

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya telah dapat diterbitkan Prosiding Hasil Penelitian dan Kegiatan Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) tahun 2013.

Prosiding ini merupakan kumpulan makalah-makalah hasil penelitian dan kegiatan PTLR tahun 2013 yang telah dipresentasikan dalam forum presentasi hasil penelitian dan kegiatan PTLR pada tanggal 21-22 Mei 2014. Makalah dalam prosiding ini merupakan hasil penelitian dan kegiatan para pejabat struktural, pejabat fungsional seperti peneliti, pranata nuklir, pengendali dampak lingkungan, fungsional umum dan para penanggungjawab kegiatan di PTLR. Secara keseluruhan prosiding ini berisi makalah-makalah yang disusun secara sistematis mengikuti alur proses pengelolaan limbah radioaktif dari hulu ke hilir yaitu meliputi sistem informasi/administrasi, pengolahan limbah PLTN, limbah TENORM, dekontaminasi dan dekomisioning, transportasi dan penyimpanan limbah. Prosiding ini juga berisi tentang aspek keselamatan lingkungan, radioekologi kelautan dan aspek sarana penunjang dalam pengelolaan limbah. Makalah-makalah yang diterbitkan dalam prosiding sudah melalui editing oleh tim editor. Prosiding mencerminkan kegiatan-kegiatan penelitian dan kegiatan rutin dari bidang-bidang teknis yang ada di PTLR.

Sebagai hasil kerja manusia biasa, tentunya prosiding ini masih banyak kekurangannya, maka dari itu sangat diharapkan saran dan masukan yang berharga dari para pembaca semua demi kesempurnaannya.

Semoga penerbitan prosiding ini memberikan manfaat sebagai bahan informasi dan bahan acuan untuk lebih meningkatkan penelitian dan penerapannya di masa yang akan datang yang lebih baik. Kepada semua pihak yang telah berkontribusi dan membantu dalam penyusunan prosiding ini kami ucapkan banyak terima kasih.

Tangerang, September 2014  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif  
Kepala

Ir. Suryantoro, MT

**SUSUNAN PANITIA PENYELENGGARA  
PRESENTASI HASIL PENELITIAN DAN KEGIATAN TAHUN 2013  
PUSAT TEKNOLOGI LIMBAH RADIOAKTIF – BATAN**

**I. Pengarah** : Kepala Pusat Teknologi Limbah Radioaktif  
Ir. Suryantoro, MT

**II. Editor**

Ketua : Dr. Budi Setiawan, M. Eng

Anggota : Drs. Gunandjar, SU

Dr. Sigit Santoso

Lucia Kwin Pujiastuti, SKM

Budiono, ST

Ir. I Wayan Bambang Wicaksana

Ir. Husen Zamroni

Ir. Untara

Ir. Sumarbagiono, MT

Ir. Sucipta, M.Si

**III. Penyelenggara**

Ketua : Heru Sriwahyuni, S.ST

Sekretaris : Mirawaty, S,Si

Persidangan : Kuat Heriyanto, ST

Sugianto, ST

Nurul Efri Ekaningrum, S.ST

Dwi Luhur Ibnu Saputra, A,Md

Prosiding dan Dokumantasi : Yuli Purwanto, A.Md

Arifin Istavara, S.ST

Perlengkapan/konsumsi : Sariyadi

Siti Silahturokhmi

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
SUSUNAN PANITIA.....	ii
DAFTAR ISI .....	iii
1. Sistem Tata Udara Untuk Menunjang Operasi Kanal Hubung – Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH_IPSB3)	
<b>Arifin</b>	
2. Data Limbah Radioaktif yang Dikelola oleh PTLR Tahun 2013	
<b>Ayi Muziyawati, Pupung Purnama</b>	
3. Perawatan Unit Pemampatan dan Pemadatan untuk Menjamin Optimalisasi Fasilitas Pengolahan Limbah Radioaktif Padat	
<b>Bung tomo</b>	
4. Pengangkutan Limbah Radioaktif Padat dan Cair Dari Penimbul ke Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif	
<b>Arifin</b>	
5. Perawatan Peralatan Proses Evaporasi	
<b>Bambang Sugito</b>	
6. Proses Reduksi Volume dan Sementasi Limbah Radioaktif Padat Dalam Rangka Optimalisasi Operasi Instalasi Pengolahan Limbah	
<b>Bung tomo</b>	
7. Evaluasi Penggantian Resin Sistem Purifikasi Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas Fasilitas	
<b>Dyah Sulistyani R.</b>	
8. Implementasi Pelaksanaan Sistem Pertanggungjawaban dan Dengendalian Bahan Nuklir dan Protokol Tambahan 2013	
<b>Dyah Sulistyani R.</b>	
9. Pengembangan Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif Padat, Cair dan Limbah Bahan Berbahaya Beracun (B3)	
<b>Irwan Santoso, Sayogo Supriantoro, Ayi Muziyawati, Mas’udi</b>	
10. Pengoperasian Chilled Water System Untuk Menunjang Tata Udara pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif pada Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas ( KH-IPSB3)	
<b>Yhon Irzon</b>	
11. Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B-3) Internal Batan	
<b>Mas’udi</b>	

12. Pengembangan Teknologi Transportasi dan Penyimpanan Sementara LiRa, Limbah B3, Limbah Aktivitas Tinggi dan Bahan Bakar Nuklir Bekas  
**Purwantoro, Dyah Sulistyani R.**
13. Karakterisasi Limbah Radioaktif Sumber Terbungkus yang Tidak Teridentifikasi  
**Suhartono, Suryantoro, Ayi Muzyawati**
14. Perawatan Peralatan Mekanik Unit Sementasi  
**Suparno**
15. Perawatan Peralatan Elektrik Pada Panel Pembuatan Campuran Betron Kering I 33002 Unit Sementasi  
**Tri Salyo**
16. Pengolahan Limbah Radioaktif Paska Program Dekomisioning Reaktor TRIGA MARK II Bandung  
**Kuat Heriyanto, Yuli Purwanto, Dwi Luhur Ibnu Saputra**
17. Pengolahan Resin Penukar Ion Bekas Menggunakan Reagen Bentonit  
**Mirawaty, Dwi luhur Ibnu Saputra, Sugeng Purnomo**
18. Pengolahan Tahap Awal Limbah Kimia Radioaktif Cair (LKRC) Dengan Cara Pengendapan Hidroksida  
**Sugeng Purnomo, Imam Sasmito, Darmawan Aji, I. Kwin Pujiastuti**
19. Perawatan Peralatan Elektrik Pada Panel I 33001 Unit Sementasi  
**Tri salyo**
20. Integrasi Sistem Pemantau Radiasi Terpusat IPLR dan KH-IPSB3 Berbasis Komputer **Adi Wijayant, I. Putu Susila, Yhon Irzon, Syah D., Sugianto, Purwantara, Mahmudin, Parjono, M. Cecep Cepi H.**
21. Peningkatan dan Pengembangan Keselamatan Proses Pengelolaan Limbah Radioaktif dan Bahan Bakar Nuklir Bekas Tahun 2013  
**M.Cecep C.H.,L.Kwin P., Adi W., M.Romli, Arie Budianti, Mahmudin**
22. Penentuan Waktu Optimum Pencuplikan Sampel Udara Untuk Evaluasi Tingkat Kontaminasi Udara Daerah Kerja  
**L. Kwin Pudjiastuti**
23. Software Imba Untuk Analisis Perhitungan Dosis Radiasi Internal  
**Muhammad Muhyidin Farid , Tri Bambang Lestariyanto**
24. Kajian Perhitungan Dosis Internal Dengan Sampel Feses  
**Ratih Kusuma P, Ruminta Ginting**

25. Interkomparasi Penentuan Aktivitas Uranium Total Dalam Sampel Urin dengan Metode In-Vitro  
**Ruminta Ginting, Ratih Kusuma Putri, Elistina**
26. Pemantauan Dosis Radiasi Eksternal dan Dosis Radiasi Internal yang Diterima Pekerja Radiasi di Kawasan Nuklir Serpong Tahun 2013  
**Sri Widayati, Ruminta Ginting, Tri Bambang L., Elfida, Yanni A, M.M. Farid, Ratih K.P.**
27. Pengembangan dan Peningkatan Analisis Dosis Radiasi Internal In-Vitro dan Sarana Penunjang  
**Tri Bambang L, Ruminta Ginting, Ratih Kusuma P., M.M Farid**
28. Interkomparasi Pengukuran Dosis Ekuivalen Perorangan Menggunakan Berkas Radiasi Sinar-X  
**Yanni Andriani , Sri Widayati, Elfida**
29. Revitalisasi Sistem Pemantauan Lingkungan Tahun 2013  
**Arif Yuniarto, Untara, Budihari H.P.**
30. Penetapan Faktor Koreksi *Self Attenuation* pada Analisis Sampel Sedimen dengan Spektrometri Gamma  
**Chevy Cahyana, Mohamad Nur Yahya**
31. Studi  $^{137}\text{Cs}$  Dalam Air Laut Disekitar Perairan Bangka Selatan dan Sumatera Selatan  
**Heny Suseno**
32. Optimasi Metoda Untuk Penentuan Plutonium dari Sampel Lingkungan  
**Murdahayu Makmur, Wahyu Retno Prihatiningsih**
33. Imobilisasi Limbah Cair Tingkat Tinggi Menggunakan *Glass frits fly ash*  
**Aisyah, Yuli Purwanto**
34. Penghilangan Khrom dari Limbah Cair Melalui Proses Reduksi dan Koagulasi-Flokulasi  
**Endang Nuraeni, Mirawaty, Zainus Salimin**
35. Pengembangan Teknologi Pengolahan Limbah Cair dari Industri : Imobilisasi Limbah Radioaktif Cair Tingkat Tinggi dengan Bahan Matriks Synroc Titanat  
**Gunandjar, Titik Sundari, Yuli Purwanto, Sugeng Purnomo**
36. Devitrifikasi Gelas-Limbah dari Abu Batubara Pada Berbagai Suhu dan Waktu Pemanasan  
**Herlan Martono, Yuli Purwanto**

- 
37. Optimalisasi Pengoperasian Sistem Penyedia Media & Energi Tahun 2013  
**Gatot Sumartono**
  38. Pengoperasian Boiler Sebagai Energi Penguapan Proses Evaporasi Limbah Cair IPLR Tahun 2013  
**Heri Witono, Ahmad Nurjana**
  39. Revitalisasi Kelistrikan KH-IPSB3  
**Sugianto, Budiyo**
  40. Pengoperasian Kompresor Sebagai Penunjang Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif Tahun 2013  
**Sriwidada, Ch. Susiana Atmaja**
  41. Pemantauan Sistem Tata Udara Instalasi Pengelolaan Limbah Radioaktif Tahun 2013  
**Arifin Istavara**
  42. Perawatan *Uninterruptible power system* Pusat Teknologi Limbah Radioaktif  
**Harwata, Ch Susiana Atmaja**
  43. Perbaikan Service Water System PTLR  
**Harwata**
  44. Pengoperasian *Cooling Water* Untuk Penurunan Temperatur Media Pendingin Evaporator  
**Ahmad Nurjana**
  45. Pengoperasian Sistem Air Bebas Mineral pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif  
**Ahmad Nurjana**
  46. Pengaruh Kualitas Air *Service & Domestic Water* Terhadap Umur Turbidity Filter  
**Sri Maryanto**
  47. Desain Perhitungan Sistem Bahan Bakar Untuk Ketel Uap dan Diesel Gen-Set  
**Atam**
  48. Pengoperasian *Chilled Water System* Untuk Menunjang Tata Udara pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif  
**Budi Arisanto, Heri Witono, Arifin I.**

49. Kajian Terhadap Kebutuhan Alat Pemantau Kapasitas Air Chiller Pada Sistem Blower di Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas  
**Budiyono**
50. Revitalisasi dan Pemeliharaan Peralatan Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif  
**Gatot Sumartono**
51. Revitalisasi Sistem Distribusi Kelistrikan Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif  
**Parjono, Sugianto**
52. Penghematan Pemakaian Listrik Instalasi Limbah Radioaktif Dengan Menggunakan Capacitor Bank  
**Jonner Sitompul**
53. Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas PLTN 1000 MWe Sistem Kering *Cask Storage*  
**Subiarto, Cahyo Hari Utomo, Dwi Luhur Ibnu Saputra**
54. Pengkajian Keselamatan Fasilitas Disposal Limbah Radioaktif di Kawasan Nuklir Serpong (Skenario)  
**Arimuladi S. Purnomo**
55. Manajemen Teknologi Pendukung Keselamatan Fasilitas Disposal Limbah Radioaktif PLTN dan *Tenorm*  
**Arimuladi S Purnomo, Sucipta**
56. Karakterisasi Geofisika Tapak Terpilih Untuk Disposal Limbah Radioaktif  
**Dadang Suganda, Sucipta, Sugeng Waluyo**
57. Penyiapan Konsep Desain Fasilitas Disposal Demo Limbah Radioaktif di Kawasan Nuklir Serpong  
**Heru Sriwahyuni, Dewi Susilowati, Budi Setiawan, Hendra Adhi Pratama**
58. Penyiapan Konsep Desain Drainase Fasilitas Disposal Demo di Kawasan Nuklir Serpong  
**Heru Sriwahyuni, Dewi Susilowati**
59. Pengukuran Debit dan Kualitas Air Sungai Cisalak Pada Tahun 2013  
**Teddy Sumantry**

- 
60. Pemantauan Kedalaman dan Kualitas Air Tanah Pada Tapak Disposol Demo Tahun 2013  
**Teddy Sumantry**
  61. Penyiapan Komponen Desain Tata Letak Fasilitas *Demonstration-Plant of Disposal* Di Kawasan Nuklir Serpong  
**Dewi Susilowati**
  62. Karakteristik Geotek Tapak Pulau Jawa Erosi Terhadap Kepekaan Tanah  
**Ari Pudyo**
  63. Pengkajian Komponen Desain Penutupan Fasilitas *Demonstration Plant Of Disposal* di Kawasan Nuklir Serpong  
**Hendra Adhi Pratama**
  64. Pengkajian Unjuk Kerja Wadah Limbah Radioaktif Dalam Fasilitas Disposol Saat Terkena Dampak Kecelakaan Dan Kebakaran  
**Nurul Efri Ekaningrum**
  65. Pengkajian Keselamatan Penyimpanan Limbah Tenorm Dari Pertambangan Timah Dengan Perangkat Lunak Presto  
**Sucipta, Dadang s, Arimuladi sp, Hendra A.P, Nurul Efri E.**
  66. Studi Calon Tapak Disposol Limbah Radioaktif Operasi PLTN Di Bangka Belitung : Pemilihan Tapak Potensial  
**Sucipta, Hendra A.P., Arimuladi S.P., Heru Sriwahyuni**
  67. Perkiraan Biaya Dismantling Reaktor Triga Mark II Bandung Dalam Area Terkontrol  
**Mulyono Daryoko, Yuli Purwanto, Dwi luhur Ibnu S.**
  68. Studi Pengolahan Limbah Elektropolishing Dekontaminasi Logam Stainless Steel 304 Secara Sinergi Elektro Filtrasi Dan Pertukaran Ion Dalam Resin  
**Sutoto**
  69. Karakterisasi Sorpsi Radiocesium Oleh Pasir Kuarsa Dari Sebagian-Bangka Selatan Sebagai Bahan Isian (*Backfill*) Disposol Limbah Radioaktif  
**Budi Setiawan, Heru Sriwahyuni**
  70. Karakterisasi Sorpsi Radiocesium Oleh Tanah Dari Karawang Sebagai Tapak Terpilih Untuk Disposol Limbah Radioaktif  
**Budi Setiawan**



71. Karakteristik Geologi Tapak Terpilih Untuk Disposasi Limbah Radioaktif Di Pulau Jawa

**Soegeng Waluyo HS , Sucipta, Budi Setiawan**

72. Fenomena Biosorpsi Khromium Pada *Extracellular Polymeric Substance* Terimobilisasi Dalam Matriks Polimer Epoksi

**Zainus Salimin, Endang Nuraeni**

## **SISTEM TATA UDARA UNTUK MENUNJANG OPERASI KANAL HUBUNG – INSTALASI PENYIMPANAN SEMENTARA BAHAN BAKAR BEKAS (KH-IPSB3)**

**Arifin**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### **ABSTRAK**

**SISTEM TATA UDARA UNTUK MENUNJANG OPERASI KANAL HUBUNG – INSTALASI PENYIMPANAN BAHAN BAKAR BEKAS (KH-IPSB3).** Usaha mempertahankan kinerja peralatan sistem tata udara telah dilakukan selama tahun 2013. Kegiatan bertujuan untuk memperoleh sistem peralatan yang selalu optimal beroperasi mendukung operasi kanal hubung Instalasi Penyimpanan Bahan Bakar bekas (KH-IPSB3). Kegiatan dilakukan dengan cara mengoperasikan, merawat secara preventif, dan memperbaiki kerusakan peralatan serta pengukuran parameter operasinya. Hasil kegiatan diperoleh suhu daerah tipe A di bawah 25 °C, daerah tipe B di bawah 28 °C dan daerah tipe C di bawah 50 °C. Nilai kelembaban relatif daerah tipe A dan tipe B kurang dari 60 % dan tipe C lebih besar dari 60 %. Tekanan negatif masing-masing zona sesuai standar persyaratan yaitu zona 1 antara 0 – -2 daPa, zona 2 antara -8 – -10 daPa dan zona 3 antara -12 – -14 daPa, kecuali pada zona 4 di atas -22 daPa.

### **ABSTRACT**

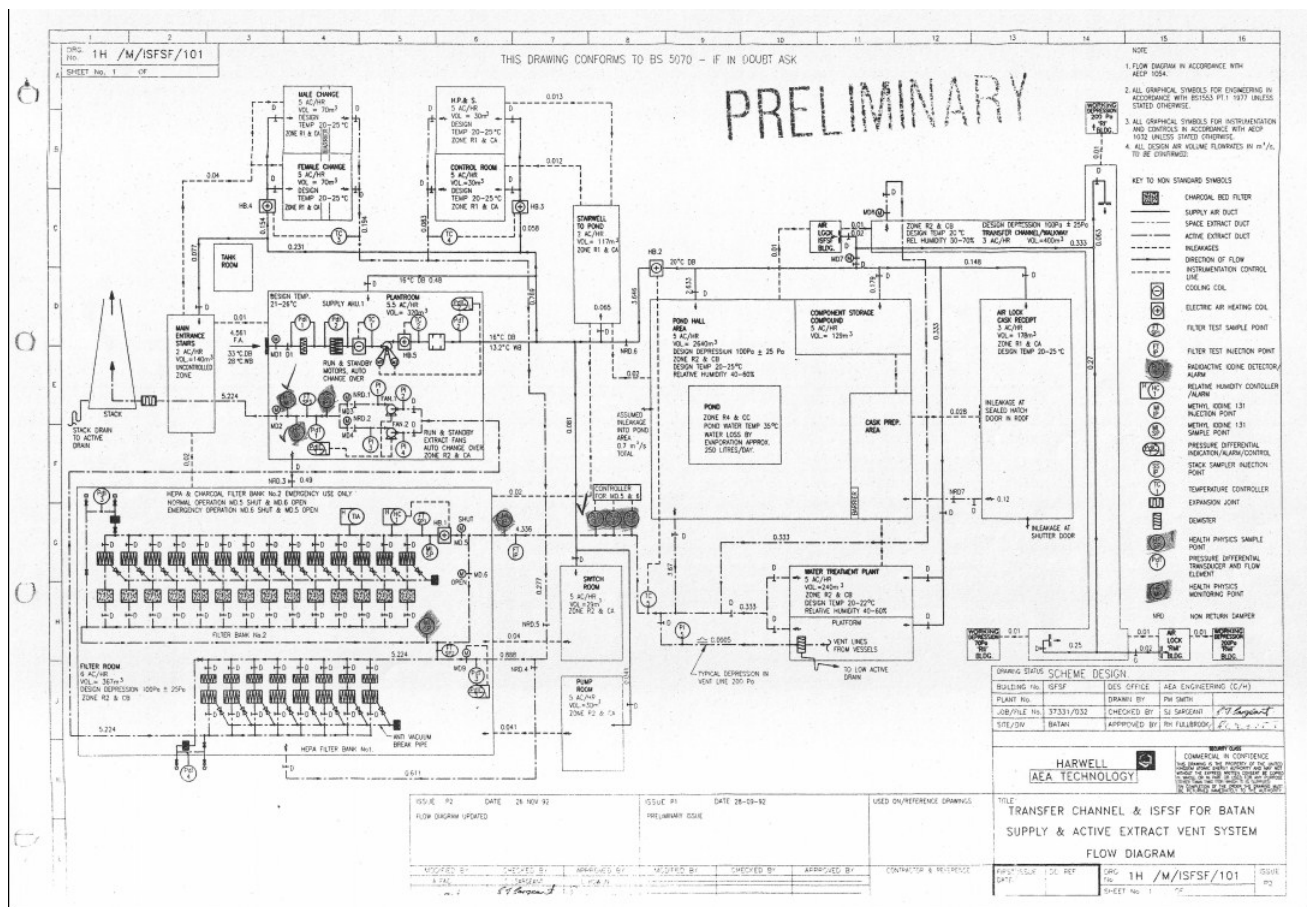
**ARRANGEMENT ATMOSPHERE SYSTEM FOR SUPPORTING TRANSFER CHANNEL INTERIM STORAGE FOR SPENT FUEL.** Activity to maintain performance equipment of arrangement atmosphere system have been done in 2013. Activities to obtain the equipment system optimum operate to support Transfer channel Interim Storage for Spent Fuel. Activity is done by the way of operating, preventive and curative maintenance and gauging of operation parameter. Result of activity are obtained type A region temperature under 25 °C, type B region under 28 °C and type C region less than 50 °C. Relative humidity value of type A and type B region under 60 % and type C region more than 60 %. Negative pressure of each zone according to the standard requirements of a zone 1 between 0 -2 daPa, zone2 between -8 - -10 daPa, zone 3 between -12 - -14 between daPa, except in zone 4 above -22 daPa.

### **PENDAHULUAN**

Sistem tata udara merupakan rangkaian sarana penunjang yang harus terpasang pada suatu instalasi nuklir. Oleh karena itu di Kanal hubung Instalasi Penyimpanan Bahan Bakar Bekas juga dilengkapi dengan sistem ini. Sistem tata udara KH-IPSB3 dibagi menjadi dua kelompok peralatan yakni sistem *Ventilation Air Conditioning* (VAC) dan gas buang (*off-gas*). Sistem VAC berguna untuk mengatur suhu dan kelembaban udara serta tekanan negatif antar zona pada setiap ruang instalasi penyimpanan bahan bakar bekas. Sedangkan sistem gas buang berfungsi untuk menjamin pengumpulan dan perlakuan terhadap aliran gas-gas aktif atau diragukan yang dihasilkan oleh perlengkapan yang menyusun penghalang penyimpan pertama untuk bahan-bahan aktif. Gedung IPSB3 disuplai dengan udara segar melalui unit pengolah udara AHU1 yang terletak di ruang lantai dasar gedung. Unit ini terdiri dari balancing damper, panel filter, bagian filter, cooling coil, backward curved centrifugal fan dan 2 motor (beroperasi dan standby), electric heater battery dan sound attenuator yang berfungsi untuk

meredam suara. Tiga buah baterai electric heater dengan No. HB2, HB3 dan HB4 dipasang di sistem ducting, berfungsi untuk memvariasi suhu udara di daerah kolam penyimpan, ruang kendali dan ruang ganti. Baterai dikendalikan melalui panel pengendali thyristor yang akan mempertahankan suhu di setiap ruangan. Sensor suhu ditempatkan pada ducting yang sesuai. Setiap baterai dihubungkan secara interlock dengan fan motor pada AHU1. Damper pengisolasi digerakkan dengan motor dengan No. MD1, diletakkan di samping inlet udara segar sehingga damper akan menutup bila sistem tak beroperasi. Damper pengisolasi dengan No. MD7 dipasang pada ducting masuk di KH, sehingga damper akan menutup bila sistem nonaktif.

Pengendali kecepatan aliran udara (damper pengisolasi) dipasang di dua tempat, yaitu pada posisi inlet dan pada saluran utama, dengan tujuan untuk keseimbangan. Kecepatan aliran udara dipertahankan selalu tetap melalui pengaturan secara manual damper D1. Instalasi Extract Active terdiri dari 1 filter Bank No: 1 dan 1 filter Bank No: 2. Filter Bank no : 1 terdiri atas 8 canister yang masing-masing canister terdiri atas 1 pre-filter dan 1 HEPA filter. Filter Bank no : 2 terdiri atas 14 canister yang masing masing canister terdiri atas 1 HEPA filter dan 1 charcoal filter. Diagram alir Extract Active ditunjukkan pada Gambar .1. Sistem ventilasi dipasang dengan mengikuti kaidah-kaidah yang tertuang dalam AECF 1054.



Gambar 1. Diagram alir Extract Active

**Sistem ventilasi didisain untuk :**

- a. Mengatur aliran udara di dalam gedung IPSB3 dan KH, sehingga gerakan udara akan selalu menuju sumber kontaminasi
- b. Untuk memperkuat kungkungan pada daerah yang selalu terdapat aliran udara ke daerah kontaminasi tinggi dengan kecepatan yang cukup dengan tujuan untuk mengendalikan difusi balik dari kontaminasi
- c. Melindungi daerah operasi dan lingkungan luar kondisi operasi normal
- d. Meminimalkan ke luar masuknya udara
- e. Menjamin bahwa kelayakan fasilitas selama operasi normal maupun abnormal dapat mudah dimonitor
- f. Mengatur pengukuran yang efektif terhadap potensi pelepasan radioaktif.
- g. Mengatur kestabilan laju aliran udara extract di gedung IPSB3 dan KH lewat fan. Fan dilengkapi dengan pengontrol kecepatan yang berfungsi untuk mengkompensasi kenaikan beda tekanan di extract filter Bank dan juga mempertahankan aliran udara extract
- h. Menjamin bahwa udara keluar dapat terdispersi ke lingkungan secara merata melalui cerobong setinggi 30 m. Ukuran ini didasarkan bahwa gedung tertinggi di sekitar fasilitas IPSB3 adalah 30 m. Disain seismik dari cerobong adalah 0,25 g.

Selama operasi normal semua udara tersaring dari gedung IPSB3 dan KH mengalir melalui filter Bank No. 1 yang terdiri dari pre-filter dan HEPA filter, dan bertujuan untuk mengurangi particulate radioaktivitas, sebelum dibebaskan ke lingkungan lewat cerobong.

Selama operasi darurat hanya extract udara tersaring yang berasal dari daerah kolam, daerah *water treatment* dan KH yang akan dilewatkan melalui charcoal filter dan HEPA filter pada filter Bank No. 2. Pada tahap lanjut, udara dilewatkan HEPA filter pada filter Bank No: 1 untuk mengurangi particulate radioaktif dan gas iodine sebelum dibebaskan ke lingkungan. Lewat cerobong.

Kontaminasi airborne di daerah kolam, ruang filter dan kanal hubung dapat timbul bilamana terjadi kecelakaan penanganan bahan bakar, dekontaminasi flask dan penggantian filter HEPA. Bangunan dalam daerah ini berfungsi sebagai pengungkung.

Untuk mencegah kebocoran udara melalui sambungan antar udara di dalam gedung dipertahankan tekanan nominal  $100 \text{ Pa} \pm 2 \text{ Pa}$  ( $-9,9 \cdot 10^{-4} \text{ atm} + 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ atm}$ ) melalui building extract system. Diasumsikan kebocoran udara melalui struktur gedung pada tekanan 100 Pa adalah sebagai berikut :

Daerah kolam dan daerah pengolahan air	:	0,7 m <sup>3</sup> /detik
Kanal hubung	:	0
Ruang filter	:	0

HEPA filter dipasang di bagian upstream terhadap Iodine charcoal filter dan berfungsi untuk mengurangi partikulat terkontaminasi yang berasal dari charcoal dan di bagian downstream untuk mencegah solid partikel terbawa masuk

ke charcoal. Suatu pemanas elektrik dipasang pada bagian upstream terhadap charcoal filter Bank, dan berfungsi untuk mengurangi dan mengendalikan kelembaban udara sampai pada tingkat  $< 40\%$  RH, dengan menaikkan temperaturnya. Pemanas diinterlokkan dengan damper yang digerakkan dengan motor. Pemanas dilengkapi dengan fail safe control dan sistem alarm untuk mencegah pemansan yang berlebihan dari filter charcoal.

*Charcoal filter canister/HEPA* dihubungkan pada filter charge operations secara on-line. Sistem ventilasi didisain untuk jangka waktu 40 tahun.

Sistem ventilasi udara harus dapat mempertahankan laju alir udara di daerah kolam, KH dan ruang ganti pada tekanan nominal dibawah  $100 \text{ Pa} \pm 25 \text{ Pa}$  ( $-9,9 \cdot 10^{-4} \text{ atm} \pm 2,47 \cdot 10^{-4} \text{ atm}$ ). Keseluruhan udara tersaring dikeluarkan ke atmosfer dan tidak disirkulasi lagi.

Sistem ekstrak mempunyai dua mode penyaringan, normal dan darurat, sebagai berikut :

Pada kondisi operasi normal, semua udara tersaring yang berasal dari gedung IPSB3 dan KH dilewatkan langsung melalui filter Bank No.1, yang terdiri dari 8 unit filter canister dan masing-masing canister terdapat 1 (satu) pre-filter dan 1 (satu) HEPA filter. Pada kondisi operasi darurat semua udara tersaring yang berasal dari daerah kolam, *water treatment* dan KH harus dilewatkan langsung melalui filter Bank No. 2 yang terdiri dari 14 unit filter canister, masing-masing canister terdapat 1 (satu) HEPA filter dan charcoal filter. Penyaringan dikendalikan secara otomatis lewat detektor Iodine.

Untuk mencegah aliran balik udara ke ruang-ruang penerimaan cask, ruang filter, ruang ganti dan daerah ruang kendali, pada pipa ventilasi udara tersaring dilengkapi dengan non-return damper.

Pemanas elektrik (HB1) akan dihidupkan ketika damper (MD5) terbuka. Sistem ini diinterlock dengan fan No.1 dan 2. Pemanas elektrik akan mengatur kelembaban relatif aliran udara yang masuk charcoal filter dibawah  $40\%$  RH.

Pengendali laju aliran/damper pengisolasi dipasang pada posisi entry dan sambungan utama untuk mempertahankan keseimbangan saluran penetrasi disediakan untuk menginjeksi dan untuk pengambilan sampel untuk pengujian aerosol. Fan No. 1 dan 2 dipasang pada posisi downstream dari filter Bank. Kedua fan tersebut masing-masing dalam mode operation dan standby. Fan dikendalikan oleh sebuah controller yang menghasilkan suatu sinyal keluaran yang mempengaruhi kecepatan. Controller akan membandingkan harga terukur udara tersaring dengan harga yang telah ditetapkan, dan kemudian menggerakkan pengendali kecepatan kepada harga yang telah ditetapkan tersebut. Pengendali kecepatan aliran ini berfungsi untuk mengkompensasi kenaikan beda tekanan pada filter No. 1 dan 2. Kenaikan beda tekanan ini akan berakibat menurunnya kecepatan aliran udara tersaring.

Fan No. 1 dan 2 dilengkapi dengan electrical damper no. MD 3 dan 3 dengan tujuan untuk membuka dan menutup terhadap jalur aliran udara. Pergerakan damper dikendalikan oleh fan start command. Sistem extract active akan beroperasi secara terus menerus dan semua komponen penting harus dapat mempertahankan beroperasinya sistem ini tanpa kegagalan.

## TATA KERJA

### Bahan

#### Spesifikasi Filter

- a. Pre filter
 

Dimensi	:	609 mm x 609 mm
Kec. Aliran udara	:	0,470 m <sup>3</sup> /detik
Effisiensi	:	91 %
Bahan	:	Steel
Perbedaan Tekanan pada kondisi bersih	:	25 Pa
  
- b. Filter HEPA
 

Dimensi total maksimum sepanjang permukaan	:	610 mm x 610 mm
Laju aliran udara	:	0,850 m <sup>3</sup> / detik
Gaskets	:	Silicone rubber
	:	515 gasket
Case	:	Plywood dengan Standar BS 6566 'M'
Efisiensi	:	99,99 %
Faktor Dekontaminasi	:	10,000
Perbedaan tekanan kondisi bersih	:	320 Pa
Perbedaan tekanan maksimum antara permukaan filter	:	3000 Pa
  
- c. Filter Charchoal yang diaktifkan
 

Pemasok	:	MC Air Filtration Ltd.
Dimensi total maksimum sepanjang permukaan	:	610 mm x 610 mm
Dimensi total maksimum antar permukaan	:	292 mm
Laju aliran udara	:	0,333 m <sup>3</sup> / detik
Gaskets	:	Neoprene foam
Bahan	:	Mild steel/vinyl painted
Waktu tinggal	:	0,2 detik
Koefisien rentensi minimum Iode pada 40 % RH	:	> 5000
Koefisien rentensi minimum Iodin Methyl pada 40 % RH	:	> 1000
Perbedaan tekanan kondisi bersih	:	250 Pa
Perbedaan tekanan pada kondisi kotor	:	260 Pa
Kandungan Potassium Iodine pada sel-sel charcoal	:	1 %

### Metode

#### 1. Pengoperasian

Sistem tata udara dioperasikan selama delapan jam setiap hari kerja. Tahapan pelaksanaan operasi diawali dengan menghidupkan *exhaust fan* C5012 atau C5013 untuk mengevakuasi udara dari ruang zona 4. Apabila tekanan negatif telah tercapai, dilanjutkan dengan menghidupkan

*exhaust fan* C5102A atau C5102B. *Exhaust fan* akan menghisap udara di setiap ruang zona 2 dan 3. Setelah tekanan negatif pada zona tersebut, tercapai dilanjutkan dengan operasi pompa *blower* C5101 A dan C5101B. Pompa berfungsi untuk menghembuskan udara segar yang telah mengalami perlakuan dalam sistem *air handling unit* (AHU). Perlakuan yang dimaksud adalah udara luar dihisap melewati filter dan disinggungkan dengan *cooling coil* yang didalamnya mengalir air *chiller*. Udara yang suhunya telah turun kemudian diatur kelembabannya dengan *heating battery*. Udara dengan suhu dan kelembaban tertentu itulah yang dihembuskan ke setiap ruangan.

## 2. Pemeliharaan

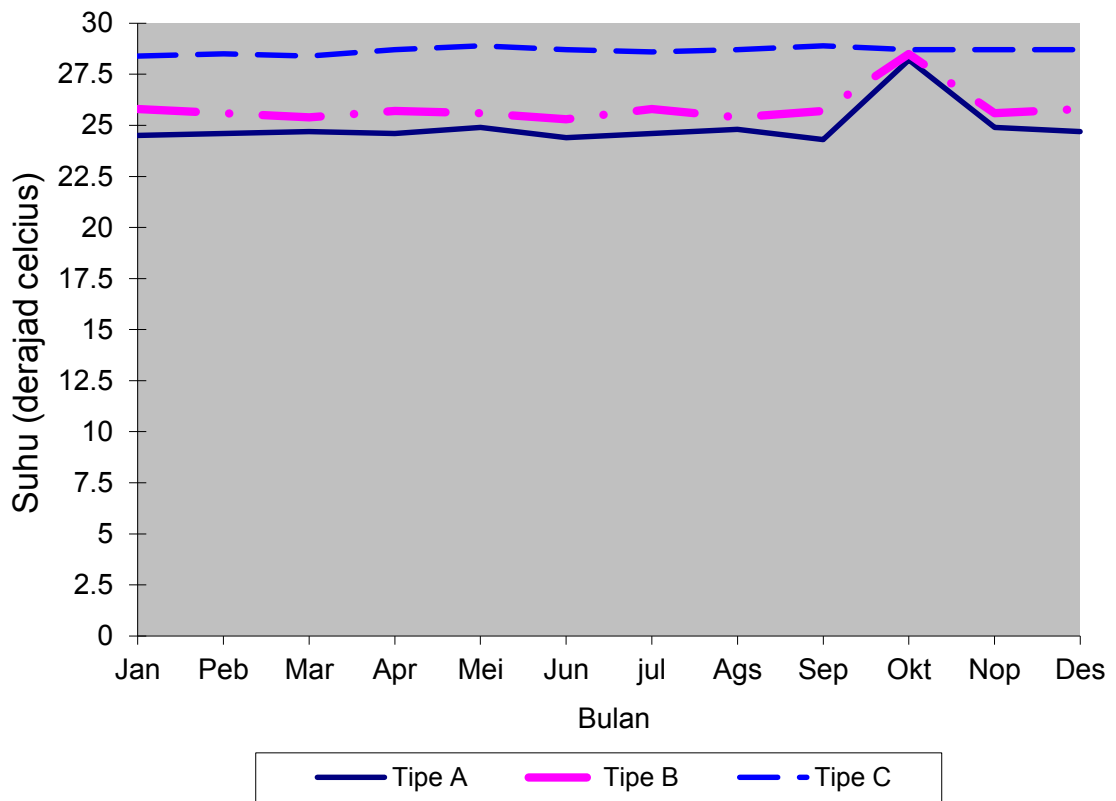
Pemeliharaan sistem tata udara dilakukan baik perawatan rutin maupun perbaikan. Perawatan rutin yang dilakukan adalah pelumasan sistem, penggantian filter HEPA yang telah jenuh dan pembersihan filter-filter udara. Perbaikan dilakukan pada bagian AHU yang mengalami kebocoran air *chiller*. Air *chiller* keluar dari *header cooling coil* bagian bawah karena telah terjadi korosi. Perbaikan dengan cara menutup lubang kebocoran dengan *plug* berbahan tembaga, yang ditekan dan diberi perekat *iron glue*.

## 3. Pengambilan data

Suhu dan kelembaban relatif diukur dengan termohigrometer. Pengukuran dilakukan di daerah tipe A, tipe B dan tipe C. Tekanan hampa parsial atau tekanan negatif IPLR diukur menggunakan Aneroid barometer. Pengukuran dilakukan di zona 1, zona 2, zona 3 dan zona 4. *Pressure drop* filter HEPA diukur dengan manometer U merk SOFILTRA. Media yang dipakai adalah oli SAE 10. Caranya pipa masukan Manometer U dihubungkan pada bagian tekanan masuk filter, sedangkan pipa keluarannya dihubungkan dengan tekanan saluran keluar filter. Perbedaan tekanan antara sebelum dan sesudah masuk filter dicatat sebagai *pressure drop*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

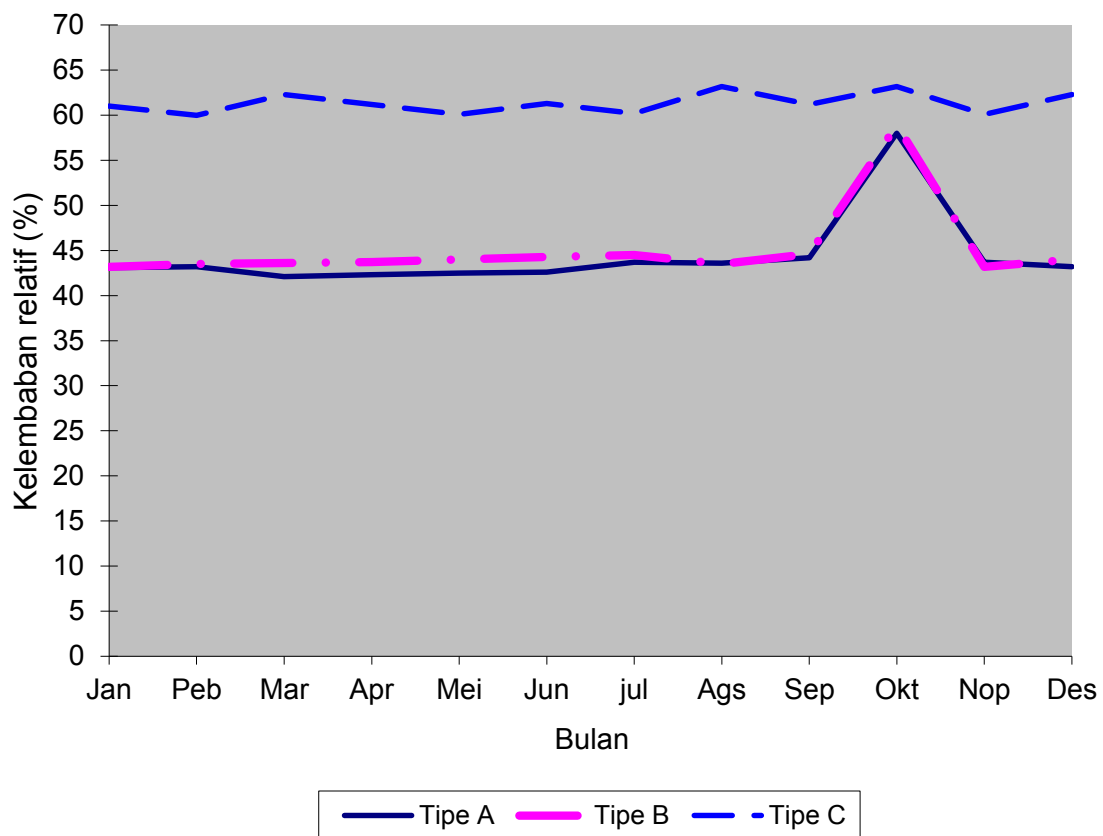
Unjuk kerja sistem tata udara selama tahun 2013 rata-rata baik. Hal ini diindikasikan dengan pencapaian target suhu, kelembaban, tekanan negatif dan *pressure drop* HEPA filter yang dipersyaratkan di Kanal-Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas. Grafik suhu di setiap ruang selama kegiatan tahun 2013. diperlihatkan pada **Gambar-2**, sedangkan grafik kelembaban relatif pada **Gambar-3**.



**Gambar-2.** Grafik suhu ruangan KH-IPSB3

Grafik suhu menunjukkan bahwa nilai rata-rata suhu ruangan tipe A, B dan C pada bulan Januari sampai dengan September masih dalam batas persyaratan. Suhu daerah tipe A di bawah 25 °C, daerah tipe B di bawah 28 °C, dan daerah tipe C di bawah 50 °C. Selama bulan Oktober target pendinginan ruangan tipe A dan tipe B tidak tercapai karena adanya kebocoran pipa pada bagian *header cooling coil*. Bocornya pipa mengakibatkan keluarnya sebagian air *chiller* sebelum masuk ke *cooling coil* sehingga kapasitas air tidak tercukupi. Berkurangnya sirkulasi air menurunkan kemampuan pendinginan udara, sehingga suhu udara yang dihembuskan ke setiap ruangan tidak mencapai persyaratan. Setelah lubang kebocoran ditutup pada akhir bulan Oktober, suhu udara segar yang dihembuskan ke setiap ruangan kembali turun. Hal ini diperlihatkan pada grafik bahwa rata-rata suhu untuk bulan Nopember sampai dengan Desember telah memenuhi syarat kembali.

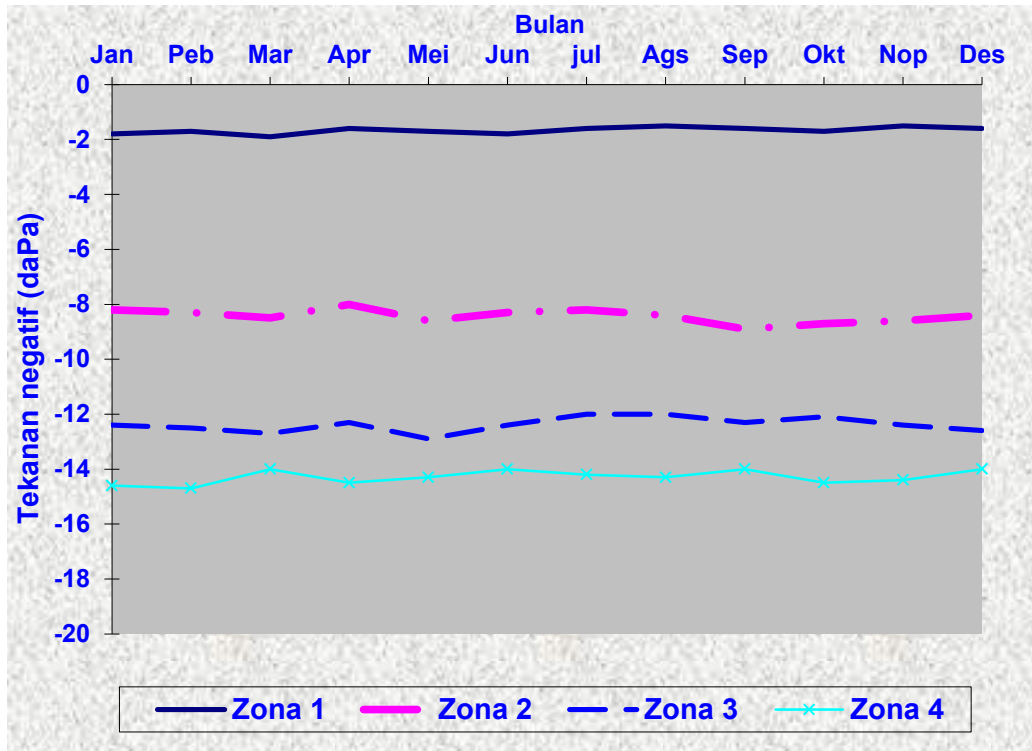




**Gambar-3.** Grafik kelembaban relatif ruang KH-IPSB3

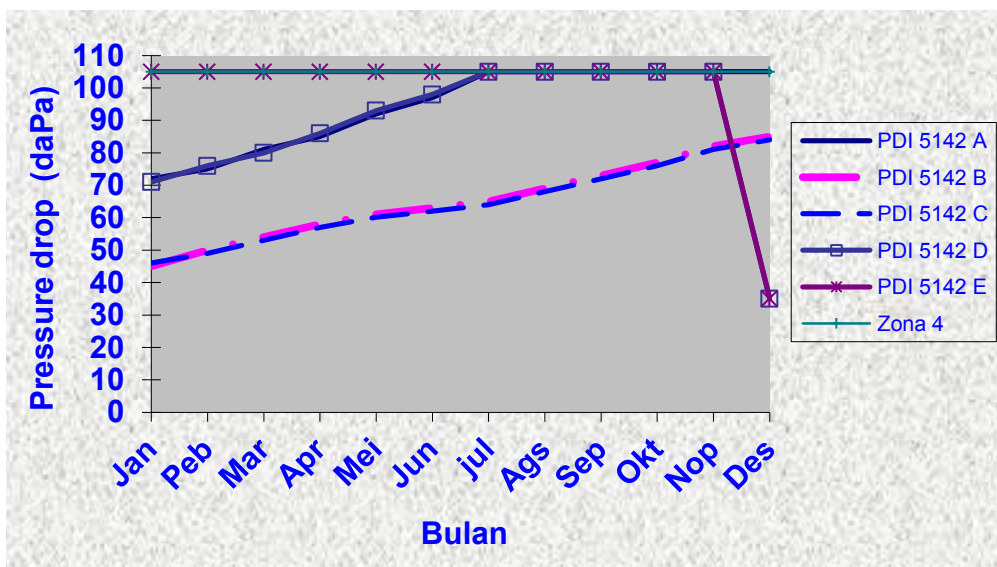
Grafik kelembaban relatif menunjukkan bahwa nilai rata-rata kelembaban di ruang KH-IPSB3 pada bulan Januari sampai dengan bulan September telah memenuhi syarat. Nilai kelembaban relatif di ruang tipe A dan tipe B di bawah 60 %, sedangkan di ruang tipe C di atas 60 %. Nilai kelembaban relatif di ruang tipe A dan tipe B pada bulan Oktober tidak tercapai ketika ada kebocoran jaringan distribusi air *chiller*. Untuk bulan Nopember sampai Desember syarat nilai kelembaban kembali tercapai.

Tekanan negatif ruang KH-IPSB3 diperlukan untuk menjaga kontaminan tidak terlepas ke lingkungan. Pola aliran dijaga agar udara dari zona 1 mengalir ke zona 2 kemudian zona 1 dan terakhir di zona 2. Grafik tekanan negatif selama kegiatan tahun 2008 diperlihatkan pada **Gambar-3**. Grafik menunjukkan bahwa tekanan negatif zona 1, zona 2 dan zona 3 sesuai persyaratan. Zona 1 masuk dalam range 0 – -2 daPa, zona 2 antara -8 – -10 daPa dan zona 3 antara -12 – -14 daPa. Tekanan negatif zona 4 tidak memenuhi persyaratan di bawah -22 daPa. Hal ini disebabkan telah tersumbatnya filter HEPA yang terpasang, selain banyaknya kebocoran ruangan.



**Gambar-4. Grafik tekanan negatif ruang KH-IPSB3**

Udara ruang KH-IPSB3 yang dievakuasi keluar cerobong dilewatkan melalui sistem filter. Filter berguna untuk menyaring partikel-partikel radioaktif agar tidak terlepas ke lingkungan. Ada dua jenis filter HEPA yang dipakai penyaringan yaitu tipe Pre filter dengan range operasi 25 - 105 daPa dan tipe HEFA/Charcoal filter canister dengan range operasi 25 - 90 daPa. Grafik *pressure drop* filter HEPA selama tahun 2013 diperlihatkan pada **Gambar-5**.



**Gambar 5. Grafik pressure drop**

Grafik memperlihatkan bahwa filter general PDI 5142 E yang berisi 8 buah filter telah jenuh sejak bulan Januari sehingga *damper* ditutup dan filter tidak dioperasikan. Pada bulan Juli, kejenuhan filter juga terjadi pada filter general PDI 5142 A dan 5142 D. *Pressure drop* HEPA filter general yang masih memenuhi persyaratan di bawah 105 daPa adalah PDI 5142 B dan PDI 5142 C. Kondisi yang sama terjadi pada filter *off gas* dimana *pressure drop* masih di bawah 90 daPa. Pada grafik juga terlihat *pressure drop* filter general PDI 5142 D dan E kembali turun ke 35 daPa setelah dilakukan penggantian filter pada awal bulan Desember.

## KESIMPULAN

Dari bahasan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa unjuk kerja sistem tata udara dalam menunjang operasi pengolahan limbah radioaktif selama kegiatan tahun 2013 telah berhasil:

1. Memenuhi persyaratan suhu pada setiap ruang kecuali pada bulan Oktober
2. Memenuhi persyaratan kelembaban relatif kecuali pada bulan Oktober
3. Memenuhi persyaratan tekanan negatif kecuali pada zona 4.
4. Memenuhi persyaratan *pressure drop* filter HEPA

## DAFTAR PUSTAKA

- [1].PTLR, “ Sistem Ventilasi dan Penyegaran Udara (VAC) dan Gas Buang”, PTLR-BATAN, Serpong, 1990.
- [2].**Sofiltera-Camfil**, “Air Filters Absolute Nuclear Type” La Garrene-Colombes Cedex, France.
- [3].**BUDIONO**, “Pengoperasian Unit VAC & Off Gas”, PTPLR-BATAN, Serpong, 2000.
- [4].**ARIFIN**, ”Analisis Kejenuhan Hepa Filter KH-IPSB3”, PTLR-BATAN, Serpong 2013
- [5].**ARIFIN**, ”Pengoperasian Sistem Tata Udara KH-IPSB3”, PTLR-BATAN, Serpong 2013

## DATA LIMBAH RADIOAKTIF YANG DIKELOLA OLEH PUSAT TEKNOLOGI LIMBAH RADIOAKTIF TAHUN 2013

**Ayi Muziyawati, Pupung Purnama, Darmawan Aji, Imam Sasmito**  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**DATA LIMBAH RADIOAKTIF YANG DIKELOLA OLEH PUSAT TEKNOLOGI LIMBAH RADIOAKTIF TAHUN 2013.** Sesuai dengan peraturan Ka. BATAN No. 14 Tahun 2013, salah satu tugas PTLR adalah melaksanakan pengelolaan limbah radioaktif. Pada pelaksanaan kegiatan tersebut diperlukan data limbah radioaktif sebagai acuan untuk tindak lanjut pengolahannya maupun untuk pemantauan kondisi limbah pada penyimpanannya agar aman bagi manusia dan lingkungan. Kegiatan membuat data limbah dilakukan dengan mengumpulkan formulir lembar isian pengelolaan limbah kemudian mencatatnya dalam log book dan dibuat data base-nya dalam program excell sesuai dengan jenis limbahnya sehingga didapatkan rekapan data limbah sesuai dengan jenisnya. Selama tahun 2013 limbah radioaktif yang dikelola oleh PTLR terdiri dari limbah radioaktif sumber terbungkus yang diterima berjumlah 397 buah, hasil proses kompaksi limbah padat berjumlah 8 drum 200 liter, sementasi limbah semi cair berjumlah 6 shell beton 950 liter dan limbah radioaktif sumber terbungkus yang dikondisioning berjumlah 383 buah.

**Kata kunci :** data limbah radioaktif

### ABSTRACT

*Data of Radioactive Waste Managed by RWTC 2013. According to the decree of Ka. BATAN No. 14 year 2013, one of PTLR task is to manage the radioactive waste. This activity needs data of radioactive waste as base for handling process and control of waste condition in storage according to the safety for humans and environment. Activity to make data of radioactive waste was done by collecting data form sheets of waste management then written in the log book and maked the data base in excell programme according to waste character so a list of waste data was obtained. Data summary of the waste managed by RWTC in 2013, disused seald radioactive sources were 397 pieces, solid waste packages from compaction process were 8 drums 200 L, semi liquid waste packages from cementation process were 6 concrete shells 950 L, and disused seald radioactive sources from conditioning process were 383 pieces.*

**Keywords :** data of radioactive waste

### PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah radioaktif di PTLR merupakan tugas dari Bidang Pengelolaan Limbah (BPL) sesuai dengan Peraturan Kepala BATAN No. 14 Tahun 2013 tentang Organisasi dan Tata Kerja BATAN. Pengelolaan limbah radioaktif di BPL meliputi pengangkutan, pengolahan, dan penyimpanan limbah radioaktif. Pengelolaan limbah radioaktif di PTLR juga diatur oleh Peraturan Pemerintah No. 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, di dalam Peraturan Pemerintah tersebut, BATAN dalam hal ini PTLR harus melakukan perekaman yang meliputi inventarisasi zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan dan juga perekaman untuk kegiatan pengolahan, penyimpanan, dan pembuangan zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan. Hasil perekaman ini

wajib dilaporkan ke BAPETEN paling sedikit 1 (satu) kali dalam 6 (enam) bulan, sehingga pengelolaan data limbah di PTLR yang meliputi inventarisasi data limbah memang mutlak diperlukan selain untuk kepentingan teknis dalam pengolahan juga sebagai pelaksanaan dari Peraturan Pemerintah ini.

Pengelolaan limbah di PTLR meliputi pengangkutan limbah dari penghasil limbah, pengolahan sesuai dengan jenis limbahnya, dan penyimpanan di Interim Storage dan Penyimpanan Sementara Limbah Aktivitas Tinggi (PSLAT).

Fasilitas pengolahan limbah radioaktif yang ada di PTLR terdiri dari :

1. Unit Insenerasi yang berfungsi untuk mengolah limbah radioaktif padat terbakar dengan kapasitas 50 kg/jam dan limbah radioaktif cair organik dengan kapasitas 20 liter/jam.
2. Unit Kompaksi yang berfungsi untuk mengolah limbah radioaktif padat terkompaksi dengan kapasitas 14 drum 100 liter terkompaksi dalam 2 drum 200 liter per minggu.
3. Unit Evaporasi yang berfungsi untuk mengolah limbah radioaktif cair anorganik dengan kapasitas 0,75 m<sup>3</sup>/jam.
4. Unit Chemical Treatment yang berfungsi untuk mengolah limbah radioaktif cair korosif dengan kapasitas 0,5 m<sup>3</sup>/jam.

Seluruh limbah yang dikelola oleh PTLR tersimpan di Interim Storage 1 (IS 1), Interim Storage 2 (IS 2), dan Penyimpanan Sementara Limbah Aktivitas Tinggi (PSLAT). Hasil pengolahan limbah yang tersimpan di tempat tersebut terdiri dari :

1. Limbah dalam drum 200 liter hasil proses kompaksi maupun imobilisasi langsung.
2. Limbah dalam shell beton 950 liter hasil proses sementasi limbah konsentrat, limbah semi cair, dan limbah padat terkontaminasi.
3. *Long Term Storage Shield* (LTSS) dalam shell drum 200 L hasil kondisioning radium.
4. Sumber bekas dalam shell beton 950 liter dan 350 liter hasil kondisioning sumber bekas non radium.

Pengolahan dan penyimpanan limbah seperti tersebut di atas memerlukan data limbah yang dapat menggambarkan karakteristik limbahnya. Karakteristik limbah ini sangat penting sebagai acuan dalam menentukan jenis proses yang akan dilakukan juga untuk pemantauan dalam penyimpanannya nanti sehingga aman bagi manusia dan lingkungan.

Pengelolaan data limbah di PTLR dilaksanakan dengan cara melakukan pendataan terhadap limbah yang diterima, diolah, dan disimpan di *Interim Storage* atau di PSLAT, dan kedepannya akan dilakukan pencatatan data limbah radioaktif menggunakan perangkat lunak Radwaste-MIS yang saat ini sedang dikembangkan. Perangkat lunak Radwaste-MIS adalah suatu program komputer yang dirancang untuk membuat data base limbah radioaktif yang dikelola oleh PTLR sesuai dengan jenis limbah yang ada di PTLR.

Kegiatan pencatatan data limbah ini dimulai dari pengelolaan dokumen penerimaan limbah dan dokumen proses pengolahan limbah yang dikelompokkan sehingga dapat dibuat daftar data limbah sesuai dengan jenisnya, kemudian data limbah ini dibuat catatannya dengan program *excell* sebelum nantinya dimasukkan ke dalam perangkat lunak Radwaste-MIS.

Data limbah yang dikelola oleh PTLR berguna untuk :

1. Mendukung kegiatan proses pengolahan limbah yaitu dijadikan acuan untuk tindak lanjut proses pengolahan limbah.
2. Pemantauan kondisi limbah dalam penyimpanan sehingga dapat selalu aman bagi manusia dan lingkungan, mengingat limbah radioaktif yang waktu paruhnya panjang harus disimpan cukup lama maka data limbah ini sangat penting untuk generasi yang akan datang.
3. Bahan untuk pembuatan laporan data limbah radioaktif ke BAPETEN setiap 6 bulan sekali sebagai persyaratan Izin Operasi Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif.
4. Menunjukkan kinerja PTLR sebagai instansi yang memiliki fasilitas instalasi pengolahan limbah radioaktif dalam mengelola limbah radioaktif yang ada di Indonesia.
5. Data limbah ini dapat dijadikan program data base limbah radioaktif secara komputerisasi dengan perangkat lunak Radwaste-MIS sehingga data limbah akan mudah ditelusur dan tahan hingga beberapa generasi ke depan.
6. Data limbah di PTLR tersimpan dalam log book, program excell, dan perangkat lunak Radwaste-MIS sehingga mudah ditelusur dan tahan untuk beberapa generasi ke depan.

Adanya kegiatan ini maka data limbah yang diterima maupun yang diolah dapat direkap setiap triwulan maupun setiap tahun, sehingga informasi data limbah yang dikelola oleh PTLR berupa aktivitas/tanggal, jenis radionuklida, tanggal terima, tanggal pengolahan dan asal limbah akan selalu ter *up date* dengan baik.

## **TATA KERJA**

### **Bahan, Peralatan, dan Waktu Pelaksanaan Kegiatan**

Bahan dan peralatan yang dibutuhkan pada kegiatan ini adalah formulir lembar isian pengelolaan limbah radioaktif yang berisi tentang karakteristik limbah yang dikelola, ATK, komputer, dan printer untuk mendokumentasikan data limbah.

Waktu pelaksanaan kegiatan ini dimulai sejak Januari 2013 sampai dengan Desember 2013.

## **METODA**

Kegiatan ini dilakukan dengan menyiapkan seluruh dokumen data limbah radioaktif yang akan didaftar, mengelompokkan dan membuat daftar data limbah radioaktif berdasarkan bentuk limbah radioaktif, memasukkan daftar limbah radioaktif dalam program *excell* dan mencetaknya sehingga data limbah radioaktif mudah untuk diketahui dan dapat digunakan sebagai acuan apabila akan dilakukan tindak lanjut pengelolaannya.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Data limbah radioaktif yang dikelola PTLR pada tahun 2013 sebagai berikut :

1. Data limbah radioaktif yang diterima PTLR selama tahun 2013 ditunjukkan oleh Tabel 1.
2. Data limbah radioaktif padat yang diolah dengan cara kompaksi dalam drum 200 liter selama tahun 2013 ditunjukkan oleh Tabel 2.
3. Data limbah radioaktif semi cair yang disementasi dalam shell beton 950 liter selama tahun 2013 ditunjukkan oleh Tabel 3.
4. Data hasil kondisioning limbah radioaktif sumber terbungkus selama tahun 2013 ditunjukkan oleh Tabel 4.
5. Rekap data limbah yang dikelola oleh PTLR sampai dengan tahun 2013 ditunjukkan oleh Tabel 5.

Dari Tabel 1. terlihat bahwa selama tahun 2013 PTLR telah menerima limbah radioaktif berupa :

1. Limbah Radioaktif Sumber Terbungkus sejumlah 397 buah.
2. Limbah radioaktif padat (material terkontaminasi) sejumlah 83 drum 100 liter, 1 rantang Pb, 1 kotak Pb, 5 drum 200 liter, 13 kantong plastik, dan 4 buah HEPA filter.
3. Limbah radioaktif cair sejumlah 51 liter.
4. Limbah radioaktif cair sumber bekas 4 cc.
5. Limbah semi cair sejumlah 2600 liter.

Tabel 1. menunjukkan bahwa limbah sumber bekas yang diterima berasal dari industri dan Rumah Sakit sejumlah 289 buah dan 8 buah dari internal BATAN. Sedangkan untuk limbah radioaktif padat (material terkontaminasi) yang diterima dari internal BATAN sejumlah 80 drum 100 liter, 1 rantang Pb, 1 kotak Pb, 5 drum 200 liter, 13 katong plastik, dan 4 buah HEPA filter berasal dari internal Batan, dan 3 drum 100 liter dari industri.

Tabel 2. menunjukkan bahwa selama tahun 2013 telah dilakukan kegiatan pengolahan limbah radioaktif padat dengan cara kompaksi, dimana sejumlah 40 drum 100 liter dikompaksi menjadi 8 drum 200 liter limbah olahan. Seluruh limbah yang diolah berasal dari internal BATAN dan limbah hasil olahan ini disimpan di IS-1.

Tabel 3. menunjukkan bahwa selama tahun 2013 telah dilakukan pengolahan limbah radioaktif semi cair sejumlah 1760 liter dengan cara sementasi langsung di dalam shell beton 950 liter dan menghasilkan 6 shell beton 950 liter limbah olahan. Limbah semi cair ini berasal dari PRSG-BATAN, seluruh limbah olahan ini disimpan di IS-1.

Tabel 4. menunjukkan bahwa selama tahun 2013 telah dilakukan kondisioning limbah radioaktif sumber terbungkus sejumlah 383 buah, dengan perincian dimasukkan dalam shell beton no. SB 16 sejumlah 50 buah, SB 25 sejumlah 17 buah, SB 26 sejumlah 12 buah, di rak IS 2 sejumlah 38 buah, Ir-192 dalam wadah iridium sejumlah 102 buah, dan Ir-192 dalam shell drum sejumlah 164 buah.

Tabel 5. menunjukkan jenis-jenis limbah yang telah dikelola oleh PTLR sampai dengan tahun 2013, seluruh limbah tersebut tersimpan di IS-1 dan IS-2. Dari Tabel 5 juga terlihat bahwa penerimaan limbah radioaktif sumber terbungkus (sumber bekas non radium, radium, dan penangkal petir) dari tahun 2000 s/d 2013 adalah sejumlah 2375 buah dengan penerimaan rata-rata per tahun adalah 167 buah dan grafik penerimaan limbah radioaktif sumber terbungkus ditunjukkan oleh Gambar 1.

Data limbah di PTLR diwujudkan dalam bentuk dokumen lembar isian yang kemudian dimasukkan ke dalam log book dan dibuat data base-nya dengan program *excell*. Seluruh kegiatan ini bertujuan agar data limbah yang dikelola oleh PTLR dapat tersimpan dengan baik dan mudah ditelusur juga tahan sampai beberapa generasi ke depan.

Seluruh data limbah ini bermanfaat untuk tindak lanjut pengolahannya juga untuk pemantauan kondisi limbah di tempat penyimpanan sehingga pengelolaan limbah radioaktif dapat aman dan selamat bagi manusia dan lingkungan.

## KESIMPULAN

1. Data limbah di PTLR harus selalu diperbaharui dan tersimpan dengan baik karena bermanfaat untuk tindak lanjut pengolahan juga untuk memudahkan pemantauan kondisi dan paparan radiasi limbah di tempat penyimpanan sehingga aman dan selamat bagi manusia dan lingkungan.
2. Limbah yang telah dikelola oleh PTLR selama tahun 2013 :
  - Limbah radioaktif yang diterima terdiri dari limbah radioaktif sumber terbungkus sejumlah 397 buah, limbah radioaktif padat (material terkontaminasi) sejumlah 86 drum 100 liter, 1 rantang Pb, dan 1 kotak Pb, limbah radioaktif cair sejumlah 51 liter, limbah radioaktif cair sumber bekas sejumlah 4 cc, dan limbah semi cair sejumlah 2600 liter.
  - Limbah radioaktif yang diolah terdiri dari limbah radioaktif padat dengan cara kompaksi menghasilkan 8 drum 200 liter limbah olahan, dan sementasi limbah radioaktif semi cair menghasilkan 6 shell beton 950 liter limbah olahan.
  - Sumber bekas yang telah dikondisioning sejumlah 383 buah.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Anonim, “Undang-undang No. 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran”
- [2]. Anonim, “Peraturan Pemerintah No. 61 Tahun 2013 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif”
- [3]. Anonim, “Peraturan Kepala BATAN No. 14 Tahun 2013 tentang Organisasi dan Tata Kerja BATAN”
- [4]. Anonim, “www.IAEA.org”
- [5]. AYI MUZIYAWATI, “Prosedur Administrasi Dokumen Pengelolaan Limbah Radioaktif”, No. Dok. : PLR/6/AdL/II/001/01/2006



Lampiran.

**TABEL 1. DATA LIMBAH RADIOAKTIF YANG DITERIMA PTLR PADA TAHUN 2013**

No.	Tanggal Terima	Asal Limbah	Radionuklida	Jenis Limbah	Volume/ Berat	Kemasan/ Nomor	Jumlah
1	14-1-2013	BTPL-PTLR	-	Padat	-	Plastik	13
2	17-1-2013	Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka,	-	Padat	100 liter	Drum 100 lt	3
			Gd-153	Cair	4 liter	Jerigen 5 L / 01	-
			Sm-153 Lu-177	Cair	17 liter	Jerigen 20 L / 02	-
			I-125	Cair	4 liter	Jerigen 5 L / 01	-
			-	Cair	18 liter	Jerigen 20 L / 02	-
3	21-1-2013	PT. Pratita Prama Nugraha	Kr-85	Gas/Sb. Bekas	-	-	2
4	21-1-2013	PT. Pratita Prama Nugraha	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	-	37
5	23-1-2013	PT. NDT Instruments Indonesia	Ir-192	Padat/sb. Bekas	-	-	12
6	28-1-2013	RS. Hasan Sadikin	Co-60	Padat/Sb. Bekas	-	-	1
7	30-1-2- 2013	PT. NDT Instruments Indonesia	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	-	10
8	19-2-2013	PT. Panasonic Lighting Indonesia	Kr-85, Th-232	Padat	-	Drum 100 L	3
9	20-2-2013	PT. NDT Instruments Indonesia	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	Wadah Iridium	15
10	26-2-2013	PT. Mutiara Hexagon	Kr-85	Gas/Sb. Bekas	10 kg	-	1
11	4-3-2013	PT. Dynea Mugi Indonesia	Kr-85	Gas/Sb. Bekas	10 kg	-	1
12	11-3-2013	BRK-PTLR	HgSO <sub>3</sub> , Co, Cs-137	Padat	-	Drum 100 L	2
			-	Cair	-	Jerigen 20 L	
13	13-3-2013	Pusat Reaktor Serba Guna,	-	Resin Bekas	2,6 M <sup>3</sup>	Tangki	
14	14-3-2013	Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi	P-32, I-125	Padat	200 liter	Drum 1	5
			Ir-192	Padat/sb. Bekas		Kontainer	8
			Cs-137	Cair/sb. Bekas	4 cc	Kontainer	
15	20-3-2013	PT. Multi Kharisma Perkasa	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	Wadah Iridium	3
16	22-3-2013	PT. Argha Karya Prima Industry	Kr-85	Padat/Sb. Bekas	-	-	1
			Pm-147	Padat/Sb. Bekas	-	-	1
17	5-4-2013	PT. Latinusa Tbk	Am-241	Padat/Sb. Bekas	-	-	2
18	11-4-2013	PT. Pelita Cengkareng	Kr-85	Padat/Sb. Bekas	-	-	2
19	12-4-2013	PT. Hans Qkas Inspektindo	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	Wadah Iridium	1
20	16-4-2013	BPL-PTLR	-	Padat	-	Drum 100 L	2

No.	Tanggal Terima	Asal Limbah	Radionuklida	Jenis Limbah	Volume/ Berat	Kemasan/ Nomor	Jumlah
21	18-4-2013	Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka	-	Padat	-	Drum 100 L	4
23	30-4-2013	PT. Pratita Prama Nugraha	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	Drum 100 L / 5 (Biru)	29
24	15-5-2013	PT. Polychem Indonesia, Tbk	Co-60	Padat/Sb. Bekas	-	-	2
25	24-5-2013	PT. Pratita Prama Nugraha	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	Drum 100 L / PPN 001	48
26	3-6-2013	PT. Indah Kiat Pulp & Paper, Tbk - Perawang	Cs-137	Padat/Sb. Bekas	-	-	46
27	14-6-2013	PT. Indorama Polypet Indonesia	Co-60	Padat/Sb. Bekas	100 kg	-	2
28	2-7-2013	PT. Pabrik Kertas Tjiwi Kimia, Tbk	Pm-147	Padat/Sb. Bekas	-	-	4
29	15-7-2013	PT. Global Solution Teknologi Aseana	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	Wadah Iridium	8
30	23-7-2013	PT. Wiraswasta Gemilang Indonesia	Cd-109	Padat/Sb. Bekas	-	-	2
31	23-7-2013	PT. Spektra Megah Semesta	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	Wadah Iridium	25
32	24-7-2013	PT. Semen Bosowa Maros	Fe-55	Padat/Sb. Bekas	-	-	1
33	20-8-2013	Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan	Am-241 Be	Padat/Sb. Bekas	-	-	7
34	22-8-2013	Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka - BATAN	-	Padat Terbakar	100 liter	Drum 100 liter	3
35	23-8-2013	PT. Pertamina (persero) RU VI	Fe-55	Padat/Sb. Bekas	-	-	4
36	3-9-2013	PT. Global Solution Technology Aseana	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	Wadah Iridium	7
37	6-9-2013	PT. NDT Instruments Indonesia	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-		17
38	6-9-2013	Direktorat Inspeksi Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif - Bapeten	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	Wadah Iridium	3
39	13-9-2013	PT. Indonesia Power Unit Bisnis Pembangkitan Suralaya	Cf-252	Padat/Sb. Bekas	-	-	3
40	23-9-2013	PT. Global Solution Technology Aseana	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	Wadah Iridium	9
41	2-10-2013	PT. Indah Kiat Pulp & Paper, Tbk – Serang	Pm-147	Padat/Sb. Bekas	-	-	19

No.	Tanggal Terima	Asal Limbah	Radionuklida	Jenis Limbah	Volume/ Berat	Kemasan/ Nomor	Jumlah
42	10-10-2013	PTBN - Badan Tenaga Nuklir Nasional	-	Padat	100	Drum 100 L	27
			-	Padat	100	Plastik	4
43	11-10-2013	PT. CAST Inspection and Engineering	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	-	1
44	31-10-2013	PT. Pratita Prama Nugraha	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	-	9
45	11-11-2013	PT. Nobel Industries	Am-241	Padat/Sb. Bekas	-	-	7
46	14-11-2013	PT. Global Solution Technology Aseana	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	Wadah Iridium	12
47	19-11-2013	Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka - BATAN	-	Padat	100 liter	Drum 100 L	7
			Au-198	Cair	4 liter	Drum 100 L	-
			ttd	Cair	4 liter		-
48	19-11-2013	Limbah temuan di TPA (sampah) KNS	-	Padat	-	Rantang Pb	1
49	20-11-2013	Limbah temuan di TPA (sampah) KNS	-	Padat	100 lt.	Drum 100 L	5
			-	Padat	-	Kotak Pb	1
50	21-11-2013	Limbah temuan di TPA (sampah) KNS	-	Padat	100 lt.	Drum 100 L	4
51	5-12-2013	Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka - BATAN	-	Padat	100 liter	Drum 100 L	3
52	13-12-2013	Direktorat Inspeksi Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif - Bapeten	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	Wadah Iridium	2
53	16-12-2013	RSUD Dr. Saiful Anwar	Cs-137	Padat/Sb. Bekas	-	-	9
54	19-12-2013	PT. Pratita Prama Nugraha	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	-	10
55	24-12-2013	PT. Global Solution Technology Aseana	Ir-192	Padat/Sb. Bekas	-	Wadah Iridium	14

**TABEL 2. DATA LIMBAH RADIOAKTIF PADAT YANG DIOLAH DENGAN CARA KOMPAKSI DALAM DRUM 200 LITER TAHUN 2013**

No.	Asal Limbah	Radionuklida	Aktivitas	Tanggal Penerimaan	Tanggal Pengolahan	Metoda Pengolahan	No. Drum 100 lt	No. Drum 200 lt	Paparan Setelah Diolah ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ )	
									Kontak	Jarak 1m
1	PRSG, PTBN, PRR	Kain, plastik, kertas, jas lab	-	16-4-2013, 17-12-2013, 18-3-2013, 30-11-2007, 16-4-2013	10-9-2013	Kompaksi	1811, 1799, 1812, 1785, 1819	952	0,8	0,35
2	PTLR, PTBN	Plastik, kertas, kain, jas lab	-	13-3-2013 18-9-2008 7-5-2013 30-11-2007	11-9-2013	Kompaksi	1820, 1801, 1798, 1784	953	0,8	0,35
3	PTNBR, PTLR, PRR, PRSG	Kaca, kaleng, plastik, kertas, kain, shoe cover	-	15-8-2011 10-5-2013 18-3-2013 21-1-2008	11-9-2013	Kompaksi	1821, 1805, 1808, 1813, 1806	954	0,8	0,35
4	PRR, PTLR, PTBN	Jarum, gelas, kaca, shoe cover, kertas, kain, plastik, Al foill	-	18-4-2013 10-5-2013 18-9-2008 20-8-2007 20-2-2013	11-9-2013	Kompaksi	1815, 1807, 1783, 1795, 1814	955	0,8	0,35
5	PTBN, PRR, PTLR, PRSG	Kertas, plastik, jarum, gelas, shoe cover, Al foil	-	5-11-2008 18-11-2013 10-5-2013 21-1-2008 7-2-2013	11-9-2013	Kompaksi	1816, 1789, 1809, 1817, 1810, 1776	956	0,8	0,35
6	PTBN	Kertas, plastik, kain	-	30-11-2007 3-12-2008 18-9-2008 17-12-2008 18-10-2008	12-9-2013	Kompaksi	1787, 1790, 1791, 1793, 1780	957	0,8	0,35
7	PTBN, PRSG	Kain, plastik, kertas	-	12-6-2007 13-3-2013 5-11-2008 17-12-2008 30-1-2007	12-9-2013	Kompaksi	1794, 1792, 1788, 1778, 1782	958	0,8	0,35
8	PTBN, PRSG	Kertas, plastik, kain, jarum, shoe cover, kaca	-	10-4-2007 18-10-2008 5-11-2008 21-1-2008 13-3-2013	12-9-2013	Kompaksi	1779, 1777, 1786, 1781, 1818	959	0,8	0,35

**TABEL 3. DATA LIMBAH RADIOAKTIF SEMI CAIR YANG DISEMENTASI DALAM SHELL BETON 950 LITER TAHUN 2013**

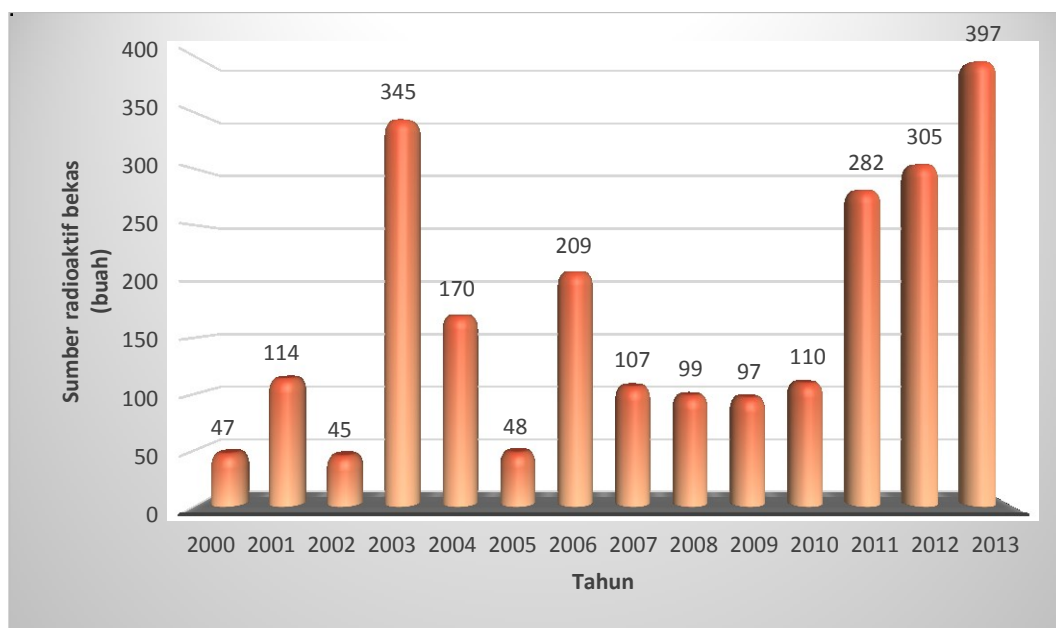
No.	Asal Limbah	Tanggal Penerimaan	Tanggal Pengolahan	Metoda Pengolahan	No. Shell	Paparan ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ )		Keterangan
						Kontak	Jarak 1 m	
1	PRSG - BATAN	13-3-2013	6-11-2013	Sementasi	90 C	9,42	2,41	Jml = 260 lt.
2	PRSG - BATAN	13-3-2013	7-11-2013	Sementasi	91 C	9,29	2,49	Jml = 300 lt.
3	PRSG - BATAN	13-3-2013	14-11-2013	Sementasi	92 C	7,49	2,41	Jml = 300 lt.
4	PRSG - BATAN	13-3-2013	18-11-2013	Sementasi	93 C	12,9	4,63	Jml = 300 lt.
5	PRSG - BATAN	13-3-2013	19-11-2013	Sementasi	94 C	11,7	4,30	Jml = 300 lt.
6	PRSG - BATAN	13-3-2013	20-11-2013	Sementasi	95 C	8,93	2,60	Jml = 300 lt.

**TABEL 4. DATA HASIL KONDISIONING SUMBER BEKAS SELAMA TAHUN 2013**

No.	Tanggal Kondisioning	No. Shell Beton/ Lokasi Penyimpanan	Radionuklida	Jumlah (buah)	Keterangan
1	11-11-2013	SB-16	Kr-85, Pm-147, Cd-109, Fe-55, Am-241, Ge-68	50	Sumber bekas dimasukkan ke dalam shell 950L dan ditempatkan di IS-1
2	13-11-2013	SB-25	Cs-137, Co-60	17	
3	14-11-2013	SB-26	Cs-137	12	
<b>Jumlah (no. 1 s/d no. 3)</b>				<b>79</b>	
5	24-7-2011	Wadah Iridium / IS-2	Ir-192	102	sumber bekas yang disimpan di IS 2 yang tidak dimasukkan dalam shell beton
6	14-7-2011	Drum / IS-2	Ir-192	164	
7	14-7-2011	Rak / IS-2	Co-60, Cs-137, Am-241Be, Cf-252	38	
<b>Jumlah (no. 5 s/d no. 7)</b>				<b>304</b>	

**TABEL 5. REKAPAN HASIL PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF DI PTLR SAMPAI DENGAN TAHUN 2013**

Hasil Pengolahan	Tahun														JML
	1988 s/d 2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
Limbah konsentrat (shell 950 lt.)	16		1	2											19
Limbah semi cair/resin bekas (shell 950 lt.)	28			7	12	2	11	4	4		11	4	6	6	95
Limbah padat tersementasi (drum 200 lt.)	259		20	8	18	39	7		149	13			64		577
Limbah padat terkompaksi (drum 200 lt.)	121	30	56	28	6	12	30	8	3		16	16	20	8	354
Sumber bekas radium (LTSS dalam shell drum 200 lt.)		3			4	4			3						14
Sumber bekas non Radium (Co-60, Sr-90, Kr-85, dll)	24	94	40	78	42	48	164	68	99	97	106	256	305	397	1818
Penangkal petir	23	20	5	12	1		1	1			4	6			73
Jarum Radium				255	127		44	38				20			484
Limbah Padat disementasi (shell beton 950L)										4					4



Gambar 1. Grafik pengelolaan limbah radioaktif sumber terbungkus tahun 2000 s/d 2013



## PERAWATAN UNIT PEMAMPATAN DAN PEMADATAN UNTUK MENJAMIN OPTIMALISASI FASILITAS PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF PADAT

**Bung Tomo**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**PERAWATAN UNIT PEMAMPATAN DAN PEMADATAN UNTUK MENJAMIN OPTIMALISASI FASILITAS PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF PADAT.** Telah dilakukan perawatan pada fasilitas pengolahan limbah radioaktif padat meliputi; unit kompaksi, unit produksi *slurry cement*, meja getar dan unit *settler*. Metode yang digunakan adalah *preventive* dan *curative maintenance*. Kegiatan perawatan yang berdasarkan penerapan standar manajemen mutu yang menghasilkan rekaman lengkap meliputi; perencanaan, persiapan, pelaksanaan kegiatan, pengolahan data, pengelolaan dokumen, pengelolaan rekaman dan pelaporan. Semua data dan rekaman akan menjadi dokumen yang tertelusur sehingga akan membentuk riwayat alat, pada peralatan proses pengolahan limbah padat. Tujuan dilakukannya perawatan adalah untuk lebih mengoptimalkan peralatan proses dalam rangka menunjang proses kegiatan pengolahan limbah radioaktif. Perawatan secara rutin dapat lebih menguntungkan yaitu mesin dan peralatan operasi dapat dipergunakan dalam waktu yang relatif lebih panjang, menjaga kualitas operasi pada tingkat yang tepat sesuai dengan yang direncanakan, menekan biaya perawatan bagian mesin dan peralatan operasi dan menjaga keselamatan para pekerja.

Kata kunci : perawatan, optimalisasi

### ABSTRACT

*MAINTENANCE UNIT AND COMPACTION OPTIMIZATION TO ENSURE SOLID RADIOACTIVE WASTE TREATMENT FACILITY . Has been done on the treatment of solid radioactive waste treatment facilities include; compacting unit , slurry cement production unit , vibrating table and settler unit . The method used is a preventive and curative maintenance . Maintenance activities are based on the application of quality management standards that will produce a complete record covers ; planning , preparation , implementation , data processing , document management , records management and reporting . All data and records will be a document that is traceable so that it will form a history of the tool , the solid waste processing equipment . The purpose of treatment is to further optimize the process equipment in order to support the process of radioactive waste treatment activities . Routine maintenance can be more profitable operation of machinery and equipment that can be used in a relatively longer time , keep the quality of operations at the right level as planned , reduce the cost of machine parts and equipment maintenance operations and maintain the safety of the workers .*

*Keywords : maintenance , optimization*

### PENDAHULUAN

Fasilitas pengolahan limbah radioaktif padat di Pusat Teknologi limbah radioaktif meliputi unit pemampatan, unit pemadatan, unit pembuatan adonan semen, unit penganap dan pengendap serta unit insenerator. Unit yang paling sederhana untuk pengolahan limbah radioaktif adalah unit pemampatan dan pemadatan. Unit pemampatan dan pemadatan beroperasi sejak tahun 1988, hasil olah limbah sejumlah 959 drum 200 liter. ini menunjukkan bahwa alat selalu dalam kondisi optimal. Usia dari unit pemampatan dan pemadatan sudah



mencapai 26 tahun, untuk mengkondisikan agar alat tetap dapat beroperasi optimal diperlukan perawatan secara terus menerus. Dengan adanya kegiatan perawatan yang dilakukan secara kontinyu sangat menunjang kelancaran kegiatan pengolahan limbah radioaktif.

Tindakan perawatan peralatan merupakan hal yang sangat penting dalam pengoperasian suatu sistem atau peralatan di instalasi nuklir. Kegiatan perawatan pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) dimaksudkan untuk mempertahankan unjuk kerja alat sehingga diharapkan dapat membantu kelancaran proses operasi pengolahan limbah radioaktif dan efisiensi proses. Selain itu perawatan diharapkan agar peralatan dapat beroperasi secara optimal dan tahan lebih lama. Dengan adanya perawatan yang baik dan teratur dapat mengurangi terjadinya kerusakan yang mengakibatkan peralatan tidak dapat beroperasi dalam jangka waktu lama serta dapat berdampak terjadinya kecelakaan. Kegiatan *maintenance* peralatan atau fasilitas yang ada di instalasi pemerintah pada umumnya masih kurang, karena kegiatannya cukup kompleks dan bukan hanya dilakukan sekali waktu saja. Hasil dari *maintenance* tidak dapat dirasakan secara langsung saat melakukan perawatan, namun hasilnya dapat dirasakan pada masa yang akan datang. Apabila *maintenance* tidak dilakukan secara teratur maka mesin-mesin atau fasilitas pendukung lain akan mengalami kerusakan, dan akhirnya akan berakibat fatal sehingga merugikan instansi tersebut. Kurang diperhatikannya *maintenance* diantaranya disebabkan oleh banyaknya dana yang dibutuhkan, dan rumitnya tugas *maintenance*. Namun bagi kegiatan operasi perusahaan, *maintenance* sudah menjadi dwi fungsi, yaitu pelaksanaan dan kesadaran untuk melakukan perawatan terhadap fasilitas-fasilitas produksi. *Maintenance* adalah suatu kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi yang memuaskan sesuai dengan yang direncanakan. Tujuan diadakannya *maintenance* adalah memungkinkan tercapainya jumlah produk melalui operasi fasilitas secara tepat, memaksimalkan umur ekonomis peralatan/fasilitas produksi, memaksimalkan kapasitas produksi dan peralatan, meminimalkan frekuensi kerusakan dan kegagalan proses operasi serta menjaga keamanan peralatan.

Keuntungan yang diperoleh dengan melakukan perawatan antara lain ; agar mesin dan peralatan operasi dapat dipergunakan dalam waktu yang relatif lebih panjang atau lebih optimal, pelaksanaan proses operasi dalam perusahaan berjalan dengan lancar, menjaga kualitas pada tingkat yang tepat sesuai dengan yang direncanakan, menekan biaya perawatan bagian mesin dan peralatan operasi serta menjaga keselamatan para pekerja <sup>[1]</sup>.

Suatu perencanaan kegiatan pengolahan dapat gagal bila ada alat yang yang digunakan rusak atau tidak beroperasi. Oleh karena itu, perencanaan perawatan (*maintenance*) mesin merupakan salah satu kegiatan penting dalam operasi kegiatan pengolahan. Disamping itu, alat yang selalu dirawat akan mengurangi penyimpangan produk. Dalam upaya mencapai efektivitas perawatan mesin dan seluruh fasilitas pengolahan secara optimum maka kegiatan *maintenance* dipilah menjadi 4 kegiatan pokok, yakni sebagai berikut :

- a. *Mechanical maintenance* (perawatan mesin) adalah kegiatan perawatan

mesin-mesin dengan cara pemeriksaan, pelumasan, serta reparasi atas kerusakan-kerusakan yang terjadi.

- b. *Electrical maintenance* (perawatan instrumen) adalah kegiatan perawatan alat-alat ukur, seperti generator, motor *controller*, *storage batteries and charger*, *transformer*, *single/three phase AC*, induction motor, dan lain – lain.
- c. *Instrument maintenance* (perawatan instrumen) adalah kegiatan perawatan alat-alat ukur, seperti alat suhu pengontrol, alat pengukur getaran, dan sebagainya.
- d. *Electric power maintenance* (perawatan pembangkit listrik) adalah kegiatan perawatan pembangkit tenaga listrik, seperti air compressor, *inert gas generator* dan *water treatment*.<sup>[2]</sup>

Kegiatan perawatan dilakukan guna menjamin optimalisasi unit pemampatan dan unit pemadatan dalam Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR). Metode yang digunakan dalam penerapan sistem jaminan mutu ini adalah dengan *Preventive Maintenance* dan *Curative Maintenance*. *Preventive Maintenance* disebut juga tindakan pencegahan yaitu kegiatan perawatan dan perawatan untuk mencegah kerusakan yang tak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang menyebabkan fasilitas operasi mengalami ketidaksesuaian. Perawatan preventif apabila direncanakan dengan baik dapat mencegah terjadinya kegagalan atau kerusakan. Kegiatan *preventive maintenance* bertujuan untuk mengurangi kemungkinan kondisi alat cepat rusak dan kondisi mesin selalu siap pakai. Kegiatan perawatan dan perawatan untuk mencegah timbulnya kerusakan – kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang dapat menyebabkan kerusakan yang tidak terduga. Kegiatan perawatan dan perawatan dapat digunakan untuk menemukan kondisi yang dapat menyebabkan fasilitas pengolahan mengalami kerusakan pada waktu digunakan. Dengan demikian fasilitas pengolahan limbah radioaktif padat mendapatkan *preventive maintenance* sehingga akan lebih optimal dalam upaya kegiatan pengolahan limbah pradioaktif padat. *Curative maintenance* adalah kegiatan memperbaiki peralatan akibat dari kerusakan yang terjadi selama proses berlangsung tanpa ada indikasi – indikasi sebelumnya<sup>[3]</sup>.

Gangguan mekanik kemungkinan besar dapat terjadi pada alat kompaksi, alat pembuatan adonan semen, meja getar dan pompa *settler*, yang disebabkan dari kondisi alat maupun dari cara pengoperasian. Dari kondisi alat dapat disebabkan karena tidak dipenuhinya spesifikasi alat karena keterbatasan atau produk yang sama sudah tidak keluar lagi. Dari faktor perawatan juga mempengaruhi terhadap kondisi alat, misalnya saja pemeriksaan rutin yang harus dilakukan terhadap alat yang ada, namun karena kemungkinan ada kelalaian sehingga hal tersebut tidak tercapai akibatnya terjadi kerusakan ataupun gangguan. Sebelum alat akan rusak tentunya ada gejala – gejala yang bisa dilihat secara langsung maupun melalui gejala – gejala yang lain. Kelainan – kelainan dari alat dapat diatasi dengan mengetahui penyebab-penyebabnya, akan tetapi jika tidak segera diambil tindakan perbaikan akan menyebabkan kerusakan pada alat semakin parah. Untuk mendukung proses kegiatan *Preventive Maintenance* dan

*Curative Maintenance* perlu dilakukan *schedule* (jadwal) perawatan secara berkala, sehingga diperoleh proses pengolahan dapat berjalan lancar dan terjamin<sup>[4]</sup>.

## TATA KERJA

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah kain majun, *silicon grease* untuk melumasi pipa *peristaltic* dan bagian motor yang berputar. Peralatan yang dipergunakan untuk mendukung program perawatan meliputi : Buku SOP Teknis masing – masing peralatan, *toolset*, *tang ampere*, *tachometer* digunakan untuk mengukur putaran motor, *Multitester* untuk mengukur tegangan, arus listrik dan tahanan. *Vibra* meter digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi pada motor dan pompa, *Inviro* meter digunakan untuk mengukur tingkat kebisingan alat, kuat penerangan lampu dan tingkat kelembaban udara (*Relatife Humidity*).

Alat yang akan dilakukan kegiatan perawatan adalah

- a. Unit kompaksi yang terdiri dari : Satu unit motor hidraulik, dua buah batang *shaft* piston kompaksi, dua buah batang *shaft* penuntun jaket kompaksi, semua unit *coupling* saluran unit hidraulik.
- b. Unit produksi *slurry cement* yang terdiri dari : motor pengaduk *matriks* semen, motor pompa peristaltik.
- c. Unit meja getar yang digetarkan oleh satu buah motor penggetar.
- d. Unit pengepang dan pengendap yang mempunyai satu buah motor peristaltik.

Pelaksanaan kegiatan perawatan dilakukan di ruang unit kompaksi dan unit imobilisasi R 32003, Kegiatan perawatan dilaksanakan pada saat semua peralatan beroperasi tanpa beban. Kondisi semua sistim penunjang harus beroperasi normal yang meliputi sistim *Off Gas*, *service water*, dan *compressed air*.

### Metode

#### a. Persiapan Perawatan

Untuk memperoleh suatu hasil yang optimum dalam melaksanakan perawatan maka diperlukan standar baku mutu yang sesuai dalam pelaksanaan kegiatan perawatan. Menyiapkan data dukung mengenai riwayat mesin, menyiapkan form rekaman yang diperlukan. Menyiapkan *Standard Operating Procedures* (SOP) teknis untuk perawatan masing – masing peralatan.

#### b. Pengukuran besaran fisik komponen alat pada unit kompaksi

Melakukan pengukuran pada unit kompaksi yang terdiri dari pengukuran putaran motor hidraulik dengan menggunakan alat *tachometer*. Pengukuran tegangan listrik, arus listrik yang menyuplai seluruh peralatan, pengukuran tekanan kerja unit hidraulik pada saat piston menekan maksimal dan pada saat piston naik. Pengukuran tekanan kerja pada saat jaket kompaksi turun dan pada saat jaket naik. Pengukuran suhu minyak pelumas yang dan juga pemeriksaan

terhadap volume minyak pelumas. Temperatur minyak pelumas pada saat operasi tidak melebihi 50 °C. Pemeriksaan dan pembersihan terhadap filter minyak pelumas untuk menjamin kondisi yang bersih dari minyak pelumas yang digunakan. Penggantian filter minyak pelumas dilakukan sekali dalam setahun. Pemeriksaan terhadap *internal leaks* pada seluruh *coupling flens* (sambungan) slang hidroulik.

c. Pengukuran besaran fisik komponen unit produksi *slurry cement*

Unit produksi *slurry cement* terdiri dari motor pengaduk M 32001, motor pompa peristaltik yang digunakan untuk memindahkan *matriks cement* M 3202. Pengukuran putaran pada motor dilakukan untuk mengontrol tegangan dan arus listrik yang masuk pada motor. Tegangan dan arus listrik yang masuk ke motor harus sesuai standar, tegangan motor motor 3 *phase* adalah 380 Volt, hal ini dimaksudkan agar motor terhindar dari kerusakan. Jika tegangan tidak terpenuhi akan mengakibatkan putaran motor menjadi rendah atau turun sehingga mengakibatkan temperatur motor naik dan lama kelamaan bisa terbakar. Pengamatan putaran motor diukur menggunakan *tachometer*. Tutup motor dibuka dengan mengendorkan baut yang terpasang menggunakan kunci ring 10 untuk motor *mixer* XM 32001 dan kunci ring 8 untuk motor pompa *slurry* XM 3202. Kipas pendingin motor yang dipasang pada as motor, sehingga bisa melakukan pengukuran putaran motor. Pengamatan putaran motor dilakukan pada motor pengaduk adonan semen *mixer* XM 32001, pompa *slurry* XM 32021. Pada pompa peristaltik yang digunakan untuk memindahkan adonan semen mempunyai dua kecepatan yaitu kecepatan pemompaan 0,8 m<sup>3</sup> dan kecepatan 0,4 m<sup>3</sup> sehingga pengamatan kecepatan motor dilakukan pada dua kecepatan yang berbeda.

d. Pengukuran besaran fisik komponen unit meja getar

Motor pada meja getar yang dilengkapi dengan sistim pembebanan pada as motor sehingga mengakibatkan motor bergetar. Pengukuran tingkat kebisingan pada motor – motor dan alat meja getar menggunakan *invivo* meter, Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kebisingan alat yaitu dengan membandingkan nilai batas ambang yang diijinkan sesuai dengan Keputusan Menteri Tenaga kerja Nomor : KEP-51/MEN/1999, tanggal 16 April 1999 Pasal 3, tentang nilai kebisingan dalam suatu ruangan yang ditimbulkan dari proses produksi dan atau alat – alat kerja yang pada tingkat tertentu dapat menimbulkan gangguan pendengaran <sup>[5]</sup>.

e. Pengukuran besaran fisik komponen unit pegenap dan pengendap

Unit pegenap dan pengendap adalah suatu tempat penampungan yang berupa bak beton berukuran 2,8 m x 1,5 m x 0,8 m. Untuk memisahkan beningan dan endapan semen bak ini dibagi menjadi dua bagian. Bak ukuran ukuran 0,8 m x 1,5 m x 0,8 m adalah sebagai tempat untuk menampungan beningan air. Air beningan ini untuk selanjutnya dipompakan ke tangki *doubtfull effluent*. Pompa yang digunakan untuk memindahkan adalah jenis pompa peristaltik XM 32022.

Pada motor pompa peristaltik untuk perawatannya selalu dilakukan pengukuran terhadap putaran motor, arus yang masuk pada motor, tingkat kebisingan, dan getaran pada as motor.

f. Pencatatan data

Semua data hasil pengukuran dicatat dalam form rekaman dan *logbook* sebagai data dukung dan *backup* rekaman. Form rekaman berupa *checklist* atau form isian sesuai dengan SOP teknis pada masing – masing alat. Dalam pelaksanaan kegiatan perawatan dilakukan mingguan, bulanan, triwulanan dan tahunan. Semua rekaman menjadi dokumen untuk dilakukan pengolahan data dan pembuatan laporan. Dari data rekaman jika terjadi ketidaksesuaian maka akan segera menindak lanjuti untuk menginformasikan ke Bidang terkait untuk segera memperbaiki. Laporan dibuat kemudian disampaikan ke Kepala Bidang dan dibuat arsip Sub Bidang.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam rangka mendukung optimalisasi peralatan proses pengolahan limbah radioaktif padat perlu dilakukan perawatan peralatan proses untuk menjamin kondisi alat yang optimal. Dalam melakukan proses perawatan dilakukan dengan menerapkan sistim jaminan mutu yang diharapkan sehingga akan dihasilkan peralatan yang terkoneksi dengan baik untuk mendukung kegiatan pengolahn limbah radioaktif. Sistim jaminan mutu diterapkan pada semua pekerjaan dan dilakukan atas dasar SOP teknis perawatan masing – masing alat. Pekerjaan yang didasarkan pada sistem manajemen jaminan mutu akan mengakibatkan proses pekerjaan yang memerlukan sistim administrasi terlebih dahulu, sehingga kalau belum terbiasa akan terlihat rumit. Kegiatan perawatan yang mengacu pada penerapan sistim manajemen jaminan mutu akan dimulai dengan perencanaan kegiatan, penyiapan peralatan, pelaksanaan kegiatan, pengolahan data, evaluasi data, pengelolaan rekaman, pengelolaan data, pengelolaan dokumen dan pelaporan. Pengukuran Tegangan masuk pada panel induk alat kompaksi dan imobilisasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran besaran fisik untuk suplai arus listrik pada unit kompaksi dan imobilisasi

No.	Komponen	Besaran Fisika	Hasil Pengukuran	Keterangan
1.	Panel Utama I 32001	Tegangan RST 220 V	218,2 – 220 V	Batas normal
		380 V	377,5 – 380 V	Batas normal
2.	Panel Kompaksi I 32003	Tegangan RST 220 V	217,6 – 220 V	Batas normal
		380 V	377,3 – 380 V	Batas normal

No.	Komponen	Besaran Fisika	Hasil Pengukuran	Keterangan
3.	Panel Imobilisasi I 32002	Tegangan RST		
		220 V	217,4 – 220 V	Batas normal
		380 V	377,6 – 380 V	Batas normal

Pada Tabel 1. Menunjukkan bahwa hasil pengukuran terhadap suplai tegangan listrik dari PLN yang diperlukan untuk motor penggerak dalam batas yang diijinkan sesuai dengan *checklist* pada form rekaman. Tegangan dan arus listrik yang masuk ke motor sesuai dengan tegangan dan arus di iijinkan, tegangan motor 2 *phase* adalah 220 Volt dan motor 3 *phase* adalah 380 Volt. Kondisi arus dan daya listrik yang selalu terkontrol akan mengakibatkan terjaminnya kerja motor optimal, sehingga akan dihasilkan putaran yang maksimal. Dengan demikian motor akan selalu terkoneksi dengan baik dalam melayani proses pengolahan limbah radioaktif.

#### 1. Perawatan unit kompaksi

Pada proses reduksi volume drum 100 liter diperlukan gaya tekan unit hidrolik sampai 600 kN. Sistem hidrolik adalah sistem yang menggunakan fluida sebagai media penggerak untuk menghasilkan suatu tekanan, fluida dipindahkan ke unit hidrolik dengan perantara sebuah pompa. Jenis motor yang digunakan pada pompa adalah *motor syncrone* dengan type FLS 132 M dengan daya 7,5 kW, Arus 16 Ampere, putaran 1450 rpm, tegangan 380 V, Frekuensi 50 Hz. gaya tekan yang dihasilkan 100 – 600 kN. Alat kompaksi dilengkapi dengan seperangkat kerangka dengan penguat bagian dasar, seperangkat jaket/selubung silindris tegak kompaksi, seperangkat piston kompaksi, lori untuk transfer drum 200 liter, seperangkat unit hidrolik dan seperangkat saluran listrik. Alat kompaksi dilengkapi dengan sistem VAC *off gas* untuk mencegah terjadinya resiko kontaminasi. Pada Tabel 2 ditunjukkan bahwa pemeriksaan terhadap komponen minyak pelumas semua masih dalam kondisi yang baik, level volume minyak pelumas masih dalam batas yang diijinkan. Pemeriksaan terhadap suhu minyak pelumas pada saat dilakukan operasi normal mencapai 30°C, sedangkan batas yang diijinkan adalah kurang dari 85°C, sehingga temperatur kerja minyak pelumas masih dalam batas yang diijinkan. Pengukuran terhadap motor unit hidrolik dengan type FLS 132 M dengan daya 7,5 kW, Arus 16 Ampere, putaran 1500 rpm. Hasil pengukuran putaran motor 1494 rpm, ini menunjukkan bahwa kondisi motor hidrolik masih dalam kondisi yang baik. Pengukuran terhadap tegangan dan arus yang masuk ke motor adalah 379 V dan arus pada masing – masing fase RS, ST, RT adalah 7,79, 8,96, 7,5 A, hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan dan arus yang masuk ke motor semua masih dalam batas normal. Dengan melakukan tindakan perawatan secara rutin terhadap unit kompaksi akan berdampak yang baik untuk memaksimalkan umur ekonomis peralatan dan meminimalkan frekuensi kerusakan dan kegagalan proses operasi.

Tabel 2. Hasil pengukuran besaran fisik untuk komponen unit kompaksi

NO	PEMERIKSAAN	KONDISI AWAL/ STANDAR		TINDAKAN	KONDISI AKHIR/ PELAKSANAAN	
1.	Unit & lingkungan	Kebersihan & kerapihan	Sesuai	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Check</i> dan bersihkan sub-unit dari debu dan kotoran.</li> </ul>	Kebersihan & kerapihan	ok
2.	Level & kondisi Oli Mesin Hidroulik	Level	Penuh	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pastikan isi oli, bila kurang tambahkan.</li> <li>• Pastikan oli tidak encer dan atau keruh/kotor.</li> <li>• Periksa serta catat penunjukan suhu dan tekanan oli.</li> </ul>	Level	kurang
		Kekentalan	Sesuai		Kekentalan	ok
		Temperatur oli hidrolitik	<75 °C		Temperatur	30 °C
		Tekanan	10-191 psi		Tekanan	10 – 190 Psi
3.	Motor pompa Hidraulik (7,5 kW)	Putaran motor (rpm)	1500	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Periksa serta catat penunjukan rpm</li> <li>• Periksa serta catat suhu pada bodi Motor, Pompa</li> <li>• Periksa dan catat kebisingan pada motor pompa hidrolitik</li> <li>• Periksa dan catat Arus motor</li> <li>• Periksa kesesuaian kopling</li> </ul>	Putaran motor (rpm)	1494 rpm
		Temperatur <i>bearing</i>	<75 °C		Temperatur <i>bearing</i>	32 °C
		Kebisingan (dB)	< 80 dB		Kebisingan (dB)	86,1 dB
		Arus	16 Amp.		Arus	7,79, 8,96, 7,5 A
		Kopling	sesuai		Kopling	sesuai

2. Perawatan unit produksi *slurry cement*, meja getar dan penganap pengendap.

Alat pembuatan adonan semen dilengkapi dengan sebuah motor pengaduk dengan daya 11 kW, 1500 rpm, 380 V, 22 Amp. Pada Tabel 3. pengukuran putaran motor *mixer* XM 32001 diperoleh data pengamatan tanpa beban rata-rata 1497 rpm, ini menunjukkan bahwa putaran motor masih baik karena dalam batas standar yang diijinkan. Pompa *slurry* XM 32021 adalah pompa peristaltik untuk memindahkan matriks semen, pengukuran putaran motor dilakukan pada kecepatan aliran 0,8 m<sup>3</sup>/jam rata-rata adalah 1475 rpm. Nilai tertera pada *name plate* 1500 rpm, putaran motor masih baik karena masih dalam batas yang diijinkan. Pada kecepatan aliran 0,4 m<sup>3</sup>/jam rata-rata adalah 103,8 Rpm nilai tertera pada *name plate* 143 rpm. nilai putaran ini nilai ini masih dalam batas yang diijinkan. Pompa *supernatant* XM 32022 pada pompa *supernatant* putaran motor terukur rata – rata 1481 rpm, nilai tertera pada *name plate* 1500 ini menunjukkan bahwa motor pompa *slurry* dan pompa *supernatant* masih dalam kondisi yang baik sehingga perlu dilakukan perawatan yang terus menerus.

Kebisingan adalah semua suara yang tidak dikehendaki yang bersumber dari alat – alat proses produksi dan atau alat – alat kerja yang pada tingkat tertentu dapat menimbulkan gangguan pendengaran. Meja getar dalam operasinya menimbulkan suara yang bising, tingkat kebisingan disebabkan karena faktor alat yang berfungsi untuk menggetar drum 200 liter berisi limbah yang mempunyai massa sampai 450 kg. Jenis motor yang dipakai pada meja getar adalah *motor synchrone* (M 32003), *type* AR07380, putaran 1440 rpm, daya 0,9 kW, 3 fase. Standar tingkat kebisingan sesuai dengan Keputusan Menteri Tenaga kerja Nomor : KEP-51/MEN/1999, tanggal 16 April 1999 tentang nilai kebisingan pada pasal 3 menyebutkan Nilai Ambang Batas (NAB). Dalam proses pengolahan

limbah radioaktif padat meja getar berfungsi untuk menggetarkan drum 200 liter pada saat proses imobilisasi dengan *matriks* semen. Baut yang digunakan adalah jenis *Metris* yaitu M 16, panjang baut 19 cm dan panjang ulir 5 cm. Pemeriksaan terhadap beban sentrifugal pada motor untuk menjamin kondisinya terikat kuat sehingga tidak menimbulkan kebisingan. Pengukuran tingkat kebisingan alat *meja getar* dilakukan perawatan diperoleh hasil yang tinggi rata-rata 100,9 dBA, seorang operator alat hanya bisa bekerja 7,5 menit. Untuk satu kali proses imobilisasi limbah dengan *matriks* semen membutuhkan waktu kurang lebih 15 menit untuk persiapan dan 15 menit proses penggetaran. Dari tabel disebutkan bahwa dengan nilai sebesar 100,9 seorang pekerja hanya diperbolehkan 7,5 menit. Untuk mengatasi hal tersebut operator harus menggunakan tutup telinga (*earplug*) sehingga lebih aman dan nyaman dalam bekerja. Dengan menggunakan *earplug* akan mengurangi tingkat kebisingan 20%, sehingga operator bisa bekerja selama 8 Jam. Setelah dilakukan perawatan yang didukung dengan penerapan sistim jaminan mutu diperoleh suatu keuntungan yaitu mesin dan peralatan operasi dapat dipergunakan dalam waktu yang relatif lebih panjang, menjaga kualitas pada tingkat yang tepat sesuai dengan yang direncanakan, menekan biaya perawatan bagian mesin dan peralatan operasi dan menjaga keselamatan para pekerja.

Tabel 3. Hasil pengukuran besaran fisik untuk komponen unit unit produksi *slurry cement*, meja getar dan penganap pengendap

NO	PEMERIKSAA N	KONDISI AWAL/ STANDAR		TINDAKAN	KONDISI AKHIR/ PELAKSANAAN	
1.	Putaran Motor Pengaduk semen slurry (11 kW)	Putaran motor (rpm)	1500	<ul style="list-style-type: none"> <li>Periksa serta catat penunjukan rpm</li> <li>Periksa serta catat temperatur motor</li> <li>Periksa dan catat kebisingan motor</li> <li>Periksa serta catat Arus yang bekerja pada motor</li> </ul>	Putaran motor (rpm)	1497 rpm
		Temperatur <i>bearing</i>	<75 °C		Temperatur <i>bearing</i>	30 °C
		Kebisingan (dB)	< 80 dB		Kebisingan (dB)	78,4 dB
		Arus	30 A		Arus	8,22, 9,2, 10,3 A
2.	Putaran Motor peristaltik <i>pump slurry cement</i> Daya 1 0,55 kW Daya 2 0,37 kW	Putaran Motor untuk debit 0,8 m <sup>3</sup> /jam	1500 (rpm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Periksa serta catat penunjukan rpm untuk keperluan debit 0,8 m<sup>3</sup>/jam maupun debit 0,4 m<sup>3</sup>/jam</li> <li>Periksa serta catat temperatur motor</li> <li>Periksa dan catat kebisingan motor</li> </ul>	Putaran Motor untuk debit 0,8 m <sup>3</sup> /jam (rpm)	1475 rpm
		Putaran pompa untuk debit 0,4 m <sup>3</sup> /jam	143 (rpm)		Putaran Pompa untuk debit 0,4 m <sup>3</sup> /jam (rpm)	103,8 rpm
		Putaran motor untuk debit 0,4 m <sup>3</sup> /jam (rpm)	750		Putaran motor untuk debit 0,4 m <sup>3</sup> /jam (rpm)	739 rpm
		Putaran pompa untuk debit 0,4 m <sup>3</sup> /jam (rpm)	70		Putaran pompa untuk debit 0,4 m <sup>3</sup> /jam (rpm)	57 rpm
		Temperatur	<75 °C		Temperatur	32 °C
		Kebisingan (dB)	< 80 dB		Kebisingan (dB)	86 dB
		Arus pada debit 0,8 m <sup>3</sup> /jam			Arus pada debit 0,8 m <sup>3</sup> /jam	0,76, 0,97, 0,95
		Arus pada debit 0,4 m <sup>3</sup> /jam			Arus pada debit 0,4 m <sup>3</sup> /jam	2,15, 1,29, 1,56



6.	Putaran Motor Pompa Supernatant (0,75 kW)	Putaran motor (rpm)	1500	<ul style="list-style-type: none"> <li>Periksa serta catat penunjukan rpm</li> <li>Periksa serta catat temperatur motor</li> <li>Perisa dan catat kebisingan motor</li> <li>Periksa serta catat Arus yang bekerja pada motor</li> </ul>	Putaran motor (rpm)	1481 rpm
		Putaran pompa (rpm)	143		Putaran pompa (rpm)	141 rpm
		Temperatur bearing	<75 °C		Temperatur bearing	29 °C
		Kebisingan (dB)	< 80 dB		Kebisingan (dB)	74 dB
		Arus	2 A		Arus	0,76, 0,97, 0,95
7.	Meja Getar	Kebisingan (dB)	80 – 105	<ul style="list-style-type: none"> <li>Periksa serta catat penunjukan getaran meja getar.</li> </ul>	dB	100,9 dB
		Arus			Arus	1,3, 1,2, 1,2 A
9.	Filter	Oli	Bersih	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pastikan filter oli bersih dan tidak rusak.</li> <li>Bila rusak/jamam operasi terpenuhi maka ganti baru.</li> </ul>	Oli	
10.	Sistem kontrol	Compacting Press	Berfungsi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Check dan clean pada bagian contact.</li> <li>Pastikan relay dan MCB berfungsi baik.</li> </ul>	Compacting Press	
		Coating Station	Berfungsi		Coating Station	
		Supernatant Pump	berfungsi		Supernatant Pump	

## KESIMPULAN

Untuk menjamin optimalisasi operasi unit pengolahan limbah radioaktif padat perlu dilakukan perawatan secara rutin. Perawatan unit pengolahan limbah radioaktif padat meliputi unit kompaksi, unit produksi *slurry cement*, unit meja getar dan unit penenap pengendap. Dari pengukuran terhadap putaran motor, arus masuk, tegangan masuk dan tingkat kebisingan pada meja getar semua masih dalam kondisi yang baik dalam batas *standard* yang diijinkan. Semua hasil kegiatan pengukuran dan pengamatan dicatat dalam *logbook*. Dengan melakukan kegiatan perawatan yang didukung sistim manajemen mutu, diperoleh hasil yang lebih maksimal, baik secara teknis maupun secara manajemen. Semua data dan rekaman akan menjadi dokumen yang tertelusur sehingga akan terbentuk riwayat pada unit kompaksi dan unit imobilisasi. Dengan adanya perawatan yang baik dan teratur dapat mengurangi terjadinya kerusakan yang mengakibatkan peralatan tidak dapat beroperasi dalam jangka waktu lama serta dapat berdampak terjadinya kecelakaan. Dengan demikian dengan perawatan yang dilakukan secara berkala dapat lebih menjamin operasi peralatan pengolahan limbah radioaktif lebih optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1].[http://www. geogle.](http://www.geogle.com)Perawatan mesin berbasis mutu, tanggal 15 Februari. 2012
- [2].<http://www-pend-ekonomi.blogspot.com/2012/06> perawatan (*maintenance*), tanggal 20 Februari 2012.
- [3]. **Bungtomo**, “*Studi Sistim Mekanik dan Elektrik pada Unit Pemampatan dan Pematatan*”, Pendidikan Ahli Teknik Nuklir, Badan Tenaga Atom Nasional, 1991/1992
- [4]. ANONIM, ” *Prosedur Perawatan dan Perawatan Sarana/Prasarana IPLR*”, PTLR – BATAN, 2009
- [5]. ANONIM ”Keputusan Menteri Tenaga kerja Nomor : KEP-51/MEN/1999, tanggal 16 April 1999”



## **PENGANGKUTAN LIMBAH RADIOAKTIF PADAT DAN CAIR DARI PENIMBUL KE INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF**

**Arifin**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif -BATAN

### **ABSTRAK**

**PENGANGKUTAN LIMBAH RADIOAKTIF PADAT DAN CAIR DARI PENIMBUL KE INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF.** Telah dilakukan pengangkutan limbah radioaktif padat dan cair dari instansi penimbul limbah ke Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) Tujuan pengangkutan limbah adalah untuk memindahkan dan mengamankan limbah dari instalasi penimbul limbah baik dari Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) maupun dari luar BATAN ke tempat Penyimpanan Sementara Limbah Radioaktif. Limbah yang diangkut Ke Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) berupa limbah padat dan cair. Pengangkutan limbah radioaktif padat cair menggunakan mobil pengangkut limbah padat dan cair. Monitoring paparan radiasi dan radionuklida limbah dalam mobil pengangkut dilakukan untuk keselamatan petugas. Untuk tahun 2013 dilakukan pengangkutan sebanyak 17 kali dengan jumlah 91buah sumber bekas dan 27 drum 100 L baik dari BATAN maupun luar BATAN.

**Kata kunci :** pengangkutan limbah, limbah radioaktif padat dan cair, instalasi pengolah limbah radioaktif

### **ABSTRACT**

**TRANSPORTATION OF LIQUID AND SOLID RADIOACTIVE WASTE FROM WASTE GENERATOR TO RADIOACTIVE WASTE TREATMENT INSTALLATION.** *Transportation of solid and liquid radioactive waste from waste generator to IPLR ( Radioactive Waste Treatment Installation) had been done. The purpose of the waste transportation is to move and to safe the waste from BATAN and outside of BATAN to the Interim Storage of radioactive waste. The waste were transported to Radioactive Waste Treatment Center, consist of solid and liquid waste Transportation of solid and liquid radioactive waste using solid and liquid radioactive exposure. Monitoring of radiation exposure radionuclides in waste transporter were conducted for worker safety. In the year of 2013 there had been transported about 17 packaged transportation activities, The waste consist of spent sources 91 pieces and radioactive waste 27 drum 100 L from BATAN and the outside of BATAN.*

*Keywords :* waste transporter, liquid and solid radioactive waste, radioactive waste treatment instalation

### **PENDAHULUAN**

Aplikasi teknik nuklir dalam bidang industri, kesehatan dan penelitian berdampak terhadap timbulnya limbah radioaktif. Mengingat potensi bahaya yang masih mungkin ditimbulkan oleh limbah tersebut yang dapat berakibat kepada manusia maupun lingkungan, maka untuk meminimalisasi kemungkinan timbulnya bahaya, limbah tersebut harus dikelola secara benar. Pengelolaan limbah radioaktif meliputi pengumpulan, pengelompokan, transportasi limbah ke Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif, monitoring sebelum pengolahan, pengolahan, monitoring limbah

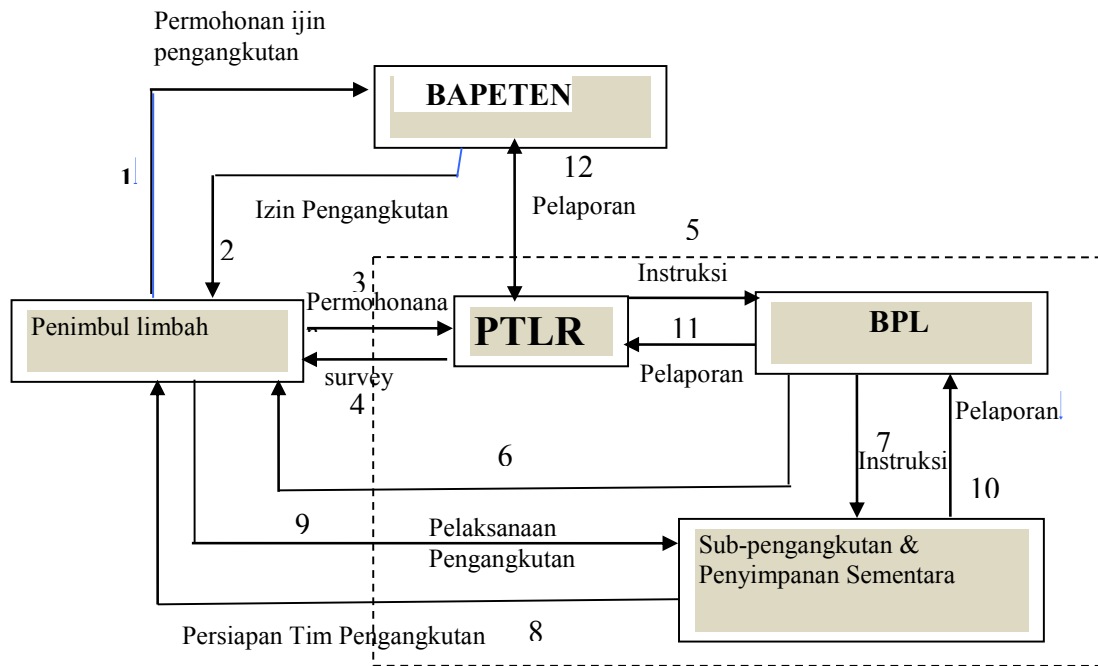
yang telah diolah, pengangkutan ke tempat disposal, disposal, monitoring lingkungan.

Agar proses pengelolaan limbah radioaktif benar-benar dapat terlaksana dengan baik dan benar sesuai ketentuan yang berlaku, baik secara nasional maupun internasional, maka masalah pengelolaan limbah radioaktif di Indonesia telah diatur dalam Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenagaan Nuklir. Adapun sebagai Badan Pelaksana Pengelolaan Limbah Radioaktif adalah Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yang selanjutnya menjadi tugas pokok Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR). Dari beberapa rangkaian kegiatan pengelolaan limbah radioaktif yang dilaksanakan oleh PTLR, pengangkutan limbah radioaktif dilakukan dengan menggunakan alat transportasi limbah yang berupa mobil pengangkut limbah padat dan cair. Monitoring paparan radionuklida dalam limbah, dalam mobil pengangkut dilakukan untuk keamanan dan keselamatan petugas beserta lingkungannya. Adapun cara atau sistem pengangkutan limbah yang ditimbulkan oleh instansi penimbun limbah diangkut dengan menggunakan mobil pengangkut untuk diolah dan disimpan di (PTLR). Dari hasil kegiatan pengangkutan untuk periode tahun 2013 telah diangkut 91 buah sumber bekas dan 27 drum 100 L limbah padat. Selama kegiatan pengangkutan periode 2013 dari instansi penimbun limbah ke tempat penyimpanan limbah sementara telah terlaksana dengan baik,

## METODE

Sebelum kegiatan pengangkutan dilakukan perlu adanya persiapan-persiapan antara lain :

- Pengecekan dokumen pengangkutan limbah radioaktif seperti : Ijin pengangkutan, ijin penggunaan zat radioaktif, data limbah, berita acara, serah terima limbah radioaktif, surat tugas dan lain-lain.
- Persiapan alat angkut dan pendukung pengangkutan limbah radioaktif.
- Persiapan formulir isian pengangkutan dan formulir material terkontaminasi.
- Mempersiapkan alat proteksi radiasi seperti surveymeter, Thermoluminescence dosimeter ( TLD), *pendose*, dan lain-lain.
- Persiapan personil/petugas pengangkutan dan petugas proteksi radiasi, serta perlengkapannya.
- Pada **Gambar 1** ditunjukkan prosedur pengangkutan limbah radioaktif secara diagram.



**Gambar 1.** Diagram Prosedur Sistem Pengangkutan Limbah Radioaktif

Keterangan :

**BAPETEN** : Badan Pengawas Tenaga Nuklir

**PTLR** : Pusat Teknologi Limbah radioaktif

**BPL** : Bidang Pengolahan Limbah

Pengangkutan limbah radioaktif dapat dilakukan jika telah diperoleh surat izin pengangkutan yang dikeluarkan oleh BAPETEN serta seluruh persyaratan teknis maupun administrasi yang berkaitan dengan kegiatan pengangkutan limbah telah dipenuhi oleh instansi penimbul limbah.

Sebelum dilakukan pengangkutan limbah atau sumber bekas, perlu dilakukan *survey* lapangan dimana limbah tersebut akan diangkut serta paparan yang ditimbulkan oleh limbah tersebut, Dari hasil *survey* akan dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

- ❑ Koordinasi untuk mengetahui tentang ukuran, jumlah limbah, paparan, dan sifat lainnya ;
- ❑ Peralatan yang diperlukan sebelum limbah tersebut diangkut ;
- ❑ Mengetahui sumber limbah aktivitas rendah, sedang atau tinggi;
- ❑ Mengetahui sumber tersebut masih terpasang pada alat atau sudah terlepas dari alat.

Berdasarkan *International Commission on Radiation Protection (ICRP-60 1991)*, ditetapkan bahwa batas dosis untuk pekerja radiasi 20 mSv/tahun dan masyarakat 1/10 mSv/tahun. Penerimaan paparan radioaktif yang tinggi dikhawatirkan akan menyebabkan gangguan kesehatan, Oleh karena itu diperlukan pengelolaan limbah secara optimal.

Di Indonesia pengelolaan limbah radioaktif diatur dalam UU No. 10 tahun 1997 dan PP no. 26/2002 tentang pengangkutan bahan radioaktif, dimana Badan Pelaksana Pengelolaan Limbah Radioaktif adalah Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Selanjutnya pelaksanaan menjadi tugas (PTLR) untuk melaksanakan seluruh kegiatan pengelolaan limbah radioaktif.

Batasan paparan limbah yang dapat diangkut oleh petugas pengangkut limbah radioaktif adalah 200 mrem/jam, artinya jarak antara personil/petugas yang mengangkut yaitu 200 mrem/jam dari sumber atau limbah radioaktif yang diangkutnya.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan data hasil pengangkutan limbah radioaktif tahun 2013 dapat diketahui bahwa limbah radioaktif padat yang dikirim ke PTLR mengandung 5 radionuklida, Co-60, Cs-137, Sr-90, Fe-55, dan Ir-192. Radionuklida yang diangkut umumnya berupa sumber bekas tertutup yang digunakan untuk *gaugging*, *logging* dan sumber standar.

Rata-rata paparan terbesar dalam kondisi tertutup di sekitar *seal source* 164 mrem/jam pada permukaan dan 56,2 mrem/jam pada jarak 1 m. Sedangkan paparan terkecil pada limbah padat tersebut 0,020 mrem/jam pada permukaan dan 0,016 pada

jarak 1 m. Paparan radiasi yang terbesar selama pengangkutan masih diijinkan dalam Peraturan Pemerintah No.26 Tahun 2002 tentang Pengangkutan zat radioaktif yaitu 200 mrem/jam. Di dalam pengangkutan limbah dari lokasi dan jarak perjalanan harus diperhatikan untuk menghindari kemungkinan resiko bahaya yang ditimbulkan selama perjalanan. Untuk itu persiapan peralatan pengangkutan benar-benar dilakukan secara detil dan benar. Contoh wadah limbah yang akan diangkut, seperti lembaran Pb untuk *shielding* paparan radiasi, tali pengikat dan alat monitor radiasi yang di letakkan di sekitar alat angkut limbah. Selama perjalanan pengangkutan kondisi wadah/pembungkus limbah tidak boleh berubah agar paparan radiasi yang telah diukur pada kabin maupun kanan, kiri dan belakang kendaraan tidak membahayakan baik pengemudi maupun orang di sekitar kendaraan tersebut. Khusus untuk periode tahun 2013 sumber bekas *Iridium* (Ir-192) lebih mendominasi karena tahun tersebut lebih sering ~~yang~~ dikirim limbah *Iridium* (Ir-192), untuk itu PTLR harus menyediakan *shell* drum 200 L untuk penyimpanan *Iridium* tersebut. Selama periode tahun ini sumber bekas Iridium-192 (Ir-192) telah di simpan didalam *shell* drum 200 L sebanyak 157 buah. Jenis limbah dan kandungan limbah yang diangkut selama tahun 2013 di tunjukkan pada **tabel 1**.



<b>TABEL 1. PENGANGKUTAN LIMBAH RADIOAKTIF TAHUN 2013</b>						
<b>No.</b>	<b>Tanggal</b>	<b>Instansi/Pusat</b>	<b>Jumlah (Bh)</b>	<b>Jenis Limbah</b>	<b>Kandungan</b>	<b>Keterangan</b>
1.	14 – 01 - 2013	BTPL-PTLR	7 bh meja	Padat	Campuran	Meja terkontaminasi
2.	17 – 01 – 2013	PRR-BATAN	4	Padat		2 drum 100 L, 2 jerigen
3.	21 – 01 – 2013	PT. Pratita jakarta	40	Padat	Ir-192	
4.	28 – 01 - 2013	RS. Hasan sadikin Bandung	1	Padat	Co-60	
5.	23 – 01 – 2013	PT. NDT Instrument	22	Padat	Ir-192	
6.	19 – 02 – 2013	PT. Panasonic Ligting Indonesia	7	Padat	Th-232, kr-85	
7.	26 – 02 – 2013	PT. Mutiara Hexagon	1	Padat	Kr-85	
8.	04– 03 – 2013	PT. Dina Mugi	1	Padat	Kr-85	
9.	11 – 03 - 2013	BRK-PTLR	3	Padat	Campuran	1 derigen 20 L, 2 Drum 100 L
10.	14 – 03 – 2013	PATIR-BATAN	7	Padat		Drum 100 L
11.	20 – 04 – 2013	PT. Multi Karisma Perkasa	3	Padat	Ir-192	
12.	19 – 04 – 2013	PRSG-BATAN	20	Drum 100 L		
13.	22 – 04 – 2013	PT. Argha Prima Industri	3	Padat	Pm-147	
14.	05 – 04 – 2013	PT. Pelat Timah Nusantara	2	Padat	Am-241	

15.	11 – 04 – 2013	PT. Pelita Cengkareng	2 Box	Padat	Kr-85	
16.	12 – 04 – 2013	PT. Hans Qkas Inspektindo	1	Padat	Ir-192	
17.	15 – 07 – 2013	PT. Global S.T.A	8	Padat	Ir-192	

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Kegiatan pengangkutan limbah radioaktif selama periode 2013 dari Instansi penimbul limbah lebih banyak didominasi oleh limbah dari Sumber bekas Ir-192 yang kemungkinannya sangat sulit dalam pengolahannya sebab limbah-limbah tersebut tercemar atau terkontaminasi. Oleh sebab itu perlu penanganan yang terencana dan aman untuk disimpan ditempat penyimpanan sementara.

### Saran

Untuk memperkecil resiko yang ditimbulkan selama proses pengangkutan limbah radioaktif, baik resiko radiasi maupun non radiasi, maka kemampuan serta disiplin petugas perlu ditingkatkan. Sebelum pengangkutan dilakukan perawatan sehingga perbaikan, dan kondisi peralatan sudah siap untuk dioperasikan dengan aman dan selamat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. International Atomic Energi Agency (IAEA), Regulation of the safe Transportation of Radioactive material, series No. 6, IAEA, Vienna 1991,
- [2]. Undang-Undang No. 10 tahun 1997 tentang Ketenaga Nuklir, Jakarta, 1997
- [3]. Peraturan pemerintah No.26 tahun 2002, Tentang Pengangkutan zat radioaktif.
- [4]. Juklak/protap Pengangkutan Limbah Radioaktif, PTLR, Serpong 2005
- [5]. Renstra BATAN tahun 2013



## PERAWATAN PERALATAN PROSES EVAPORASI

**Bambang Sugito**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif

### ABSTRAK

**PERAWATAN PERALATAN PROSES EVAPORASI.** Kegiatan ini telah dilaksanakan dengan tujuan agar peralatan proses evaporasi dapat berfungsi setiap saat atau untuk memperpanjang umur alat. Dalam usaha untuk kelancaran proses pengolahan limbah radioaktif cair di Sub Bidang Pengolahan Limbah Cair PTLR, diperlukan suatu program perawatan peralatan proses evaporasi yang dapat menjamin kondisi peralatan dalam kondisi siap pakai. Selama tahun 2013 telah dibuat dan dilaksanakan program berkala perawatan peralatan proses evaporasi, baik triwulan maupun tahunan. Peralatan proses evaporasi yang terdiri dari tangki-tangki, pompa, valve masih berfungsi baik, sedangkan parameter ukur sebagian besar sudah di kalibrasi. Kalibrasi dilaksanakan oleh tim maintenance BOSP dan dibantu staf pengolahan limbah radioaktif cair. Kegiatan perawatan yang dilaksanakan di Sub Bidang Pengolahan Limbah Radioaktif Cair terdiri dari 2 pokok kegiatan, yaitu kegiatan preventif dan kuratif. Selama tahun 2013 unit evaporasi telah berhasil dioperasikan untuk mengolah limbah radioaktif cair dari PT. Batan Teknologi.

**Kata kunci :** perawatan, peralatan proses, evaporasi

### ABSTRACT

**THE MAINTENANCE OF EVAPORATION PROCESS EQUIPMENT.** *This activity has been carried out with the aim that the evaporation process equipment can work at any time or to extend the lifetime of the tool. According to the effort to smooth the processing of liquid radioactive waste in Sub Division Liquid Waste Processing PTLR requires an evaporation process equipment maintenance program to is equired ensure the condition of the equipment in a condition ready for use. During the year 2013 periodic maintenance program evaporation equipment have been made and carried out, either quarterly or yearly. Evaporation equipment consisting of tanks, pumps, valves are still functioning well, while most of the measuring parameters already in the calibration. Calibration is carried out by maintenance a team of BOSP and assisted by the staff liquid radioactive waste treatment. Maintenance activities are carried out in the Sub-Division of Radioactive Liquid Waste Treatment consists of two main activities, namely preventive and curative activities. In 2013 the unit has successfully operated for the evaporation process of liquid radioactive waste from PT. Batan Technology*

**Keywords :** maintenance, process equipment, evaporation

### PENDAHULUAN

Undang-undang Negara Republik Indonesia No. 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran<sup>[1]</sup>, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun, serta Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 61 Tahun 2013 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif mengamanatkan Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) – Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) sebagai badan pelaksana pengelolaan limbah radioaktif di wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia. PTLR–BATAN sebagai badan pelaksana pengelolaan limbah radioaktif secara nasional mempunyai tugas untuk melakukan penelitian,

pengembangan dan penerapan teknologi pengelolaan limbah radioaktif dan pelayanan pengelolaan limbah radioaktif<sup>[2]</sup>

Sudah cukup lama PTLR tidak menerima kiriman limbah radioaktif cair dari PRSG ( Pusat Reaktor Serba Guna), sehingga unit proses evaporasi tidak bisa dioperasikan secara maksimal. Walaupun perawatan tetap dilakukan tetapi karena tidak dioperasikan pada level operasi sesungguhnya maka parameter ukur banyak mengalami penurunan fungsi, sehingga perlu disegarkan kembali (kalibrasi) agar unjuk kerja parameter ukur bisa kembali seperti keadaan semula.

Seiring perkembangan kemajuan yang dicapai PT. Batan Teknologi dalam proses produksi radioisotop, limbah cair yang ditimbulkannya cukup banyak dan sudah dikirim ke PTLR untuk diolah. Berdasarkan data analisis limbah cair, limbah dari PT. Batan Teknologi ( Batek ) bisa diproses secara evaporasi, sehingga peralatan proses evaporasi harus dikondisikan untuk bisa mengolah limbah tersebut.<sup>[3]</sup>

Limbah radioaktif cair dari PT Batek diangkut ke ruang penyimpanan limbah mentah di Unit Evaporasi menggunakan mobil pengangkut limbah cair. Pada saat pengambilan limbah cair, dilakukan juga sampling untuk keperluan analisis. Kapasitas mobil pengangkut adalah 2,8 m<sup>3</sup>. Pengaturan konfigurasi valve dilakukan untuk penempatan limbah ke salah satu tangki dari empat tangki R2201 A, B, C atau D yang tersedia. Limbah cair dipompakan dari mobil pengangkut ke dalam tangki penyimpanan limbah mentah.

Proses pengolahan limbah radioaktif cair di Sub Bid PLC (Pengolahan Limbah Radioaktif Cair) dengan menggunakan sistem Evaporasi, dan hasil dari proses evaporasi berupa limbah semi cair (konsentrat) dan destilat, konsentrat pada tahap selanjutnya akan disementasi dalam shell 950 liter, sedang destilat adalah larutan non radiasi yang bisa dirilis ke lingkungan.<sup>[4]</sup>

Pelaksanaan kegiatan perawatan peralatan proses evaporasi dilaksanakan secara periodik maupun insidental bila terjadi kerusakan. Dengan pelaksanaan perawatan yang baik diharapkan akan memperpanjang umur pakai peralatan pada fasilitas proses pengolahan limbah radioaktif, sehingga proses pengolahan limbah dapat dilaksanakan sesuai target yang diharapkan.

Perawatan peralatan proses unit evaporasi ada yang bersifat operasional ada juga yang bersifat test individual. Untuk yang bersifat individual ini lebih mudah karena tidak terkait system yang lain, tetapi untuk system yang operasional, harus koordinasi dengan bidang lain (BOSP) karena memerlukan unit penunjang dalam operasionalnya yang harus dijalankan oleh operator yang bersangkutan.

Perawatan peralatan proses evaporasi pada makalah ini hanya akan membahas perawatan peralatan proses yang dilaksanakan pada tahun 2013.

## **TATA KERJA**

### **Peralatan, Bahan, Waktu, Dan Tempat Kegiatan**

Peralatan yang digunakan adalah : Tang ampere, Termometer, Tool Kit, Alat ukur getaran, multimeter, Alat ukur kebisingan dan Tachometer, sedang bahan yang digunakan adalah, kain majun, cairan pembersih, pelumas/ grease.

Kegiatan ini dilaksanakan pada tahun 2013 bertempat di Sub Bidang Pengolahan Limbah Cair, Bidang Pengolahan Limbah, PTLR- BATAN

### **Metode**

Kegiatan perawatan peralatan unit evaporasi dilaksanakan secara berkala yaitu meliputi kegiatan non teknik dan kegiatan teknik. Kegiatan non teknik yaitu kegiatan pengadaan spare part dan rencana penyusunan program perawatan. Perawatan teknik dibagi menjadi dua kegiatan pokok yaitu kegiatan perawatan mekanik dan perawatan elektrik. Dalam pelaksanaannya perawatan peralatan evaporasi dilaksanakan sebelum terjadi kerusakan atau disebut perawatan preventif dan perawatan setelah terjadi kerusakan yang disebut perawatan kuratif (perbaikan atau reparasi). Perawatan / perbaikan yang tidak bisa dikerjakan sendiri dikerjakan bersama Sub Bidang Operasi Sarana Penunjang di bawah bidang BOSP – PTLR.

### **Teknik Perbaikan**

1. Menukar komponen identik  
Merupakan metode perbaikan yang cukup berhasil karena akan memberikan indikasi positif dan negative dan juga merupakan teknik yang jitu untuk mengisolir kerusakan tanpa merusak.
2. Memindahkan komponen parallel  
Jika system tersusun dari beberapa komponen parallel atau komponen yang berlebihan, maka dapat dipindahkan tanpa mengganggu seluruh system.
3. Membagi system menjadi bagian-bagian  
Hal ini untuk mempermudah dalam melakukan pengukuran, pengukuran dilakukan secara berurutan/ serial sampai ditemukan kerusakan.
4. Perangkap/ Trap Signal  
Melengkapi alat ukur seperti data logger, chart recorder, multimeter dan alat ukur lainnya. Hal ini sangat bermanfaat pada kondisi kerusakan tanpa ada signal atau inisial, jika mempunyai record video kamera atau print recorder, ini sangat membantu dalam mulai melacak kerusakan komponen / alat.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Peralatan proses evaporasi yang sebagian besar terdiri dari pompa - pompa , valve-valve, manual maupun pneumatic, transmitter, memerlukan perawatan yang baik dan berkesinambungan agar unjuk kerja peralatan tersebut tetap terjaga. Pompa digunakan untuk memindahkan fluida cair dari tekanan rendah ke tekanan dan / atau posisi yang rendah ke posisi yang tinggi. Pompa centrifugal mempunyai sebuah impeler untuk mengangkat zat cair dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi. Daya dari luar diberikan kepada poros pompa untuk memutar impeler didalam zat cair, maka zat cair yang ada di dalam impeler oleh dorongan sudu-sudu ikut berputar. Bearing yang dipasang pada pompa harus benar agar bearing tersebut dapat tahan lama dan berfungsi sebagaimana mestinya yaitu untuk menopang poros pada saat berputar. [Gambar 1]



Gambar 1. Pompa umpan limbah mentah P 22005

Selama tahun 2013 telah dilaksanakan perawatan dan perbaikan peralatan unit evaporasi sebagai berikut :

**Tabel 1. Perawatan Preventif**

No.	Nama Alat	Parameter Ukur/ Tindakan	Periode Pemeliharaan	Kondisi
1.	Motor pompa P22001	- Vibrasi - RPM - Arus - Mechanical seal - kopling	Triwulan	baik
2.	Motor pompa P22002	- Vibrasi - RPM - Arus - Mechanical seal - kopling	Triwulan	baik
3.	Motor pompa P22003A	- Vibrasi - RPM - Arus - Mechanical seal - kopling	Triwulan	baik
4	Motor pompa P22003B	- Vibrasi - RPM - Arus	Triwulan	baik

No.	Nama Alat	Parameter Ukur/ Tindakan	Periode Pemeliharaan	Kondisi
		- Mechanical seal - kopling		
5.	Motor pompa P22004	- Vibrasi - RPM - Arus - Mechanical seal - kopling	Triwulan	baik
6.	Motor pompa P22005	- Vibrasi - RPM - Arus - Mechanical seal - Kopling	Triwulan	baik
7.	Motor pompa P22006	- Vibrasi - RPM - Arus - Mechanical seal - kopling	Triwulan	baik
8.	Motor pompa P22007	- Vibrasi - RPM - Arus - Mechanical seal - kopling	Triwulan	baik
9.	Motor pompa P22008	- Vibrasi - RPM - Arus - Mechanical seal - kopling	Triwulan	baik
10.	Motor pompa P22009A	- Vibrasi - RPM - Arus - Mechanical seal - kopling	Triwulan	baik
11.	Motor pompa P22009B	- Vibrasi - RPM - Arus - Mechanical seal - kopling	Triwulan	baik
12.	Motor pompa P22010	- Vibrasi - RPM - Arus - Mechanical seal - kopling	Triwulan	baik
13.	Motor pompa P22011	- Vibrasi - RPM - Arus	Triwulan	baik



No.	Nama Alat	Parameter Ukur/ Tindakan	Periode Pemeliharaan	Kondisi
		- Mechanical seal - kopling		
14	Motor pompa P22012	- Vibrasi - RPM - Arus - Mechanical seal - kopling	Triwulan	baik
15.	Valve Pneumatik :			
	- V 22075	Pembersihan, cek fisik, kebocoran	bulanan	baik
	- V 22076	Pembersihan, cek fisik, kebocoran	bulanan	baik
	- V 22079	Pembersihan, cek fisik, kebocoran	bulanan	baik
	- V 22105	Pembersihan, cek fisik, kebocoran	bulanan	baik
	- V 22106	Pembersihan, cek fisik, kebocoran	bulanan	baik
	- V 22080	Pembersihan, cek fisik, kebocoran	bulanan	baik
	- V 22086	Pembersihan, cek fisik, kebocoran	bulanan	baik
	- V 22087	Pembersihan, cek fisik, kebocoran	bulanan	baik
	- V 22088	Pembersihan, cek fisik, kebocoran	bulanan	baik
	- V 22090	Pembersihan, cek fisik, kebocoran	bulanan	baik
	- V 22091	Pembersihan, cek fisik, kebocoran	bulanan	baik
	- V 62202	Pembersihan, cek fisik, kebocoran	bulanan	baik
	- V 62501	Pembersihan, cek fisik, kebocoran	bulanan	baik
	- V 62502	Pembersihan, cek fisik, kebocoran	bulanan	baik
	- V 62503	Pembersihan, cek fisik, kebocoran	bulanan	baik
	- V 62501	Pembersihan, cek fisik, kebocoran	bulanan	baik
	R 22012 <i>hydraulic valve</i>	Pembersihan, cek fisik, kebocoran	bulanan	baik
16.	UR 22001	Pemanasan	mingguan	baik

No.	Nama Alat	Parameter Ukur/ Tindakan	Periode Pemeliharaan	Kondisi
17.	UR 22002	Pemanasan	mingguan	rusak
18.	UR 22003	Pemanasan	mingguan	baik
19.	UR 22004	Pemanasan	mingguan	baik

Unit recorder ( UR 22001, UR 22002, UR 22003 dan UR 22004 ) pada panel control evaporasi adalah motor pengguling kertas ( *paper recorder* ) yang dilengkapi pena, yang harus dirawat atau dioperasikan agar motornya tidak lembab dan berjamur. Pada tabel 1 nomor 17, terlihat bahwa peralatan di panel kontrol evaporasi, *unit recorder* UR 22002 rusak atau tidak berfungsi, kemungkinan hal ini disebabkan oleh panas yang berlebih yang diakibatkan oleh beban kerja saat memutar kertas. Untuk mengatasi hal ini motor UR 22002 harus diganti atau di gulung ulang.



Gambar 2. Unit Recorder Panel Kontrol Evaporasi

**Tabel 2. Perawatan Kuratif/ Korektif**

No.	Nama Alat	Parameter Ukur/ Tindakan	Periode Pemeliharaan	Kondisi
1.	Transmitter LT R22001A	Kalibrasi	Tahunan	Baik
2.	Transmitter LT R22001B	Kalibrasi	Tahunan	Baik
3.	Transmitter LT R22001C	kalibrasi	Tahunan	Baik
4	Transmitter LT	Kalibrasi	Tahunan	Baik

No.	Nama Alat	Parameter Ukur/ Tindakan	Periode Pemeliharaan	Kondisi
	R22001D			
5.	Transmitter LT R22002	Kalibrasi	Tahunan	Baik
6.	Transmitter LT R22003	Kalibrasi	Tahunan	Baik
7.	Transmitter LT R22004	Kalibrasi	Tahunan	Baik
8.	Transmitter LT R22005	Kalibrasi	Tahunan	Baik
9.	Transmitter LT R22009A	Transmitter di lepas	Tahunan	Tidak ada penunjukan di LI 22009A
10.	Transmitter LT R22009B	Kalibrasi	Tahunan	Baik
11.	Transmitter LT R22010	Kalibrasi	Tahunan	Baik
12.	Panel evaporasi	Ganti lampu mimic panel	Sesuai kondisi	menyala

Karena unit evaporasi adalah alat untuk mengolah limbah radioaktif cair maka banyak tangki penampung limbah radioaktif cair di unit evaporasi. Tangki – tangki pada unit proses evaporasi berjumlah 15 buah, yang terdiri dari penampung limbah cair 4 buah dengan kapasitas masing-masing 50 m<sup>3</sup>, tangki destilat 2 buah masing – masing berkapasitas 50 m<sup>3</sup>, tangki aktif effluent 1 buah dengan kapasitas 15 m<sup>3</sup>, tangki doubtful effluen 1 buah kapasitas 15 m<sup>3</sup>, tangki asam encer 1 buah, tangki soda 2 buah, dan tangki konsentrat 1 buah, semua dalam kondisi baik.<sup>[5]</sup> Untuk pemeriksaan tangki di lihat secara fisik dan pengecekan kebocoran secara langsung dilokasi. Semua tangki dilengkapi level indicator yang berfungsi untuk mengetahui tinggi cairan di tangki tersebut.

Penunjukkan atau level indicator pada tangki R2209A tidak bisa dilihat di panel control evaporasi karena transmitter LT 2209A dilepas dan dipindahkan ke R2201B karena Transmitter R2201B rusak dan belum bisa diperbaiki, hal ini dilakukan karena penunjukkan LI2201B dianggap lebih penting karena menyangkut kegiatan proses pengolahan.

Perawatan berkala terhadap peralatan proses evaporasi dilaksanakan bersama tim perawatan (BOSP), sekaligus penyedia alat ukur peralatan. Pelaksanaan perawatan didampingi seorang petugas radiasi.

Motor pompa di unit evaporasi berjumlah 14 buah termasuk motor pengaduk anti buih sudah dilakukan pengecekan dan pengukuran beberapa parameter ukur yaitu, arus, getaran/ vibrasi, putaran, *mechanical seal* dan kopleng, kondisi motor pompa masih baik. Kondisi *pneumatic valve* berjumlah 16 buah dan satu buah *hydraulic valve* kondisinya masih berfungsi dengan baik.

Pengecekkannya dengan cara dicoba open / close baik melalui panel control utama I 22001 atau langsung dari distributornya menggunakan obeng minus.

Perbaikan yang biasa dilakukan pada unit evaporasi adalah dengan cara mengganti dengan komponen sejenis, hal ini mudah dilakukan karena suku cadang peralatan yang sering rusak sudah tersedia, misalnya relay dan lampu mimic panel.

## **KESIMPULAN**

1. Peralatan proses evaporasi, valve manual maupun valve pneumatik, pompa, tangki – tangki masih berfungsi dengan baik.
2. Dengan perawatan yang baik, berkala dan berkelanjutan peralatan proses evaporator dapat digunakan untuk mengolah limbah radioaktif cair, selain itu juga dapat memperpanjang umur pakai peralatan tersebut.
3. Ketersediaan suku cadang sangat mendukung kecepatan proses perbaikan peralatan yang rusak.
4. Unit evaporasi bisa dioperasikan untuk mengolah limbah radioaktif cair dari PT. Batan Teknologi
5. Proses evaporasi akan lancar jika didukung oleh ketersediaan Media Energi Suply yang baik ( MES )

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. Undang-Undang No. 10 Tahun 1997, Tentang Ketenaganukliran
- [2]. Peraturan Pemerintah No. 61 Tahun 2013, Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif
- [3]. Liquid Waste Treatment by Evaporation,” Operating Manual” WSPG.220.UKT.9001, Technic Atom, France
- [4]. Liquid Waste Processing by Evaporation, “System Note” WSPG.220.NTA.9001 Technic Atom, France
- [5]. Liquid Waste Processing by Evaporation,” Piping Instrumentation Diagram”, WSPG.220.GTA.0001.2 and WSPG.220.GTA.0001.3, Technic Atom, France



## PROSES REDUKSI VOLUME DAN SEMENTASI LIMBAH RADIOAKTIF PADAT DALAM RANGKA OPTIMALISASI OPERASI INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH

**Bung Tomo**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

### ABSTRAK

**PROSES REDUKSI VOLUME DAN SEMENTASI LIMBAH RADIOAKTIF PADAT DALAM RANGKA OPTIMALISASI OPERASI INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH.** Dalam rangka mengoptimalkan operasi instalasi pengolahan limbah padat perlu dilakukan kegiatan operasi peralatan secara rutin. Pengolahan limbah radioaktif padat yang dilakukan meliputi operasi proses kompaksi, produksi *slurry cement*, imobilisasi dan *settler*. Jenis limbah radioaktif yang diolah adalah limbah radioaktif padat terkompaksi. Limbah dipreparasi kemudian dikemas dalam drum 100 liter, setelah itu di *press* menggunakan kompaktor dengan gaya tekan 600 kN untuk reduksi volume dan kemudian di imobilisasi dengan *matriks* semen. Limbah yang diolah seluruhnya berjumlah 40 drum 100 liter dan setelah diolah menjadi 8 drum 200 liter. Koefisien atenuasi limbah hasil olah antara 0,0545 - 0,4711  $\text{cm}^{-1}$ . Dosis paparan pada permukaan wadah limbah sebelum diolah antara 1,56 - 209  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  dan setelah diolah menjadi 0,35 - 148  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ . Limbah setelah diolah menjadi lebih aman, radionuklidanya terfiksasi, terkungkung, dan tertahan dalam rongga diantara kristal *matriks* semen, sehingga paparan radiasi setelah diolah akan menjadi lebih kecil. Setelah proses pengolahan, limbah disimpan di *Interim Storage* agar lebih aman dan selamat. Hasil olah limbah sejak tahun 1990 sampai tahun 2013 dengan cara proses kompaksi dan imobilisasi berjumlah 959 drum 200 liter. Ini menunjukkan bahwa upaya dalam menjaga peralatan dapat optimal dan dapat tercapai unjuk kerja dengan baik, proses pengolahan selalu tidak ada gangguan dan berjalan dengan lebih optimal.

Kata kunci : Optimalisasi, reduksi volume, imobilisasi,

### ABSTRACT

**PROCESS OF VOLUME REDUCTION AND CEMENTATION OF SOLID RADIOACTIVE WASTE IN ORDER TO THE OPTIMIZATION OF WASTE TREATMENT PLANT OPERATION.** In order to optimize the operation of solid waste treatment installation needs to be performed regularly equipment operations. Solid radioactive waste treatment was conducted through several processes of compaction production of cement slurry, immobilization and settlers. Types of radioactive waste treated is compacted solid radioactive waste. The waste was prepared and then packed in 100 liter drums, then it was pressed using compactors with compressive force of 600 kN for volume reduction and then it was immobilized with cement matrix. The total number of treated waste is 40 drums of 100 liters and after it was treated into 8 drums 200 liter. The attenuation coefficient of waste processed is between 0.0545 to 0.4711  $\text{cm}^{-1}$ . Exposure dose on the surface of the waste container before it is processed between 1.56 to 209  $\mu\text{Sv} / \text{h}$  and after processed into 0.35 to 148  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ . The waste after being processed become more secure, and the radionuclides is, fixed, confined, and restrained in the cavity between the cement matrix crystals, so that exposure of radiation after treatment will become smaller. After processing, the waste is stored in interim storage to be more secure and safe. Result of waste since 1990 until 2013 by way of compacting and immobilization processes numbered of 959 drum of 200 liter. This shows that the efforts in maintainance of equipment can be optimized and can be achieved with good performance, the treatment processes always no interference and running optimally.

Keywords : Optimalization, volume reduction, immobilization,

## PENNDAHULUAN

Keselamatan operasional suatu fasilitas nuklir sangat ditentukan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah faktor pengelolaan limbah radioaktif yang ditimbulkan oleh fasilitas nuklir tersebut. Limbah radioaktif tersebut harus dikelola secara baik agar tidak membahayakan bagi manusia dan lingkungan. Sebelum diolah limbah tersebut harus dikarakterisasi terlebih dahulu. Untuk limbah padat karakterisasinya meliputi jenis dan aktivitas radionuklidanya, paparan radiasinya, sifat fisika dan kimia serta jenis senyawa kimianya. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) – BATAN bertugas untuk mengelola limbah radioaktif yang berasal dari instansi pengguna zat radioaktif di Indonesia. Limbah radioaktif padat berupa material terkontaminasi dikelompokkan menjadi limbah radioaktif padat terbakar, limbah radioaktif padat tak terbakar terkompaksi, dan limbah radioaktif tak terbakar tak terkompaksi. Limbah radioaktif padat berupa material terkontaminasi yang ditimbulkan dari kegiatan pemanfaatan teknologi nuklir sangat beragam jenis dan laju paparan radiasinya. Kegiatan preparasi limbah radioaktif padat ini semestinya sudah dimulai dari instansi penimbul limbah dengan pemisahan limbah tersebut berdasarkan sifat-sifat fisiknya seperti terbakar, terkompaksi, tak terbakar dan tak terkompaksi. Sebelum dilakukan proses pengolahan di PTLR, limbah ini disimpan terlebih dahulu di gudang limbah untuk menurunkan aktivitas radionuklida yang memiliki waktu paro ( $t^{1/2}$ ) pendek. Limbah yang telah meluruh aktivitasnya dipisahkan berdasarkan sifat fisiknya, kemudian ditempatkan dalam wadah yang sesuai dengan proses pengolahan, diukur laju paparan radiasi terkini, diberi penomoran (identifikasi) dan akhirnya dilakukan pengolahan sesuai dengan sifat fisik limbah tersebut<sup>[1]</sup>.

Undang – undang No. 10 tahun 1997 tentang ketenaganukliran, mendefinisikan limbah radioaktif sebagai zat radioaktif dan bahan serta peralatan yang terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif karena pengoperasian instalasi nuklir yang tidak dapat dipergunakan lagi<sup>[2]</sup>. Dengan demikian, segala bahan radioaktif yang telah dipakai dalam pemanfaatan tenaga nuklir termasuk bahan bakar nuklir bekas yang keluar dari reaktor adalah limbah radioaktif<sup>[3]</sup>. Zat radioaktif adalah setiap zat yang memancarkan radiasi pengion dengan aktivitas jenis lebih besar dari pada 70 kBq/kg (2 nCi/g) (kBq = kilo Becquerel, nCi = nano Curie, 1 Ci =  $3,7 \times 10^{10}$  Bq). Kita semua menyadari bahwa peran pendukung lingkungan terhadap kehidupan manusia atau sistem ekonomi harus dipertahankan sesuai dengan UU No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan lingkungan Hidup. Lingkungan mempunyai fungsi daya dukung terhadap kehidupan manusia yaitu sebagai pemasok bahan baku sistem ekonomi, wadah limbah yang ditimbulkan dari sistem ekonomi dan penyedia fasilitas kehidupan manusia. Bahan sisa proses industri yang dibuang ke lingkungan sampai batas tertentu yang diizinkan (baku mutu tingkat radioaktivitas di lingkungan), lingkungan mampu mengasimilasikan buangan tersebut dan dapat mempertahankan mutu lingkungan. Namun bila pembuangan terus menerus dan intensif melebihi batas yang diizinkan maka lingkungan kehilangan kemampuan asimilasinya dan akan timbul sejumlah polutan di lingkungan, terjadilah pencemaran lingkungan. Dibutuhkan waktu lama untuk memulihkan kemampuan asimilasi lingkungan akibat pencemaran tersebut. Akibat pencemaran lingkungan

dapat menyebabkan daya dukung lingkungan terhadap kehidupan manusia hilang sehingga mengganggu program pembangunan berkelanjutan<sup>[4]</sup>.

Limbah radioaktif yang timbul dari kegiatan pemanfaatan teknologi nuklir harus diupayakan sekecil mungkin dalam batas kelayakan teknologi dan ekonomi. Pengelolaan limbah adalah bagian yang tak terpisahkan dari upaya keselamatan pemanfaatan teknologi nuklir yang diimplementasikan pada tahap perencanaan, pembangunan dan pengoperasian fasilitas nuklir. Tujuan akhir dari pengelolaan limbah radioaktif adalah melindungi lingkungan dan masyarakat dari potensi dampak radiologi limbah radioaktif. Perlindungan keselamatan tersebut tidak saja bagi generasi saat ini yang memperoleh keuntungan pemanfaatan teknologi nuklir, tetapi juga bagi lingkungan dan generasi yang akan datang yang mungkin tidak memperoleh keuntungan<sup>[5]</sup>. Pengelolaan limbah radioaktif ialah penanganan, penampungan dan pengolahan limbah radioaktif termasuk pengungkungan unsur radioaktif dalam limbah dengan bahan matriks (pemadatan) dan penyimpanan blok hasil pengungkungan sehingga limbah radioaktif tidak membahayakan manusia dan lingkungan

Peraturan Pemerintah No. 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, mendefinisikan bahwa pengelolaan limbah radioaktif adalah merupakan rangkaian kegiatan yang meliputi pengumpulan, pengelompokan, pengolahan, pengangkutan, penyimpanan, dan atau pembuangan limbah radioaktif. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) – BATAN bertugas untuk mengelola limbah radioaktif yang berasal dari instansi dan industri pengguna zat radioaktif di Indonesia. Limbah radioaktif padat berupa material terkontaminasi dikelompokkan menjadi limbah radioaktif padat terbakar, limbah radioaktif padat tak terbakar terkompaksi, dan limbah radioaktif tak terbakar tak terkompaksi. Limbah yang diolah adalah jenis material padatan yang terkontaminasi radionuklida seperti  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{134}\text{Ce}$  dan  $^{131}\text{I}$  yang mempunyai waktu paro berbeda – beda.

Pengolahan limbah radioaktif padat terkompaksi dilakukan dengan cara kompaksi dengan gaya tekan 600 kN. Persyaratan limbah radioaktif padat yang diolah di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) - PTLR antara lain limbah tidak mengandung pemancar alfa, dosis paparan pada permukaan drum 100 l tidak melebihi 250  $\mu\text{Sv/jam}$ , tidak mengandung zat yang korosif dan tidak mengandung bahan yang mudah meledak. Proses pengolahan dilakukan dengan cara kompaksi, limbah dalam drum 100 liter dikompaksi dalam drum 200 liter. Satu drum 200 liter mampu menampung antara 3-7 buah drum 100 liter. Limbah yang tak terkompaksi dan tak terbakar diimobilisasi langsung dalam drum 200 liter dengan adonan semen. Drum 200 liter yang telah berisi limbah kemudian pada sela – selanya diisi batu koral berdiameter 2,5 cm. Drum 200 liter digetar pada meja getar dan diimobilisasi dengan adonan semen. Pada bagian atas drum 200 liter diberi pengunci agar limbah yang ada didalam drum tidak naik pada saat diisi dengan adonan semen. Setelah limbah disementasi akan terjadi pengurangan kuantitas radiasi pada saat radiasi menembus materi semen akibat interaksi antara radiasi dengan materi tersebut atau disebut dengan *atenuasi*. Koefisien *atenuasi* materi adalah fraksi berkas radiasi yang diserap pada saat radiasi menembus materi setebal x cm.

Koefisien atenuasi dihitung dengan rumus :



$$A_1 = A_0 \cdot e^{-\mu x} \quad [ 1 ]$$

Keterangan :

$A_1$  = Paparan limbah setelah diolah ( $\mu\text{Sv/jam}$ )

$A_0$  = Paparan limbah sebelum diolah ( $\mu\text{Sv/jam}$ )

$x$  = Tebal penahan (cm)

$\mu$  = Koefisien atenuasi linier ( $\text{cm}^{-1}$ )

Densitas *bulk* hasil imobilisasi limbah dalam drum 200 liter dapat dihitung. Densitas *bulk* adalah berat persatuan volume produk secara keseluruhan dan dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\rho = \frac{m}{v} \quad [ 2 ]$$

keterangan :

$\rho$  = Densitas bulk ( $\text{kg/m}^3$ )

$m$  = Massa (kg)

$v$  = Volume ( $\text{m}^3$ )

Pengolahan limbah radioaktif aktivitas rendah dengan cara reduksi volume dan sementasi dengan matriks semen adalah untuk mengungkung dan mengurangi dosis paparan radiasi limbah. Limbah akan berkurang volumenya dan juga dosis paparannya, sehingga lebih aman dan selamat dalam penyimpanannya di *Interim Storage*. Pengolahan dengan cara ini prosesnya lebih sederhana dan lebih ekonomis walaupun kemampuan reduksi volume tidak begitu besar dibandingkan dengan proses insenerasi.

## TATA KERJA

### Bahan yang digunakan meliputi :

Semen *Portland* 600 kg, drum 200 liter 8 buah, drum 100 liter berisi limbah 40 buah, ring fleksibel 8 buah, palang anti dispersal 8 buah, batu koral diameter 5 cm, batu koral diameter 2.5 cm, pasir, aditif *tricosal* dan air.

### Alat yang digunakan meliputi :

Unit kompaksi dengan gaya tekan 600 kN, *crane* kapasitas 2 ton, *handlift* kapasitas 1 ton, unit meja getar, unit pembuatan semen *slurry*, *tool set*, sendok semen, kawat pengikat, tang, palu, linggis, sendok pasir.

## Metode

### Proses reduksi volume

Proses pengolahan limbah radioaktif padat dilakukan dengan cara reduksi volume menggunakan kompaktor dengan gaya tekan 600 kN. Drum 200 liter disiapkan untuk wadah hasil kompaksi, drum 200 liter diidentifikasi dengan

nomor urut pengolahan, pada dasar drum diletakkan *ring flexibel* dan batu berdiameter 5 cm. Drum 200 liter diletakkan pada lori kemudian dimasukkan ke alat kompaksi. Proses kompaksi diawali dengan menghidupkan unit hidraulik, *Jacket* diturunkan sampai pada dasar drum 200 liter, lampu indikator akan menyala jika posisi *jacket* sudah sampai pada dasar drum. Drum 100 liter berisi limbah dimasukkan ke dalam *jacket* kompaksi. Piston kompaksi dioperasikan untuk menekan drum 100 liter yang berisi limbah dengan kekuatan 600 kN. Piston bekerja menekan limbah sampai pada tekanan maksimum dan *switch* akan bekerja jika tekanan maksimum tercapai. Piston kompaksi dioperasikan untuk kompaksi limbah yang lain sampai drum 200 liter penuh. Banyaknya drum 100 liter yang dapat direduksi volumenya dalam drum 200 liter dapat dikontrol melalui mistar penunjukkan. Setelah drum 200 liter penuh kemudian dikeluarkan dari alat kompaksi. Setelah proses kompaksi kemudian dilakukan preparasi drum 200 liter yaitu dengan memberikan batu koral diameter 2,5 cm pada sela – sela drum. Palang antidispersal diatas drum hasil reduksi volume dan kemudian dipasang pengunci untuk menahan drum pada saat proses imobilisasi <sup>[6]</sup>.

### Proses imobilisasi

Drum 200 liter yang sudah berisi limbah radioaktif padat hasil kompaksi, pada sela-sela antara drum 200 liter dan drum 100 liter diberi koral dengan diameter 2,5 cm. Palang anti dispersal dipasang pada drum 200 liter dan dikunci untuk menahan tekanan pada saat diimobilisasi dengan *matriks* semen <sup>[5]</sup> Pembuatan semen slurry dilakukan di ruang *mixer*, komposisi untuk satu liter semen *slurry* adalah 1,313 kg semen, 0,326 kg pasir, 0,437 liter air dan 0,029 *aditive* tricosal <sup>[7]</sup>. Tangki *mixer* dengan kapasitas 200 liter di isi air sebanyak 45 liter kemudian *mixer* dihidupkan. Campuran semen kering, pasir dan *aditive* dimasukkan kedalam tangki secara perlahan sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan. Adonan semen diaduk sampai kurang lebih 10 menit sehingga siap untuk dialirkan ke drum 200 liter yang akan diimobilisasi melalui pompa peristaltik yang tersedia. Drum 200 liter yang telah berisi limbah, ditempatkan diatas meja getar, sungkup (*hood*) dipasang diatas untuk menghindari terbangnya debu radioaktif. Pipa untuk mengalirkan adonan semen diarahkan kesisi atas permukaan drum 200 liter yang sudah siap untuk diimobilisasi. Meja getar dioperasikan, meja dan drum 200 liter akan bergetar, adonan semen melalui pompa peristaltik dengan debit 0,8 m<sup>3</sup>/jam. akan mengalir dan mengisi seluruh sela – sela drum dan dasar drum sehingga penuh. Pada saat volume adonan semen hampir penuh, kecepatan pompa dirubah menjadi 0,4 m<sup>3</sup>/jam agar aliran semen adonan semen dapat terkendali. Setelah penuh drum dipindahkan dan operasi untuk drum yang lain <sup>[8]</sup>.

### Proses pengukuran paparan

Limbah dalam drum 200 liter setelah disementasi didiamkan selama 16 jam pertama, setelah itu pengunci drum dilepas dan dilakukan sementasi tahap akhir, yang berfungsi sebagai penutup pada permukaan drum 200 liter. Setelah kering drum 200 liter ditutup kemudian dikunci dengan menggunakan pengunci yang telah disediakan kemudian dilakukan penutupan dan penguncian pada seluruh drum 200 liter yang telah disementasi. Drum 200 liter setelah terkunci

semua kemudian dilakukan penimbangan pada masing – masing drum dan dilanjutkan dengan pengukuran paparan permukaan drum 200 liter. Pengukuran paparan dilakukan pada seluruh permukaan sampai menemukan titik paparan yang terbesar dan pada jarak 1 meter. Pemasangan label ditulis data limbah pada sisi tengah untuk mempermudah pembacaan dan penulisan, tulis pada label yang meliputi tanggal pengolahan, asal limbah dan paparan kontak dan jarak 1 meter. Hasil pengukuran juga dicatat dalam form hasil pengolahan sebagai rekaman dan *logbook*.

### **Penyimpanan**

Limbah hasil olahan dalam drum 200 liter dikeluarkan satu persatu dari ruang proses kemudian ditempatkan di atas palet yang terbuat dari kayu menggunakan *crane*. Satu palet memuat 4 buah drum 200 liter hasil olah dengan berat total kira – kira mencapai 1650 kg, palet kemudian diangkat menggunakan *forklift* dan dipindahkan dan disimpan di *interim storage* untuk menjaga keamanan dan keselamatan pekerja. Proses ke tempat penyimpanan sementara didampingi oleh petugas proteksi radiasi. Penempatan di tempat penyimpanan sementara di atur dengan sedemikian rupa sehingga akan memudahkan dalam kontrol pasca pengolahan.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Proses imobilisasi dengan matrik semen dilakukan diatas meja getar, adonan semen dibuat di ruang tersendiri sehingga ruangan lain akan terhindar dari polusi debu semen. Matrik semen dibuat dengan komposisi untuk satu liter semen *slurry* adalah 1,313 kg semen, 0,326 kg pasir, 0,437 liter air dan 0,029 *aditive* tricosal. Pengamatan terhadap kebutuhan semen *slurry* pada tiap – tiap drum 200 liter antara 57 - 62 liter. Ini menunjukkan bahwa kebutuhan adonan semen untuk tiap – tiap drum hampir sama karena volume bidang yang diisi masing - masing drum adalah hampir sama. Perbedaan jumlah adonan semen diperoleh jika butiran – butiran batu koral mempunyai ukuran yang berbeda. Semakin besar ukuran batu koral maka akan diperoleh rongga yang lebih besar sehingga akan dibutuhkan adonan semen semakin banyak. Untuk menjamin keselamatan dan kesehatan pekerja radiasi dalam melakukan kegiatan pengolahan limbah radioaktif selalu didasarkan atas prosedur tetap. Dalam melakukan semua kegiatan pengolahan limbah radioaktif harus berdasarkan prosedur yang terkait, meliputi prosedur tetap dan petunjuk pelaksanaan. Secara administrasi akan memperoleh data dan rekaman yang tertelusur, sehingga semua hasil pengolahan akan terekam dalam sebuah formulir rekaman yang akan mendukung kegiatan pengolahan dalam mencatat data kegiatan pengolahan. Dalam proses pengolahan jika terjadi ketidaksesuaian pada peralatan proses, peralatan pendukung dan peralatan penunjang akan segera dilaporkan sesuai dengan prosedur laporan ketidaksesuaian. Semua pihak terkait segera akan menindak lanjuti laporan ketidaksesuaian sehingga kegiatan proses pengolahan akan berlangsung dengan baik dan diperoleh hasil pengolahan yang sesuai dengan baku mutu. Proses pengolahan limbah radioaktif yang berdasarkan Prosedur tetap akan dapat menjamin keamanan dan keselamatan pekerja dan diperoleh data rekaman yang

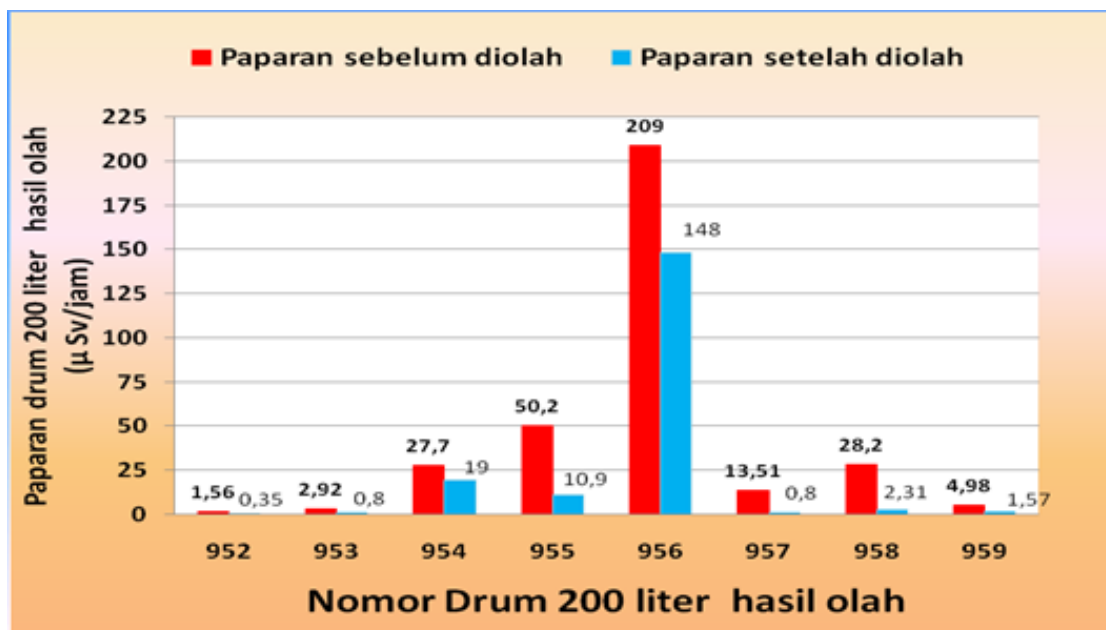
tertelusur untuk memudahkan kita mengadministrasikan semua kegiatan pengolahan.

Proses imobilisasi bertujuan agar radionuklida terfiksasi, terkungkung, dan tertahan dalam rongga diantara kristal matriks bahan pematat. Dengan demikian radionuklida tersebut tidak mudah lepas oleh rembesan air yang menembus ke dalam hasil solidifikasi dan radiasinya tertahan. Limbah radioaktif padat yang dapat dikompaksi dilakukan pengolahan dengan metode reduksi volume kemudian diimobilisasi dengan matriks semen agar limbah dapat dikungkung dengan baik dalam penyimpanannya<sup>[9]</sup>. Limbah yang diolah dengan poses reduksi volume sebanyak 40 drum 100 liter dan dikompaksi dalam 8 buah drum 200 liter. Faktor reduksi volume mencapai 60 %. Pada Gambar 1. ditunjukkan dosis paparan radiasi limbah sebelum diolah antara 1,56 - 209  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  dan setelah diolah menjadi 0,35 - 148  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ . Pada Tabel 1 ditunjukkan hasil perhitungan koefisien atenuasi yaitu antara 0,0628 - 0,4711  $\text{cm}^{-1}$ . Satu drum 200 liter mampu menampung 4 - 6 drum 100 liter limbah terkompaksi. Jumlah limbah hasil olahan dengan cara kompaksi dan imobilisasi sebanyak 8 drum 200 liter. Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa paparan pada kontak permukaan drum setelah limbah disementasi akan terjadi pengurangan kuantitas radiasi pada saat radiasi menembus materi semen akibat interaksi antara radiasi dengan materi tersebut. Dari 8 drum 200 liter hasil olahan yang mempunyai paparan pada kontak permukaan drum lebih besar ada 1 buah yaitu pada drum 200 liter No. 956 dengan paparan 209  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ , dari data limbah bahwa drum tersebut berasal dari PRR dan PTLR. Kandungan materialnya berupa kertas dan plastik, paparan awalnya masih dibawah batasan yang telah ditentukan yaitu 250  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ , sehingga dari hasil olah sejumlah 8 drum 200 liter sudah aman untuk dilakukan penyimpanan di *Interim Storage*. Hasil olahan limbah dalam drum 200 liter yang mempunyai nilai paparan masih di atas batas aman bagi pekerja pada penyimpanannya diatur sedemikian rupa sehingga penempatannya diletakkan pada posisi yang jauh dari pekerja. Semakin besar densitas semen yang terbentuk maka akan besar pula nilai koefisien atenuasinya. Nilai koefisien atenuasi berpengaruh terhadap paparan radiasi pada drum 200 liter hasil olah. Semakin besar nilai koefisien atenuasi akan semakin baik, karena semakin besar paparan radiasi yang terserap sehingga paparan yang keluar dari wadah limbah semakin kecil.

Tabel. 1. Data hasil reduksi volume dan imobilisasi pada drum 200 liter

No.	Nomor Drum 200 L	Jumlah drum 100 liter diolah	Faktor reduksi volume	Paparan Sebelum diolah ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ )	Paparan Setelah diolah ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ )	Koefisien Atenuasi ( $\text{cm}^{-1}$ )
1	952	5	60	1,56	0,35	0,2490
2	953	4	50	2,92	0,8	0,2158
3	954	5	60	27,7	19	0,0628
4	955	5	60	50,2	10,9	0,2545

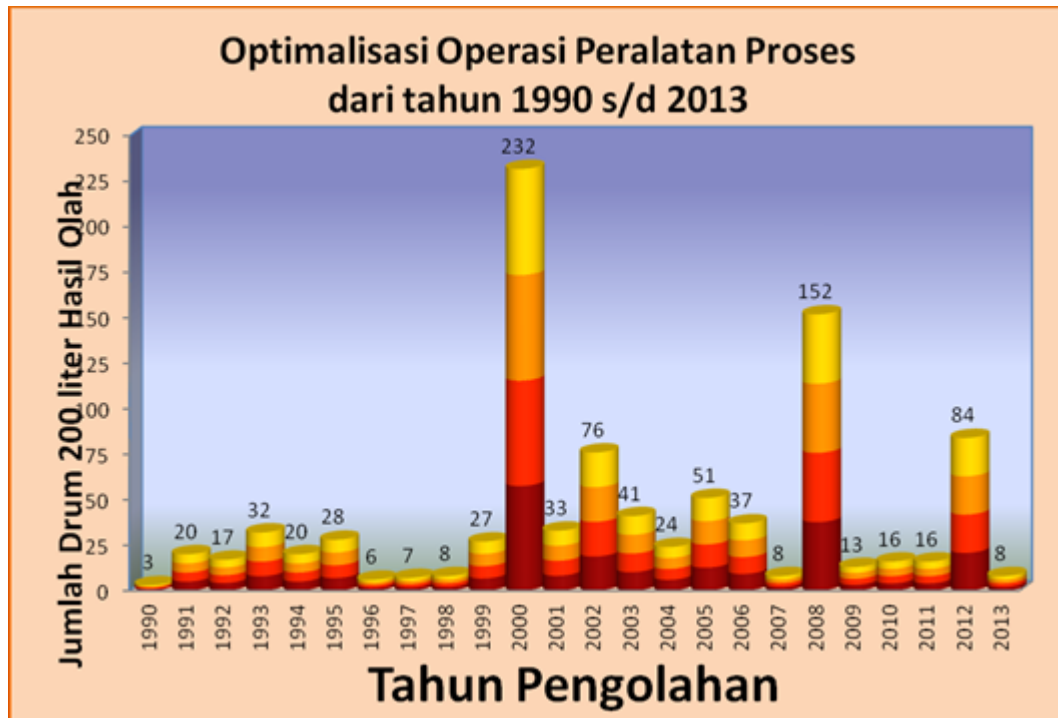
No.	Nomor Drum 200 L	Jumlah drum 100 liter diolah	Faktor reduksi volume	Paparan Sebelum diolah ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	Paparan Setelah diolah ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	Koefisien Atenuasi ( $\text{cm}^{-1}$ )
5	956	6	66,67	209	148	0,0575
6	957	5	60	13,51	0,8	0,4711
7	958	5	60	28,2	2,31	0,4170
8	959	5	60	4,98	1,57	0,1923
		40	Rata2: 60%			



Gambar 1. Perbandingan antara Paparan limbah sebelum diolah dan sesudah diolah

Pada Gambar 2. ditunjukkan peralatan unit pengolahan limbah padat yang beroperasi sejak tahun 1990 sampai dengan sekarang, masih dapat beroperasi optimal. Pada tahun 2000 alat ini mampu mengolah limbah sebanyak 232 drum 200 liter, limbah tersebut berasal dari PT. Tasuma Jaya sebagai pabrik pembuat kaos lampu. Semua limbah dibuang ke tanah sehingga terjadi kontaminasi pada seluruh badan tanah. Untuk mengatasi hal tersebut dibersihkan seluruh permukaan yang terkontaminasi. Limbah kemudian dikirim ke Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) untuk dilakukan pengolahan dengan cara sementasi. Limbah dalam drum 100 liter dimasukkan dalam drum 200 liter, pada sela – sela antara drum diberi batu koral dengan diameter 2,5 cm. Pada permukaan drum diberi pengunci agar pada saat proses sementasi drum 100 liter tidak terdorong ke atas. Selanjutnya produksi semen cair disiapkan untuk membuat adonan semen sesuai dengannya, untuk satu liter semen *slurry* adalah 1,313 kg semen, 0,326 kg pasir, 0,437 liter air dan 0,29 *additive tricosal*. Drum 200 liter ditempatkan diatas meja getar kemudian meja getar dihidupkan dan adonan semen

dialirkan ke dalam drum 200 liter melalui pompa peristaltik. Pada sisi atas dari drum 200 liter ditutup dengan penutup yang dilengkapi dengan sistem *VAC Off Gas* untuk menghindari dari debu yang terbang pada saat meja digetarkan. Proses imobilisasi dengan adonan semen memerlukan peralatan proses yang dapat bekerja optimal. Untuk mempertahankan hal tersebut perawatan juga dilakukan secara berkala, sehingga kondisi peralatan selalu dalam kondisi yang baik. Kegiatan perawatan juga harus berkesinambungan dengan proses operasi sehingga untuk menjaga kondisi peralatan perlu kegiatan proses operasi dilakukan dengan lebih optimal.



Gambar 2. Grafik hasil olah limbah sejak tahun 1990 s/d 2013.

## KESIMPULAN

Pengolahan limbah radioaktif padat dilakukan dengan proses reduksi volume menggunakan kompaktor dengan gaya tekan 600 kN dan diimobilisasi dengan matrik semen. Jumlah limbah yang dapat diolah sebanyak 40 drum 100 liter dan direduksi volumenya menjadi 8 drum 200 liter. Koefisien atenuasi limbah hasil olah antara 0,0545 - 0,4711  $\text{cm}^{-1}$ . Dosis paparan pada permukaan wadah limbah sebelum diolah antara 1,56 - 209  $\mu\text{Sv/jam}$  dan setelah diolah menjadi 0,35 - 148  $\mu\text{Sv/jam}$ . Limbah setelah diolah menjadi lebih aman, radionuklidanya terfiksasi, terkungkung, dan tertahan dalam rongga diantara kristal *matriks* semen, sehingga paparan radiasi setelah diolah akan menjadi lebih kecil. Setelah proses pengolahan, limbah disimpan di *Interim Storage* agar lebih aman dan selamat. Dengan melakukan proses pengolahan dan perawatan secara teratur dan sesuai dengan SOP yang berlaku akan dihasilkan kondisi peralatan yang lebih optimal.

---

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. SUHARTONO “*Preparasi dan Analisis Kandungan Radionuklida Limbah Radioaktif padat*” Proseding Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR 2009
- [2]. Republik Indonesia: *Undang- Undang No.10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran* (1997).
- [3]. ZAINUS SALIMIN, “Peran dan Perkembangan Operasi Teknik Kimia Pengolahan Limbah Radioaktif Untuk Mendukung Aplikasi Iptek Nuklir di Indonesia”, Buku Pengukuhan Profesor Riset Bidang Teknologi Evaporasi, ISBN 978-979-8500-37-4, Badan Tenaga Nuklir, Serpong, 2007.
- [4]. ZAINUS SALIMIN, “Proses Detoksifikasi dan dekontaminasi Limbah Radioaktif Solfen 30% TBP-Kerosin Fase Air dari Fabrikasi Elemen Bakar Nuklir” Proseding Hasil Penelitian dan Kegiatan, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR), tahun 2010.
- [5]. WASITO, “*Pengolahan Limbah Radioaktif Padat*” Diklat Diklat Pengelolaan Limbah Radioaktif PTPLR Tahun 1998
- [6]. Anonim “*Prosedur Tetap Unit Kompaksi*, PLR/6/COM/II/001/06/2006”
- [7]. Anonim “*Petunjuk Pelaksanaan Pembuatan Luluhan Semen (cement slurry)* PLR/6/COM/II/003/06/2006”
- [8]. Anonim “*Petunjuk Pelaksanaan Proses Immobilisasi* PLR/6/COM/II/002/06/2006”
- [9]. HAUSER. W., “*Packaging of Low and Medium Level Waste*”, IAEA, International Training, Karlsruhe, 1989.

## EVALUASI PENGGANTIAN RESIN SISTEM PURIFIKASI FASILITAS PENYIMPANAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS

**Dyah Sulistyani R**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

### ABSTRAK

EVALUASI PENGGANTIAN RESIN SISTEM PURIFIKASI FASILITAS PENYIMPANAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS. Kolam penyimpan bahan bakar bekas berisi kira-kira 995 m<sup>3</sup> air bebas mineral yang harus terjaga kualitasnya, dari segi konduktivitasnya maupun temperaturnya. Hal ini sangat penting untuk menjaga keutuhan dari bahan bakar bekas yang disimpan yang harus selalu terjaga dari faktor-faktor yang menyebabkan korosi. Dalam proses sistem purifikasi ini, pengotor air yang telah teraktivasi maupun yang tidak teraktivasi terlebih dahulu akan disaring dan ditangkap dengan cara pertukaran ion sehingga akan menurunkan konduktivitas dan aktivitas airnya. Hasil pengukuran laju dosis beberapa titik di kolom Cesium adalah 1324, 1138, 1513, 725 ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ ) dan di kolom Mixed bed 1514, 1028, 998, 655 ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ ), hasilnya menunjukkan bahwa laju dosis melebihi paparan daerah kerja zone 3, sehingga harus dilakukan penggantian resin yang baru. Hal ini menunjukkan bahwa pelepasan produk fisi seperti ion  $\text{Cs}^{137}$ ,  $\text{Co}^{60}$ ,  $\text{Sr}^{90}$  telah tertangkap di resin Cesium dan Mixed bed. Hasil setelah pengosongan resin dan penggantian dengan resin yang baru adalah 117, 98, 157, 84 ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ ) dan 126, 110, 88, 74 ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ ), sehingga operasi sistem purifikasi berlangsung secara aman sesuai dengan batas kondisi operasi yang sudah dipersyaratkan.

**Kata kunci** : bahan bakar nuklir bekas, purifikasi, hasil fisi.

### ABSTRACT

*EVALUATION OF PURIFICATION RESIN REPLACEMENT AT SPENT FUEL NUCLEAR STORAGE FACILITY. The spent fuel storage pool contains approximately 995 m<sup>3</sup> demineralized water that quality of water must be maintained, in terms of conductivity and temperature. It is very important to maintain the integrity of the stored spent fuel that must always be maintained of the factors that cause corrosion. In the process of the purification system, water impurities that have been activated or not activated in advance will be filtered and captured by means of ion exchange that will reduce conductivity and water activities. Results of dose rate measurement at some point Cesium column is 1324, 1138, 1513, 725 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) and in the Mixed bed columns is 1514, 1028, 998, 655 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ), the results showed that the exposure dose rate exceeds the work zone area 3, so it should be the new replacement of resin. This suggests that the release of fission products such as ion  $\text{Cs}^{137}$ ,  $\text{Co}^{60}$ ,  $\text{Sr}^{90}$  has been caught in Cesium and mixed bed resins. Results after emptying resin and replacement with a new resin is 117, 98, 157, 84 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) and 126, 110, 88, 74 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ), so that the operation of the purification system safely take place in accordance with the limits of the operating conditions already required*

*Keyword* : spent nuclear fuel, purification, fission products.

### PENDAHULUAN

Pembangunan fasilitas Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3) di Serpong adalah jenis *wet storage* merupakan bagian dari strategi jangka panjang dalam perkembangan pemanfaatan reaktor serbaguna GA. Siwabessy. Fungsi utama dari IPSB3 adalah untuk menerima dan



---

menyimpan bahan bakar bekas dan bahan teriradiasi yang lain. Setelah pemakaian elemen bakar ini tidak lagi menghasilkan energi panas yang cukup, secara otomatis kandungan radioaktifnya semakin tinggi dan temperaturnyapun sangat panas. Oleh karenanya sebelum dikelola di IPSB3, bahan bakar nuklir bekas (BBNB) perlu disimpan sementara atau didinginkan minimal 100 hari di kolam penyimpanan sementara reaktor. Hal ini dilakukan agar unsur-unsur hasil fisi yang bersifat radioaktif itu mengalami peluruhan dan radiasi yang dipancarkan menjadi rendah. Penyimpanan sementara ini disebut juga sebagai proses pendinginan. Proses pendinginan elemen bakar ini biasanya dilakukan dalam kolam penampung bahan bakar bekas yang terintegrasi dalam gedung reaktor, sebelum dipindahkan melalui kanal hubung ke instalasi penyimpanan sementara bahan bakar bekas.

Semua bahan nuklir yang disimpan di kolam penyimpanan dengan ukuran 4 x 15 meter dan dimasukkan ke dalam rak dari *stainless steel* yang dapat dipindah-pindahkan dengan ukuran 0,94m x 0,94m. Fasilitas IPSB3 dirancang untuk dapat menampung 1448 BBNB yang ditimbulkan dari 25 tahun operasi RSG-GAS. Kualitas air kolam adalah air bebas mineral yang dipasok dari sistem demineralisasi dengan menggunakan kolom penukar ion anion dan kation. Sedangkan untuk mempertahankan kualitas air tersebut dari kontaminasi zat radioaktif dilakukan proses pemurnian air secara kontinu melalui sistem purifikasi.

Kolam penyimpan BBNB berisi kira-kira 995 m<sup>3</sup> air bebas mineral dan di dalam kolam dilengkapi dengan beberapa buah rak penyimpan bahan bakar bekas serta peralatan penanganan BBNB. Untuk mencapai tujuan diatas maka kualitas air harus dioptimalkan baik untuk BBNB sendiri maupun sistem penyimpanan. Bila kualitas air dijaga, maka *performance* bahan bakar bekas tidak akan mengalami masalah. Hal yang berpengaruh dalam faktor ini adalah, kimia air, pengolahan air, metode kendali kualitas dan suhu. Pada makalah ini dibahas tentang evaluasi penggantian resin cesium dan mixed bed sistem purifikasi fasilitas penyimpanan BBNB.

## DASAR TEORI

### Deskripsi Proses Purifikasi

Instalasi penyimpanan bahan bakar nuklir bekas ini dilengkapi dengan sistem purifikasi yang berada di dalam fasilitas gedung KH-IPSB3, yang berfungsi untuk mengadsorpsi radionuklida dalam air kolam dan kanal hubung.

Fungsi air bebas mineral adalah:

- a. Perisai radiasi untuk mempertahankan batas tingkat radiasi yang diijinkan dalam daerah kerja.
- b. Pengambilan panas dari BBNB
- c. Penahanan dan pengungkungan unsur radioaktif untuk mencegah pelepasan radionuklida ke dalam daerah kerja.
- d. Sebagai media pemindah, untuk mengangkat resin segar dari bejana pemindah resin dan mencuci *bed resin* sewaktu resin diregenerasi

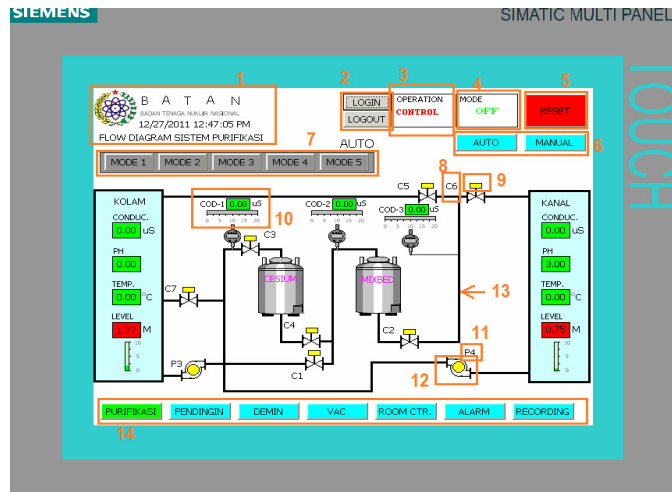
Kebutuhan air bebas mineral dipenuhi oleh air bebas mineral dari sistem sistem demineralisasi. Kualitas air bebas mineral seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kualitas air bebas mineral dari sistem demineralisasi [1]

pH	: 6,0 – 7,7	Cl	: 0,2 mol/cm <sup>3</sup>
Konduktivitas	: < 15 S/cm	SO <sub>4</sub>	: 0,6 mol/m <sup>3</sup>
Total kandungan garam	: 100 mg/l	Fe total	: 0 %
CaO	: 0,6 mol/m <sup>3</sup>	asam salisilat	: 0,34 mol/m <sup>3</sup>

Dalam proses sistem purifikasi ini, pengotor air yang telah teraktivasi maupun yang tidak teraktivasi terlebih dahulu akan disaring dan ditangkap dengan cara pertukaran ion sehingga akan menurunkan konduktivitas dan aktivitas air pendingin bahan bakar [1].

Sistem purifikasi instalasi KH-IPSB3 dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Diagram Alir Sistem Purifikasi [5]



Gambar 2. Sistem Purifikasi di KHIPSB3

Komponen utama dalam sistem purifikasi ini adalah [2]:

- Pompa
- *Pre-treatment (Cartridge filter)*
- Cesium Filter
- *Mixed-Bed Filter*
- *Resin trap(Disposal Cartridge)*

Pada prinsipnya bagian dari sistem purifikasi terbagi menjadi beberapa bagian, yaitu :

#### A. Pompa

Pompa purifikasi yang digunakan adalah pompa *Grundfos* jenis pompa sentrifugal yang berfungsi untuk memompa air dari kolam/*pond* atau kanal kembali lagi menuju kolam/*pond* atau kanal dengan melewati filter *cartridge* dan filter resin. Pompa ini mempunyai kapasitas laju alir 6,0 m<sup>3</sup>/jam, *discharge pressure* 2,6 bar dan daya motor pompa 2,2 kW dengan material *stainless steel*.

#### B. Pretreatment (Cartridge Filter)

*Pre-treatment* dimaksudkan untuk melakukan penyaringan awal air kolam atau kanal penghubung sebelum melewati filter Cesium dan *mixed-bed* filter. Disini *Cartridge Filter* yang digunakan berupa *disposal cartridge*, filter tersebut berfungsi untuk menangkap atau menyaring kotoran yang berbentuk partikel-partikel padatan tidak terlarut didalam air kolam atau kanal, sedangkan padatan terlarutnya akan lolos dan disaring menggunakan filter Cesium ataupun filter *Mixed-bed*.

#### C. Cesium filter

Setelah melewati *cartridge filter* air dialirkan menuju tabung filter Cesium. Didalam tabung filter ini diisikan media resin DOWEX *Monosphere 550A* dan DOWEX MSC-1-H. Fungsi utama dari filter Cesium adalah untuk menangkap ion-ion radioaktif Cesium ( $\text{Cs}^{137}$ ) dan ion-ion positif yang terkandung didalam air. Pada tabung filter dipasang alat ukur konduktivitas air dan indikator beda tekanan yang berfungsi untuk mengetahui kondisi kualitas resin.

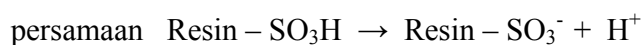
#### D. Mixed-bed filter

Filter ini digunakan menghilangkan atau menyaring ion radioaktif yang masih belum tertangkap pada filter Cesium maupun filter *cartridge*. Filter ini berisi campuran resin penukar kation dan resin penukar anion dengan standar kelas nuklir (*nuclear grade*) dalam bentuk  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$ . Di dalam *Mixed-bed* filter dimasukkan media resin DOWEX HCRS-H-NG dan DOWEX SBR-OH-NG yang berfungsi untuk menangkap ion radioaktif dari Stronsium ( $\text{Sr}^{90}$ ) dan ion-ion mineral lain yang masih ada didalam air.

#### E. Resin trap (Cartridge Filter)

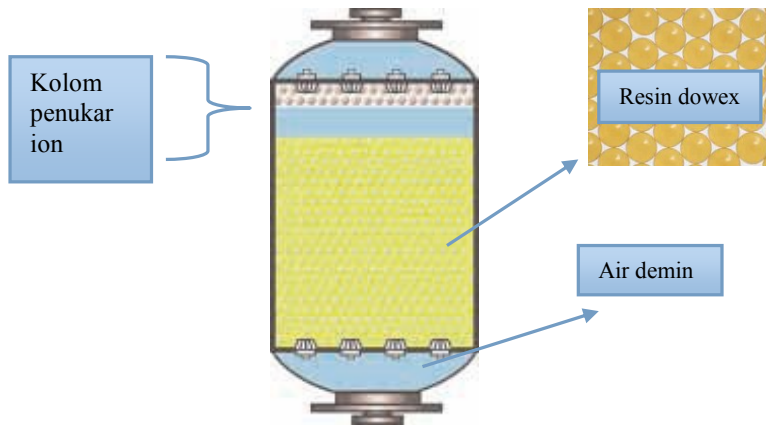
Resin trap merupakan filter terakhir dari sistem purifikasi yang berfungsi untuk menangkap kotoran yang tidak terlarut atau resin yang lolos dari filter resin sehingga air pendingin yang dihasilkan menjadi benar-benar bersih dan jika filter telah kotor maka perlu dilakukan penggantian filter. Filter Resin trap yang digunakan adalah sama dengan *cartridge filter* pada *pre-treatment* yaitu dari jenis *disposal cartridge*.

Jika resin dimasukkan ke dalam air, maka air akan terserap resin dan resin akan menggelembung, sedangkan gugus asamnya larut. Besarnya penggelembungan resin ditentukan oleh derajat ikatan silangnya, yaitu banyaknya % berat divinilbenzen dalam resin. Semakin besar derajat ikatan silangnya akan semakin kuat ikatan resin dan semakin kecil penggelembungannya [6]. Resin yang dimasukkan dalam air akan terionisasi menurut



Ion  $\text{H}^+$  dalam gugus sulfonat dapat diganti oleh kation yang lain ( $\text{Cs}^{137}$ ,  $\text{Sr}^{90}$ ,  $\text{Co}^{60}$ ,  $\text{C}^{14}$ , dan  $\text{Tc}^{99}$ )

Reaksi pertukaran kation ini akan sangat tergantung pada afinitas kation terhadap gugus fungsi sulfonat. Afinitas atau kekuatan ikatan suatu kation pada gugus sulfonat akan sangat tergantung pada muatan kation dan jari-jari ion. Penukar ion organik mempunyai network/matriks yang berupa polimer sintesis (resin) dengan gugus-gugus fungsi yang terikat secara kimia pada metrik polimer. Penukar ion yang paling penting dan banyak digunakan adalah suatu resin yang merupakan polimer-polimer organik dengan gugus-gugus ionogenik yang hidrofilik diikutsertakan di dalamnya [6]. Susunan resin dalam kolom penukar ion dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Susunan resin dalam kolom penukar ion

## TATA KERJA

### Bahan, Peralatan, dan Waktu Penelitian

Paralatan yang digunakan adalah : Multi tester, pH meter, Conductivitymeter, Surveymeter, kunci-kunci, obeng, tang dan ember. Penelitian ini dilakukan di fasilitas sistem purifikasi di KHIPSB3 pada tahun 2013.

### Metode

#### 1. Pengosongan resin Cs Filter

Setelah memakai alat keselamatan kerja (*safety shoes*, sarung tangan, *safety pad*, masker), memastikan tangki demin dalam kondisi terisi penuh dan posisi semua katub tertutup. Membuka katub V23, V12, V39.

Menekan tombol ON P6 pada panel control untuk menghidupkan pompa P 6 , sehingga resin dari kolom Cs filter mengalir ke tangki penampung resin dan memastikan semua resin Cs filter mengalir ke tangki penampung.

Menekan tombol OFF untuk mematikan pompa P6 pada panel control dan menutup katub V23, V12, V39

#### 2. Pengisian resin Cs filter sistem purifikasi Cs filter:

Setelah memakai alat keselamatan kerja (*safety shoes*, sarung tangan, *safety pad*, masker), kemudian menyiapkan resin Dowex Monosphere MSC-1-H dan Dowex Monosphere 550A dan membuka katub V 26 untuk memasukkan resin

ke tangki transfer. Mengalirkan air demin dengan menggunakan selang, sehingga resin masuk kedalam tangki transfer. Menutup V26 untuk memindahkan resin dari tangki transfer ke kolom Cs filter. Membuka V 14, V 33, V 34 ,V12 dan V11 dan menghidupkan pompa P 6, sampai resin yang ada di tangki transfer mengalir ke kolom Cs filter.

Memastikan semua resin telah mengalir ke kolom Cs filter , ditandai dengan sight glass di tangki transfer kosong dan menutup kembali semua katub yang sudah dibuka.

### **3. Pengosongan resin Mixed bed filter**

Setelah memakai alat keselamatan kerja (*safety shoes*, sarung tangan, *safety pad*, masker), memastikan tangki demin dalam kondisi terisi penuh dan memastikan posisi semua katub tertutup. Membuka katub V16, V 38, V 47 dan menekan tombol ON P 6 pada panel control untuk menghidupkan pompa , sehingga resin mengalir dari kolom mixed bed filter ke tangki penampung resin (waste resin tank). Menekan tombol OFF pada panel control untuk mematikan pompa P6 dan menutup V16, V 38, V 47.

### **4. Pengisian Dowex SBR-OH-NG dan Dowex HCRS-H-NG kolom *mixed bed* filter**

Setelah memakai alat keselamatan kerja (*safety shoes*, sarung tangan, *safety pad*, masker), memasukkan resin *Mixed bed* (Anion : Dowex SBR –OH-NG, Kation : Dowex HCRS-H-NG) ke tangki transfer dengan cara membuka katub V 26, sambil dialiri air demin dengan menggunakan selang, sehingga resin masuk kedalam tangki transfer. Memindahkan resin dari tangki transfer ke kolom *mixed bed* filter dengan cara menutup V26, buka V 14, V 33 ,V 34, V37 dan V38. menghidupkan pompa P 6, sampai resin yang ada di tangki transfer mengalir ke kolom *mixed bed* filter, ditandai dengan sight glass di tangki transfer kosong. Memastikan semua resin telah mengalir ke kolom *mixed bed* filter dan menutup kembali semua katub yang sudah dibuka.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Kegiatan pengosongan resin Cesium unit purifikasi di KH-IPSB3 dilakukan sesuai prosedur/intruksi kerja yang selanjutnya akan diisi atau diganti dengan resin Dowex Monosphere MSC-1-H dan Dowex Monosphere 550A yang baru. Fungsi resin adalah untuk menyaring ion-ion yang teraktivasi dengan cara pertukaran ion, sehingga akan menurunkan konduktivitas dan aktivitas air kolam dan kanal hubung. Jenis resin yang digunakan untuk Cs filter adalah Dowex Monosphere MSC-1-H dan Dowex Monosphere 550A. Untuk kolom Mixed bed filter adalah Anion: Dowex SBR –OH-NG, Kation : Dowex HCRS-H-NG. Sistem Purifikasi ini berfungsi untuk menjamin agar konduktivitas air kolam penyimpanan dan kanal berada pada kondisi batas operasi yang aman  $\leq 15 \mu\text{S/cm}$ . Pengukuran konduktivitas air kolam dan kanal 2 kali/minggu dan apabila konduktivitas air kolam dan kanal lebih besar dari  $15 \mu\text{S/cm}$  maka sistem purifikasi dioperasikan dengan debit  $6 \text{ m}^3/\text{jam}$ , konduktivitas maksimum air keluaran dari sistem ini adalah  $8 \mu\text{S/cm}$ . Penggantian resin penukar ion dilakukan berdasarkan 2 (dua) faktor yaitu

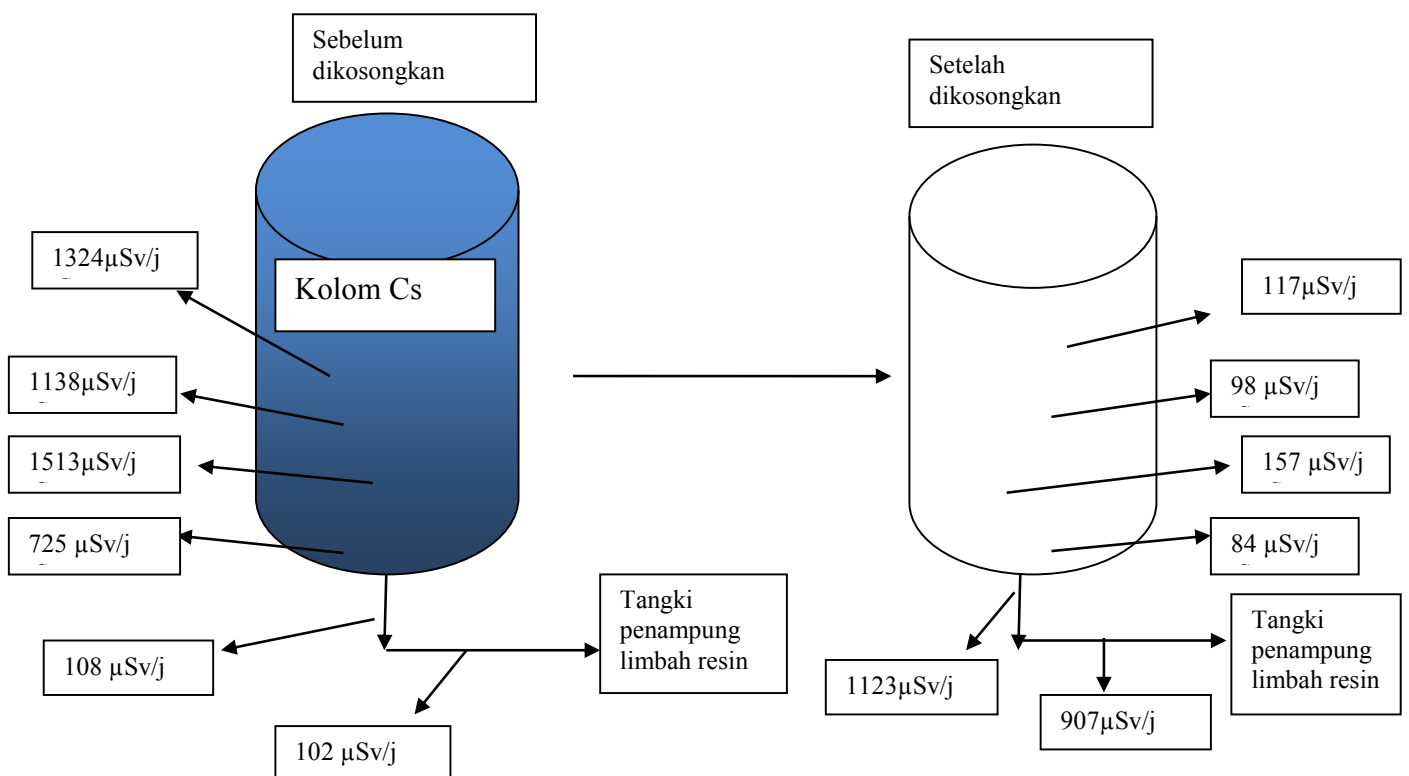
1. Faktor paparan (laju dosis) tangki resin Cesium dan Mixed bed, apabila sudah melebihi paparan daerah kerja zone 3 ( $10 \mu\text{Sv/jam}$ ), maka harus dilakukan penggantian resin.
2. Pengukuran perubahan konduktivitas air kolam dan kanal sebelum dan setelah operasi purifikasi selama 24 jam. Apabila tidak terjadi penurunan konduktivitas maka penggantian resin dilakukan.

Hasil pengukuran laju dosis pada kolom Cesium dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 4.



Tabel 2. Laju Dosis di kolom Cesium

	Posisi	Sebelum pengosongan resin ( $\mu$ Sv/j)	Setelah pengosongan resin ( $\mu$ Sv/j)
Laju dosis dalam kolom Cesium	Titik 1	1324	117
	Titik 2	1138	98
	Titik 3	1513	157
	Titik 4	725	84
Laju dosis pada pipa menuju ke tangki penampungan resin	Titik 1	108	1123
	Titik 2	102	907

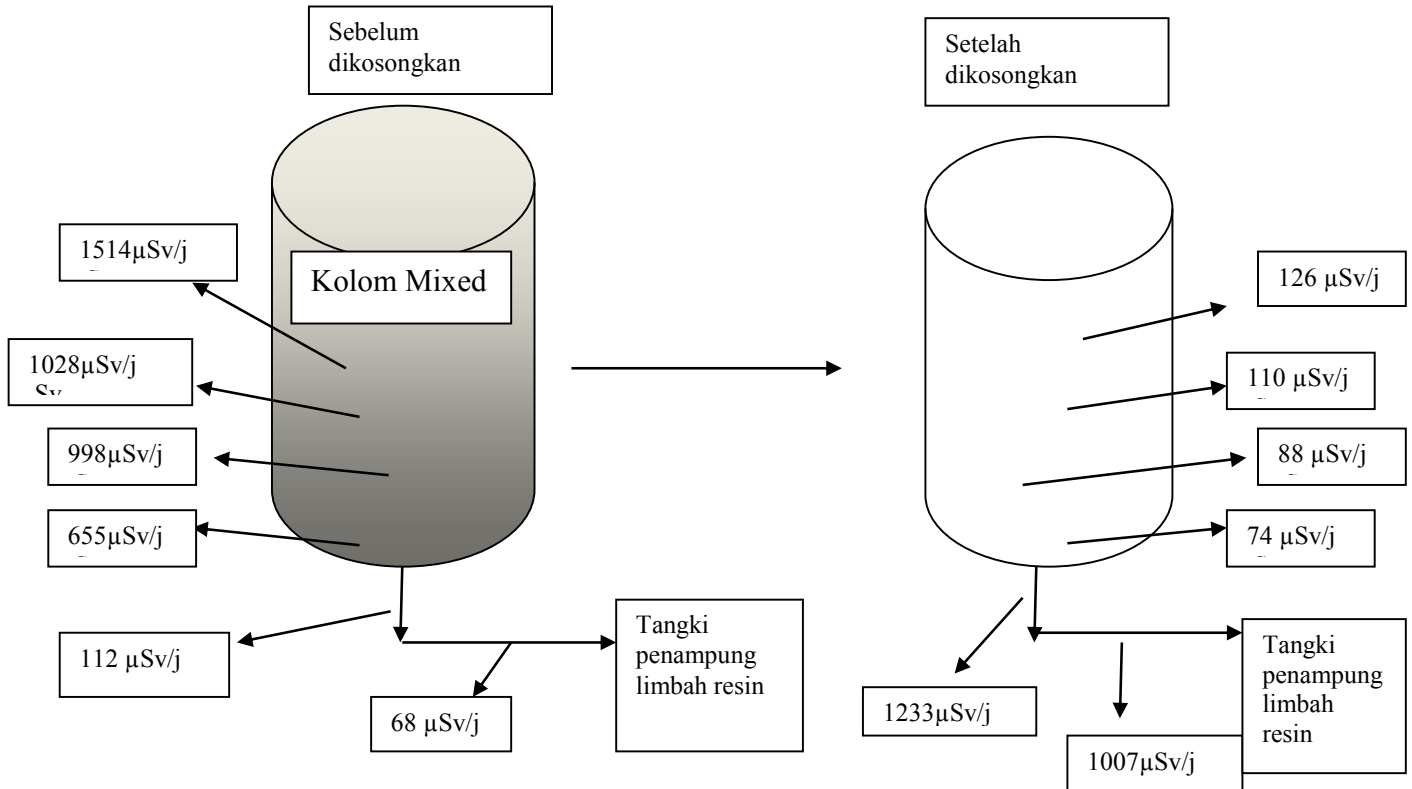


Gambar 4. Laju Dosis di kolom Cesium

Pengisian resin Dowex Monosphere 550A 400 lt dan MSC-1-H sebanyak 400 lt ke dalam kolom Cesium berjalan sempurna , ditandai dengan *sight glass* di tangki transfer telah kosong. Kegiatan selanjutnya adalah pengosongan kolom mixed bed dan hasil laju dosis dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 5.

Tabel 3. Laju Dosis di kolom Mixed bed

	Posisi	Sebelum pengosongan resin ( $\mu$ Sv/jam)	Setelah pengosongan resin ( $\mu$ Sv/jam)
Laju dosis di kolom <i>Mixed bed</i>	Titik 1	1514	126
	Titik 2	1028	110
	Titik 3	998	88
	Titik 4	655	74
Laju dosis pada pipa menuju ke tangki penampungan resin	Titik 1	112	1233
	Titik 2	68	1007



Gambar 5. Laju dosis di kolom mixed bed

Pengisian resin Dowex SBR –OH-NG, Kation : Dowex HCRS-H-NG sebanyak 400 lt ke dalam kolom *Mixed bed* berjalan sempurna, ditandai dengan *sight glass* di tangki transfer telah kosong. Setelah penggantian resin , maka sistem purifikasi dioperasikan sesuai dengan batas kondisi operasi yang sudah dipersyaratkan.

**KESIMPULAN**

Hasil pengukuran laju dosis beberapa titik di kolom Cesium adalah 1324, 1138, 1513, 725 (μSv/jam) dan di kolom Mixed bed 1514, 1028, 998, 655 (μSv/jam), hasilnya menunjukkan bahwa laju dosis melebihi paparan daerah kerja zone 3, sehingga harus dilakukan penggantian resin yang baru. Hal ini menunjukkan bahwa pelepasan produk fisi seperti ion Cs<sup>137</sup>, Co<sup>60</sup>, Sr<sup>90</sup> telah tertangkap di resin Cesium dan Mixed bed. Hasil setelah pengosongan resin dan penggantian dengan resin yang baru adalah 117, 98, 157, 84 (μSv/jam) dan 126, 110, 88, 74 (μSv/jam), sehingga operasi sistem

purifikasi berlangsung secara aman sesuai dengan batas kondisi operasi yang sudah dipersyaratkan.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1].Laporan Analisis Keselamatan Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara
- [2].Bahan Bakar Bekas (LAK KH-IPSB3), rev 7, PTLR – BATAN, 2009.
- [3].KADARUSMANTO, ENDANG SUSILOWATI ”Sistem Operasi dan Proses KH- IPSB3”, Pelatihan Instalasi Nuklir Non Reaktor, September – Oktober 2007, Jakarta
- [4].Safety Series No. 117, Operation of Spent Fuel Storage Facilities, IAEA, Vienna, 1994
- [5].Structural Design Calculation Volume 1, 2 & 3, Transfer Channel and ISFSF for BATAN, AEA Engineering, 1993
- [6].Dyah Sulistyani Rahayu, Diklat Pengelolaan Limbah Radioaktif, PTLR , Serpong, 2012
- [7].NACHORD, F. C. AND SCHUBERT, J., Ion Exchange Technology, Academic Press, Inc., Publisher, New York, (1956).



---

**IMPLEMENTASI PELAKSANAAN SISTEM PERTANGGUNGJAWABAN  
DAN PENGENDALIAN BAHAN NUKLIR DAN PROTOKOL  
TAMBAHAN 2013**

**Dyah Sulistyani Rahayu**  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

**ABSTRAK**

**IMPLEMENTASI PELAKSANAAN SISTEM PERTANGGUNGJAWABAN DAN PENGENDALIAN BAHAN NUKLIR DAN PROTOKOL TAMBAHAN 2013.** Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas (KHIPSB3), merupakan salah satu fasilitas nuklir di Indonesia dengan kode MBA RI-G. Implementasi seifgard atau SPPBN di MBA RI-G yaitu penyusunan *Location Outside Facility* (LOF) dan penyusunan dokumen pencatatan yaitu laporan *General Ledger, Subsidiery Ledger, PIIL, Summary dan Mapping*, sedangkan dokumen pelaporan ke IAEA, yaitu laporan ICR no.12, laporan PIL no. 64, 65, 66, 67,68, laporan MBR no. 69 dan disampaikan ke BAPETEN dan IAEA. Penerapan Sistem *Srengthened Seifgard*, yang mewajibkan Pengusaha Instalasi atau Fasilitas Nuklir memberikan akses informasi dan lokasi litbang daur bahan bakar, yaitu dengan penyusunan dokumen Protokol Tambahan periode Januari sampai dengan Desember 2012. *Form* artikel yang disampaikan adalah Artikel 2.a.(i), Artikel 2.a.(iii) Artikel 2.a.(vi) dan Artikel 2.a.(x). Inspeksi dokumen seifgard dan fasilitas oleh IAEA, antara lain verifikasi bahan nuklir bekas dengan menggunakan kamera *cerenkov* berjalan lancar, dan tidak ditemukan bukti penyelewangan bahan nuklir.

Kata kunci : seifgard, bahan bakar nuklir bekas,Protokol Tambahan, Location Outside Facility

**ABSTRACT**

**IMPLEMENTATION OF SYSTEM ACCOUNTABILITY AND CONTROL OF NUCLEAR MATERIALS AND ADDITIONAL PROTOCOL 2013.** *Transfer Channel Interim Storage for Spent Nuclear Fuel Storage* , is one of the nuclear facilities in Indonesia with MBA RI - G code . Implementation safeguard in MBA RI - G is the making all safeguard documents i.e LOF document, General Ledger, Subsidiery Ledger , PIIL , Summary and Mapping. Reporting document to IAEA included ICR no.12 , PIL report no. 64 , 65 , 66 , 67,68 , MBR report no. 69 and submitted to BAPETEN and IAEA. Application of Seifgard Srengthened System , which requires Nuclear Installations Authority or facilities to provide information access and the location of R & D fuel cycle , namely the Additional Protocol document period of January to December 2012 . Form submitted articles are Article 2.a. ( i ) , Article 2.a. ( iii ) Article 2.a. ( vi ) and Article 2.a. ( x ) . Inspection of documents seifgard and facilities by the IAEA , includes other verification of spent nuclear materials using Cerenkov camera running safely, and no evidence of nuclear material frauds.

Keywords : *safeguard , spent nuclear fuel, Additional Protocol, Location Outside Facility*

## PENDAHULUAN

Seifgard akuntansi bahan nuklir telah dilaksanakan selama lebih dari 30 tahun oleh *International Atomic Energy Agency*, Indonesia telah menandatangani dan melaksanakan perjanjian *safeguards* sejak tahun 1980. Tetapi sejak berakhirnya perang dingin beberapa kejadian telah merubah keadaan dan persyaratan sistem seifgard. Pada tahun 1997 *the Boards of Governors* telah menyetujui Model Protokol Tambahan terhadap perjanjian seifgard (yang dipublikasikan sebagai dokumen INFCIRC/540). Sampai 19 Juli 2005 telah ada 102 negara yang menandatangani protokol tambahan, dan yang telah meratifikasi ada 69 negara. Pemerintah Indonesia telah menandatangani dan meratifikasi *Additional Protocol to Safeguard Agreement* pada tanggal 29 September 1999 [2]. Indonesia merupakan negara ke delapan dunia dalam penandatanganan protokol ini. Dengan penandatanganan protokol ini berarti Indonesia mempunyai komitmen untuk mengimplementasikan Sistem *Srengthened Safeguard* (S3). Untuk melaksanakan komitmen tersebut Indonesia menetapkan PERKA Nomor 9 Tahun 2006 tentang Protokol Tambahan adalah untuk mencegah terjadinya perubahan pemanfaatan bahan nuklir dan untuk mengatur persyaratan dan tanggung jawab Pengusaha Instalasi (PI) atau fasilitas nuklir dan/atau Pengusaha Instalasi Nonnuklir dalam melaksanakan Protokol Tambahan. Pengusaha Instalasi atau Fasilitas Nuklir dan/atau Pengusaha Instalasi Nonnuklir bertanggung jawab mematuhi persyaratan protokol tambahan seifgards di fasilitas dan lokasi di luar fasilitas dengan menunjuk penanggung jawab pelaksana dan harus diberitahukan kepada Kepala BAPETEN. Pengusaha Instalasi atau Fasilitas Nuklir dan/atau Pengusaha Instalasi Nonnuklir wajib memberikan akses informasi dan lokasi litbang daur bahan bakar. Kepala BAPETEN dapat menyetujui Inspektur IAEA yang didampingi Inspektur keselamatan Nuklir yang ditunjuk Ka. BAPETEN untuk melaksanakan verifikasi informasi yang telah dideklarasikan, pada saat pelaksanaan inspeksi di fasilitas. Yang termasuk dalam instalasi nuklir adalah :

- a. reaktor nuklir;
- b. fasilitas yang digunakan untuk pemurnian, konversi, pengayaan bahan nuklir, fabrikasi bahan bakar nuklir dan/atau pengolahan ulang bahan bakar nuklir bekas; dan/atau
- c. fasilitas yang digunakan untuk menyimpan bahan bakar nuklir dan bahan bakar nuklir bekas.

## TEORI

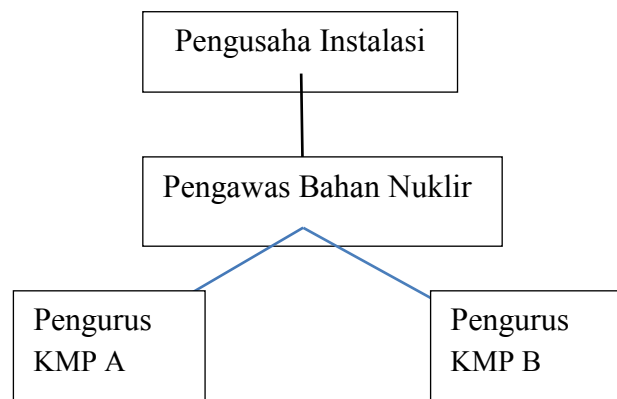
### SISTEM SEIFGARD

Indonesia menandatangani perjanjian Seifgard dengan IAEA berdasarkan INFCIRC/153 pada tahun 1980, yang memberikan hak kepada IAEA untuk melakukan inspeksi dan verifikasi terhadap penggunaan bahan nuklir yang ada di Indonesia serta mengharuskan Indonesia untuk menyelenggarakan *State System of Accounting for and Control of Nuclear* (SSAC) atau Sistem Pertanggungjawaban dan Pengendalian Bahan Nuklir (SPPBN) [3] Sehingga semua bahan nuklir dapat diawasi dan dikendalikan penggunaannya, tidak digunakan untuk pembuatan senjata nuklir.

Pelaksanaan seifgard di Indonesia diatur dengan Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2011 tentang Sistem Seifgard atau Pertanggungjawaban dan Pengendalian Bahan Nuklir. Berdasarkan Peraturan tersebut :

- BAPETEN ditetapkan sebagai instansi yang berwenang (*State Level*) dalam menyelenggarakan Sistem Pertanggungjawaban dan Pengendalian Bahan Nuklir (SPPBN) atau Seifgard.
- Fasilitas nuklir atau instalasi yang menggunakan bahan nuklir atau pengusaha instalasi nuklir adalah sebagai operator (*Facility Level*).
- Setiap fasilitas harus memiliki organisasi SPPBN, yang terdiri dari Pengusaha Instalasi Nuklir, Pengawas Inventori Bahan Nuklir dan Pengurus Inventori Bahan Nuklir.

Berdasarkan Perka tersebut , maka struktur organisasi seifgard terdiri dari Pengusaha Instalasi (PI), Pengawas inventori bahan nuklir dan Pengurus inventori bahan nuklir (KMP A dan KMP B). Bagan struktur organisasi seifgard dapat dilihat pada Gambar 1. Setiap pengawas dan pengurus inventori bahan nuklir harus mempunyai Surat Izin Bekerja (SIB) yang diterbitkan oleh Kepala BAPETEN.



Gambar 1. Bagan Struktur Organisasi Seifgard

Di Indonesia terdapat tujuh fasilitas nuklir, yaitu :

- Reaktor Triga Mark Bandung (MBA RI-A)
- Reaktor Kartini Yogyakarta (MBA RI-B)
- Reaktor GA. Siwabessy (RSG-GAS) (MBA RI-C)
- Fabrikasi elemen bakar reaktor (MBA RI-D)
- Fasilitas Pengembangan Elemen bakar eksperimental (MBA RI-E)
- Fasilitas Radiometalurgi (MBA RI-F)
- Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas (KHIPSB3), MBA RI-G

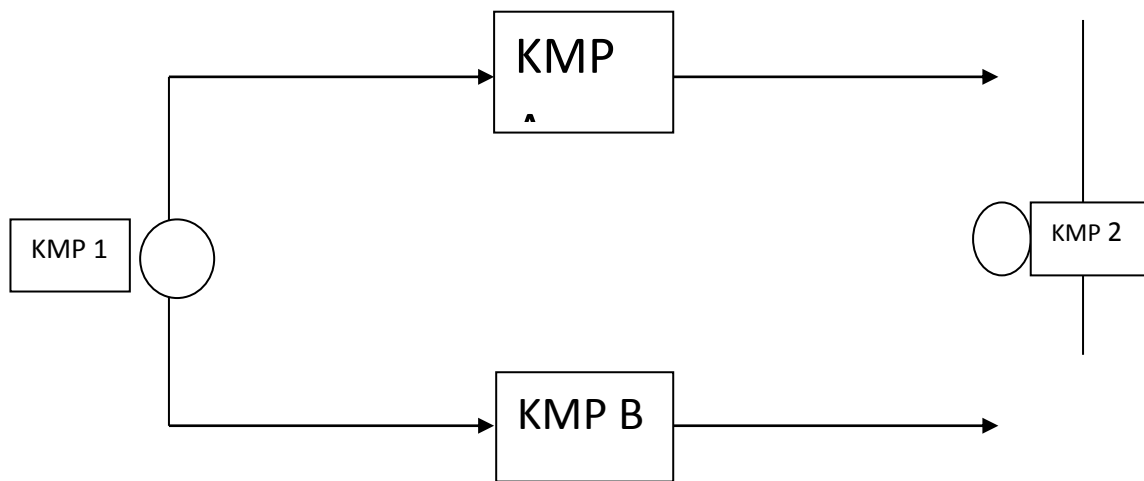
Instalasi Nuklir selalu dinotasikan dengan *Material Balance Area (MBA)* adalah daerah di dalam atau di luar fasilitas yang ditetapkan sebagai daerah dimana :

- Jumlah setiap bahan nuklir yang masuk ke dalam atau ke luar dari MBA dapat ditentukan



- Inventori fisik bahan nuklir di setiap MBA, jika dibutuhkan dapat dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan

Tempat pengukuran bahan nuklir dinyatakan dengan istilah *KMP* (*Key Measurement Point*) yaitu tempat dimana bahan nuklir berada dalam bentuk yang dapat diukur untuk keperluan penentuan alur atau inventori bahan nuklir. *Key Measurement Point* meliputi KMP alir dan KMP inventori. MBA RI-G mempunyai 2 KMP inventori dan 2 KMP alir. KMP inventori yaitu KMP A untuk penyimpanan bahan bakar nuklir bekas dan KMP B untuk material teriradiasi. Sedangkan KMP alir ada 2, yaitu KMP 1 untuk penerimaan bahan nuklir dan KMP 2 untuk pengiriman bahan nuklir. Diagram alir bahan nuklir di MBA RI-G ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 . Diagram alir bahan nuklir di MBA RI-G

#### PROTOKOL TAMBAHAN

Perjanjian *Protocol Additional to Safeguard* yang termaktub dalam INFCIRC/540, yang mengharuskan pendeklarasian secara lengkap yang meliputi kegiatan dimasa lalu, sekarang dan yang akan datang, baik untuk maksud damai ataupun tidak dan yang terpenting memberikan akses secara luas kepada IAEA untuk mendapatkan informasi maupun masuk ke lokasi di dalam maupun di luar fasilitas yang telah dideklarasikan. Indonesia menandatangani perjanjian *Protocol Additional to Safeguard* pada tahun 1999 dan pelaksanaannya dimulai tahun 2000. Informasi yang harus dilaporkan/dideklarasikan ke IAEA [2] :

- Kegiatan R&D yang terkait dengan daur bahan nuklir,
- Kegiatan operasional yang relevan dengan *seifgard* di fasilitas dan LOF (*Location Out of Facility*),
- Semua gedung /bangunan di tapak setiap fasilitas dan LOF,
- Skala operasi kegiatan pembuatan peralatan yang terkait nuklir,
- Status operasi tambang uranium, instalasi konsentrasi U/Th,
- Inventori, ekspor, dan import bahan nuklir yang tidak terkena *seifgard*,
- Bahan nuklir yang sebelumnya telah dibebaskan (ps. 36 dan 37) atau dihentikan dari *seifgard* (ps. 11) perjanjian *seifgard*,

- Pengolahan limbah tingkat sedang dan tinggi dari Pu, HeU, dan U-233,
- Eksport dan import peralatan khusus dan bahan non nuklir,
- Rencana umum periode 10 tahun pengembangan daur bahan nuklir.

Untuk menjamin tidak adanya kegiatan maupun bahan nuklir yang tidak terdeklarasi, maka IAEA berhak memasuki lokasi sebagai berikut [1]:

- Setiap tempat tapak (*site*) di fasilitas,
- Setiap lokasi tambang, instalasi konsentrasi U/Th, pemrosesan sampai pengkayaan/fabrikasi, atau penggunaan non nuklir, bahan-bahan yang sebelumnya dibebaskan atau dihentikan dari *seifgard*,
- Setiap fasilitas atau LOF yang sudah didekomissioning dan
- Pengambilan sampel lingkungan lokasi khusus dan *sample area* yang lebih luas.

### AKSES/INSPEKSI

Kepala BAPETEN menyampaikan pemberitahuan akses IAEA kepada Pengusaha Instalasi atau Fasilitas Nuklir dan Pengusaha Instalasi Nonnuklir paling singkat 24 (dua puluh empat) jam sebelum melakukan akses. Pemberitahuan akses IAEA kepada Pengusaha Instalasi Nuklir dan Pengusaha Instalasi Nonnuklir untuk pelaksanaan verifikasi informasi desain, inspeksi rutin, atau inspeksi *ad hoc* fasilitas ke setiap tempat di dalam tapak dilakukan paling singkat 2 (dua) jam, tetapi dalam keadaan luar biasa dapat kurang dari 2 (dua) jam.

Akses harus diberitahukan terlebih dahulu secara tertulis dan dengan menyebutkan alasan dan jenis kegiatan yang akan dilaksanakan selama akses. Akses hanya dapat dilakukan selama jam kerja, kecuali dapat ditentukan lain apabila Pengusaha Instalasi dan/atau Fasilitas Nuklir menyetujuinya. Inspektur IAEA dan Inspektur Keselamatan Nuklir dapat melakukan inspeksi mendadak ke fasilitas tanpa pemberitahuan terlebih dahulu. Keuntungan dari *Integrated safeguard* adalah Indonesia mendapat kepercayaan internasional, dapat mengakses teknologi nuklir dan peralatan nuklir yang manapun yang dikehendaki, syarat yang harus dipenuhi oleh Indonesia dalam hal ini ialah agar kepada inspektur *Seifgard* IAEA diberikan visa *multiple entry* selama satu tahun untuk masuk ke Indonesia dengan paspor IAEA untuk *Unannounced Verification* [5].

### METODE

1. Penyusunan LOF yang kemudian dilanjutkan dengan penyusunan ICR dan disampaikan ke BAPETEN
2. Penyusunan Protokol Tambahan periode Januari 2012 sampai dengan Desember 2012 dan disampaikan BAPETEN sebelum tanggal 15 April 2013
3. Pemberitahuan Inventori Fisik (*Physical Inventory Taking* PIT) oleh BAPETEN dimana petugas dan pengawas seifgard harus menyusun dokumen pencatatan seifgard dan dilanjutkan inspeksi oleh IAEA.

### PEMBAHASAN

#### Penyusunan LOF (*Location Outside Facility*)

Penyusunan *Location Outside Facilities* yang (LOF) harus dilakukan karena Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) menggunakan bahan nuklir yang berasal

dari Pusat Teknologi Bahan Nuklir, dan MBA RI-G tidak mempunyai KMP untuk bahan nuklir tersebut. Bahan nuklir yang digunakan adalah larutan standard uranium total cair sebanyak  $\pm 50$  ml, dengan pengayaan U-235 kira-kira 20 % dan aktivitas uranium total kira-kira 1250 Bq/ml yang digunakan untuk analisis radionuklida (Uranium total) sampel urin pekerja radiasi yang berpotensi mendapat dosis radiasi internal, terutama dari sumber pemancar alpha (uranium). Dalam hal ini sumber std U-total digunakan untuk menghitung Efisiensi Pemisahan Kimia (R). LOF adalah setiap instalasi atau lokasi pemanfaatan bahan nuklir yang jumlahnya sama dengan atau lebih kecil dari 1 (satu) kilogram efektif. Kilogram efektif adalah satuan khusus yang digunakan dalam pengendalian bahan nuklir. Setelah penyampaian LOF ke BAPETEN dan mendapat persetujuan, maka dilakukan perpindahan bahan nuklir dari PTBN ke LOF, yaitu menggunakan *Inventory Change Document* (ICD) kemudian dilanjutkan penyusunan dan penyampaian ICR no.12 ke BAPETEN yang selanjutnya disampaikan ke IAEA.

### **Penyusunan Protokol Tambahan**

Pengusaha Instalasi atau Fasilitas Nuklir wajib menyampaikan deklarasi Protokol Tambahan kepada Kepala BAPETEN, deklarasi dengan atau tanpa perubahan, paling lama tanggal 15 April setiap tahun, yang berisi tentang :

1. Artikel 2.a.(i) tentang litbang daur bahan bakar nuklir yang tidak menggunakan bahan nuklir. Deklarasi ini berisi uraian umum dan keterangan tentang lokasi Litbang daur bahan bakar nuklir yang tidak menggunakan bahan nuklir, yang dibiayai oleh pemerintah dan secara khusus dikuasai, dikendalikan, atau dilaksanakan oleh pemerintah, atau atas nama pemerintah.
2. Artikel 2.a.(iii) yang berisi uraian umum tentang setiap gedung di masing-masing tapak fasilitas nuklir. Deklarasi ini berisi uraian umum tentang setiap gedung di masing-masing tapak fasilitas nuklir, termasuk penggunaan, isi, dan denah tapak sesuai dengan Informasi Desain fasilitas nuklir.
3. Artikel 2.a.(vi) yang berisi uraian tentang kegiatan penyimpanan Uranium dan Thorium.
4. Artikel 2.a.(x) yang berisi deklarasi tentang rencana umum pengembangan daur bahan bakar nuklir untuk periode 10 (sepuluh) tahun berturut-turut, termasuk litbang yang terkait dengan daur bahan bakar nuklir yang telah terencana, dan telah disetujui oleh Pimpinan Instalasi.

### **Penyusunan dokumen seifgard (Pelaporan dan Pencatatan)**

Setelah pemberitahuan dari BAPETEN tentang adanya Verifikasi Inventori Fisik (*Physical Inventory Verification, PIV*) adalah setiap kegiatan yang diselenggarakan untuk memverifikasi rekaman inventori bahan nuklir pada saat tertentu di dalam MBA, maka dimulailah pelaksanaan Inventori Fisik (*Physical Inventory Taking, PIT*) yaitu proses perekaman semua inventori bahan nuklir di dalam MBA atau LOF, maka disusunlah dokumen seifgard oleh pengawas dan pengurus seifgard MBA RI-G. Sistem Pencatatan antara lain *General Ledger* (Buku Besar), *Subsidiary Ledger* (Buku Pelengkap), *Inventory Change Document* (ICD, Dokumen Perubahan Inventori), *Physical Inventory Item List* (PIIL, Daftar Inventori Bahan nuklir), *Summary, Mapping*.

Sistem pelaporan ke IAEA, antara lain *Inventory Change Report* (ICR, Laporan Perubahan Inventori) no.12, *Physical Inventory Listing* (PIL, Laporan Daftar

Inventory Fisik) no.64, 65,66,67,68 dan *Material Balance Report* (MBR, Laporan Neraca Bahan Nuklir) no 69.

Setelah semua dokumen diverifikasi oleh BAPETEN , maka dilanjutkan inspeksi dokumen seifgard dan fasilitas oleh IAEA. Inspeksi fasilitas KH-IPSB3 antara lain verifikasi bahan nuklir bekas dengan menggunakan kamera cerenkov berjalan lancar, dan tidak ditemukan bukti penyelewangan bahan nuklir. Kegiatan inspeksi IAEA dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Kegiatan verifikasi bahan nuklir bekas dengan menggunakan kamera Cerenkov

## KESIMPULAN

Implementasi seifgard atau SPPBN yaitu penyusunan LOF dan penyusunan dokumen pencatatan yaitu laporan *General Ledger, Subsidiary Ledger, PIIL, Summary dan Mapping*, sedangkan dokumen pelaporan ke IAEA, yaitu laporan ICR no.12, laporan PIL no. 64, 65, 66, 67,68, laporan MBR no. 69. Penyusunan dokumen Protokol Tambahan periode Januari sampai dengan Desember 2013 berisi tentang Artikel 2.a.(i), Artikel 2.a.(iii) Artikel 2.a.(vi) dan Artikel 2.a.(x). Inspeksi dokumen seifgard dan fasilitas oleh IAEA, antara lain verifikasi bahan nuklir bekas dengan menggunakan kamera cerenkov berjalan lancar, dan tidak ditemukan bukti penyelewangan bahan nuklir.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1].Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 9 Tahun 2006 Tentang Pelaksanaan Protokol Tambahan Pada Sistem Pertanggungjawaban Dan PengendalianBahan Nuklir
- [2].Workshop SPPBN dan Protokol Tambahan, BAPETEN, Jakarta, 2007
- [3].INFCIRC/540, Model Protocol Additional to the Agreement between State and the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguard
- [4].Guidelines and Format for Preparation and Submission of Declation Pursuant to Article 2
- [5].And 3 of the Model Protocol Additional to Seifgard Agreements
- [6].Kadarusmanto, Safeguard di MBA RI-G, Coaching Operator KHIPSB3, Serpong, 2007



---

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH  
RADIOAKTIF PADAT, CAIR DAN LIMBAH BAHAN BERBAHAYA  
BERACUN (B3)**

**Irwan Santoso, Ayi Muziyawati, Masudi**  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

**ABSTRAK**

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF PADAT, CAIR DAN LIMBAH BAHAN BERBAHAYA BERACUN (B3).** Dalam rangka mendukung pencapaian program Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) sebagai fasilitas layanan nasional pengolahan limbah radioaktif, maka telah dilakukan kegiatan pengembangan teknologi pengolahan limbah radioaktif padat, cair dan B3. Kegiatan tersebut meliputi kegiatan administratif dan teknis. Kegiatan administratif berupa pengadaan barang dan jasa, updating data limbah di SIMLR, dan pendataan limbah radioaktif. Kegiatan teknis berupa pengecekan, penggantian, perbaikan, modifikasi komponen yang rusak di alat olah limbah di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) serta operasinya untuk tujuan pemanasan atau pengolahan limbah radioaktif. Kegiatan preparasi limbah menghasilkan 81 drum kapasitas @100 liter berisi limbah radioaktif padat yang siap diolah. Hasil kegiatan pengolahan limbah berupa terolahnya limbah cair sebanyak 80 m<sup>3</sup>, 1760 liter limbah resin, 40 drum kapasitas @100 liter limbah radioaktif padat dengan cara kompaksi, 30 boks (90,34 kg) limbah radioaktif padat terbakar, 117 unit limbah radioaktif sumber terbungkus terkonidioning. Kegiatan sistem informasi manajemen menghasilkan software aplikasi limbah, ujicoba aplikasinya dan updating data.

**Kata Kunci :** pengolahan, limbah radioaktif, limbah bahan berbahaya beracun

**ABSTRACT**

**DEVELOPMENT OF PROCESSING TECHNOLOGY FOR SOLID, LIQUID RADIOACTIVE AND HAZARDOUS WASTE.** *In order to support the achievement of Radioactive Waste Technology Center programs as the national service facility for radioactive waste management, some activities has been carried out. The activities has aim to develop the technologies of solid and liquid radioactive waste treatment as well as A hazardous waste management. There are two major activities, administrative and technical activities such as components and equipment checking, replacement, repairing and modification of the processing unit and also operation of them for radioactive waste treatment or just performance test. The waste preparation results 81 pieces of 100 liter drums, containing solid waste is ready to be processed. The result of waste treatment are 80 m<sup>3</sup> liquid waste to be evaporated, 1760 liter spent resin to be cemented, 40 drum @100 liter solid radioactive waste to be compacted, 30 box (90,34 kg) solid waste to be incinerated, 117 unit spent sources was conditioned. Updating data on Radioactive Waste Information Management System was done.*

**Keywords:** *treatment, radioactive waste, hazardous waste*

## PENDAHULUAN

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) adalah satu-satunya instansi yang berkewajiban untuk mengolah limbah radioaktif dari seluruh Indonesia. PTLR mempunyai instalasi pengolahan limbah radioaktif (IPLR) yang terdiri dari unit Insenerasi, Kompaksi, Evaporasi, Sementasi dan beberapa fasilitas lainnya untuk melaksanakan proses pengolahan limbah radioaktif [1]. Fasilitas IPLR berdiri sejak Desember 1988, pada saat itu semua unit sudah bisa beroperasi kecuali unit insenerasi yang baru selesai dibangun dan beroperasi sejak tahun 1993. Berdasar usia peralatan, fasilitas IPLR dipandang sudah cukup tua, namun diharapkan masih mempunyai kemampuan dalam pengolahan limbah radioaktif dengan kapasitas dan karakteristik sesuai design awal.

Pada sekarang ini, sering diterima limbah radioaktif yang mempunyai karakteristik yang berbeda dengan karakteristik yang dipersyaratkan sesuai dalam dokumen perancangan (*system note*). Dengan demikian perlu diadakan pendataan limbah yang baik serta pengembangan dalam preparasi dan analisisnya [2].

HEPA filter banyak digunakan sebagai penyaring udara pada sistem ventilasi instalasi nuklir seperti PRSG, PTBN, PRR, PTLR dan KH-IPSB3 yang kemungkinan mengandung partikel radioaktif. HEPA filter mampu menyaring sampai 99,99% partikel berukuran 0,3 mikrometer. Setelah digunakan sekian lama, filter akan mengalami kejenuhan dan selanjutnya dilimbahkan dan dikirim ke PTLR. Limbah HEPA filter tersebut disimpan di gudang penyimpanan sementara (IS-1). Untuk tujuan keselamatan manusia dan lingkungan maka limbah HEPA filter harus dikelola dengan baik dan benar. Bidang Pengolahan Limbah (BPL) telah melakukan kegiatan pengolahan limbah HEPA filter, terutama HEPA filter frame kayu dengan cara dibakar menggunakan insenerator yang dimiliki PTLR.

Pada akhir tahun 2012, telah terkumpul sekitar 120,4 m<sup>3</sup> limbah radioaktif cair yang berasal dari PT Batan Teknologi [3]. Pada triwulan ketiga tahun 2013 Bidang Pengolahan Limbah merencanakan mengolah limbah radioaktif cair tersebut menggunakan Unit Evaporasi. Tujuan pengolahan adalah untuk mereduksi volume limbah kemudian mengungkung limbah sehingga paket limbah menjadi lebih aman dan mudah dalam penanganan selanjutnya (tahap penyimpanan sementara di gudang penyimpanan sementara *Interim Storage-1*).

Untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan tersebut diatas dan untuk kesinambungan proses pengolahan limbah radioaktif padat di PTLR maka dilakukan kegiatan pengembangan teknologi proses pengolahan limbah radioaktif padat secara insenerasi dan kompaksi

Pada pelaksanaan kegiatan pengelolaan limbah ada beberapa hal yang harus disiapkan, antara lain : bahan, peralatan, sumber daya manusia, dan limbah yang akan dikelola. Sebelum dilakukan pengolahan limbah perlu dilakukan preparasi dan analisis limbah dengan tujuan memperoleh data karakterisasi meliputi kandungan radionuklida, sifat fisika dan kimia limbah. Hasil karakterisasi limbah ini digunakan untuk menentukan metode pengolahan limbah yang akan dilakukan. Pengembangan

teknologi pengolahan limbah cair dan semi cair meliputi optimasi evaporasi dan sementasi. Pengembangan teknologi pengolahan limbah padat meliputi optimasi kompaksi dan insenerasi. Pengembangan teknologi pengolahan limbah B3 meliputi solidifikasi terhadap limbah-limbah B3 tak teridentifikasi sebelum diserahkan ke industri pengolah limbah.

Seluruh kegiatan pengolahan limbah tersebut harus didokumentasikan dengan baik dan hasil dokumentasi (rekaman dan foto) harus tahan sampai beberapa generasi ke depan sehingga perlu dikembangkan sistem informasi manajemen limbah radioaktif yang dapat mengakomodir semua jenis limbah radioaktif. Pengembangan teknologi pengolahan limbah sangat diperlukan untuk mengatasi kondisi karakteristik limbah saat ini yang makin variatif, sehingga instalasi pengolah limbah radioaktif saat ini mampu difungsikan secara optimal. Kegiatan ini meliputi pengolahan limbah radioaktif dengan cara evaporasi, sementasi, kompaksi, insenerasi dan pengelolaan limbah B3.

## METODOLOGI

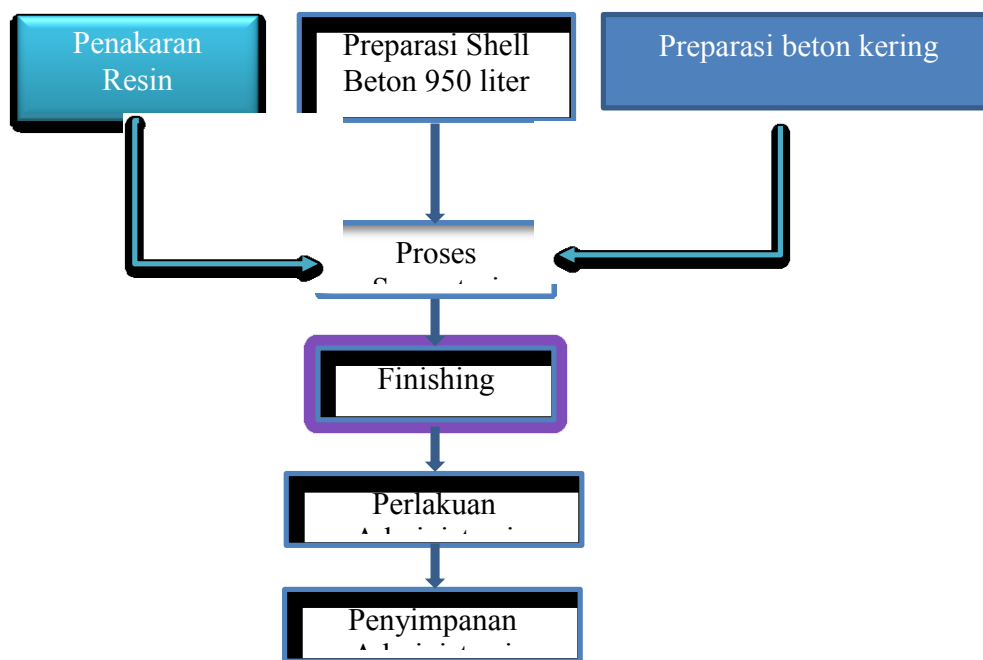
Langkah-langkah untuk menyelesaikan permasalahan yang diuraikan pada bagian pendahuluan berupa kegiatan bersifat administratif dan teknis. Kegiatan bersifat administratif meliputi pendataan limbah radioaktif padat yang belum diolah, analisis data limbah, menyusun laporan dan evaluasi. Kegiatan teknis meliputi preparasi dan analisis limbah, pengecekan peralatan proses, pengadaan bahan dan alat serta *spare part*, perawatan dan perbaikan terhadap peralatan yang rusak, melakukan koordinasi terhadap pihak terkait, melakukan proses pengolahan limbah radioaktif secara kompaksi, insenerasi, evaporasi dan sementasi.

Limbah resin dalam tangki R33001 dialirkan ke dalam pot penakaran sebelum dikirim ke shell beton 950 liter di dalam hotcell. Dilakukan pemasukan semen dan pasir ke silo. Kemudian dilakukan penimbangan pasir dan semen, selanjutnya dilakukan pencampuran sebelum dikirim ke hotcell. Resin sebanyak 260 liter dimasukkan ke dalam shell beton 950 liter[4]. Penakaran dan penuangan resin dilakukan dari panel kontrol. Dilakukan penambahan beton kering (campuran semen pasir), additif beton mix dan air secukupnya. Setelah proses sementasi selesai, shell beton dikeluarkan dari hotcell dan dilakukan finishing. Selanjutnya perlakuan administrasi meliputi pengukuran paparan, penomoran, pemberian label dan pencatatan, sebelum penyimpanan limbah olahan ke dalam gedung interim storage. Seluruh tahapan pengolahan resin disajikan dalam Gambar 1 Bagan Alir Pengolahan Resin.

Sebelum dilakukan pengolahan limbah radioaktif cair, terlebih dahulu dilakukan pengambilan sampel dan analisis laboratorium, hal ini untuk menentukan perlakuan awal sebelum proses pengolahan. Berdasarkan hasil analisis dan rekomendasi dari Subbid. Preparasi dan Analisis, limbah radioaktif cair dalam tangki R22001C dan R22001D dilakukan pengaturan kimia dan homogenisasi. Proses



Evaporasi untuk satu tangki limbah berkapasitas 50 m<sup>3</sup> memerlukan waktu selama 4X24 jam, sehingga proses pengolahan dilaksanakan secara shift. Pada hari ke-4 dilakukan penurunan (ekstraksi) konsentrat hasil evaporasi dari Evaporator E22001 ke tangki penyimpanan konsentrat di tangki R22004. Pada minggu selanjutnya dilakukan evaporasi untuk tangki selanjutnya [3].



Gambar 1. Bagan Alir Pengolahan Resin

Pengolahan limbah radioaktif padat terbakar secara insenerasi memiliki tahapan sebagai berikut : pembuatan alas kerja untuk handling gril insenerator, pengecekan peralatan insenerator (Hallon, Fire water, parameter ukur dll), persiapan alat dan bahan (drum 100 l, semen, koral dll). Diikuti tahapan pengoperasian insenerator tanpa nyala burner, pengoperasian insenerator dengan nyala burner, pembakaran limbah. Sedangkan tahapan terkahir adalah imobilisasi abu hasil insenerasi, pengukuran paparan dan labeling serta penyimpanan limbah hasil olahan.

Kegiatan pengelolaan limbah B3 terdiri dari dua kegiatan besar yaitu karakterisasi terbatas dan *labpacking*. Kegiatan Karakterisasi Terbatas Limbah B3 meliputi tahapan identifikasi limbah berdasarkan sifatnya, limbah B3 dituang ke dalam beaker glass sebanyak 10 ml bila cairan dan diambil 1 sendok takar bila limbah berupa padatan. Selanjutnya ditambahkan aquadest hingga mencapai garis batas 50 ml pada beaker glass, ukur dengan menggunakan pH meter untuk menentukan sifat asam, basa, atau netral dari limbah. Konduktivitas larutan limbah diukur menggunakan konduktivimeter untuk menentukan organik atau anorganik. Kemudian dicatat hasilnya dan dikelompokkan berdasar kodifikasi yang telah

ditentukan serta masukan limbah yang sudah dikodifikasi ke dalam drum penyimpan sementara yang sudah diberi simbol dan label.

Kegiatan labpacking limbah B3 mengikuti tahapan sebagai berikut, pemisahan materi yang bisa bereaksi satu dengan yang lainnya, pengemasan tidak boleh bersama dalam 1 drum. Bagian dalam drum dilapisi dengan plastik. Setiap drum diisi dengan materi inert/pasir (sebagai pengabsorpsi jika terjadi tumpahan) di bagian dasar sedalam minimal 10 cm. Kemudian wadah diletakkan dalam keadaan berdiri. Antara satu wadah dengan wadah lainnya dilapisi dengan pasir pula, sehingga setiap wadah berjarak minimal 10 cm. Penumpukan juga dilapisi oleh pasir. Tebal materi inert minimal 10 cm dari atas tutup kemasan pada tumpukan paling atas setiap drum. Pada bagian atas, disisakan minimal 10 cm udara antara inert teratas sampai permukaan atas drum. Sebagai identitas dan informasi, pada tiap drum ditempel sticker berisi simbol dan label limbah B3[5].

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Persiapan Unit Evaporasi untuk mengolah limbah telah dilakukan pada triwulan II sedangkan pengolahan dilakukan pada triwulan III. Telah dilakukan pengolahan limbah cair berasal dari PT Batan Teknologi sebanyak 80 m<sup>3</sup> menggunakan unit Evaporasi, pengolahan dilakukan selama 10 shift operasi dan setiap shift selama 12 jam. Pada saat ini masih terdapat limbah radioaktif cair sisa sebanyak 20 m<sup>3</sup> tersimpan di tangki R2201D Unit Evaporasi.

Pada triwulan II, telah diterima limbah resin dari PRSG sebanyak 2700 liter. Limbah tersebut ditampung dalam tangki PVC milik PRSG. Telah dilakukan pemindahan limbah resin tersebut ke tangki penampungan resin R33001 Unit Sementasi yang terletak di lantai II gedung IPLR. Pada triwulan IV, telah dilakukan pengolahan limbah resin sebanyak 1760 liter dengan cara sementasi ke dalam 6 buah shell beton 950 liter [5]. Satu shell beton 950 liter berisi resin sebanyak 260 liter[6].

Tabel 1. Data Pengolahan Limbah Resin

No.	No Shell	Jumlah limbah (liter)	bahan pengolahan				Paparan ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ )	
			Pasir (kg)	Semen (kg)	additif (liter)	air (liter)	Permukaan	Jarak 1 m
1	90 C	260	400	600	2	34	9.42	2.41
2	91 C	360	400	600	2	105	9.29	2.49
3	92 C	260	400	600	2	265	7.49	2.41
4	93 C	260	400	600	2	100	12.9	4.63
5	94 C	310	400	600	2	245	11.7	4.30
6	95 C	310	400	600	2	100	8.39	2.60

Kegiatan pengelolaan limbah B3 terdiri dari karakterisasi terbatas limbah B3 dan pengemasan (*labpacking*) dalam drum HDPE 120 liter. Pada triwulan I telah berhasil dilakukan karakterisasi limbah B3 sebanyak 353 buah bahan kimia berasal dari PTAPB, PPGN dan PTLR. Sedangkan pengemasan sesuai *labpacking* memperoleh 20 buah drum HDPE. Pada triwulan II telah dilakukan *labpacking* sebanyak 6 buah. Pada triwulan III, Telah dikarakterisasi limbah B3 berupa bahan kimia sisa dan kadaluarsa sebanyak 105 buah berasal dari PTBN, Pusdiklat, PRR, PTAPB, PTRKN dan PTLR. Telah dilakukan *labpacking* 13 buah. Pada triwulan IV berhasil menghasilkan *labpacking* sebanyak 21 buah. Limbah B3 terkarakterisasi dan hasil *labpacking* kemudian disimpan dalam Gedung Penyimpanan Limbah B3 sebelum dikirim ke instansi pengolah limbah B3.

Pada triwulan II direncanakan pembakaran limbah HEPA filter sejumlah 100 boks, namun karena kendala proses waktu pencapaian suhu operasi maka hanya dapat membakar 30 boks dengan berat limbah total 90,34 kg. Setelah dilakukan pembakaran diperoleh abu seberat 26,6 kg sehingga terjadi reduksi berat sebesar 70,55%. Abu hasil insenerasi diimobilisasi menggunakan campuran semen pasir dan air secukupnya[7]. Selanjutnya abu hasil insenerasi diimobilisasi ke dalam 3 buah drum 100 liter, dan dilakukan perlakuan administrasi meliputi pelabelan dan pengukuran paparan radiasi pada masing-masing drum, hasilnya disajikan dalam Tabel 2 sebagai berikut :

Tabel 2: Imobilisasi Abu Hasil Insenerasi

No. Drum 100 liter	Berat Abu (kg)	Berat Hasil Imobilisasi (kg)	Paparasi ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ )	
			Permukaan	Jarak 1 meter
1	3,6	119,75	Background	Background
2	15	157,5	Background	Background
3	8	97,15	Background	Background

Pada saat proses insenerasi terjadi kesulitan pembakaran umpan limbah yang didominasi bahan plastik sehingga perlu dilakukan preparasi ulang untuk mengatur

komposisi umpan limbah. Pada triwulan IV dilakukan preparasi ulang limbah HEPA Filter untuk proses insenerasi sebanyak 65 boks.

Semua limbah radioaktif padat material terkontaminasi (LRPMT) yang dikirim dari penimbul limbah kemudian diklasifikasikan dan dikemas ulang dalam drum 100 liter yang siap diolah. Kegiatan karakterisasi dan preparasi dilakukan pada triwulan II dan IV. Hasil kegiatan berupa diperolehnya limbah radioaktif padat terkarakterisasi sebanyak 80 drum kapasitas 100 liter. Hasil kegiatan preparasi dapat dilihat pada Tabel 3 Hasil Kegiatan Karakterisasi Limbah Radioaktif Padat.

Telah dikompaksi limbah radioaktif padat hasil preparasi sebanyak 40 drum @100 liter kedalam 8 buah drum @200 liter dengan nomor identitas 952 s.d. 959. Limbah yang sudah terkompaksi kemudian diimobilisasi menggunakan campuran semen pasir serta penambahan koral. Tahap akhir adalah perlakuan administrasi meliputi penimbangan berat paket limbah olahan, pengukuran paparan radiasi dan pemberian label sebagai identitas sebelum disimpan ke Gedung Penyimpanan IS-1.

Tabel 3: Hasil Kegiatan Karakterisasi Limbah Radioaktif Padat

No	Asal Limbah	Jumlah Drum	Jenis limbah	Berat total (Kg)	Kode preparasi	Rerata Paparan ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ )	
						Kontak	1 meter
1	PRR	11	Plastik, karet, jarum suntik, botol gelas, kertas	220,2	1803, 1812, 1813, 1814, 1815, 1816, 1827, 1828, 1831, 1832, 1833	106,37	5,45
2	PRSG	10	Shoe cover, kaca, karet, jerigen, vial, kabel, kain, masker, kertas	162,3	1777,1778, 1800, 1802, 1804, 1806, 1810, 1817, 1818, 1819	15,32	3,07
3	PT. Batek	5	Softek, masker, kertas, kain, plastik	103,3	1844, 1845, 1846, 1847, 1848,	188,96	9,2
4	PTBN	20	Kertas, plastik, gelas, kain, jas lab., logam, karet, shoes cover	373,5	1779-1797, 1799, 1801	189,22	-
5	PTAPB	1	Plastik, kain, karet	20	1855	0,2	0,04
6	PTLR	25	Plastik, kain, kertas, karet, jerigen, Al foil, kabel, besi lunak, botol gelas, shoes cover	399,6	1776, 1798, 1805, 1807, 1808, 1809, 1811, 1820, 1829, 1830, 1833-1843, 1849 -1852	2,567	0,809
7	PTNBR	8	Kaca, kaleng, stereofom, jarum, plastik, kertas, tabung Al, logam lunak	175,9	1821-1826, 1853, 1854	9,807	0,518
JUMLAH		80					

Tabel 4. Hasil Kompaksi dan Imobilisasi Limbah Radioaktif Padat

No. drum 200 L	Nomor drum 100 Liter	Berat limbah dan drum (kg)	Paparan dalam mRem/j (permukaan/ jarak 1 m)		Berat setelah imobilisasi (kg)
			sebelum imobilisasi	sesudah imobilisasi	
952	1811, 1799, 1812, 1785, 1819	76.4	1,56/1,33	0,35/0,8	367
953	1820, 1801, 1798, 1784	91.75	2,92/1,23	0,8/0,2	363
954	1821, 1805, 1808, 1813, 1806	97.10	27,7/4,59	19/1,7	342
955	1815, 1807, 1783, 1795, 1814	97.75	50,2/6,01	10,9/1,3	356
956	1789, 1816, 1809, 1817, 1810, 1776	102.05	209/55,5	148/20,7	344
957	1787, 1790, 1791, 1793, 1780	88.05	13,51/2,23	0,8/0,5	360
958	1794, 1778, 1782, 1792, 1788	83.6	28,2/3,2	2,31/1,28	348
959	1786, 1779, 1781, 1818, 1777	81.1	4,98/1,87	1,57/1,01	332

Kegiatan kondisioning limbah radioaktif sumber terbungkus (LRST) telah menghasilkan 117 unit terkondisioning dalam 3 buah shell beton terdiri dari 1 shell beton baru dan 2 shell beton lama (sudah terisi LRST sebelumnya). Hasil selengkapnya disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Data Kondisioning LRST tahun 2013

No.	Kode Shell Beton	Jenis Radionuklida	Jumlah LRST (unit)	Paparan ( $\mu$ Sv/jam)		Kapasitas Terisi
				Kontak	1 m	
1	SB 16	Kr-85, Fe-55, Cd-109, Pm-147, Cm-244, Ge-68	56	7,45	0,55	85 %
2	SB 25	Cs-137, Co-60	61	4,9	1,02	100 %
3	SB 26	Cs-137, Co-60		5,7	1,05	100 %
Jumlah			117			

Perawatan alat pengolah limbah meliputi Unit Sementasi, Unit Evaporasi, Unit Insenerasi dan Unit Kompaksi telah dilakukan. Perawatan bertujuan untuk menjaga agar alat dalam kondisi siap untuk melakukan pengolahan limbah. Disamping diadakan perbaikan peralatan yang rusak, untuk melakukan proses pengolahan limbah radioaktif harus tersedia bahan-bahan seperti koral, pasir, semen, *ring flexible*, kawat bendrat, palang anti dispersal dan lain-lainnya. Selain belanja barang habis pakai, dilaksanakan pula pengadaan peralatan yang diperlukan untuk kelancaran proses pengolahan dan kemudahan penyusunan laporan berupa timbangan digital, *handy talky* (HT), software, dan berbagai alat ukur kelistrikan.

Pengelolaan data limbah dilakukan oleh Tim Sistem Informasi Manajemen Limbah Radioaktif (SIMLR) dengan serangkain rencana kerja untuk tahun 2013. Salah satu jenis kegiatan berupa membuat alur proses pengelolaan limbah radioaktif, membuat software, dan melakukan uji coba penerapan software. Pembuatan software data limbah untuk tahun 2013 sudah selesai untuk 2 jenis limbah radioaktif yaitu untuk limbah radioaktif sumber terbungkus (LRST) dan limbah radioaktif padat material terkontaminasi (LRPMT), namun masih perlu dilakukan perbaikan dan uji coba terhadap kesempurnaan software tersebut.

## **KESIMPULAN**

Kegiatan Pengembangan Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif Padat, Cair dan Limbah Bahan Berbahaya Beracun (B3) berjalan dengan baik sesuai dengan jadwal yang direncanakan. Pengembangan dilakukan dengan cara pengaturan kondisi limbah agar sesuai karakteristik yang dipersyaratkan, perawatan peralatan, pengolahan dan pendataan limbah menggunakan software aplikasi.

Hasil kegiatan berupa terolahnya limbah radioaktif cair dengan cara evaporasi. sebanyak 80 m<sup>3</sup>, terolahnya limbah resin sebanyak 1760 liter dengan cara sementasi, 40 buah diantaranya telah diolah dengan cara kompaksi dan imobilisasi ke dalam 8 buah shell drum kapasitas 200 liter, terkondisioning LRST sebanyak 117 unit ke dalam 3 buah shell beton. Kegiatan preparasi limbah menghasilkan

terkarakterisasinya limbah B3 sebanyak 458 buah, labpacking limbah B3 sebanyak 60 buah drum HDPE 120 liter, limbah radioaktif padat yang telah dipreparasi sebanyak 81 drum kapasitas 100 liter.

Pada kegiatan pengolahan limbah yang melibatkan berbagai pihak, perlu dilakukan koordinasi yang lebih baik agar proses pengolahan limbah berjalan dengan lebih baik.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. “Laporan Kinerja Instansi Pemerintah Tahun 2012”, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif BATAN, 2012.
- [2]. “Laporan Kegiatan Bidang Pengolahan Limbah Tahun 2012”, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif BATAN, 2013.
- [3]. Log Book Pengoperasian dan Perawatan Unit Evaporasi
- [4]. Log Book Pengoperasian dan Perawatan Unit Sementasi
- [5]. Laporan Pelaksanaan Olah Limbah Triwulan I, II, III dan IV tahun 2013, Bidang Pengolahan Limbah, PTLR
- [6]. System Note Cementation, Technicatome, 1985.
- [7]. System Note Incineration, Technicatome, 1989.

**EVALUASI UNJUK KERJA *CHILLER WATER SYSTEM* UNTUK  
MENUNJANG TATA UDARA PADA KANAL HUBUNG INSTALASI  
PENYIMPANAN SEMENTARA BAHAN BAKAR BEKAS ( KH-IPSB3)**

**Yhon Irzon**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

**ABSTRAK**

**EVALUASI UNJUK KERJA *CHILLER WATER SYSTEM* UNTUK MENUNJANG TATA UDARA PADA KANAL HUBUNG INSTALASI INSTALASI PENYIMPANAN SEMENTARA BAHAN BAKAR BEKAS (KH-IPSB3).** Telah dilakukan pengoperasian *chilled water system* pada Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3). *Chilled water system* dioperasikan selama 8 jam dalam 5 hari kerja (Senin-Jum'at). Pada tahun 2013 *chiller* dapat melayani kebutuhan air pendingin di kolam dan mengatur suhu serta kelembaban dan tekanan di Instalasi KH-IPSB3 dengan baik dan lebih konsisten. Air pendingin yang dihasilkan berkisar antara 11<sup>0</sup>C s/d 14<sup>0</sup>C. Untuk dapat mempertahankan kinerja *chilled water system* dilakukan perawatan secara berkala.

**ABSTRACT**

**PERFORMANCE EVALUATION OF WATER CHILLER SYSTEM FOR SUPPORTING PROCEDURES FOR AIR SYSTEM AT TRANSFER CHANNEL INTERIM STORAGE FOR SPENT FUEL (TC ISSF).** *Chilled water system is operated for 8 hours in 5 working days (Monday-Friday). In 2013, the chiller can serve the needs of the cooling water in the pond and set the temperature and humidity and pressure in TCISSF installation with better and more consistent. The resulting of cooling water ranged between 110C s / d 140C. To be able to maintain the performance of the chilled water system maintenance is done regularly.*

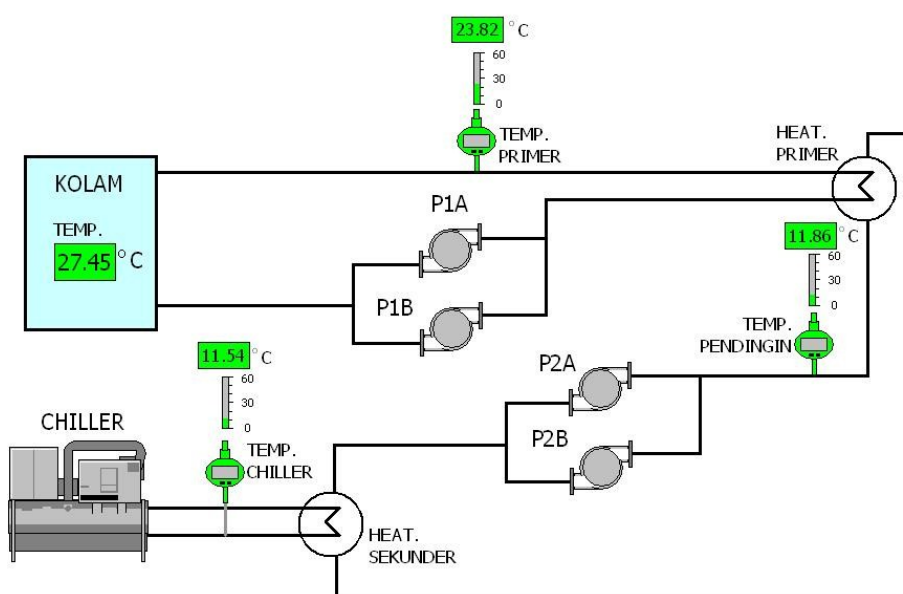
**PENDAHULUAN**

Setiap instansi nuklir salah satu hal yang sangat penting adalah sistem udara. Fungsi utama dari sistem tata udara adalah sebagai mengatur suhu, kelembaban dan tekanan. *Chiller* adalah mesin pendingin yang digunakan untuk mendinginkan air sebagai media pendingin (penukar panas). Adapun peralatan-peralatan dalam sistem *Chiller water* : *chiller* untuk pendingin air dengan suhu 6 s/d 7<sup>0</sup>C, pompa untuk mensirkulasikan air didalam sistem, *Air Handling Unit* (AHU) untuk menyerap panas dari udara dan kemudian didistribusikan ke ruang-ruangan melalui *ducting* dan sistem instalasi *piping* dan katup sebagai pendukung. Dua unit *chiller* diletakkan di atas atap gedung ISPB3 dipasang terpisah tidak saling tergantung satu sama lain, masing-



masing dilengkapi dengan panel kendali dan panel starter. Setiap unit chiller dilengkapi dengan dua refrigerant kondisi standby masing- masing dilengkapi dengan 4 langkah pengendalian untuk memvariasi kebutuhan pendingin pada sistem *chilled water* dan perangkat pengendalian dan keselamatan dilengkapi dengan unit *chiller*.

Skema operasi chiller, ditampilkan dalam diagram alir sistem pendingin pada gambar 1 sebagai berikut :



**Gambar 1.** Diagram alir dari sistem pendingin

Pendinginan air kolam secara efektif air disirkulasikan dari permukaan kolam yang terletak berdekatan dengan ruang pengolah air dan dikembalikan ke kolam di bagian ujung menjauhi daerah penyimpanan. Kecepatan sirkulasi air 6,0 m<sup>3</sup>/jam disesuaikan dengan bentuk plat penukar panas. Untuk menghindari kontaminasi, disediakan dua kalang sistem pendingin, pendingin primer dan pendingin sekunder. Kalang (loop) primer akan memompa air dari kolam melalui filter 10 µm menuju ke penukar panas primer. Unit ini dilengkapi dengan 2 buah pompa sirkulasi, 1 beroperasi dan yang lain sebagai cadangan.

Kalang sekunder memompa air yang berasal dari Pusat Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK) dalam sistem yang tertutup. Dari penukar panas sekunder air pendingin mengalir ke penukar panas primer dan kembali ke penukar panas sekunder. Pendingin air sekunder dilaksanakan oleh *chilled water* sehingga ada dua rintangan antara air kolam dan *chilled water*. Bila air sekunder dan *chilled water* tidak terkontaminasi oleh air kolam, perawatan pompa sekunder tidak diaktifkan. Selama air kolam memenuhi standar, sistim pemurnian air tidak

dibutuhkan. Air pendingin di *by pass*, di lewatkan filter 10 µm untuk mempertahankan kejernihan air dengan kecepatan aliran 6 - 18 m<sup>3</sup>/jam. Temperatur kolam dipertahankan pada suhu nominal 35 °C dengan *chilled water*. Chilled water diisolasi dari air primer dengan menggunakan kalang tertutup sekunder.

**Tabel 1.** Spesifikasi teknis *chiller* di KH-IPSB3

SPESIFIKASI TEKNIS	
Merk	charrier 30GT - 060- 910
Kapasitas	60.7 TR
Daya <i>compressor</i>	60,7 KW
Rangkaian <i>refrigerant</i>	2
Kapasitas oli	1 gal/sys
Volume air di <i>evaporator</i>	39 gal
Refrigerant	R 22
Kapasitas refrigerant	Sys 1 : 3 gal
	Sys 2 : 3 gal
<i>Motor fan kondensor</i>	6 x 1,6 KW
Kecepatan aliran air pada <i>cooler</i>	Min. 150 gpm
	Max. 640 gpm

Pada desain operasi, dioperasikan 2 unit *chiller*, tapi secara riil/ideal dioperasikan 1.5 unit *chiller* (3 *compressor*) dan 1/2 unit *chiller stand by*. Konfigurasi kemampuan pendinginan *chiller* di KH-IPSB3 ditunjukkan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Konfigurasi Pendinginan *Chiller*

<i>Chiller</i> yang beroperasi	Kemampuan <i>chiller</i> (TR)
Kondisi 1: 2 unit <i>chiller</i> beroperasi sekaligus (maksimal)	121,4
Kondisi 2: 1.5 unit <i>chiller</i> beroperasi, 1/2 <i>stand by</i> (Ideal)	91,1
Kondisi 3: 1 unit <i>chiller</i> beroperasi, 1 <i>chiller stand by</i>	60.7

Beban pendingin yang di pasok *chiller* terdiri dari :

- Beban pendinginan minimum adalah beban minimum yang terjadi pada KH-IPSB3 yaitu saat peralatan proses pemindahan bahan bakar bekas pada kondisi *off* atau tidak beroperasi.
- Beban pendinginan maksimum adalah beban yang terjadi pada KH-IPSB3 saat peralatan proses pemindahan bahan bakar bekas nuklir beroperasi.

Pada tahun 2013, beban rerata pendinginan di KH-IPSB3 hanya merupakan beban pendingin minimum karena hanya mensuplai air dingin untuk diumpankan ke *cooling coil* pada AHU.

## TATA KERJA

### Alat dan Bahan Pendukung pengoperasian

Untuk mendukung pengoperasian *chiller*, maka diperlukan alat dan bahan yaitu:

- |                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| a. Mekanik tool       | d. Multi Tester  |
| b. Tang Ampere        | e. Tespen        |
| c. Digital termometer | f. Alat Pencatat |

### Metode

Untuk dapat mengoperasikan *chiller* dengan baik, dilakukan tahapan-tahapan pengoperasian, yaitu:

#### 1. Persiapan,

Untuk dapat memperoleh kinerja yang optimal dilakukan persiapan pengoperasian yaitu dengan memeriksa komponen-komponen pendukung seperti pompa-pompa *chiller*, motor-motor penggerak pompa dan suplai catu daya. Untuk memeriksa kekencangan baut pada pompa distribusi digunakan mekanik tool, untuk memeriksa catu daya digunakan tang ampere dan multi tester.

#### 2. Pengoperasian

Pengoperasian dilakukan setelah persiapan pengoperasian tidak mengalami hambatan atau tidak terjadi kerusakan. Urutan pengoperasian *chiller* dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Adapun tahapan operasi :

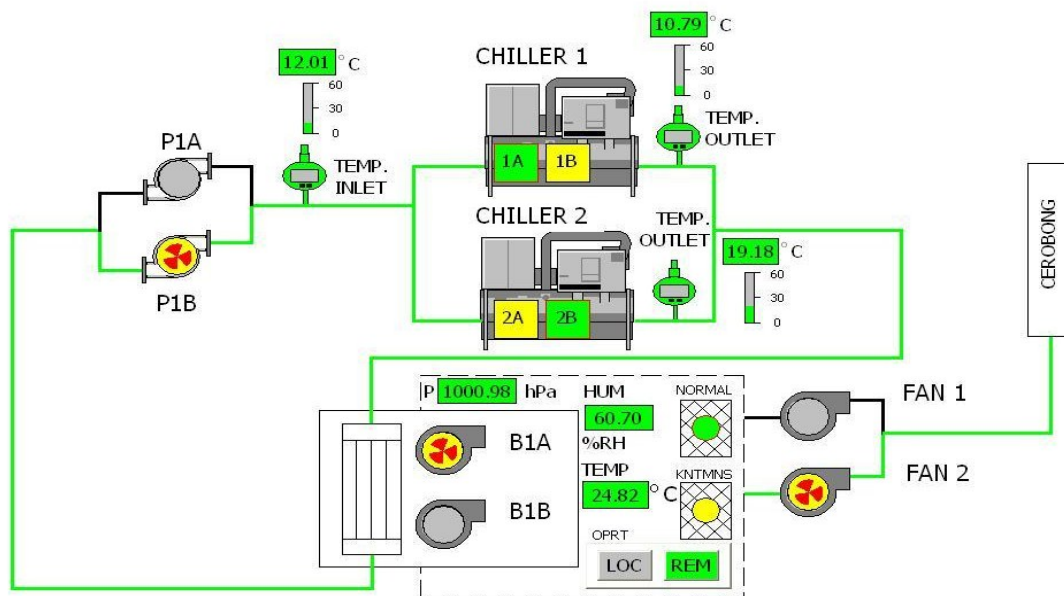
- Cek status operasi & mode operasi. Pada saat awal akan bernilai “OFF & “Monitor”
- Login hingga status operation bernilai “control”.
- Jika mode operasi bernilai “ manual remote” kita perlu menekan tombol reset untuk mematikan sistem. Kemudian, tunggu hingga indikator pompa.
- Klik selektioe Auto maka tombol tersebut akan berwarna hijau, mode status bernilai “auto” & tombol auto berwarna biru muda.
- Pilih mode auto yang akan dijalankan dengan mengklik sala satu mode misalnya mode 1. Sistem akan menyalakan Exhaust Fan 1, kemudian Blower B1A, kemudian Pompa P1A, kemudian Chiller CH1A, dan

kemudian Chiller CH2A. Waktu jeda untuk menyalakan antar komponen adalah 20 detik. Indikator akan berwarna hijau merah (blink), dan jalur distribusi air akan berwarna hijau.

- Untuk mematikan mode operasi tekan reaset. Maka sistem akan mematikan Chiller CH2A, kemudian Chiller CH1A, kemudian Pompa P1A, kemudian Blower B1A, dan terakhir mematikan Exhaust Fan1. Status indikator akan berwarna kuning dan mode operasi bernilai “off”

### 3. Pemantauan

Selama proses pengoperasian *chiller* dilakukan pemantauan dan pencatatan data operasi.



Gambar 2. Pengoperasian sistem chiller di KH-IPSB3

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tahun 2013 Hasil Evaluasi unjuk kerja *chiller* di tampilkan pada tabel 3 dari data log operasi sistem chiller sebagai berikut :

Tabel 3. Unjuk Kerja *chiller* selama tahun 2013

Bulan	chiller yang beroperasi	Temperatur rerata Ruangan ( $^{\circ}\text{C}$ )	Temperatur rerata masuk ( $^{\circ}\text{C}$ )	Temperatur rerata keluar ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta\text{T}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
Januari	1A & 2B	24	18.1	17.4	9
Februari	1A & 2B	24	18.1	17.2	9.5
Maret	1A & 2B	23.5	18	17.2	8.5
April	1A & 2B	24	18	17.3	9.5
Mei	1A & 2B	24	18.1	17.1	8
Juni	1A & 2B	24.5	18	17.2	8
Juli	1A & 2B	25	18.2	17.2	8.5
Agustus	1A & 2B	25	18.2	17.0	8.4
September	1A & 2B	24	18.1	17.0	9
Oktober	1A & 2B	24	18	17.1	8
November	1A & 2B	24.5	18.2	17.0	9
Desember	1A & 2B	24.5	18	17.2	8

**Keterangan:**

1A adalah *Chiller* 1  
1B adalah *Chiller* 2

2A adalah *Chiller* 3  
2B adalah *Chiller* 4

Pada Tahun 2013, chiller yang dapat dioperasikan adalah Chiller 1A dan Chiller 2B, yang dioperasikan bersamaan. Dari data operasi diketahui temperatur air pendingin yang dihasilkan *chiller* adalah  $11^{\circ}\text{C}$  s/d  $14^{\circ}\text{C}$  dan relatif konstan sampai akhir tahun. Temperatur ruangan yang dapat dicapai berkisar antara  $23^{\circ}\text{C}$  s/d  $25^{\circ}\text{C}$ .

**KESIMPULAN**

1. Unjuk Kerja chiller pada tahun 2013 relatif konstan dari awal hingga akhir tahun 2013.
2. Perlu kajian efisiensi masing-masing *chiller*.
3. Untuk dapat mempertahankan kinerja *chilled water system* dilakukan perawatan secara berkala.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. PURWANTARA, "Pengoperasian Chiller untuk menunjang manajemen tata udara KH-IPSB3", Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR 2001, PTLR-BATAN, Serpong, 2001.
- [2]. WIKIPEDIA, "Heat pump and Refrigeration Cycle" Figure 2. Temperature-Entropy diagram.

- [3]. INSTRUKSI KERJA PENGOPERASIAN CHILLER, PTLR-BATAN, Serpong, 2010.
- [4]. LAK KH-IPSB3 rev 7, Agustus 2010, PTLR, Serpong
- [5]. Log Operasi Sistem Chiller di KH-IPSB3, periode 2013
- [6]. Prosedur Operasional Sistem Kontrol Gedung KH-IPSB3, Doc no : VP2011-BATAN-SOP

## **PENGELOLAAN LIMBAH BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN (B3) INTERNAL BATAN TAHUN 2013**

**Mas'udi**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### **ABSTRAK**

PENGELOLAAN LIMBAH BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN (B3) INTERNAL BATAN. Pengelolaan limbah B3 internal BATAN di PTLR adalah kegiatan mengelola limbah B3 yang dilakukan oleh PTLR di Gedung Penyimpanan Limbah B3 berasal dari satker-satker BATAN. Limbah B3 berupa reagen bekas, bahan kimia kadaluarsa dan bahan kimia dari sisa proses analisis di laboratorium. Kegiatan karakterisasi terbatas merupakan kegiatan identifikasi dan penyortiran meliputi identifikasi asam atau basa, organik atau anorganik, sifat larut dalam air dan sifat mudah bakar. Tujuannya adalah agar limbah B3 dapat disimpan aman, kompatibel dan mudah dalam penanganan berikutnya. Selama tahun 2013 telah dikarakterisasi terbatas limbah B3 sebanyak 440 jenis limbah bahan kimia. Limbah B3 yang sudah dikarakterisasi terbatas dikemas dengan metode lab pack. Untuk kemudian dikirim ke industri pengolah limbah. Selama tahun 2013 diperoleh paket limbah terkarakterisasi terbatas yang sudah dikemas dengan lab pack sebanyak 60 drum HDPE 120 liter.

Kata Kunci : Limbah B3 internal BATAN, karakterisasi terbatas, Lab pack.

### **ABSTRACT**

*MANAGEMENT OF INTERNAL BATAN HAZARDOUS WASTE. Internal BATAN hazardous waste management in PTLR is activity treat hazardous waste has been done by PTLR in Storage Building of Hazardous Waste from research laboratories in BATAN. Hazardous waste that is received by PTLR is in the form of used reagents, expired chemicals and rest chemicals of the analyses process in the laboratory. Limited characterization is identificating and sorting activities include the identification of acid or alkali, organic or inorganic, water soluble and flammable properties. The goal is hazardous waste can be stored safely, compatible and easy in subsequent handling. During year 2013 hazardous waste that have been limited characterized that is 440 types of waste chemicals. Hazardous wastes were already limited characterized packed with Lab pack methods. Then the packages are sent to a treatment hazardous waste industry During year 2013 retrieved hazardous waste packages that were packaged with the lab pack method that is 60 HDPE drums with volume 120 litre.*

*Key words : internal BATAN hazardous waste, Limited characterization, Lab Pack..*

### **PENDAHULUAN**

Pengelolaan limbah B3 internal BATAN di PTLR adalah kegiatan mengelola limbah B3 yang dilakukan oleh PTLR terhadap limbah B3 di Gedung Penyimpanan Limbah B3 berasal dari satker-satker BATAN yang mempunyai laboratorium-laboratorium penelitian. Tujuan kegiatan pengelolaan limbah B3 ini adalah menjaga limbah B3 tetap aman selama dalam penyimpanan dan mengemas limbah dalam wadah yang kokoh dan tidak saling bercampur, sebelum limbah dikirim ke industri pengolah limbah B3 .

Kegiatan pengelolaan limbah B3 meliputi kegiatan penyimpanan sementara, pengumpulan, pengolahan dan pengangkutan dan penimbunan limbah B3. Semua kegiatan tersebut harus menuhi ketentuan yang diatur oleh pemerintah.

Sebagai instansi pemerintah kegiatan yang dilakukan sekarang adalah kegiatan penyimpanan sementara, karena kegiatan selain itu harus dilakukan oleh badan usaha[1]. Dalam kegiatan penyimpanan sementara aktivitas yang dilakukan adalah menerima, mendata dan karakterisasi terbatas dan lab pack limbah B3 hasil karakterisasi.

Limbah B3 yang diterima di Gedung Penyimpanan Limbah B3 jenisnya bermacam-macam berupa reagen murni, bahan kimia kadaluarsa dan bahan kimia sisa preparasi penelitian. Limbah-limbah diterima dalam volume sedikit tetapi dalam berbagai jenis. Sehingga dalam penanganannya harus mempertimbangkan karakteristik limbah tersebut. Makalah ini akan membahas kegiatan karakterisasi terbatas limbah yang diterima selama periode tahun 2013 dan selanjutnya dikemas dengan metode lab pack. Hasil lab pack ini siap dikirim ke industri pengolah limbah.

## TATA KERJA

### A. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam pengelolaan limbah B3 ini adalah limbah-limbah B3 yang diterima dari internal BATAN, drum HDPE volume 120 liter, material inert (pasir) sebagai bahan penyerap dan bahan keselamatan kerja antara lain: pakaian kerja, sarung tangan lateks dan rajut, masker.

Peralatan yang digunakan dalam pengolahan limbah ini adalah pH meter, konduktivimeter, peralatan gelas dan *manual stacker*.

### B. Metode

#### 1. Karakterisasi terbatas limbah B3

- a. Ambil limbah B3 yang belum diolah.
- b. Keluarkan wadah/botol dari kemasan penyimpanan sementara.
- c. Identifikasi masing –masing limbah berdasarkan sifatnya .
- d. Tuangkan limbah B3 ke dalam beaker glass sebanyak 10 ml bila cairan dan atau ambil 1 sendok takar bila limbah berupa padatan .
- e. Tambahkan aquadest hingga mencapai garis batas 50 ml pada beaker glass.
- f. Ukur dengan menggunakan pH meter untuk menentukan sifat asam, basa, atau netral dari limbah.
- g. Ukur konduktivitas larutan limbah dengan menggunakan konduktivimeter untuk menentukan organik atau Anorganik larutan tersebut. Dengan ketentuan bila konduktivitas terukur  $\leq 300 \mu\text{Siemens}$  limbah dinyatakan sebagai limbah Organik, dan bila terukur  $> 300 \mu\text{Siemens}$  limbah dinyatakan sebagai limbah Anorganik.
- h. Catat hasilnya dan kelompokkan berdasar kodifikasi yang telah ditentukan.
- i. Masukkan limbah yang sudah dikodifikasi ke dalam drum penyimpan sementara yang sudah diberi Simbol dan label.

#### 2. Labpack limbah B3 hasil karakterisasi terbatas.

- a. Untuk mencegah reaksi yang terjadi, materi yang bisa bereaksi satu dengan yang lainnya tidak boleh dikemas bersama dalam 1 drum. Jadi, hanya limbah dalam group yang sama yang boleh dikemas dalam 1 drum.



- b. Lapisi bagian dalam drum dengan plastik.
- c. Isi setiap drum dengan materi inert/pasir (sebagai materi pengabsorpsi jika terjadi tumpahan) di bagian dasar sedalam minimal 10 cm. Kemudian wadah diletakkan dalam keadaan berdiri. Antara satu wadah dengan wadah lainnya dilapisi dengan pasir pula, sehingga setiap wadah berjarak minimal 10 cm. Penumpukan juga dilapisi oleh pasir. Tebal materi inert sudah mencapai minimal 10 cm dari atas tutup kemasan. Pada bagian atas, disisakan minimal 10 cm udara antara inert teratas sampai permukaan atas drum.
- d. Tempelkan simbol dan label pada tiap drum sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
- e. Catat data limbah yang dimasukkan ke dalam drum.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Karakterisasi Terbatas Limbah B3

Dari kegiatan karakterisasi terbatas selama tahun 2013 diperoleh hasil sebagai berikut:

**Tabel 1. Hasil karakterisasi terbatas limbah B3**

No	Nama Bahan	Rumus Kimia	Jumlah	Kode	Keterangan
1	Arsen Oksida	AsO <sub>3</sub>	3	P <del>W</del> <del>Θ</del> N	Asal PPGN
2	Ammonium Thio Cyanat	NH <sub>4</sub> SCN	10	P W N <del>Θ</del>	Asal PPGN
3	Kalium Permanganat	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	2	P W N <del>Θ</del> Oks	Asal PPGN
4	8-Hydroxy Chinolin	C <sub>9</sub> H <sub>7</sub> NO	2	P W O B	Asal PPGN
5	Selendioxid	SeO <sub>2</sub>	1	P W A <del>Θ</del>	Asal PPGN
6	Kalium Hydrogen Phtalat	C <sub>8</sub> H <sub>5</sub> KO <sub>4</sub>	4	P W B <del>Θ</del>	Asal PPGN
7	Asam Oksalat	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	3	P W A O	Asal PPGN
8	Cupper Oxid	CuO	10	P <del>W</del> <del>Θ</del>	Asal PPGN
9	Unidentified	-	1	P W O	Asal PPGN
10	Natrium Fluoride	NaF	2	P W O N	Asal PPGN
11	Ammonium thiocyanat	NH <sub>4</sub> SCN	6	P W N <del>Θ</del>	Asal PPGN
12	Ammonium Fluoride	NH <sub>4</sub> F	7	P W A <del>Θ</del>	Asal PPGN
13	Natrium di hydrogen phosphat	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	6	P W B <del>Θ</del>	Asal PPGN
14	Kadmium Oxid	CdO	4	P <del>W</del> <del>Θ</del>	Asal PPGN
15	Kalium dichromat	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	1	P W A <del>Θ</del> Oks	Asal PPGN
16	8 Hydroxinolin		1	P <del>W</del> O A	Asal PPGN
17	Ionenaus tauscher		1	P <del>W</del> N O	Asal PPGN
18	1,1,2,2 Tetrabromitan		9	C <del>W</del> O F	Asal PPGN
19	Acetiacteton	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	1	C W A O F	Asal PPGN

20	Ammoniak	NH <sub>3</sub>	4	CWAOF	Asal PPGN
21	Triathanolamin	C <sub>6</sub> H <sub>15</sub> NO <sub>3</sub>	1	CWO	Asal PPGN
22	Unidentified	-	2	CWAØ	Asal PPGN
23	Ammonium hydrogen Sulfat	NaHSO <sub>4</sub>	1	CWAØ	Asal PPGN
24	Petroleum benzen		1	CWOF	Asal PPGN
25	Methanol	CH <sub>3</sub> OH	1	CWOF	Asal PPGN
26	Acinolin		1	CWAO	Asal PPGN
27	Unidentified		1	CWAOF	Asal PPGN
28	Unidentified		2	CWAOF	Asal PPGN
29	Unidentified		8	PWNØ	Asal PPGN
30	Unidentified		1	PWAØ	Asal PPGN
31	Ammonium ferro sulfat	(NH <sub>4</sub> )Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> 12 H <sub>2</sub> O	10	PWAØ	Asal PPGN
32	Kalium Ferro Cyanida	K <sub>4</sub> [Fe(CN <sub>6</sub> ) <sub>3</sub> ] H <sub>2</sub> O	2	PWBØ	Asal PPGN
33	Unidentified	-	17	PWØ	Asal PPGN
34	Methylrot	C <sub>15</sub> H <sub>15</sub> N <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	3	PWON	Asal PPGN
35	Dimethyl amino ethasol		10	PWO	Asal PPGN
36	Zink Acetat	(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> Zn 2H <sub>2</sub> O	1	PWNØ	Asal PPGN
37	Natrium trioxobismutat	NaBiO <sub>3</sub>	1	PWØA	Asal PPGN
38	di Ammonium hydrogen citrat	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	1	PWAØ	Asal PPGN
39	Decanol	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>9</sub> OH	1	CWOF	Asal PPGN
40	Unidentified		1	CWNOF	Asal PPGN
41	Asam Bromida	HBr	1	CWNOF-Ox	Asal PPGN
42	Eurupium Nitrat 5 hidrat	Eu(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> 5 H <sub>2</sub> O	1	CWNØ	Asal PPGN
43	Asam perchlorat	HClO <sub>4</sub>	3	CWAØ Ox	Asal PPGN
44	Resin Dowex		2	CWO	Asal PPGN
45	Tri Ethanol amin		2	CWO	Asal PPGN
46	Xylene	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub>	1	CWOF	Asal PPGN
47	Asam perchlorat		1	CWAO Ox	Asal PPGN
48	Butanol	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> OH	1	CWAOF	Asal PPGN
49	Amin Alkohol	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	3	CWOA	Asal PPGN
50	Unidentified		1	CWNOF	Asal PPGN
51	Pirocatechol violet		1	CWON	Asal PPGN
52	Unidentified		7	CWON	Asal PPGN
53	Ethyl acetat	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	1	CWNOF	Asal BTPLDD
54	Toluol	C <sub>7</sub> H <sub>5</sub>	3	CWAO F	Asal BTPLDD
55	Methanol	CH <sub>3</sub> OH	2	CWAO F	Asal BTPLDD
56	Magnesium standart	Mg	24	CWAOF	Asal BTPLDD
57	Unidentified		4	CWO	Asal BTPLDD

58	Asam perchlorat	HClO <sub>4</sub>	3	CWAΘ-Ox	Asal BTPLDD
59	Unidentified		1	CWAOF	Asal BTPLDD
60	Kalium Ferro Cyanida	K <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	3	PWBΘ	Asal BTPLDD
61	Limbah Cr,Fe,Ni,Zn,Ca,Mg		1	CWAΘ	Asal BTPLDD
62	Anolit bekas		10	CWAΘ	Asal BTPLDD
63	Unidentified		8	PWΘ	Asal PPGN
64	Dimethyl glioxin	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3	PWON	Asal PPGN
65	Larutan NaCl	NaCl	1	CWNΘ	Asal PPGN
66	Limbah Cr,Fe,Ni,Zn,Ca,Mg		4	CWAOF	Asal PPGN
67	Tri Butil Phosphat	-	1	CWO	Asal PPGN
68	Cerium Oxida	CeO <sub>2</sub>	2	PW-Ox	Asal PPGN
69		KIO <sub>3</sub>	1	PWNΘ Ox	Asal PPGN
70	Tio Urea	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>5</sub>	3	PWO	Asal PPGN
71	Barium Oxid	Ba(OH) <sub>2</sub>	1	PWΘB	Asal PPGN
72	Kalium Perchlorat	KClO <sub>3</sub>	3	PWNΘ Ox	Asal PPGN
73	Unidentified		3	PWAO	Asal PPGN
74	Natrium Worlfram	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> 2 H <sub>2</sub> O	2	PWBΘ	Asal PPGN
75	Larutan dr BTPLDD	Campuran	6	CWAΘ	(sisa preparasi)
76.	Telurium Oxida	TeO <sub>2</sub>	21	PWΘ	Asal PPGN
77.	Diphenyl carbazid	C <sub>13</sub> H <sub>14</sub> N <sub>4</sub> O	1	PWON	Asal PTAPB
78.	Methylrot	C <sub>15</sub> H <sub>15</sub> N <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	1	PWON	Asal PTAPB
79.	Unidentified		1	CWAO	Asal PTAPB
80.	Karbon aktif		8	PWO	Asal PTAPB
81.	Ammonium Asetat	CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	6	PWAΘ	Asal PTAPB
82.	Unidentified		5	CWBΘ	Asal PTAPB
83.	Unidentified		1	CWAO Reaktif	Asal PTAPB
84.	Kalium Iodat	KIO <sub>3</sub>	1	PWNΘ Ox	Asal PTAPB
85.	Asam Ascorbat	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub>	1	PWAO	Asal PTAPB
86.	Unidentified		1	CWBO	Asal PTAPB
87.	Limbah jirigen dr BTPLDD		5	CWAΘ	Asal PTAPB
88.	Unidentified		15	CWAΘ	Asal PTAPB
89.	Buffer pH 4,66		3	CWAΘ	Asal PTAPB
90.	Natrium hydrosi sulfit	NaHSO <sub>3</sub>	1	CWAΘ	Asal PTAPB
91.	Titrisol		6	CWAΘ	Asal PTAPB
92.	Unidentified		1	PWΘ	Asal PTAPB
93.	Unidentified		3	CWO	Asal PTAPB
94.	Unidentified		1	PWAΘ	Asal PTAPB
95.	Outlet IPAL Sarjito		5	CWNΘ	Asal PTAPB

96.	Buffer pH 4,66		2	CWAØ	Asal PTAPB
97.	Unidentified		6	CWAØ	Asal PTAPB
98.	Hydrogen Chlorid	HCl	1	CWAØ	Asal PTAPB
99.	Crom Nitrat	[Cr(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ] 9 H <sub>2</sub> O	13	CWAØ	Asal PTAPB
100.	Titriplex (II) (Athylene dinitrilotetra)	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> N <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	2	PWØ	Asal PTAPB
101.	Dymethyl amino benzaldehyd	C <sub>9</sub> H <sub>11</sub> NO	4	PWØ	Asal PTAPB
102.	Lithium fluorid	LiF	1	PWAØ	Asal PTAPB
103.	Unidentified		1	CWBØ	Asal PTAPB
104.	Ammonium Thio Cyanida	NH <sub>4</sub> SCN	5	PWNØ	Asal PTAPB
105.	Buffer Acetat		3	CWAØ	Asal PTAPB
106.	Asam Fluorida	HF	1	CWAØ	Asal PTAPB
107.	Limbah jirigen dr BTPLDD		2	CWAØ	Asal PTAPB
108.	Unidentified		7	CWAØ	Asal PTAPB
109.	Unidentified		2	CWBØ	Asal PTAPB
110.	Celite Analytical Filter Air		1	PWØ	Asal PTAPB
111.	Pasir monasit		1	PWØ	Asal PTAPB
112.	Zirkon dioksida	ZrO	1	PWØ	Asal PTAPB
113.	Unidentified		2	PWØ	Asal PTAPB
114.	Unidentified		3	CWOF	Asal PTAPB
115.	-	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> NH <sub>2</sub>	1	CWOF	Asal PTAPB
116.	Kupferon	C <sub>6</sub> H <sub>9</sub> N <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	1	PWON	Asal PTAPB
117.	TBP		1	CWO	Asal PTAPB
118.	Unidentified		1	CWO	Asal PTAPB
119.	Celulosa		1	PWØ	Asal PTAPB
120.	Ferri nitrat	Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	1	PWAØ	Asal PTAPB
121.	Natrium format	HCOONa	1	PWBØ	Asal PTAPB
122.	Aceton		1	CWOF	Asal PTAPB
123.	Etanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	1	CWOF	Asal PTAPB
124.	Asam glutamat		1	PWAO	Asal PTAPB
125.	Ammonium thio cyanat	NH <sub>4</sub> SCN	2	PWNØ	Asal PTAPB
126.	Kalium di sulfat	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2	PWNØ	Asal PTAPB
127.	Lithium nitrat	LiNO <sub>3</sub>	1	PWNØ	Asal PTAPB
128.	Magnesium nitrat	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 6 H <sub>2</sub> O	1	PWNØ	Asal PTAPB
129.	Unidentified	-	1	PWNØ	Asal PTAPB
130.	Ammonium carbonat reinst	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1	PWNØ	Asal PTAPB
131.	Limbah preparasi dr BTPLDD	-	3	CWAØ	dalam jirigen
132.	Titrisol	-	7	CWAØ	Asal PTAPB
133.	Chom(III)nitrat	Cr(NO <sub>3</sub> ) 9 H <sub>2</sub> O	15	CWNØ	Asal PTAPB

134.	Celite	-	50	PWØ	Asal PTAPB
135.	Dimthyl-POPOP	$C_{26}H_{23}N_2O_2$	10	PWON	Asal PTAPB
136.	Ammonium dihydrogen phosphat	$NH_4H_2PO_4$	1	PWAØ	Asal PTAPB
137.	Alumminium nitrat	$Al(NO_3)_3 \cdot 9 H_2O$	5	PWAØ	Asal PTAPB
138.	Ammonium nitrat	$NH_4NO_3$	2	PWAØ	Asal PTAPB
139.	Chrom(III) nitrat	$Cr(NO_3)_3$	1	PWAØ	Asal PTAPB
140.	Unidentified		1	PWAØ	Asal PTAPB
141.	Zinn(II) Chlorid Kristal	$SnCl_2 \cdot 2 H_2O$	1	PWAØ	Asal PTAPB
142.	Ammonium Iodid	$NH_4I$	4	PWAØ	Asal PTAPB
143.	Natrium Hydroxida	$NaOH$	1	PWBØ	Asal PTAPB
144.	Tri Chloro Acetat	$CCl_3COOH$	1	PWAO	Asal PTAPB
145.	Ferri Chlorida	$FeCl_3 \cdot 6 H_2O$	1	CWAØ	Asal PTAPB
146.	limbah dr BTPLDD		3	CWAØ	Asal PTAPB
147.	Unidentified		2	CWAØ	Asal PTAPB
148.	Unidentified		1	CWAØ	Asal PTAPB
149.	Toluen		1	CWO	Asal PTAPB
150.	Unidentified		21	CWO	Asal PTAPB
151.	n Dodeka	$C_{12}H_{26}$	2	CWO	Asal PTAPB
152.	2,3 Dimercapto propanol	$C_3H_8OS_2$	5	CWO	Asal PTAPB
153.	Unidentified		3	CWBO	Asal PTAPB
154.	Unidentified		1	CWBØ	Asal PTAPB
155.	Unidentified		12	CWAO	Asal PTAPB
156.	Pico fluor		3	CWOF	Asal PTAPB
157.	Unidentified		1	CWOF	Asal PTAPB
158.	Unidentified		25	CWAØ	Asal PTAPB
159.	Larutan dr BTPLDD		1	CWAØ	Dalam jirigen
160.	Ammonium thio cyanat	$NH_4SCN$	1	CWO	Asal PTAPB
161.	Unidentified		1	CWO	Asal PTAPB
162.	Unidentified		13	CWOF	Asal PTAPB
163.	Unidentified		1	CWOB	Asal PTAPB
164.	Ethanol	$C_2H_5OH$	1	CWOF	Asal PTAPB
165.	Di Chloro benzene	$C_6H_4Cl_2$	8	CWOF	Asal PTAPB
166.	Crom nitrat	$Cr(NO_3)_3$	37	PWAØ	Asal PTAPB
167.	Unidentified		1	CWAØF	Asal PTAPB
168.	Asam Sulfosalisil	$C_7H_6O_6S \cdot 2H_2O$	17	PWØ	Asal PTAPB
169.	Unidentified		12	CWAØ	Asal PTAPB
170.	Unidentified		2	CWO	Asal PTAPB
171.	Natrium glycerophosphat	$Na_2C_3H_7O_6$	1	PWO	Asal PTAPB

172.	Tetrathionat Brilliant green		1	PWO	Asal PTAPB
173.	Natrium diethyl di thio carbaminat	$C_5H_{10}MNaS_2 \cdot 3H_2O$	1	PWO	Asal PTAPB
174.	Parafin		1	PWO	Asal PTAPB
175.	Ammonium carbonat	$(NH_4)_2CO_3$	1	PWNØ	Asal PTAPB
176.	Mangan chlorida	$MgCl_2$	1	PWNØ	Asal PTAPB
177.	Unidentified		1	CWØB	Asal PTAPB
178.	Kepro, Sodium Hidroxide		5 liter	CØWA	PTBN
179.	Kepro, Hydrochloride acid		5 liter	CØWA	PTBN
180.	Kepro, Fixer		5 liter	CØWA	PTBN
181.	Kepro, Sodium Hidroxide		5 liter	CØWA	PTBN
182.	Asam Asetat		5 liter	CØWA	PTBN
183.	Developer		5 liter	CØWA	PTBN
184.	Kepro, Hydrochloride acid		5 liter	CØWA	PTBN
185.	Organic Acid		5 liter	CØWA	PTBN
186.	Asam Asetat		5 liter	CØWA	PTBN
187.	Unidentified		25 liter	CØWA	BOSP
188.	Unidentified		25 liter	CØWA	BOSP
189.	4 Tertbutyl		3 liter	CØW	PRR
190.	NN Dyetilanyl		2 botol	CØW	PRR
191.	Indikator pH5-6		1 botol	CØWA	PRR
192.	Indikator pH 9-10		1 botol	CØWB	PRR
193.	NN Dyetilanyl		1 botol	CØW	PRR
194.	Unidentified		1 botol	CØW	PRR
195.	Unidentified		1 botol	CØW	PRR
196.	Kepro		1 botol	CØWA	PRR
197.	Unidentified		1 botol	CØW	PRR
198.	Unidentified		1 botol	CØWA	PRR
199.	Unidentified		1 botol	CØWA	PTBN
200.	Unidentified		30 liter	CØWA	BTPLDD
201.	Unidentified		25 liter	CØWA	BTPLDD
202.	Larutan developer			CØWB	Pusdiklat
203.	Unidentified		1 jerigen	CØWA	Pusdiklat
204.	Unidentified		1 jerigen	CØWA	Pusdiklat
205.	Unidentified		1/2 jerigen	CØWA	Pusdiklat
206.	Unidentified		1 botol	CØWA	Pusdiklat
207.	Unidentified		1 botol	CØWA	Pusdiklat
208.	Unidentified		1 botol	CØWA	Pusdiklat
209.	Unidentified		1 botol	CØWA	Pusdiklat
210.	Unidentified		3 jerigen	CØWA	Pusdiklat
211.	Cyclohexan		4 botol	CØWA	PTAPB
212.	Pyridin		1 botol	CØWB	PTAPB
213.	Detergen Biodegradable		1 botol	CØWB	PTAPB
214.	Nitro benzol		17 botol	CØWA	PTAPB
215.	Pyridin		19 botol	CØWB	PTAPB
216.	Toluen		6 botol	CØWA	PTAPB
217.	Dioxan		1 botol	CØWA	PTAPB
218.	Anilin		1 botol	CØWB	PTAPB
219.	Carbo-sorb		1 botol	CØWB	PTAPB
220.	Insta Flour		2 botol	CØWB	PTAPB
221.	P. Methyl Cyclohexanol		1 botol	CØWA	PTAPB
222.	Diethylamine		1 botol	CØWB	PTAPB
223.	Diamethylanilum		1 botol	CØWB	PTAPB
224.	Orthoameisensaure		1 botol	CØWB	PTAPB

	trimethylester				
225.	Triethanolamine		1 botol	COWB	PTAPB
226.	Ammoniak		6 botol	COWB	PTRKN
227.	Glycerin		1 botol	COWB	PTRKN
228.	Buffer Solution ready for use pH 9		3 botol	COWB	PTRKN
229.	Buffer Solution ready for use pH 4		1 botol	COWA	PTRKN
230.	Buffer Solution ready for use pH 7.01		1 botol	COWB	PTRKN
231.	Conductivity standar Solution		1 botol	COWB	PTRKN
232.	Standar Solution 12.88045		1 botol	COWB	PTRKN
233.	Standar Solution 1.41345		1 botol	COWB	PTRKN
234.	Standar Solution pH 4.01		1 botol	COWA	PTRKN
235.	Silica Standard Solution		1 botol	COWA	PTRKN
236.	Aluminon		1 botol	POWB	PTRKN
237.	Buffer Solution ready for use pH 7		3 botol	COWB	PTRKN
238.	Dithizon		1 botol	POWB	PTRKN
239.	Unidentified		3 botol	COW	PTRKN
240.	Unidentified		5 botol	COWA	PTRKN
241.	Unidentified		2 jirigen	COWB	BTPLDD
242.	Unidentified		4 jirigen	COWA	BTPLDD
243.	Unidentified		10 botol	COWA	BKL

Dari data diatas dapat diketahui bahwa limbah-limbah B3 yang dikarakterterisasi berasal dari PBGN, PTAPB, BTPLDD (PTLR), PTRKN, BKL (PTLR), PTBN, PUSDIKLAT dan BOSP (PTLR) dengan kodifikasi sebagai berikut COWA, COWA, COWB, COWB, COWN, COW, COW, POW. Kodifikasi tersebut diartikan sebagai berikut : C adalah cairan, P adalah padat, O adalah organik, W larut dalam air, W tidak larut dalam air, O—anorganik , A asam, B Basa, N netral dan F adalah flamable.

Kodifikasi ini digunakan untuk mengelompokkan limbah berdasar potensi bahaya yang mungkin timbul akibat pencampuran bahan yang inkompatibel selama masa penyimpanan. Sehingga bahaya akibat pencampuran antar bahan selama masa penyimpanan di Gedung Penyimpanan Limbah B3 dapat dihindarkan.

Berdasar data diatas limbah selama tahun 2013 sebagian besar limbah yang diterima oleh PTLR adalah limbah cair asam dan anorganik, untuk limbah yang mudah terbakar dan oksidator lebih sedikit. sejumlah limbah diterima sudah dalam kemasan yang rusak sehingga digolongkan dalam limbah *unidentified*. Perlakuan terhadap limbah-limbah *unidentified* lebih khusus, yaitu dengan dilakukan karakterisasi lebih detail. Sehingga limbah tersebut dapat diidentifikasi. Sehingga potensi bahayanya dapat dikendalikan.

## 2. Lab pack Limbah B3 hasil karakterisasi terbatas

Lab pack adalah tata cara pengemasan limbah-limbah dalam kemasan kecil (misal: untuk *lab waste*) ke dalam wadah yang lebih besar (misal: drum 200 liter). Di tahun 2013 diperoleh 60 drum HDPE , limbah B3 yang siap diangkut ke industry pengolah limbah. Hasil lab pack diberikan di tabel 2.

**Tabel 2. Hasil Lab Pack limbah B3 yang sudah dikarakterisasi terbatas.**

No	Kode Limbah	Kelompok	Group	Jumlah Limbah	No. Drum HDPE	Keterangan
1	COW Anolite TBP	Cair	Organik	Anolite TBP Etil Amina 36 botol	51	Dikemas tgl 19/2/2013
2	CWA $\emptyset$	Cair	AnOrganik	Tak berlabel 1 jerigen, 14 botol	52	Dikemas tgl 19/2/2013
3	CWA $\emptyset$	Cair	AnOrganik	Tak berlabel 1 jerigen, 15 botol	53	Dikemas tgl 20/2/2013
4	CWA $\emptyset$	Cair	AnOrganik	Tak berlabel 1 jerigen, 13botol	54	Dikemas tgl 20/2/2013
5	CWA $\emptyset$	Cair	AnOrganik	Tak berlabel 1 jerigen, 15 botol	55	Dikemas tgl 21/2/2013
6	CWA $\emptyset$	Cair	AnOrganik	Tak berlabel 1 jerigen, 16 botol	56	Dikemas tgl 21/2/2013
7	CWA $\emptyset$	Cair	AnOrganik	Tak berlabel 1 jerigen, 43 botol	57	Dikemas tgl 25/2/2013
8	CWA $\emptyset$	Cair	AnOrganik	Tak berlabel 1 jerigen, 16 botol	58	Dikemas tgl 25/2/2013
9	CWA $\emptyset$	Cair	AnOrganik	Tak berlabel 1 jerigen, 24 botol	59	Dikemas tgl 26/2/2013
10	CWA $\emptyset$	Cair	AnOrganik	Tak berlabel 13 botol	60	Dikemas tgl 26/2/2013
11	CWA $\emptyset$	Cair	AnOrganik	Tak berlabel 1 jerigen, 16 botol	61	Dikemas tgl 27/2/2013
12	CWA $\emptyset$	Cair	AnOrganik	Tak berlabel 1 jerigen, 10 botol (2,5 ltr)	62	Dikemas tgl 27/2/2013
13	CWA $\emptyset$	Cair	AnOrganik	Tak berlabel 1 jerigen, 30 botol	63	Dikemas tgl 28/2/2013
14	CWN $\emptyset$	Cair	AnOrganik	10 botol, 13 botol	64	Dikemas tgl 28/2/2013 Belum penuh
15	COW-F	Cair	Organik	50 botol,	65	Dikemas tgl 4/3/2013 Mudah terbakar
16	PWA $\emptyset$	Padat	AnOrganik	78 botol	66	Dikemas tgl 4/3/2013
17	PWN $\emptyset$	Padat	AnOrganik	52 botol	67	Dikemas tgl 5/3/2013
18	CWA $\emptyset$	Cair	AnOrganik	30 botol	68	Dikemas tgl



						5/3/2013
19	CWAO	Cair	Organik	28 botol,	69	Dikemas tgl 6/3/2013
20	PWØ	Padat	AnOrganik	71 botol	70	Dikemas tgl 6/3/2013
21	CWAO	Cair	Organik	33 botol,	71	
22	CØWA	Cair	Anorganik	28 botol	72	
23	COWB	Cair	Organik	1 Jerigen, 6 Botol	73	
24	CØWA	Cair	Anorganik	1 Jerigen, 6 Botol	74	
25	CWAØ	Cair	AnOrganik	1 jerigen, 15 botol	75	
26	COWA	Cair	Organik	22 botol	76	
27	CØWA	Cair	Anorganik	1 jerigen 16 botol	77	
28	CØWA	Cair	Anorganik	1 jerigen	78	
29	CØWA	Cair	Anorganik	26 botol	79	
30	COWA	Cair	Organik	18 botol	80	
31	CØWA	Cair	Anorganik	1 Jerigen, 25 Botol	81	
32	CØWA	Cair	Anorganik	2 Jerigen21 Botol	82	
33	COWA	Cair	Organik	1 Jerigen, 24 Botol	83	
34	PWØ	Padat	Organik	78 Botol,	84	
35	PWØN	Padat	Anorganik	64 Botol	85	
36	CØWA	Cair	Anorganik	2 Jerigen, 18Botol	86	
37	CØWN	Cair	Anorganik	2 Jerigen, 14 Botol	87	
38	CØWA	Cair	Anorganik	2 Jerigen,24 Botol	88	
39	COWA	Cair	Organik	1 Jerigen, 22 botol	89	
40	COWA	Cair	Organik	1 Jerigen, 27 Botol	90	29-10-2013
41	COWB	Cair	Organik	1 Jerigen, 24 Botol	91	30-10-2013
42	CØWA	Cair	Anorganik	1 Jerigen, 25 Botol	92	31-10-2013
43	CØWA	Cair	Anorganik	2 Jerigen21	93	31-10-2013

				Botol		
44	COWN	Cair	Anorganik	2 Jerigen, 14 Botol	94	04-11-2013
45	COWA	Cair	Organik	2 Jerigen, 16 Botol	95	04-11-2013
46	COWA	Cair	Anorganik	2 Jerigen, 22 Botol	96	06-11-2013
47	COWA	Cair	Anorganik	2 Jerigen, 18 Botol	97	06-11-2013
48	COWA	Cair	Anorganik	1 Jerigen, 25 Botol	98	07-11-2013
49	COWA	Cair	Organik	1 Jerigen, 24 Botol	99	11-11-2013
50	PWO	Padat	Organik	81 Botol, 10 Bungkus Plastik	100	13-11-2013
51	PWO	Padat	Organik	48 Botol, 12 Plastik,	101	13-11-2013
52	PWO	Padat	Anorganik	62 Botol, 1 Plastik, 97 Botol kecil	102	14-11-2013
53	PWON	Padat	Anorganik	64 Botol	103	14-11-2013
54	PWQA	Padat	Anorganik	76 Botol	104	18-11-2013
55	PWQA	Padat	Anorganik	59 Botol, 1 Plastik Besar, 1 plastik	105	18-11-2013
56	POWB	Padat	Organik	97 Botol	106	19-11-2013
57	POWB	Padat	Organik	53 Botol, 98 Botol Kecil	107	19-11-2013
58	PQWB	Padat	Anorganik	90 Botol	108	25-11-2013
59	PQWB	Padat	Anorganik	100 Botol	109	25-11-2013
60	COWA	Cair	Anorganik	1 Jerigen Besar, 31 Jerigen Kecil	110	26-11-2013

Mengacu pada tata cara pengemasan limbah B3 yang berlaku di industri pengolah limbah (khususnya PT PPLi), maka metode *labpack* digunakan untuk mengemas limbah B3 hasil karakterisasi terbatas dan limbah siap diangkut ke pengolah limbah. Dalam metode lab pack, untuk mencegah reaksi

yang terjadi, materi yang bisa bereaksi satu dengan yang lainnya tidak boleh dikemas bersama dalam 1 drum. Jadi hanya limbah dalam kelompok yang sama yang boleh dikemas dalam 1 drum. Disamping itu material inert akan meredam guncangan atau benturan antar kemasan selama dalam pengangkutan. Limbha- Limbah hasil labpack relatif aman dalam penyimpanan. Sehingga metode labpack dipilih dilakukan sebagai langkah akhir dalam penyimpanan sementara sebelum limbah dikirim keindustri pengolah limbah.

## KESIMPULAN

1. Karakterisasi terbatas adalah bagian dari pengelolaan limbah B3 yang dilakukan sebagai upaya preventif untuk menghindari terjadinya resiko limbah B3 yang tidak diinginkan seperti keracunan, kebakaran, ledakan, iritasi, dan saling ketidaksesuaian antar bahan (*incompatibility*) dalam penyimpanan limbah B3, selama tahun 2013 telah dikarakterisasi terbatas limbah B3 sebanyak 440 jenis limbah bahan kimia.
2. *Lab pack* yaitu tata cara pengemasan limbah-limbah dalam kemasan kecil ke dalam wadah yang lebih besar. Selama proses tahun 2013 dihasilkan limbah labpack sebanyak 60 drum HDPE 120 liter.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Undang-Undang Republik Indonesia No. 32 tahun 2009 tentang perlindungan pengelolaan lingkungan hidup.
- [2]. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, Kementerian Lingkungan Hidup, 2003
- [3]. Setiyono, "Sistem Pengelolaan Limbah B-3 di Indonesia", Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2002.
- [4]. PT. PPLI, "Prosedur Pengemasan Limbah Laboratorium dengan metode Labpack". Bogor.
- [5]. Mas Udi, "Pengembangan Teknologi Proses Pengolahan Limbah B3 Internal BATAN", Prosiding Hasil Penelitian dan Kegiatan Pusat Teknologi Limbah Radioaktif Tahun 2012 2010 ISSN 0852-2979.



## **PENGEMBANGAN TEKNOLOGI TRANSPORTASI DAN PENYIMPANAN SEMENTARA LRA, LIMBAH B3, LIMBAH AKTIVITAS TINGGI DAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS**

**Purwantoro, Dyah Sulistyani R**  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

### **ABSTRAK**

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI TRANSPORTASI DAN PENYIMPANAN SEMENTARA LRA, LIMBAH B3, LIMBAH AKTIVITAS TINGGI DAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS.** Tujuan kegiatan ini adalah terlaksananya pengangkutan limbah radioaktif yang optimal, tersedianya instalasi penyimpanan limbah radioaktif, instalasi limbah aktifitas tinggi (PSLAT), instalasi limbah B3, limbah radioaktif yang berasal dari luar BATAN, berasal dari industri dan rumah sakit. Limbah radioaktif yang diangkut umumnya berupa sumber bekas tertutup yang digunakan untuk *gaugging*, *logging* dan sumber standar. Rata-rata paparan terbesar dalam kondisi tertutup di sekitar *seal source* 164 mrem/jam pada permukaan dan 56,2 mrem/jam pada jarak 1 m. Sedangkan paparan terkecil pada limbah padat tersebut 0,020 mrem/jam pada permukaan dan 0,016 pada jarak 1 m. Pada periode Januari s/d Desember 2013 telah dilakukan 18 paket pengangkutan limbah radioaktif internal BATAN dan eksternal BATAN, penyimpanan limbah sebanyak 6 buah shell beton 900 liter limbah resin dan kondisioning 117 sumber bekas ke dalam 3 buah shell beton 350 lt. Perbaikan dan perawatan KH-IPSB3 sangat penting dilakukan karena pada fasilitas tersebut hingga saat ini telah tersimpan 245 bendel bahan bakar nuklir bekas. Perawatan di sistem purifikasi antara lain, penggantian resin Cesium dan Mixed bed yang sudah jenuh dengan resin yang baru. Perbaikan sistem demineralisasi dilakukan dengan pembuatan jalur *bypass* untuk *make up* regenerasi sistem demin sehingga kualitas air demin yang dihasilkan sesuai dengan BKO yang dipersyaratkan. Perbaikan sistem tata udara dilakukan dengan menambahkan inhibitor pada air chiller sehingga kualitas udara yang dihasilkan sesuai dengan persyaratan BKO. Perbaikan peralatan handling yaitu *wich lifting* dan *magnetic lifting elektromagnet* pada fasilitas penyimpanan limbah aktivitas tinggi yang diperlukan untuk pengangkutan dan penyimpanan limbah aktifitas tinggi dari PT INUKI yang berupa kapsul bekas dengan radiasi sangat tinggi.

Kata kunci : transportasi, limbah radioaktif, bahan bakar bekas, penyimpanan

### **ABSTRACT**

#### **DEVELOPMENT OF RADIOACTIVE WASTE , HAZARDOUS WASTE , HIGH ACTIVITY WASTE AND SPENT FUEL TRANSPORTATION AND STORAGE TECHNOLOGY.**

*The purpose of this activity is optimalisation of radioactive waste transport, availability of radioactive waste storage installation, installation of high activity waste, installation of hazardous waste from outside BATAN , arising from industry and hospitals . Radioactive waste is transported generally in the form of sealed sources for gaugging , logging and standard source. Average largest exposure around the seal source is 164 mrem / h at the surface and 56.2 mrem / h at a distance of 1 m. While the smallest exposure to the solid waste is 0.020 mrem / h at the surface and at a distance of 1 m 0.016. In the period of January until December 2013 has made 18 packages of radioactive waste transportation from internal and external BATAN, 6 units of 900 liter concrete shell of resin and conditioning 117 sources into 3 pieces of concrete shell 350 lt. Repairing and maintenance of spent fuel storage installation is very important , because at the facility has stored 245 bundle of spent nuclear fuel. Treatment in purification systems had been done with the replacement of Cesium and Mixed bed resin that has been saturated with new resin. Demineralization system repairs done by making a bypass pathway for regeneration makeup demin system that demin water quality produced in accordance with*

*standart operation required. Air system repairing is done by adding inhibitors to the water chiller so the quality of air produced in accordance with the requirements of standart operation. Repairing of handling equipment included wich magnetic lifting and lifting electromagnets at high activity waste storage facilities are required for the transport and storage of high activity waste from PT INUKI, the form of capsules but very high radiation .*

*Keyword : transportation, radioactive waste, storage, spent fuel*

## **PENDAHULUAN**

Berdasarkan SK Ka. BATAN Nomor 14/KA/VIII/2013 tentang Rincian Tugas Unit Kerja di lingkungan BATAN, Bidang Pengolahan Limbah (BPL) mempunyai tugas melaksanakan pelayanan Limbah Aktivitas Tinggi dan Bahan Bakar Nuklir Bekas pengolahan limbah radioaktif dan limbah B3 internal BATAN yang meliputi preparasi dan analisa pengolahan limbah cair dan resin bekas, pengolahan limbah padat, serta pengangkutan dan penyimpanan sementara. Pengangkutan zat radioaktif adalah pemindahan zat radioaktif dari suatu tempat ke tempat lain melalui jaringan lalu lintas umum, dengan menggunakan sarana angkutan darat, air atau udara. Limbah radioaktif merupakan salah satu bagian dari zat radioaktif. Transportasi limbah radioaktif wajib mengikuti peraturan dan persyaratan yang sama seperti bahan radioaktif lain sesuai dengan kategorinya. Di seluruh dunia, peraturan tersebut didasarkan atas peraturan Badan Tenaga Atom Internasional (International Atomic Energy Agency = IAEA) untuk keselamatan transportasi bahan radioaktif (TS-R-1 Edisi 2005) [2].

Kanal Hubung–Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3) merupakan instalasi nuklir non reaktor, yang digunakan untuk penyimpanan sementara bahan bakar nuklir bekas dan juga untuk transfer material target iradiasi dari teras reaktor menuju instalasi produksi radio Isotop di BANTEK, pada saat ini di instalasi KH-IPSB3 telah tersimpan 245 bendel bahan bakar nuklir bekas sehingga bisa menimbulkan potensi bahaya yang cukup besar. Seiring dengan meningkat nya jumlah produksi radio Isotop di PT INUKI maka akan meningkat pula jumlah limbah yg di dihasilkan, di mana limbah yang dihasilkan masuk dalam golongan limbah aktifitas tinggi karena merupakan limbah kapsul bekas target Iradiasi. PTLR sebagai satu satunya unit yang bertanggung jawab terhadap pengelolaan limbah radioaktif harus dapat merespon keadaan tersebut. Berdasarkan alasan tersebut maka pengembangan teknologi pengelolaan bahan bakar nuklir bekas dan material teriradiasi di KH-IPSB3 mutlak dilakukan. Disamping itu optimasi peralatan pendukung instalasi juga harus di yakinkan kehandalannya sehingga keselamatan dan keamanan instalasi KH-IPSB3 akan dapat terjaga [3].

Limbah radioaktif umumnya ditimbulkan dari kegiatan pengoperasian reaktor riset, pemanfaatan sumber radiasi dan bahan radioaktif dalam bidang industri, pertanian, kedokteran dan penelitian serta dari berbagai proses indusrti yang menggunakan bahan yang mengandung radionuklida alam (*Naturally Occurring Radioactive Material*, NORM). Sedangkan di negara-negara maju, limbah radioaktif juga ditimbulkan dari pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) dan kegiatan daur-ulang bahan bakar nuklir (BBN) bekas dan dekomisioning instalasi/

fasilitas nuklir. Limbah radioaktif tersebut harus aman dikelola dengan baik sebelum akhirnya nanti di simpan pada penyimpanan akhir (*repository*). Limbah radioaktif adalah bahan yang terkontaminasi dengan radio isotop yang berasal dari penggunaan medis atau riset radio nuklida. Limbah ini dapat berasal dari antara lain : tindakan kedokteran nuklir, *radio-immunoassay* dan bakteriologis; dapat berbentuk padat, cair atau gas. Pengelolaan limbah radioaktif bertujuan untuk meminimalkan dosis radiasi yang diterima penduduk < 0,1 dosis radiasi maksimum yang diperkenankan bagi karyawan di medan radiasi. Batasan dosis radiasi dari ICRP (International Commission for Radiation Protection) adalah semua penduduk tidak akan menerima dosis rata-rata 1 rem perorang dalam 30 tahun dari sampah nuklir. Pengelolaan limbah radioaktif sangat memerlukan perhatian khusus, hal ini dikarenakan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, efek somatik dan genetik pada manusia serta efek psikologis pada masyarakat. Salah satu sifat yang dimiliki oleh sumber radioaktif adalah memiliki umur paruh. Sifat ini sangat menguntungkan karena limbah radioaktif akan berkurang radioaktivitasnya seiring dengan waktu dalam bentuk peluruhan dan pengeluaran panas.

Pengangkutan dan penyimpanan sementara merupakan bagian integral dari proses pengelolaan limbah radioaktif. Pengangkutan limbah radioaktif baik padat, cair maupun sumber bekas, dilakukan dari instansi penimbul limbah (BATAN, rumah sakit dan industri) ke Instalasi Pengolahan Limbah radioaktif (IPLR), untuk diolah dan disimpan di penyimpanan sementara (Interim storage). Tujuan penyimpanan sementara (Interim Storage) limbah radioaktif adalah untuk meluruhkan aktivitas zat radioaktif dalam limbah sehingga aman untuk diproses dan menyimpan limbah olahan agar aman bagi pekerja, masyarakat dan lingkungan. Tujuan kegiatan ini adalah terlaksananya pengangkutan limbah radioaktif yang optimal, tersedianya instalasi penyimpanan limbah radioaktif, instalasi limbah aktifitas tinggi (PSLAT), instalasi limbah B3. Pada periode Januari s/d Desember 2013 telah dilakukan 18 paket pengangkutan limbah radioaktif internal BATAN dan eksternal BATAN, penyimpanan limbah sebanyak 6 buah shell beton 900 liter limbah resin dan kondisioning 117 sumber bekas ke dalam 3 buah shell beton 350 lt.

## **TATA KERJA**

Peralatan pengangkutan limbah radioaktif antara lain :

- Alat angkut: (truck, fork lift, crane, hand crane, dll)
- Transfer Cask/Kanister
- Pallet.
- Alat monitoring
- Tanda bahaya radiasi dan tanda bahaya lainnya
- Sarana keselamatan kerja
- Dan sarana lain yang diperlukan.

Metode

1. Pengangkutan limbah radioaktif internal BATAN.
2. Pengangkutan limbah radiaktif eksternal BATAN
3. Perbaikan peralatan handling limbah aktivitas tinggi.

4. Penyimpanan limbah hasil olahan ke IS2
5. Penyimpanan/kondisioning sumber bekas ke dalam sheel beton 350lt.
6. Pengoperasian instalasi KH-IPSB3
7. Pelaksanaan dokumentasi, evaluasi dan pelaporan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengangkutan limbah radioaktif internal BATAN dan Eksternal BATAN baik dalam kota maupun luar kota sehingga diperlukan kelengkapan perjalan sebagai menunjuk jalan berupa peralatan GPRS. Pengangkutan limbah radioaktif juga mensyaratkan keselamatan dan keamanan sesuai peraturan yang berlaku, untuk itu personil pelaksana juga harus dilengkapi dengan sertifikasi/surat ijin mengoperasikan kendaraan angkut limbah yang sesuai, selain juga sertifikasi personil pelaksana pengelola bahan nuklir yang dikeluarkan oleh badan pengawas (BAPETEN). Workshop Etika berlalulintas dalam pengangkutan limbah radioaktif bekerja sama dengan polisi diselenggarakan untuk memberikan tambahan pengetahuan kepada personil dalam pengangkutan limbah sehingga aman dan selamat. Pengangkutan limbah radioaktif tahun 2013 telah dilaksanakan seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 . Pengangkutan Limbah radioaktif Internal dan eksternal BATAN tahun 2013

	Asal Limbah	Jenis Limbah	Jumlah
1.	PRR	Cair	3 drum 100lt , 3 jerigen
2.	PT NDT Instrumen	Iridium-192	26 buah
3.	PT Panasonic	Th-232,Kr-85	7 buah
4.	PT. Pratita	Sumber bekas (Iridium)	31 container
5.	RS. Hasan sadikin Bandung	Co-60	1 container
6.	PT. Mutiara Hexagon	Kr-85	1 Buah
7.	BRK-PTLR	Hg-203, Cs-137	1 jerigen, 2 drum 100 L
8.	PRSG	Semi Cair resin	3 Tangki
9.	PATIR Ps.Jumat	Cs-137,Ir-192,I-125,P-32	2 container, 5 Drum 200 L
10.	PT. Multi karisma Perkasa	Ir-192	3 container
11.	PRSG	Limbah campuran	21 Drum 100 L



12.	PT. Arga Prima Industri	Kr-85,Pm-147	4 Paket
13.	PT. Pelat Timah Nusantara Tbk	Am-241	3 Drum 100 L
14.	PT. Delita Cengkareng Piper	Kr-85	2 Box Pb
15.	PT. Hans Qkas Inspektindo	Ir-192	2 buah
16.	BPL-PTLR	Campuran	2 drum 100 L
17.	PRR-Batan	Campuran	4 drum 100 L
18.	PT. Global STA	Ir-192	8 buah

Limbah radioaktif yang berasal dari internal BATAN, berasal dari PTBN, PPR dan PTLR sendiri. Limbah radioaktif berupa limbah padat terkontaminasi, yang berasal dari riset dan laboratorium yang berupa kertas saring, sarung tangan, peralatan gelas, ampul-ampul dan lain lain yang sudah diwadahkan dalam drum 100 liter. Limbah tersebut umumnya merupakan *low level waste* (LLW). Pengangkutan limbah tersebut dilakukan menggunakan truk pengangkut limbah padat dan limbah disimpan di *Interim storage* 1 (IS1) yang selanjutnya akan diolah menggunakan metode kompaksi. Periode 2013 ini telah dilakukan penyimpanan sebanyak 6 buah shell beton 950 lt hasil olahan resin bekas, dan kondisioning 117 sumber bekas kedalam 3 buah shell beton 350lt . Penyusunan dan penyimpanan limbah hasil olahan dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2. Perbaikan alat angkut limbah (*forklift*) berupa penggantian sistem hidrolis angkat, penggantian liner silinder ruang bakar, penggantian plat kopling transmisi dan oli, sehingga kondisi alat angkat menjadi optimal, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Sedangkan limbah radioaktif yang berasal dari luar BATAN, berasal dari industri dan rumah sakit. Radionuklida yang diangkut umumnya berupa sumber bekas tertutup yang digunakan untuk *gaugging*, *logging* dan sumber standar. Peralatan yang digunakan selama pengangkutan limbah harus benar-benar diperhatikan seperti wadah /kontainer limbah yang akan diangkut, lembaran Pb untuk *shielding* paparan radiasi, tali pengikat dan alat monitor radiasi untuk pengukuran paparan radiasi. Batasan paparan limbah yang dapat diangkut oleh petugas pengangkut limbah radioaktif adalah 200 mrem/jam, artinya jarak antara personil/petugas yang mengangkut yaitu 200 mrem/jam dari sumber atau limbah radioaktif yang diangkutnya. Rata-rata paparan terbesar dalam kondisi tertutup di sekitar *seal source* 164 mrem/jam pada permukaan dan 56,2 mrem/jam pada jarak 1 m. Sedangkan paparan terkecil pada limbah padat tersebut 0,020 mrem/jam pada permukaan dan 0,016 pada jarak 1 m. Paparan radiasi yang terbesar selama pengangkutan masih dibawah batas yang diijinkan dalam Peraturan Pemerintah No.27 Tahun 2002 tentang Pengangkutan zat radioaktif [4].

Pengadaan sarana Penyimpanan limbah (*rack pallet*) terbuat dari besi digunakan untuk menggantikan rack palet dari kayu yang selama ini dipergunakan , untuk menyimpan limbah hasil olahan/maupun limbah sumber radioaktif bekas, sehingga aman, rapi dan mudah diidentifikasi dan diakses untuk kepentingan inspeksi keselamatan.

Perbaikan peralatan handling yaitu *wich lifting* dan *magnetic lifting elektromagnet* pada fasilitas penyimpanan limbah aktivitas tinggi yang diperlukan untuk pengangkutan dan penyimpanan limbah aktifitas tinggi dari PT INUKI yang berupa kapsul bekas dengan radiasi sangat tinggi, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Perbaikan ini diperlukan karena *power supply head magnetic* sering bermasalah, karena *wich lifting* terdiri dari 1 poros, sehingga *magnetic* sering berputar sehingga perlu dilakukan modifikasi pembuatan *wich lifting* menjadi 4 sling, sehingga *head magnetic* menjadi lebih stabil.



Gambar 1. Penyusunan dan pemetaan sumber bekas tertutup di IS2

Gambar 2. Penyusunan dan pemetaan sumber bekas tertutup di IS2



Gambar 3. Perbaikan alat angkut limbah

Gambar 4. Perbaikan sistem handling limbah aktivitas tinggi pada PSLAT

Perbaikan dan perawatan KH-IPSB3 sangat penting dilakukan karena pada fasilitas tersebut hingga saat ini telah tersimpan 245 bendel bahan bakar nuklir bekas[3]. Pengoperasian semia sistem penunjang harus dioperasikan sesuai dengan BKO yang telah dipersyaratkan, antara lain sistem VAC off gas, sistem purifikasi, demineralisasi, pendingin, dan monitor radiasi. Perawatan di sistem purifikasi antara lain, penggantian resin Cesium dan Mixed bed yang sudah jenuh dengan resin yang baru. Kegiatan ini harus dilakukan untuk menjaga kualitas dari air kolam dari kontaminan radionuklida hasil fisi, seperti cesium, cobalt dan lain-lain. Kegiatan penggantian resin dilaksanakan sesuai dengan IK penggantian resin dapat dilihat pada Gambar 5.

Perbaikan sistem demineralisasi dilakukan dengan pembuatan jalur *bypass* untuk *make up* regenerasi sistem demin sehingga kualitas air demin yang dihasilkan sesuai dengan BKO yang dipersyaratkan., seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Perbaikan sistem tata udara dilakukan dengan menambahkan inhibitor pada air *chiller* sehingga kualitas udara yang dihasilkan sesuai dengan persyaratan BKO, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Penggantian resin sistem purifikasi kolam penyimpanan bahan bakar nuklir bekas



Pembuatan jalur bypaas untuk make up regenerasi sistem demin

Gambar 5. Penggantian resin sistem purifikasi

Gambar 6. Pembuatan jalur *by pass* sistem demin



## KESIMPULAN

1. Pada periode Januari s/d Desember 2013 telah dilakukan 18 paket pengangkutan limbah radioaktif internal BATAN dan eksternal BATAN , penyimpanan limbah sebanyak 6 buah shell beton 900 liter limbah resin dan kondisioning 117 sumber bekas ke dalam 3 buah shell beton 350 lt.
2. Perbaikan sistem demineralisasi dilakukan dengan pembuatan jalur bypass untuk make up regenerasi sistem demin sehingga kualitas air demin yang dihasilkan sesuai dengan BKO yang dipersyaratkan
3. Perbaikan sistem tata udara dilakukan dengan menambahkan inhibitor pada air chiller sehingga kualitas udara yang dihasilkan sesuai dengan persyaratan BKO.
4. Penggantian resin Cesium dan Mixed bed yang sudah jenuh dengan resin yang baru. Kegiatan ini harus dilakukan untuk menjaga kualitas dari air kolam dari kontaminan radionuklida hasil fisi, seperti cesium, cobalt dan lain-lain.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1].SK Ka. BATAN Nomor 14/KA/VIII/2013 tentang Rincian Tugas Unit Kerja di lingkungan BATAN
- [2].Safety Standards.Safety Requirements No.TS-R-1 Regulations for the Safe Transport of radioactive materials 2005 Editions, TS-R-1 Edisi 2005 IAEA, Vienna
- [3].Laporan Analisis Keselamatan Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (LAK KH-IPSB3), rev 7, PTLR – BATAN, 2009.
- [4].PP No.27 Tahun 2002 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif
- [5].*Structural Design Calculation Volume 1, 2 & 3, Transfer Channel and ISFSF for BATAN, AEA Engineering, 1993*

- [6].Dyah Sulistyani Rahayu, Diklat Pengelolaan Limbah Radioaktif, PTLR , Serpong, 2012
- [7].Suryantoro, Diklat Pengelolaan Limbah Radioaktif, PTLR , Serpong, 2012



## KARAKTERISASI LIMBAH RADIOAKTIF SUMBER TERBUNGKUS YANG TIDAK TERIDENTIFIKASI

Suhartono, Suryantoro, Ayi Muziyawati  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif –BATAN

### ABSTRAK

**KARAKTERISASI LIMBAH RADIOAKTIF SUMBER TERBUNGKUS YANG TIDAK TERIDENTIFIKASI.** Pengelolaan limbah radioaktif sumber terbungkus di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) – Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) memerlukan data yang jelas tentang jenis radionuklida, aktivitas radionuklida, tanggal aktivitas, nomor seri sumber dan data teknis lainnya. Namun tidak semua limbah radioaktif sumber terbungkus (LRST) yang berasal dari rumah sakit dan industri pengguna sumber radiasi memiliki data identitas sumber radioaktif yang diperlukan. Oleh karena itu perlu dilakukan karakterisasi terhadap LRST yang tidak memiliki data identitas yang jelas. Proses karakterisasi LRST yang tidak teridentifikasi dilakukan dengan menentukan jenis radionuklida, estimasi aktivitas radionuklida, dan memberikan nomor identifikasi. Penentuan jenis radionuklida dilakukan dengan menggunakan spektrometer gamma *portable* BNC 940. Estimasi aktivitas radionuklida dihitung dengan *software* Rad Pro Calculator 3.26 untuk LRST berisi sumber titik dan MicroShield 7.02 untuk uranium susut kadar. Sedangkan pemberian nomor identifikasi dilakukan menggunakan pelat aluminium dan label identifikasi. Telah dilakukan karakterisasi sebanyak 36 unit LRST yang tidak teridentifikasi. Dari proses karakterisasi tersebut diketahui bahwa sebanyak 10 unit logam uranium susut kadar berisi radionuklida  $^{238}\text{U}$  dengan aktivitas antara 4,17 mCi – 315,60 mCi, 9 unit LRST berisi radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  dengan aktivitas antara 1,8354  $\mu\text{Ci}$  – 7,1729 mCi, 7 unit LRST berisi radionuklida  $^{60}\text{Co}$  dengan aktivitas 0,4856  $\mu\text{Ci}$  - 0,5121 mCi, 6 unit LRST berisi radionuklida  $^{226}\text{Ra}$  dengan aktivitas 1,5929  $\mu\text{Ci}$  – 1,1180 mCi, 2 unit LRST berisi radionuklida  $^{192}\text{Ir}$  dengan aktivitas tak terdeteksi (klirens) dan 0,43  $\mu\text{Ci}$ , 1 unit LRST berisi radionuklida  $^{109}\text{Cd}$  dengan aktivitas 0,3781 mCi, serta 1 unit bukan limbah / sumber radioaktif. Seluruh unit limbah radioaktif sumber terbungkus tersebut merupakan sumber radioaktif kategori 3 sampai dengan kategori 5 yang berasal dari berbagai aplikasi teknik nuklir di bidang industri.

Kata kunci : karakterisasi, limbah radioaktif, sumber terbungkus, Radpro Calculator 3.26, MicroShield 7.02

### ABSTRACT

**CHARACTERIZATION OF UNIDENTIFIED SEALED SOURCE RADIOACTIVE WASTE.** Management of sealed source radioactive waste at Radioactive Waste Technology Center (RWTC) – National Nuclear Energy Agency (NNEA) needs detail data such as the kinds of radionuclide, activity, reference date of activity, source's serial number and other technical data. But not every sealed source radioactive waste which comes from hospital and industry has the data. So, the unidentified sealed sources radioactive waste need to be characterized. Characterization process of the unidentified sealed sources radioactive waste is done by defining the radionuclide, estimating the activity, and giving the identification number. Defining the kind of radionuclide is executed by using portable gamma spectrometer BNC 940, estimating the activity of the point source DSRS is computed by Radpro Calculator 3.26 software, and MicroShield 7.02 for depleted uranium, while the numbering process for identification is done by using Aluminum plate and identification label. 36 units of unidentified sealed sources radioactive waste have already been characterized. By those characterization processes, known that 10 units of Uranium depleted metals contain  $^{238}\text{U}$  radionuclide with activity in range of 4,17 mCi – 315,60 mCi, 9 units of sealed sources radioactive waste contain  $^{137}\text{Cs}$  radionuclide with activity in range of 1,8354  $\mu\text{Ci}$  – 7,1729 mCi, 7 units of sealed sources radioactive waste contain  $^{60}\text{Co}$  radionuclide with activity in range of 0,4856  $\mu\text{Ci}$  - 0,5121 mCi, 6 units of sealed sources radioactive waste contain  $^{226}\text{Ra}$  radionuclide with activity in range of 1,5929  $\mu\text{Ci}$  – 1,1180 mCi, 2 units of sealed sources radioactive waste contain  $^{192}\text{Ir}$  radionuclide with undetected activity (clearance) and 0,43  $\mu\text{Ci}$ , 1 unit of sealed source radioactive waste contains  $^{109}\text{Cd}$  with activity 0,3781 mCi, and 1 unit of non-radioactive waste. All those sealed sources radioactive waste are radioactive sources category 3 - category 5 which come from various technical nuclear applications by different industries.

Keywords : characterization, radioactive waste, sealed source, Radpro Calculator 3.26, MicroShield7.02

## PENDAHULUAN

Partikel atupun sinar radiasi yang dipancarkan oleh zat radioaktif telah lama digunakan untuk berbagai keperluan di bidang industri dan kesehatan. Di bidang industri misalnya untuk pengukuran ketebalan (*thickness gauging*), pengukuran ketinggian (*level gauging*), teknik sterilisasi, radiografi, dan lainnya. Sedangkan di bidang kesehatan, sumber radiasi banyak digunakan untuk tujuan diagnostik dan terapi misalnya pendeteksian fungsi ginjal dan terapi kanker dengan penyinaran radiasi.

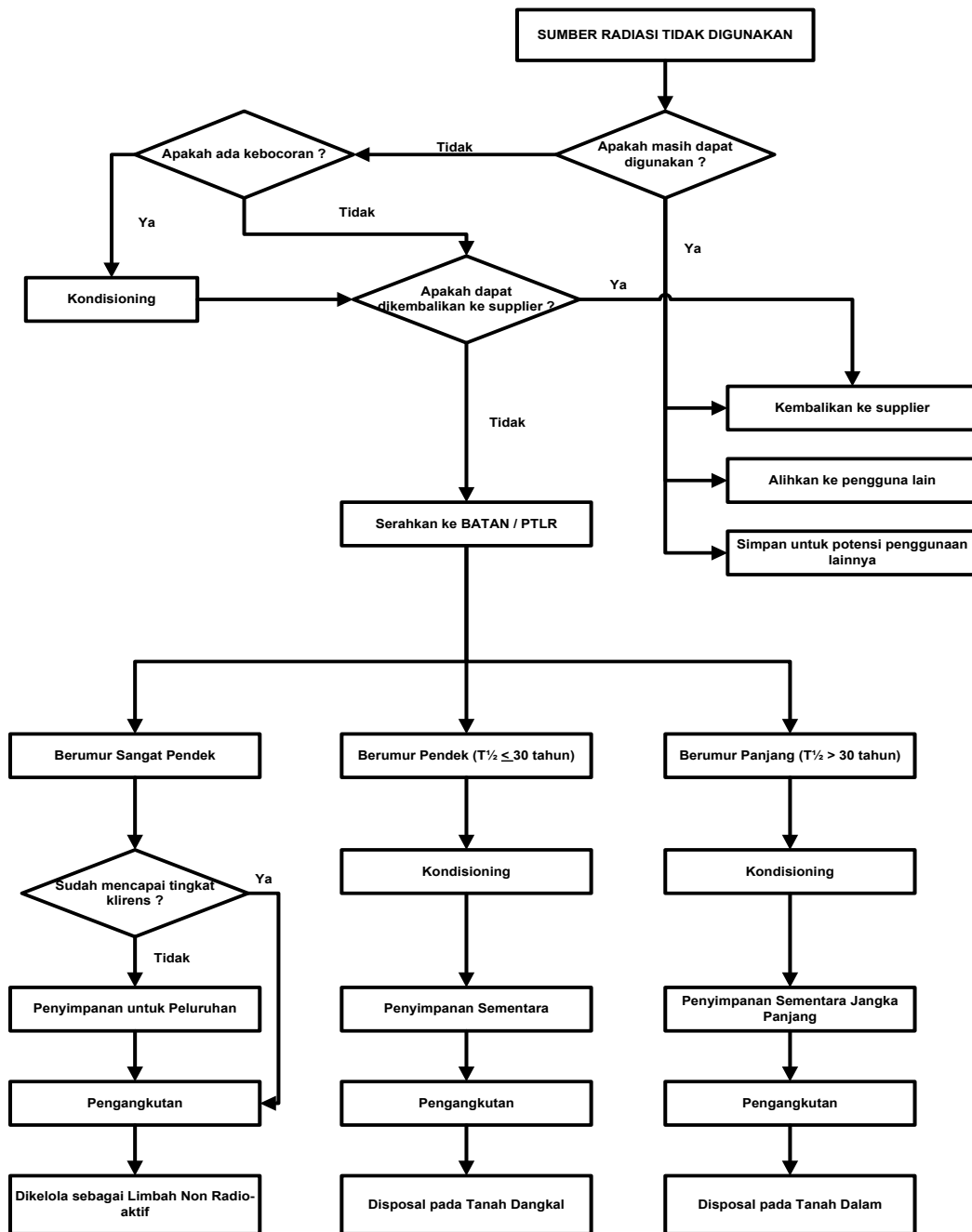
Sumber radiasi yang digunakan untuk keperluan industri dan kesehatan biasanya berupa sumber tertutup dikemas dalam kapsul dengan integritas yang tinggi dimana di dalam kapsul mengandung radionuklida spesifik dengan derajat kemurnian tinggi<sup>[1]</sup>. Beberapa radionuklida yang sering digunakan sebagai sumber radiasi di bidang industri dan kesehatan antara lain  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{210}\text{Po}$  dan  $^{241}\text{Am}$ .

Aktivitas zat radioaktif yang terdapat dalam sumber radiasi semakin lama akan semakin berkurang karena proses peluruhan. Jika aktivitas zat radioaktif sudah berkurang sehingga menjadi relatif kecil, maka paparan radiasi yang dipancarkan juga semakin melemah. Apabila paparan radiasi dari sebuah sumber radioaktif sudah rendah dan tidak efektif lagi penggunaannya maka sumber tersebut dinamakan sebagai sumber radioaktif tidak digunakan (*disused sealed radioactive sources / DSRS*). Sejalan dengan konsep minimisasi limbah radioaktif, sebuah *DSRS* masih mungkin digunakan kembali untuk tujuan lain yang memerlukan aktivitas zat radioaktif yang lebih kecil. Ketika sebuah *DSRS* sudah benar-benar tidak dapat digunakan lagi maka selanjutnya sumber radiasi tersebut dinamakan sebagai limbah radioaktif sumber terbungkus (LRST). Meskipun sudah tidak digunakan lagi dan menjadi limbah, LRST ini masih berbahaya karena selalu memancarkan sinar radiasi pengion yang dapat berdampak buruk jika menyinari manusia. Oleh karena itu LRST harus dikelola dengan benar agar tidak membahayakan keselamatan masyarakat dan lingkungan.

Mengacu pada Pasal 7 Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2002 tentang Pengelolaan Limbah radioaktif, terdapat 2 (dua) opsi untuk pengelolaan sumber radioaktif terbungkus tidak digunakan yaitu dikembalikan ke negara asal (reeksport), atau dilimahkan ke Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTLR – BATAN) sebagai limbah radioaktif sumber terbungkus<sup>[2]</sup>. Strategi umum pengelolaan sumber radioaktif tidak digunakan dapat dilihat pada diagram alir Gambar 1.<sup>[3]</sup>

Undang-undang Republik Indonesia No. 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun, dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 27 Tahun 2002 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif mengamanatkan Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) – Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) sebagai badan pelaksana pengelolaan limbah radioaktif di wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia. PTLR–BATAN sebagai badan pelaksana pengelolaan limbah radioaktif secara nasional mempunyai tugas untuk melakukan penelitian, pengembangan dan penerapan teknologi pengelolaan limbah radioaktif dan pelayanan pengelolaan limbah radioaktif<sup>[2,4,5]</sup>.

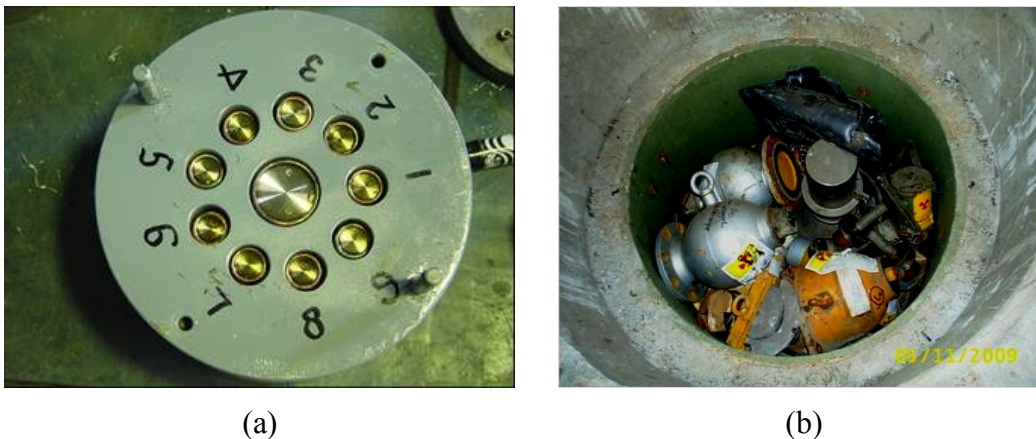




Gambar 1. Diagram alir pengelolaan sumber radiasi terbungkus tidak digunakan<sup>[3]</sup>

Dalam menjalankan salah satu tugasnya yaitu memberikan pelayanan pengelolaan limbah radioaktif, PTLR – BATAN banyak menerima limbah radioaktif yang berasal dari satuan kerja (satker) internal BATAN ataupun dari instansi luar BATAN seperti industri dan rumah sakit. Sebagian besar limbah radioaktif dari industri dan rumah sakit yang diterima dan harus dikelola oleh PTLR – BATAN biasanya berupa limbah radioaktif sumber terbungkus. Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengelola LRST dari rumah sakit dan industri. LRST berisi radionuklida umur panjang dan anak luruhnya ada yang berwujud gas, misalnya <sup>226</sup>Ra, dikelola dengan teknik kondisioning enkapsulasi menggunakan tabung silinder baja tahan karat (*stainless steel / SS*). Batangan atau

jarum-jarum radium yang biasanya berasal dari rumah sakit dimasukkan ke dalam tabung silinder yang terbuat dari bahan SS 316. Selanjutnya ditutup dan dilas menggunakan las argon. Tahap berikutnya tabung silinder berisi jarum radium tersebut dimasukkan ke dalam lubang *long term storage shield (LTSS)* yang terbuat dari bahan timbal (Pb). LTSS tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam shell drum 200 L dan disimpan di gedung penyimpanan sementara limbah radioaktif. Sedangkan LRST yang berisi radionuklida seperti  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  dan lainnya biasanya dikelola dengan teknik kondisioning *retrievable* menggunakan wadah berupa shell drum 200 L, shell beton 350 L atau shell beton 900 L. Gambar 2 berikut ini adalah contoh teknik kondisioning menggunakan LTSS dan kondisioning *retrievable* yang dilakukan di PTLR – BATAN.



Gambar 2. Kondisioning LRST menggunakan LTSS (a), dan kondisioning LRST dengan teknik *retrievable* (b).

Dalam pengelolaan LRST diperlukan data lengkap identitas LRST untuk tujuan dokumentasi. Data identitas tersebut antara lain berupa asal LRST, tanggal penerimaan di PTLR, nomor seri sumber, model pembungkus, kandungan radionuklida, umur paro, aktivitas radionuklida, tanggal referens aktivitas, dan lain sebagainya. Data identitas LRST tersebut biasanya terdapat dalam dokumen sumber dan perijinannya serta tercetak dalam *name plate* dari bahan logam yang melekat pada bungkus LRST. Namun pada beberapa LRST dari rumah sakit dan industri, *name plate* tersebut rusak atau bahkan hilang sehingga catatan penting terkait radionuklida dalam LRST tidak diketahui. "*Unknown DSRS*" seperti itu juga didapati pada LRST yang memang sejak dilimbahkan ke PTLR – BATAN tidak didukung dengan dokumen yang benar.

Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan proses karakterisasi terhadap LRST yang datanya tidak teridentifikasi secara jelas. Proses karakterisasi LRST yang tidak teridentifikasi pada makalah ini berupa penentuan jenis radionuklida, estimasi aktivitas radionuklida, pemberian kode identitas, dan pembungkusan serta penyimpanannya. Proses karakterisasi LRST yang ditulis pada makalah ini merupakan tindak lanjut dari kegiatan IAEA Expert Mission to Indonesia, RAS/9/071, pada bulan Desember tahun 2012.

### Kategorisasi Sumber Radioaktif

Salah satu parameter penting dalam sistem pengelolaan LRST adalah kategorisasi sumber radioaktif. Dengan mengetahui kategori sebuah sumber

radioaktif (termasuk LRST), maka akan segera diketahui tingkat bahaya dari sumber radioaktif tersebut sehingga dapat dirancang sistem pengamanan yang sesuai ketika bekerja menangani sumber tersebut. Kategorisasi sumber radioaktif yang diterapkan secara internasional pada saat ini didasarkan pada jenis pemanfaatan sumber radioaktif tersebut dan rasio  $A/D$ <sup>[6,7]</sup>. A merupakan aktivitas zat radioaktif yang terdapat dalam sumber (LRST), sedangkan D adalah *dangerous sources values* merupakan aktivitas spesifik sumber radioaktif yang dapat menyebabkan efek deterministik yang fatal untuk skenario asumsi konservatif yang meliputi paparan eksternal dari sumber yang terlepas dari wadahnya tetapi masih tetap terbungkus dalam kapsul yang sedang dibawa dengan tangan selama satu jam atau sedang berada dalam ruangan selama beberapa hari hingga beberapa minggu (nilai D1) dan paparan internal akibat penyebaran sumber radioaktif, sebagai contoh akibat kebakaran, ledakan atau kerusakan yang disengaja (nilai D2)<sup>[6,7,8]</sup>. Tabel 1 berikut ini menunjukkan kategorisasi sumber radioaktif yang didasarkan pada jenis pemanfaatan sumber dan rasio  $A/D$ <sup>[8]</sup>.

Tabel 1. Kategorisasi sumber radioaktif berdasarkan jenis pemanfaatan sumber dan rasio  $A/D$ <sup>[8]</sup>

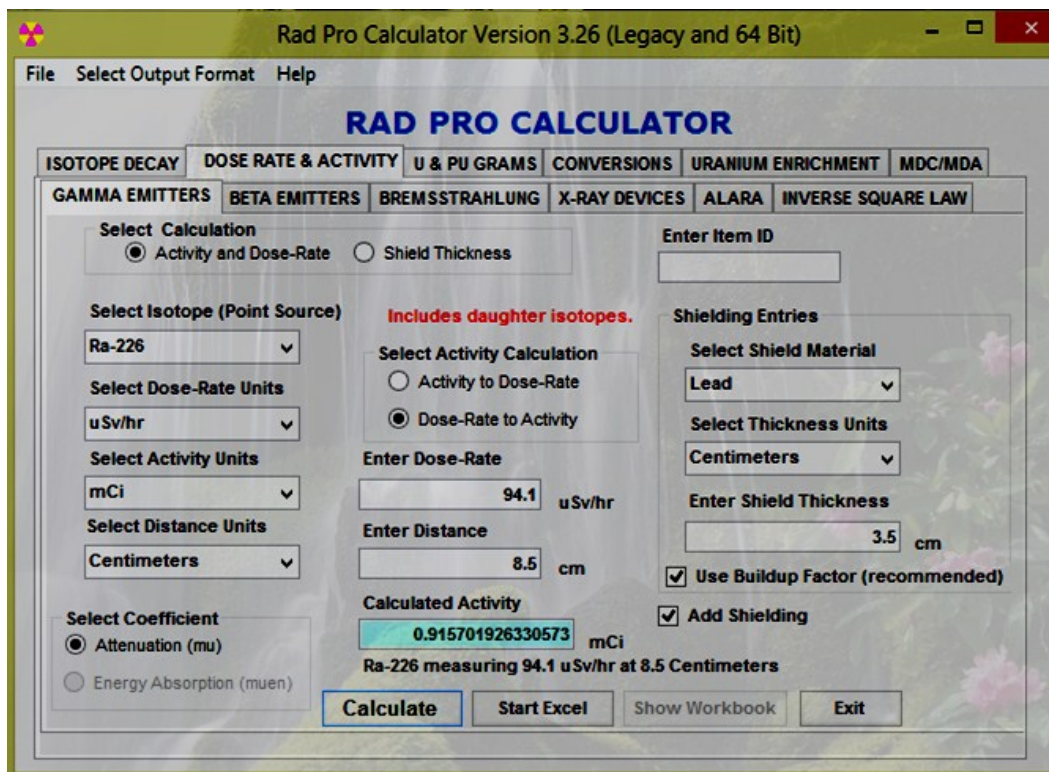
Kategori	Jenis Pemanfaatan	Rasio Aktivitas (A/D)
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generator Termoelektrik Radioisotop</li> <li>• Iradiator</li> <li>• Teleterapi</li> <li>• Teleterapi Multi Berkas yang Terpasang Tetap (Gamma Knife)</li> </ul>	$A/D \geq 1000$
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiografi Gamma Industri</li> <li>• Brakiterapi Laju Dosis Tinggi/Sedang</li> </ul>	$1000 > A/D \geq 10$
3	<p>Gauging Industri yang Terpasang Tetap</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gauging Ketinggian</li> <li>▪ Gauging yang Berisi Sumber Aktivitas Tinggi untuk Konveyor</li> <li>▪ Gauging untuk Pipa</li> <li>▪ Gauging untuk Well Logging</li> </ul>	$10 > A/D \geq 1$
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brakiterapi Laju Dosis Rendah (kecuali sumber untuk terapi mata dan sumber yang diimplantasi secara permanen)</li> <li>• Gauging Ketebalan/Ketinggian Isi</li> <li>• Gauging Portabel (misal Gauging Kerapatan)</li> <li>• Densitometer Tulang</li> <li>• Eliminator Statik</li> </ul>	$1 > A/D \geq 0.01$
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brakiterapi Laju Dosis Rendah untuk terapi mata dan sumber yang diimplantasi secara permanen</li> <li>• Peralatan Fluorescence Sinar-X</li> <li>• Peralatan Penyerap Elektron</li> <li>• Spektrometri Mossbauer</li> <li>• Tomografi Emisi Positron</li> </ul>	$0.01 > A/D \geq \text{Batas Perkecualian/D}$

Ditinjau dari potensi bahaya yang dapat ditimbulkan oleh sebuah sumber radioaktif, sumber radioaktif kategori 1 dikelompokkan sebagai sumber radioaktif yang amat sangat berbahaya (*extremely dangerous to the person*), kategori 2 dikelompokkan sebagai sumber radioaktif yang sangat berbahaya (*very dangerous*

to the person), kategori 3 dikelompokkan sebagai sumber radioaktif yang berbahaya (*dangerous to the person*), kategori 4 dikelompokkan sebagai sumber radioaktif yang kurang berbahaya (*unlikely to be dangerous to the person*), dan kategori 5 dikelompokkan sebagai sumber radioaktif yang tidak berbahaya (*most unlikely to be dangerous to the person*). Karakterisasi LRST yang tidak teridentifikasi yang ditulis dalam makalah ini dilakukan terhadap LRST yang berisi sumber-sumber radioaktif kategori 3 sampai dengan kategori 5.

## METODOLOGI

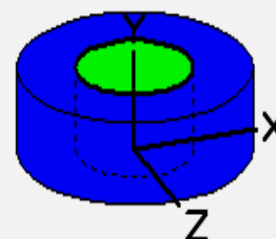
Kegiatan karakterisasi LRST yang tidak teridentifikasi dilakukan di gedung Penyimpanan Sementara Limbah Radioaktif Aktivitas Rendah dan Sedang, *Interim Storage 1 (IS 1)*, PTLR – BATAN pada tanggal 04 Februari sampai dengan 13 Maret 2013. Penentuan jenis radionuklida dilakukan dengan menggunakan alat spektrometer gamma *portable* BNC 940. Estimasi aktivitas radionuklida dilakukan dengan mengukur laju paparan radiasi pada jarak 10 cm, 15 cm, 25 cm, dan selanjutnya dihitung menggunakan *software* Rad Pro Calculator 3.26 atau MicroShield 7.02. Rad Pro Calculator 3.26 merupakan *software* yang dapat digunakan untuk menghitung aktivitas sumber radioaktif jika laju paparan radiasi pada jarak tertentu dari sumber tersebut diketahui. *Software* ini dikembangkan oleh Ray McGinnis pada 24 Mei 2009. Contoh penggunaan *software* Rad Pro Calculator 3.26 untuk menghitung aktivitas sebuah sumber radioaktif dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Contoh perhitungan estimasi aktivitas radionuklida menggunakan *software* Rad Pro Calculator 3.26.

MicroShield 7.02 merupakan *software* keluaran Grove Software, Inc. Lynchburg, Virginia, USA, yang dapat digunakan untuk menghitung aktivitas atau laju paparan radiasi dari sebuah sumber radioaktif dengan bentuk tertentu. Contoh penggunaan *software* MicroShield 7.02 dapat dilihat pada Gambar 4.

<b>MicroShield 7.02</b> <b>PTLR - BATAN (08-MSD-7.02-1527)</b>				
<b>Date</b>		<b>By</b>		<b>Checked</b>
Februari 25, 2013		Suhartono		Suryantoro
Filename	Run Date		Run Time	Duration
UNK 35	Februari 25, 2013		14:25:15 PM	00:01:58
<b>Project Info</b>				
Case Title		Estimasi aktivitas uranium depleted		
Description		Karakterisasi "unknown DSRS"		
Geometry		7 - Cylinder Volume - Side Shields		
<b>Source Dimensions</b>				
Height	26.67 cm (10.5 in)			
Radius	5.0 cm (2.0 in)			
<b>Dose Points</b>				
A	X	Y	Z	
#1	10.0 cm (3.9 in)	0.0 cm (0.0 in)	0.0 cm (0.0 in)	
<b>Shields</b>				
Shield N	Dimension	Material	Density	
Source	2094.657 cm <sup>3</sup>	Uranium	18.7	
Shield 1	5.0 cm	Air	0.00122	
Transition		Air	0.00122	
Air Gap		Air	0.00122	
<b>Source Input: Grouping Method - Standard Indices</b> Number of Groups: 25 Lower Energy Cutoff: 0.015 Photons < 0.015: Included Library: Grove				
Nuclide	Ci	Bq	μCi/cm <sup>3</sup>	Bq/cm <sup>3</sup>
Bi-210	5.9027e-008	2.1840e+003	2.8180e-005	1.0427e+000
Bi-214	6.4711e-008	2.3943e+003	3.0893e-005	1.1430e+000
Pa-234	6.2624e-005	2.3171e+006	2.9897e-002	1.1062e+003
Pa-234m	3.9140e-002	1.4482e+009	1.8686e+001	6.9137e+005



<b>Buildup: The material reference is Shield 1 Integration Parameters</b>					
Radial					10
Circumferential					10
Y Direction (axial)					20
<b>Results</b>					
Energy (MeV)	Activity (Photons/sec)	Fluence Rate MeV/cm <sup>2</sup> /sec No Buildup	Fluence Rate MeV/cm <sup>2</sup> /sec With Buildup	Exposure Rate mR/hr No Buildup	Exposure Rate mR/hr With Buildup
0.015	2.768e+08	1.283e-33	2.562e-23	1.100e-34	2.197e-24
0.04	2.836e+03	5.930e-15	5.358e-13	2.623e-17	2.370e-15
0.05	4.952e+03	5.092e-10	6.408e-08	1.356e-12	1.707e-10
0.06	5.668e+07	1.286e-03	1.405e-01	2.554e-06	2.791e-04
0.08	2.059e+06	7.741e-03	3.938e-01	1.225e-05	6.231e-04
0.1	8.889e+07	3.392e+00	7.321e+01	5.190e-03	1.120e-01
0.15	7.305e+05	1.250e-02	3.868e-01	2.058e-05	6.369e-04
0.2	4.890e+05	8.589e-02	7.938e-01	1.516e-04	1.401e-03
0.3	1.688e+05	1.884e-01	7.612e-01	3.574e-04	1.444e-03
0.4	1.432e+05	4.046e-01	1.366e+00	7.884e-04	2.661e-03
0.5	2.113e+05	1.126e+00	3.418e+00	2.211e-03	6.709e-03
0.6	8.645e+05	7.405e+00	2.073e+01	1.445e-02	4.047e-02
0.8	4.808e+06	8.092e+01	2.015e+02	1.539e-01	3.832e-01
1.0	1.537e+07	4.158e+02	9.555e+02	7.665e-01	1.761e+00
1.5	3.247e+05	1.844e+01	3.721e+01	3.102e-02	6.260e-02
2.0	4.247e+04	3.650e+00	6.833e+00	5.644e-03	1.057e-02
<b>Totals</b>	<b>4.476e+08</b>	<b>5.314e+02</b>	<b>1.302e+03</b>	<b>9.802e-01</b>	<b>2.384e+00</b>

Gambar 4. Contoh perhitungan estimasi aktivitas <sup>238</sup>U dalam unit logam uranium susut kadar menggunakan *software* MicroShield 7.02.

Pemberian kode dan identitas LRST hasil karakterisasi dilakukan dengan penempelan label (sticker identifikasi) dan *name plate* dari pelat aluminium yang dilekatkan pada badan LRST.

**Bahan**

Bahan yang digunakan untuk kegiatan karakterisasi LRST yang tidak teridentifikasi adalah shell beton 350 L, shell drum 200 L, lembaran plastik, WD

40, plat aluminium tebal 2 mm, lem logam, label identifikasi LRST, lembaran timbal, pralon diameter 2", dan lain-lainnya.

Peralatan yang digunakan untuk kegiatan karakterisasi LRST yang tidak teridentifikasi adalah spektrometer gamma *portable* BNC 940, surveiometer FAG, *lead brick*, mistar, *forklift*, kunci pas, kunci ring dan peralatan mekanik lainnya, mal huruf ketok untuk logam, unit komputer / laptop, *software* Rad Pro Calculator 3.26, *software* MicroShield 7.02, timbangan, baju kerja dan alat pelindung diri lainnya.

### Metode

Tata kerja karakterisasi LRST yang tidak teridentifikasi dilakukan sebagai berikut :

- Diambil LRST yang akan dikarakterisasi, tempatkan ke dalam lokasi karakterisasi yang telah disekat menggunakan perisai timbal (*leadbrick*).
- Diukur laju paparan radiasi pada kontak permukaan LRST untuk memperkirakan waktu kerja yang diperbolehkan.
- Dilakukan identifikasi jenis radionuklida yang terdapat dalam LRST menggunakan spektrometer gamma *portable* BNC 940.
- Kolimator LRST dibuka
- Diukur laju paparan radiasi pada jarak yang telah ditentukan, misal : kontak; 50 cm; 100 cm; 150 cm; 200 cm
- Jika kolimator tidak memungkinkan untuk dibuka, dilakukan pengukuran tebal *shielding* timbal penahan radiasi LRST.
- Berdasarkan laju paparan radiasi di atas, dihitung aktivitas radionuklida yang terdapat dalam LRST menggunakan *software* Rad Pro Calculator 3.26 atau *software* MicroShield 7.02
- Jika diperlukan, LRST yang telah diidentifikasi dibuatkan pembungkusnya.
- Dibuat identifikasi permanen LRST dari bahan plat aluminium dan dilekatkan pada bungkusan LRST yang telah dikarakterisasi
- Disimpan / kondisioning LRST yang telah dikarakterisasi ke dalam wadah kondisioning (shell beton 350 L atau shell drum 200 L).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 5 berikut ini adalah gambar kegiatan identifikasi radionuklida dan pengukuran laju paparan radiasi pada LRST



Gambar 5. Identifikasi jenis radionuklida menggunakan spektrometer gamma *portable* BNC 940 (a), dan mengukur laju paparan radiasi menggunakan surveimeter FAG (b).

Tabel 2 berikut ini merupakan data hasil karakterisasi LRST yang tidak teridentifikasi yang estimasi aktivitasnya dihitung dengan *software* Rad Pro Calculator 3.26. Dalam perhitungan ini sumber radioaktif yang berada di dalam LRST dianggap sebagai sumber titik (*point source*).

Tabel 2. Data hasil perhitungan estimasi aktivitas LRST yang tidak teridentifikasi menggunakan *software* Rad Pro Calculator 3.26.

No	Kode LRST	Jenis Radionuklida	Jenis dan tebal shielding	Pengukuran Paparan		Estimasi Aktivitas	
				Jarak (cm)	Laju paparan ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	Rad Pro Calc. 3.26	Rata <sup>2</sup>
1	UNK 01	<sup>60</sup> Co	Pb; 0,3 cm	10	58,9	0,0670 mCi	0,0748 mCi
				15	31,6	0,0794 mCi	
				25	11,3	0,0780 mCi	
2	UNK 02	<sup>60</sup> Co	Pb; 0,3 cm	10	87,8	0,0999 mCi	0,1014 mCi
				15	41,6	0,1045 mCi	
				25	14,4	0,0998 mCi	
3	UNK 03	<sup>137</sup> Cs	Pb; 2 cm	10	245	7,4364 mCi	7,1729 mCi
				15	104	6,9666 mCi	
				25	38,8	7,1157 mCi	
4	UNK 04	<sup>60</sup> Co	-	5	5,5	1,21 $\mu\text{Ci}$	1,55 $\mu\text{Ci}$
				10	1,8	1,58 $\mu\text{Ci}$	
				15	0,94	1,86 $\mu\text{Ci}$	
5	UNK 05	<sup>226</sup> Ra	Pb; 1 cm	10	56,5	0,2148 mCi	0,2580 mCi
				15	32,0	0,2575 mCi	
				25	14,2	0,3018 mCi	
6	UNK 06	<sup>226</sup> Ra	Pb; 1 cm	10	253	0,9620 mCi	1,0718
				15	138	1,1103 mCi	



				25	63,2	1,1432 mCi	mCi
7	UNK 07	<sup>226</sup> Ra	Pb; 3,5 cm	5	94,1	0,9157 mCi	1,1180 mCi
				10	45,1	0,1072 mCi	
				15	25,1	1,1574 mCi	
8	UNK 08	<sup>192</sup> Ir	-	2	4,50	0,43 µCi	0,43 µCi
				5	0,70	0,42 µCi	
				-	-	-	
9	UNK 10	<sup>192</sup> Ir	-	-	-	-	Sudah kliren
				-	-	-	
				-	-	-	
10	UNK 11	<sup>60</sup> Co	-	5	6,00	1,9101 µCi	2,3911 µCi
				10	2,20	2,3388 µCi	
				15	1,30	2,9244 µCi	
11	UNK 12	<sup>137</sup> Cs	-	5	6,05	5,3456 µCi	5,4553 µCi
				10	1,73	6,1155 µCi	
				15	0,61	4,9048 µCi	
12	UNK 13	<sup>226</sup> Ra	-	5	3,35	1,2970 µCi	1,5929 µCi
				10	1,08	1,6729 µCi	
				15	0,52	1,8108 µCi	
13	UNK 14	<sup>137</sup> Cs	-	5	4,03	3,5608 µCi	3,5145 µCi
				10	1,03	3,6410 µCi	
				15	0,42	3,3412 µCi	
14	UNK 15	<sup>137</sup> Cs	-	5	5,08	4,4885 µCi	4,9316 µCi
				10	1,39	4,9136 µCi	
				15	0,68	5,4095 µCi	
15	UNK 16	<sup>137</sup> Cs	-	5	7,34	6,4854 µCi	6,3367 µCi
				10	2,11	7,4588 µCi	
				15	0,63	5,0118 µCi	
16	UNK 17	<sup>137</sup> Cs	-	5	6,50	5,7432 µCi	6,0304 µCi
				10	1,77	6,2568 µCi	
				15	0,76	6,0460 µCi	
17	UNK 18	<sup>137</sup> Cs	-	5	7,60	6,7151 µCi	6,8403 µCi
				10	2,20	7,7769 µCi	
				15	0,78	6,2051 µCi	
18	UNK 19	<sup>137</sup> Cs	-	5	5,30	4,6831 µCi	5,1847 µCi
				10	1,51	5,3024 µCi	
				15	0,71	5,5686 µCi	
19	UNK 20	<sup>226</sup> Ra	-	5	3,10	1,2002 µCi	1,6096
				10	1,06	1,6418 µCi	

				15	0,57	1,9869 $\mu\text{Ci}$	$\mu\text{Ci}$
20	UNK 21	$^{226}\text{Ra}$	-	5	6,00	2,3230 $\mu\text{Ci}$	3,0683 $\mu\text{Ci}$
				10	1,72	2,6642 $\mu\text{Ci}$	
				15	1,21	4,2177 $\mu\text{Ci}$	
21	UNK 23	$^{60}\text{Co}$	Udara; 6 cm	10	6,21	13,970 $\mu\text{Ci}$	15,606 $\mu\text{Ci}$
				15	4,18	16,201 $\mu\text{Ci}$	
				25	3,04	16,701 $\mu\text{Ci}$	
22	UNK 24	$^{109}\text{Cd}$	-	5	280,4	0,4052 mCi	0,3781 mCi
				15	28,60	0,3741 mCi	
				25	9,80	0,3550 mCi	
23	UNK 27	$^{60}\text{Co}$	SS; 0,2 cm	5	1,80	0,4654 $\mu\text{Ci}$	0,4856 $\mu\text{Ci}$
				10	0,43	0,4278 $\mu\text{Ci}$	
				15	0,25	0,5524 $\mu\text{Ci}$	
24	UNK 30	$^{60}\text{Co}$	Udara; 21 cm	5	90,6	0,5384 mCi	0,5121 mCi
				15	48,2	0,5493 mCi	
				25	24,1	0,4486 mCi	
25	UNK 36	$^{137}\text{Cs}$	-	5	4,01	1,9335 $\mu\text{Ci}$	1,8354 $\mu\text{Ci}$
				10	1,10	2,1272 $\mu\text{Ci}$	
				15	0,34	1,4797 $\mu\text{Ci}$	

LRST dengan kode UNK 10 setelah dilakukan karakterisasi tidak dapat diperkirakan aktivitasnya, karena laju paparan radiasi pada kontak sama dengan paparan *background* yang berkisar 0,09  $\mu\text{Sv/jam}$ . Sedangkan informasi jenis radionuklida  $^{192}\text{Ir}$  didapatkan dari label yang melekat pada LRST. Kemungkinan aktivitas  $^{192}\text{Ir}$  sudah sedemikian kecil ( $\leq$  tingkat kliren) mengingat  $^{192}\text{Ir}$  termasuk radionuklida berumur sangat pendek dengan waktu paro 74,2 hari.

Tabel 3 berikut ini adalah data hasil karakterisasi unit logam uranium susut kadar yang estimasi aktivitas radionuklida  $^{238}\text{U}$  dihitung dengan *software* MicroShield 7.02.

Tabel 3. Data hasil karakterisasi unit logam uranium susut kadar dengan aktivitas  $^{238}\text{U}$  dihitung menggunakan *software* MicroShield 7.02.

No	Logam uranium susut kadar			Laju paparan pd 5 cm ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	Jenis radionuklida	Estimasi aktivitas (mCi)
	Kode	Berat (g)	Volume ( $\text{cm}^3$ )			
1	UNK 09	11.000	588,24	19,53	$^{238}\text{U}$	11,50
2	UNK 22	9.000	481,28	18,01	$^{238}\text{U}$	9,45
3	UNK 25	6.240	333,82	12,70	$^{238}\text{U}$	8,45
4	UNK 26	13.000	695,19	8,21	$^{238}\text{U}$	5,72
5	UNK 29	-	50.604,24	125,0	$^{238}\text{U}$	315,60

6	UNK 31	36.000	1.925,13	19,96	<sup>238</sup> U	30,26
7	UNK 32	8.000	427,81	8,25	<sup>238</sup> U	4,17
8	UNK 33	10.700	572,26	8,92	<sup>238</sup> U	6,73
9	UNK 34	46.500	2.486,88	19,20	<sup>238</sup> U	38,73
10	UNK 35	39.000	2.085,56	23,82	<sup>238</sup> U	39,14

Kendala utama untuk estimasi aktivitas <sup>238</sup>U dalam unit logam uranium susut kadar yang ada di PTLR adalah bentuk logam uranium susut kadar yang tidak beraturan dan relatif besar ukurannya, sehingga tidak dapat dianggap sebagai sumber titik. Sedangkan di sisi lain bentuk geometri yang tersedia di *software* MicroShield 7.02 berupa bentuk-bentuk beraturan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka unit logam uranium *depleted* tersebut ditimbang sehingga didapatkan beratnya. Dengan asumsi kerapatan uranium sebesar 18,7 g/cm<sup>3</sup> maka dapat dihitung volume unit logam uranium susut kadar. Selanjutnya dicari bentuk geometri yang hampir sama dengan unit logam tersebut dan tersedia geometri-nya di *software* MicroShield 7.02. Selanjutnya dihitung dimensi (misalnya jari-jari dan tinggi silinder) yang memiliki volume sama dengan volume unit logam uranium susut kadar. Tahap berikutnya adalah memasukkan dimensi hasil perhitungan dan besaran lain hasil pengukuran ke dalam *software* Microshield 7.02.

Sebagai contoh perhitungan diambil unit logam uranium susut kadar dengan kode UNK 35 :

Laju paparan pada jarak 5 cm dari unit logam = 23,82 μSv/jam

Berat unit logam = 39 kg = 39.000 g

Volume unit logam = 39.000 / 18,7 = 2.085,56 cm<sup>3</sup>

Bentuk unit logam uranium susut kadar menyerupai silinder berlobang-lobang

Bentuk geometri silinder yang memiliki volume 2.085,56 cm<sup>3</sup> adalah :

Jari-jari (r) : 5 cm dan tinggi (t) : 26,67 cm

Input data ke *software* MicroShield 7.02 :

Geometri : *Cylinder Volume – Side Shields* : r = 5 cm, t = 26,67 cm

Radionuklida : <sup>238</sup>U, aktivitas : 39,14 mCi (*trial and error*),

Didapatkan laju paparan radiasi : 2,384 mR/jam (≅ 23,84 μSv/jam),

Dengan demikian estimasi aktivitas <sup>238</sup>U dalam unit logam uranium susut kadar dengan kode UNK 35 adalah sebesar 39,14 mCi.

(*Printout* hasil perhitungan seperti pada Gambar 4 di atas).

Unit logam uranium susut kadar dengan kode UNK 29 tidak dilakukan penimbangan karena beratnya mencapai hampir sekitar 1000 kg. Perhitungan volume dilakukan dengan mengukur diameter dan tinggi benda yang berbentuk silinder.

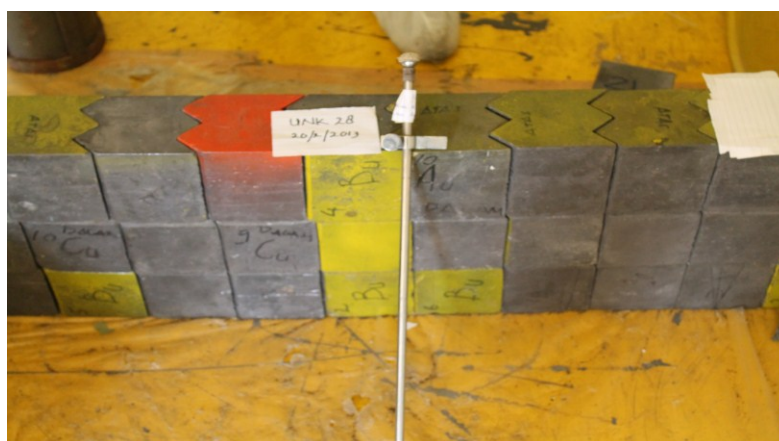
Tabel 4 berikut ini menunjukkan data lengkap hasil karakterisasi LRST yang tidak teridentifikasi dan penyimpanannya :

Tabel 4. Data lengkap hasil karakterisasi limbah radioaktif sumber terbungkus yang tidak teridentifikasi.

NO	HASIL KARAKTERISASI			WADAH KONDISIONING
	KODE IDENTIFIKASI	RADIONUKLIDA	AKTIVITAS / TANGGAL	
1	UNK 01	Co-60	0,0748 mCi (14-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>15</b>
2	UNK 02	Co-60	0,1014 mCi (14-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>15</b>
3	UNK 03	Cs-137	7,1729 mCi (14-02-2013)	Shell Drum 200 L <b>WORKSHOP</b>
4	UNK 04	Co-60	1,55 $\mu$ Ci (14-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>15</b>
5	UNK 05	Ra-226	0,2580 mCi (18-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>14</b>
6	UNK 06	Ra-226	1,0718 mCi (18-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>14</b>
7	UNK 07	Ra-226	1,1180 mCi (18-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>14</b>
8	UNK 08	Ir-192	0,43 $\mu$ Ci (18-02-2013)	Shell Drum 200 L <b>WORKSHOP</b>
9	UNK 09	U-238 (Uranium Depleted)	11,50 mCi (19-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>03</b>
10	UNK 10	Ir-192	TTD (19-02-2013)	Shell Drum 200 L <b>WORKSHOP</b>
11	UNK 11	Co-60	2,3911 $\mu$ Ci (19-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>15</b>
12	UNK 12	Cs-137	5,4553 $\mu$ Ci (19-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>15</b>
13	UNK 13	Ra-226	1,5929 $\mu$ Ci (19-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>14</b>
14	UNK 14	Cs-137	3,5145 $\mu$ Ci (19-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>15</b>
15	UNK 15	Cs-137	4,9316 $\mu$ Ci (19-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>15</b>
16	UNK 16	Cs-137	6,3367 $\mu$ Ci (19-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>15</b>
17	UNK 17	Cs-137	6,0304 $\mu$ Ci (19-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>15</b>
18	UNK 18	Cs-137	6,8403 $\mu$ Ci (19-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>15</b>
19	UNK 19	Cs-137	5,1847 $\mu$ Ci (19-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>15</b>
20	UNK 20	Ra-226	1,6096 $\mu$ Ci (20-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>14</b>
21	UNK 21	Ra-226	3,0683 $\mu$ Ci (20-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>14</b>
22	UNK 22	U-238 (Uranium Depleted)	9,45 mCi (20-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>03</b>
23	UNK 23	Co-60	15,6063 $\mu$ Ci (20-02-2013)	Shell Beton 350 L SB <b>15</b>

24	<b>UNK 24</b>	Cd-109	0,3781 mCi (20-02-2013)	Shell Drum 200 L <b>WORKSHOP</b>
25	<b>UNK 25</b>	U-238 (Uranium Depleted)	8,45 mCi (20-02-2013)	Shell Beton 350 L <b>SB 03</b>
26	<b>UNK 26</b>	U-238 (Uranium Depleted)	5,72 mCi (20-02-2013)	Shell Beton 350 L <b>SB 03</b>
27	<b>UNK 27</b>	Co-60	0,4856 $\mu$ Ci (20-02-2013)	Shell Beton 350 L <b>SB 15</b>
28	<b>UNK 28</b>	TTD	TTD (20-02-2013)	Shell Beton 350 L <b>SB 15</b>
29	<b>UNK 29</b>	U-238 (Uranium Depleted)	315,60 mCi (21-02-2013)	Shell Beton 350 L <b>SB 03</b>
30	<b>UNK 30</b>	Co-60	0,5121 mCi (21-02-2013)	Dimensi Besar <b>IS 2</b>
31	<b>UNK 31</b>	U-238 (Uranium Depleted)	30,26 mCi (25-02-2013)	Shell Beton 350 L <b>SB 03</b>
32	<b>UNK 32</b>	U-238 (Uranium Depleted)	4,17 mCi (25-02-2013)	Shell Beton 350 L <b>SB 03</b>
33	<b>UNK 33</b>	U-238 (Uranium Depleted)	6,73 mCi (25-02-2013)	Shell Beton 350 L <b>SB 03</b>
34	<b>UNK 34</b>	U-238 (Uranium Depleted)	38,73 mCi (25-02-2013)	Shell Beton 350 L <b>SB 03</b>
35	<b>UNK 35</b>	U-238 (Uranium Depleted)	39,14 mCi (25-02-2013)	Shell Beton 350 L <b>SB 03</b>
36	<b>UNK 36</b>	Cs-137	1,8354 $\mu$ Ci (27-02-2013)	Shell Beton 350 L <b>SB 15</b>

LRST dengan kode UNK 28 sebenarnya tidak termasuk limbah / sumber radioaktif karena tidak terdeteksi adanya paparan dan aktivitas radionuklida. Label / name plate sumber radioaktif juga tidak ada.



Gambar 6. LRST dengan kode UNK 28 yang sebenarnya bukan limbah / sumber radioaktif.

## KESIMPULAN

Limbah radioaktif sumber terbungkus (LRST) yang tidak teridentifikasi perlu dilakukan karakterisasi untuk menentukan jenis radionuklida dan aktivitas

radionuklida di dalamnya. Data-data tentang kode identifikasi, jenis radionuklida, aktivitas, dan lainnya diperlukan untuk dokumentasi pengelolaan dan inventori LRST.

Telah dilakukan karakterisasi sebanyak 36 unit LRST yang tidak teridentifikasi. Dari proses karakterisasi tersebut diketahui bahwa :

- a. Sebanyak 10 unit logam uranium susut kadar berisi radionuklida  $^{238}\text{U}$  dengan aktivitas antara 4,17 mCi – 315,60 mCi.
- b. Sebanyak 9 unit LRST berisi radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  dengan aktivitas antara 1,8354  $\mu\text{Ci}$  – 7,1729 mCi.
- c. Tujuh (7) unit LRST berisi radionuklida  $^{60}\text{Co}$  dengan aktivitas 0,4856  $\mu\text{Ci}$  - 0,5121 mCi.
- d. Enam (6) unit LRST berisi radionuklida  $^{226}\text{Ra}$  dengan aktivitas 1,5929  $\mu\text{Ci}$  – 1,1180 mCi.
- e. Dua (2) unit LRST berisi radionuklida  $^{192}\text{Ir}$  dengan aktivitas tak terdeteksi (klirens) dan 0,43  $\mu\text{Ci}$ .
- f. Satu (1) unit LRST berisi radionuklida  $^{109}\text{Cd}$  dengan aktivitas 0,3781 mCi, dan
- g. Satu (1) unit bukan limbah / sumber radioaktif.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1].AISYAH, “Pengelolaan Sumber Radiasi Bekas Radioterapi”, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengolahan Limbah VI, PTLR-BATAN, Halaman , 2008.
- [2].Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 27 Tahun 2002 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, 2002
- [3].IAEA, *Management of Waste from the Use of Radioactive Material in Medicine, Industry, Agriculture, Research and Education, IAEA Safety Guide No. WS-G-2.7*, 2005.
- [4].Undang-undang Negara Republik Indonesia No. 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran, 1997
- [5].Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun, 1999
- [6].IAEA, *Categorization of Radioactive Sources, IAEA Safety Guide No. RS-G-1.9*, 2005
- [7].IAEA, *Categorization of Radioactive Sources, IAEA-TECDOC-1344*, 2003
- [8].Anonim, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 7 Tahun 2007 Tentang Keamanan Sumber Radioaktif, BAPETEN, 2007.
- [9].Anonim, *Software MicroShield 7.02*, Grove Software Inc

## PERAWATAN PERALATAN MEKANIK UNIT SEMENTASI

**Suparno, Budiyo, Sarjono**  
Pusat Teknologi Limbah Radoaktif-BATAN

### ABSTRAK

**PERAWATAN PERALATAN MEKANIK UNIT SEMENTASI.** Pada Tahun Anggaran 2013 telah dilakukan perawatan peralatan mekanik Unit Sementasi yang meliputi perawatan fisik, perbaikan dan penggantian suku cadang mekanik serta penyusunan program perawatan peralatan mekanik Unit Sementasi. Perawatan peralatan ini bertujuan untuk memaksimalkan kemampuan peralatan mekanik Unit Sementasi yang telah beroperasi cukup lama sehingga proses imobilisasi limbah cair dan semi cair dapat berjalan lancar. Perawatan dilakukan dengan cara preventif dan korektif yaitu pemeriksaan fisik secara langsung (visual dan menggunakan alat ukur bantu), pemanasan berkala, penggantian *spare part* dan perbaikan. Hasil yang diperoleh berupa program perawatan berkala terhadap kelompok peralatan mekanik, pembersihan fisik alat, penggantian dan penambahan pelumas, perbaikan, penggantian *spare part* dan pemanasan peralatan berkala. Dari hasil perawatan peralatan mekanik unit sementasi tersebut telah berhasil melakukan proses imobilisasi limbah semi cair (*resin bekas*) sebanyak 6 shell beton 950 liter dengan lancar.

**Kata kunci :** perawatan, peralatan mekanik, sementasi

### ABSTRACT

**THE MAINTENANCE OF MECHANICAL EQUIPMENT FOR CEMENTATION UNIT.** In Fiscal Year 2013 has been carried out maintenance of mechanical equipment for Cementation Unit, which includes physical maintenances , repairs and replacement of mechanical parts and mechanical equipment maintenance programming for Cementation Unit. The Maintenance of equipment is intended to maximize the ability of the mechanical equipment Cementation Unit which has been operating long enough so that the immobilization of liquid and semi-liquid waste can operate smoothly . The maintenance is done by means of preventive and corrective namely the direct physical examination (visual aids and using measuring devices), periodic operation, replacement parts and repairs. Results obtained in the form of a regular maintenance program to the 28 groups of mechanical equipment, physical cleaning tools, replacement and addition of lubricants, repairs, replacement of spare parts and periodic equipment operation. The results of mechanical equipment maintenance cementation unit has affected in successfully performing of semi-liquid waste immobilization process (spent resin) of 6 unit of 950 liters concrete shell smoothly .

*Keywords :* maintenance, mechanical equipment, cementation

### PENDAHULUAN

Unit Sementasi sebagai bagian dari Sub Bidang Pengolahan Limbah Cair (PLC) Bidang Pengolahan Limbah (BPL) Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) merupakan salah satu unit penting dalam rangkaian pengelolaan limbah radioaktif khususnya pada pengolahan limbah radioaktif cair dan semi cair serta penyediaan material semen pasir kering untuk kegiatan imobilisasi pada unit lain. Hal ini karena Unit Sementasi merupakan proses terakhir dari rangkaian pengolahan limbah radioaktif cair dan semi cair.

Proses pengolahan limbah cair dan semi cair yang lebih dikenal dengan istilah proses imobilisasi merupakan proses pengungkungan limbah radioaktif cair atau semi cair dengan cara mencampurkan material kering berupa pasir dan semen serta aditif kedalam shell 950 liter yang telah diisi oleh limbah radioaktif cair atau semi cair dengan volume tertentu ( limbah resin = 266 liter, limbah konsentrat 235 liter).<sup>[1,2,3]</sup> Untuk memperoleh tingkat homogen yang diinginkan, dilakukan pengadukan menggunakan pengaduk statis yang terdapat di ruang proses (*hot cell*) R 4.0.01.

Seluruh kegiatan proses pengolahan limbah dapat dikendalikan melalui panel pengendali proses sementara yang terdapat di ruang R 2.0.06. Pengendalian proses secara garis besar dibagi menjadi 3 (tiga) kelompok panel pengendali yaitu Panel I 33008, I 33009 dan I 33010. Panel I 33008 berfungsi sebagai panel pengendali untuk kegiatan penerimaan, pengiriman dan penakaran limbah cair atau semi cair. Panel I 33009 berfungsi sebagai pengendali proses homogenisasi. Panel I 33010 berfungsi sebagai pengendali pengiriman material kering yang terdiri dari pasir, semen dan aditif.<sup>[4]</sup>

Panel pengendali ini berfungsi untuk mengendalikan motor, sistem pneumatic dan hidrolis sebagai penggerak peralatan mekanik yang berada di Unit Sementara. Motor digunakan untuk menggerakkan peralatan mekanik seperti *screw conveyor, mixer, tool holder, trolley, exhaust fan, pompa dan stirrer*. Pneumatik digunakan untuk menggerakkan *valve* dan *piston* pendorong *diptray*, sedangkan hidrolis digunakan untuk menggerakkan *valve* pada *mixer*.

Dalam pelaksanaannya peralatan mekanik secara tidak langsung saling berhubungan satu sama lainnya. Apabila terjadi kegagalan pada salah satu peralatan mekanik tersebut maka proses pengolahan limbah konsentrat dan semi cair akan terganggu. Untuk itu perlu kegiatan yang mampu menjaga kondisi peralatan mekanik tersebut dalam keadaan prima. Program perawatan berkala menjadi satu pilihan yang tepat mengingat kondisi peralatan proses sementara yang relatif telah memiliki masa operasi yang lama.

Tujuan dari kegiatan perawatan peralatan mekanik Unit Sementara adalah memperoleh kondisi peralatan mekanik yang maksimal dengan pertimbangan masa operasi peralatan yang sudah lama sehingga proses imobilisasi limbah radioaktif cair dan semi cair pada Unit Sementara dapat dilaksanakan dengan lancar.

## DASAR TEORI

Kegiatan perawatan mempunyai peranan yang sangat penting yaitu sebagai pendukung beroperasinya sistem sesuai yang dikehendaki serta dapat meminimalkan biaya atau kerugian – kerugian yang ditimbulkan karena adanya kerusakan peralatan. Perawatan dapat dibagi menjadi beberapa macam, tergantung dari dasar yang dipakai untuk menggolongkannya, tetapi pada dasarnya terdapat dua kegiatan pokok dalam perawatan yaitu perawatan preventif yang dimaksud untuk menjaga keadaan peralatan sebelum peralatan itu rusak dan perawatan korektif yang dimaksud untuk memperbaiki peralatan yang rusak.<sup>[5]</sup>

### 1. Perawatan preventif

Perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) merupakan pencegahan sistematis, penjadwalan berkala dengan interval tetap, dan melaksanakan



pembersihan, pelumasan, serta perbaikan mesin atau system dengan baik dan tepat waktu. Kegiatan ini dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan dan menemukan kondisi yang dapat menyebabkan sistem mengalami kerusakan pada saat dipergunakan dalam proses produksi. Dalam pelaksanaannya, kegiatan perawatan pencegahan dapat dibedakan atas dua macam, yaitu:

- Perawatan rutin (*Routine Maintenance*), kegiatan perawatan yang dilakukan secara rutin, misalnya setiap hari.
- Perawatan berkala (*Periodic Maintenance*), kegiatan perawatan yang dilakukan secara berkala dan dalam jangka waktu tertentu, misalnya setiap satu minggu sekali, hingga satu tahun sekali. Perawatan ini dapat dilakukan berdasarkan lamanya jam kerja mesin.

## 2. Perawatan korektif

Perawatan perbaikan (*corrective maintenance*) merupakan kegiatan yang dilakukan setelah komponen benar-benar telah mengalami kerusakan sehingga tidak dapat beroperasi. Kerusakan komponen ini biasanya akan ditandai dengan ditemukannya produk yang dihasilkan tidak sedikit mengalami kecacatan.

Tujuan dari perawatan adalah untuk menjaga serta mempertahankan kelangsungan operasional dan kinerja system agar produksi dapat berjalan tanpa hambatan. Jika suatu sistem mengalami kerusakan maka akan memerlukan perawatan perbaikan.

## TATA KERJA

### Bahan, peralatan dan waktu pelaksanaan

Bahan yang digunakan terdiri cairan pembersih karat, pelumas, oli, *grease*, *seal tape*, selang hidrolis, selang pneumatik, majun dan lain-lain. Alat yang digunakan berupa *toolkit* mekanik, pompa oli atau *grease*, Tacometer, Alat ukur kebisingan, Alat ukur getaran, tang ampere, multi tester dan lain-lain. Kegiatan dilakukan pada Unit Sementasi Bidang Pengolahan Limbah Pusat Teknologi Limbah Radioaktif BATAN tahun anggaran 2013.

### Metode

Perawatan peralatan mekanik menggunakan metode perawatan preventif dan korektif. Perawatan preventif dilakukan dengan cara pembersihan, pemeriksaan fisik secara langsung (visual dan menggunakan alat ukur), pemanasan berkala serta penggantian dan penambahan pelumas. Sedangkan untuk perawatan korektif dilakukan dengan cara penggantian *spare part* dan perbaikan. Apabila diperlukan maka dapat juga dilakukan modifikasi peralatan proses agar lebih menunjang kelancaran proses imobilisasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahun anggaran 2013 telah dilakukan perawatan peralatan mekanik Unit Sementasi terhadap 42 (empat puluh dua) unit peralatan mekanik yang terdiri dari perawatan preventif sebanyak 33 (tiga puluh tiga) unit dan perawatan korektif sebanyak 9 (sembilan) unit peralatan mekanik. Perawatan dilakukan oleh Tim Pemeliharaan yang beranggotakan petugas perawatan dari Sub Bidang

Pengolahan Limbah Cair Bidang Pengolahan Limbah (BPL) dan petugas perawatan dari Bidang Operasi Sarana Penunjang (BOSP).

Hasil yang diperoleh dari kegiatan perawatan tersebut adalah sebagai berikut:

#### **Hasil Perawatan Preventif**

Pelaksanaan perawatan preventif dilakukan terhadap 33 (tiga puluh tiga) peralatan proses Unit Sementasi. Kegiatan perawatan ini meliputi pembersihan peralatan dari debu dan kotoran menggunakan majun dan cairan pembersih. Selain itu juga dilakukan pemeriksaan fisik peralatan, pemberian pelumas berupa oli atau *grease* serta dilakukan pengoperasian pemanasan secara individual dan berkala.

Pemeriksaan fisik dilakukan dengan cara visual langsung maupun dengan bantuan instrumen seperti terlihat pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Pengukuran putaran dan kebisingan Motor *Screw*

Pengukuran ini dilakukan untuk memperoleh data motor penggerak berupa tegangan antar fasa (volt), arus (ampere), putaran (rpm), suhu ( °C) dan kebisingan (dB). Dari data tersebut dilakukan perbandingan dengan data pada saat motor penggerak tersebut masih dalam kondisi baru. Dari hasil perbandingan tersebut akan diketahui bahwa apakah data yang diperoleh mengalami penyimpangan atau perbedaan yang signifikan sehingga perlu dilakukan langkah preventif.



Gambar 2. Pengukuran Ampere motor screw dalam perawatan preventif

Hasil pelaksanaan perawatan preventif ditunjukkan dalam Tabel 1 sebagai berikut :

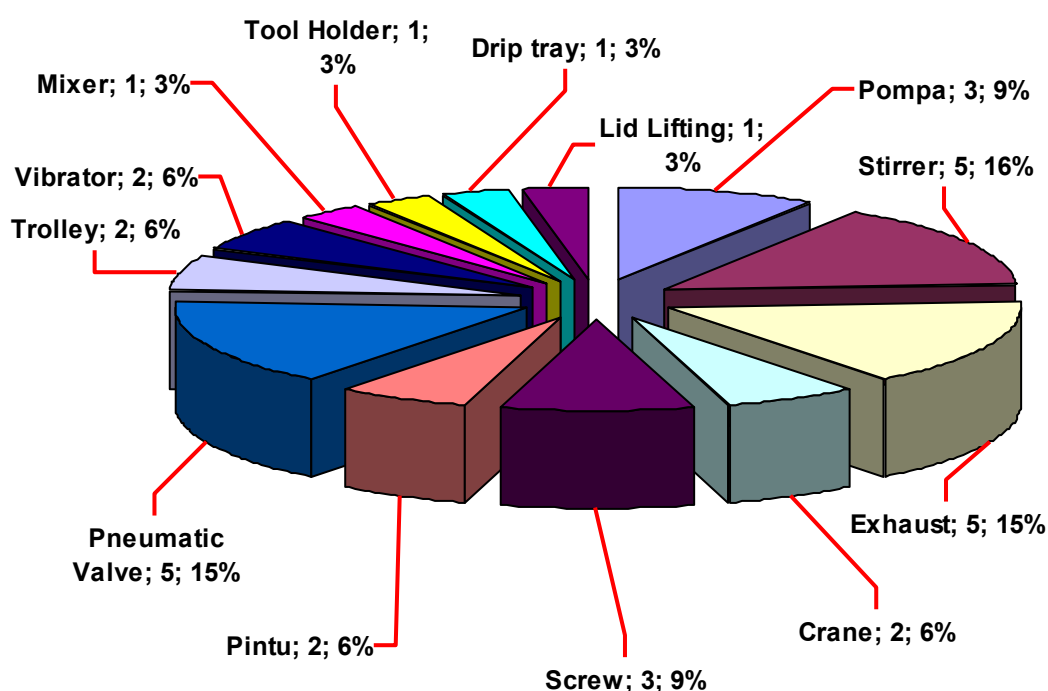
Tabel 1. Hasil Perawatan Preventif

NO	PEMERIKSAAN	KONDISI AKHIR	KETERANGAN
1	Pompa Soda P.33024	Baik	Perawatan dilakukan dengan cara pembersihan, pemeriksaan fisik, pelumasan dan pengoperasian individual (pemanasan)
2	Pompa Asam P.33025	Baik	
3	Pompa Reagent P.33026	Baik	
4	<i>Stirrer A.33003</i>	Baik	
5	<i>Stirrer A.33004</i>	Baik	
6	<i>Stirrer A.33005</i>	Baik	
7	<i>Exhaust Fan R 1.3.01</i>	Baik	
8	<i>Exhaust Fan R 1.2.01</i>	Baik	
9	<i>Dust Colector Silo Semen</i>	Baik	
10	<i>Exhaust C. 33109</i>	Baik	
11	<i>Exhaust C. 33110</i>	Baik	
12	<i>Crane T.33105 R 1.3.01</i>	Baik	
13	<i>Crane T.33203 R 3.0.03</i>	Baik	
14	<i>Screw T.33101 Silo Semen</i>	Baik	
15	<i>Screw T.33102 Silo Aditif</i>	Baik	
16	<i>Screw T.33103 Silo Pasir</i>	Baik	
17	<i>Lid lifting T.33205</i>	Baik	
18	<i>Tool Holder M.33304</i>	Baik	
19	<i>Mixer M.33106</i>	Baik	
20	<i>Diptray 2</i>	Baik	
21	Pintu <i>Hot Cell</i> Ruang 4.0.01	Baik	
22	Pintu Ruang 3.0.03	Baik	
23	<i>Pneumatic Valve V33101 Silo Semen</i>	Baik	
24	<i>Pneumatic Valve V33102 Silo Aditif</i>	Baik	
25	<i>Pneumatic Valve V33103 Silo Pasir</i>	Baik	
26	<i>Pneumatic Valve V33104 Silo Penimbangan Semen/Aditif</i>	Baik	
27	<i>Pneumatic Valve V33105 Silo Penimbangan Pasir</i>	Baik	
28	Penggetar/ <i>Pneumatic Vibrator</i> Silo Penimbangan Semen/Aditif	Baik	
29	Penggetar/ <i>Pneumatic Vibrator</i> Silo Penimbangan Pasir	Baik	
30	<i>Stirrer A.33001</i>	Baik	
31	<i>Stirrer A.33002</i>	Baik	
32	<i>Rotation Shell</i>	Baik	
33	<i>Translation Trolley</i>	Baik	

Dari tabel 1 diketahui bahwa peralatan Unit Sementasi yang telah dilakukan perawatan secara preventif berjumlah 33 unit dengan rincian kegiatan yaitu pembersihan dan pengoperasian terhadap seluruh peralatan, pemberian pelumas (oli/grease) terhadap 17 unit (*Lid lifting, Tool Holder, Mixer, Diptray, pompa, trolley, screw, crane dan stirrer*) serta penggantian pelumas pada sistem pneumatik.

Hasil perawatan preventif terhadap peralatan mekanik Unit Sementasi yang dikelompokkan berdasarkan jenisnya.

**Gambar 1 : Grafik Hasil Perawatan Preventif**



**Perawatan Korektif**

Pelaksanaan perawatan korektif dilakukan terhadap 9 (sembilan) peralatan proses Unit Sementasi. Kegiatan perawatan ini meliputi kegiatan perbaikan dan penggantian spare part serta dilakukan pengoperasian uji fungsi secara individual dan berkala.

Perawatan dilakukan oleh Tim Pemeliharaan yang beranggotakan petugas perawatan dari Sub Bidang Pengolahan Limbah Cair Bidang Pengolahan Limbah (BPL), petugas perawatan dari Bidang Operasi Sarana Penunjang (BOSP).

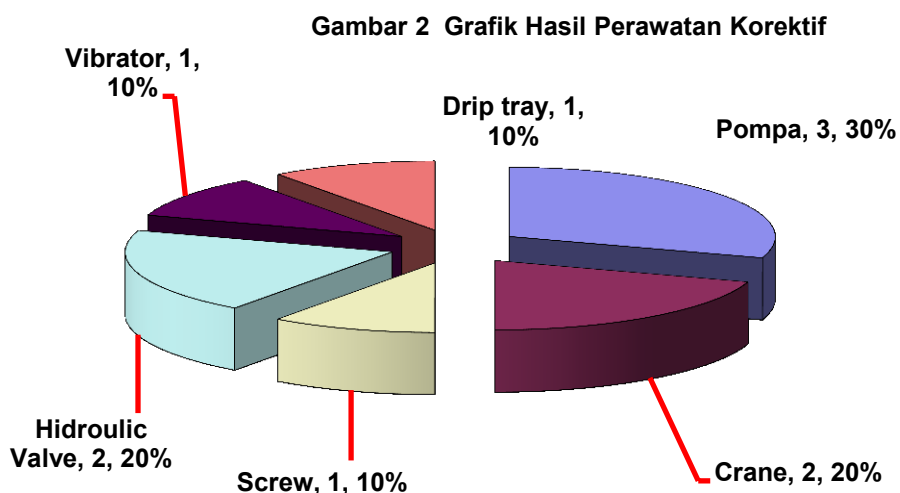
Hasil pelaksanaan perawatan korektif ditunjukkan dalam Tabel 2 sebagai berikut :

**Tabel 2. Hasil Perawatan Korektif**

NO	PEMERIKSAAN	KONDISI AKHIR	KETERANGAN
1	<i>Diptray 1</i>	Belum berfungsi dengan baik	Perbaikan tahun 2014
2	<i>Vibrator Tool Holder M.33302</i>	<i>Failure</i>	Perbaikan tahun 2014
3	<i>Screw Intermediet Hopper T.33104</i>	<i>Kebocoran seal</i>	Perbaikan tahun 2014
4	<i>Pompa P.33021</i>	Sistem kontrol tidak berfungsi	Perbaikan tahun 2014
5	<i>Pompa P.33022</i>	Sistem kontrol tidak berfungsi	Perbaikan tahun 2014
6	Valve Damper V.33107 dan V.33108	berfungsi	Perlu penggantian seal hidrolik
7	Pompa Glove Box B.33001	Pompa tidak berfungsi	Perlu penggantian selang pristaltik dan perbaikan motor
8	Crane Ruang 3.2.01	Motor Rusak	Perbaikan tahun 2014
9	Crane Ruang 2.1.09	Tidak berfungsi	Perbaikan tahun 2014

Dari Tabel 2 diatas diketahui bahwa peralatan Unit Sementasi yang telah dilakukan perawatan korektif belum dapat berfungsi dengan baik secara keseluruhan. Hal ini terkendala oleh keterbatasan *spare part*, sumber daya manusia yang ada dan keterbatasan anggaran. Perawatan korektif akan dilanjutkan pada tahun anggaran selanjutnya.

Hasil perawatan korektif terhadap peralatan mekanik Unit Sementasi yang dikelompokan berdasarkan jenisnya terlihat dalam grafik berikut :

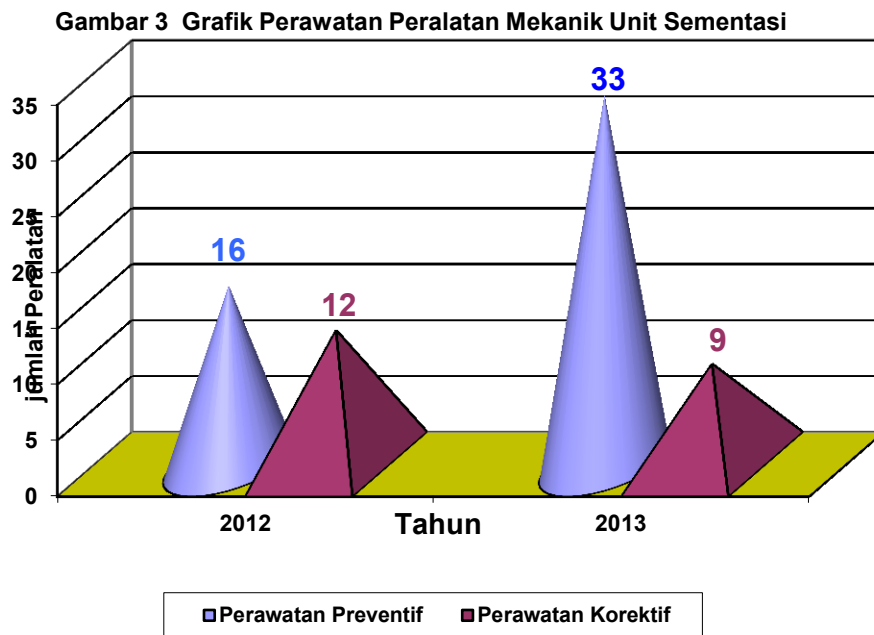


Hasil lain yang diperoleh dari perawatan korektif adalah perbaikan timbangan material semen pasir namun karena keterkendala pada anggaran maka

belum dilakukan tindakan lanjutan berupa kalibrasi penunjukan timbangan analog dan digital.

**Perawatan Peralatan mekanik Unit Sementasi**

Jika data hasil perawatan preventif dan korektif pada tabel.1 dan tabel.2 diatas dibandingkan dengan data kegiatan yang sama pada tahun 2012, diperoleh perbandingan seperti grafik berikut :



Berdasarkan gambar.3 grafik hasil perawatan peralatan Unit Sementasi.pada tahun 2013 dan 2012 menunjukan adanya kenaikan jumlah perawatan secara preventif (16 menjadi 33 peralatan) dan penurunan jumlah perawatan secara korektif (12 menjadi 9 peralatan).

Hal ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya pelaksanaan perawatan preventif dapat menekan jumlah peralatan yang harus dirawat secara korektif (perbaikan).

**KESIMPULAN**

Pembuatan rencana kegiatan perawatan peralatan mekanik Unit Sementasi sangat membantu dalam mendeteksi awal kondisi peralatan mekanik unit sehingga dapat mengambil langkah langkah pencegahan mengingat usia peralatan yang sudah cukup lama sehingga kondisi peralatan dapat tetap terjaga.

Perawatan terhadap 40 unit peralatan mekanik Unit Sementasi yang terdiri dari 33 perawatan preventif dan 7 perawatan korektif berhasil memaksimalkan peralatan yang ada sehingga dapat melakukan proses imobilisasi limbah radioaktif semi cair (resin bekas) sebanyak 6 shell 950 liter dengan kondisi lancar.

## **SARAN**

Ketersediaan anggaran perawatan yang memadai akan sangat menunjang tercapainya hasil yang maksimal dari perawatan peralatan proses Unit Sementasi.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1].BATAN-TECHNICATOME , System Note, “Solid, Semi Liquid , Liquid Waste Treatment”, WSPG 330 NSN 9001, 1986
- [2].BATAN-TECHNICATOME , “Solid and Semi Liquid Waste Cementation Operating Manual”, WSPG 330 USN 0401, 1985
- [3].P2PLR-BATAN, “ Prosedur Tetap Unit Sementasi ”, revisi I 2003
- [4].P2PLR-BATAN, “ Petunjuk Pelaksanaan Unit Sementasi ”, revisi I 2003
- [5].P2PLR-BATAN, “ Laporan Analisa Kecelakaan ”, revisi IV 2000
- [6].ANONIM, ” Prosedur Pemeliharaan dan Perawatan Sarana/ Prasarana IPLR”, PTLR- Batan, 2009





## PERAWATAN PERALATAN ELEKTRIK PADA PANEL PEMBUATAN CAMPURAN BETRON KERING I 33002 UNIT SEMENTASI

Tri Salyo

Pusat Teknologi Limbah Radoaktif-BATAN

### ABSTRAK

**PERAWATAN PERALATAN ELEKTRIK PANEL PEMBUATAN CAMPURAN BETON KERING UNIT SEMENTASI.** Pada Tahun Anggaran 2013 telah dilakukan perawatan peralatan elektrik pada Panel I 33002 Unit Sementasi yang meliputi perawatan fisik, perbaikan peralatan elektrik pada panel I 33002 serta penyusunan program perawatan peralatan elektrik Unit Sementasi. Perawatan peralatan ini bertujuan untuk memaksimalkan kemampuan peralatan elektrik pada Panel I 33002 Unit Sementasi yang telah beroperasi cukup lama sehingga proses imobilisasi limbah cair dan semi cair dapat berjalan lancar. Perawatan dilakukan dengan cara preventif dan korektif yaitu pemeriksaan fisik secara langsung (visual dan menggunakan alat ukur bantu), pemanasan berkala, penggantian spare part dan perbaikan. Hasil yang diperoleh berupa program perawatan berkala terhadap 4 kelompok peralatan elektrik, pembersihan fisik alat, penggantian ,perbaikan, penggantian spare part berkala. Dari hasil perawatan peralatan elektrik unit sementasi tersebut telah berhasil melakukan proses imobilisasi limbah semi cair (sludge) sebanyak 6 shell beton 950 liter dengan lancar.

**Kata kunci :** perawatan, peralatan elektrik,

### ABSTRACT

**ELECTRICAL EQUIPMENT ON DRYMIXTURE PREPARATION PANEL I 33002 MAINTENANCE UNIT CEMENTATION.** In Fiscal Year 2013 has been taken care of electrical equipment Cementation Unit that includes physical care, repair and replacement of electrical parts and electrical equipment maintenance programming Cementation Unit. Maintenance equipment is intended to maximize the ability of electrical equipment Cementation Unit that has operated long time for the immobilization of liquid and semi-liquid waste can run smoothly. Treatment is done by preventive and corrective namely direct physical examination (visual aids and using a measuring instrument), periodic operation, replacement of spare parts and repairs. The results obtained in the form of a regular maintenance program to the groups of electrical equipment, , replacing , repair, replacement spare parts and operation equipment regularly. From the results of electrical equipment maintenance cementation unit has managed to make the process of immobilization semi liquid waste (sludge) as 6 950 liters of into six concrete shells smoothly.

**Keywords:** maintenance, electrical equipment,

### PENDAHULUAN

Unit Sementasi sebagai bagian dari Sub Bidang Pengolahan Limbah Cair (PLC) Bidang Pengolahan Limbah (BPL) Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) merupakan salah satu unit penting dalam rangkaian pengelolaan limbah radioaktif khususnya pada pengolahan limbah radioaktif cair dan semi cair serta penyediaan material semen pasir kering untuk kegiatan imobilisasi pada unit lain. Hal ini karena Unit Sementasi merupakan proses terakhir dari rangkaian pengolahan limbah radioaktif cair dan semi cair.

Proses pengolahan limbah cair dan semi cair yang lebih dikenal dengan istilah proses imobilisasi merupakan proses pengungkungan limbah radioaktif cair atau semi cair dengan cara mencampurkan material kering berupa pasir dan semen serta aditif kedalam shell 950 liter yang telah diisi oleh limbah radioaktif cair atau semi cair dengan volume tertentu ( limbah resin = 266 liter, limbah konsentrat 235 liter). Untuk memperoleh tingkat

homogen yang diinginkan, dilakukan pengadukan menggunakan pengaduk statis yang terdapat di ruang proses (*hot cell*) R 4.0.01.

Seluruh kegiatan proses pengolahan limbah dapat dikendalikan melalui panel pengendali proses sementasi yang terdapat di ruang R 2.0.06. Pengendalian proses secara garis besar dibagi menjadi 3 (tiga) kelompok panel pengendali yaitu Panel I 33008, I 33009 dan I 33010. Panel I 33008 berfungsi sebagai panel pengendali untuk kegiatan penerimaan, pengiriman dan penakaran limbah cair atau semi cair. Panel I 33009 berfungsi sebagai pengendali proses homogenisasi. Panel I 33010 berfungsi sebagai pengendali pengiriman material kering yang terdiri dari pasir, semen dan aditif.

Panel pengendali ini berfungsi untuk mengendalikan motor, sistem pneumatic dan hidrolik sebagai penggerak peralatan mekanik yang berada di Unit Sementasi. Motor digunakan untuk menggerakkan peralatan mekanik seperti screw conveyor, mixer, tool holder, trolley, exhaust fan, pompa dan stirrer. Pneumatik digunakan untuk menggerakkan valve dan piston pendorong diptray, sedangkan hidrolik digunakan untuk menggerakkan valve pada mixer.

Dalam pelaksanaannya peralatan elektrik secara langsung saling berhubungan satu sama lainnya. Apabila terjadi kegagalan pada salah satu peralatan mekanik tersebut maka proses pengolahan limbah konsentrat dan semi cair akan terganggu. Untuk itu perlu kegiatan yang mampu menjaga kondisi peralatan elektrik tersebut dalam keadaan prima. Program perawatan berkala menjadi satu pilihan yang tepat mengingat kondisi peralatan proses sementasi yang relatif telah memiliki masa operasi yang lama.

Tujuan dari kegiatan perawatan peralatan mekanik Unit Sementasi adalah memperoleh kondisi peralatan elektrik yang maksimal dengan pertimbangan masa operasi peralatan yang sudah lama sehingga proses imobilisasi limbah radioaktif cair dan semi cair pada Unit Sementasi dapat dilaksanakan dengan lancar.

## DASAR TEORI

Kegiatan perawatan mempunyai peranan yang sangat penting yaitu sebagai pendukung beroperasinya sistem sesuai yang dikehendaki serta dapat meminimalkan biaya atau kerugian – kerugian yang ditimbulkan karena adanya kerusakan peralatan. Perawatan dapat dibagi menjadi beberapa macam, tergantung dari dasar yang dipakai untuk menggolongkannya, tetapi pada dasarnya terdapat dua kegiatan pokok dalam perawatan yaitu perawatan preventif yang dimaksud untuk menjaga keadaan peralatan sebelum peralatan itu rusak dan perawatan korektif yang dimaksud untuk memperbaiki peralatan yang rusak.

### 1. Perawatan preventif

Perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) merupakan pencegahan sistematis, penjadwalan berkala dengan interval tetap, dan melaksanakan pembersihan, serta perbaikan mesin atau sistem dengan baik dan tepat waktu. Kegiatan ini dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan dan menemukan kondisi yang dapat menyebabkan sistem mengalami kerusakan pada saat dipergunakan dalam proses produksi. Dalam pelaksanaannya, kegiatan perawatan pencegahan dapat dibedakan atas dua macam, yaitu:

- Perawatan rutin (*Routine Maintenance*), kegiatan perawatan yang dilakukan secara rutin, misalnya setiap hari.
- Perawatan berkala (*Periodic Maintenance*), kegiatan perawatan yang dilakukan secara berkala dan dalam jangka waktu tertentu, misalnya setiap satu minggu sekali, hingga satu tahun sekali. Perawatan ini dapat dilakukan berdasarkan lamanya jam kerja mesin.

## 2. Perawatan korektif

Perawatan perbaikan (*corrective maintenance*) merupakan kegiatan yang dilakukan setelah komponen benar-benar telah mengalami kerusakan sehingga tidak dapat beroperasi. Kerusakan komponen ini biasanya akan ditandai dengan ditemukannya produk yang dihasilkan tidak sedikit mengalami kecacatan (Nandiroh, 2006).

Tujuan dari perawatan adalah untuk menjaga serta mempertahankan kelangsungan operasional dan kinerja system agar produksi dapat berjalan tanpa hambatan . Jika suatu sistem mengalami kerusakan maka akan memerlukan perawatan perbaikan.

## TATA KERJA

### Bahan, peralatan dan waktu pelaksanaan

Bahan yang digunakan terdiri cairan pembersih karat, dan lain-lain. Alat yang digunakan berupa toolkit elektrik, AVO Meter Tachometer, Alat ukur kebisingan, Alat ukur getaran, tang ampere, dan lain-lain. Kegiatan dilakukan pada Unit Sementasi Bidang Pengolahan Limbah Pusat Teknologi Limbah Radioaktif BATAN tahun anggaran 2013.

### II.2. Metode

Perawatan peralatan elektrik pada panel I 33002 menggunakan metode perawatan preventif dan korektif. Perawatan preventif dilakukan dengan cara pembersihan, pemeriksaan fisik secara langsung (visual dan menggunakan alat ukur), pemanasan berkala serta penggantian dan penambahan pelumas. Sedangkan untuk perawatan korektif dilakukan dengan cara penggantian spare part dan perbaikan. Apabila diperlukan maka dapat juga dilakukan modifikasi peralatan proses agar lebih menunjang kelancaran proses immobilisasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN.

Pada tahun anggaran 2013 telah dilakukan perawatan peralatan elektrik Unit Sementasi terhadap 4 ( empat) unit peralatan elektrik. Hasil yang diperoleh dari perawatan tersebut adalah :

### 1. Hasil Perawatan Preventif

NO	PEMERIKSAAN	KONDISI AKHIR	KETERANGAN
1	Fuse	Berfungsi baik	
2	MCB	Berfungsi baik	
3	Konektor , Papan Penghubung Rangkaian dalam panel	Berfungsi baik	
4	Push Button & SaklarTPL	Berfungsi baik	

Untuk pemeriksaan lebih lanjut di Komponen –komponen elektrik perlu direncanakan untuk kesinambungan pengoperasian peralatan mengingat usia pakai dari peralatan dan ketersediaan suku cadang peralatan.

Peralatan yang ada di panel elektrik sudah waktunya direvitalisasi mengingat usia pakai sudah diatas 25 tahun.

Revitaliasi dapat dilakukan dengan mengganti suku cadang yang vital bagi operasional peralatan. Dan untuk peralatan yang ketersediaan suku cadang nya susah dicari di pasaran.

### **KESIMPULAN**

- Pembuatan rencana kegiatan perawatan peralatan elektrik pada panel I 33002 Unit Sementasi sangat membantu dalam mendeteksi awal kondisi peralatan elektrik unit sehingga dapat mengambil langkah langkah pencegahan mengingat usia peralatan yang sudah cukup lama sehingga kondisi peralatan dapat tetap terjaga.
- Perawatan peralatan elektrik pada panel I 33002 unit Unit Sementasi berhasil memaksimalkan peralatan yang ada sehingga dapat melakukan proses imobilisasi limbah radioaktif sebanyak 6 shell 950 liter dengan kondisi relatif lancar.

### **SARAN**

- Ketersediaan anggaran untuk perawatan agar memadahi karena sangat menunjang tercapainya hasil yang maksimal dari perawatan tersebut.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1.] BATAN-TECHNICATOME , System Note, “Solid, Semi Liquid , Liquid Waste Treatment”, WSPG 330 NSN 9001, 1986
- [2.] P2PLR-BATAN, “ Prosedur Tetap Unit Sementasi ”, revisi I 2003
- [3.] P2PLR-BATAN, “ Petunjuk Pelaksanaan Unit Sementasi ”, revisi I 2003
- [4.] P2PLR-BATAN, “ Laporan Analisa Kecelakaan ”, revisi IV 2000
- [5.] BATAN-TECHNICATOME , Electrical Diagram, “Solid, Semi Liquid , Liquid Waste Treatment”, WSPG 330 GSN 9001, 1986

## ESTIMASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF PASKA PROGRAM DEKOMISIONING REAKTOR *TRIGA MARK II* BANDUNG

Kuat Heriyanto, Yuli Purwanto, Dwi Luhur Ibnu Saputra  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**ESTIMASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF PASKA PROGRAM DEKOMISIONING REAKTOR *TRIGA MARK II* BANDUNG.** Telah dilakukan penelitian tentang pengolahan limbah radioaktif komponen reaktor Triga Mark II Bandung. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan metode pengolahan yang tepat agar aman buat manusia dan lingkungan. Penelitian dilakukan dengan cara melakukan analisis data awal yang diperoleh dari hasil kegiatan inventarisasi radionuklida komponen reaktor. Data inventarisasi antara lain berupa aktivitas, volume dan berat. Data tersebut kemudian dianalisis menggunakan *computer code microshield* untuk mendapatkan paparan radiasi limbahnya. Paparan radiasi limbah pada jarak kontak tidak boleh lebih dari 200 mR/h. Dari hasil penelitian diperoleh paparan radiasi tertinggi setelah diwadahi sebesar  $1,710 \times 10^2$  mR/h. Jumlah wadah yang digunakan sebanyak: 303 buah shell beton 950 liter, 1 buah box besi dan 2 buah pipa SS 304.

Kata kunci: Limbah Radioaktif, Paparan radiasi

### ABSTRACT

**ESTIMATION THE TREATMENT OF RADIOACTIVE WASTE OF DECOMMISSIONING PROGRAM FOR *TRIGA MARK II* REACTOR ON BANDUNG.** The research on radioactive waste treatment Triga Mark II reactor components Bandung has been conducted. The purpose of this study is to get the right treatment method to be safe for humans and the environment. The reasearch done by analyzing the initial data obtained from the results of radionuclide activity inventarisasi reactor components. Inventory data among other activity, volume and weight. The data is analyzed using the computer code microshield to get of dose rate. The dose rate of waste at contact distance should not be more than 200 mR / h. The results were obtained of highest dose rate after packaging at  $1,710 \times 10^2$  mR / h. The number of containers used as: 303 950 liters of concrete shell pieces, 1 box iron and 2 pieces of pipe SS 304.

Keywords : Raduoactive waste, Dose rate

### PENDAHULUAN

Reaktor *Triga Mark II* Bandung mulai dioperasikan pada tahun 1965 pada daya 250 kW. Pada tahun 1971 daya reaktor ditingkatkan menjadi 1000 kW. Pada tahun 1996 operasi reaktor diberhentikan untuk di*upgrade* menjadi 2000 kW dan selesai pada tahun 2000. Komisioning reaktor dilakukan pada tahun 2001, dengan Izin Operasi untuk reaktor yang baru di *upgrade* diberikan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) hingga tahun 2016. Reaktor tersebut cepat atau lambat pasti akan di dekomisioning. Oleh karena itu Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) harus menyiapkan perencanaan dari kegiatan dekomisioning sampai dengan pengelolaan limbahnya. Inventarisasi radionuklida yang terkandung pada material-material yang terletak pada inti reaktor dan sekitarnya telah dilakukan. Inventarisasi radionuklida dilakukan dengan perhitungan menggunakan data sekunder yang berasal dari berbagai pustaka dan menggunakan *computer code (Origen 2.1)*. Dari kegiatan tersebut diperoleh hasil inventarisasi radionuklida yang diperkirakan secara kualitatif maupun kuantitatif. Dari hasil

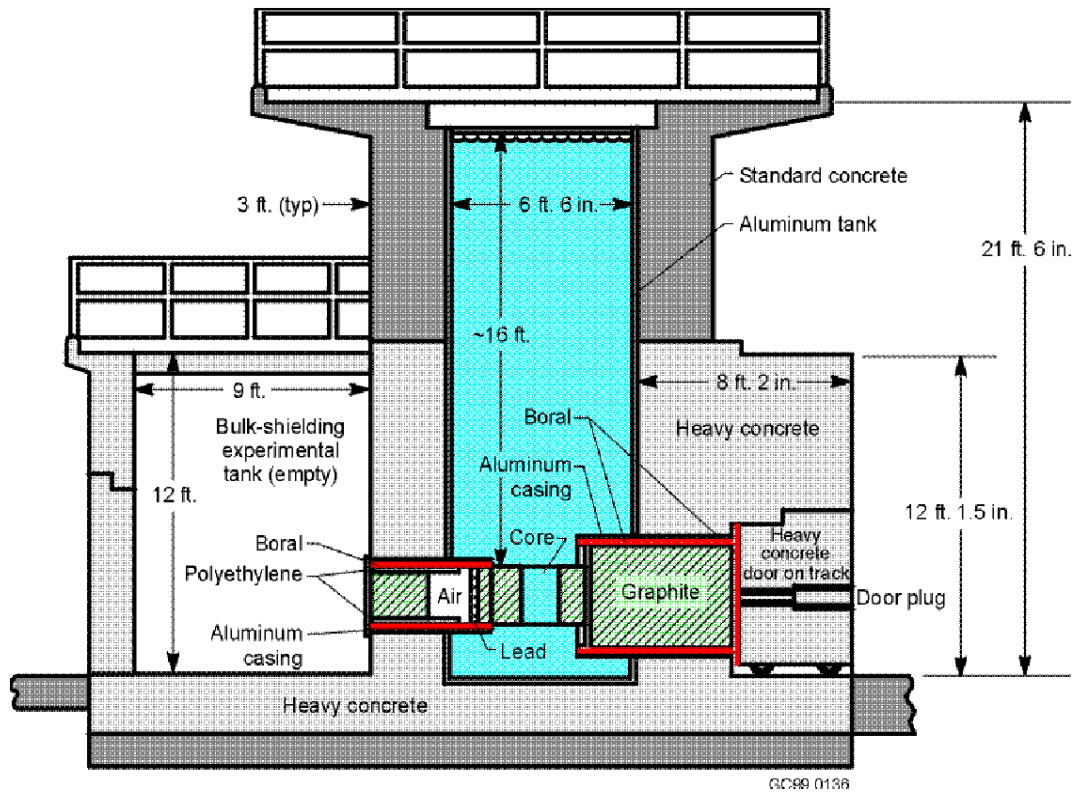
inventarisasi tersebut dapat dilakukan studi pengelolaan limbahnya. Pengelolaan limbah dilakukan dengan cara mengelompokkan limbah radioaktif berdasarkan klasifikasi aktivitas, material limbah dan paparannya. Untuk mendapatkan paparan radiasi limbah dilakukan penghitungan menggunakan *computer code (micro shield)*, kemudian ditentukan metode pengolahannya. Kegiatan ini diharapkan limbah radioaktif yang ditimbulkan dari dekomisioning Reaktor *Triga Mark II* Bandung dapat dikelola dengan baik, sehingga keselamatan masyarakat dan lingkungan generasi mendatang dapat terjamin.

## TEORI

### Deskripsi Reaktor *Triga Mark II* Bandung

Reaktor *TRIGA MARK II* Bandung adalah suatu jenis reaktor yang bertipe tangki (Gambar 1). Tangki reaktor terbuat dari bahan alumunium (Al) dan ditambahkan dalam coran beton. Pada tangki reactor ditempatkan difuser yang berfungsi untuk memutar air di dalam tangki reaktor sehingga akan menahan atau memperlambat air teras reaktor yang mengandung radiasi mencapai permukaan tangki. Tingkat daya dari reaktor dikendalikan oleh 5 (lima) batang kendali. Semua batang kendali ini berisi bahan penyerap neutron yang terbuat dari Boron-Karbida (B4C)<sup>[1,2]</sup>.

Elemen bahan bakar reaktor *TRIGA MARK II* Bandung berbentuk batang silinder padat yang berisi pelet bahan bakar. Pelet terbuat dari campuran homogen dari paduan Uranium dan Zirkonium-Hidrida (U-ZrH). Elemen bahan bakar Elemen bahan bakar tersebut disusun dalam *pole heksagonal* dan ditempatkan dalam suatu rak yang disebut *grid plate*. Untuk mengetahui temperatur elemen bakar digunakan elemen bakar yang terinstrumentasi (*Instrumented Fuel Element /IFE*). IFE ini mempunyai 3 (tiga) buah *termokopel* yang terbenam dalam daging bahan bakar<sup>[2,3]</sup>.



Gambar 1. Penampang Reaktor *Triga Mark II* Bandung

### Limbah Radioaktif

Berdasarkan rancangan amandemen PP No. 27 Tahun 2002 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif dan dikombinasikan dengan surat dari BAPETEN No. : 1459/P 01/PTBN/V/2008 yang mengacu pada Safety Standard Series nomor GSG-1, 2009, klasifikasi limbah radioaktif untuk pemancar beta-gamma adalah<sup>[4]</sup>:

- Limbah aktivitas sangat rendah : 1 - 100 Bq/g
- Limbah aktivitas relatif rendah : 100 - 1.000 Bq/g
- Limbah aktivitas sedang : 1.000 -  $10^{11}$  Bq/g
- Limbah aktivitas tinggi :  $\geq 10^{11}$  Bq/g

Aktivitas radionuklida dari komponen-komponen di sekitar reaktor, termasuk *supporting core* didekati dengan asumsi sebagai berikut:

1. Berbanding langsung dengan berat komponen
2. Berbanding langsung dengan daya reaktor
3. Berbanding langsung dengan *effective full power years (EFPY)*
4. Berbanding terbalik dengan waktu setelah *shut down* (dalam tahun).

Prosentase dari elemen radionuklida di dalam komponen tergantung kepada:

- Prosentase kandungan masing-masing elemen di dalam komponen
- Penampang lintang
- Prosentase dari *abundance of parent nuclides in parent element*.

Secara garis besar asal utama limbah radioaktif berasal dari siklus bahan bakar nuklir dan aplikasi nuklir. Siklus bahan bakar nuklir meliputi dari tambang

bahan nuklir, fabrikasi bahan bakar nuklir, reaktor riset, reaktor daya (PLTN), proses olah ulang dan proses dekomisioning. Sedangkan aplikasi nuklir merupakan instalasi nuklir yang aktivitasnya lebih kecil antara lain meliputi : produksi radioisotop, accelerator, rumah sakit, laboratorium penelitian dan industri nuklir<sup>[5]</sup>.

Macam-macam material yang diirradiasi dalam inti reaktor akan selalu berganti-ganti dan akhirnya akan menjadi limbah, sebagai contoh : batang kendali, in-core detector dan grafit slurry, tetapi kebanyakan dari limbah ini tergolong kategori tingkat tinggi.

Perlengkapan dan kerangka-kerangka yang dapat dibongkar atau dibuang adalah merupakan limbah sebagai hasil perawatan dan modifikasi. Limbah yang mempunyai bentuk semacam ini memerlukan reduksi ukuran misalnya melalui pengguntingan, penggergajian, pemotongan dan sebagainya.

Limbah padat filter yang mempunyai ukuran besar yang ditimbulkan dari PLTN dan instalasi nuklir lainnya yang mana limbah ini tidak memungkinkan untuk dilakukan reduksi ukuran ataupun pembakaran, maka pada umumnya jenis limbah ini langsung diimmobilisasi dengan bahan matrik semen slurry dalam wadah (shell, caison) khusus.

Tritium yang timbul sebagai kontaminan juga terdapat pada kebanyakan limbah padat yang dihasilkan dari industri nuklir. Kondisioning dari limbah-limbah ini biasanya memerlukan teknik khusus karena Tritium bentuk oksida dalam dapat bergerak dan bertukar dengan air.

## **IMOBILISASI/ KONDISIONING**

Immobilisasi atau kondisioning limbah radioaktif dilakukan dengan menambahkan bahan matriks (semen, bitumen, resin, keramik, gelas, dsb) di dalam kontainer/wadah (shell beton, drum, bak steel, kontainer steel/Pb). Fungsi dari bahan matrik adalah untuk mengungkung dan mengikat radionuklida yang dikandung dalam limbah agar supaya tidak mudah lepas ke lingkungan. Sedangkan fungsi dari kontainer/wadah tempat immobilisasi adalah untuk menahan terlepasnya radionuklida ke lingkungan dan juga untuk mencegah pengaruh kerusakan yang berasal dari sekitarnya selama penyimpanan/pembuangan.

Jenis bahan matrik yang dipakai tergantung dari jenis limbah dan aktivitas limbah yang diimmobilisasi, namun pada waktu ini bahan matrik yang banyak digunakan adalah semen/beton. Sedangkan jenis wadah tempat immobilisasi ini juga tergantung dari jenis aktivitas dan ukuran dari limbah yang diimmobilisasi disamping juga tergantung tujuan tempat penyimpanannya / pembuangan. Jenis wadah tempat immobilisasi bisa dipakai : drum 100 Lt/200 Lt ; shell beton : 950 It / 750 It / 350 It ; kontainer Pb; kontainer stainless steel ataupun bentuk shell/wadah khusus .

Pada proses immobilisasi menggunakan bahan matriks akan menghasilkan volume limbah akhir yang lebih besar karena adanya



penambahan volume bahan matrik dan wadah immobilisasi dan ini tentunya akan mempengaruhi luas tempat penyimpanan/pembuangan yang diperlukan. Dengan berkembangnya teknologi proses pengolahan limbah radioaktif maka sekarang telah dikembangkan pada skala industri "Penggunaan Tenaga Microwave" untuk immobilisasi/ kondisioning limbah radioaktif. Dari proses ini diperoleh bahwa volume hasil akhir immobilisasi/kondisioning lebih kecil sehingga akan menghemat ruangan/tempat penyimpanan/pembuangan.

## METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan cara melakukan studi literatur dan mempelajari data-data karakteristik komponen reaktor yang ada. Karakterisasi limbah radioaktif komponen reaktor *Triga Mark II* Bandung dilakukan berdasarkan data Inventarisasi radionuklida setelah reaktor *shutdown* 5 tahun. Data-data tersebut meliputi data-data radionuklida yang teraktivasi, volume serta berat limbah seperti yang ditampilkan pada Tabel 1. Berdasarkan data tersebut dilakukan kajian dalam penentuan metoda pengelolaannya. Metoda pengolahan yang dapat dilakukan antara lain dengan kondisioning dalam shell beton atau dengan cara kondisioning dalam wadah lain (seperti kapsul). Untuk itu perlu dilakukan analisis data menggunakan *computer code microshield* untuk mendapatkan aktivitas total dan paparan radiasinya. Limbah diasumsikan diolah dan dimasukkan dalam wadah, kemudian dengan menggunakan *computer code microshield* diperoleh paparan radiasi kontak. Batasan pewadahan limbah berdasarkan volume limbah, berat limbah, aktivitas total dan paparan radiasi yang diijinkan. Perhitungan paparan radiasi dilakukan dengan asumsi menggunakan shell beton 950 liter, box besi dan pipa SS 304 dengan ketebalan masing-masing: 15, 0,5 dan 1 cm.

Dari data pustaka dan *log-book* serta hasil diskusi dengan manajemen dan operator reaktor *Triga Mark II* Bandung, diperoleh data-data sebagai berikut:

Tahapan operasi reaktor *Triga Mark II*, Bandung, yaitu

1. tahun 1965 - 1971 dengan daya 250 kW, EFPY = 2 tahun
2. tahun 1971 - 1996 dengan daya 1 MW, EFPY = 6,68 tahun
3. tahun 2001 – sekarang dengan daya 2 MW, EFPY = 0,68 tahun

Data inventarisasi limbah radioaktif yang akan digunakan sebagai dasar penghitungan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Inventarisasi Limbah Radioaktif Hasil Program Dekomisioning Reaktor *Triga Mark II* Bandung

NO	KOMPONEN LIMBAH	MATERIAL	RADIO-NUKLIDA	AKTIVITAS (Bq/gram)	VOLUME (Liter)	BERAT (gram)
1.	<i>Grid plate</i>	Al	Fe-55, Co-60, Ni-63, Rb-82	1.08E+06	4,012	10.829
2.	<i>Supporting Core</i>	Al	Fe-55, Co-60, Ni-63, Rb-82	1.55E+05	2,6	7.017
3.	<i>Supporting Thermal Core</i>	Al	Fe-55, Co-60, Ni-63, Rb-82	2.00E+03	2,6	7.017
4.	<i>Reflektor</i>	Al, Grafit	Fe-55, Co-60, Ni-63, Zn-65	2.26E+05	573,785	960.171

			dan			
5.	<i>Biological Shielding</i>	<i>Concrete</i>	Fe-55, Co-60, Ni-63, Ba-133, Eu-152	1.63E+03	283.829,78	667.000.000
6.	<i>Control Rod Colum</i>	Al	Fe-55, Ni-63, Zn-65, Pb-204	9.61E+05	0,95	2.564
7.	<i>Detector Rod Colum</i>	Al	Fe-55, Ni-63, Zn-65, Pb-204	2.03E+05	13,195	35.612
8.	<i>Grafit Thermal Colum Inner</i>	Al	Fe-55, Ni-63, Zn-65	1.15E+05	38,405	103.655
9.	<i>Grafit Thermal Colum Outer</i>	Al	Fe-55, Ni-63, Zn-65	1.52E+03	171.912	463.990
10.	<i>Thermalizing Colum Inner</i>	Al	Fe-55, Ni-63, Zn-65	1.18E+05	45,63	123.155
11.	<i>Thermalizing Colum Outer</i>	Al	Fe-55, Ni-63, Zn-65	2.92E+03	23,75	64.096
12.	<i>Grafit Thermal Colum Inner</i>	Grafit	H-3, C-14, Fe-55, Co-60, Eu-152, Eu-154	4.42E+02	1.828,80	2.926.080
13.	<i>Grafit Thermal Colum Inner</i>	Grafit	H-3, C-14, Fe-55, Co-60, Eu-152, Eu-154	4.42E+02	491,172	785.875
14.	<i>Grafit Thermal Colum</i>	Boral	Be-10, Cl-36, K-40, Fe-55	8.88E+02	49,795	11.651
15.	<i>Thermalizing Colum</i>	Boral	Be-10, Cl-36, K-40, Fe-55	8.88E+02	38,94	9.113

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2 menampilkan hasil perhitungan paparan radiasi limbah radioaktif saat belum ada *shielding* dan setelah ada *shielding* (penahan radiasi). Perhitungan dilakukan berdasarkan asumsi akan dimasukkan dalam wadah limbah sesuai jenis material dan volumenya. Sedangkan sebagai *shielding* diasumsikan wadah limbah yang akan digunakan. Aktivitas limbah yang paling tinggi sebelum ada *shielding* adalah *Biological Shielding*, tapi aktivitas jenisnya yang paling tinggi adalah *Control Rod Colum*, *Detector Rod Colum* dan *Thermalizing Colum Inner (Al)*. *Biological Shielding* aktivitasnya lebih tinggi dalam perhitungan karena volume limbahnya lebih banyak dibanding yang lain dan waktu *EFPY*-nya lama. *Control Rod Colum* dan *Detector Rod* aktivitas jenis dan paparan radiasinya lebih tinggi karena termasuk komponen yang paling dekat bahan bakar, sedangkan *Thermalizing Colum Inner (Al)* karena teraktivasi dalam waktu *EFPY* yang lama.

TABEL 2 Hasil Perhitungan Paparan Radiasi Komponen Limbah Radiaktif

NO.	KOMPONEN LIMBAH	PAPARAN (mR/jam)		SHIELDING
		TANPA SHIELDING	DENGAN SHIELDING	
1.	<i>Grid plate</i>	$3,562 \times 10^1$	$7,140 \times 10^{-1}$	Beton
2.	<i>Supporting Core</i>	$4,172 \times 10^2$	$7,700 \times 10^{-2}$	Beton
3.	<i>Supporting Thermal Core</i>	$3,140 \times 10^{-2}$	$1,98 \times 10^{-3}$	Beton
4.	<i>Reflektor</i>	$8,196 \times 10^1$	$2,5 \times 10^1$	Besi
5.	<i>Biological Shielding</i>	$2,610 \times 10^3$	$1,365 \times 10^2$	Beton
6.	<i>Control Rod Colum</i>	$4,149 \times 10^2$	$1,115 \times 10^2$	SS 304
7.	<i>Detector Rod Colum</i>	$4,148 \times 10^2$	$1,710 \times 10^2$	SS 304
8.	<i>Grafit Thermal Colum Inner (Al)</i>	$5,590 \times 10^1$	$5,330 \times 10^0$	Beton
9.	<i>Grafit Thermal Colum Outer (Al)</i>	$8,120 \times 10^{-1}$	$9,300 \times 10^{-2}$	Beton
10.	<i>Thermalizing Colum Inner (Al)</i>	$1,140 \times 10^2$	$1,082 \times 10^1$	Beton
11.	<i>Thermalizing Colum Outer (Al)</i>	$1,278 \times 10^1$	$1,030 \times 10^{-1}$	Beton
12.	<i>Grafit Thermal Colum Inner (Grafit)</i>	$2,712 \times 10^{-1}$	$3,760 \times 10^{-2}$	Beton
13.	<i>Grafit Thermal Colum Inner (Grafit)</i>	$1,770 \times 10^1$	$2,39 \times 10^0$	Beton
14.	<i>Grafit Thermal Colum (Boral)</i>	$1,421 \times 10^0$	$6,266 \times 10^{-4}$	Beton
15.	<i>Thermalizing Colum (Boral)</i>	$1,447 \times 10^0$	$1,936 \times 10^{-4}$	Beton

Dari hasil penelitian diperoleh karakteristik limbah radioaktif komponen reaktor yang telah menjadi limbah. Tabel 3 menampilkan skenario pengolahan limbah radioaktif. Limbah diolah dengan cara kondisioning dalam wadah dengan mempertimbangkan antara lain: material, volume dan berat limbah serta paparan radiasi. Limbah ditempatkan dalam suatu wadah dan dikelompokkan berdasarkan materialnya. Pemilihan wadah dilakukan berdasarkan besaran paparan radiasi pada kontak dan bentuk geometri/dimensi dari komponen limbah yang akan diolah. Dari parameter tersebut, maka wadah yang digunakan adalah shell beton 950 liter sebanyak 303 buah, box besi sebanyak 1 buah dan pipa (kapsul) SS sebanyak 2 buah.

Penggunaan shell beton 950 liter paling banyak digunakan untuk kondisioning limbah *Biological shielding* karena volumenya yang sangat banyak yaitu 283.829,78 liter dengan berat 667.000.000 gram. Jumlah tersebut dengan asumsi limbah *Biological shielding* dilakukan dismantling dan diolah, tapi masih ada opsi lain yaitu dengan cara dikubur (tidak semua diwadahi shell). Pemilihan wadah box besi untuk pengolahan limbah reflector, karena menyesuaikan dimensinya yang lebih besar. Begitu juga pemilihan pipa (kapsul) SS-304 sebagai wadah *Control Rod Colum* dan *Detector Rod Colum* karena menyesuaikan dimensi dan bentuk geometrinya.

Sedangkan limbah *Grid plate*, *Supporting Core*, *Supporting Thermal Core*, *Grafit Thermal Colum Inner (Al)*, *Grafit Thermal Colum Outer (Al)*, *Thermalizing Colum Inner (Al)* dan *Thermalizing Colum Outer (Al)*

ditempatkan dalam satu wadah karena volume dan paparan radiasinya memungkinkan.

TABEL 3. Pengolahan Limbah Radioaktif Yang ditimbulkan Program Dekomisioning Reaktor *Triga Mark II* Bandung.

NO.	WADAH	METODA PENGOLAHAN	ISI LIMBAH	PAPARAN KONTAK (mR/jam)	Kebutuhan Wadah
1.	Shell beton 950 liter	Kondisioning	<i>Grid plate</i> <i>Supporting Core</i> <i>Supporting Thermal Core</i> <i>Grafit Thermal Colum Inner (Al)</i> <i>Grafit Thermal Colum Outer (Al)</i> <i>Thermalizing Colum Inner (Al)</i> <i>Thermalizing Colum Outer (Al)</i>	$1,71 \times 10^1$	1
2.	Shell beton 950 liter	Kondisioning	<i>Biological shielding</i>	$1,365 \times 10^2$	245
3.	Shell beton 950 liter	Kondisioning	<i>Grafit Thermal Colum Inner (Grafit)</i>	$3,760 \times 10^{-2}$	3
4.	Shell beton 950 liter	Kondisioning	<i>Grafit Thermal Colum Inner (Grafit)</i>	$2,39 \times 10^0$	1
5.	Shell beton 950 liter	Kondisioning	<i>Grafit Thermal Colum (Boral)</i> <i>Thermalizing Colum (Boral)</i>	$8,20 \times 10^{-4}$	3
6.	Box Besi	Kondisioning	<i>Reflektor</i>	$2,5 \times 10^1$	1
7.	Kapsul SS 304	Kondisioning	<i>Control Rod Colum</i>	$1,115 \times 10^2$	1
8.	Kapsul SS 304	Kondisioning	<i>Detector Rod Colum</i>	$1,710 \times 10^2$	1

## KESIMPULAN

1. Paparan radiasi tertinggi pada kontak setelah diwadahi adalah  $1,710 \times 10^2$  mR/h.
2. Metode pengolahan yang dipilih adalah kondisioning dengan menggunakan wadah berupa: shell beton 950 liter, box besi dan sistem kapsul (pipa SS 304).
3. Jumlah wadah yang digunakan sebanyak: 303 buah shell beton 950 liter, 1 buah box besi dan 2 buah pipa SS 304.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. BAPETEN, "Surat No. : International Atomic Energy Agency (2002), *Radiological Characterization of Shut Down Nuclear Reactor for Decommissioning Purposes*, IAEA-TRS No. 389, Vienna.
- [2]. Anonymous, *Reaktor Triga 2000 Bandung*, Available: <http://airamadhan.wordpress.com/2008/05/27/reaktor-triga-2000-bandung/> diakses pada 5 November 2012.
- [3]. DARYOKO, M., and GUNANDJAR, *Inventarisasi Radionuklida dalam Komponen Nuklir*, Jurnal Teknologi Pengolahan Limbah, ISSN 1410-9565, Volume 6 Nomor 1, Jakarta tahun 2003.
- [4]. 1459/P 01/PTBN/V/2008 yang mengacu pada Safety Standard Series nomor GSG-1", 2009.
- [5]. SURYANTORO, "Pengolahan Limbah Radioaktif Padat", **Pelatihan Pengelolaan Limbah Radioaktif**, PTLR-BATAN, Serpong, 16-27 September 2013



## PENGOLAHAN RESIN PENUKAR ION BEKAS MENGGUNAKAN REAGEN FENTON

Mirawaty, Dwi Luhur Ibnu Saputra, Sugeng Purnomo  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**PENGOLAHAN RESIN PENUKAR ION BEKAS MENGGUNAKAN REAGEN FENTON.** Resin penukar ion digunakan untuk pengolahan limbah cair aktivitas rendah (LCAR), dari proses pengolahan tersebut akan dihasilkan limbah sekunder yang merupakan limbah resin penukar ion dan limbah tersebut harus diolah sebelum dilepas ke lingkungan. Pada saat ini pengolahan limbah radioaktif resin penukar ion dilakukan dengan teknologi imobilisasi langsung menggunakan bahan matriks semen. Teknologi ini masih memiliki kekurangan, yaitu resin sebagai bahan organik yang tidak dapat membentuk satu fasa padatan monolit yang kompak dengan semen, sehingga akan mengurangi kualitas (densitas, kuat tekan dan laju pelindihan) blok limbah. Pada penelitian ini akan dilakukan pengolahan limbah resin penukar ion menggunakan reagen fenton untuk melarutkan limbah resin. Proses melarutkan limbah resin dilakukan dengan variasi limbah resin - reagen fenton dan komposisi reagen fenton itu sendiri ( $H_2O_2$ -Fe). Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah resin penukar ion dapat diolah dengan proses destruksi menggunakan reagen fenton dimana komposisi optimal limbah resin : reagen fenton = 1: 1 dan komposisi reagen fenton Fe :  $H_2O_2$  = 1 : 100. Proses destruksi dilakukan dengan teknik penambahan reagen fenton secara kontinu untuk membuat resin terdestruksi sempurna. Kelemahan dari metode jika dilihat dari prinsip pengolahan limbah, reduksi volume dan segi ekonomi pengolahan limbah resin ini kurang efektif sehingga perlu dicari alternatif lain untuk pengolahan limbah ini.

**Kata Kunci :** Limbah Radioaktif, Resin Penukar Ion, Reagen Fenton, Hidrogen Peroksida, Pengolahan Limbah Radioaktif

### ABSTRACT

*Ion exchange resin uses to treat Liquid Low Level Radioactive Waste (LLLW), during the treatment process secondary radioactive waste was produced, which is ion exchange radioactive waste, and it should be treated prior released to the environment. Currently, ion exchange resin radioactive waste treatments are done using direct immobilization with cement matrix. Weakness of this technology is, the organic resin could not form as a compact monolithic single phase with cement, therefore it would reduce the quality of waste-cement block(density, compressive strength, and leaching rate) . This research investigate the treatment of ion exchange resin using fenton reagent as resin waste solvent. The solvent processes were done by varying the composition of resin waste-reagent and fenton reagent  $H_2O_2$ -Fe composition itself. The result showed that ion exchange resin waste can be treated by destructive treatment using fenton reagent, with optimum composition of resin waste:reagent=1:1 and reagent composition Fe: $H_2O_2$ =1:10. Destructive treatment technique was done by adding fenton reagent continuously in order to make the resin perfectly destructed. The weakness of this technique from several aspects such as; waste treatment principal, volume reduction and economical, is not effective, therefore alternative approach to treat the waste is required.*

*Keywords :* Radioactive waste, ion exchange resin, fenton reagent, hydrogen peroxide, radioactive waste treatment

### PENDAHULUAN

Resin merupakan senyawa hidrokarbon terpolimerisasi yang mengandung ikatan hubung silang (*cross-linking*) serta mengandung gugusan ion-ion yang dapat dipertukarkan [1,2]. Berdasarkan gugus fungsionalnya, resin penukar ion terbagi menjadi dua yaitu resin penukar kation dan anion. Salah satu teknologi

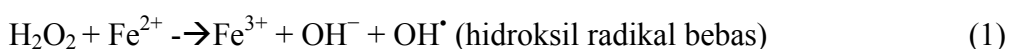
resin penukar ion digunakan pada operasi siklus bahan bakar nuklir dan pengolahan limbah radioaktif cair. Seperti dalam pembangkit listrik tenaga nuklir resin penukar ion dapat digunakan dalam aplikasi pemurnian air pendingin primer, pengolahan limbah primer, pengolahan air kolam penyimpanan bahan bakar, pengolahan limbah cair, pemurnian asam borat untuk daur ulang, dan lain-lain[3].

Limbah resin penukar ion dari operasi reaktor merupakan limbah radioaktif semi cair yang selama ini diolah melalui proses pemadatan langsung dengan matriks semen, plastik polimer, atau aspal. Pemadatan dengan plastik polimer reduksi volumenya 4 kali dibanding pemadatan dengan semen [4]. Pada saat ini pengolahan limbah radioaktif resin dilakukan dengan teknologi immobilisasi langsung dengan matriks semen. Teknologi ini sebenarnya masih ada kekurangannya yaitu resin yang merupakan bahan organik tidak dapat membentuk satu fasa padatan monolit yang kompak dengan matriks semen, sehingga terjadi pengembangan yang disebut dengan *swelling* dan akan mengurangi kekuatan blok limbah. Dengan adanya kekurangan tersebut maka beberapa negara telah melakukan pengembangan teknologi pengolahan limbah radioaktif resin penukar ion dengan metode destruksi menggunakan reagen fenton.

Reagen Fenton merupakan pereaksi yang terdiri dari hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) dan katalis besi. Reagen Fenton telah banyak digunakan untuk pengolahan berbagai macam limbah industri yang mengandung senyawa organik toksik seperti fenol, formaldehida, limbah kompleks dari pestisida, cat, dan bahan organik lainnya yang bersifat toksik, maupun zat aditif plastik. Reagen ini dapat diaplikasikan untuk limbah cairan, lumpur, atau kontaminan tanah. Keuntungan metode oksidasi menggunakan reagen Fenton adalah pelarut  $H_2O_2$  yang digunakan tidak mahal, siap digunakan, dan produk reaksi tidak berbahaya di lingkungan (berupa air, oksigen, dan  $CO_2$ )[5].

Hidrogen peroksida dengan adanya katalis besi dapat digunakan untuk melarutkan resin penukar ion, dimana hidrogen peroksida memecah unit polimer panjang menjadi unit polimer pendek. Karbon dioksida merupakan hasil samping, tapi sebagian besar bahan organik dari resin penukar ion tetap ada dalam campuran dan menjadi larut sebagai rantai karbon yang rusak, dimana hasil akhirnya resin terlihat bersih, larutan tidak berwarna dan hampir tidak ada residu padat[6]. Gugus reaktif yang berperan dalam metode ini adalah radikal hidroksil yang dihasilkan dari reaksi antara  $H_2O_2$  dan  $Fe^{2+}$ . Namun, pembentukan radikal hidroksil membutuhkan kondisi pH yang tepat karena pada kondisi pH yang tidak sesuai, bentuk ion ferro ( $Fe^{2+}$ ) dapat berubah menjadi bentuk koloid ion ferri ( $Fe^{3+}$ )[7].

Pada reagen fenton terjadi reaksi antara hidrogen peroksida dengan katalis besi ferro untuk membentuk hidroksil radikal bebas (Reaksi 1). Hidroksil radikal bebas adalah oksidan yang sangat kuat dan dapat bereaksi dengan berbagai jenis bahan organik[8].

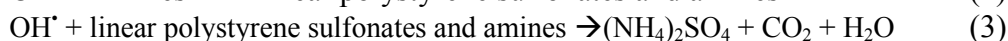
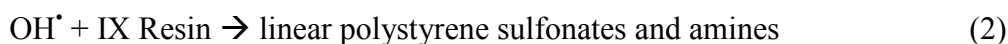


Reaksi yang terjadi merupakan reaksi eksotermis dan sangat cepat. Resin penukar ion pertama dilarutkan menjadi polystyrene sulfonat linier dan amina (Reaksi 2),



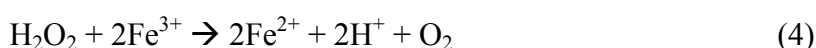
yang kemudian dioksidasi lebih lanjut menjadi karbon dioksida dan ammonium sulfat (reaksi 3).

Reaksi dengan resin penukar ion

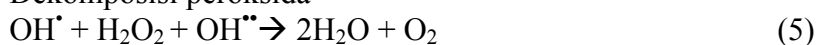


Katalis ion besi diregenerasi dengan hidrogen peroksida tambahan (Reaksi 4) atau bereaksi dengan radikal organik yang terbentuk selama oksidasi dari resin. Hidroksil radikal juga dapat bereaksi dengan peroksida tambahan sebagai reaksi sampingan (reaksi 5).

Regenerasi katalis besi



Dekomposisi peroksida



Pada penelitian ini akan diteliti pengolahan limbah resin penukar ion menggunakan reagen fenton dengan variasi komposisi limbah dan reagen fenton

## METODOLOGI

### a. Pembuatan limbah simulasi resin penukar ion

Larutkan  $\text{CsCl}_2$  dalam air bebas mineral sehingga diperoleh larutan dengan konsentrasi 5 g/liter. Sebanyak 20 g resin ditunjukkan dengan limbah simulasi tersebut. Resin yang telah jenuh dengan Cs kemudian disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu  $100^\circ\text{C}$ .

### b. Proses penguraian resin penukar ion menggunakan reagen fenton

Sebanyak 10 g limbah resin yang telah jenuh Cs ditambahkan reagen fenton ( $\text{FeSO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$ ) sebanyak 10 ml, temperature  $60-100^\circ\text{C}$  selama 30 menit. Diamati perubahan yang terjadi. Percobaan diatas dilakukan dengan variasi komposisi reagen fenton (Fe dan  $\text{H}_2\text{O}_2$ ), variasi volume reagen fenton dengan limbah

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengelolaan limbah resin penukar ion sebelum diimobilisasi diolah terlebih dulu untuk menghindari terjadinya *swelling*, pada penelitian ini dilakukan pengolahan menggunakan reagen fenton. Resin penukar ion yang telah ditunjukkan dengan cesium didestruksi menggunakan reagen fenton. Destruksi dilakukan dengan berbagai variasi volume limbah-reagen fenton dan variasi komposisi reagen fenton itu sendiri ( $\text{Fe}:\text{H}_2\text{O}_2$ ). Hasil penelitian dengan berbagai variasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengamatan proses destruksi limbah resin dengan fenton

Variasi Limbah : Fenton	Pengamatan		
	Variasi komposisi Fenton (Fe : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )		
	1:100	1:200	1:300
1:2	Reaksi cepat Resin yang hancur sedikit, sisa resin masih banyak	Reaksi cepat Resin yang hancur sedikit, sisa resin masih banyak	Reaksi cepat Resin yang hancur sedikit, sisa resin masih banyak
1:3	Reaksi cepat Resin yang hancur sedikit, sisa resin masih banyak	Reaksi cepat Resin yang hancur sebagian (50%)	Reaksi cepat Resin yang hancur sebagian (60%)
1:4	Reaksi cepat Resin yang hancur sedikit, sisa resin masih banyak	Reaksi cepat Resin yang hancur sedikit, sisa resin masih banyak	Reaksi cepat Resin yang hancur sedikit, sisa resin masih banyak

Proses destruksi diatas dilakukan dengan cara memasukkan limbah dan reagen fenton secara bersamaan. Hasil pengamatan cara tersebut menunjukkan limbah resin bekas bereaksi dengan reagen fenton tapi tidak mampu menghancurkan limbah tersebut secara sempurna. Karena yang dapat menghancurkan resin itu sendiri adalah hidroksil radikal bebas seperti pada reaksi 2 dan 3, sedangkan hidroksil radikal bebas dihasilkan dari reaksi antara hidrogen peroksida dan katalis besi seperti pada reaksi 1. Dilihat dari reaksi 2 dan 3 proses destruksi untuk menghancurkan resin harus dilakukan secara bertahap dengan adanya hidroksil. Sehingga proses destruksi selanjutnya dilakukan secara bertahap dengan hasil pengamatan seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengamatan proses destruksi limbah resin penukar ion menggunakan reagen fenton

Variasi	
Resin : Fenton = 1 : 2 Fenton = Fe : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 1 : 100 Dengan pemanasan T=80°C selama t=1 jam	Campuran bereaksi dan resin terdestruksi sempurna, resin larut semua
Resin : Fenton = 1 : 5 Fenton = Fe : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 1 : 50 Dengan pemanasan T=80°C selama t=1 jam	Campuran bereaksi dan resin terdestruksi sempurna, resin larut semua
Resin : Fenton = 1 : 2 Fenton = Fe : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 3 : 100 Dengan pemanasan T=80°C selama t=1 jam	Campuran bereaksi dan resin terdestruksi sempurna, resin larut semua
Resin : Fenton = 1 : 1 Fenton = Fe : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 3 : 100 Dengan pemanasan T=80°C selama t=1 jam	Campuran bereaksi dan resin terdestruksi sempurna, resin larut semua
Resin : Fenton = 1 : 1 Fenton = Fe : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 1 : 100 Dengan pemanasan T=80°C selama t=1 jam	Campuran bereaksi dan resin terdestruksi sempurna, resin larut semua

Dari pengamatan diatas penambahan reagen fenton yang dilakukan secara bertahap dapat mendestruksi limbah resin sempurna. Hal ini disebabkan karena

proses penambahan reagen fenton dilakukan secara bertahap (kontinu) sehingga radikal hidroksil selalu ada untuk memecah limbah resin tersebut seperti pada reaksi 2 dan 3. Dilihat dari data diatas yang penambahan volume reagen paling sedikit merupakan kondisi yang optimal yaitu komposisi limbah : reagen fenton = 1 : 1 dan komposisi reagen fenton Fe : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 1 : 100, dengan pemanasan pada suhu 80°C selama 1 jam.

Variasi komposisi diatas dianalisis kandungan Cs menggunakan AAS yang ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengamatan analisis kandungan Cs

Variasi	Pengamatan
Resin : Fenton = 1: 2 Fenton = Fe : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 1 : 100 Dengan pemanasan T=80°C selama t=1 jam	7,248 ppm
Resin : Fenton = 1: 5 Fenton = Fe : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 1 : 50 Dengan pemanasan T=80°C selama t=1 jam	39,312 ppm
Resin : Fenton = 1: 2 Fenton = Fe : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 3 : 100 Dengan pemanasan T=80°C selama t=1 jam	11,340 ppm
Resin : Fenton = 1: 1 Fenton = Fe : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 3 : 100 Dengan pemanasan T=80°C selama t=1 jam	78,540 ppm
Resin : Fenton = 1: 1 Fenton = Fe : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 1 : 100 Dengan pemanasan T=80°C selama t=1 jam	11,304 ppm

Hasil analisis limbah resin yang telah larut dengan reagen fenton mengandung Cs, menunjukkan Cs yang terikat resin terurai kembali dengan terputusnya ikatan-ikatan pada resin akibat proses destruksi menggunakan reagen fenton. Hasil penelitian yang telah dilakukan dengan penambahan reagen fenton terjadi penambahan volume limbah, hal ini tidak sesuai dengan prinsip pengolahan limbah yaitu reduksi volume, dimana seminimal mungkin tidak terjadi penambahan volume limbah. Proses destruksi limbah resin juga mengakibatkan radionuklida Cs yang telah terikat oleh resin terurai kembali, sehingga jika dilihat dari segi ekonomi hal tersebut tidak ekonomis. Hal tersebut dilihat dari limbah cair yang mengandung Cs direduksi volume dengan cara diserap oleh resin penukar ion, namun disini limbah resin tersebut diuraikan kembali menggunakan reagen fenton.

### KESIMPULAN

Hasil penelitian ini limbah resin penukar ion dapat diolah dengan proses destuksi menggunakan reagen fenton dimana komposisi optimal yaitu komposisi limbah resin : reagen fenton = 1: 1 dan komposisi reagen fenton Fe : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 1 : 100. Proses destruksi dilakukan dengan teknik penambahan reagen fenton secara kontinu untuk membuat resin terdestruksi sempurna. Namun dilihat dari segi prinsip pengolahan limbah reduksi volume dan dari segi ekonomi pengolahan limbah resin ini kurang efektif jika menggunakan metode destruksi dengan reagen fenton sehingga perlu dicari alternatif lain untuk pengolahan limbah ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1].NUGRAHA, H., DKK, “Analisis Limbah Resin di Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy, prosiding seminar nasional IV SDM teknologi nuklir, STTN – Yogyakarta, 2008.
- [2].GOKHLE, A.S., et.al, Ion Exchange Resin for Water Purification: Properties and Characterization”, water chemistry division bhabha atomic research centre, Bombay-India, 1987.
- [3].TECHNICAL REPORTS SERIES No. 408, “Application of Ion Exchange Processes for the Treatment of Radioactive Waste and Management of Spent Ion Exchangers”, IAEA, Viena, 2002.
- [4]. S. MIYAZAKAI and I. KOMOTO, “Japan’s Experiences in The Fundamental Management of Radioactive Waste”, BATAN-JEPIC Seminar, Jakarta, Nov. 1996.
- [5].US Departement of Energy. 1999. Innovative technology : summary report. <http://apps.em.doe.gov/OST/pubs/itsrs/itsrs2161.pdf>. [16 November 2011].
- [6].Place, B.G, “Engineering Study for the Treatment of Spent Ion Exchange Resin Resulting from Nuclear Process Applications”, U.S. Departement of Energy, U.S of America, 1990.
- [7].Industrial Wastewater, “Fenton’s reagent : iron-Catalyzed hydrogen peroxide”,<http://www.h2o2.com/applications/industrialwastewater/Fentonsreagent.html>, 2007. [16 november 2011].
- [8].Taylor, P.A, “Destruction of Ion Exchange Resin in Waste from the HFIR, T1, and T2 Tank Using Fenton’s Reagent, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, United States Amerika, 2002.

## PENGOLAHAN TAHAP AWAL LIMBAH KIMIA RADIOAKTIF CAIR (LKRC) DENGAN CARA PENGENDAPAN HIDROKSIDA

Sugeng Purnomo, Imam Sasmito, Darmawan Aji, L. Kwin Pujiastuti  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif -BATAN

### ABSTRAK

**PENGOLAHAN TAHAP AWAL LIMBAH KIMIA RADIOAKTIF CAIR (LKRC) DENGAN CARA PENGENDAPAN HIDROKSIDA.** Telah dilakukan percobaan pengendapan LKRC dengan soda kaustik sebagai langkah awal pengolahan untuk mengatasi konsentrasi kromium yang tinggi dan mengganggu *pretreatment* sebelum limbah dievaporasi. Krom III berasal dari produksi I-131 di PTNBR Bandung. LKRC merupakan campuran limbah cair dari berbagai instalasi nuklir di BATAN, Industri dan Lembaga Penelitian Medis. Endapan gelatinous Cr(OH)<sub>3</sub> yang terbentuk secara massif menjerap radionuklida sehingga menurunkan tingkat radioaktivitas limbah. Pada variasi pH akhir pengendapan antara 8 s/d 12 dicapai faktor dekontaminasi (FD) alpha sebesar 52, sedangkan FD beta berkisar antara 4,2 pada pH 10 dan 6,6 pada pH 12.

### ABSTRACT

**THE FIRST STEP TREATMENT OF CHEMICAL RADIOACTIVE LIQUID WASTE BY HIDROXIDE PRECIPITATION.** *The experiment of chemical radioactive liquid waste precipitation by caustic soda has been done as the first step treatment to surpass high concentrarion of chromium which is annoy waste pretreatment before evaporation. Chromium III is from I-131 production in PTNBR Bandung. Chemical radioactive liquid waste to be descended from Nuclear Installation in BATAN, Industry, and Medical Research Institution. Gelatinous precipitate Cr(OH)<sub>3</sub> scrub radionuclide massively than reduce waste radioactivity level. In variation of the end of precipitation pH between 8 to 12 reach alpha decontamination factor (FD) 52, whereas beta FD 4.2 at pH 10 and 6.6 at pH 12.*

### PENDAHULUAN

Limbah Kimia Radioaktif Cair (LKRC) adalah limbah radioaktif cair yang mengandung bahan/konstituen kimia dalam konsentrasi relatif tinggi. Pada kondisi tertentu pengolahan LKRC perlu diawali dengan mengatasi bahan/konstituen kimia tersebut karena keberadaannya yang mengganggu proses pengolahan. Sebagai contoh pengolahan limbah radioaktif cair (LRC) dengan cara evaporasi mensyaratkan pH limbah umpan harus netral dan ekstrak kering tidak lebih dari 5 g/L. Dengan demikian LRC yang membentuk endapan saat dinetralisir tidak dapat dievaporasi.

Limbah cair yang berasal dari Laboratorium radioaktif pada umumnya merupakan LKRC. Demikian pula proses produksi I-131 menyisakan limbah yang mengandung kromium konsentrasi tinggi. Sampai tahun 2012 tersimpan lebih dari 2500 liter LKRC yang berasal dari berbagai laboratorium di BATAN, termasuk dari PT. Tjiwi Kimia dan Lembaga Eijkman RSCM. Limbah kimia radioaktif cair tersebut mempunyai pH < 1 dan membentuk endapan bila dinetralisasi.



Gambar 1. Limbah Kimia Radioaktif Cair di IS 1 PTLR

Pengendapan hidroksida merupakan metode yang praktis dan memberi dua manfaat sekaligus yaitu *setting* pH limbah dan mengendapkan kromium sehingga LKRC tersebut dapat diolah lanjut dengan melakukan evaporasi terhadap beningan setelah pemisahan endapan yang diperoleh. Proses pengendapan menggunakan soda kaustik 40 % yang akan menghasilkan banyak endapan hidroksida dimana setelah endapan dibiarkan mengendap diperoleh endapan separuh volume LKRC. Dengan karakteristik endapan *gelatinous* dan volume endapan yang besar diharapkan radionuklida terjerap secara efektif sehingga diperoleh konsentrasi radionuklida dalam endapan, sedangkan beningan hasil proses diperkirakan telah memenuhi kriteria sebagai umpan evaporator atau dapat diolah dengan proses pengolahan lainnya yang mungkin dipilih seperti penukar ion.

## TEORI

Pengolahan limbah secara kimia yang umum diterapkan adalah metode pengendapan. Komponen limbah berbahaya diharapkan dapat diendapkan atau turut mengendap bersama dengan endapan yang terbentuk[1,2,3]. Metode pengendapan yang mungkin dipilih dipertimbangkan berdasarkan komposisi limbah dan pengolahan lanjut setelah proses pengendapan. Pengaturan pH limbah menjadi salah satu metode pengendapan yang sangat potensial. Hal ini karena netralisasi limbah merupakan langkah pra-pengolahan yang secara praktis mudah dilakukan dengan cara menambahkan larutan basa sampai pH tertentu. Banyak kation-kation termasuk logam berat yang mengendap sebagai hidroksida pada pH di atas netral seperti Ba, Sr, Ca, Mg, Mn, Cd, Pb, Fe, Ni, Co, Zn, Cu, Hg, Sn, Cr, Fe, dan Al, bahkan pada kondisi konsentrasi kation cukup tinggi maka proses pengendapan sudah mulai berlangsung pada pH yang lebih rendah[2,4]. Secara umum kebanyakan kation akan mengendap pada pH 10, akan tetapi pada proses pengendapan sesungguhnya perlu juga dipertimbangkan kondisi penanganan lanjut dari beningan yang diperoleh.

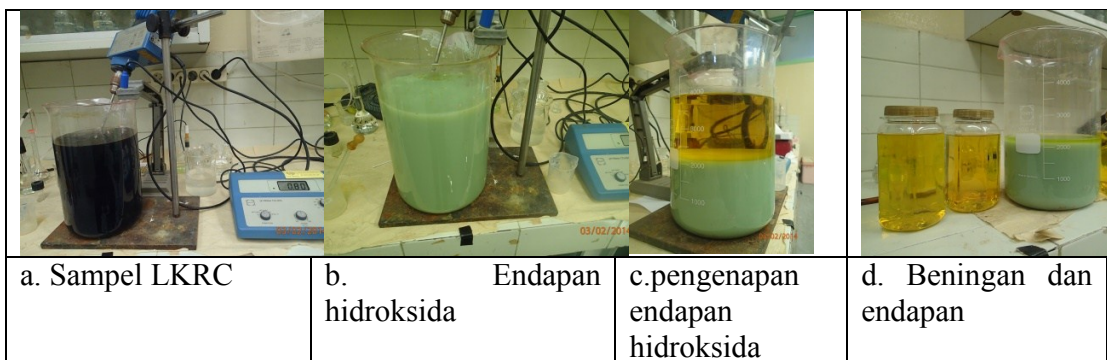
Endapan merupakan senyawa kimia tak larut yang secara teoritis mempunyai harga hasil kali kelarutan (ksp) sangat rendah sebagai contoh aluminium hidroksida  $1,9E-33$ , besi hidroksida  $2,6E-39$ . Dengan adanya kandungan kromium III dalam LKRC maka dapat dilakukan pengendapan dengan penambahan soda kaustik sesuai reaksi:  $Cr^{3+} + 3 NaOH \rightarrow Cr(OH)_3 \downarrow + 3 Na^+$ . Krom hidroksida mempunyai nilai ksp  $6,7 \times 10^{-31}$  sehingga cukup efektif sebagai konstituen kimia inti endapan[2,4]. Wujud endapan hidroksida yang *gelatinous* mempunyai daya jerap yang tinggi terhadap logam berat ataupun radionuklida dibandingkan endapan kristalin, oleh karena itu maka dengan metode pengendapan ini dimungkinkan mencapai harga faktor dekontaminasi (FD) yang cukup berarti untuk tujuan mereduksi radioaktifitas[5,6].

Penjerapan radioanuklida dapat berlangsung melalui mekanisme kopresipitasi. Karena pembentukan kromium hidroksida berlangsung cepat seketika soda kaustik ditambahkan maka peristiwa yang dominan dalam hal ini adalah berupa oklusi yaitu masuknya radionuklida ke dalam kisi-kisi kristal pada proses pertumbuhan kristal endapan[5,6]. Selain itu peristiwa adsorpsi radionuklida pada permukaan endapan juga terjadi.

**CARA KERJA**

**Pengendapan Hidroksida**

Limbah kimia radioaktif cair dalam 26 drum *HDPE* *disampling* secara proporsional sehingga diperoleh  $\pm 10$  liter sampel LKRC yang *representative* seperti halnya bila 26 drum LKRC tersebut dicampur homogen. Ambil 100 mL sampel LKRC dalam *beakerglass*, lengkapi dengan elektrode pH, diaduk dengan alat *stirrer* yang dilengkapi dengan *magnetic bar*, tambahkan NaOH 5M sampai pH 7. Saring endapan dengan kertas saring dan corong *Buchner* (sistem vakum). Lakukan percobaan serupa (pengendapan sampai pH 8, 9, 10, 11, dan 12).

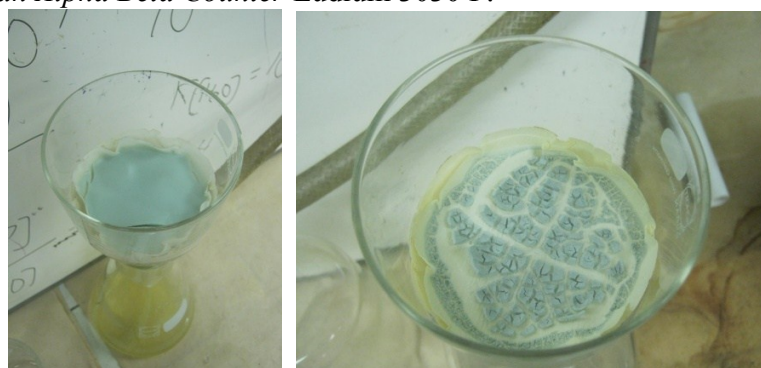


Gambar 2. Pengendapan LKRC dan hasil beningan (*supernatant*) dan endapan

### Pengukuran Radioaktivitas

Pipet 2 mL sampel: LKRC, beningan (*supernatant*) dalam planset. Keringkan menggunakan lampu pengering. Cacah *gross*  $\alpha$ ,  $\beta$  menggunakan *Alpha Beta Counter* Ludlum 3030 P. Endapan yang telah disaring menggunakan corong *Buchner* dikeringkan menggunakan lampu pengering.

Gerus menggunakan lumpang porselin, timbang 0,25 gram pada planset. Tambahkan 2 mL kolodium dan keringkan menggunakan lampu pengering. Cacah *gross*  $\alpha$ ,  $\beta$  menggunakan *Alpha Beta Counter* Ludlum 3030 P.



a. Endapan hidroksida      b. Endapan hidroksida kering hasil filtrasi vakum

Gambar 3. Filtrasi endapan dan hasil pengeringan endapan

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah kimia radioaktif cair mempunyai radioaktivitas  $\alpha$  1,25  $\mu\text{Ci/L}$  dan  $\beta$  58,5  $\mu\text{Ci/L}$ , setelah proses pengendapan tampak bahwa radioaktivitas  $\alpha$  menurun sampai 0,024  $\mu\text{Ci/L}$ . Maka faktor dekontaminasi (FD) yang dicapai sebesar 52. Untuk berbagai variasi *setting* pH akhir (8 s/d 12) diperoleh nilai yang sama. Hal ini menunjukkan kondisi pH akhir proses pengendapan tidak memberikan pola penjerapan yang berbeda terhadap radionuklida pemancar  $\alpha$ . Konsentrasi kromium yang relatif tinggi dalam LKRC menghasilkan endapan *gelatinous* krom hidroksida yang *massif* dengan kuantitas yang sama untuk berbagai *setting* pH akhir pengendapan. Di sisi lain radionuklida pemancar  $\alpha$  yang merupakan inti berat mempunyai kecenderungan kuat untuk terjerap dalam endapan ataupun terkopresipitasi.

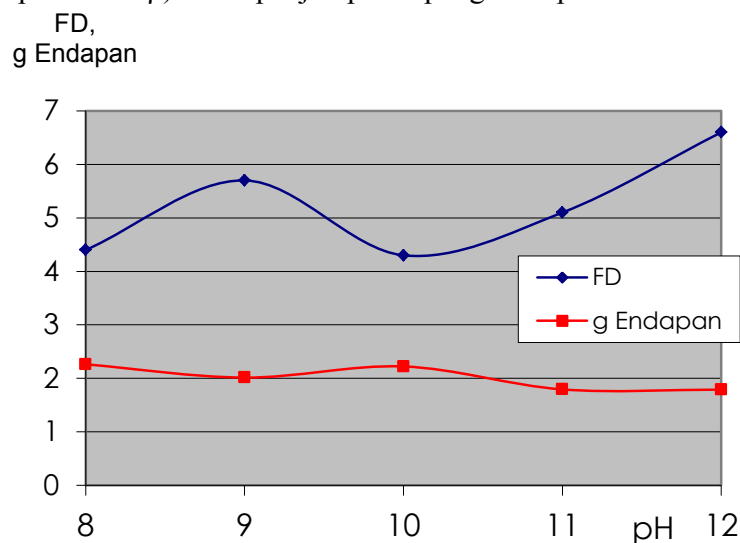


Tabel 1. Data Radioaktifitas Beningan dan Endapan LKRC

		Beningan (Supernatant)		Endapan (Presipitat)		
		Gross $\alpha$ $\mu\text{Ci/L}$	Gross $\beta$ $\mu\text{Ci/L}$	Massa (gram/100 mL LKRC)	Gross $\alpha$ $\mu\text{Ci/kg}$	Gross $\beta$ mCi/kg
LKRC		1,250	58,5			
pH akhir pengendapan	8	0,024	13,3	2,263	12,3	1,8
	9	0,024	10,3	2,015	33,1	2,9
	10	0,024	13,9	2,223	7,3	1,7
	11	0,024	11,4	1,794	23,3	2,6
	12	0,024	8,9	1,790	12,7	2,1

Sampel untuk pencacahan: beningan 2 mL, endapan 0,25 g  
Efisiensi pencacahan  $\alpha$  0,5620, efisiensi pencacahan  $\beta$  0,2945

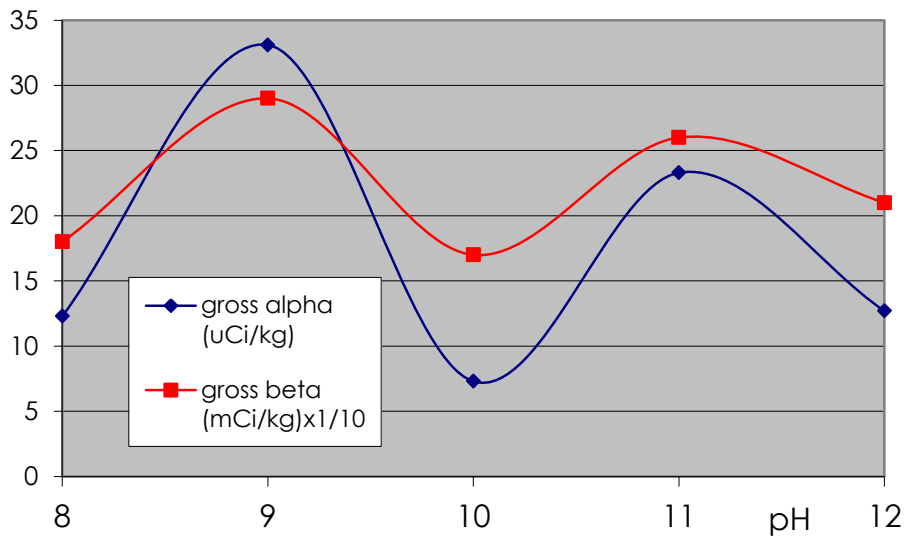
Radioaktivitas  $\beta$  mengalami penurunan yang bervariasi pada berbagai *setting* pH akhir pengendapan, FD minimum 4,2 pada pH 10 dan maksimum 6,6 pada pH 12. Berdasarkan data dan kurva FD di atas tampak bahwa untuk radionuklida pemancar  $\beta$  yang biasanya juga merupakan pemancar  $\gamma$  dan berasal dari unsur-unsur dengan massa yang lebih ringan dibandingkan pemancar  $\alpha$  maka penjerapannya oleh endapan tidak se-efektif seperti halnya pemancar  $\alpha$ , tetapi lebih dipengaruhi konsentrasi ion hidroksil dan interaksi elektrostatis dengan inti endapan  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ . Jadi dalam hal ini penjerapan berlangsung lebih efektif bagi radionuklida unsur-unsur berat seperti radionuklida pemancar  $\alpha$ , dan untuk unsur-unsur yang lebih ringan (radionuklida pemancar  $\beta$ ) maka penjerapan dipengaruhi pH.



Gambar 4. Capaian FD (berdasarkan *gross*  $\beta$ ) pada berbagai pH akhir pengendapan

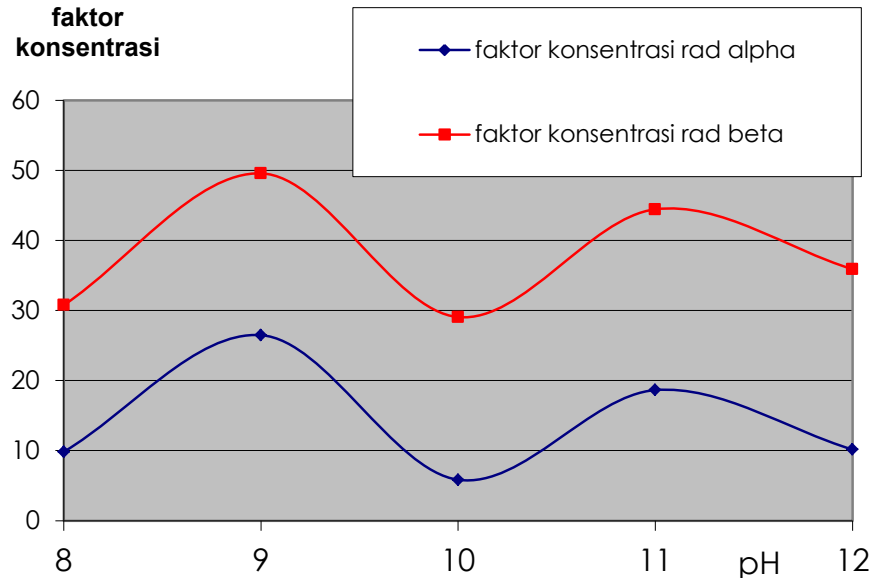
Tidak ada korelasi langsung antara massa endapan yang terbentuk (pada pH 8 s/d 12) dengan capaian FD, khususnya pada skala percobaan dengan sejumlah kecil volume LKRC.

aktivitas jenis



Gambar 5. Radioaktivitas jenis  $\alpha$  dan  $\beta$  dalam endapan hidroksida LKRC

Endapan hidroksida yang diperoleh mempunyai radioaktivitas jenis jauh lebih tinggi dibandingkan beningan maupun LKRC, hal ini menunjukkan berlangsungnya konsentrasi radionuklida di dalam endapan. Untuk massa yang relatif sama (1 liter beningan atau LKRC dengan 1 kg endapan) dapat digambarkan faktor pemekatan aktifitas sebagai berikut:



Gambar 6. Faktor konsentrasi (pemekatan) radioaktifitas endapan terhadap LKRC

Faktor konsentrasi (pemekatan) radioaktivitas endapan terhadap radioaktivitas LKRC mempunyai kecenderungan yang identik untuk alpha maupun beta. Keduanya mempunyai titik optimum pada pH 9 dan 11. Faktor konsentrasi beta 20 s/d 25 kali lebih tinggi dari alpha. Hal ini menunjukkan bahwa radionuklida pemancar beta sangat terkonsentrasi dalam endapan walaupun di akhir proses pengendapan endapan masih tersisa lebih banyak komponen ini di dalam beningan.

## KESIMPULAN

Karakteristik LKRC tidak memungkinkan diolah secara langsung dengan cara evaporasi, tetapi harus diendapkan terlebih dahulu menggunakan soda kaustik membentuk endapan *gelatinous* krom hidroksida yang efektif menurunkan radioaktifitasnya. Kemudian endapan hidroksida disaring dengan penyaring vakum dan dikeringkan agar diperoleh reduksi volume yang besar dan memudahkan dalam kondisioning.

Percobaan skala laboratorium dengan variasi pH akhir pengendapan antara 8 s/d 12 memberikan FD alpha sebesar 52, sedangkan FD beta berkisar antara 4,2 pada pH 10 dan 6,6 pada pH 12. Beningan (*supernatant* dan filtrat) yang masih mengandung radioaktifitas selanjutnya dapat diolah dengan evaporasi ataupun metoda lain seperti penukar ion.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. MANAHAN, STANLEY E., "Quantitative Chemical Analysis", Brooks/Cole Publishing Co., Pacific Grove, CA, 1986.

- [2]. STOWE, ELIZABETH, "*Flocculants: Flocculants Provide a Potpourri of Water and Industrial Wastewater Treatment Solutions*", Hazmat World, March, 1990.
- [3]. HARRY M. FREEMAN, "*Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal*", McGraw Hill, New York, 1989.
- [4]. DAY, R.A., UNDERWOOD, A.L., "*Analisa Kimia Kuantitatif*", edisi keenam, 1998, Jakarta.
- [5]. Environmental Protection Agency, "*Method 3919 Gross Alpha and Gross Beta*", 1995.
- [6]. University of Colorado Boulder. "*Radioactivity and Counting Statistics*", 2003.

## PERAWATAN PERALATAN ELEKTRIK PADA PANEL I 33001 UNIT SEMENTASI

**Tri Salyo**

Pusat Teknologi Limbah Radoaktif-BATAN

### ABSTRAK

**PERAWATAN PERALATAN ELEKTRIK UNIT SEMENTASI.** Pada Tahun Anggaran 2013 telah dilakukan perawatan peralatan elektrik pada Panel I 33001 Unit Sementasi yang meliputi perawatan fisik, perbaikan peralatan elektrik pada panel I 33001 serta penyusunan program perawatan peralatan elektrik Unit Sementasi. Perawatan peralatan ini bertujuan untuk memaksimalkan kemampuan peralatan elektrik pada Panel I 33001 Unit Sementasi yang telah beroperasi cukup lama sehingga proses imobilisasi limbah cair dan semi cair dapat berjalan lancar. Perawatan dilakukan dengan cara preventif dan korektif yaitu pemeriksaan fisik secara langsung (visual dan menggunakan alat ukur bantu), pemanasan berkala, penggantian spare part dan perbaikan. Hasil yang diperoleh berupa program perawatan berkala terhadap 28 kelompok peralatan mekanik, pembersihan fisik alat, penggantian ,perbaikan, penggantian spare part berkala. Dari hasil perawatan peralatan elektrik unit sementasi tersebut telah berhasil melakukan proses imobilisasi limbah semi cair (sludge) sebanyak 6 shell beton 950 liter dengan lancar.

**Kata kunci :** perawatan, peralatan elektrik,

### ABSTRACT

**ELECTRICAL EQUIPMENT ON PANEL I 330001 MAINTENANCE UNIT CEMENTATION.** In Fiscal Year 2013 has been taken care of electrical equipment Cementation Unit that includes physical care, repair and replacement of electrical parts and electrical equipment maintenance programming Cementation Unit. Maintenance equipment is intended to maximize the ability of electricall equipment Cementation Unit that has operated long enough for the immobilization of liquid and semi-liquid waste can run smoothly. Treatment is done by preventive and corrective namely direct physical examination (visual aids and using a measuring instrument), periodic operation, replacement of spare parts and repairs. The results obtained in the form of a regular maintenance program to the groups of electricall equipment, physical cleaning tools, replacing , repair, replacement spare parts and operation equipment regularly. From the results of electrical equipment maintenance cementation unit has managed to make the process of immobilization semi liquid waste (sludge) as 6 950 liters of concrete shell smoothly.

**Keywords:** maintenance, electrical equipment,

### PENDAHULUAN

Unit Sementasi sebagai bagian dari Sub Bidang Pengolahan Limbah Cair (PLC) Bidang Pengolahan Limbah (BPL) Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) merupakan salah satu unit penting dalam rangkaian pengelolaan limbah radioaktif khususnya pada pengolahan limbah radioaktif cair dan semi cair serta penyediaan material semen pasir kering untuk kegiatan imobilisasi pada unit lain. Hal ini karena Unit Sementasi merupakan proses terakhir dari rangkaian pengolahan limbah radioaktif cair dan semi cair.

Proses pengolahan limbah cair dan semi cair yang lebih dikenal dengan istilah proses imobilisasi merupakan proses pengungkungan limbah radioaktif cair atau semi cair dengan cara mencampurkan material kering berupa pasir dan semen serta aditif kedalam shell 950 liter yang telah diisi oleh limbah radioaktif cair atau semi cair dengan volume tertentu ( limbah resin = 266 liter, limbah konsentrat 235 liter). Untuk memperoleh tingkat homogen yang diinginkan, dilakukan pengadukan menggunakan pengaduk statis yang terdapat di ruang proses (*hot cell*) R 4.0.01.

Seluruh kegiatan proses pengolahan limbah dapat dikendalikan melalui panel pengendali proses sementasi yang terdapat di ruang R 2.0.06. Pengendalian proses secara

garis besar dibagi menjadi 3 (tiga) kelompok panel pengendali yaitu Panel I 33008, I 33009 dan I 33010. Panel I 33008 berfungsi sebagai panel pengendali untuk kegiatan penerimaan, pengiriman dan penakaran limbah cair atau semi cair. Panel I 33009 berfungsi sebagai pengendali proses homogenisasi. Panel I 33010 berfungsi sebagai pengendali pengiriman material kering yang terdiri dari pasir, semen dan aditif.

Panel pengendali ini berfungsi untuk mengendalikan motor, sistem pneumatic dan hidrolis sebagai penggerak peralatan mekanik yang berada di Unit Sementasi. Motor digunakan untuk menggerakkan peralatan mekanik seperti screw conveyor, mixer, tool holder, trolley, exhaust fan, pompa dan stirrer. Pneumatik digunakan untuk menggerakkan valve dan piston pendorong diptray, sedangkan hidrolis digunakan untuk menggerakkan valve pada mixer.

Dalam pelaksanaannya peralatan elektrik secara langsung saling berhubungan satu sama lainnya. Apabila terjadi kegagalan pada salah satu peralatan mekanik tersebut maka proses pengolahan limbah konsentrat dan semi cair akan terganggu. Untuk itu perlu kegiatan yang mampu menjaga kondisi peralatan elektrik tersebut dalam keadaan prima. Program perawatan berkala menjadi satu pilihan yang tepat mengingat kondisi peralatan proses sementasi yang relatif telah memiliki masa operasi yang lama.

Tujuan dari kegiatan perawatan peralatan mekanik Unit Sementasi adalah memperoleh kondisi peralatan elektrik yang maksimal dengan pertimbangan masa operasi peralatan yang sudah lama sehingga proses imobilisasi limbah radioaktif cair dan semi cair pada Unit Sementasi dapat dilaksanakan dengan lancar.

## DASAR TEORI

Kegiatan perawatan mempunyai peranan yang sangat penting yaitu sebagai pendukung beroperasinya sistem sesuai yang dikehendaki serta dapat meminimalkan biaya atau kerugian – kerugian yang ditimbulkan karena adanya kerusakan peralatan. Perawatan dapat dibagi menjadi beberapa macam, tergantung dari dasar yang dipakai untuk menggolongkannya, tetapi pada dasarnya terdapat dua kegiatan pokok dalam perawatan yaitu perawatan preventif yang dimaksud untuk menjaga keadaan peralatan sebelum peralatan itu rusak dan perawatan korektif yang dimaksud untuk memperbaiki peralatan yang rusak.

### 1. Perawatan preventif

Perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) merupakan pencegahan sistematis, penjadwalan berkala dengan interval tetap, dan melaksanakan pembersihan, serta perbaikan mesin atau sistem dengan baik dan tepat waktu. Kegiatan ini dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan dan menemukan kondisi yang dapat menyebabkan sistem mengalami kerusakan pada saat dipergunakan dalam proses produksi. Dalam pelaksanaannya, kegiatan perawatan pencegahan dapat dibedakan atas dua macam, yaitu:

- Perawatan rutin (*Routine Maintenance*), kegiatan perawatan yang dilakukan secara rutin, misalnya setiap hari.
- Perawatan berkala (*Periodic Maintenance*), kegiatan perawatan yang dilakukan secara berkala dan dalam jangka waktu tertentu, misalnya setiap satu minggu sekali, hingga satu tahun sekali. Perawatan ini dapat dilakukan berdasarkan lamanya jam kerja mesin.

### 2. Perawatan korektif

Perawatan perbaikan (*corrective maintenance*) merupakan kegiatan yang dilakukan setelah komponen benar-benar telah mengalami kerusakan sehingga tidak dapat beroperasi.

Kerusakan komponen ini biasanya akan ditandai dengan ditemukannya produk yang dihasilkan tidak sedikit mengalami kecacatan (Nandiroh, 2006).

Tujuan dari perawatan adalah untuk menjaga serta mempertahankan kelangsungan operasional dan kinerja system agar produksi dapat berjalan tanpa hambatan . Jika suatu sistem mengalami kerusakan maka akan memerlukan perawatan perbaikan.

## TATA KERJA

### Bahan, peralatan dan waktu pelaksanaan

Bahan yang digunakan terdiri cairan pembersih karat, dan lain-lain. Alat yang digunakan berupa toolkit elektrik, AVO Meter Tachometer, Alat ukur kebisingan, Alat ukur getaran, tang ampere, dan lain-lain. Kegiatan dilakukan pada Unit Sementasi Bidang Pengolahan Limbah Pusat Teknologi Limbah Radioaktif BATAN tahun anggaran 2013.

### II.2. Metode

Perawatan peralatan elektrik pada panel I 33001 menggunakan metode perawatan preventif dan korektif. Perawatan preventif dilakukan dengan cara pembersihan, pemeriksaan fisik secara langsung (visual dan menggunakan alat ukur), pemanasan berkala serta penggantian dan penambahan pelumas. Sedangkan untuk perawatan korektif dilakukan dengan cara penggantian spare part dan perbaikan. Apabila diperlukan maka dapat juga dilakukan modifikasi peralatan proses agar lebih menunjang kelancaran proses imobilisasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN.

Pada tahun anggaran 2013 telah dilakukan perawatan peralatan elektrik Unit Sementasi terhadap 4 ( empat) unit peralatan elektrik. Hasil yang diperoleh dari perawatan tersebut adalah :

### 1. Hasil Perawatan Preventif

NO	PEMERIKSAAN	KONDISI AKHIR	KETERANGAN
1	Fuse	Berfungsi baik	
2	MCB	Berfungsi baik	
3	Konektor , Papan Penghubung Rangkaian dalam panel	Berfungsi baik	
4	Push Button & SaklarTPL	Berfungsi baik	

Untuk pemeriksaan lebih lanjut di Komponen –komponen elektrik perlu direncanakan untuk kesinambungan pengoperasian peralatan mengingat usia pakai dari peralatan dan ketersediaan suku cadang peralatan.

Peralatan yang ada di panel elektrik sudah waktunya direvitalisasi mengingat usia pakai sudah diatas 25 tahun.

Revitaliasi dapat dilakukan dengan mengganti suku cadang yang vital bagi operasional peralatan. Dan untuk peralatan yang ketersediaan suku cadang nya susah dicari di pasaran.

## KESIMPULAN

- Pembuatan rencana kegiatan perawatan peralatan elektrik pada panel I 33001 Unit Sementasi sangat membantu dalam mendeteksi awal kondisi peralatan elektrik unit sehingga dapat mengambil langkah langkah pencegahan mengingat usia peralatan yang sudah cukup lama sehingga kondisi peralatan dapat tetap terjaga.
- Perawatan peralatan elektrik pada panel i 33001 unit Unit Sementasi berhasil memaksimalkan peralatan yang ada sehingga dapat melakukan proses imobilisasi limbah radioaktif sebanyak 6 shell 950 liter dengan kondisi relatif lancar.

## SARAN

- Ketersediaan anggaran untuk perawatan agar memadahi karena sangat menunjang tercapainya hasil yang maksimal dari perawatan tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1.] BATAN-TECHNICATOME , System Note, “Solid, Semi Liquid , Liquid Waste Treatment”, WSPG 330 NSN 9001, 1986
- [2.] P2PLR-BATAN, “ Prosedur Tetap Unit Sementasi ”, revisi I 2003
- [3.] P2PLR-BATAN, “ Petunjuk Pelaksanaan Unit Sementasi ”, revisi I 2003
- [4.] P2PLR-BATAN, “ Laporan Analisa Kecelakaan ”, revisi IV 2000
- [5.] BATAN-TECHNICATOME , Electrical Diagram, “Solid, Semi Liquid , Liquid Waste Treatment”, WSPG 330 GSN 9001, 1988



## INTEGRASI SISTEM PEMANTAU RADIASI TERPUSAT IPLR DAN KH-IPSB3 BERBASIS KOMPUTER

Adi Wijayanto\*), I. Putu Susila \*\*), Yhon Irzon\*), Syah D.\*), Sugianto\*),  
Parjono\*), Purwantara\*), Mahmudin\*), M. Cecep Cepi H.\*).

\*) Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

\*\*\*) Pusat Perekayasa Perangkat Nuklir-BATAN

### ABSTRAK

**INTEGRASI SISTEM PEMANTAU RADIASI TERPUSAT IPLR DAN KH-IPSB3 BERBASIS KOMPUTER.** Pusat Teknologi Limbah Radioaktif Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTLR-BATAN) memiliki instalasi nuklir yaitu Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) dan Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas(KH-IPSB3) dan Ruang penyimpanan sementara untuk limbah radioaktif baik yang beraktivitas rendah, sedang maupun tinggi dari berbagai jenis radionuklida. PTLR-BATAN telah mengolah limbah radioaktif dari seluruh Indonesia, baik dari internal BATAN maupun dari instansi luar BATAN. Disamping itu, PTLR-BATAN juga menyimpan Bahan Bakar Nuklir Bekas dari internal BATAN. Pemantauan laju dosis radiasi pada daerah kerja menggunakan sistem pemantau radiasi gamma terpusat berbasis komputer. Sistem pemantau radiasi gamma terpusat ini sudah dapat memantau laju dosis IPLR dan KH-IPSB3, namun belum terintegrasi dalam sebuah sistem. Data laju dosis IPLR terkumpul di server yang berada di gedung 50 dan data laju dosis KH-IPSB3 dikirimkan dari gedung 38 ke gedung 50 melalui jaringan wireless point to point, dikumpulkan dan diintegrasikan dalam komputer server. Data laju dosis ditampilkan dalam display monitor berukuran 32 inch. Data pengukuran laju dosis IPLR dan KH-IPSB3 ini dapat menjadi informasi dini kepada pekerja radiasi.

**Kata kunci :** Laju Dosis, Limbah Radioaktif, Bahan Bakar Nuklir Bekas, Telemetry, Komputer Server.

### ABSTRACT

**INTEGRATION OF RADIATION MONITORING SYSTEM DESIGN FOR TRANSFER CHANNEL-INTERIM STORAGE FOR SPENT FUEL (TC-ISSF).** *Radioactive Waste Technology Center National Nuclear Energy Agency (PTLR-BATAN) has a nuclear installation is Radioactive Waste Treatment Plant, Transfer Channel-Interim Storage for Spent Fuel (TC-ISSF) and installation of interim storage for radioactive waste both active low, medium or high of the various types of radionuclides. PTLR-BATAN has to process radioactive waste from all over Indonesia, internal BATAN or from outside agencies BATAN. In addition, PTLR-BATAN also store of Used Nuclear Fuel internal BATAN. To determine the radiation dose rate at the work area using gamma radiation monitoring system centralized computer-based. Gamma radiation monitoring system is now able to centrally monitor the dose rate and the TC-ISSF IPLR, but has not been integrated into a system. IPLR dose rate data have been collected on the server that is located in building 50 and the data rate of the TC-ISSF dose delivered from building 38<sup>th</sup> to building 50<sup>th</sup> via a wireless network point to point, collected and integrated into the server computer. The dose rate data is displayed in the monitor display size of 32 inches. Dose rate measurement data IPLR dan TC-ISSF information may be premature to radiation workers.*

**Keywords:** *Dose rate, Radioactive Waste, Spent Nuclear Fuel, Telemetry, Computer Servers.*

## PENDAHULUAN

Salah satu syarat perijinan beroperasinya instalasi nuklir adalah adanya alat monitor radiasi [1]. Untuk mengetahui paparan radiasi pada daerah kerja yang jauh dan lebih dari satu daerah pemantauan, membutuhkan sebuah sistem telemonitoring paparan radiasi terpusat. Pada dasarnya sistem pemantau radiasi terpusat ini juga dapat dipakai pada semua instalasi nuklir. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif memiliki Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif dan Kanal Hubung-Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas. Limbah radioaktif dan bahan bakar bekas yang telah disimpan semakin bertambah banyak, maka tidak dapat dihindari lagi adanya peningkatan potensi bahaya paparan radiasi yang berisiko pada penerimaan dosis bagi pekerja.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 33 tahun 2007 tentang Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemanfaatan Radiasi Pengion dan Peraturan Pemerintah No 61 tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif. Apabila laju dosis radiasi telah diketahui, langkah-langkah proteksi radiasi yang sesuai dengan prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) dapat diambil untuk menjamin keselamatan dan kesehatan pekerja radiasi[2].

Tujuan dari integrasi sistem pemantau radiasi terpusat IPLR dan KH-IPSB3 berbasis komputer dengan datanya terpusat di Ruang *Health Physic* IPLR adalah untuk dapat mengetahui dengan cepat laju dosis radiasi gamma yang ada di ruang-ruang dalam IPLR dan KH-IPSB3 tanpa perlu mengukur laju dosis radiasi secara langsung dari dalam area tersebut (*in situ*) sehingga baik pekerja radiasi maupun petugas proteksi radiasi tetap dapat terjamin keselamatan dan kesehatannya.

Untuk mengetahui dengan cepat informasi data pengukuran laju dosis diperlukan integrasi sistem pemantau radiasi terpusat IPLR dan KH-IPSB3 berbasis komputer dan datanya terpusat di Ruang *Health Physic* IPLR berupa laju dosis pada setiap ruangan pada IPLR dan KH-IPSB3. Data laju dosis ini juga ditampilkan dalam monitor 32 inch di lobby IPLR.

## TATA KERJA

### Bahan dan Peralatan

Sistem pemantau radiasi terpusat IPLR, sistem pemantau radiasi terpusat KH-IPSB3, komputer mini (*Raspberry Pi*), monitor 32", antena *grid* dan *access point* serta komputer server terintegrasi.

Komputer server di Ruang *Health Physics* [4] diinstall dengan webserver (*Apache, PHP* dan *MySQL Server*) serta terhubung ke komputer server sistem pemantau radiasi terpusat IPLR dan KH-IPSB3.

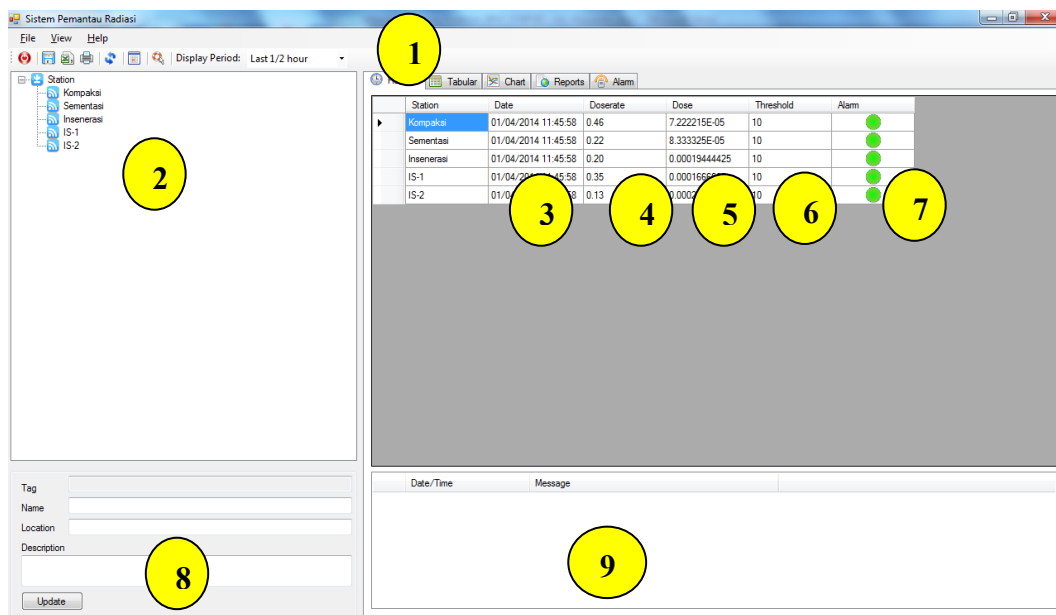
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Integrasi sistem pemantau radiasi terpusat merupakan gabungan sistem pemantau radiasi terpusat IPLR dan KH-IPSB3. Sistem terpusat ini menampilkan data pengukuran laju dosis radiasi IPLR dan KH-IPSB3. Program perangkat lunak penampil secara visual dibuat dengan menggunakan program visual C#. Ruangan

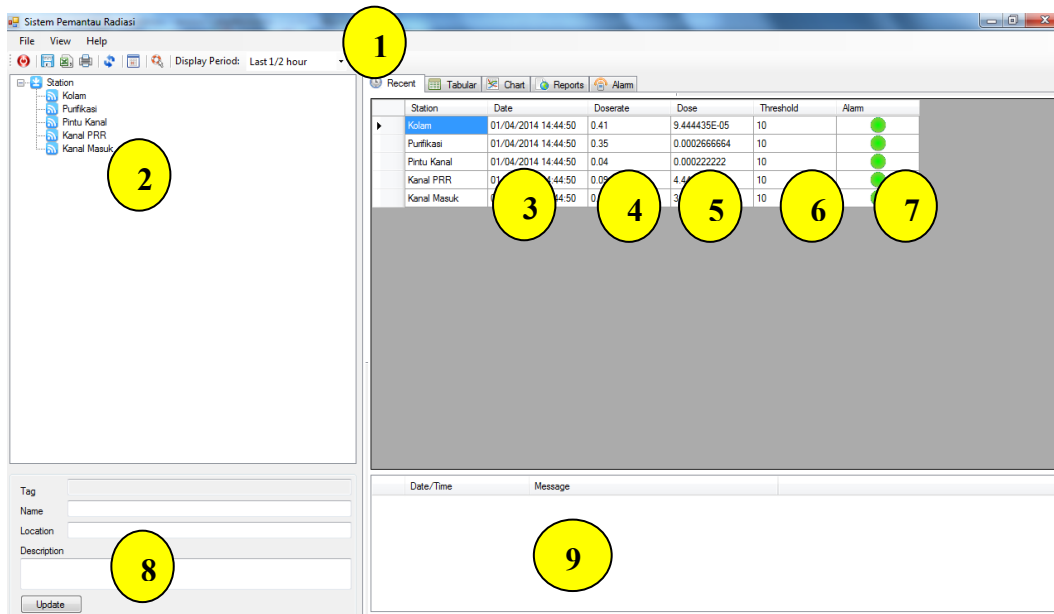
IPLR yang dipantau laju dosis radiasinya adalah RuangSementasi, Ruang Kompaksi, Ruang Insenerasi, *Interim Storage-1* (IS-1) dan *Interim Storage-2* (IS-2) sedangkan ruangan KH-IPSB3 yang dipantau laju dosis radiasinya di Ruang Kolam, Ruang Pintu Kanal, Ruang Kanal Masuk, Ruang Purifikasi dan Ruang Kanal.

Data yang ditampilkan dalam Program Perangkat Lunak Sistem Pemantau Radiasi Terpusat meliputi nama ruangan (*Station*), tanggal (*Date*), Laju Dosis (*Doserate*) dalam  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ , Dosis (*Dose*) dalam  $\mu\text{Sv}$ , Batasan Alarm/ Daerah Kerja (*Threshold*) dan Simbol Alarm (*Alarm*). Data laju dosis yang ditampilkan tersimpan dalam database *MySQL Server* dan dapat ditampilkan secara grafik maupun tabel.

Program Perangkat Lunak Sistem Pemantau Radiasi Terpusat KH-IPSB3 sebagai berikut:



Gambar 1. Program Perangkat Lunak Sistem Pemantau Radiasi Terpusat IPLR



Gambar 2. Program Perangkat Lunak Sistem Pemantau Radiasi Terpusat KH-IPSB3

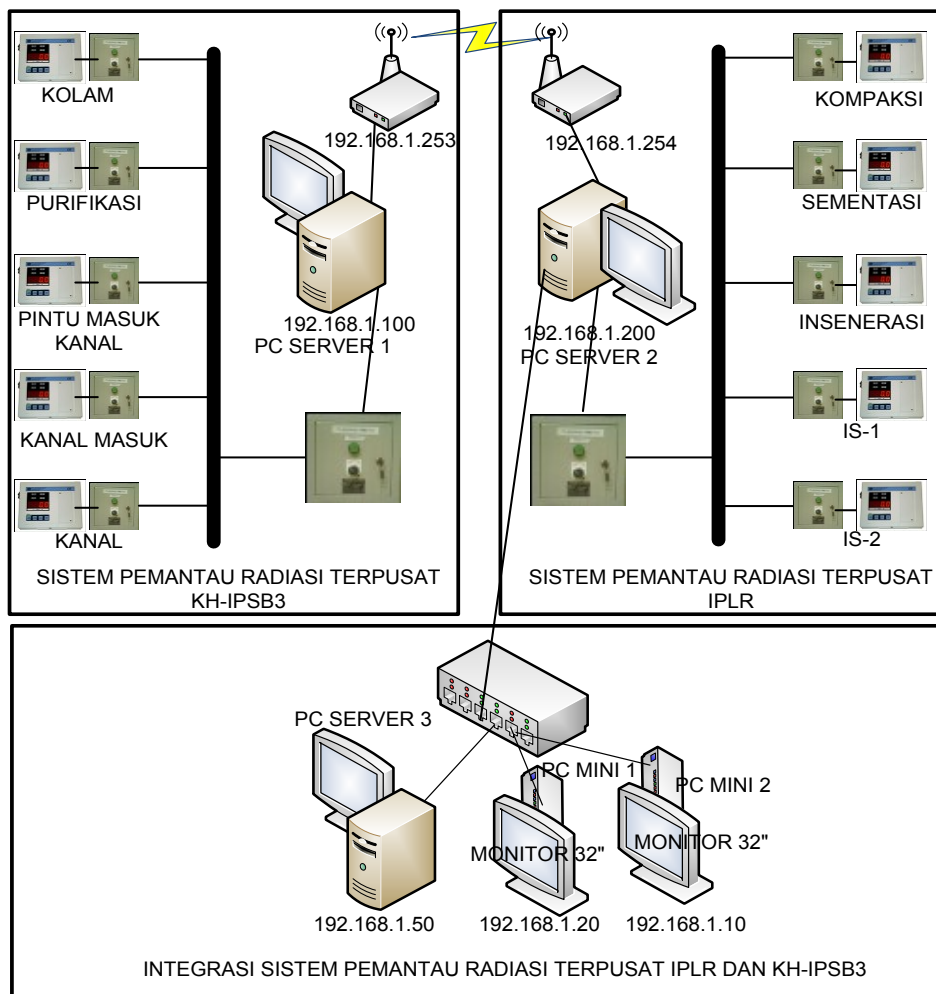
Keterangan:

1. *Toolbar menu* berfungsi untuk mengakses dengan cepat laporan laju dosis radiasi dan tingkat kontaminasi pada periode tertentu.
2. *Station* berfungsi untuk mengetahui ruang pengukuran pada gedung KH-IPSB3.
3. *Date* berfungsi untuk mengetahui waktu pengukuran yang sedang berlangsung meliputi tanggal, jam, menit dan detik.
4. *Doserate/ CPS* berfungsi untuk menampilkan data pengukuran laju dosis atau pencacahan tingkat kontaminasi udara
5. *Dose/ Activity* berfungsi untuk menampilkan dosis atau aktivitas pengukuran
6. *Threshold* berfungsi untuk mengatur Batasan Kondisi Operasi (BKO).
7. *Alarm* berfungsi sebagai indikator jika terjadi alarm, hijau = normal, merah = alarm.
8. *Tag* berfungsi untuk informasi stasiun pemantauan
9. *History* berfungsi untuk memberikan catatan rekaman kejadian alarm.

Data yang diperoleh dari penggunaan sistem pemantau radiasi terpusat ini digunakan untuk mempermudah analisa keselamatan berdasarkan besarnya paparan radiasi di IPLR dan KH-IPSB3. Hasil pengukuran akan ditampilkan oleh komputer dilengkapi dengan bentuk *database* dan grafik yang *realtime* menggunakan pemrograman Visual C# 2008. Integrasi dilakukan dengan membuat program penampil program (PHP) yang sebelumnya sudah dibuat infrastruktur jaringannya.

Infrastruktur jaringan terdiri dari infrastruktur jaringan sistem pemantau radiasi yang berada di gedung IPLR dan KH-IPSB3. Infrastruktur jaringan menggunakan LAN (*Local Area Network*) dan WAN (*Wide Area Network*). Jaringan LAN menggunakan kabel (UTP) dan konektor RG45 sedangkan jaringan WAN menggunakan *Wireless* dengan perangkat *Acces Point* dan *Antena Grid*.

Berikut ini gambar infrastruktur jaringan sistem pemantau radiasi terpusat IPLR dan KH-IPSB3.



Gambar 3. Infrastruktur Jaringan Sistem Pemantau Radiasi Terpusat IPLR dan KH-IPSB3

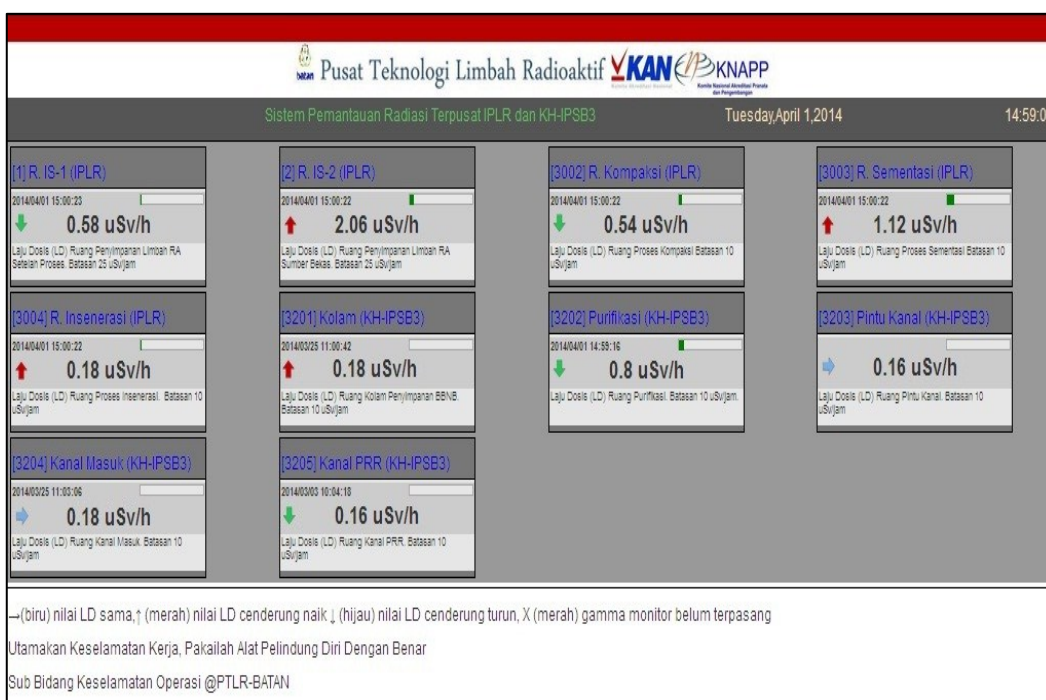
IP Address yang digunakan adalah kelas C, dan setiap perangkat jaringan harus berbeda dengan IP Address lainnya agar tidak terjadi IP Address yang konflik.

Tabel 1. IP Address Komputer dan Perangkat Jaringan Sistem Pemantau Radiasi Terpusat IPLR dan KH-IPSB3

Nama Komputer/ Perangkat Jaringan	IP Address	Fungsi
PC Server 1	192.168.1.100	Sebagai komputer server pengolah data laju dosis KH-IPSB3
PC Server 2	192.168.1.200	Sebagai komputer server pengolah data laju dosis IPLR
PC Server 3	192.168.1.150	Sebagai komputer server integrasi pengolah data laju dosis IPLR dan KH-IPSB3

PC Mini (Raspberry PI) 1	192.168.1.20	Sebagai komputer <i>client</i> penampil data laju dosis IPLR dan KH-IPSB3 di Lobby IPLR
PC Mini (Raspberry PI) 2	192.168.1.10	Sebagai komputer <i>client</i> penampil data laju dosis IPLR dan KH-IPSB3 di Ruang <i>Health Physic</i>

Integrasi sistem pemantau radiasi terpusat IPLR dan KH-IPSB3 menggunakan *server* lokal dengan sistem operasi *linux Debian versi 6.0.4*. Program dibuat dengan pemrograman *PHP* dan menggunakan database *MySQL Server*.



Gambar 4. Tampilan Integrasi Sistem Pemantau Radiasi Terpusat IPLR dan KH-IPSB3

Laju dosis yang ditampilkan adalah rata-rata setiap 30 detik dari sistem pemantau radiasi IPLR dan KH-IPSB3 yang terkumpul selama 2 detik.

Instalasi Nuklir yang belum menggunakan sistem pemantau radiasi secara terpusat, dapat mengadopsi sistem ini sehingga keselamatan kerja pekerja radiasi dapat terjamin. Untuk itu sistem pemantau radiasi terpusat secara komputerisasi dapat diaplikasikan untuk semua instalasi nuklir.

Secara umum sistem ini berguna untuk mempermudah dalam penyampaian informasi data dari laju dosis yang ada di ruangan-ruangan KH-IPSB3 tanpa perlu mengukur paparan radiasi secara langsung dari dalam area tersebut (*in situ*) sehingga baik pekerja radiasi maupun petugas proteksi radiasi tetap dapat terjamin keselamatan dan kesehatannya. Data laju dosis yang dihasilkan berupa *database* sehingga untuk mempermudah analisa keselamatan daerah kerjanya.

Dampak ekonomis, meliputi *safety* (keselamatan), aspek keselamatan pekerja radiasi dapat tercapai dengan mengetahui lebih cepat, sehingga dapat meminimisasi penerimaan dosis radiasi yang diterima pekerja. *time* (waktu) menjadi lebih efisien karena pemantauan dilakukan dengan terpusat pada satu ruangan. *cost* (biaya) akan lebih besar jika terjadi kecelakaan radiasi, karena penanganan kedaruratan lebih kompleks.

## KESIMPULAN

1. Integrasi sistem pemantau radiasi terpusat IPLR dan KH-IPSB3 berbasis komputer dapat mengetahui lebih awal informasi data laju dosis yang ada di ruangan-ruangan IPLR dan KH-IPSB3 tanpa perlu mengukur paparan radiasi secara langsung dari dalam area tersebut (*in situ*) sehingga baik pekerja radiasi maupun petugas proteksi radiasi tetap dapat terjamin keselamatan dan kesehatannya
2. Sistem pemantau radiasi terpusat ini dapat diadopsi untuk sistem pemantau radiasi terpusat pada semua instalasi nuklir.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ANONIM, Undang-Undang Negara Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran.
- [2]. ANONIM, Peraturan Pemerintah No 33 tahun 2007 tentang Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemanfaatan Radiasi Pengion
- [3]. ANONIM, Peraturan Pemerintah No 27 tahun 2002 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif.
- [4]. CHAMBER, HERMAN, *Introduction to Health Physics*, United States of America : Pergamon Press, 1983.
- [5]. PUTRA, AGFIANTO EKO, Belajar Microcontroller AT89S51/52/55 Teori dan Aplikasinya, Edisi 2, Yogyakarta : Penerbit Gaya Media 2002.
- [6]. PUTRA, AGFIANTO EKO, Teknik Antar Muka Komputer Konsep dan Aplikasi, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2002.
- [7]. TOCCI, RONALD J, *Digital Systems Principles and Application. United States of America: Prentise Hall International, Inc*, 1980.
- [8]. [www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc0368.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc0368.pdf), diakses Oktober 2011
- [9]. [www.batan.go.id/ptlr](http://www.batan.go.id/ptlr), diakses Oktober 2011
- [10]. [www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/Pengukuran\\_Radiasi](http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/Pengukuran_Radiasi), diakses Oktober 2011





---

## **PENINGKATAN DAN PENGEMBANGAN KESELAMATAN PROSES PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF DAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS Tahun 2013**

**M.Cecep C.H., L.Kwin P., Adi W., M.Romli, Arie Budianti, Mahmudin**  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif -BATAN

### **ABSTRAK**

**PENINGKATAN DAN PENGEMBANGAN KESELAMATAN PROSES PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF DAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS TAHUN 2013.** Telah dilakukan kegiatan peningkatan dan pengembangan keselamatan proses pengelolaan limbah radioaktif dan bahan bakar bekas dengan melakukan revitalisasi peralatan proteksi radiasi sehingga data pemantauan dapat diperoleh secara cepat. Pengembangan dilakukan dengan pemasangan gamma area monitor di insenerator dan pembuatan sistem pemantauan radiasi terpusat IPLR dan KH-IPSB3. Kegiatan lain melakukan pemantauan keselamatan radiasi dan non radiasi di Instalasi Pengolahan limbah radioaktif (IPLR) dan Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Bahan Bakar nuklir Bekas (KH-IPSB3) selama tahun 2013. Pengendalian dilakukan dengan pemantauan laju dosis, kontaminasi udara dan permukaan, pemantauan dosis kumulatif di daerah kerja. Tujuan pemantauan adalah untuk memberikan perlindungan kepada pekerja agar dapat bekerja secara aman. Hasil pemantauan masih jauh dibawah nilai batas yang telah ditentukan.

### **ABSTRACT**

**IMPROVEMENT AND DEVELOPMENT OF SAFETY ON RADIOACTIVE WASTE AND SPENT FUEL MANAGEMENT IN 2013.** Has been carried out and development activities to improve process safety management of radioactive waste and spent fuel by revitalizing radiation protection equipment so that monitoring data can be obtained quickly. Development is done by mounting area gamma monitors in the incinerator and manufacture of radiation monitoring systems and centralized for Radioactive waste instalation (RWI) and Transfer Channnel Interim Storage For Spent Fuel (TC-ISFSF). Other activities to monitor radiation and non- radiation safety in RWI and TC-ISFSF during the year 2013. Control is done by monitoring the dose rate , contamination of air and surfaces , monitoring of cumulative dose in the work area. The purpose of monitoring is to provide protection to workers in order to work safely. The monitoring results are still far below a predetermined threshold value.

### **PENDAHULUAN**

Dalam Undang-undang No 10 tahun 1997, pasal 23 menyebutkan bahwa pengelolaan limbah radioaktif dilaksanakan oleh Badan Pelaksana. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) merupakan satu-satunya instansi di Indonesia yang dimiliki oleh Badan Pelaksana yaitu Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN).<sup>[1]</sup> Limbah radioaktif yang dikelola di PTLR berasal dari internal Batan dan eksternal Batan seperti industri dan rumah sakit yang mempergunakan bahan radioaktif sebagai salah satu kegiatannya.

Keselamatan harus menjadi prioritas utama pada seluruh tahap kegiatan, dan menjadi pertimbangan utama baik secara organisasi maupun perorangan. Pengolahan limbah radioaktif mempunyai potensi bahaya radiasi maupun non radiasi bagi manusia maupun lingkungan hidup sehingga perlu dilakukan pengelolaan yang benar agar tidak membahayakan baik bagi pekerja maupun

masyarakat dan lingkungan. Program pengendalian daerah kerja merupakan upaya untuk mewujudkan keselamatan dalam pengelolaan limbah radioaktif yang dilaksanakan secara periodik dan terus menerus. Program ini sesuai dengan keputusan Kepala Batan Nomor 392/KA/XI/2005 tentang Organisasi dan Tata Kerja Batan pasal 302, yang dilaksanakan oleh Subbidang Pengendalian Daerah Kerja Bidang Keselamatan dan Lingkungan Pusat Teknologi Limbah Radioaktif.<sup>[2]</sup> Pengendalian daerah kerja juga sebagai upaya untuk memenuhi peraturan yang telah dikeluarkan dalam melindungi keselamatan dan kesehatan pekerja dari potensi bahaya radiasi dan non radiasi yang tertuang dalam Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang “Keselamatan Radiasi Pngion dan Keamanan Sumber Radioaktif” pasal 24 ayat b, serta sebagai aturan pelaksanaannya adalah Keputusan Kepala BAPETEN No. 01/Ka-BAPETEN/V-99 tentang “Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi”, yang mengatur tentang batasan tingkat kontaminasi dan radiasi daerah kerja.<sup>[3,4]</sup>

Pengendalian daerah kerja tidak terbatas di IPLR namun juga di Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas (KH-IPSB3) yang telah menjadi tanggung jawab PTLR dalam pengelolaannya, dan telah memperoleh izin operasi dari BAPETEN.

Pada tahun anggaran 2013, kegiatan peningkatan dan pengembangan dalam pelaksanaan pemantauan sistem proteksi radiasi di IPLR, IS-1, IS-2 dan KH-IPSB3. Dengan peralatan pemantauan yang sesuai dan handal untuk berbagai pemancar radiasi, serta organisasi proteksi radiasi dan sumber daya manusia yang terencana, serta kesiapan personil dan peralatan dalam menghadapi tanggap darurat maka diharapkan keselamatan dan kesehatan pekerja dan masyarakat sekitarnya dapat terjamin.

Tujuan Kegiatan ini adalah :

1. Meningkatkan sistem proteksi radiasi untuk mengurangi dan menekan serendah mungkin efek stokastik serta tindakan preventif terhadap potensi bahaya non radiasi terutama bahaya kebakaran pada pekerja dalam pengelolaan limbah radioaktif, dan penyimpanan bahan bakar bekas.
2. Meningkatkan budaya keselamatan dalam pengelolaan limbah radioaktif, sehingga tercapai konsep ALARA.
3. Berfungsinya Alat pemantau radiasi dan kontaminasi di KH-IPSB3 dan IPLR dengan baik
4. Pemantauan laju dosis radiasi di IPLR dan KH-IPSB3 secara kontinyu (realtime) dan terintegrasi.
5. Pemasangan sistem telemonitoring paparan radiasi secara kontinyu dan terpusat berbasis komputer di IPLR dan KH-IPSB3 dengan menggunakan teknologi *microcontroller* dan prinsip pemograman yang dipusatkan di Ruang *Health Physics*.

## **TATA KERJA**

### **Bahan dan alat**

Dalam pemantauan daerah kerja peralatan yang digunakan adalah alat ukur radiasi dan kontaminasi, alat cuplik udara, alat cacah kontaminasi, alat pelindung diri dan peralatan pendukung lainnya. Sedangkan bahan yang dipergunakan

meliputi bahan dekontaminasi, kertas saring dan bahan pendukung lainnya.

## Metode

Metode pengendalian daerah kerja yang dilakukan meliputi :

### 1. Pemantauan Keselamatan Radiasi

Pemantauan keselamatan radiasi dilakukan untuk evaluasi tingkat risiko penerimaan dosis radiasi bagi pekerja di IPLR, tempat penyimpanan limbah sementara (*Interim Storage/IS*) dan KH-IPSB3. Kegiatan ini dilakukan dengan cara pemantauan laju dosis, tingkat kontaminasi udara, permukaan daerah kerja dan pakaian kerja sebelum pencucian, serta pemantauan dosis kumulatif daerah kerja. Data hasil pemantauan dapat digunakan sebagai bahan evaluasi dan perkiraan awal kemungkinan penerimaan dosis pekerja baik interna maupun eksterna, sehingga apabila terjadi ketidaknormalan dapat segera diketahui lebih awal untuk dilakukan penanggulangannya.

#### 1.1. Pemantauan laju dosis

Pemantauan laju dosis daerah kerja di IPLR, IS 1 dan 2, KH-IPSB3, dilakukan dengan menggunakan surveimeter/radiameter FAG yang memiliki rentang pengukuran antara 0,01 s/d 9,999  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ . Pemantauan laju dosis dilakukan setiap minggu. Hasil pemantauan dicatat dalam formulir pemantauan laju dosis daerah kerja serta pada papan informasi pemantauan daerah kerja yang terpancang pada setiap ruangan yang dilakukan pemantauan, papan pemantauan ini mudah dilihat oleh pekerja dan tamu yang berada di ruang tersebut..

Pemantauan laju dosis di ruang tertentu dilakukan secara realtime, dengan memasang gamma area monitor dan dihubungkan dengan PC serta TV LCD di ruang proteksi radiasi dan lobi IPLR.

#### 1.2. Pemantauan tingkat kontaminasi permukaan daerah

Pemantauan tingkat kontaminasi permukaan daerah kerja dilakukan pada lantai yang berpotensi terjadi kontaminasi. Pengukuran kontaminasi permukaan dilakukan dengan metode uji usap (*smear test*) dan dianalisis menggunakan alat  $\alpha/\beta$  *sampler counter* untuk mendapatkan tingkat kontaminasi *gross  $\alpha$*  dan  *$\beta$* . Pencuplikan dilakukan secara rutin setiap bulan dan pada saat proses pengolahan limbah. Pemantauan tingkat kontaminasi dilakukan juga pada pakaian kerja atau shoes cover yang akan dicuci (*laundry*).

#### 1.3. Pemantauan tingkat kontaminasi udara daerah kerja

Pemantauan tingkat kontaminasi udara dilakukan pada daerah yang berpotensi terjadi kontaminasi udara seperti ruang *laundry*, ruang kompaksi, ruang sementasi, kolam dan kanal KH-IPSB3 serta tempat penyimpanan sementara limbah radioaktif. Pemantauan tingkat kontaminasi udara dilakukan dengan metode pencuplikan udara menggunakan alat pencuplik udara tipe APA-14 yang dilakukan setiap bulan dan pada saat proses pengolahan limbah, kemudian dianalisis menggunakan alat  $\alpha/\beta$  *sampler counter* untuk mendapatkan tingkat kontaminasi *gross  $\alpha$*  dan  *$\beta$* .

#### **1.4. Pemantauan dosis kumulatif**

Dosis kumulatif daerah kerja IPLR, *Interm Storage* dan KH-IPSB3, dilakukan dengan menggunakan *Thermoluminescence Dosimeter (TLD)* tipe TLD-7001 dengan periode pemantauan selama 3 bulan. Dosimeter ini dapat mendeteksi dan menyimpan adanya paparan radiasi pemancar  $\beta$  dan  $\gamma$  di daerah kerja, sehingga hasil pembacaan dosis dapat dipergunakan untuk evaluasi perhitungan perkiraan penerimaan dosis eksterna oleh pekerja/ personel.

## **2. Pemantauan Keselamatan Non Radiasi**

Kegiatan pemantauan keselamatan non radiasi yang dilakukan di IPLR dan KH-IPSB3 meliputi pemantauan personel, pemantauan kondisi lingkungan kerja yang meliputi pemantauan kondisi lampu darurat, pengukuran kebisingan dan kebersihan.

### **2.1. Pemantauan Personel**

Pemantauan personel dilakukan dengan pengamatan kedisiplinan dan ketertiban para pekerja dalam menggunakan perlengkapan keselamatan kerja seperti jas lab, *shoe cover*, masker dan peralatan proteksi radiasi seperti dosimeter serta perilaku pekerja pada saat melakukan proses pengolahan limbah radioaktif, sebagai upaya penerapan budaya keselamatan.

### **2.2. Pemantauan Kondisi Lingkungan Kerja**

Pemantauan kondisi lingkungan kerja dilakukan dengan pemeriksaan dan pengecekan sarana dan peralatan di instalasi pengolahan limbah yang meliputi lampu penerangan/lampu *emergency*, kebisingan dan kebersihan.

## **3. Penyelenggaraan latihan kedaruratan nuklir di IPLR dan KH-IPSB3**

Latihan ini selain merupakan pemenuhan peraturan juga sebagai uji coba terhadap program kesiapsiagaan nuklir yang mengacu pada perka BAPETEN nomor 01/2010. Latihan kesiapsiagaan nuklir dilakukan di IPLR dan KH-IPSB3 dengan tujuan untuk melatih tim terkait.

## **4. Kegiatan lain**

Kegiatan lain selama tahun 2013 meliputi pengujian alarm dan perawatan monitor radiasi di IPLR dan KH-IPSB3, menyelenggarakan *house keeping*, menyelenggarakan *safety patrol*, menyelenggarakan *tool box meeting*, menyelenggarakan *transfer knowledge*, menyelenggarakan forum keselamatan, pengawasan keselamatan dalam transportasi pengambilan limbah baik limbah radioaktif maupun limbah B3 dan pemindahan material teriradiasi dari PRSG ke PT.Batek atau PRR.

### **4.1. Pemasangan Gamma area monitor di IPLR dan KH-IPSB3**

Gamma monitor yang terdiri dari detector NaI(Tl) dan *dose rate* meter berfungsi untuk mendapatkan data hasil pengukuran paparan radiasi/ laju dosis daerah kerja, seperti ruang kompaksi, sementasi dan IS-1 kemudian datanya

dikirimkan ke komputer melalui komunikasi serial. Komputer berfungsi untuk sebagai pengolah data dan pengendali suatu sistem dengan kapasitas data tertentu yang dapat bekerja dengan kecepatan yang sangat tinggi. Alarm berfungsi untuk memberikan informasi dini kepada pekerja radiasi jika terjadi paparan radiasi melebihi batas daerah kerja. *Microcontroller* dan *display* berfungsi untuk mengolah data yang diberikan oleh komputer, kemudian ditampilkan dalam TV LCD.

Hasil perakitan sistem telemonitoring paparan radiasi ini dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

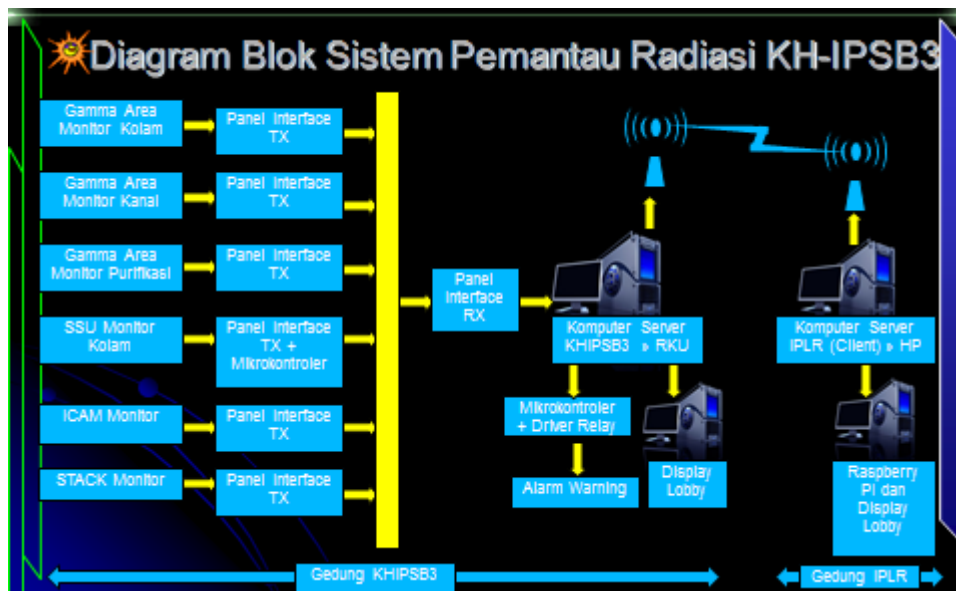
Perangkat *interface* (TX) pada ruangan yang dipasang detektor gamma, yaitu kotak panel yang berisi modul rangkaian power supply, konverter *RS-232 to RS-485*, dan komponen pendukung fan dan timer.

Perangkat *interface* (RX) pada ruang *health physic*, yaitu kotak panel yang berisi modul rangkaian power suplay, konverter *RS-485 to RS-232*, konverter *RS-232 to RS-485* masing masing sebanyak 3 buah dan komponen pendukung fan.

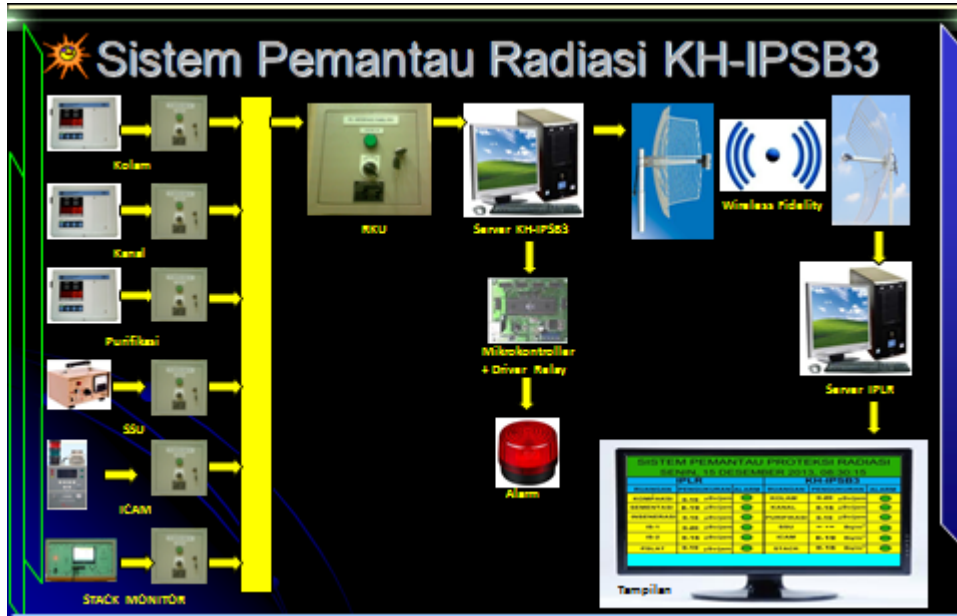


Gambar 1. Perangkat *interface* (TX)

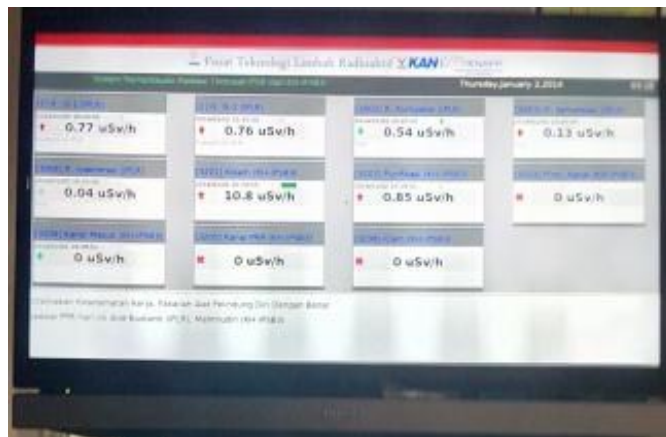
Gambar 2. Perangkat *interface* (RX)



Gambar 3. diagram blok sistem pemantau radiasi KH-IPSB3



Gambar 4. Skema sistem pemantau radiasi KH-IPSB3



Gambar 5. Tampilan sistem pemantau radiasi IPLR dan KH-IPSB3 di TV LCD.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemantauan laju dosis pada tahun 2013 di IPLR berdasarkan zona daerah kerja radiasi, *Interm Storage (IS)*, dan KH-IPSB3 ditampilkan dalam Tabel dibawah ini.

Tabel 1. Hasil pengukuran laju dosis IPLR

Zona	Laju Dosis tahun 2013 ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ )				
	Triwulan I	Triwulan II	Triwulan III	Triwulan IV	Batasan
I	0,15±0,02	0,15±0,02	0,14±0,02	0,15±0,02	1
II	0,17±0,03	0,18±0,03	0,17±0,04	0,19±0,04	3
III	0,17±0,02	0,17±0,03	0,21±0,13	0,20±0,13	10

IV	0,20±0,01	0,18±0,01	0,21±0,00	0,20±0,00	25
IS	1,32±1,51	2,44±2,08	1,60±0,08	1,70±0,08	25

Tabel 2. Hasil pengukuran laju dosis KH-IPSB3

Zona	Laju Dosis tahun 2013 (µSv/jam)				
	Triwulan I	Triwulan II	Triwulan III	Triwulan IV	Batasan
I	0,14±0,01	0,16 ±0,02	0,15±0,01	0,16±0,01	1
II	0,10±0,02	0,16 ±0,01	0,16±0,01	0,16±0,01	3
III	0,33±0,37	0,44±0,64	0,26±0,03	0,28±0,03	10

Laju dosis daerah kerja di IPLR, IS, dan KH-IPSB3 berkisar antara 0,10 µSv/jam sampai dengan 2,44 µSv/jam, sedangkan pada tempat penyimpanan sementara limbah (IS) tertinggi sebesar 2,44 µSv/jam. Berdasarkan kesepakatan komisi Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong yang mengacu pada ICRP 60, dan Perka BAPETEN No. 04/2013 batasan dosis efektif rata-rata sebesar 20 mSv/tahun<sup>[6]</sup> atau 10 µSv/jam, maka laju dosis daerah kerja di IPLR, IS dan KH-IPSB3 masih dibawah batas yang diperkenankan. Laju dosis di daerah kerja ini dapat dikatakan sama dengan laju dosis latar. Laju dosis di IS relatif tinggi dibandingkan daerah kerja lainnya, namun IS hanya dipergunakan untuk kegiatan penyimpanan limbah, sehingga akses pekerja terbatas.

Dosis kumulatif daerah kerja dipantau dengan menggunakan TLD yang dipasang pada setiap ruang daerah kerja. Selama tahun 2013 dosis kumulatif ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengukuran dosis kumulatif di IPLR

Zona	Dosis Kumulatif tahun 2013 (mSv)				
	Triwulan I	Triwulan II	Triwulan III	Triwulan IV	Batasan*
I	0,195±0,0071	0,235±0,021	0,18±0,00	0,26±0,00	5
II	0,2075±0,0171	0,302±0,088	0,20±0,04	0,31±0,09	5
III	0,195±0,00577	0,240±0,008	0,18±0,01	0,64±0,52	5
IV	0,21±0,0141	0,230±0,014	0,22±0,02	0,44±0,18	5
IS	1,95±1,559	2,437±1,197	1,48±1,15	2,23±1,74	5

\* Pembatas dosis PTLR = 5 mSv/tahun<sup>[6]</sup>

Tabel 4. Pengukuran dosis kumulatif di KH-IPSB3

Ruang	Dosis Kumulatif tahun 2013 (mSv)				
	Triwulan I	Triwulan II	Triwulan III	Triwulan IV	Batasan*
Zona I	0,250±0,000	0,300±0,00	0,18±0,00	0,25±0,00	5
Zona II	0,255±0,0354	0,443±0,267	0,19±0,01	0,49±0,33	5
Zona III	0,443±0,283	0,265±0,021	0,18±0,01	0,32±0,08	5

\* Pembatas dosis PTLR = 5 mSv/tahun<sup>[6]</sup>

Dosis kumulatif berkisar antara 0,18 mSv – 0,443 mSv di daerah kerja, sedangkan di IS pada triwulan II sebesar 2,437mSv. Dosis kumulatif ini masih jauh dibawah nilai pembatas dosis PTLR yang telah ditetapkan yaitu 5 mSv/tahun.

Namun apabila diakumulasikan dosis efektif di IS telah melebihi dari dose constrain PTLR yaitu 5 mSv/tahun, dosis efektif di IS selama tahun 2013 sebesar 8,097 mSv/tahun, meskipun nilai tersebut sudah melampaui dose constrain namun masih jauh dari nilai batas dosis yang ditetapkan yaitu 20 mSv/tahun. Peningkatan dosis ini terjadi karena semakin banyaknya limbah dari eksternal batan masuk ke PTLR seperti dari NDT dan lainnya, dimana dalam pelimbahan tersebut dilakukan juga pemindahan/loading dari kontainer penghasil limbah ke kontainer milik PTLR yang memeberikan paparan yang cukup signifikan.

Dengan melihat kondisi seperti ini, maka dose constrain PTLR untuk tahun 2014 perlu dikaji ulang kembali dengan mempertimbangkan hal-hal tersebut diatas.

Hasil pengukuran tingkat kontaminasi permukaan daerah kerja di IPLR dan KH-IPSB3 untuk tingkat kontaminasi gross  $\alpha$  dan  $\beta/\gamma$  ditunjukkan dalam Tabel 5. dibawah. Tingkat kontaminasi permukaan tertinggi di KH-IPSB3 untuk gross  $\beta/\gamma$ , namun masih jauh dibawah batasan.

Tabel 5. Pengukuran tingkat kontaminasi permukaan IPLR

Daerah kerja	Tingkat kontaminasi permukaan IPLR (Bq/m <sup>2</sup> )							
	Triwulan I		Triwulan II		Triwulan III		Triwulan IV	
	$\alpha$	$\beta/\gamma$	$\alpha$	$\beta/\gamma$	$\alpha$	$\beta/\gamma$	$\alpha$	$\beta/\gamma$
Zona I	ttd	ttd	0,0027	0,0029	0,0006± 0,0008	0,0017± 0,0014	0,0009± 0,0006	0,0037± 0,0050
Zona II	0,00086 ±0,0003	0,0036 ±0,003	0,000583 ±0,0005	0,0013± 0,00252	0,0001± 0,0003	0,0004± 0,0011	0,0005± 0,0003	0,0023± 0,0017
Zona III	0,00145 ±0,0011	0,0059 ±0,005	0,000375 ±0,0006	0,00188 ±0,003	0,0003± 0,0003	0,0007± 0,0011	0,0017± 0,0007	0,0045± 0,0037
Zona IV	0,00178 ±0,0014	0,0046 ±0,003	0,00178 ±0,0014	0,00459 ±0,003	0,0019± 0,0009	0,0025± 0,0027	0,0023± 0,0021	0,0215± 0,0526
IS	0,00188 ±0,0015	0,0056 ±0,005	0,000460 ±0,0008	0,00238 ±0,0036	0,0083± 0,0009	0,0090± 0,0009	0,0024± 0,0008	0,0048± 0,0019

Batasan<sup>[4]</sup>: 0,37 Bq/cm<sup>2</sup> untuk gross  $\alpha$   
3,7 Bq/cm<sup>2</sup> untuk gross  $\beta/\gamma$ .



Tabel 6. Pengukuran tingkat kontaminasi permukaan KH-IPSB3

Daerah kerja	Tingkat kontaminasi permukaan KH-IPSB3 (Bq/m <sup>2</sup> )							
	Triwulan I		Triwulan II		Triwulan III		Triwulan IV	
	$\alpha$	$\beta/\gamma$	$\alpha$	$\beta/\gamma$	$\alpha$	$\beta/\gamma$	$\alpha$	$\beta/\gamma$
Zona I	0,0045 ±0,000	ttd	0,0008	ttd	0,0001 ±0,0002	0,0061 ±0,0106	0,0006 ±0,0008	0,0033 ±0,0031
Zona II	0,0018 ±0,0007	0,0567±0 ,0462	ttd	0,0007 ±0,00071	0,0005 ±0,0001	0,0018 ±0,0016	0,0005 ±0,0002	0,0026 ±0,0009
Zona III	0,00173 ±0,0009	0,02485 ±0,0030	0,00165 ±0,00281	1,664±0, 0381	0,0022 ±0,0025	0,0554 ±0,1323	0,0011 ±0,0005	0,0089 ±0,0180

Batasan<sup>41</sup>: 0,37 Bq/cm<sup>2</sup> untuk gross  $\alpha$   
 3,7 Bq/cm<sup>2</sup> untuk gross  $\beta/\gamma$ .

Tingkat kontaminasi udara daerah kerja pada tahun 2013 untuk radiasi pemancar gross  $\alpha$  dan untuk pemancar gross  $\beta/\gamma$  dibawah nilai batas yang ditentukan. Pengukuran tingkat kontaminasi udara daerah kerja di IPLR dan KH-IPSB3 ditunjukkan dalam Tabel 7 Sebagai berikut :

Tabel 7. Pengukuran tingkat kontaminasi udara IPLR

Daerah kerja	Tingkat kontaminasi udara (Bq/m <sup>3</sup> )							
	Triwulan I		Triwulan II		Triwulan III		Triwulan IV	
	$\alpha$	$\beta/\gamma$	$\alpha$	$\beta/\gamma$	$\alpha$	$\beta/\gamma$	$\alpha$	$\beta/\gamma$
Zona I	0,00065 ±0,001	0,0339 ±0,0215	0,0035	0,0453	0,039 ±0,055	0,132 ±0,108	0,000 ±0,000	0,082 ±0,000
Zona II	0,011 ±0,0046	0,0843 ±0,0210	0,00215 ±0,0018	0,231 ±0,174	0,047 ±0,023	0,152 ±0,089	0,007 ±0,007	0,025 ±0,019
Zona III	0,0192 ±0,0245	0,0718 ±0,0464	0,00830 ±0,0023	0,0398 ±0,0159	0,013 ±0,033	0,034 ±0,034	0,006 ±0,007	0,018 ±0,020
Zona IV	0,0042 ±0,0033	0,047 ±0,0322	0,0042 ±0,0033	0,0470 ±0,0322	0,072 ±0,140	0,189 ±0,353	0,002 ±0,003	0,116 ±0,211
IS	0,0048 ±0,0057	0,052 ±0,0288	ttd	0,00078 ±0,0017	0,097 ±0,131	0,280 ±0,396	0,000 ±0,000	0,000 ±0,000

Batasan\* : 6 Bq/m<sup>3</sup> untuk gross  $\alpha$   
 60 Bq/m<sup>3</sup> untuk gross  $\beta/\gamma$

Kegiatan proses selama tahun 2013 meliputi proses laundry, kompaksi, pemetaan, sementasi dan kondisioning sumber bekas. Pengukuran laju dosis tertinggi pada proses sementasi sebesar 8,11  $\mu$ Sv/jam, demikian juga tingkat kontaminasinya hal terjadi pada saat loading resin kedalam shell beton 950 liter.

Pemantauan proteksi radiasi selama proses pengolahan limbah ditunjukkan dalam Tabel 8 sebagai berikut.

Tabel 8. Pemantauan Laju Dosis selama Proses Pengolahan Limbah.

Jenis Proses	Lokasi	Laju Dosis ( $\mu$ Sv/jam)	Kontaminasi (Bq/cm <sup>2</sup> )	
			$\alpha$	$\beta/\gamma$
Laundry	2.0.10	0,21	-	-
Preparasi	IS-1	0,57	0,0029	0,0345
Kompaksi	3.0.02	0,37	0,0012	0,0010

Pemetaan	IS-2	0,89	0.0059	0,0228
Sementasi	4.0.01	8,11	0,0509	0,2800
Kondisioning	IS-1	5,97	0,0029	0,1650

Selain pemantauan radiasi dan non radiasi, juga dilakukan kegiatan lainnya seperti latihan kedaruratan nuklir baik di IPLR maupun di KH-IPSB3, penyegaran proteksi radiasi untuk pekerja radiasi di PTLR, *safety toolbox meeting* dan forum keselamatan, kegiatan tersebut bisa dilihat pada foto-foto kegiatan di bawah ini.



Gambar 6. Latihan penanggulangan kedaruratan Radiasi IPLR 2013



Gambar 7. Evaluasi latihan penanggulangan kedaruratan Radiasi IPLR 2013



Gambar 8. Pembukaan latihan penanggulangan kedaruratan nuklir KH-IPSB3 2013



Gambar 9. Peserta latihan penanggulangan kedaruratan nuklir KH-IPSB3 2013 (*TableTop Exercise*)



Gambar 10. Safety toolbox meeting

## KESIMPULAN

Dari hasil pemantauan daerah kerja IPLR dan KH-IPSB3 selama tahun 2013 dapat disimpulkan bahwa kegiatan pemantauan daerah kerja berjalan sesuai dengan yang direncanakan, hasil pemantauan laju dosis, tingkat kontaminasi udara dan permukaan serta dosis kumulatif masih dibawah nilai batas yang telah ditetapkan sehingga pengendalian keselamatan kerja di IPLR dan KH-IPSB3 aman, selamat dan dapat dipertanggungjawabkan. Pemantauan laju dosis di IPLR dan KH-IPSB3 dapat dipantau secara *realtime* dan terpusat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ANONIM; Undang Undang No. 10 Tahun 1997 tentang “Ketenaganukliran”.
- [2]. ANONIM Keputusan Kepala Batan Nomor 392/KA/XI/2005 tentang Organisasi dan Tata Kerja BATAN
- [3]. ANONIM Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang “Keselamatan radiasi dan keamanan sumber radioaktif ”.
- [4]. ANONIM Keputusan Kepala BAPETEN No. 01/Ka-BAPETEN/V-99 tentang “Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi”.
- [5]. ANONIM Dokumen No. PLR/7/PeDK/II/001/01/2006, tentang “Prosedur Pemantauan Daerah Kerja”
- [6]. ANONIM, Pedoman Keselamatan dan Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong. Revisi 1, 2010.



**PENENTUAN WAKTU OPTIMUM PENCUPLIKAN SAMPEL UDARA  
UNTUK EVALUASI TINGKAT KONTAMINASI UDARA  
DAERAH KERJA**

**L. Kwin Pudjiastuti**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

**ABSTRAK**

**PENENTUAN WAKTU OPTIMUM PENCUPLIKAN SAMPEL UDARA UNTUK EVALUASI TINGKAT KONTAMINASI UDARA DAERAH KERJA.** Keselamatan menjadi utama dalam bekerja dengan radiasi. Untuk menjaga tingkat radiasi maupun kontaminasi yang dapat berpotensi pada penerimaan dosis radiasi pekerja maka diperlukan kegiatan pemantauan. Pemantauan tingkat kontaminasi udara daerah kerja perlu dilakukan terus menerus untuk menjaga keselamatan dan kesehatan pekerja dari bahaya radiasi interna melalui inhalasi. Penentuan waktu optimum pencuplikan udara dilakukan dengan tujuan agar diperoleh waktu yang efektif dan efisien dalam melakukan pencuplikan udara daerah kerja, sehingga dapat diperoleh waktu yang tepat dan hasil yang akurat. Penentuan waktu optimum dilakukan dengan mencuplik udara pada daerah tertentu secara bersamaan menggunakan tiga buah alat pencuplik portabel. Variasi waktu pencuplikan yaitu selama 1, 3, 5 dan 7 jam. Dari hasil analisis diperoleh data setelah waktu 5 jam hasil pembacaan volume udara yang terserap tidak mengalami peningkatan yang signifikan, sehingga waktu pencuplikan udara selama 5 jam cukup efisien untuk memperoleh hasil yang baik. Sedangkan dari hasil analisis tingkat kontaminasi udara daerah kerja untuk gross  $\beta/\gamma$  tidak dapat diacu dan untuk hasil analisis gross  $\alpha$ , waktu optimum adalah 5 jam.

**Kata kunci :** Pemantauan, waktu sampling, volume udara, kotaminasi udara,

**ABSTRACT**

**DETERMINATION OF OPTIMUM SAMPLING TIME OF AIR FOR EVALUATION AIR CONTAMINATION IN THE WORK PLACE.** Safety became a major in working with radiation. To maintain the level of radiation or contamination that could potentially acceptance radiation dose at the worker, so mush be required monitoring. Monitoring of air contamination level of the work place needs to be done continuously to maintain the safety and health the worker of internal radiation hazard by inhalation . The determination of the optimum time of sampling was conducted in order to obtain an efficient and effective time for air sampling at the work place , to obtain the exact time and accurate results . The determination of the optimum time is done with the air quotes in certain areas simultaneously using three portable Air Samplers . Variation sampling time is for 1 , 3 , 5 and 7 hours . From the analysis of the data obtained after 5 hours of air volume readings are not absorbed significantly increased , so that the time of sampling the air for 5 hours is efficient enough to obtain good results. □ While the results of the analysis of the level of air contamination of work areas for gross  $\beta / \gamma$  can not be referred to and for the results of the analysis of gross  $\alpha$ , the optimum time is 5 hours.

**Keywords:** Monitoring, sampling time, air volume, air contamination.

## PENDAHULUAN

Dalam setiap kegiatan pemanfaatan teknologi nuklir akan menghasilkan limbah radioaktif. Limbah radioaktif harus dikelola dengan baik dan benar agar tidak membahayakan bagi pekerja, masyarakat dan lingkungannya. Pengelolaan limbah radioaktif diperlukan cara yang khusus terutama dalam penanganan limbah radioaktif dengan sumber terbuka. Limbah ini sangat berpotensi timbulnya bahaya radiasi baik ekstena maupun interna. Limbah radioaktif sumber terbuka berasal dari limbah-limbah hasil penelitian maupun kegiatan yang berhubungan dengan sumber radioaktif terbuka seperti pada produksi radioisotop.

Untuk meyakinkan bahwa pengelolaan limbah radioaktif aman bagi pekerja, masyarakat dan lingkungan, maka pada setiap kegiatan harus dilakukan pengawasan keselamatannya. Dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 33 tahun 2007, pasal 26 mewajibkan kepada Pemegang Izin untuk melaksanakan pemantauan Paparan Radiasi dan/ atau kontaminasi radioaktif di daerah kerja untuk memastikan Nilai Batas Dosis bagi pekerja dan masyarakat tidak terlampaui<sup>[1]</sup>

Pengawasan keselamatan dalam kegiatan pengelolaan limbah radioaktif meliputi pemantauan proteksi radiasi terdiri dari pengukuran laju dosis, pengukuran dosis kumulatif, pengukuran tingkat kontaminasi permukaan dan pengukuran tingkat kontaminasi udara daerah kerja harus tertuang dalam Program Proteksi Radiasi pada setiap instalasi nuklir. Pengukuran laju dosis menggunakan surveimeter sehingga secara langsung dapat diketahui nilai laju dosisnya, pengukuran dosis kumulatif menggunakan alat *Thermoluminiscence Dosimeter* (TLD), dosis daerah kerja ini dipantau setelah akumulasi selama tiga (3) bulan, kemudian dilakukan evaluasi dengan melakukan pembacaan kartu TLD menggunakan TLD *reader*, sehingga dapat diperoleh dosis radiasi daerah kerja yang terakumulasi selama tiga bulan.<sup>[2]</sup> Pemantauan tingkat kontaminasi permukaan dan udara daerah kerja dilakukan dengan mencuplik sampel. Kontaminasi permukaan dengan melakukan pengusapan permukaan lantai menggunakan filter dan dilakukan pencacahan, sedangkan untuk tingkat kontaminasi udara dilakukan dengan sampling udara menggunakan alat APA-14 yang dipasang filter pada waktu tertentu, dengan mengetahui laju alir maka dapat diperoleh volume udara yang terserap.

Udara daerah kerja berpotensi menimbulkan kontaminasi interna melalui inhalasi pada pekerja, sehingga sangat diperlukan pemantauan terus menerus terutama pada saat proses pengolahan limbah dengan sumber terbuka. Tujuan pemantauan untuk menjamin penerimaan dosis baik ekstena maupun interna dapat ditekan sekecil mungkin sesuai dengan asas optimasi.<sup>[3]</sup>

Untuk mengetahui tingkat kontaminasi udara daerah kerja yang dapat mewakili daerah sekitar, maka pencuplikan udara tidak dapat dilakukan hanya beberapa waktu, diperlukan waktu yang cukup. Dari segi efisiensi dan lama pencuplikan untuk menghasilkan data yang akurat maka diperlukan suatu kajian atau penelitian waktu yang optimum dalam melakukan pencuplikan udara. Waktu optimum pencuplikan udara diperoleh dengan melakukan pencuplikan udara pada berbagai waktu pada tempat yang sama sehingga dapat dihasilkan data volume udara dan hasil evaluasi yang dapat dipertanggungjawabkan.

**TATA KERJA**

**Bahan dan Alat**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kertas filtar, plastik dan alat tulis, sedangkan alat yang digunakan adalah pencuplik udara APA-14, alat pencacah *Alpha/Beta sample counter*. Pinset, gunting, pengolah data.

**Tata kerja**

1. Pengambilan sampel

Sebelum melakukan pencuplikan disiapkan alat yang akan dipergunakan untuk sampling, dipastikan *power* dapat berfungsi dengan baik. Filter dipasang pada bagian *nozel* pencuplik. Pencuplikan udara dilakukan dalam satu ruangan yang tidak terganggu dengan aktivitas kegiatan lainnya dalam hal ini dilakukan di koridor *Interm Storage* 1. Untuk dapat membandingkan dipasang tiga buah alat pencuplik. Pencuplikan udara dilakukan untuk waktu 1 jam, 3 jam, 5 jam dan 7 jam. Pencatatan data volume sebelum dan sesudah selesai waktu pencuplikan.

2. Pencacahan

Filter sampel hasil pencuplikan di masukkan dalam plastik dengan diberi label dan didiamkan selama 24 jam untuk menghilangkan zat-zat pengotor. Sampel filter yang akan dicacah dimasukkan kedalam planset, pengesetan *COUNT TIME MINUTES* pada posisi 5, berarti pencacahan dilakukan selama lima menit. Tombol *COUNT* di tekan maka pencacahan mulai dilakukan sampai waktu pencacahan selesai dan besaran hasil pencacahan dicatat dalam *logbook*. Sebelum melakukan pencacahan sampel, dilakukan pencacahan terhadap *background* (latar) untuk mengetahui bacaan sebenarnya. Pencacahan dilakukan dengan cara yang sama sampai tiga kali, sehingga didapat data untuk pembandingan<sup>[4]</sup>

3. Analisis dan Evaluasi

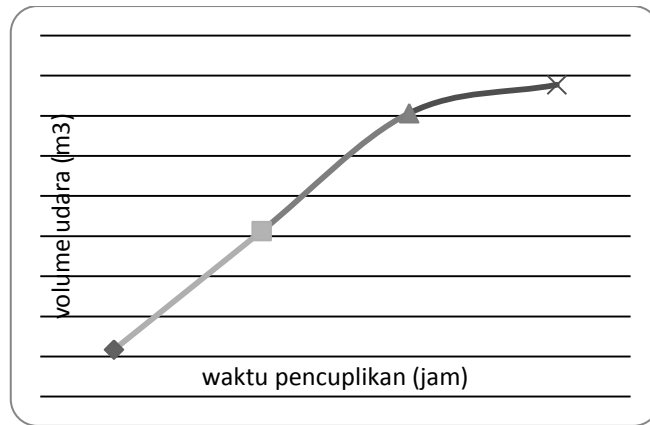
Data-data dikumpulkan dan dilakukan evaluasi untuk memperoleh tingkat aktivits udara dengan menggunakan persamaan sebagai berikut : <sup>[5]</sup>

$$A_u = \frac{(B_s - B_g)/t}{F_a \times V} \dots\dots\dots(1)$$

- A<sub>u</sub> = Aktivitas udara (Bq/m<sup>3</sup>)
- B<sub>s</sub> = Bacaan rata-rata sampel (*count*)
- B<sub>g</sub> = Bacaan rata-rata *Background*/ latar (*count*)
- T = Waktu pencuplikan (menit)
- F<sub>a</sub> = Faktor Efisiensi alat Bq/ CPM
- V = Volume udara (m<sup>3</sup>)

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pencuplikan udara daerah kerja menggunakan filter yang dipasang pada bagian *nozel* alat pencuplik APA-14 diperoleh volume udara pada berbagai waktu pencuplikan dan ditunjukkan pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Volume udara pada berbagai waktu pencuplikan

Pada Gambar 1 diatas terlihat bahwa pada pencuplikan selama 1 jam, 3 jam dan 5 jam volume udara yang dapat diserap memberikan kurva linier, semakin lama waktu pencuplikan semakin banyak volume udara yang diserap, waktu pencuplikan dan volume yang diserap berbanding lurus, sedangkan pada pencuplikan udara selama 7 jam, volume udara yang terserap tidak mengikuti kurva linier. Pada pencuplikan mulai 5 jam terjadi penurunan laju alir udara (*flowrate*) dimungkinkan filter telah menangkap pengotor dengan pori-pori lebih besar dari pori-pori kertas saring/ filter sehingga dapat mengalami kejenuhan sehingga laju alir udara berkurang.

Hasil analisis perhitungan data menggunakan rumus 1 diatas, maka diperoleh aktivitas udara gross daerah kerja dalam satuan Bq/m<sup>3</sup>. Aktivitas udara disini dalam satuan gross karena alat yang digunakan untuk pencacahan hanya dapat memberikan data kuantitatif yaitu *Count Per Minut* (CPM), sedangkan data kualitatif yaitu untuk mengetahui jenis radionuklidanya belum dapat diketahui.

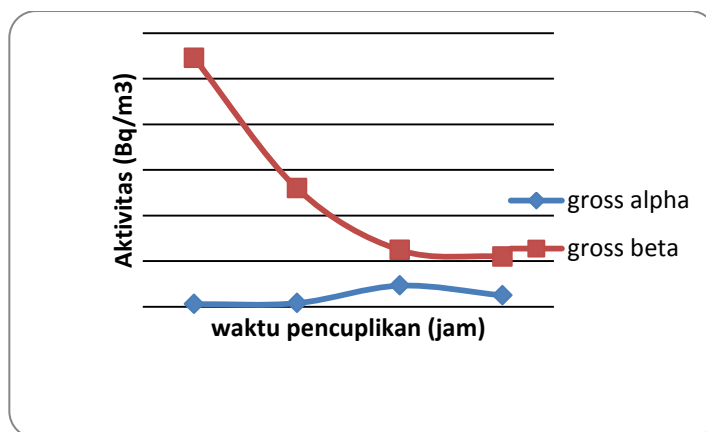
Untuk mengetahui aktivitas *gross α* dan *gross β*, maka filter dilakukan pencacahan menggunakan alat *Alpha Beta Sampel Counter*. Dengan menggunakan rumus 1 diatas, maka diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil perhitungan tingkat Kontaminasi udara pada berbagai waktu pencuplikan

Waktu (jam)	Volume (m <sup>3</sup> )	Tingkat kontaminasi	
		<i>gross α</i>	<i>gross β/γ</i>
1	0,5853	0,0111±0,00	1,0920±0,78
3	2,0623	0,0153±0,01	0,5187±0,19
5	3,5317	0,0920±0,01	0,2485±0,21
7	3,8860	0,0494±0,02	0,2193±0,12



Tabel 1, menampilkan data evaluasi pembacaan tingkat kontaminasi udara untuk *gross α* dan *gross β/γ*. Tingkat kontaminasi *gross α*, semakin lama waktu pencuplikan, maka aktivitasnya semakin besar dan pada waktu pencuplikan selama 7 jam, tingkat kontaminasi udara menurun bahkan lebih kecil dari pada waktu pencuplikan selama 5 jam. Sedangkan pada tingkat kontaminasi *gross β/γ* justru mengalami penurunan pada setiap kenaikan waktu pencuplikan. Jika digambarkan antara waktu pencuplikan dengan aktivitas dalam bentuk grafik ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 2. Kurva waktu pencuplikan dan aktivitas udara

Pada Gambar 2 terlihat bahwa aktivitas radiasi antara *gross α* pada waktu pencuplikan antara 1 jam sampai 5 jam terjadi kenaikan meskipun sedikit sedangkan aktivitas radiasi *gross β/γ* justru mengalami penurunan. Sedangkan pada waktu pencuplikan selama 7 jam, maka aktivitas radiasi antara *gross α* dan *gross β/γ* sama-sama mengalami penurunan meskipun sedikit.

Dari data hasil analisis aktivitas radionuklida dalam udara diatas, maka hasil pada pengukuran aktivitas *gross α* pada pencuplikan selama 1 jam dan 3 jam dan 5 jam dapat diambil karena hasil semakin lama semakin tinggi aktivitasnya, sedangkan pada pencuplikan 7 jam mengalami penurunan. Pada analisis aktivitas radionuklida *gross β/γ* pada pengukuran 1 jam, 3 jam dan 5 jam mengalami penurunan yang signifikan, sedangkan pada pencuplikan 7 jam penurunan sedikit. Dengan demikian penentuan waktu optimun pencuplikan udara tidak dapat dilakukan berdasarkan aktivitas radionuklida yang dihitung, namun lebih cenderung berdasarkan volume udara yang terserap.

### KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran laju alir atau volume pencuplikan udara pada berbagai waktu, disimpulkan bahwa waktu efektif untuk pencuplikan udara sebagai sampel untuk penentuan tingkat kontaminasi udara daerah kerja adalah selama 5 jam. Sedangkan hasil analisis tingkat kontaminasi udara daerah kerja *gross* tidak dapat digunakan untuk menetapkan waktu efektif pencuplikan udara, karena hasil analisis berlawanan dengan waktu pencuplikan, dan dimungkinkan tidak ada radionuklida dengan pemancar  $\beta/\gamma$  yang mengkontaminasi udara di ruangan, atau radionuklida di *Interm Storage -1* memiliki waktu paro yang

pendek. Perlu dilakukan penelitian lebih jauh pengaruh waktu tunda sebelum dilakukan pencacahan terhadap hasil pencacahan, sehingga dapat diperkirakan kemungkinan adanya kontaminasi radionuklida di ruangan dengan waktu paro pendek.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ANONIM, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 33 Tahun 2007, tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif.
- [2]. ANONIM, Peraturan Kepala Badan Pengawas TENAGA Nuklir Nomor 4 Tahun 2013, tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir.
- [3]. ANONIM, Program Proteksi Radiasi IPLR, tahun 2011
- [4]. ANONIM, Standar Operasi Prosedur teknis Pengoperasian alat pencacah *Alpha/Beta sample counter*
- [5]. ANONIM, Standar Operasi Prosedur teknis Analisis tingkat kontaminasi hasil pencacahan *Alpha/Beta sample counter*.

## SOFTWARE IMBA UNTUK ANALISIS PERHITUNGAN DOSIS RADIASI INTERNAL

Muhammad Muhyidin Farid , Tri Bambang Lestariyanto  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

*Perhitungan dosis radiasi internal dengan menggunakan software IMBA. Telah dilakukan analisis hasil pengukuran WBC untuk radionuklida Cs-137 dan I-131 yang terdeteksi di dalam tubuh pekerja menggunakan software IMBA. Pengukuran Aktivitas dilakukan dengan perangkat lunak Apex In vivo 1.0., untuk selanjutnya dianalisis dengan software IMBA, setelah sebelumnya diinstal program Apex-InVivo IMBA Plug-in S736 di database Apex Invivo. Hasil analisis perhitungan dosis dalam kegiatan ini, digunakan untuk memperhitungkan besar dosis yang diterima pekerja dan menganalisa efek yang diterima pekerja. Validasi hasil analisis pengukuran WBC dilakukan dengan membandingkan perhitungan dosis menggunakan software IMBA dengan Software Mondal. Hasil perhitungan dosis dari kedua software ini memberikan perbedaan dengan rentang rata-rata 10%. Dimana hasil analisis dosis dari perhitungan software Mondal relatif lebih tinggi dibandingkan hasil perhitungan software IMBA.*

**Kata kunci :** Analisis hasil pengukuran WBC, Apex Invivo, IMBA, Mondal.

### ABSTRACT

*Internal radiation dose calculations using IMBA software. Analyzed the results of WBC measurements for radionuclides Cs-137 and I-131 were detected in the body of workers using IMBA software. Activity measurements performed with the software Apex In vivo 1.0., Then analyzed with software to IMBA, after previously installed programs Apex-vivo IMBA S736 Plug-in in the database Apex Invivo. The results of the analysis of dose calculation in this activity, is used to take into account for a large dose received by workers and analyze that effect. Validation is done by comparing the measurements WBC dose calculations using IMBA software with Software Mondal. The results of calculations a second dose of this software gives a difference with an average range of 10%. Where the results of the analysis of dose calculation software Mondal relatively higher than calculation results of IMBA software.*

**Keywords:** Analysis the results of measurements WBC, Apex Invivo, IMBA, Mondal.

### PENDAHULUAN

Pemantauan dosis terhadap para pekerja radiasi di suatu instalasi nuklir perlu dilakukan secara rutin, baik melalui pemantauan eksternal maupun melalui pemantauan internal. Pemantauan ini sebagai upaya untuk menjamin keselamatan dan kesehatan kerja terhadap radiasi. Upaya tersebut dilakukan sebagai pelaksanaan dari Perka Bapeten no 1 tahun 1999 tentang pemantauan perorangan.<sup>[1]</sup>

Pemantauan dosis eksterna dilakukan dengan menggunakan TLD (*Thermo Luminisence Dosimeter*) , *film badge* dan *pen dose*, sedangkan pemantauan dosis radiasi internal dilakukan melalui pencacahan secara langsung terhadap tubuh atau organ tertentu yang disebut dengan metode *in-vivo* ataupun melalui pencacahan hasil ekskresi tubuh yang disebut dengan metode *in-vitro*.<sup>[2]</sup>

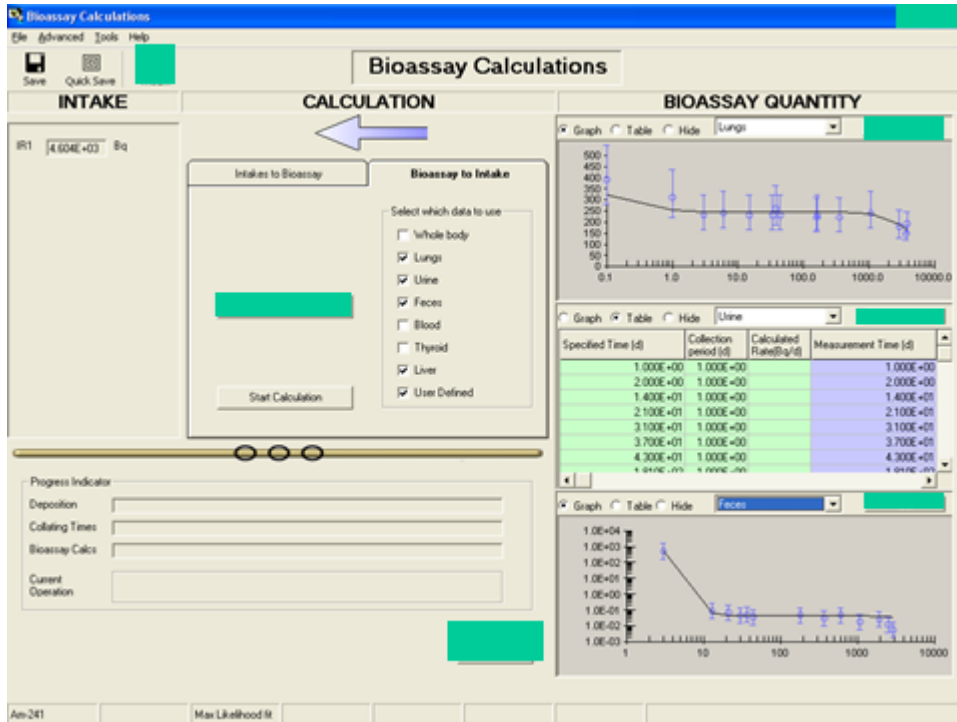
Pemantauan rutin secara *invivo* dilakukan dengan alat pencacah seluruh tubuh atau dikenal dengan *whole body counting* (WBC). WBC memiliki efisiensi

tinggi untuk menghitung sinar gamma melalui berbagai luasan energi, dan memberikan resolusi tinggi dalam hal nilai-nilai energi yang diserap. Hasil pemantauan WBC memberikan hasil bacaan berupa aktivitas, untuk mengetahui besarnya dosis yang diterima pekerja diperlukan analisis lebih lanjut menggunakan *Software* tertentu. *Software* yang digunakan untuk analisis hasil bacaan WBC di Kawasan Nuklir Serpong adalah *software* IMBA (*Integrated Modules for Integrated Analysis*).

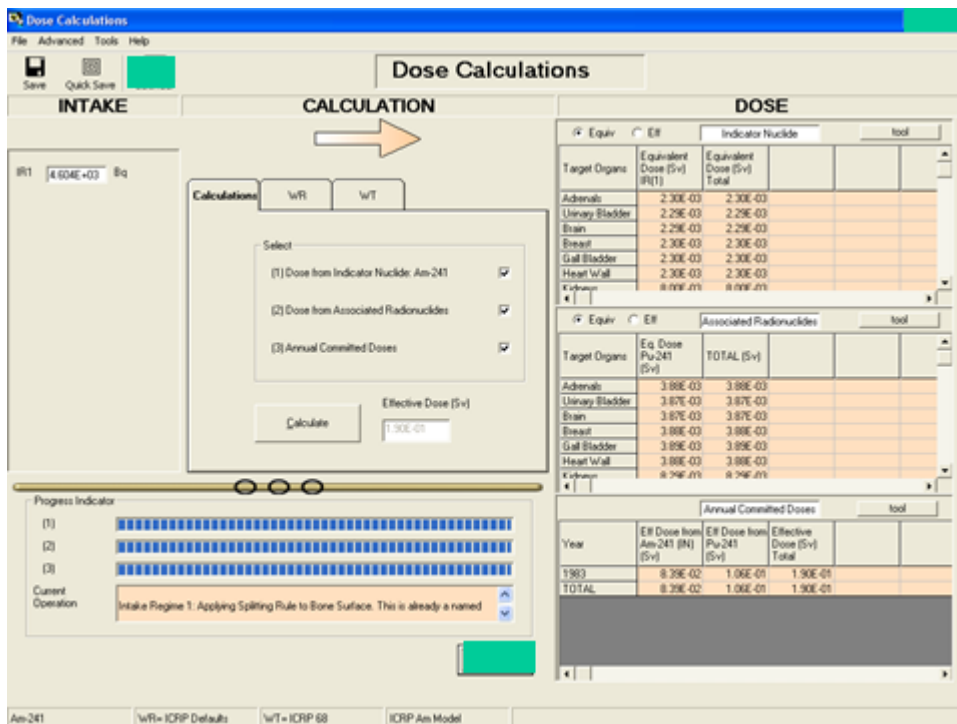
## DASAR TEORI

Whole Body Counter (WBC) adalah suatu alat yang digunakan untuk pengukuran langsung paparan sinar- $\gamma$  dari radionuklida dalam tubuh.<sup>[3]</sup> Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat, semua komponen alat yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*), kalibrasi sistem dan perawatan harus berjalan dengan baik. Pengolahan data hasil pengukuran WBC dilakukan menggunakan perangkat lunak (*software*) *Apex Invivo*. *Software Apex Invivo* memberikan hasil pengukuran dalam bentuk aktivitas. Untuk mendapatkan hasil bacaan dalam bentuk dosis, diperlukan *software* tambahan yaitu IMBA (*Integrated Modules for Integrated Analysis*).

Database Radionuklida dalam *software* IMBA berdasarkan ICRP 38, serta model pernafasan manusia berdasarkan ICRP 66. Perhitungan dosis menggunakan *software* IMBA dilakukan dengan memperhatikan *intake* dari radionuklida, untuk menentukan besaran dosis. Intake mungkin berasal dari intake akut maupun secara kronik. intake akut jika terjadinya intake radionuklida karena peristiwa insidental, sedangkan kronik untuk intake yang berasal dari pekerjaan rutin. IMBA memperhitungkan Intake melalui jalur inhalasi, injeksi dan injeksi. Hasil keluaran IMBA berupa perhitungan untuk dosis ekuivalen setiap organ, dosis efektif, retensi organ pada waktu tertentu, kuantitas *bioassay*, dan perkiraan waktu untuk menentukan intake. Tampilan *software* IMBA untuk perhitungan *bioassay* dan dosis dapat dilihat di Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Perhitungan Bioassay



Gambar 2. Contoh perhitungan dosis

## TATA KERJA

### Bahan dan Peralatan

Pencacahan pekerja menggunakan WBC (*Whole Body Counter*) dalam pelaksanaannya dibutuhkan bahan dan peralatan sebagai berikut :

- Alat pencacah seluruh tubuh (*Whole Body Counter*) WBC dengan efisiensi relatif 18 % dengan detektor HPGe yang mempunyai efisiensi relatif 25 %. Diameter kedua detektor adalah 52,5 mm dan panjang 49,5 mm. Alat ini dilengkapi dengan sistem komputer dan perangkat lunak Apex Invivo untuk analisis data dari hasil pencacahan.
- Nitrogen cair untuk mendinginkan detektor.
- Data hasil pemantauan WBC dari analisis *software* Apex In vivo.
- Software IMBA untuk analisis besarnya dosis.

### Metode

Personel yang akan dipantau dengan WBC diharuskan dalam keadaan bersih/ bebas kontaminasi eksternal. Untuk itu mereka diharuskan :

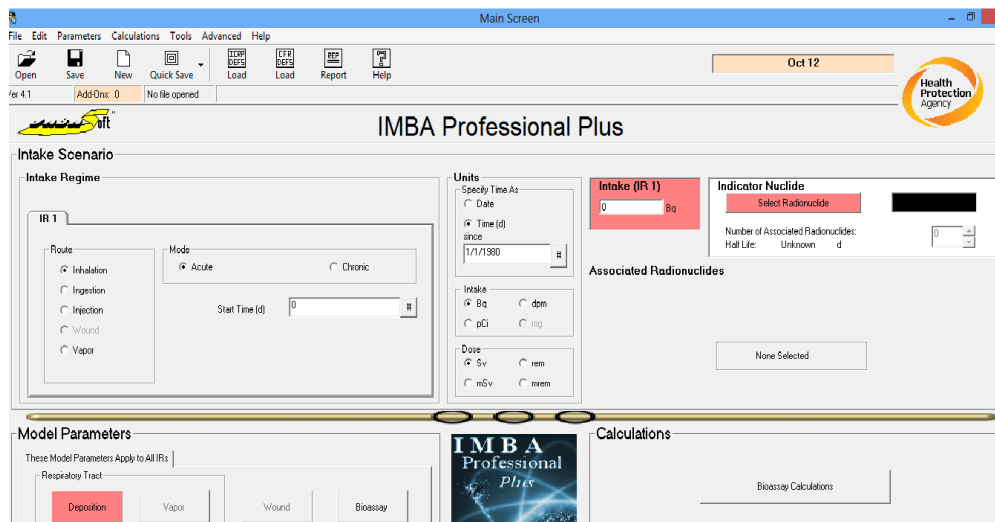
- a. Mandi/membersihkan badan atau kulit dari kemungkinan adanya kontaminasi eksternal yang menempel di kulit dan rambut.
- b. Mengganti pakaian dengan baju laboratorium WBC yang telah disediakan.
- c. Memakai shoe cover / alas kaki yang disediakan di laboratorium WBC.
- d. Melepaskan seluruh asesoris yang melekat di badan seperti jam tangan, cincin, kalung, anting dan kaca mata.

Pemantauan personel dilakukan dengan menggunakan alat cacah WBC, seperti terlihat di Gambar 3, dengan waktu pengukuran 10 menit per orang. Spektrum hasil pencacahan yang diperoleh, dianalisis dengan menggunakan *software* Apex Invivo sehingga dari hasil analisis ini akan diperoleh jenis dan jumlah aktivitas radionuklida yang terdeteksi yang ada dalam tubuh pekerja. <sup>[5]</sup> Dikarenakan keterbatasan kemampuan *software* Apex Invivo yang hanya mampu menganalisis radionuklida dalam bentuk aktivitas, diperlukan dua *software* tambahan yaitu Apex-InVivo IMBA Plug-in S736 dan IMBA. Kedua *software* tersebut, dimaksudkan agar hasil analisis WBC memberikan hasil dalam bentuk dosis. Apex-InVivo IMBA Plug-in S736 berfungsi agar IMBA mampu mengenali hasil bacaan aktivitas Apex Invivo secara otomatis. tampilan utama *software* IMBA terlihat pada Gambar 4.

Untuk validasi analisis hasil Pengukuran subyek personel dengan WBC tersebut, dilakukan perbandingan perhitungan dengan *software* Mondal.



Gambar 3. Pengukuran pekerja dengan WBC



Gambar 4. Tampilan utama Software IMBA

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran dari subyek personel dengan pencacahan *whole body* dan *thyroid scan* melalui pemantauan menggunakan WBC ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil pengukuran pada instansi A, triwulan I – triwulan IV tahun 2013 terdeteksi adanya radionuklida Cs-137 dan I-131 di dalam tubuh pekerja radiasi.

Tabel 1 Hasil Pencacahan Subyek Personel Instansi A

Triwulan	Jumlah Pekerja terdeteksi radionuklida	Jenis Radionuklida	Jumlah pekerja dipantau
I	3	Cs-137 dan I-131	40
II	11	Cs-137 dan I-131	42
III	8	Cs-137 dan I-131	36
IV	2	I-131	31

Validasi hasil perhitungan dengan IMBA dilakukan komparasi perhitungan menggunakan Mondal. untuk membandingkan hasil dosis menggunakan perhitungan Mondal dan IMBA dapat dilihat di Tabel 2.

Tabel 2 Hasil analisis dengan software IMBA dan Mondal

Triwulan	Intake (hari)	Radionuklida	Aktivitas (Bq)	Dosis(mSv) IMBA	Dosis(mSv) Mondal
I	7	Cs-137	21693	0.4	0.46
	5	I-131	2010	1.35	1.8
II	7	Cs-137	893	0.2	0.28
	7	I-131	446	0.45	0.53
III	7	I-131	158	0.11	0.19
	7	I-131	185	0.14	0.22
IV	7	I-131	364	0.317	0.43
	7	I-131	235	0.205	0.28

Tabel 2 menunjukkan perbedaan hasil perhitungan antara IMBA dan Mondal. Hal tersebut dikarenakan adanya beberapa perbedaan parameter input data dalam perhitungan. *Intake*, perpindahan partikel, pengendapan material, penyerapan partikel oleh darah di IMBA diperhitungkan lebih spesifik, sedangkan perhitungan mondal lebih bersifat pendekatan generik.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa Hasil perhitungan dosis menggunakan Software IMBA dengan analisis yang lebih lebih spesifik, memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan hasil perhitungan dosis menggunakan Mondal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. BAPETEN, Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 01/Ka-BAPETEN/V-99, Jakarta , 1999.
- [2]. Ruminta Ginting, Yanni Andriyani, dan Tri Bambang L, “Komparasi Perhitungan Dosis Radiasi Interna Pekerja PPTN Serpong berdasarkan ICRP 30 Terhadap ICRP 68”, *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah VIII*, PTLR, Jakarta, 2010.
- [3]. Sugiyana, ”Tingkat Ketelitian Alat Whole Body Counter (WBC) Model 2260 Accuscan Canberra Pada Cacahan Seluruh Tubuh dan Paru”, *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional pengembangan Teknologi Nuklir I*, PTKMR, Jakarta ,2007.
- [4]. Bento J, Teles P, Silva L, Nogueira P, Neves M, dan Vaz P. *Performance parameters of a whole body counter*, 45: 190–195, *Radiat Meas* 2010.
- [5]. CANBERRA, “Apex–InVivo productivity Software 1.0”, Canberra Industries Inc., Meriden USA, 2009.
- [6]. Dantas BM, Bertelli L, dan Lipsztein JL. *Evaluation of whole-body counting capabilities based on ICRP limits*. 89: 255-258, *Radiation Protection Dosimetry*, 2000.



## KAJIAN PERHITUNGAN DOSIS INTERNAL DENGAN SAMPEL FESES

**Ratih Kusuma P, Ruminta Ginting**  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**KAJIAN PERHITUNGAN DOSIS INTERNAL DENGAN SAMPEL FESES.** Telah dilakukan kajian perhitungan dosis dengan menggunakan sampel feses. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui perkiraan penerimaan dosis internal pekerja radiasi melalui sampel feses dengan contoh radionuklida yang digunakan dalam perhitungan ini  $^{90}\text{Sr}$  dan  $^{137}\text{Cs}$ . Kajian ini dilakukan sebagai pemantauan khusus apabila terjadi suatu kecelakaan nuklir atau kedaruratan. Dari hasil kajian perhitungan dosis interna diperoleh hasil untuk radionuklida  $^{90}\text{Sr}$  sebagian radionuklida masuk ke saluran pencernaan melalui jalur ingesi (pencernaan) dan inhalasi (pernafasan). Pada  $^{90}\text{Sr}$  dan  $^{137}\text{Cs}$  intake yang masuk melalui ingesi lebih besar dibanding yang masuk melalui jalur inhalasi. Setiap radionuklida memiliki sifat kimia dan fisika yang berbeda-beda sehingga hal ini yang menyebabkan dosis radiasi yang masuk ke saluran pencernaan melalui jalur intake ingesi dan inhalasi untuk setiap radionuklida juga memiliki nilai yang berbeda-beda.

**Kata kunci :** kajian, perhitungan, dosis internal, feses

### ABSTRACT

**ASSESSMENT OF INTERNAL DOSES CALCULATION USE FAECAL SAMPLES.** Assesment of internal doses calculation have been studies using faecal samples. This study purpose to determine the approximate intake of radionuclides workers using faecal samples with examples of radionuclides used in calculation of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$ . The study was conducted as a special monitoring in the event of a nuclear accident or emergency. From the calculation internal doses obtained the results for  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  enter gastrointestinal tract through ingesi and inhalation.  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  intakes that goes through ingesi greater than entering through the inhalation pathway. Each radionuclides has different chemical and physical forms, this is causing doses of radiation that enters through the gastrointestinal tract and inhalation ingesi intake for each radionuclide also have different values

**Keywords:** assessment, calculation, internal doses, faecal

### PENDAHULUAN

Para pekerja radiasi di suatu instalasi nuklir mempunyai risiko untuk menerima sejumlah paparan radiasi akibat pekerjaan yang berhubungan dengan bahan radioaktif. Untuk menjamin kesehatan dan keselamatan kerja terhadap radiasi perlu dilakukan pemantauan dosis radiasi secara rutin terhadap pekerja radiasi, baik pemantauan radiasi secara eksternal maupun internal. Pemantauan dosis radiasi eksternal adalah pemantauan dosis dari sumber radiasi yang berada di luar tubuh, sedangkan pemantauan dosis radiasi internal adalah pemantauan dosis dari sumber radiasi yang berada di dalam tubuh. Pemantauan dosis radiasi eksternal dilakukan dengan menggunakan *thermoluminisence* dosimeter (TLD), *pen dose*, *film badge* dan lain sebagainya, sedangkan pemantauan dosis radiasi internal dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu metode *in-vivo* dan *in-vitro*. Metode *in-vivo* adalah metode pencacahan langsung terhadap radionuklida yang ada di dalam tubuh melalui pencacahan seluruh tubuh ataupun organ tertentu sedangkan metode *in-vitro* adalah pencacahan radionuklida yang ada di dalam tubuh melalui analisis hasil metabolisme tubuh.

Pengukuran langsung menggunakan sampel biologi (*in-vitro*) yang nantinya akan digunakan untuk menentukan konsentrasi radionuklida dalam pemisahan material dalam tubuh, biasanya dengan menggunakan sampel hasil ekskresi untuk tujuan kajian *intake*. Sampel utama yang digunakan untuk data *bioassay* adalah urin, feses, nafas, dan darah, meskipun sampel-sampel yang lain seperti rambut dan gigi telah digunakan dalam kasus-kasus tertentu. Analisis usapan rongga hidung atau keringat dapat digunakan untuk memberikan perkiraan awal identitas dan tingkat radionuklida melalui *inhalasi*, meskipun data ini hanya dapat memberikan indikasi kasar potensial *intake*.

Pemantauan dosis radiasi internal terhadap para pekerja radiasi di Kawasan Nuklir Serpong (KNS), dilaksanakan secara rutin oleh Sub Bidang Pengendalian Personil, Bidang Keselamatan dan Lingkungan Pusat Teknologi Limbah Radioaktif dengan jadwal pemantauan per triwulan. Pemantauan *in-vivo* dilakukan terhadap para pekerja radiasi yang dianggap berpotensi untuk mendapat dosis radiasi internal dari radionuklida pemancar gamma dan hasil fisi serta radionuklida yang mempunyai daya tembus tinggi. Sedangkan pemantauan dosis radiasi *in-vitro* dilakukan terhadap para pekerja radiasi yang dianggap berpotensi mendapat dosis radiasi dari radionuklida pemancar alfa dan beta.

Semua zat radioaktif yang masuk ke dalam tubuh disebut sebagai sumber radiasi internal. Bahan radioaktif tersebut akan memancarkan radiasi ke jaringan tubuh secara terus-menerus sampai diekskresikan terutama melalui feses dan urin atau menjadi isotop stabil melalui proses peluruhan. Radionuklida yang ada di dalam tubuh akan mengikuti proses metabolisme dan terakumulasi pada organ target sesuai dengan sifat fisika dan kimianya. Yodium akan terakumulasi dalam kelenjar tiroid, stronsium dan radium dalam tulang, plutonium dalam paru dan cesium pada jaringan lunak

Tahapan berlangsungnya kontaminasi internal adalah masuknya radionuklida ke dalam tubuh melalui *inhalasi*, *ingesti*, kulit ataupun luka kemudian radionuklida yang telah masuk ke dalam tubuh akan terserap ke dalam darah atau cairan getah bening, selanjutnya terdistribusi ke seluruh tubuh dan terakumulasi pada organ sasaran dan kemudian di ekskresikan melalui urin, feses, atau keringat.

Pemantauan dosis radiasi internal dengan metode *in-vitro* yang telah diterapkan di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) adalah pemantauan dosis internal dengan menggunakan sampel urin dengan asumsi bahwa kontaminan radionuklida masuk ke dalam tubuh melalui saluran pernafasan (*inhalasi*) dan ini dilakukan terutama untuk radionuklida yang mudah larut (*transportable*) dalam cairan tubuh. Sedangkan untuk radionuklida yang tidak mudah larut (*non-transportable*) dalam cairan tubuh di asumsikan jalur masuknya ke dalam tubuh adalah melalui penelanan/*ingesti* sehingga radionuklida ini akan terserap dalam usus halus dan diekskresikan melalui feses. Kegiatan ini belum dilaksanakan sebagai kegiatan rutin seperti pada sampel urin. Pemantauan dengan sampel feses ini bersifat pemantauan khusus dan diperlukan untuk mengantisipasi adanya kecelakaan atau kedaruratan nuklir. Untuk pengembangan metode yang sudah diterapkan di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) maka dalam makalah ini akan dilakukan kajian perhitungan dosis radiasi internal dengan sampel feses, terutama untuk radionuklida yang tidak mudah larut dalam cairan tubuh.

## DASAR TEORI

### Jalur Intake, Transfer, dan Ekskresi Radionuklida Di dalam Tubuh

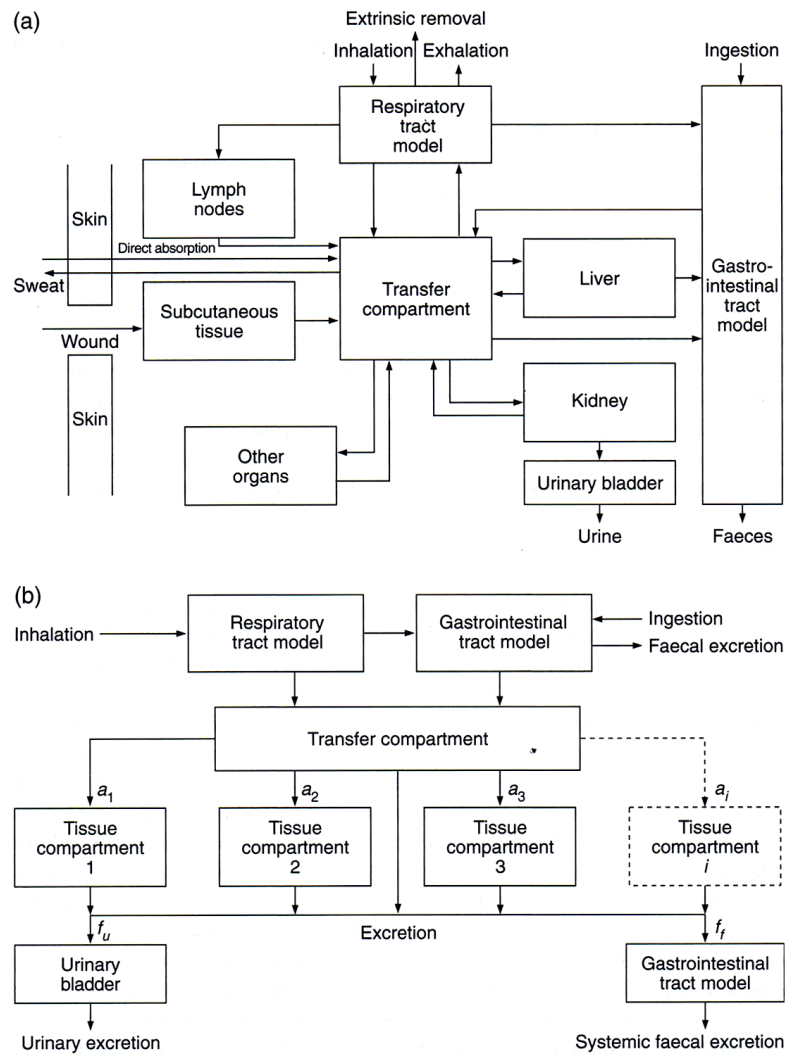
Bahan radioaktif dapat masuk ke dalam tubuh melalui berbagai jalur yaitu melalui pernafasan/*inhalasi*, pencernaan/*ingesti*, pori-pori kulit dan juga melalui kulit yang terbuka/luka. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Radionuklida dapat masuk ke saluran pencernaan melalui penelanan atau melalui *inhalasi*, yaitu berpindah dari saluran pernafasan ke kerongkongan melalui mekanisme *siliari bronkus*. Tempat absorpsi utama dalam saluran pencernaan adalah usus halus. Radionuklida yang sudah masuk ke dalam tubuh selanjutnya akan berdifusi ke dalam cairan ekstraseluler dan setelah mengalami proses yang kompleks di dalam tubuh radionuklida tersebut akan terdistribusi ke seluruh bagian tubuh yang sebagian akan mengendap dalam organ atau jaringan tertentu sesuai dengan sifat kimia dan fisiknya dan sebagian akan dikeluarkan secara alamiah dari dalam tubuh bersama urin, feses atau keringat. Radionuklida yang masuk ke saluran pernafasan adalah yang berbentuk gas, cairan atau partikel aerosol. Radionuklida yang mudah larut dengan ukuran partikel lebih kecil dari 5  $\mu\text{m}$  dapat di translokasikan ke dalam darah dan selanjutnya masuk ke organ target dan radionuklida yang tidak mudah larut dengan ukuran partikel kecil akan terdeposisi pada *parenkhim* paru sedangkan partikel yang lebih besar akan terdeposisi pada *bronkus* yang akan dikeluarkan secara alamiah. Gerakan *siliari* akan memindahkan partikel ke kerongkongan dan kemudian tertelan masuk ke saluran pencernaan. Contoh radionuklida yang bersifat mudah larut dan masuk melalui *inhalasi* adalah  $^{131}\text{I}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  dan  $^{137}\text{Cs}$  dan radionuklida yang tidak mudah larut contohnya adalah  $^{239}\text{Pu}$ .

### Pengukuran Kontaminasi Internal Dengan Analisis *In-vitro*

Para pekerja radiasi yang bekerja dengan sumber radiasi terbuka berpotensi untuk mendapat kontaminasi internal. Pemantauan kontaminasi internal dapat dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Pemantauan secara langsung pada seluruh tubuh dilakukan dengan alat pencacah seluruh tubuh yang disebut dengan *Whole Body Counter* (WBC) atau pada organ tertentu seperti kelenjar tiroid dengan *in-vivo thyroid counting*, dan pada paru dengan peralatan yang sesuai. Sedangkan pemantauan tidak langsung dapat dilakukan dengan pengukuran *bioassay* melalui analisis hasil ekskresi tubuh seperti urin dan feses. Untuk analisis sampel urin idealnya pengumpulan sampel dilakukan selama 24 jam, sedangkan untuk feses butuh waktu pengumpulan sampel 3 sampai 4 hari.

Feses mengandung bahan-bahan pembersihan dari paru-paru yang tidak mudah larut dan di ekskresikan ke dalam saluran pencernaan terutama di dalam empedu. Pemilihan sampel *bioassay* tidak hanya bergantung pada jalur utama ekskresi radionuklida, tetapi juga pada faktor lain seperti kemudahan pengumpulan sampel, analisis dan interpretasi data yang diperoleh. Setelah radionuklida masuk ke dalam darah dan sistem sirkulasi, pengeluarannya dari dalam tubuh adalah melalui ekskresi urin. Masukan radionuklida dalam bentuk yang tidak mudah larut sering hanya bergantung pada analisis feses. Aktivitas pada feses merupakan bagian kontaminan yang tidak diserap dari bahan zat yang berasal dari *nasofaring* atau sistem *trakeobronkhial*, ditambah bahan yang dicerna dan bahan yang dibuang dari dalam tubuh melalui empedu dan sistem pencernaan.

Setelah *inhalasi*, fraksi yang tidak larut dan bertahan di paru lebih terlihat pada pembuangan feses dibandingkan pada ekskresi urin. Aktivitas yang sangat rendah di urin tidak mengesampingkan adanya pengendapan di paru. Sejumlah besar fraksi dari masukan radionuklida yang tidak diserap akan dikeluarkan melalui feses dalam beberapa hari pertama, bahkan pada awal masuknya melalui *inhalasi*.



Gambar 1. (a) Jalur *intake*, transfer dan ekskresi; (b) Model umum yang digunakan untuk menggambarkan kinetika radionuklida di dalam anggota tubuh (catatan kecuali data metabolik untuk individu)

Pemilihan sampel untuk pemantauan *in-vitro* tidak hanya tergantung pada jalur utama dari hasil ekskresi, seperti yang ditetapkan dari model biokinetik untuk bentuk fisika kimia tertentu dan jalur *intake*, tetapi juga pada faktor-faktor lain seperti mudah dalam proses pengumpulan sampel, analisis dan evaluasi. Pada umumnya, sampel urin mudah untuk mengumpulkan dan akan menjadi dasar untuk penentuan *intake* dari bahan yang mudah diserap. *Intake* bahan yang tidak mudah larut dan tidak mudah diserap setelah mengalami *inhalasi* atau *ingesi*, biasanya ditentukan melalui sampel feses, tetapi sampel ini sulit untuk dikumpulkan dan hasil pengukuran juga sulit untuk dijelaskan<sup>[1]</sup>.

*Intake* dalam suatu bahan yang tidak mudah larut dan sulit untuk diserap dengan pernafasan atau melalui pencernaan, biasanya dikaji dari sampel feses, tetapi sampel ini tidak selalu siap jika sewaktu-waktu dikumpulkan dan hasil pengukurannya sulit untuk dijelaskan. Sebagai tambahan, penentuan dosis internal dengan sampel feses tergantung dari jenis pemantauan yang digunakan. Pemantauan khusus bersifat mengkaji lebih spesifik mengenai *intake* yang berpengaruh dari pada pemantauan rutin atau pemantauan berdasarkan tugas.

Pada kegiatan ini akan dikaji perhitungan dosis internal melalui sampel feses. Sampel feses merupakan produk limbah yang diangkut melalui saluran pencernaan. Feses mengandung bahan yang dibersihkan dari paru-paru, bahan sistemik diekskresikan ke dalam saluran pencernaan, terutama di dalam empedu, dan bahan-bahan yang tidak mudah terserap lewat melalui saluran pencernaan setelah proses pencernaan.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam kajian ini dibahas mengenai perhitungan dosis internal menggunakan sampel feses. Contoh radionuklida yang akan dihitung perkiraan nilai *intake*-nya yang terbawa oleh feses adalah <sup>90</sup>Sr dan <sup>137</sup>Cs. Di dalam tubuh manusia, <sup>90</sup>Sr maupun <sup>137</sup>Cs yang masuk ke dalam tubuh baik melalui *inhalasi* atau *ingesi* akan dialirkan melalui darah atau cairan tubuh lainnya menuju organ-organ tubuh. Kemudian mengalami proses metabolisme di dalam tubuh dan sebagian diekskresikan melalui urin dan feses. Besarnya fraksi <sup>90</sup>Sr yang diekskresikan melalui urin (*f<sub>u</sub>*) adalah 0,8 dari fraksi total, sedangkan besarnya fraksi <sup>90</sup>Sr yang diekskresikan melalui feses (*f<sub>f</sub>*) adalah 0,2 dari fraksi total<sup>[2]</sup>. Sedangkan untuk <sup>137</sup>Cs, diasumsikan besarnya fraksi yang diekskresikan melalui urin (*f<sub>u</sub>*) sebesar 80 % (0,8) dan fraksi yang diekskresikan melalui feses (*f<sub>f</sub>*) sebesar 0,2 <sup>[2]</sup>. Perhitungan dosis internal dengan asumsi radionuklida yang masuk adalah <sup>90</sup>Sr dan <sup>137</sup>Cs seperti di bawah ini :

- **Perhitungan untuk <sup>90</sup>Sr**

- a. Melalui proses *ingesi* (pencernaan)

Perhitungan untuk nilai *intake* pada <sup>90</sup>Sr melalui proses *ingesi* (pencernaan) menggunakan rumus :

$$I = Ef(t) \times \{f_1 \times Y(t) \times Ff\}^{-1} \times e^{\lambda_R t} \dots\dots\dots (1)$$

*Ef(t)* adalah aktivitas radionuklida hasil pengukuran dalam feses (Bq/hari), *f<sub>1</sub>* adalah fraksi elemen stabil yang masuk ke dalam darah dari saluran pencernaan, *Y(t)* adalah fungsi ekskresi, *Ff* adalah fraksi ekskresi feses dari ekskresi total, *λ<sub>R</sub>* adalah konstanta peluruhan radionuklida, *t* adalah rentang waktu antara *intake* dengan saat pengumpulan sampel atau waktu setelah *intake* (hari).

- b. Melalui proses *inhalasi* (pernafasan)

<sup>90</sup>Sr merupakan jenis radionuklida yang masuk dalam kategori kelas D. Maka perhitungan nilai *intake* pada <sup>90</sup>Sr yang melalui proses *inhalasi* (pernafasan) menggunakan rumus :

$$I = Ef(t) \times \{(0,48 + 0,15 \times f_1) \times Y(t) \times Ff\}^{-1} \times e^{\lambda_R t} \dots\dots\dots (2)$$

Fungsi ekskresi feses dirumuskan sebagai berikut :

$$Y(t) = 3,4 \times 10^{-2} \exp\left(-0,693 \frac{t}{3}\right) + 3,2 \times 10^{-4} \exp\left(-0,693 \frac{t}{44}\right) + 5,9 \times 10^{-6} \exp\left(-0,693 \frac{t}{4000}\right) \dots\dots\dots [2] \dots\dots\dots (3)$$

<sup>90</sup>Sr merupakan kategori kelas D, dengan nilai  $f_i=0,3$ . Perhitungan dosis ini divariasikan nilai waktu intake (t) dengan nilai  $t_1=1$  hari,  $t_2=2$  hari,  $t_3=3$  hari,  $t_4=4$  hari,  $t_5=5$  hari, sampai dengan  $t_{10}=10$  hari. Dengan pemisalan besarnya  $Eu(t)=0,5$  Bq/hari dan faktor konversi dosis <sup>90</sup>Sr untuk ingesi sebesar  $2,8 \times 10^{-8}$  dan inhalasi sebesar  $3,0 \times 10^{-8}$  [3]. Maka, diperoleh perhitungan sebagai berikut :

Jika diketahui waktu intake ( $t_1$ ) = 1 hari

Penentuan fungsi ekskresi feses (Y(t)) :

$$Y(t) = 3,4 \times 10^{-2} \exp\left(-0,693 \frac{t}{3}\right) + 3,2 \times 10^{-4} \exp\left(-0,693 \frac{t}{44}\right) + 5,9 \times 10^{-6} \exp\left(-0,693 \frac{t}{4000}\right)$$

$$Y(1) = 3,4 \times 10^{-2} \exp\left(-0,693 \frac{1}{3}\right) + 3,2 \times 10^{-4} \exp\left(-0,693 \frac{1}{44}\right) + 5,9 \times 10^{-6} \exp\left(-0,693 \frac{1}{4000}\right)$$

$$Y(1) = 3,4 \times 10^{-2} \times 0,794 + 3,2 \times 10^{-4} \times 0,984 + 5,9 \times 10^{-6} \times 0,999$$

$$Y(1) = 0,027 + 3,149 \times 10^{-4} + 5,899 \times 10^{-6}$$

$$Y(1) = 0,027$$

a) Perhitungan intake melalui ingesi (pencernaan)

Penentuan nilai intake untuk  $t_1$

$$I(t) = Ef(t) \times \{(f_1) \times Y(t) \times Ff\}^{-1} \times e^{\lambda_R t}$$

$$I(t) = 0,5 \text{ Bq/hari} \times \{0,3 \times 0,027 \times 0,2\}^{-1} \times e^{0,693 \times 7 / 106215}$$

$$I(t) = 0,5 \text{ Bq/hari} \times 617,284 \times 1$$

$$I(t) = 308,642 \text{ Bq}$$

Penentuan nilai dosis internal untuk  $t_1$

$$E_{50} = I(t) \times e(g)$$

$$E_{50} = 308,642 \text{ Bq} \times 2,8 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$$

$$E_{50} = 8,642 \times 10^{-6} \text{ Sv}$$

$$E_{50} = 0,008 \text{ mSv}$$

b) Perhitungan intake melalui inhalasi (pernafasan)

Penentuan nilai intake untuk  $t_1$

$$I(t) = Ef(t) \times \{(0,48 + 0,15f_1) \times Y(t) \times Ff\}^{-1} \times e^{\lambda_R t}$$

$$I(t) = 0,5 \text{ Bq/hari} \times \{(0,48 + 0,15 \times 0,3) \times 0,027 \times 0,2\}^{-1} \times e^{0,693 \times 7 / 106215}$$

$$I(t) = 0,5 \text{ Bq/hari} \times 352,733 \times 1$$

$$I(t) = 176,367 \text{ Bq}$$

Penentuan nilai dosis internal untuk  $t_I$

$$E_{50} = I(t) \times e(g)$$

$$E_{50} = 176,367 \text{ Bq} \times 3,0 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$$

$$E_{50} = 5,291 \times 10^{-6} \text{ Sv}$$

$$E_{50} = 0,005 \text{ mSv}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama, maka diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 1. Perhitungan dosis internal  $^{90}\text{Sr}$  dalam sampel feses melalui *ingesti* (pencernaan) dan *inhalasi* (pernafasan)

Waktu intake (t) (hari)	Fungsi ekskresi feses Y(t)	Ingesti		Inhalasi	
		Intake I(t) (Bq)	Dosis E <sub>50</sub> (mSv)	Intake I(t) (Bq)	Dosis E <sub>50</sub> (mSv)
1	0,027	308,642	0,008	176,367	0,005
2	0,021	396,825	0,011	226,757	0,007
3	0,017	490,196	0,014	280,112	0,008
4	0,013	641,025	0,018	366,300	0,011
5	0,011	757,575	0,021	432,900	0,013
6	8,799 x 10 <sup>-3</sup>	947,077	0,026	541,187	0,016
7	7,040 x 10 <sup>-3</sup>	1183,712	0,033	676,407	0,020
8	5,645 x 10 <sup>-3</sup>	1476,232	0,041	843,561	0,025
9	4,535 x 10 <sup>-3</sup>	1837,560	0,051	1050,034	0,031
10	3,654 x 10 <sup>-3</sup>	2280,606	0,064	1303,203	0,039

Dari hasil perhitungan dosis internal untuk  $^{90}\text{Sr}$  pada Tabel 1 diatas dengan variasi waktu intake (t) diperoleh hasil yang memperlihatkan, semakin lama waktu intake radionuklida masuk ke dalam tubuh sampai dilakukan pengukuran atau pengambilan sampel maka semakin besar nilai intake (I(t)). Sehingga nilai dosis berbanding lurus dengan waktu intake. Begitu juga dengan penerimaan dosis E<sub>50</sub>, semakin lama waktu intake maka semakin besar juga nilai dosis yang diterima oleh pekerja.

Nilai perhitungan dosis interna yang diperoleh melalui proses *inhalasi* (pernafasan) lebih kecil dibandingkan dengan nilai dosis melalui *ingesi* (pencernaan). Hal ini karena setiap radionuklida memiliki sifat kimia dan fisika yang berbeda-beda. Untuk <sup>90</sup>Sr sebagian besar radionuklida yang tidak terlarut, dikeluarkan melalui feses, dengan dua jalur *intake* yaitu *ingesi* dan *inhalasi*. Radionuklida masuk ke saluran pencernaan melalui penelanan atau melalui *inhalasi*, yaitu berpindah dari saluran pernafasan ke kerongkongan melalui mekanisme *siliari bronkus*.

• **Perhitungan untuk <sup>137</sup>Cs**

a. Melalui proses *ingesi* (pencernaan)

Perhitungan untuk nilai *intake* pada <sup>137</sup>Cs melalui proses *ingesi* (pencernaan) menggunakan rumus :

$$I = Ef(t) \times \{f_1 \times Y(t) \times Ff\}^{-1} \times e^{\lambda_R t} \dots\dots\dots (4)$$

*Ef(t)* adalah ekskresi dalam feses sehari (Bq/hari), *f<sub>1</sub>* adalah fraksi elemen stabil yang masuk ke dalam darah dari saluran pencernaan, *Y(t)* adalah fungsi ekskresi, *Ff* adalah fraksi ekskresi feses dari ekskresi total, *λ<sub>R</sub>* adalah konstanta peluruhan radionuklida, *t* adalah rentang waktu antara *intake* dengan saat pengumpulan sampel atau waktu setelah *intake* (hari).

b. Melalui proses *inhalasi* (pernafasan)

<sup>137</sup>Cs merupakan jenis radionuklida yang masuk dalam kategori kelas D. Maka perhitungan nilai *intake* pada <sup>137</sup>Cs yang melalui proses *inhalasi* (pernafasan) menggunakan rumus :

$$I = Ef(t) \times \{(0,48 + 0,15 \times f_1) \times Y(t) \times Ff\}^{-1} \times e^{\lambda_R t} \dots\dots\dots (5)$$

Fungsi ekskresi feses dirumuskan sebagai berikut :

$$Y(t) = 6,9 \times 10^{-3} \exp\left(-0,693 \frac{t}{2}\right) + 1,1 \times 10^{-3} \exp\left(-0,693 \frac{t}{110}\right) \dots\dots\dots (6)$$

<sup>137</sup>Cs merupakan kategori kelas D, dengan nilai *f<sub>i</sub>*=1,0 [2]. Dalam perhitungan dosis ini divariasikan nilai waktu *intake* (*t*) dengan nilai *t<sub>1</sub>*=1 hari, *t<sub>2</sub>*=2 hari, *t<sub>3</sub>*=3 hari, *t<sub>4</sub>*=4 hari, *t<sub>5</sub>*=5 hari, sampai dengan *t<sub>10</sub>*=10 hari. Dengan pemisalan besarnya *Eu(t)*=0,5 Bq/hari dan faktor konversi dosis <sup>137</sup>Cs untuk *ingesi* sebesar 1,3 x 10<sup>-8</sup> dan *inhalasi* sebesar 6,7 x 10<sup>-9</sup> [3]. Maka, diperoleh perhitungan sebagai berikut :

Jika diketahui waktu *intake* (*t<sub>1</sub>*) = 1 hari

Penentuan fungsi ekskresi feses (*Y(t)*) :

$$Y(t) = 6,9 \times 10^{-3} \exp\left(-0,693 \frac{t}{2}\right) + 1,1 \times 10^{-3} \exp\left(-0,693 \frac{t}{110}\right)$$

$$Y(1) = 6,9 \times 10^{-3} \exp\left(-0,693 \frac{1}{2}\right) + 1,1 \times 10^{-3} \exp\left(-0,693 \frac{1}{110}\right)$$

$$Y(1) = 6,9 \times 10^{-3} \times 0,707 + 1,1 \times 10^{-3} \times 0,994$$

$$Y(1) = 4,878 \times 10^{-3} + 1,093 \times 10^{-3}$$

$$Y(1) = 5,971 \times 10^{-3}$$



a) Perhitungan *intake* melalui *ingesi* (pencernaan)

Penentuan nilai *intake* untuk  $t_I$

$$I(t) = Ef(t) \times \{(f_1) \times Y(t) \times Ff\}^{-1} \times e^{\lambda_R t}$$

$$I(t) = 0,5 \text{ Bq/hari} \times \{1,0 \times 5,971 \times 10^{-3} \times 0,2\}^{-1} \times e^{0,693 \times 7 / 11012,05}$$

$$I(t) = 0,5 \text{ Bq/hari} \times 837,521 \times 1$$

$$I(t) = 418,760 \text{ Bq}$$

Penentuan nilai dosis internal untuk  $t_I$

$$E_{50} = I(t) \times e(g)$$

$$E_{50} = 418,760 \text{ Bq} \times 1,3 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$$

$$E_{50} = 5,444 \times 10^{-6} \text{ Sv}$$

$$E_{50} = 0,005 \text{ mSv}$$

b) Perhitungan *intake* melalui *inhalasi* (pernafasan)

Penentuan nilai *intake* untuk  $t_I$

$$I(t) = Ef(t) \times \{(0,48 + 0,15f_1) \times Y(t) \times Ff\}^{-1} \times e^{\lambda_R t}$$

$$I(t) = 0,5 \text{ Bq/hari} \times \{(0,48 + 0,15 \times 1,0) \times 5,971 \times 10^{-3} \times 0,2\}^{-1} \times e^{0,693 \times 7 / 11012,05}$$

$$I(t) = 0,5 \text{ Bq/hari} \times 1329,176 \times 1$$

$$I(t) = 664,588 \text{ Bq}$$

Penentuan nilai dosis internal untuk  $t_I$

$$E_{50} = I(t) \times e(g)$$

$$E_{50} = 664,588 \text{ Bq} \times 6,7 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$$

$$E_{50} = 4,453 \times 10^{-6} \text{ Sv}$$

$$E_{50} = 0,004 \text{ mSv}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama, maka diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 2. Perhitungan dosis internal  $^{137}\text{Cs}$  dalam sampel feses melalui *ingesi* (pencernaan) dan *inhalasi* (pernafasan)

Waktu <i>intake</i> (t) (hari)	Fungsi ekskresi feses Y(t)	<i>Ingesi</i>		<i>Inhalasi</i>	
		<i>Intake</i> I(t) (Bq)	Dosis E <sub>50</sub> (mSv)	<i>Intake</i> I(t) (Bq)	Dosis E <sub>50</sub> (mSv)
1	5,971 x 10 <sup>-3</sup>	418,760	0,005	664,588	0,004
2	4,536 x 10 <sup>-3</sup>	551,060	0,007	874,830	0,006
3	3,519 x 10 <sup>-3</sup>	710,429	0,009	1127,660	0,007
4	2,798 x 10 <sup>-3</sup>	893,495	0,012	1418,246	0,009

5	$2,286 \times 10^{-3}$	1093,565	0,014	1735,818	0,011
6	$1,922 \times 10^{-3}$	1300,728	0,017	2064,650	0,014
7	$1,663 \times 10^{-3}$	1508,578	0,019	2386,630	0,016
8	$1,477 \times 10^{-3}$	1692,620	0,022	2686,698	0,018
9	$1,344 \times 10^{-3}$	1859,510	0,024	2952,569	0,019
10	$1,248 \times 10^{-3}$	2002,240	0,026	3178,162	0,021

Berdasarkan hasil perhitungan dosis internal untuk  $^{137}\text{Cs}$  pada Tabel 2 diperoleh hasil bahwa nilai dosis internal dengan menggunakan sampel feses dengan jalur *intake* melalui *ingesi* (pencernaan) nilainya lebih besar dibandingkan dengan melalui *inhalasi* (pernafasan). Hal ini bergantung dengan sifat kimia dan fisika dari radionuklida yang masuk ke dalam tubuh.  $^{137}\text{Cs}$  termasuk jenis radionuklida yang mudah larut di dalam cairan tubuh dan sebagian besar diekskresikan melalui urin. Sebagian radionuklida yang tidak terlarut, maka diekskresikan melalui feses. Radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  dapat masuk ke saluran pencernaan melalui penelanan atau melalui *inhalasi*, yaitu berpindah dari saluran pernafasan ke kerongkongan melalui mekanisme *siliari bronkus*.  $^{137}\text{Cs}$  banyak yang masuk ke saluran pencernaan manusia melalui jalur *ingesi* (pencernaan) sehingga terlihat bahwa nilai dosis yang masuk melalui *ingesi* lebih besar dibanding yang masuk melalui *inhalasi*.

Pada perhitungan ini divariasikan waktu *intake* (*t*). Dari hasil perhitungan diperoleh hasil semakin lama waktu *intake* radionuklida di dalam tubuh manusia, maka semakin besar dosis yang diterima. Sehingga nilai dosis berbanding lurus dengan waktu *intake*.

## KESIMPULAN

Dari hasil kajian perhitungan dosis interna diperoleh hasil untuk radionuklida  $^{90}\text{Sr}$  sebagian radionuklida masuk ke saluran pencernaan melalui jalur *ingesi* (pencernaan) dan *inhalasi* (pernafasan). Pada  $^{90}\text{Sr}$  dan  $^{137}\text{Cs}$  *intake* yang masuk melalui *ingesi* lebih besar dibanding yang masuk melalui jalur *inhalasi*. Hal ini karena setiap radionuklida memiliki sifat kimia dan fisika yang berbeda-beda, ada radionuklida yang memiliki sifat mudah larut/tidak mudah larut. Radionuklida yang mudah larut akan terbawa dan dikeluarkan melalui urin. Hal ini yang menyebabkan dosis radiasi yang masuk ke saluran pencernaan melalui jalur *ingesi* dan *inhalasi* untuk masing-masing radionuklida juga memiliki nilai yang berbeda-beda. Kajian ini sangat diperlukan jika terjadi kecelakaan atau keadaan tanggap darurat sehingga diperlukan pemantauan khusus.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] IAEA, Indirect Methods for Assessing Intakes of Radionuclides Causing Occupational Exposure, Safety Report Series No. 18, IAEA, 2000.
- [2] ICRP, Individual Monitoring for *Intake* of Radionuclides by Worker : Design and Interpretation, ICRP Publication No.54, Pergamon Press, 1987.
- [3] IAEA, Methods for Assessing Occupational Radiation Doses Due to Intakes of Radionuclides, Safety Report Series no. 37, IAEA, 2004.
- [4] ICRP, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP publication 30 supplement to part 1, Pergamon Press, 1978.
- [5] ICRP, Evaluation of Radionuclide Doses to Body Tissues from Internal Contamination due to Occupational Exposure, ICRP publication 10, Pergamon Press, 1973.



## INTERKOMPARASI METODE EKSTRAKSI DAN METODE LSC UNTUK PENENTUAN AKTIVITAS URANIUM TOTAL DALAM SAMPEL URIN

**Ruminta Ginting, Ratih Kusuma Putri**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

**Elistina**

Pusat Teknologi Keselamatan Metrologi dan Radiasi-BATAN

### ABSTRAK

**INTERKOMPARASI METODE EKSTRAKSI DAN METODE LSC UNTUK PENENTUAN AKTIVITAS URANIUM TOTAL DALAM SAMPEL URIN.** Telah dilakukan penelitian mengenai interkomparasi metode ekstraksi dan metode *Liquid Scintillation Counter (LSC)* untuk penentuan aktivitas uranium total dalam sampel urin. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan aktivitas uranium total dalam sampel urin dengan dua metode yang berbeda. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode ekstraksi dan metode LSC. Hasil yang diperoleh dengan metode ekstraksi menunjukkan bahwa efisiensi pemisahan kimia untuk penambahan larutan standard uranium total 1 ml, 2 ml dan 3 ml dengan aktivitas 187,7 dpm/ml berturut-turut adalah 94,02 %, 113,33 % dan 113,13 %. Sedangkan dengan metode LSC, efisiensi pemisahan kimia yang diperoleh secara berturut-turut adalah 24,72 %, 16,62 % dan 22,45 %. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa efisiensi pemisahan kimia dengan metode ekstraksi memberikan nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan metode LSC.

**Kata kunci :** kadar uranium total, bioassay, urin, Quantulus 1220

### ABSTRACT.

**INTERCOMPARASI OF EXTRACTION METHOD AND LSC METHOD FOR DETERMINATION OF TOTAL URANIUM ACTIVITY IN URINE SAMPLES.** Has conducted research of intercomparasi of extraction method and *Liquid Scintillation Counter (LSC)* method for determination of total uranium activity in urine samples . The purpose of this study was to determine the activity of the total uranium in urine samples with two different methods. In this study the method used is the method of extraction and LSC methods. The results obtained with the extraction method showed that the efficiency of the chemical recovery of total uranium standard activity for adding of 1 ml, 2 ml and 3 ml with 187.7 dpm / ml, respectively, 94.02%, 113.33% and 113.13%. While the LSC method, chemical recovery obtained were respectively 24.72%, 16.62% and 22.45%. The results obtained show that the efficiency of the chemical recovery by extraction method gives greater value when compared with LSC method.

**Key word :** consentration total uranium, bioassay, urine, Quantulus 1220

## I. Pendahuluan

Pekerja radiasi di suatu instalasi nuklir mempunyai risiko untuk menerima paparan radiasi akibat pekerjaan yang berhubungan dengan bahan radioaktif. Untuk menjamin kesehatan dan keselamatan kerja terhadap radiasi perlu dilakukan pemantauan dosis radiasi secara rutin terhadap pekerja radiasi , baik pemantauan radiasi eksternal maupun internal. Pemantauan dosis radiasi internal dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu metode in-vivo dan in-vitro. Metode in-vivo adalah metode pencacahan langsung terhadap radionuklida yang ada di dalam tubuh melalui pencacahan seluruh tubuh ataupun organ tertentu sedangkan metode in-vitro adalah pencacahan radionuklida yang ada di dalam tubuh melalui analisis hasil metabolisme tubuh.

*Bioassay* diartikan sebagai cara untuk mengidentifikasi dan menentukan jumlah kandungan radionuklida yang ada di dalam tubuh melalui analisis hasil

ekskresi yang dikeluarkan dari dalam tubuh dan disebut juga (*Bioassay in vitro*). Pemantauan kesehatan pekerja radiasi dengan teknik *bioassay* digunakan untuk :

1. Pemantauan rutin (*Routine monitoring*), untuk menetapkan atau melihat secara individu keadaan kesehatan pekerja dan mengamati cara kerja yang aman serta menghindari akumulasi radionuklida yang terdeposisi secara interna.
2. Pemantauan khusus (*Special monitoring*), dilakukan bila terjadi kondisi tidak normal/kecelakaan dapat berupa *acute* atau *chronic intake*. Pada pemantauan khusus, waktu masuknya radionuklida ke dalam tubuh (*intake*) diketahui secara pasti dan pengukurannya dilakukan dalam beberapa hari secara berurutan sampai hari ke sepuluh atau lebih dan dicatat seluruh datanya.

Kegiatan dalam program *bioassay* melakukan pemantauan setiap pekerja radiasi secara rutin dengan menentukan radionuklida seperti tritium, karbon 14, uranium dan lain sebagainya. Yang termasuk dalam prosedur pengukuran *in vitro* adalah : analisis urin, feses, darah, nafas dan analisis biologi lainnya. Analisis urin biasanya lebih sering digunakan untuk pemantauan rutin dalam program *bioassay* rutin karena lebih mudah baik dalam hal pengumpulan maupun analisisnya. Sedangkan feses dan hasil ekskresi lainnya digunakan pada keadaan tertentu saja , terutama untuk pemantauan khusus. Urin merupakan sampel yang cukup mewakili untuk pengukuran kandungan radioaktif yang terdapat dalam tubuh pekerja akibat kontaminasi interna<sup>[1]</sup>.

Salah satu radionuklida yang dapat mengakibatkan kontaminasi interna adalah uranium. Uranium merupakan unsur penting yang tidak hanya dalam aplikasi industri tetapi juga dalam bidang energi dan masalah lingkungan. Uranium mempunyai sifat toksik atau beracun dan dalam batas kadar tertentu sangat berbahaya bagi tubuh manusia dan juga dapat menyebabkan efek toksikologi akut pada mamalia, dan senyawanya berpotensi karsinogen. Senyawa uranium sangat mudah larut dalam air dan terbawa oleh zat cair ( $H_2O$ ), oleh karena itu uranium akan mudah didapat di seluruh permukaan bumi dengan kadar yang berbeda-beda di setiap tempat. Dalam kadar yang sangat rendah, sifat racun uranium dapat ditolerir oleh tubuh tetapi dalam jumlah yang cukup besar sangatlah berbahaya bagi tubuh atau organ tubuh manusia (paru-paru, ginjal, tulang dan jaringan tubuh lainnya). Dengan demikian tidak ada batasan yang pasti kandungan uranium alam yang harus ditetapkan. Sedangkan batasan kadar uranium yang masuk ke dalam tubuh dapat ditolerir berdasarkan batasan dosis yang diizinkan. Penentuan kadar uranium alam merupakan dasar yang sangat penting untuk menghitung dosis kontaminasi interna dari pekerja radiasi, terutama pekerja yang terlibat langsung dengan senyawa ini<sup>[2]</sup>.

Penentuan dosis pada organ tubuh atau seluruh tubuh akibat adanya kontaminasi interna radionuklida di dalam tubuh dapat dihitung menggunakan model matematika. Umumnya model matematika yang dipakai disesuaikan dengan model metabolisme tubuh yang dilengkapi dengan suatu uraian matematika dari *intake*, *uptake*, distribusi, retensi dan ekskresi radionuklida. Perhitungan didasarkan atas proses biologi dan sifat-sifat kimia dan fisika zat radioaktif yang berperan. Dengan mengetahui model matematika yang digunakan, maka jumlah radionuklida yang diekskresikan dapat ditentukan, selanjutnya nilai *intake* dan *uptake* dapat dihitung. Materi radioaktif yang terdeposisi di dalam sistem pernapasan akan dieliminasi secara cepat dari sistem pernapasan itu sendiri dan sejumlah kecil materi akan ditransfer dan terabsorpsi ke dalam tubuh

bergantung dari sifat kimia dan fisika materi tersebut. Partikel aerosol radioaktif yang telah mengendap di saluran pernafasan akan dibersihkan melalui 3 proses yaitu melalui bersin, melalui pergerakan partikel ke saluran pencernaan atau limpatik dan melalui absorpsi ke dalam darah. Laju penyerapan atau absorpsi partikel radioaktif di daerah saluran pernafasan dibagi dalam 3 tipe yaitu : tipe F (*Fast*) 10 menit (100 %), tipe M (*Moderate*) 10 menit (10 %); 140 hari (90%) dan tipe S (*Slow*) 10 menit (0,1%); 7000 hari (99,9%). Untuk ukuran diameter partikel, ICRP publikasi 66 merekomendasikan bahwa ukuran partikel / aerosol *Activity Median Aerodynamic Diameter* (AMAD) adalah 5  $\mu\text{m}$ , yang dianggap lebih mewakili kondisi aerosol daerah kerja<sup>[3]</sup>.

Ada beberapa teknik yang tersedia untuk menganalisis radionuklida yang ada di dalam tubuh melalui hasil ekskresi tubuh, termasuk alpha spektrometri (dengan persiapan dan prosedur pemisahan sampel yang berbeda untuk setiap radionuklida), *Induced Couple Plasma Spectroscopy* (ICP-S) dan *Induced Couple Plasma Mass Spectroscopy* (CPMS), *Liquid Scintillation Counter* (LSC) dengan diskriminasi bentuk pulsa dapat digunakan untuk membedakan antara radiasi  $\alpha$  dan  $\beta$  dan telah menjadi menarik untuk pengukuran pemancar  $\alpha$ . LSC menawarkan banyak keunggulan dibandingkan teknik konvensional, karena teknik dengan menggunakan LSC ini mempunyai sensitivitas tinggi, biaya analitis rendah, persiapan sampel yang cepat, kurangnya masalah penyerapan diri, kemampuan untuk mengukur alpha dan beta emitter secara bersamaan, dan sebagainya. Tulisan ini menjelaskan metode baru untuk penentuan uranium pada tingkat rendah dalam sampel urin dengan menggunakan LSC dan juga untuk melihat seberapa besar *recovery* yang dihasilkan baik dari metode LSC maupun metode ekstraksi.

## II. TATA KERJA

### Bahan dan peralatan

Untuk melakukan analisis dengan metode ekstraksi bahan yang digunakan adalah sebagai berikut : sampel urine, larutan standard uranium,  $\text{HNO}_3(\text{p})$ ,  $\text{HNO}_3$  5M, TBP,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ , kerosin dan aquades, sedangkan analisis dengan metode LSC bahan yang digunakan adalah : kocktail, air bidestilat, larutan standar uranium,  $\text{HNO}_3(\text{p})$ ,  $\text{HNO}_3$  1M,  $\text{H}_2\text{O}_2$  30 % dan sampel urin<sup>[4]</sup>. Peralatan yang digunakan untuk metode ekstraksi adalah beker gelas, gelas ukur, pipet volum, mikro pipet, plat pemanas, pipet plastic, masker, sarung tangan dan alat cacah alpha/beta counter sedangkan untuk analisis dengan LSC peralatan yang digunakan adalah : Pencacah sintilasi tingkat ultra-rendah spektrometer Quantulus 1220 (Wallac Oy, Turku, Finlandia), *vorstex*, vial polietilen, dispenser asam, mikro pipet, sentrifus, pemanas, *beaker glass*, kaca arloji, labu ukur, tabung sentrifus, pipet plastic, sarung tangan karet dan masker<sup>[5]</sup>.

### Metode Penelitian.

Sampel urine dikumpulkan dari 5 orang pekerja di Bidang Keselamatan dan Lingkungan Pusat Teknologi Limbah Radioaktif dengan volume masing-masing minimal 300 ml. Semua sampel digabung menjadi satu kemudian 250 ml di pisahkan untuk sampel non spike, lalu dari sampel non spike ini diambil 200 ml untuk metode ekstraksi dan 50 ml untuk metode LSC. Disiapkan 3 buah beker gelas 600 ml, lalu masing-masing beker di isi sampel urine dengan volume 225 ml

dan di tambah larutan standard uranium dengan konsentrasi aktivitas 187,7 dpm/ml. Penambahan larutan standard uranium ke dalam sampel 1, 2 dan 3 berturut-turut adalah 1 ml, 2 ml dan 3 ml. Kemudian masing-masing sampel di bagi 2 yang satu di analisis dengan metode ekstraksi dan yang satu lagi di analisis dengan metode pencacah kelipan cair (Liquid Scintillation Counter / LSC) . Metode ekstraksi dilakukan dengan menggunakan volume sampel 200 ml untuk setiap analisis sedangkan metode pencacah kelipan cair (LSC) volume sampel yang digunakan adalah 20 ml untuk setiap analisis. Preparasi yang dilakukan dengan metode ekstraksi adalah ke dalam sampel spike dan sampel non spike di tambahkan 20 ml HNO<sub>3</sub>(p), lalu diuapkan diatas plat pemanas hingga diperoleh residu berwarna putih atau kuning pucat. Selanjutnya residu yang diperoleh dilarutkan dalam 40 ml Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> dan kemudian uranium yang ada dalam sampel urin diekstraksi dengan TBP. Hasil ekstraksi ini, diuapkan diatas plat pemanas hingga volumenya kira-kira 5-10 ml dan dimasukkan ke dalam planset lalu dikeringkan dibawah lampu pemanas dan selanjutnya dicacah dengan alpha-beta counter<sup>[4]</sup>.

### **Metode penelitian dengan LSC :**

#### **Persiapan Sampel dan Analisis sampel**

Sampel urin sebanyak 20 ml di masukkan ke dalam beker gelas, lalu di tambah 3 ml HNO<sub>3</sub>(p) dan 1 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30 %. Beker gelas diletakkan di atas pemanas pada suhu sekitar (60°C) sampai mendekati mendidih selama beberapa jam. Jika sampel hampir kering, 1 ml asam nitrat pekat ditambahkan kembali ke dalam beker gelas. Pemanasan diteruskan sampai sampel kering dan berubah warna dari kuning ke putih. Bila sampel sudah kering lalu didinginkan. Sampel dilarutkan dalam 10 ml asam nitrat 1M. Larutan dipindahkan kedalam tabung sentrifus dan disentrifus pada kecepatan 3.500 rpm selama 10 menit. Larutan *supernatant* dipindahkan kedalam labu ukur. Beker gelas dibilas dengan 5 ml asam nitrat 1M, lalu larutan dipindahkan ke dalam tabung sentrifus dan disentrifus kembali. Larutan *supernatant* yang sudah disentrifus dimasukkan juga ke dalam labu ukur dan ditambahkan air bidestilat sampai volumenya menjadi 20 ml lalu dikocok sampai homogen. Larutan sampel urin tersebut sudah siap dicacah menggunakan alat Quantulus 1220.

#### **Pencacahan Dengan LSC**

Sampel ini diukur dengan *ultra low level liquid scintillation spectrometer Wallac 1220 Quantulus* yang dapat memisahkan pemancar alpha dari beta pada nilai *Pulse Spectrum Analyzer (PSA = 120)* dan *coincidence bias : low* yang sesuai (menggunakan pemisah  $\alpha/\beta$  selama 60 menit dengan parameter *quench standard* eksternal, SQP(E)). Metode yang digunakan untuk pencacahan sampel urin ini adalah *Spectral Quench Parameter of External Standard (SQP(E))* yang dilakukan dengan cara mencacah larutan uranium standar, cacah latar dan sampel urin. Sampel cacah latar (*background*) disiapkan sebanyak 1 ml air distilasi dan 13 ml sintilator, masukkan ke dalam botol vial lalu kocok sampai homogen<sup>[6]</sup>. Hal yang sama juga dilakukan untuk sampel urin, sebanyak 1 ml dimasukkan ke dalam vial lalu ditambahkan 13 ml sintilator. Vial-vial didiamkan dan disimpan selama 1 jam sampai gelembung dalam vial tidak ada lagi di dalam tempat tertutup yang gelap (kotak vial sampel). Evaluasi dilakukan dengan cara



perhitungan aktivitas uranium untuk mendapatkan efisiensi cacahan dan data tersebut digunakan untuk perhitungan aktivitas sampel urin yang tidak diketahui.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN.

Tabel 1 : Hasil Cacahan Blanko, Non Spike dan Spike dengan alpha/beta Counter

No.	Blanko (cpm)	Non Spike (cpm)	Spike 1 (cpm)	Spike 2 (cpm)	Spike 3 (cpm)
1.	0,117	0,047	63,514	151,452	227,052
2.	0,187	0,093	65,356	153,720	227,598
3.	0	0	64,120	153,342	229,362
4.	0,047	0,093	62,814	152,530	224,658
5.	0,117	0,070	65,054	152,082	230,972
6.	0	0,187	63,490	153,763	226,618
7.	0,070	0,070	62,254	154,112	226,632
8.	0,466	0,023	63,490	148,400	227,948
9.	0,257	0,047	62,686	150,808	229,488
10.	0,117	0,070	61,530	149,268	227,542
<b>Rerata</b>	<b>0,105</b>	<b>0,079</b>	<b>63,132</b>	<b>151,948</b>	<b>227,787</b>
<b>SD</b>	<b>±0,018</b>	<b>± 0,050</b>	<b>± 1,111</b>	<b>± 1,964</b>	<b>± 1,785</b>

Faktor Kalibrasi alpha-beta : 1,4 dan Efisiensi alat untuk gross alpha ; 35,67 %

Dari table 1 dapat dilihat hasil cacahan sampel blanko, sampel non spike dan sampel spike 1, spike 2 dan spike 3 yang dicacah dengan alpha/beta spektrometer. Rata-rata hasil cacahan blanko adalah :  $0,105 \pm 0,018$ , sampel non spike:  $0,079 \pm 0,050$ ; Spike 1 :  $63,132 \pm 1,111$ ; spike 2 :  $151,948 \pm 1,965$  dan spike 3 :  $227,787 \pm 1,785$ . Kalau kita perhatikan table 1, pencacahan dilakukan 10 kali untuk setiap sampel, namun untuk hasil cacahan blanko yang dipakai dalam perhitungan adalah hasil cacahan 1, 5, 7 dan 10 karena ke empat hasil cacahan ini perbedaannya tidak begitu besar, sedangkan untuk hasil cacahan 2,3,4,6,8 dan 9 perbedaannya terlalu besar sehingga tidak dipakai untuk menghitung hasil cacahan rata-rata. Demikian juga untuk hasil cacahan non spike, data yang dipakai untuk menghitung hasil cacahan non spike rata-rata adalah hasil cacahan 2,4,5,7 dan 10, hasil cacahan non spike untuk yang lain perbedaannya terlalu besar sehingga tidak digunakan dalam menghitung hasil cacahan rata-rata. Untuk hasil cacahan spike 1, 2 dan 3 perbedaan hasil cacahan antara satu dengan yang lain tidak begitu besar sehingga semua hasil cacahan dapat digunakan untuk menghitung hasil cacahan rata-rata. Setiap kali kita melakukan analisis, analisis sampel blanko, sampel spike dan non spike juga harus dilakukan. Untuk mendapatkan aktivitas sampel yang dianalisis maka aktivitas sampel tersebut harus dikurangi dengan aktivitas sampel blanko. Yang dimaksud dengan sampel blanko disini adalah sampel yang tidak menggunakan sampel urin. Sampel spike dan sampel non spike adalah 2 buah sampel yang pada awalnya digabung jadi satu dalam hal ini volume awalnya adalah 400 ml kemudian dibagi 2 dengan volume masing-masing 200 ml, lalu sampel yang di tambah standard uranium total disebut sampel spike dan yang tidak ditambah standard disebut sampel non spike. Kemudian proses analisis yang dilakukan terhadap kedua sampel ini adalah sama.

Volume larutan standard yang di tambahkan ke dalam sampel spike 1, 2 dan 3 berturut-turut adalah 1 ml, 2 ml dan 3 ml dengan aktivitas jenis 187,7 dpm/ml.

Tabel 2. Data hasil Cacah Larutan Standar Uranium dan BG (blanko) Dengan LSC

No	Sampel	Hasil cacahan (cpm)	Cacahan Net (cpm)	Efisiensi (%)
1.	Uranium Standar	187,080	185,870	99,03
2.	Blanko	1,21	-	-

Catatan : Aktivitas larutan standar uranium : 187,7 dpl/ml.

Tabel 2, adalah data hasil pencacahan larutan standar uranium dengan LSC, dimana hasil cacahan yang diperoleh adalah 187,080 sedangkan aktivitas larutan standar uranium yang diukur adalah 187,700 dpm/ml. Efisiensi pencacahan dari hasil pengukuran larutan standard ini dihitung dengan rumus berikut :

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Aktv. Larutan std hasil pencacahan}}{\text{Aktivitas larutan std terukur}} \times 100 \% \dots\dots(1)$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan efisiensi ini, dari hasil pencacahan larutan standard dengan LSC diperoleh efisiensi cacah 99,03 %. Untuk pencacahan dengan LSC, 1 ml larutan standar uranium dicampur dengan sintilator sebanyak 13 ml dalam vial polietilen 20 ml lalu dikocok merata. Data hasil cacah larutan uranium standar dikurangi hasil cacahan blanko kemudian dibagi aktivitas awal larutan uranium standar sehingga didapat nilai efisiensi pencacahan. Efisiensi pencacahan larutan standar uranium adalah 0,9903 (99,03%). Nilai efisiensi pencacahan ini digunakan untuk perhitungan sampel-sampel yang tidak diketahui aktivitasnya.

Tabel 3. Data Hasil Cacahan Sampel Dengan LSC dan Perhitungan Aktivitas.

No.	Nama Sampel	BG	Crate (U total)	Eff	Drate	Aktv. / 20 ml sampel
		cpm	cpm	(*100) %	dpm	dpm
1.	Non Spike	1,21	1,46	0,9903	0,25	5,00
2.	Spike 1	1,21	3,76	0,9903	2,32	46,4
3.	Spike 2	1,21	4,55	0,9903	3,12	62,4
4.	Spike 3	1,21	7,72	0,9903	6,32	126,4

Pada Tabel 3, setelah diperoleh nilai efisiensi pencacahan dan hasil pengukuran sampel maka nilai tersebut digunakan untuk menghitung aktivitas setiap sampel. Hasil cacahan netto pada masing-masing sampel diperoleh setelah hasil cacahan tersebut dikurangi hasil cacah blanko sehingga diperoleh hasil untuk non spike adalah 1,46 cpm dan spike 1 adalah 3,76 cpm , spike 2 adalah 4,55 cpm dan spike 3 adalah 7,72 cpm. Untuk menghitung aktivitas spike 1, 2 dan 3, masing-masing hasil cacahan ini dikurangi dengan hasil cacahan non spike

sehingga diperoleh aktivitas masing-masing spike berturut-turut adalah spike 1 : 2,32 dpm, spike 2 : 3,12 dpm dan spike 3 adalah 6,32 dpm. Dalam analisis ini volume sampel urin yang digunakan adalah 20 ml, sehingga dari hasil perhitungan aktivitas spike yang diperoleh dalam 20 ml sampel urin adalah 46,4 dpm untuk spike 1; 62,4 dpm untuk spike 2 dan 126,4 dpm untuk spike 3. Sampel non spike adalah sampel yang tidak ditambahkan tracer atau dapat dikatakan hanya sampel urin saja dan dalam analisis diperlakukan sama dengan sampel spike. Untuk hasil cacahan spike 1, 2 dan 3 terdapat peningkatan sesuai dengan penambahan tracer dari 1 ml, 2 ml sampai 3 ml pada masing-masing sampel spike 1, 2 dan 3.

Tabel 4. Hasil perhitungan Chemical Recovery

No.	Sampel	Aktivitas awal (dpm)	Metode Ekstraksi		Metode LSC	
			Aktiv. setelah preparasi (dpm)	Chemical Recovery (R) %	Aktiv. setelah preparasi (dpm)	Chemical Recovery (R) %
1.	Spike 1	187,7	176,47	94,02	46,4	24,72
2.	Spike 2	375,4	425,46	113,33	62,4	16,62
3.	Spike 3	563,1	638,08	113,31	126,4	22,45

Tabel 4 adalah hasil perhitungan efisiensi pemisahan kimia (*chemical recovery*) untuk sampel spike 1, 2 dan 3 yang diperoleh dengan metode ekstraksi dan metode LSC. Hasil perhitungan efisiensi pemisahan kimia dengan metode ekstraksi untuk sampel spike 1 adalah sebesar 94,02 % . Hal ini berarti sampel urin yang di tambah 1 ml larutan standard uranium total dengan aktivitas 187,7 dpm/ml yang diproses dengan prosedur analisis kimia dengan metode ekstraksi dan hasil analisisnya dicacah dengan alpha/beta counter dan dari hasil pencacahan dan perhitungan, aktivitas larutan standard uranium yang diperoleh kembali setelah mengalami proses kimia adalah 176,47 dpm atau 94,02 %. Aktivitas yang hilang adalah sebesar 5,98 %, kehilangan atau berkurangnya aktivitas larutan standard ini mungkin disebabkan oleh ketelitian yang kurang dalam melakukan prosedur analisis yang proses analisisnya cukup panjang. Untuk sampel spike 2 dan 3 diperoleh efisiensi pemisahan kimia 113,33 % dan 113,31 %, dalam hal ini efisiensi pemisahan kimia yang diperoleh lebih besar dari 100 %, hal ini juga mungkin disebabkan oleh ketelitian yang kurang saat melakukan prosedur analisis kimia atau mungkin saja pada saat mengukur/ memipet larutan standard volumenya kurang tepat dalam hal ini mungkin berlebih, sehingga aktivitas yang diperoleh setelah mengalami proses kimia menjadi lebih besar dari pada aktivitas awal. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai efisiensi pemisahan kimia adalah ketelitian dalam setiap tahap analisis yaitu : saat mengukur / memipet larutan , saat destruksi sampel urin destruksinya harus sempurna sampai diperoleh residu berwarna putih atau kuning pucat, saat melakukan ekstraksi, saat mengeringkan hasil ekstraksi dan juga saat pencacahan, alat cacah harus sudah terkalibrasi dengan benar

Sedangkan dengan metode LSC, efisiensi pemisahan kimia yang diperoleh adalah 24,72 % untuk spike 1; 16,62 % untuk spike 2 dan 22,45 % untuk spike 3. Efisiensi pemisahan kimia yang diperoleh dengan metode LSC, hasilnya lebih kecil jika dibandingkan dengan metode ekstraksi. Dalam hal ini

metode yang digunakan dengan pengukuran LSC ini adalah metode yang baru pertama kali dicoba untuk pengukuran uranium dalam sampel urin dan juga mungkin dalam melakukan preparasi analisis ada hal-hal yang perlu diperhatikan misalnya pada saat penguapan sampel, pada saat melarutkan residu dan lain sebagainya sehingga aktivitas yang diperoleh menjadi lebih kecil, untuk itu perlu dilakukan uji coba lebih jauh lagi.

#### IV. KESIMPULAN.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dengan metode ekstraksi diperoleh efisiensi pemisahan kimia untuk spike 1 adalah 94,02 %, spike 2 adalah 113,31 % dan spike 3 adalah 113,33 %, sedangkan dengan metode LSC diperoleh efisiensi pemisahan kimia untuk spike 1 adalah 24,72 %, spike 2 adalah 16,62 % dan spike 3 adalah 22,45 %. Efisiensi pemisahan kimia yang diperoleh dengan metode ekstraksi memberikan hasil yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan metode LSC. Dalam hal penentuan aktivitas uranium total dalam sampel urin dengan metode LSC metode ini baru pertama kali dicoba dan ternyata efisiensi pemisahan kimia yang diperoleh jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan metode ekstraksi, sehingga dengan metode LSC perlu lebih banyak lagi uji coba agar diperoleh hasil yang maksimal. Metode ekstraksi untuk penentuan uranium total dalam sampel urin adalah metode baku yang sudah diterapkan secara rutin pada pemantauan dosis radiasi in-vitro dan efisiensi pemisahan kimia yang diperoleh setiap kali analisis adalah diatas 70 %.

#### V. DAFTAR PUSTAKA.

- [1]. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, "*Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by Workers: I Design and Interpretation*", ICRP Publication No. 54, Pergamon Press, Oxford and New York (1988).
- [2]. USA, Environmental Protection Agency, 40CFR192, "*Health and Environmental Protection Standards for Uranium and Thorium Mill Tailings.*"
- [3]. ICRP, "*Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers*", Replacement of ICRP Publication 61, ICRP 68, Pergamon, 1995
- [4]. "*Instruksi Kerja Analisis Uranium Total Dalam Sampel Urin*", Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, IK-015/PTLR/SMM-07.01/111-00/2010.
- [5]. "*Kinetic Phosphorescence Analyzer, Model KPA-11, Operation and Service Manual*", CHEMCEK Instruments., Inc., 1845 Terminal Drive Richland, WA 99352 U.S.A
- [6]. Perkin Elmer Life Sciences, "*Instrument Manual Wallac 1220 Quantulus Ultra LowLevel Liquid Scintillation Spectrometer*", Internal Software version 1.D, 2002.
- [7]. NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, "*Use of Bioassay Procedures for Assessment of Internal Radionuclide Deposition*", NCRP Report No. 87, (1987).
- [8]. IAEA SAFETY REPORTS SERIES No. 18, "*Indirect Methods for Assessing Intakes of Radionuclides Causing Occupational Exposure*", IAEA (2000).

**PEMANTAUAN DOSIS RADIASI EKSTERNAL DAN DOSIS RADIASI  
INTERNAL YANG DITERIMA PEKERJA RADIASI  
DI KAWASAN NUKLIR SERPONG TAHUN 2013**

**Sri Widayati, Ruminta Ginting, Tri Bambang L, Elfida, Yanni A,  
MM. Farid, Ratih KP**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

**ABSTRAK**

**PEMANTAUAN DOSIS RADIASI EKSTERNAL DAN DOSIS RADIASI INTERNAL YANG DITERIMA PEKERJA RADIASI DI KAWASAN NUKLIR SERPONG TAHUN 2013**. Pemantauan dosis radiasi perorangan di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) telah dilakukan. Kegiatan ini bertujuan untuk mengetahui besarnya dosis radiasi perorangan yang diterima 716 pekerja radiasi di Kawasan Nuklir Serpong. Pemantauan dosis radiasi perorangan dilakukan terhadap penerimaan dosis radiasi eksternal dan penerimaan dosis radiasi internal. Pemantauan dosis radiasi eksternal dilakukan dengan menggunakan dosimeter termoluminesen (TLD) dan dianalisis menggunakan alat TLD reader model 6600. Pemantauan dosis radiasi internal dilakukan secara in-vivo dan secara in-vitro. Pemantauan dosis radiasi internal secara in-vivo dilakukan dengan menggunakan alat cacah Whole Body Counter (WBC) dan pemantauan dosis radiasi secara in-vitro dilakukan dengan mencacah sampel urin pekerja yang telah dipreparasi dan dianalisis menggunakan alat  $\alpha/\beta$  Low Background Counting. Periode pemantauan dosis radiasi dilakukan 3 (tiga) bulan. Hasil pemantauan dosis radiasi perorangan disajikan dalam bentuk dosis radiasi eksternal Hp(10), dosis radiasi internal (E50) dan dosis efektif (E). Hasil pemantauan dilaporkan kepada Satuan Kerja terkait, BAPETEN dan Kepala BATAN secara periodik. Hasil pemantauan menunjukkan bahwa dosis efektif (E) rata-rata yang diterima pekerja radiasi di KNS tahun 2013 sebesar 0,27 mSv atau 1,35 % dari Nilai Batas Dosis (NBD) yang diijinkan. Hasil pemantauan dosis radiasi ini menunjukkan bahwa dosis radiasi rata-rata yang diterima pekerja masih jauh di bawah NBD yang diijinkan, dengan demikian keselamatan pekerja terhadap radiasi masih tetap dalam batas yang aman.

**Kata kunci** : Dosis radiasi eksternal, Dosis radiasi internal

**ABSTRACT**

**MONITORING OF EXTERNAL AND INTERNAL RADIATION DOSE FROM RADIATION WORKERS AT SERPONG NUCLEAR AREA IN 2013**. Monitoring of personnel radiation doses at Serpong nuclear area has been done. This activity aims to know radiation doses received by 716 workers and to control the acceptance by the workers' radiation doses. Monitoring of radiation dose applied to both external radiation dose acceptance and receipt of internal radiation. Monitoring of external radiation dose by using termoluminesen dosimeter (TLD) and analyzed by TLD reader model 6600. The internal radiation dose monitoring carried out in-vivo and in vitro. Monitoring for internal radiation dose in-vivo counting equipment carried by Whole Body Counter (WBC) and monitoring of radiation dose in vitro is done by counting the urine samples of workers who have been prepared and analyzed by  $\alpha/\beta$  Low Background Counter. Personnel radiation dose monitoring results are presented in the form of external radiation dose Hp (10), internal radiation dose (E50) and effective dose (E). Results of monitoring are reported to related Unit, BAPETEN and Head of BATAN periodically. This monitoring results showed that the effective dose (E) average received by workers at KNS in 2013 is 0.27 mSv or 1.35 % of the annual limit dose (NBD) is permitted. This radiation dose monitoring results show that the average radiation dose received by workers is still far below the allowable NBD, so that the safety of workers to radiation is still within safe limits.

**Keywords** : External radiation dose, Internal radiation dose

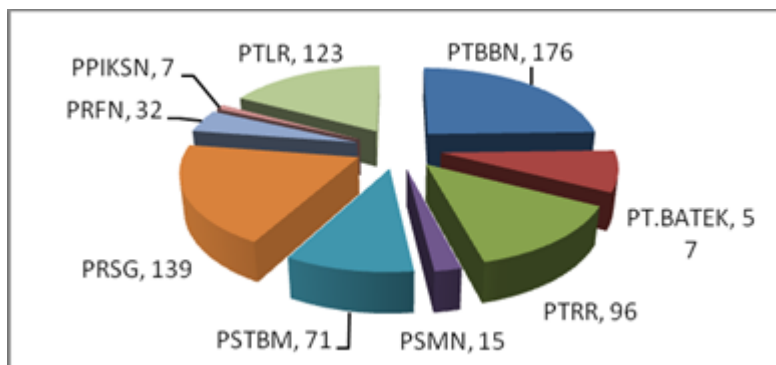
**PENDAHULUAN**

Instalasi nuklir dan fasilitas radiasi di BATAN Serpong dirancang, dibangun dan dioperasikan menurut kriteria dengan standar keselamatan yang dipersyaratkan sehingga memenuhi aspek keselamatan baik terhadap pekerja, masyarakat maupun lingkungan. Sesuai dengan ketentuan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), telah dilakukan pengendalian personel melalui pemantauan dosis radiasi eksternal dan internal terhadap pekerja radiasi.[1]

Tujuan dilakukan pengendalian personel adalah agar efek deterministik (non stokastik) tidak diterima oleh pekerja radiasi dan probabilitas efek stokastik ditekan serendah mungkin dengan memperhatikan aspek sosial dan ekonomi. Selain itu juga untuk memenuhi Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif dan Peraturan Pemerintah No. 29 tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir serta sebagai sarana pembuktian bahwa pekerja radiasi menerima dosis radiasi di bawah Nilai Batas Dosis (NBD) yang diperkenankan.

Pemantauan dosis radiasi eksternal dilakukan dengan menggunakan sistem dosimeter termoluminesensi (TLD). Jenis TLD yang digunakan adalah TLD BG-0110, TLD BG-7001 dan TLD BGN-7776 dalam bentuk kartu. Sesuai dengan periode pemakaian TLD, pembacaan TLD dilakukan setiap 3 (tiga) bulan sekali dengan menggunakan alat *TLD reader model 6600* buatan Harshaw.[5]

Pekerja radiasi yang mendapat layanan pemantauan dosis radiasi eksternal pertriwulan berjumlah 716 (tujuh ratus enam belas ) pekerja dengan rincian sebagaimana tertera pada Gambar 1.



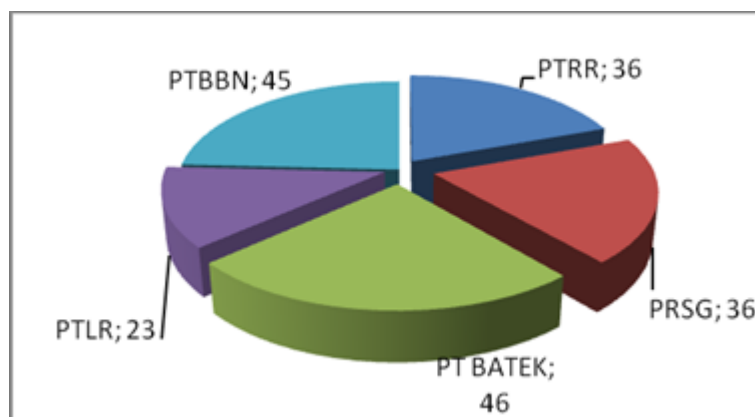
**Gambar 1.** Satuan kerja dan jumlah pekerja yang mendapat layanan pemantauan dosis radiasi eksternal di KNS Tahun 2013.

Hasil pemantauan dosis radiasi eksternal ditampilkan dalam bentuk Dosis Ekuivalen Seluruh Tubuh atau Hp(10). Hasil pemantauan ini dilaporkan ke pusat terkait, BAPETEN dan Ka. BATAN secara periodik.

Pemantauan dosis radiasi internal dilakukan secara in-vivo dan in-vitro. Pemantauan dosis radiasi secara in-vivo dilakukan melalui pengukuran cacah radiasi tiap pekerja dengan menggunakan alat *Whole Body Counter* (WBC) jenis Accuscan II buatan Canberra. Sedangkan pemantauan dosis radiasi secara in-vitro dilakukan dengan analisis contoh urin pekerja radiasi. [8,9,10]

Hasil pemantauan dosis radiasi internal dilaporkan dalam bentuk Dosis Terikat Efektif (E50). Hasil pemantauan ini dilaporkan ke pusat terkait, BAPETEN dan Ka. BATAN secara periodik.

Pekerja radiasi yang mendapat layanan pemantauan radiasi internal baik secara in-vivo dan atau in-vitro pertriwulan berjumlah 186 (seratus delapan puluh enam) dengan rincian seperti pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Satuan kerja dan jumlah pekerja yang mendapat layanan pemantauan dosis radiasi internal di KNS 2013.

## TATA KERJA

### Bahan dan Peralatan

Kegiatan pemantauan dosis eksternal digunakan dosimeter termoluminesens (TLD) dengan jenis TLD BG-0110, TLD BG-7001 untuk memantau radiasi beta dan gamma, serta TLD BGN-7776 untuk memantau radiasi beta, gamma dan neutron. Semua TLD tersebut dalam bentuk kartu dan dalam pemakaiannya dimasukkan ke dalam *badge* khusus. Nitrogen cair diperlukan untuk mengoperasikan alat cacah WBC dan gas nitrogen diperlukan untuk mengoperasikan alat pembaca TLD serta gas P10 digunakan untuk mengoperasikan alat cacah  $\alpha/\beta$ .

Peralatan yang digunakan dalam pemantauan adalah alat baca TLD atau *TLD Reader* model 6600 buatan *Harshaw* serta alat cacah seluruh tubuh *Whole Body Counter ACCUSCAN-II* tipe vertikal dan tipe horisontal buatan *Canberra* untuk pemantauan pekerja radiasi secara langsung dan alat cacah  $\alpha/\beta$  *Low Background Counter*.

### Metoda

Pemantauan dosis radiasi eksternal dilakukan melalui pengukuran paparan radiasi yang terdeteksi oleh dosimeter (TLD) dan kemudian dibaca dengan alat baca TLD Reader 6600. Hasil bacaan kemudian dianalisis berdasarkan faktor kalibrasi hingga diperoleh besaran dosis yang dimaksud yaitu dosis ekuivalen seluruh tubuh  $H_p(10)$ .



**Gambar 3.** Peralatan pembaca TLD (TLD reader model 6600)

Pemantauan dosis radiasi internal dilaksanakan dengan metode langsung menggunakan alat cacah seluruh tubuh WBC *ACCUSCAN-II*. Pekerja radiasi dipantau dengan alat WBC selama 10 menit/orang dalam posisi berdiri. Hasil pengukuran kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak *APEX* untuk memperoleh jenis besarnya aktivitas radionuklida yang terdapat di dalam tubuh, besarnya dosis internal yang diperoleh dari hasil pencacahan dianalisis lagi dengan perangkat lunak *IMBA* untuk memperoleh besarnya dosis terikat efektifnya atau E50. Pemantauan dosis radiasi internal secara in-vitro dilakukan dengan mencacah sampel urin yang telah dipreparasi dengan menggunakan alat cacah  $\alpha/\beta$ . Dosis terikat efektif dari sampel urin diperoleh dengan menganalisis hasil cacahan sampel urin dengan perangkat lunak *MONDAL 3*. Frekuensi pemantauan dosis radiasi eksternal dan radiasi internal dilakukan 3 (tiga) bulan sekali. Namun tidak menutup kemungkinan jika sewaktu-waktu diperlukan pemantauan dapat dilakukan sesuai keperluan.[6,7,8,9,10]



**Gambar 4.** Alat Whole Body Counter (WBC) Accuscan II tipe horisontal





Gambar 5. Preparasi sampel urin dalam pemantauan dosis radiasi secara in-vitro

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemantauan dosis radiasi eksternal dirangkum dalam Tabel 1, hasil pemantauan dosis internal dirangkum dalam Tabel 2, sedangkan Tabel 3 menyajikan hasil pemantauan dosis efektif rata-rata yang diterima pekerja di KNS. Gambar 3 merupakan contoh dosimeter perorangan yang dipakai oleh pekerja radiasi di KNS. Gambar 4 merupakan peralatan pembaca TLD (TLD reader). Gambar 5. Merupakan alat Whole Body Counter (WBC) tipe vertical (berdiri) dan Gambar 6 merupakan histogram yang menunjukkan hubungan antara rentang dosis radiasi efektif terhadap jumlah pekerja radiasi yang dipantau.

Tabel 1. Hasil Pemantauan Dosis Radiasi Eksternal di Kawasan Nuklir Serpong Tahun 2013

No.	Satuan Kerja	Hp(10) (mSv)		
		Min	Rerata	Maks
1.	PRSG	0	0,40	6,65
2.	PTBBN	0	0,01	0,17
3.	PTRR	0	0,37	4,61
4.	PSMN	0	0	0,04
5.	PTLR	0	0,11	0,84
6.	PSTBM	0	0,16	1,88
7.	PPIKSN	0	0,01	0,07
8.	PRFN	0	0,12	0,79
9.	PT. BATEK	0	1,10	8,87

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa dosis Hp(10) rata-rata yang diterima pekerja di PRSG sebesar 0,40 mSv atau sebesar 2,0 % dari Nilai Batas Dosis (NBD) tahunan yang diperkenankan dan Hp(10) maksimum sebesar 6,65 mSv. Hp (10) rata-rata yang diterima pekerja di PTBBN adalah 0,01 mSv atau sebesar 0,05 % dari NBD yang diperkenankan, Hp(10) maksimum sebesar 0,17 mSv. Dosis Hp(10) rata-rata yang diterima pekerja di PTRR sebesar 0,37 mSv atau 1,85 % dari NBD tahunan yang diperkenankan dan Hp(10) maksimum sebesar 4,61

mSv. Dosis Hp(10) rata-rata yang diterima pekerja di PSMN 0 mSv dan Hp(10) maksimum sebesar 0,04 mSv. Dosis Hp(10) rata-rata yang diterima pekerja di PTLR sebesar 0,11 mSv atau sebesar 0,55 % dari NBD yang diperkenankan dan Hp (10) maksimum sebesar 0,84 mSv. Dosis Hp(10) rata-rata yang diterima pekerja di PSTBM sebesar 0,16 mSv atau sebesar 0,80 % dari NBD tahunan yang diperkenankan dan Hp (10) maksimum sebesar 1,88 mSv. Dosis Hp(10) rata-rata yang diterima pekerja di PPIKSN sebesar 0,01 mSv atau sebesar 0,05 % dari NBD tahunan yang diperkenankan dan Hp (10) maksimum sebesar 0,07 mSv. Dosis Hp(10) rata-rata yang diterima pekerja di PRFN sebesar 0,12 mSv atau sebesar 0,60 % dari NBD tahunan yang diperkenankan dan Hp (10) maksimum sebesar 0,79 mSv.

Dosis Hp (10) rata-rata yang diterima pekerja di PT. BATEK sebesar 1,10 mSv atau 5,50 % dari NBD tahunan yang diperkenankan dan Hp(10) maksimum sebesar 8,87 mSv.

Dosis radiasi Hp (10) rata-rata yang diterima pekerja di PRSG, PTBBN, PTRR, PSMN, PTLR, PSTBM, PPIKSN, PRFN masih sangat jauh dari NBD tahunan yang diperkenankan, hal ini merupakan indikator penerapan keselamatan kerja radiasi yang baik. Namun penerimaan dosis radiasi Hp (10) rata-rata yang diterima pekerja di PT. BATEK jauh lebih besar dibandingkan dengan penerimaan dosis radiasi rata-rata di satuan kerja yang ada di BATAN walaupun masih di bawah NBD. Untuk itu PT. BATEK harus lebih meningkatkan disiplin kerja terhadap radiasi agar penerimaan dosis radiasi Hp (10) lebih dapat ditekan lagi.

Tabel 2. Hasil pemantauan dosis radiasi internal (E50) di Kawasan Nuklir Serpong tahun 2013.

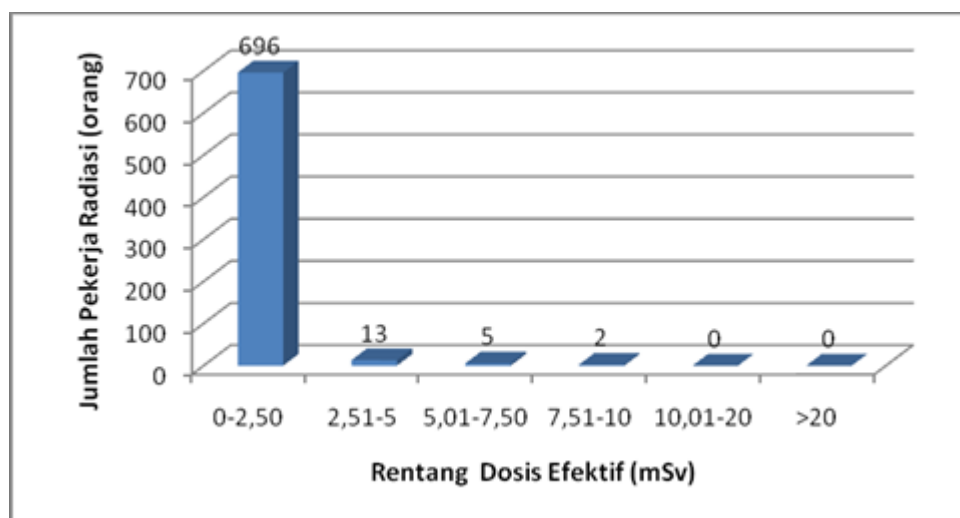
No.	Satuan Kerja	E50 (mSv)		
		Min	Rerata	Maks
1.	PRSG	0	0	0
2.	PTBBN	0	0	0,03
3.	PTRR	0	0,06	1,70
4.	PTLR	0	0	0
5.	PT. BATEK	0	0,05	2,60

Tabel 2 menunjukkan hasil pemantauan dosis radiasi internal (E50) yang merupakan penjumlahan dosis radiasi internal secara in-vivo dan in-vitro. Pekerja radiasi di PRSG, PTBBN dan PTLR tidak ada yang mendapatkan dosis radiasi internal. Dosis radiasi E50 rata-rata yang diterima pekerja di PTRR sebesar 0,06 mSv dan E50 maksimum sebesar 1,70 mSv. Dosis radiasi E50 rata-rata yang diterima pekerja di PT. BATEK sebesar 0,05 mSv dan E50 maksimum sebesar 2,60 mSv.

Tabel 3. Dosis efektif (E) rata-rata yang diterima pekerja radiasi di Kawasan Nuklir Serpong tahun 2013.

No.	Satuan Kerja	E (mSv)
1.	PRSG	0,40
2.	PTBBN	0,01
3.	PTRR	0,43
4.	PSMN	0
5.	PTLR	0,11
6.	PSTBM	0,16
7.	PPIKSN	0,01
8.	PRFN	0,12
9.	PT. BATEK	1,15

Tabel 3. merupakan rangkuman penerimaan dosis efektif (dosis radiasi eksternal dan internal) rata-rata, dosis efektif rata-rata terbesar adalah 1,15 mSv yang diterima oleh pekerja radiasi di PT. BATEK.



Gambar 6. Grafik penerimaan dosis efektif pekerja radiasi di Kawasan Nuklir Serpong tahun 2013.

Gambar 6. menunjukkan rentang penerimaan dosis radiasi efektif terhadap banyaknya pekerja yang dipantau di KNS pada tahun 2013, pada Gambar 6 ini menunjukkan bahwa 696 pekerja radiasi yang dipantau menerima dosis radiasi efektif pada rentang dosis yang paling rendah yaitu 0 – 2,5 mSv , 13 orang menerima dosis pada rentang dosis 2,51 mSv s/d 5 mSv, 5 orang menerima dosis pada rentang dosis 5,01 mSv s/d 7,50 mSv, 2 orang menerima dosis pada rentang

dosis 7,51 mSv s/d 10 mSv dan tidak ada pekerja radiasi di KNS yang menerima dosis melebihi 10 mSv.

## KESIMPULAN

Hasil pemantauan dosis radiasi eksternal dan internal pada tahun 2013 menunjukkan bahwa dosis efektif rata-rata pertahun yang diterima pekerja radiasi di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) masih jauh dari NBD tahunan yang diperkenankan yaitu sebesar 0,27 mSv atau 1,35 % dari NBD tahunan yang diperkenankan. Penerimaan dosis radiasi efektif tahun ini mengalami penurunan 0,55 % dibandingkan dengan penerimaan dosis efektif tahun lalu (2012) dan pada tahun ini tidak ada pekerja radiasi di KNS yang menerima dosis radiasi efektif melebihi NBD tahunan yang diperkenankan. Berdasarkan penerimaan dosis efektif ini maka dapat diambil kesimpulan bahwa keselamatan pekerja radiasi di KNS terhadap bahaya radiasi masih tetap dalam batas yang aman.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. BAPETEN, PERKA. BAPETEN No 4 tahun 2013, Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi, Jakarta (2013).
- [2]. PP. No. 63 tahun 2000 tentang Keselamatan dan Kesehatan Terhadap Pemanfaatan Radiasi Pengion.
- [3]. PP. No. 64 tahun 2000 tentang Perizinan Pemanfaatan Tenaga Nuklir.
- [4]. PTLR-BATAN, No Dok PLR/7/PED-RP/II/001/01/2006, Program Pemantauan Dosis Radiasi Perorangan, Serpong, 2006.
- [5]. SAINT-GOBAIN CRYSTALS & DETECTOR, "Model 6600 Automated TLD Reader with WinREMS", Publication No.6600-W-O-0602-005, USA (2002).
- [6]. CANBERRA, ABACOS-PS Cise 751 User's Manual, Canberra Industries Inc, Connecticut, 1990.
- [7]. CANBERRA, Apex –In-vivo Productivity Software System 1.0, Canberra Industries Inc, Meriden USA, 2009 .
- [8]. CANBERRA, Model 2280 Accuscan-II Germanium Vertical Scanning Whole Counter Cise 749, Canberra Industries Inc, Connecticut, 1990.
- [9]. ICRP No. 54, Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by Workers Design and Interpretation, Pergamon Press, 1988 .
- [10]. IAEA, Methods for Assessing Occupational Radiation Doses Due to Intakes of Radionuclides, Safety Report Series no.37, Vienna, 2004.
- [11]. Gamma Product, G5000W Low Background Alpha/Beta Counting Systems Operation Manual, USA, 2013.
- [12]. IAEA, Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation, Safety Guide No. RS-G-1.3, Vienna, 1999.

## PENGEMBANGAN DAN PENINGKATAN ANALISIS DOSIS RADIASI INTERNAL IN-VITRO DAN SARANA PENUNJANG

**Tri Bambang L, Ruminta Ginting, Ratih Kusuma P, MM Farid**  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**PENGEMBANGAN DAN PENINGKATAN ANALISIS DOSIS RADIASI INTERNAL IN-VITRO DAN SARANA PENUNJANG.** Pengembangan dan Peningkatan analisis dosis radiasi internal in-vitro dan sarana penunjang dilakukan dengan penambahan sistem alpha beta counter G520 dan Sarana Penunjang Laboratorium Pemantauan Personil (AC, Dewar, Regulator, Trolley, Kursi pasien, Meja komputer). Tujuan kegiatan memperoleh sistem pencacah urin untuk data dosis radiasi internal in-vitro pekerja radiasi di Kawasan Nuklir Serpong (KNS). G-5000W Standart One analysis report adalah Software analisis yang terpasang pada G520 Alpha Beta Counter, data analisis diperoleh besaran Aktifitas (Bq) dan Dosis Terikat Efektif E(50). Proses penambahan alpha beta counter G520 dengan cara pengadaan alat baru. Setelah dilakukan instalasi dan uji fungsi alpha beta counter G520 diperoleh High Voltage (HV) dan MDA untuk pengukuran dengan: 1. Model Beta Only HV: 1640 Volt, MDA: 0,0902, 2. Model Alpha/Beta HV: 1640 Volt, MDA: 0,0902, 3. Model Alpha Only HV: 1400 Volt, MDA: 0,0902. Hasil kalibrasi Alpha Beta Counter G250 :1. Kalibrasi Sumber Beta <sup>90</sup>Sr untuk Model pencacahan Beta Only diperoleh Efisiensi: 75,87%, Faktor Kalibrasi (FK) 1,318%, Model pencacahan Alpha/Beta diperoleh Efisiensi 75,77% dan FK 1,319%. 2. Kalibrasi Sumber Alpha <sup>241</sup>Am untuk Model Pencacahan Alpha Only diperoleh Efisiensi 34,99% dan FK 2,85%, Model pencacahan Alpha/Beta diperoleh Efisiensi 31,74% dan FK 3,15%. Untuk pencacahan Sampel dengan Model pencacahan gross beta diperoleh Aktivitas 0,21 Bq dan Dosis Terikat Efektif (E50) 0,01 mSv, dan 0,16 Bq dan E50 0,01 mSv, alat alpha beta counter dapat dipergunakan secara rutin untuk pencacahan sampel pekerja radiasi KNS, dan sarana penunjang yang tersedia secara keseluruhan berfungsi dengan baik.

**Kata Kunci :** Sistem pencacah, Dosis radiasi, In-vitro, Sarana penunjang.

### ABSTRACT

**DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT ANALYSIS OF INTERNAL RADIATION DOSE IN-VITRO AND SUPPORTING FACILITIES.** Increased development and analysis of internal radiation doses in-vitro and supporting facilities is done by the addition of alpha-beta counter system G520 and Monitoring Laboratory Personnel Support Facilities (Air, Dewar's, Regulators, Trolley, Patient chair, Computer desk). The objectives of acquiring urinary system enumerator for the internal radiation dose data in-vitro radiation workers in the nuclear area Serpong (KNS). G-5000W Standard One analysis report is the analysis of software installed on the G520 Beta Alpha Counter, the data obtained by analysis of the amount of activity (Bq) and Effective Dose E Bound (50). The process of adding alpha beta counter G520 by way of a new procurement tool. After installation and testing functions derived alpha beta counter G520 High Voltage (HV) and MDA for the measurement: 1. Models Beta Only HV: 1640 Volt, MDA: 0.0902, 2. Models Alpha / Beta HV: 1640 Volt, MDA: 0.0902, 3. Models Alpha Only HV: 1400 Volt, MDA: 0.0902. Beta Alpha Counter calibration results G250: 1. <sup>90</sup>Sr beta source calibration for model enumeration Beta Only obtained Efficiency: 75.87%, Factor Calibration (FK) 1.318%, enumeration Model Alpha / Beta obtained Efficiency 75.77% and 1.319% FK. 2. Calibration source for <sup>241</sup>Am Alpha Alpha Only Model Enumeration obtained Efficiency 34.99% and 2.85% FK, model enumeration Alpha / Beta obtained Efficiency 31.74% and 3.15% FK. Samples for enumeration by enumeration model obtained gross beta activity of 0.21 Bq and Bound Effective Dose (E50) 0.01 mSv, and 0.16 mSv Bq and 0.01 E50, alpha beta counter tool can be used routinely for the

enumeration sample of workers KNS radiation, and support facilities available overall functioning properly.

**Keywords:** System enumerator, model enumeration, radiation dose, In-vitro, supporting facilities.

## PENDAHULUAN

Pemantauan dosis radiasi terhadap pekerja yang diperkirakan terkontaminasi internal radionuklida pemancar radiasi alpha dan beta dilakukan secara *in-vitro* yaitu dengan mengukur sampel urin pekerja radiasi dengan alat Alpha Beta Counter G520. Pemantauan rutin dilakukan tiap triwulan sekali dalam satu tahun untuk pekerja radiasi Kawasan Nuklir Serpong (KNS), yaitu : PRSG, PTBN, PRR, PT.BATEK dan PTLR. Periode pemantauan untuk dosis radiasi internal bergantung pada sifat kimia dan fisika radionuklida, atau kondisi kerja. Kegiatan ini sesuai dengan ketentuan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), Komisi International Proteksi Radiasi (ICRP 61/68) dan PP 33 Tahun 2007, mengenai Keselamatan Radiasi Pengan dan Keamanan Sumber Radioaktif baik dari radiasi eksternal maupun internal terhadap pekerja radiasi di Kawasan Nuklir Serpong<sup>[1,2,4]</sup>.

Pengembangan dan peningkatan kemampuan analisis data dosis radiasi internal *in-vitro* dan sarana penunjang dilakukan dengan cara penambahan sistem Alpha Beta Counter G520 dan Sarana penunjang laboratorium pemantauan personal. Mengingat pentingnya fungsi alat tersebut dan karena pada saat ini laboratorium Pengendalian personal Bidang Keselamatan dan Lingkungan Pusat Teknologi Limbah Radioaktif belum memiliki dan masih ada kekurangan fasilitas, maka perlu dilakukan pengadaan alat Alpha Beta Counter G520 dan sarana penunjang, disamping itu juga agar pemantauan dosis internal *in-vitro* terhadap pekerja radiasi di Kawasan Nuklir Serpong dapat berjalan dengan lancar dan optimal.<sup>[4]</sup>

*Software* yang diterapkan pada Alpha Beta Counter G520 adalah G5000W *Standart One analysis report*. Sistem G5000W menggunakan *Analisa Multi-Channel* (MCA) untuk membedakan antara jumlah alpha dan beta. Model pencacahan yang ada, adalah model beta saja, model alpha/beta, dan model alpha saja. MCA juga digunakan sebagai opsi gamma jika sudah terpasang, yang memungkinkan pengguna untuk melakukan penghitungan gamma kotor dan spektroskopi mentah. Pilihan lanjutan tersedia bagi pengguna yang terbiasa dengan cara kerja MCA untuk memungkinkan pengaturan dan melihat rentang *crossover* untuk alpha dan beta untuk meminimalkan *crosstalk* untuk kondisi sampel tertentu. MCA menampilkan spektrum yang dapat diakses dari salah satu sub menu kalibrasi sistem (jika memungkinkan). Untuk informasi lebih lanjut, dapat dilihat pada manual operasi MCA.<sup>[5,6]</sup>

Hasil analisis dari cacahan dengan *Software G-5000W Standart One analysis report* sebagai software analisis yang terpasang pada Alpha Beta Counter G520 masih berupa cacahan permenit (CPM) atau aktivitas dalam satuan Becquerel (Bq) belum berupa dosis terikat Efektif E(50) secara langsung<sup>[5]</sup>.

Dosis Terikat Efektif E(50) yaitu jumlah dosis terikat rata-rata dalam organ atau jaringan dengan memperhitungkan faktor bobot ( $W_T$ ) masing-masing organ. Untuk perhitungan dosis dilakukan dengan cara perhitungan manual atau dengan software Mondal 3, metodologi dan parameter yang diterapkan mengacu

pada ICRP 60/68. Informasi yang harus dilengkapi adalah jenis radionuklida yang terdeteksi, prakiraan waktu intake, jalur intake (*inhalation, ingestion, injection*), mode intake (*acute, chronic*), ukuran partikel, jenis penyerapan radionuklida (*fast, moderate, slow*), type pengukuran (*alpha only, beta only, alpha/beta*)<sup>[7,8]</sup>.

## TATA KERJA

### Bahan dan Peralatan

Dalam melaksanakan pengembangan dan peningkatan kemampuan sistem analisis data dosis radiasi internal *in-vitro* dan sarana penunjang di perlukan bahan dan peralatan sebagai berikut : Detektor, Pentium PC controller dengan Win XP, DVD, FD, Hard Drive, 17" Color LCD dan Printer, MCA board dan computer controlled HV supply, Analog Elektronik, Sample Changer, Sample Cartridge, Shield/Cave, Sistem Software G520, Gas P10, Sumber standart , Sampel urin pekerja, AC split 1,5 PK, Dewar, Kursi pasien, Regulator, Trolley.

### Metode

Pengembangan dan peningkatan kemampuan sistem analisis dosis radiasi internal *in-vitro* pekerja radiasi dan sarana penunjang dengan cara mengadakan alat baru Apha Beta Counter G520 dan fasilitasnya, adapun pelaksanaan kegiatan tersebut meliputi :

#### 1. Metode Pelaksanaan

- Pengumpulan data atau informasi mengenai pengembangan dan peningkatan yang didasari dengan studi literatur.
- Penentuan komponen fisik sistem analisis dan pengadaannya.
- Instalasi sistem dilakukan oleh pihak ketiga.
- Uji fungsi sistem dilakukan oleh pihak ketiga.
- Supervisi oleh Sub. Bidang Pengendalian Personil.

#### 2. Tahapan Pelaksanaan

- Persiapan dan Koordinasi
- Pengadaan barang dan pemasangan peralatan (instalasi)
- Uji fungsi dan evaluasi sistem
- Pengoperasian sistem dan pengambilan data
- Evaluasi data dan pelaporan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil kegiatan yang dilakukan dengan melalui beberapa tahapan untuk pengembangan dan peningkatan sistem analisis dosis radiasi internal secara *in-vitro* dan fasilitas penunjang di Kawasan Nuklir Serpong ditunjukkan seperti pada Gambar 1. dan Gambar 2. Adapun contoh hasil analisis dari pencacahan sampel yang dilakukan dengan alat Alpha Beta Counter G520 seperti pada Gambar 3.



**Gambar.1** Instalasi alat Alpha Beta Counter G520



**Gambar.2** Alat Alpha Beta Counter G520 siap diuji fungsikan

	<u>Alpha</u>	<u>Beta</u>	<u>Gross</u>
ROI:	1 - 1023	1- - 1-	1 - 1023
Gross Counts	6	0	6
Net CPM	0.10	0.0	0.10
1.960 Sigma at 95%	0.08	CPM	0.08
Concentration	0.10	(DPM/)	0.10
Background (CPM)	0.00	User Bkg	0.00
Efficiency (%)	100.00	100.00	100.00
Absorbption:	1.00	1.00	1.00
Volume (Type):	1.00	1.00	1.00
Other:	1.00	1.00	1.00
Preset Max Counts	0	0	0
Low Alarm Level:	0.0(DPM/)	Green	0.0(DPM/)
High Alarm Level:	0.0(DPM/)	Green	0.0(DPM/)
3DA:	0.0451	DPM	0.0451

Special Notes:  
B.G. U-Tatel Batub T W 3- 2013

**Gambar 3.** Contoh hasil analisis dari pencacahan sampel dengan alat Alpha Beta Counter G520.

Uji fungsi alat langsung pada uji fungsi sistem, uji fungsi sistem dilakukan secara satu kesatuan pada sistem pencacah yang telah diinstal. Ada tiga model uji pengukuran yang dilakukan yaitu : model beta saja, model alpha/beta, dan model alpha saja. Sinar alpha atau beta yang dipancarkan dari dalam materi/sampel diterima dan diukur oleh detektor. Untuk mengetahui respon detektor terhadap radiasi alpha atau beta yang diterima dan agar analisis jenis dan jumlah radiasi terdeteksi dapat diketahui maka dilakukan kalibrasi dengan mencacah sumber standar alpha dan beta. Adapun kalibrasi yang dilakukan adalah kalibrasi Efisiensi dan Faktor Kalibrasi (FK).



Setelah dilakukan instalasi dan uji fungsi alat Alpha Beta Counter G520 diperoleh *High Voltage* (HV) dan *Minimum Detection Activity* (MDA) untuk pengukuran dengan : 1. Model Beta Only, 2. Model Alpha/Beta, 3. Model Alpha Only seperti pada tabel 1. Di bawah ini.

**Tabel 1.** Hasil Penentuan HV dan MDA alat Alpha Beta Counter G520

No	Type/Model pengukuran	Hight Voltage (Volt)	MDA
1.	Alpha Only	1400	0,0902
2.	Beta Only	1640	0,0902
3.	Alpha/Beta	1640	0,0902

Hasil kalibrasi alat Alpha Beta Counter G250 yang dilakukan secara internal (mandiri), sebagai berikut seperti pada tabel 2 :

**Tabel 2.** Hasil Kalibrasi alat Alpha Beta Counter G520 dengan menggunakan sumber standart  $^{90}\text{Sr}$  dan  $^{241}\text{Am}$  pada tanggal 22 Agustus 2013.

No	Type/Model pengukuran	Aktivitas/A0 (Bq)		Effisiensi (%)		Faktor Kalibrasi /FK	
		$^{90}\text{Sr}$	$^{241}\text{Am}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{241}\text{Am}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{241}\text{Am}$
1.	Alpha Only	-	444,63	-	34,99	-	2,85
2.	Beta Only	494,3	-	75,87	-	1,318	-
3.	Alpha/Beta	494,3	444,63	75,77	31,74	1,319	3,15

Hasil kalibrasi alat Alpha Beta Counter G250 yang dilakukan oleh Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR), sebagai berikut seperti pada tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil Kalibrasi alat Alpha Beta Counter G520 dengan menggunakan sumber standart  $^{90}\text{Sr}$  dan  $^{239}\text{Pu}$  pada tanggal 17 September 2013.

No.	Type/Model pengukuran	Aktivitas/A <sup>0</sup> (Bq)		Effisiensi (%)		Faktor Kalibrasi /FK	
		$^{90}\text{Sr}$	$^{239}\text{Pu}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{239}\text{Pu}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{239}\text{Pu}$
1.	Alpha Only	-	196,7	-	-	-	1,40
2.	Beta Only	1848,9	-	-	-	1,59	-
3.	Alpha/Beta	-	-	-	-	-	-

Kalibrasi alat Alpha Beta Counter G520 yang digunakan dalam pencacahan adalah kalibrasi yang dilakukan oleh PTKMR baik dengan sumber standart alpha atau beta begitu juga dengan nilai FK yang diterapkan.

Untuk pencacahan contoh sampel dengan alat Alpha Beta Counter G520 dapat dilihat pada Tabel 4. Dan hasil pencacahan contoh sampel dengan alat Alpha Beta Counter G520 bila dibandingkan dengan alat LBC, seperti di Tabel 5. Hasil Dosis Terikat Efektif (E50) yang diperoleh dari pencacahan sampel pada model pengukuran untuk LBC lebih kecil. Ada beberapa faktor yang berpengaruh

terhadap hasil cacahan, diantaranya adalah efisiensi alat dan cacahan *background* dari LBC lebih besar.

**Tabel 4.** Hasil pencacahan contoh sampel dengan alat Alpha Beta Counter G520

Sampel	Type/Model pengukuran	Aktivitas (Bq)	Dosis Terikat Efektif/E50 (mSv)
01.	Gross beta	0,21	0,01
02.	Gross beta	0,16	0,01

**Tabel 5.** Hasil pencacahan contoh sampel dengan alat Alpha Beta Counter G520 dibandingkan dengan alat LBC

Sampel	Pengukuran Gross beta					
	$\beta$ -cpm		Aktivitas (Bq)		Dosis Terikat Efektif/E50 (mSv)	
	G520	LBC	G520	LBC	G520	LBC
01.	0,4167	0,82	0,110	< BG	0,003	0
02.	0,6167	0,72	0,164	< BG	0,005	0
03.	0,2667	0,92	0,071	< BG	0,002	0
04.	0,4500	0,90	0,1197	< BG	0,003	0
05.	0,5334	1,47	0,1423	0,4618	0,004	0,014

Berdasarkan hasil uji fungsi alat ini menunjukkan dalam kondisi yang baik karena diperoleh nilai-nilai yang sesuai dengan referensi atau manual alat dari pabrikan, dan setelah digunakan untuk uji pengukuran sampel hasilnya dianggap akurat sehingga alat Alpha Beta Counter G520 dapat digunakan untuk pemantauan rutin dosis pekerja radiasi secara internal *in-vitro* di Kawasan Nuklir Serpong. Sedangkan untuk sarana penunjang yang tersedia secara keseluruhan berfungsi dengan baik.

**KESIMPULAN**

Pengembangan dan peningkatan analisis dosis radiasi internal pekerja secara *in-vitro* di Kawasan Nuklir Serpong telah selesai dilakukan awal bulan Desember Tahun 2013 setelah melalui beberapa tahapan, yaitu : hasil uji fungsi, kalibrasi dan komisioning alat Alpha Beta Counter G520 dapat disimpulkan bahwa alat dapat berfungsi dengan baik seperti yang diharapkan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. BAPETEN, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013, Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, Jakarta. Tahun 2013
- [2]. PP. No. 33 tahun 2007 tentang Keselamatan dan Keamanan Sumber Radioaktif baik dari radiasi eksternal maupun internal terhadap pekerja radiasi
- [3]. PP. NO. 64 tahun 2000 tentang Perizinan Pemanfaatan Tenaga Nuklir.
- [4]. P2PLR-BATAN, NO. DOK. P2PLR/6/PDRE/3/012/01/1999. Program Pemantauan Dosis Radiasi Interna PPTN-BATAN Serpong, Tahun 1999
- [5]. G5000W Alpha Beta Counting System (G520), Operation Manual, Revision XI, Gamma Product, Inc. 7730 W 114th Place palos Hills, IL 60465, 708-974-4100. 2013
- [6]. EASY-MCA-8KTM/2KTM. Digital Gamma-Ray Spectrometer Hardware User's Manual. ORTEC Tahun 2009
- [7]. ICRP NO. 61, Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by workers Design and Interpretation, Pergamon Press Tahun 1994
- [8]. ICRP NO. 68, Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by workers Design and Interpretation, Pergamon Press Tahun 1998
- [9]. Mondal 3, Software perhitungan dosis radiasi internal, PTLR. (2010)



## INTERKOMPARASI PENGUKURAN DOSIS EKIVALEN PERORANGAN MENGGUNAKAN BERKAS RADIASI SINAR-X

**Yanni Andriani , Sri Widayati, Elfida**  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**INTERKOMPARASI PENGUKURAN DOSIS EKIVALEN PERORANGAN MENGGUNAKAN BERKAS RADIASI SINAR – X** . Telah dilakukan kegiatan pengukuran dosis ekivalen perorangan dengan berkas radiasi Sinar- X. Kegiatan ini bertujuan menguji kompetensi Laboratorium Pemantauan Dosis Perorangan (PDP) - PTLR dalam pemrosesan dosimeter perorangan, memelihara ketertelusuran, menjaga konsistensi hasil pengukuran serta merupakan salah satu pemenuhan persyaratan ISO/IEC 17025:2005. Tahapan kegiatan terdiri dari pembuatan kurva kalibrasi Sinar-X, penyiapan kartu TLD, penyinaran menggunakan berkas radiasi Sinar-X , pembacaan dosis TLD, evaluasi hasil pembacaan dosis TLD dan pertemuan hasil interkomparasi antar Laboratorium Penguji. Kegiatan interkomparasi ini diikuti oleh beberapa instansi diantaranya BPFK – Medan, BPFK – Jakarta, BPFK- Surabaya, BPFK-Makassar, PTKMR-BATAN dan PTLR-BATAN. Hasil evaluasi dosis diperoleh nilai rata-rata  $Q_m$  (nisbah) hasil pengukuran yaitu 1,01 sedangkan nilai bias sebesar 1,0 % dan nilai kesalahan acak sebesar 8,2 %. Sehingga total bias yang diperoleh bernilai 9,3 %. Mengacu pada ketentuan hasil evaluasi interkomparasi pihak LMRN-PTKMR, nilai total bias < 30 % termasuk dalam kategori A. Sehingga laboratorium PDP memperoleh predikat kategori A dan merupakan hasil yang sangat memuaskan.

**Kata kunci** : interkomparasi, dosis ekivalen perorangan, personal dosimeter termoluminesensi ( TLD)

### ABSTRACT

*INTERCOMPARISON OF PERSONAL DOSE EQUIVALENT MEASUREMENT USING X-RAY RADIATION BEAM* . Intercomparisson of personal dose equivalent measurement use X-Ray radiation beam have been carried out. This aims are to test the competence of Laboratory Monitoring Individual Dose (PDP) in the processing of personal dosimeters measurement, traceability, consistency of the measurement results and fulfills one of the requirements of ISO / IEC 17025:2005. The stages consists are making the X-ray calibration curve, the TLD card preparation, irradiation with X-ray radiation beam, reading of TLD dose, dose evaluation and intercomparisson meetings between testing laboratories . It was followed by several agencies including Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) - Medan, BPFK - Jakarta, BPFK-Surabaya, BPFK-Makassar, PTKMR -BATAN and PTLR - BATAN. The evaluation results of dose measurement data showed that the average value of  $Q_m$  (ratio) is 1.01 , the measurement bias value is 1.0% and the value of the random error 8.2%. So the total bias value is 9.3%. Referring to the LMRN-PTKMR's provision of the intercomparisson evaluation, total value of the bias <30 %, then included in category A and very satisfactory result.

**Keywords:** intercomparisson, personal dose equivalent, personal thermoluminescence dosemeter ( TLD)

### PENDAHULUAN

Laboratorium Pemantauan Dosis Perorangan (PDP) - PTLR merupakan laboratorium penguji dosimeter TLD pekerja radiasi yang sudah terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) dengan no akreditasi LP-638-IDN. Kegiatan yang berlangsung di laboratorium PDP mulai dari proses penyiapan dosimeter

(TLD), proses *annealing* TLD, distribusi TLD dan pembacaan TLD sampai dengan perhitungan dosis yang diterima pekerja.

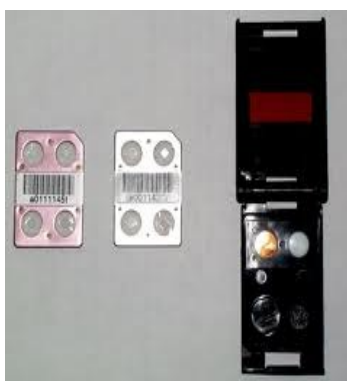
Mengacu pada ISO/IEC 17025 : 2005 klausul 5.9.1 tentang jaminan mutu hasil pengujian, bahwa laboratorium harus mempunyai prosedur pengendalian mutu untuk memantau keabsahan pengujian dan kalibrasi yang dilakukan. Data yang dihasilkan harus direkam sedemikian rupa sehingga semua kecenderungan dapat dideteksi dan, bila memungkinkan, teknik statistik harus diterapkan pada pengkajian hasil.[1]

Salah satu persyaratan pemenuhan klausul 5.9.1 adalah partisipasi dalam uji banding antar laboratorium atau program uji profisiensi. Dalam hal ini kegiatan interkomparasi dilakukan dalam rangka memenuhi persyaratan tersebut.

Interkomparasi adalah suatu kegiatan membandingkan pengukuran fisik. Menurut rekomendasi IAEA, interkomparasi merupakan salah satu kegiatan audit namun lebih ditekankan pada semangat kolaborasi dan dukungan daripada semangat inspeksi. Tujuan khusus audit dosis menggunakan TLD adalah untuk memverifikasi dosis yang dinyatakan oleh pelanggan. Verifikasi dosis adalah cara yang paling tepat untuk memeriksa ketepatan pengukuran dosis. Kegiatan interkomparasi dapat menjaga ketertelusuran pengukuran serta menjaga konsistensi hasil pengukuran, memenuhi salah satu persyaratan ISO-17025:2005, memudahkan jalinan antar anggota dan sistem pengukuran nasional dosis radiasi serta untuk pertukaran pengalaman dalam teknik pengukuran dan evaluasi dosis radiasi [2]

Interkomparasi dosis ekivalen perorangan secara rutin diselenggarakan oleh Laboratorium Metrologi Radiasi Nasional – PTKMR BATAN bekerja sama dengan Badan Pengamanan Fasilitas Kesehatan – Kementerian Kesehatan RI diantaranya BPFK Jakarta, BPFK Surabaya, BPFK Medan dan BPFK Makasar.

Kartu TLD yang digunakan pada interkomparasi ini adalah kartu TLD tipe BG-0110. Kartu TLD diukur/dibaca menggunakan alat *TLD Reader* Harshaw Model 6600. Alat *TLD Reader* secara rutin setiap tahun dilakukan kalibrasi eksternal ke Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR) - BATAN. *TLD Reader* ini dilengkapi dengan *software* WinREMS yang terintergrasi. Gambar dosimeter TLD dan alat *TLD Reader* dapat dilihat di bawah ini.



**Gambar 1.** Kartu TLD dan Bagde TLD



**Gambar 2.** Alat TLD Reader Harshaw Model 6600

Hasil pengukuran atau pembacaan TLD diperoleh dalam satuan nano Coloumb (nC). Dengan menggunakan *software* WinREMS, dan data-data pendukung antara lain faktor kalibrasi kartu TLD individual (*Element Correction Factor / ECC*) serta faktor kalibrasi alat (*Reader Correction Factor / RCF*), maka hasil bacaan dikonversi menjadi satuan dosis yaitu mSv.

Pada kegiatan interkomparasi tahun 2013, laboratorium PDP mengikuti interkomparasi dosis ekuivalen perorangan dengan menggunakan berkas radiasi Sinar-X pada 100 kV.

Sinar- X ditemukan pertama kali oleh Roentgen pada tahun 1895. Pada saat ditemukan, sifat-sifat sinar-X tidak langsung dapat diketahui. Sifat-sifat alamiah (nature) sinar-X baru secara pasti ditentukan pada tahun 1912 seiring dengan penemuan difraksi sinar-X oleh kristal. Difraksi sinar-X ini dapat “melihat” atau “membedakan” objek yang berukuran kurang lebih 1 angstrom. Sifat-sifat sinar-X tersebut adalah:

- a. tidak dapat dilihat oleh mata, bergerak dalam lintasan lurus, dan dapat mempengaruhi film fotografi sama seperti cahaya tampak.
- b. daya tembusnya lebih tinggi dari pada cahaya tampak, dan dapat menembus tubuh manusia, kayu, beberapa lapis logam tebal.
- c. dapat digunakan untuk membuat gambar bayangan sebuah objek pada film fotografi (radiograf).
- d. sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan energi  $E = hf$ .
- e. orde panjang gelombang sinar-X adalah  $0,5-2,5 \text{ \AA}$  (sedangkan orde panjang gelombang untuk cahaya tampak =  $6000 \text{ \AA}$ ). Jadi letak sinar-X dalam diagram spektrum gelombang elektromagnetik adalah antara sinar ultra violet dan sinar gamma.

Sinar-X yang lebih bermanfaat dan sering digunakan dalam setiap kegiatan eksperimen adalah sinar-X monokromatik dan sering disebut sinar-X karakteristik. Sinar-X monokromatik (sinar-X karakteristik) ini timbul akibat adanya proses transisi eksitasi elektron di dalam anoda. Sinar-X ini timbul secara tumpang tindih dengan spektrum bremsstrahlung. Disamping panjang gelombangnya yang monokromatik, intensitas sinar-X monokromatik ini jauh lebih besar dari pada intensitas sinar-X bremsstrahlung. Proses terjadinya sinar-X

monokromatik ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Jika energi kinetik elektron itu sama dengan atau lebih besar dari pada energi eksitasi atom-atom di dalam anoda maka pada saat elektron-elektron tersebut menumbuk anoda, atom-atom tersebut akan tereksitasi sehingga pada saat atom-atom tersebut kembali ke keadaan ekuilibriumnya mereka akan melepaskan energinya dalam bentuk foton gelombang elektromagnetik yang kita sebut sinar-X karakteristik. Karena tingkat-tingkat energi di dalam atom-atom itu terkuantisasi maka sinar-X yang dipancarkannya akan memiliki panjang gelombang atau energi yang tertentu, sehingga sinar-X ini disebut sinar-X monokromatik. [3]

## TATA KERJA

### Alat dan Bahan

Kartu TLD tipe BG-0110 sejumlah 15 buah, kunci pembuka holder TLD, kotak penyimpanan kartu TLD, *TLD Reader* Harshaw Model 6600, Gas Nitrogen dan perangkat lunak komputer .

### Tahapan Kegiatan

1. Pembuatan kurva Sinar-X (penyinaran TLD dilakukan di PTKMR-BATAN)
  - a. Dosimeter TLD disinari oleh berkas radiasi sinar-X pada 100 kV dengan dosis tertentu, yaitu 0,1 ; 0,5 ; 1,0 ; 1,5 ; 3,0 ; 5,0 ; 10 ; 15 mSv.
  - b. Dilakukan pembacaan terhadap dosimeter TLD yang telah disinari.
  - c. Buat kurva antara bacaan TLD dengan dosis penyinaran, catat persamaannya.
2. Pemrosesan dosimeter TLD Interkomparasi terdiri dari :
  - *Annealing* Kartu TLD  
*Annealing* yaitu proses pemanasan TLD untuk menghilangkan elektron-elektron dalam perangkat elektron pada bahan TLD.
  - Penyinaran Kartu TLD  
Penyinaran kartu TLD dilakukan oleh LRMN-PTKMR dengan dosis yang telah ditentukan.
  - Pembacaan Kartu TLD  
Kartu TLD yang telah disinari kemudian dibaca oleh alat *TLD Reader* dengan menggunakan perangkat lunak WinREMS.
  - Evaluasi Dosis  
Melakukan perhitungan nilai dosis ekuivalen berdasarkan hasil bacaan yang diperoleh serta melakukan perhitungan ketidakpastian dari pembacaan dosis. Hasil evaluasi dosis dikirim kembali kepada panitia interkomparasi.
    - a. Evaluasi dosis ekuivalen  
Dengan menggunakan perangkat lunak WinREMS maka hasil pembacaan TLD akan dikonversi menjadi satuan dosis dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$D = \frac{\{(BxECC) - (B_0xECC_0)\}}{RCF}$$

Dimana ;

- D : Dosis perorangan yang dibaca (mSv atau mrem)  
 B : Bacaan TLD (nC)  
 ECC : Faktor koreksi elemen TLD



- $B_0$  : Bacaan TLD blanko (nC)
- $ECC_0$  : Faktor koreksi elemen TLD blanko
- RCF : Faktor kalibrasi TLD Reader (*Reader Calibration Factor*) (nC/mSv atau nC/mrem)

b. Perhitungan Ketidakpastian dari pembacaan dosis (Acuan : *Safety Guide No.RS-G1.3, IAEA,1999*)

1. Menentukan Ketidakpastian dari Karakteristik Dosimeter ( $U_D$ )  
Berdasarkan komponen ketidakpastian tipe A( $U_A$ ) dan Tipe B ( $U_B$ ) serta karakteristik dosimeter.

$$U_D = \sqrt{\sum U_A^2 + \sum U_B^2}$$

2. Menentukan Ketidakpastian perhitungan dosis ( $U_{HM}$ )  
Dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu : dosis yang diukur ( $H_m$ ), pengukuran intensitas TL oleh detektor ( $M_i$ ), *Reader Calibration Factor* (RCF), *Element Corection Coefficient* (ECC), Ketidakpastian pengukuran dari  $M_i$ , RCF dan ECC ( $U_{M_i}$ ,  $U_{ECC}$ ,  $U_{RCF}$ )

$$U_{HM} = H_m \sqrt{\left(\frac{U_{M_i}}{M_i}\right)^2 + \left(\frac{U_{ECC}}{RCF}\right)^2 + \frac{ECC^2}{(RCF)^2} \times \left(\frac{U_{RCF}}{RCF}\right)^2}$$

3. Menentukan Ketidakpastian dari Alat (*Reader*),  $U_R$   
Ketidakpastian dari Alat (*Reader*) diperoleh dari komponen kalibrasi *TLD Reader*, kalibrasi alat pengukur temperatur dan kelembaban.
4. Menentukan Ketidakpastian Gabungan ( $U_C$ )  
Setelah diperoleh ketidakpastian masing-masing komponen, yaitu :  $U_D$ ,  $U_{HM}$ , dan  $U_R$  maka diperoleh ketidakpastian gabungan ( $U_C$ ) dengan menggunakan rumus :

$$U_C = \sqrt{U_D^2 + U_{HM}^2 + U_R^2}$$

- Pertemuan teknis interkomparasi

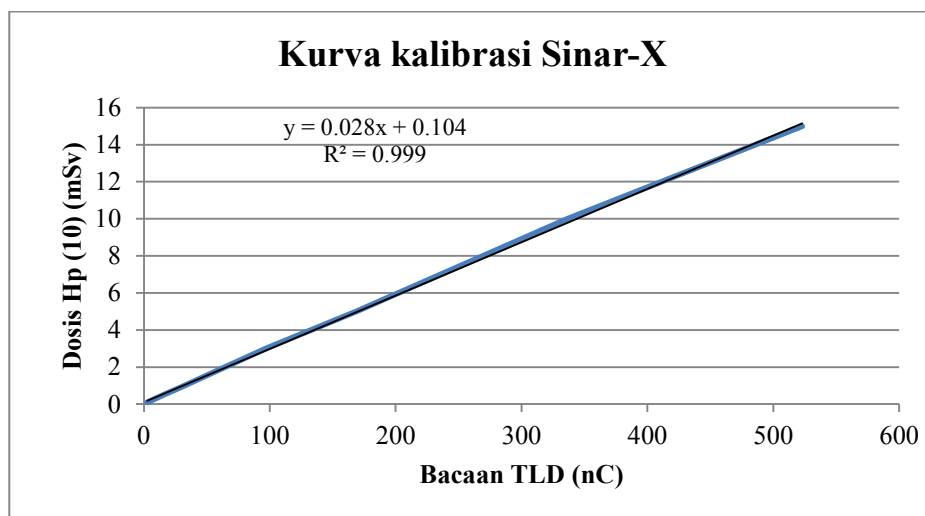
Pertemuan teknis membahas hasil interkomparasi antar Laboratorium Pemantauan Dosis Perorangan diselenggarakan oleh Laboratorium Metrologi dan Radiasi Nuklir – PTKMR BATAN bekerja sama dengan Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan - Kementerian Kesehatan RI yang bertempat di Hotel Collonial, Makassar, pada tanggal 24 s.d 27 September 2013 dan diikuti oleh beberapa peserta, yaitu PTLR, PTKMR, BPFK – Jakarta, BPFK – Medan, BPFK – Surabaya, BPFK – Makasar, BPFK – Solo dan BPFK - Samarinda.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. di bawah ini menampilkan data pembuatan kurva kalibrasi sinar-X, dengan hasil bacaan TLD yang sebanding dengan dosisnya. Kurva kalibrasi sinar-X yang diperoleh mempunyai persamaan  $y = 0,028x + 0,104$  dengan regresi linier, yaitu  $r^2 = 0,999$ . Kurva kalibrasi Sinar-X ditampilkan pada Gambar 3.

**Tabel 1.** Hasil Bacaan TLD Kalibrasi Sinar-X

Bacaan TLD (nC)	Dosis Penyinaran (mSv)
2,694	0,10
15,878	0,50
32,714	1,0
48,63	1,5
96,654	3,0
168,597	5,0
336,725	10



**Gambar 3.** Kurva Kalibrasi Sinar-X

**Tabel 2.** Hasil Evaluasi Dosis Ekuivalen Perorangan tipe BG-0110 (berdasarkan formulir yang disediakan panitia interkomparasi)

Protokol evaluasi dosis yang digunakan : Safety Guide No. RS-G-1.3, IAEA		
<u>Kode</u> FTx.13	<u>Dosis</u> (mSv)	<u>Ketidakpastian</u> (%)
I.1/bg 2000092	0,56	11,08 %
I.2/bg 2000095	0,56	11,03 %
I.3/bg 2000091	0,56	11,09 %
I.4/bg 2000093	0,56	11,03 %
II.1/bg 2000071	2,87	11,04 %
II.2/bg 2000061	2,85	11,05 %
II.3/bg 2000065	2,92	11,32 %
II.4/bg 2000067	2,85	11,08 %
III.1/bg 2000056	4,72	11,07 %
III.2/bg 2000066	4,68	11,10 %
III.3/bg 2000058	4,86	11,07 %
III.4/bg 2000072	4,78	11,11 %

Hasil evaluasi dosis ekuivalen perorangan ditampilkan pada Tabel 2. Pengukuran dosis kartu TLD tipe BG-0110 dengan kode FTx.13 nomor I.1, I.2, I.3 dan I.4 menghasilkan nilai yang sama sebesar 0,56 mSv dengan nilai perhitungan ketidakpastian pengukuran (KP) berada pada rentang 11,03 % - 11,09 % ( $2\sigma$ ). Sedangkan nomor II.1, II.2, II.3 dan II.4 diperoleh nilai dosis masing-masing sebesar 2,87 mSv ; 2,85 mSv ; 2,92 mSv dan 2,85 mSv dengan nilai perhitungan ketidakpastian pengukuran (KP) berada pada rentang 11,04 % - 11,32 % ( $2\sigma$ ). Untuk TLD dengan kode III.1, III.2, III.3 dan III.4 diperoleh nilai dosis 4,72 mSv ; 4,68 mSv ; 4,86 mSv ; 4,78 mSv dengan nilai perhitungan ketidakpastian pengukuran (KP) berada pada rentang 11,07 % - 11,11 % ( $2\sigma$ ).

**Tabel 3.** Hasil Interkomparasi Hp (10) dianalisa berdasarkan *HSE Guide*

<b>Dosis LMR</b>	<b>Kode TLD FTx13</b>	<b>Qm(nisbah)</b>
0,5 mSv	I.1/bg 2000092	1,12
	I.2/bg 2000095	1,12
	I.3/bg 2000091	1,12
	I.4/bg 2000093	1,12
3,0 mSv	II.1/bg 2000071	0,96
	II.2/bg 2000061	0,95
	II.3/bg 2000065	0,97
	II.4/bg 2000067	0,95

	III.1/bg 2000056	0,94
5,0 mSv	III.2/bg 2000066	0,94
	III.3/bg 2000058	0,97
	III.4/bg 2000072	0,96
Rata-rata		1,01
Bias ( $\sigma_n$ )		1,0 %
Kesalahan acak ( $\sigma_n$ )		8,2 %
Total Bias		9,2 %
Kategori		A

Berdasarkan hasil evaluasi dosis pada Tabel 3. diperoleh nilai rata-rata  $Q_m$  (nisbah) yaitu 1,01 sedangkan nilai bias sebesar 1,0 % dan nilai kesalahan acak sebesar 8,2 % . Pihak penyelenggara interkomparasi, yaitu LMRN - PTKMR melakukan analisis hasil pengukuran mengacu pada *HSE Guide* dengan ketentuan sebagai berikut :

- ✓  $Q_m$  (nisbah) =  $\text{Dosis}_{\text{Lab}}/\text{Dosis}_{\text{LMR}}$
- ✓ Kategori A : bias < 25 % ( $\sigma_n$ ) dan ( $\sigma_{n-1}$ ) < 15 %, total bias < 30%
- ✓ Kategori B : bias 25 - 30 % ( $\sigma_n$ ) dan/atau ( $\sigma_{n-1}$ ) 15 - 25 %, total bias 30 – 40 %
- ✓ Ketegori C : bias > 30 % ( $\sigma_n$ ) dan/atau ( $\sigma_{n-1}$ ) > 25 %, total bias > 40%

Dari nilai total bias yang diperoleh, maka laboratorium PDP termasuk pada kategori A dan merupakan hasil yang sangat memuaskan.

Kegiatan interkomparasi yang dilakukan laboratorium PDP pada tahun ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran dosis ekivalen perorangan terhadap pekerja radiasi di Kawasan Nuklir Serpong yang dilakukan laboratorium PDP dapat tertelusur dan mempunyai akurasi yang cukup tinggi.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kegiatan di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil evaluasi dosis diperoleh nilai rata-rata  $Q_m$  (nisbah) hasil pengukuran yaitu 1,01 sedangkan nilai bias sebesar 1,0 % dan nilai kesalahan acak sebesar 8,2 %. Sehingga total bias yang diperoleh bernilai 9,3 %.
2. Mengacu pada ketentuan hasil evaluasi interkomparasi pihak LMRN-PTKMR, bahwa diperoleh nilai total bias < 30 % , maka laboratorium PDP termasuk ke dalam kategori A dan merupakan hasil yang sangat memuaskan. Dengan demikian pengukuran dosis ekivalen perorangan oleh laboratorium PDP dapat tertelusur dan mempunyai akurasi yang cukup tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1.]ANONIM, Standar Nasional Indonesia ISO/IEC 17025 : 2005 tentang “Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi”, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2005

- 
- [2.] NAZAROH, dkk, "Interkomparasi Pengukuran Output Iradiator  $^{137}\text{Cs}$  dan *Personal Dose Equivalent* Hp (10) Menggunakan TLD dan Film", *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, Bandung, 2010.
- [3.] KARDIAWAN Ph.D, Sinar-X, Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IKIP, Bandung, 1996
- [4.] IAEA, "Assesment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation", Safety Standar Series No.RS-G-1.3, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1999.
- [5.] ANONIM, *Operator's Manual Model 6600 Automated TLD Reader with WinREMS*, Saint-Gobain Crystal & Detectors Radiation Measurement Products, USA, 2000
- [6.] B. K. AGARWAL, "X-Ray Spectroscopy, an Introduction, 2<sup>nd</sup> ed.", Springer-Verlag, London, 1991



## REVITALISASI SISTEM PEMANTAUAN LINGKUNGAN TAHUN 2013

**Arif Yuniarto, Utara, Budihari H.P.**  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**REVITALISASI SISTEM PEMANTAUAN LINGKUNGAN TAHUN 2013.** Dalam rangka mengevaluasi tingkat radioaktivitas di lingkungan, perlu adanya program pemantauan radioaktivitas lingkungan secara berkala dan berkelanjutan. Kegiatan pemantauan lingkungan di sekitar Kawasan Nuklir Serpong antara lain pengukuran paparan radiasi udara ambien secara kontinu (setiap saat) dan pengukuran radioaktivitas pada sampel-sampel yang dicuplik dari komponen ekosistem di lingkungan setiap triwulan. Kegiatan revitalisasi sistem pemantauan lingkungan merupakan pengembangan dari pemantauan radioaktivitas lingkungan di dalam dan di lepas Kawasan Nuklir Serpong. Kegiatan revitalisasi tahun 2013 meliputi sistem pemantauan radiasi udara ambien kontinu dan kendaraan pemantauan lingkungan. Kegiatan ini diawali dengan penentuan spesifikasi alat yang diperlukan. Selanjutnya dilakukan pengadaan alat dan bahan melalui mekanisme lelang. Kemudian pihak rekanan pemasok (supplier) melaksanakan pengadaan peralatan dan pemasangan/instalasi peralatan dengan pengawasan dan pemeriksaan pihak pengguna. Setelah peralatan terpasang, dilakukan uji fungsi dan evaluasi. Peralatan yang terpasang dilengkapi dengan layanan purna jual selama satu tahun. Hasil pengoperasian dan evaluasi didokumentasikan dalam bentuk laporan. Perangkat pemantauan radiasi udara ambien yang baru terpasang di stasiun LIPI telah beroperasi dengan baik dan dapat diintegrasikan dengan sistem pemantauan yang telah ada sebelumnya. Revitalisasi kendaraan pemantauan lingkungan diharapkan dapat meningkatkan kinerja pemantauan lingkungan di sekitar KNS. Pemilihan spesifikasi kendaraan disesuaikan dengan kebutuhan dalam pelaksanaan aktivitas pemantauan rutin maupun kedaruratan.

**Kata kunci :** revitalisasi, pemantauan radiasi udara, kendaraan pemantauan lingkungan

### ABSTRACT

**REVITALIZATION OF ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM IN 2013.** *In order to evaluate radioactivity level in the environment, environmental radioactivity monitoring program should be carried out periodically and continuously. Environmental monitoring activities surrounding Serpong Nuclear Area include ambient air radiation exposure measurements continuously (real-time) and radioactivity measurements on samples from the ecosystem compartments quarterly. Revitalization activities environmental monitoring system includes development of onsite and offsite environmental radioactivity monitoring surrounding Serpong Nuclear Area. Revitalization in 2013 consists of continuous ambient air radiation monitoring system and environmental monitoring vehicle. The revitalization was started by determination of the required equipment specifications. Furthermore, procurement of equipment and materials was done through an auction mechanism. Then suppliers carried out the procurement of equipment and installation equipment under the user supervision. Once the equipment have been installed, function test and evaluation should be carried out. Installed equipment were completed with after-sales service for one year. Operation and evaluation results were documented as a report. Ambient air radiation monitoring devices installed in LIPI station has been operating well and could be integrated with existing monitoring systems. Revitalization of environmental monitoring vehicles was expected to improve the performance of environmental monitoring around the Serpong Nuclear Area. Selection of vehicle specifications was conformed to the needs of implementation on routine and emergency monitoring activities.*

**Keywords :** *revitalization, air radiation monitoring, environmental monitoring vehicle*

## PENDAHULUAN

Pengoperasian reaktor nuklir dan laboratorium penunjang di Kawasan Nuklir Serpong berpotensi mengakibatkan terjadinya pelepasan zat radioaktif ke lingkungan baik secara atmosferik (ke udara) dan akuatik (ke badan air). Dalam rangka mengevaluasi tingkat radioaktivitas di lingkungan, perlu adanya program pemantauan radioaktivitas lingkungan secara berkala dan berkelanjutan. Kegiatan pemantauan lingkungan di sekitar Kawasan Nuklir Serpong antara lain pengukuran paparan radiasi udara ambien secara kontinu (setiap saat) dan pengukuran radioaktivitas pada sampel-sampel yang dicuplik dari komponen ekosistem di lingkungan setiap triwulan. Kegiatan revitalisasi sistem pemantauan lingkungan merupakan pengembangan dari pemantauan radioaktivitas lingkungan di dalam dan di lepas Kawasan Nuklir Serpong. Hasil pemantauan merupakan data masukan untuk memperkirakan penerimaan dosis radiasi penduduk akibat pelepasan zat radioaktif ke lingkungan melalui jalur atmosferik dan akuatik.

Sampai dengan tahun 2011 telah terpasang empat perangkat pemantau paparan radiasi udara ambien kontinu di dalam Kawasan Nuklir Serpong. Parameter yang dipantau oleh perangkat pemantau paparan radiasi adalah laju dosis udara ambien. Pemilihan letak perangkat pemantau paparan radiasi didasarkan pada kecenderungan kondisi cuaca, terutama arah dan kecepatan angin, serta tingkat kecukupan dalam setiap arah mata angin. Pada tahun 2012, dilakukan penambahan perangkat pemantau paparan radiasi yang dilengkapi pencuplik udara kontinyu yang dipasang di luar Kawasan Nuklir Serpong (lepas kawasan) sebagai bentuk perlindungan terhadap masyarakat sekitar, yaitu di kawasan perumahan PUSPIPTEK. Pada tahun 2013 dilakukan penambahan satu perangkat pemantau paparan radiasi udara ambien lepas kawasan di sektor yang berlawanan arah dengan sistem yang dipasang pada tahun sebelumnya. Perangkat tersebut diintegrasikan dengan perangkat pemantau lainnya dalam suatu sistem pemantauan radiasi udara ambien secara kontinu. Sistem pemantauan tersebut merupakan bagian dari sistem peringatan dini (*early warning system*) dan penunjang jika terjadi kedaruratan nuklir/radiologi. Semua data hasil pemantauan juga ditampilkan dalam *website* BATAN sebagai bentuk keterbukaan informasi kepada publik.

Pemantauan radiasi lingkungan tiap triwulan memerlukan kendaraan operasional yang handal dalam rangka pengambilan sampel-sampel pada kompartemen lingkungan (air, tanah, sedimen, rumput, udara). Sampai dengan tahun 2012, kendaraan operasional yang digunakan adalah kendaraan yang dibeli pada tahun 1989 dengan performa yang semakin menurun. Hal ini merupakan kendala yang menghambat dalam proses pemantauan radiasi lingkungan. Umur kendaraan yang sudah lebih dari 20 tahun juga menyebabkan peningkatan biaya perawatan.

Berdasarkan beberapa pertimbangan di atas, diperlukan adanya suatu paket kegiatan revitalisasi yang mencakup penambahan pemantauan radiasi udara ambien secara kontinu di lepas kawasan dan peremajaan kendaraan pemantauan lingkungan. Kedua hal tersebut diharapkan dapat meningkatkan kinerja pemantauan radioaktivitas lingkungan di sekitar Kawasan Nuklir Serpong secara keseluruhan.



## DASAR TEORI

### Definisi Revitalisasi

Dalam kamus besar Bahasa Indonesia, revitalisasi berarti proses, cara, dan perbuatan menghidupkan dan menggiatkan kembali. Dengan kata lain, revitalisasi berarti menjadikan sesuatu atau perbuatan menjadi vital. Sedangkan kata vital mempunyai arti sangat penting<sup>[1]</sup>.

Dengan demikian revitalisasi dapat diartikan sebagai proses, cara, dan atau perbuatan untuk menghidupkan atau menggiatkan kembali suatu hal yang sebelumnya kurang terberdaya atau membangkitkan kembali vitalitas atau usaha-usaha untuk menjadikan sesuatu menjadi penting dan perlu sekali.

### Pengukuran Radiasi Udara

Radiasi nuklir tidak dapat "dirasakan" oleh panca indera manusia oleh karena itu alat ukur radiasi mutlak diperlukan untuk mendeteksi dan mengukur radiasi nuklir. Radiasi merupakan suatu cara perambatan energi dari sumber energi ke lingkungannya tanpa membutuhkan medium atau bahan penghantar tertentu. Radiasi nuklir memiliki dua sifat yang khas, yaitu tidak dapat dirasakan secara langsung dan dapat menembus berbagai jenis bahan. Oleh karena itu untuk menentukan ada atau tidak adanya radiasi nuklir diperlukan suatu alat, yaitu pengukur radiasi, yang digunakan untuk mengukur kuantitas, energi, atau dosis radiasi<sup>[2]</sup>.

Radiasi dapat diketahui dengan menggunakan peralatan khusus, yang disebut Detektor Radiasi, misalnya film fotografi, tabung Geiger-Müller, pencacah sintilasi, bahan termoluminesensi maupun dioda silikon. Hasil pengukuran detektor radiasi tersebut dapat diinterpretasikan sebagai energi radiasi yang terserap di seluruh tubuh manusia atau di organ tertentu, misalnya hati. Banyaknya energi radiasi pengion yang terserap per satuan massa bahan, misalnya jaringan tubuh manusia, disebut Dosis Terserap yang dinyatakan dalam satuan Gray, dengan simbol Gy. Untuk nilai yang lebih kecil, biasa digunakan miligray, (mGy) yang sama dengan seperseribu Gray. Istilah Gray diambil dari nama fisikawan Inggris, Harold Gray. Besar dosis terserap yang sama untuk jenis radiasi yang berbeda belum tentu mengakibatkan efek biologis yang sama, karena setiap jenis radiasi pengion memiliki keunikan masing-masing dalam berinteraksi dengan jaringan tubuh manusia. Sebagai contoh, dosis terserap 1 Gy yang berasal dari radiasi alfa lebih berbahaya dibandingkan dengan dosis terserap 1 Gy yang berasal dari radiasi beta. Karena adanya perbedaan tersebut, kita memerlukan besaran dosis lain yang tidak bergantung pada jenis radiasi. Besaran itu disebut Dosis Ekuivalen dan memiliki satuan Sievert, dengan simbol Sv. Untuk nilai yang lebih kecil, biasa digunakan milisievert (mSv), yang sama dengan seperseribu Sievert. Istilah Sievert diambil dari nama fisikawan Swedia, Rolf Sievert<sup>[3]</sup>.

### Partikulat Udara Ambien dan Pengukurannya

Berdasarkan SNI 19-7119.3-2005 tentang cara uji partikel tersuspensi total menggunakan peralatan *high volume air sampler* (HVAS) dengan metode gravimetri<sup>[4]</sup>, udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfir yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup

dan unsur lingkungan hidup lainnya. Berdasarkan SNI itu pula disebutkan bahwa prinsip pengujian kualitas udara ambien adalah udara dihisap melalui filter di dalam shelter dengan menggunakan pompa vakum laju alir tinggi sehingga partikel terkumpul di permukaan filter. Jumlah partikel yang terakumulasi dalam filter selama periode waktu tertentu dianalisa secara gravimetri. Laju alir dipantau saat periode pengujian. Hasilnya ditampilkan dalam bentuk satuan massa partikulat yang terkumpul per satuan volum contoh uji udara yang diambil sebagai  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Debu atau partikulat digunakan untuk memberikan gambaran partikel cair maupun padat yang tersebar di udara dengan ukuran 0,001 sampai 500  $\mu\text{m}$ . Berdasarkan lamanya partikel tersuspensi di udara dan rentang ukurannya, partikel dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu *dust fall (settled particulate)* dan *Suspended Particulate Matter (SPM)*. Partikel yang berukuran lebih dari 100  $\mu\text{m}$  disebut *dust fall*, sedangkan partikel yang memiliki ukuran diameter antara 0,001 sampai 100  $\mu\text{m}$  disebut sebagai *Suspended Particulate Matter (SPM)*. Beberapa literatur menyebut SPM sebagai aerosol. SPM merupakan campuran yang sangat rumit dari berbagai senyawa organik dan anorganik. Partikulat debu tersebut akan berada di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang-layang di udara dan masuk kedalam tubuh manusia melalui saluran pernafasan. Selain dapat berpengaruh negatif terhadap kesehatan, partikel debu juga dapat mengganggu daya tembus pandang mata dan juga mengadakan berbagai reaksi kimia di udara. Partikel debu SPM pada umumnya mengandung berbagai senyawa kimia yang berbeda, dengan berbagai ukuran dan bentuk yang berbeda pula, tergantung dari mana sumber emisinya. Karena Komposisi partikulat debu udara yang rumit, dan pentingnya ukuran partikulat dalam menentukan pajanan, banyak istilah yang digunakan untuk menyatakan partikulat debu di udara. Beberapa istilah digunakan dengan mengacu pada metode pengambilan sampel udara seperti : *Suspended Particulate Matter (SPM)*, *Total Suspended Particulate (TSP)*, *black smoke*. Istilah lainnya lagi lebih mengacu pada tempat di saluran pernafasan dimana partikulat debu dapat mengedap, seperti *inhalable/thoracic particulate* yang terutama mengedap di saluran pernafasan bagian bawah, yaitu dibawah pangkal tenggorokan (*larynx*)<sup>[5]</sup>.

Partikel udara dalam wujud padat yang berdiameter kurang dari 10  $\mu\text{m}$  disebut sebagai  $\text{PM}_{10}$  (*particulate matter*) sedangkan yang berdiameter kurang dari 2,5  $\mu\text{m}$  disebut sebagai  $\text{PM}_{2,5}$ . Keberadaan partikel tersebut diyakini oleh para pakar lingkungan dan kesehatan masyarakat sebagai pemicu timbulnya infeksi saluran pernapasan, karena partikel padat  $\text{PM}_{10}$  dan  $\text{PM}_{2,5}$  dapat mengedap pada saluran pernapasan daerah *bronkus* dan *alveolus*. Partikel yang berukuran kurang dari 2,5  $\mu\text{m}$  umumnya dianggap sebagai partikel halus, sedangkan yang lebih dari 2,5  $\mu\text{m}$  dianggap sebagai partikel kasar. Rambut di dalam hidung dapat menyaring debu yang berukuran lebih besar dari 10  $\mu\text{m}$  sehingga tidak terhirup ke dalam paru-paru. Sedangkan partikel debu yang berdiameter kurang dari 10  $\mu\text{m}$  dan 2,5  $\mu\text{m}$  memiliki kemampuan untuk menembus ke dalam paru-paru<sup>[6]</sup>.

## **Kendaraan Pemantauan Lingkungan dan Pengadaannya**

Kendaraan pemantauan lingkungan Kawasan Nuklir Serpong memiliki beberapa kekhususan spesifikasi terkait kemampuannya dalam menjalankan fungsinya sebagai kendaraan pemantauan radiasi lingkungan. Beberapa hal penting yang harus dipenuhi antara lain memiliki ruang yang cukup untuk mengangkut sampel lingkungan, peralatan dan petugas pengambil sampel; mampu melewati medan yang sulit (misal berlumpur); serta dapat digunakan untuk mengangkut peralatan pemantauan lingkungan kedaruratan (bila terjadi kedaruratan, misal *iodine monitoring*)

Kendaraan yang akan digunakan sebagai kendaraan pemantauan lingkungan di Kawasan Nuklir Serpong termasuk dalam golongan kendaraan pemerintah yang pengadaannya diatur dengan Peraturan Kepala Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah Nomor 6 Tahun 2011<sup>[7]</sup>. Dalam hal ini, pengadaan kendaraan pemerintah dapat dilakukan dengan mekanisme penunjukan langsung.

## **TATA KERJA**

### **Peralatan dan Waktu Kegiatan**

Peralatan yang diadakan dalam kegiatan revitalisasi ini antara lain:

1. Perangkat pemantau radiasi udara ambien
  - a. Gamma dose rate monitor
  - b. Pencuplik partikulat udara (PM2.5, PM10, TSP)
  - c. Radio modem
  - d. Solar panel
  - e. Shelter instrumen
2. Kendaraan pemantauan lingkungan

Kegiatan revitalisasi yang meliputi pengadaan, pemasangan, uji fungsi dan evaluasi peralatan ini dilaksanakan pada tahun anggaran 2013.

### **Metode Kegiatan**

Kegiatan ini diawali dengan penentuan spesifikasi alat yang diperlukan untuk revitalisasi sistem pemantauan lingkungan. Selanjutnya dilakukan pengadaan alat dan bahan melalui mekanisme lelang (untuk kendaraan pemantauan lingkungan dengan penunjukan langsung). Kemudian pihak rekanan pemasok (*supplier*) melaksanakan pengadaan peralatan dan pemasangan/instalasi peralatan dengan pengawasan dan pemeriksaan pihak pengguna. Setelah peralatan terpasang, dilakukan uji fungsi dan evaluasi. Peralatan yang terpasang dilengkapi dengan layanan purna jual selama satu tahun. Hasil pengoperasian dan evaluasi didokumentasikan dalam bentuk laporan. Secara lebih rinci, tahapan pelaksanaan dan persentase target tahapan tiap bulan dapat dilihat pada Tabel 1<sup>[8]</sup>.

Tabel 1. Tahapan pelaksanaan dan persentase target tahapan tiap bulan

No	Tahapan Pelaksanaan	Target Bulan												Target Tahapan
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Penelusuran spesifikasi teknis peralatan	10	5											15
2	Pengadaan peralatan			10	10	5	5							30
3	Komisioning dan uji fungsi sistem							10	5	5				20
4	Pengoperasian dan evaluasi										10	5		15
5	Pelaporan hasil kegiatan			5			5			5			5	20
	<b>Target Bulanan</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>100</b>
	<b>Target Kumulatif Bulanan</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>45</b>	<b>55</b>	<b>65</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Sumber: Kerangka Acuan Kerja Revitalisasi Sistem Pemantauan Lingkungan Tahun 2013

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sistem Pemantauan Radiasi Udara Ambien Kontinu

Sampai dengan tahun 2012, sistem pemantauan radiasi udara ambien kontinu telah memiliki lima perangkat pemantauan yang terpasang baik di dalam Kawasan Nuklir Serpong (*on-site*) maupun di luar Kawasan Nuklir Serpong (*off-site*). Perangkat pemantauan di dalam Kawasan Nuklir Serpong meliputi stasiun gedung 30 (Pusat Reaktor Serba Guna), gedung 90 (Pusat Kemitraan Teknologi Nuklir), gedung 20 (*Radio Metalurgy Instalation*) dan gedung 93 (*Crisis Center Head Quarter*), sedangkan di luar Kawasan Nuklir Serpong terpasang di perumahan Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK). Lokasi pemasangan perangkat pemantauan tahun 2013 adalah di dekat gedung Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) di dalam kawasan PUSPIPTEK. Penentuan lokasi tersebut didasarkan pada berbagai macam faktor antara lain pemenuhan pemantauan berdasarkan arah mata angin dan tingkat keamanan. Secara lebih rinci, peta lokasi pemantauan radiasi udara ambien stasiun LIPI ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi pemasangan pemantau radiasi udara ambien stasiun LIPI

Setelah penentuan lokasi dan perijinan kepada pihak kawasan PUSPIPTEK, dilakukan proses pengadaan peralatan dan instalasinya melalui proses lelang. Proses pengadaan peralatan dan instalasinya dilakukan mulai tanggal 2 April 2013. Kegiatan instalasi meliputi pemasangan pagar stasiun pemantau, pemasangan grounding, kalibrasi detektor, pemasangan detektor laju dosis, pemasangan alat pencuplik udara, beserta peralatan penunjang seperti radio modem untuk komunikasi data secara nirkabel dan solar panel/PLN untuk suplai daya. Proses instalasi perangkat pemantauan radiasi udara ambien kontinu ditunjukkan pada Gambar 2.



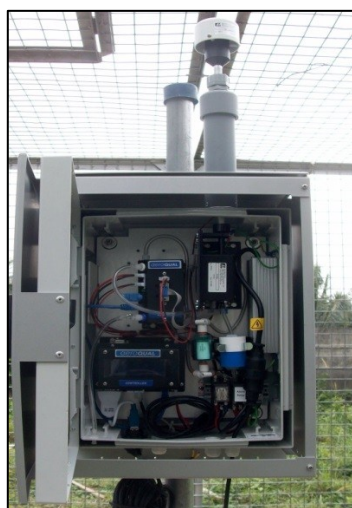
**Gambar 2.** Proses instalasi alat pemantau radiasi udara ambien stasiun LIPI

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa perangkat ini terdiri dari dua perangkat utama, yaitu pemantau laju dosis dan pemantau partikulat udara. Perangkat pemantauan laju dosis ditunjukkan pada Gambar 3, sedangkan pemantauan partikulat udara ditunjukkan pada Gambar 4.

Alat pemantau laju dosis (*gamma dose rate monitor*) berfungsi untuk memantau radiasi gamma secara kontinu. Alat ini terdiri dari dua detektor GM dengan sensitivitas pengukuran yang berbeda sehingga dapat mengukur laju dosis dengan rentang 50 nSv/jam sampai 1000 mSv/jam<sup>[9]</sup>. Hasil pengukuran secara kontinu dikirim secara nirkabel dengan radio modem ke komputer server.



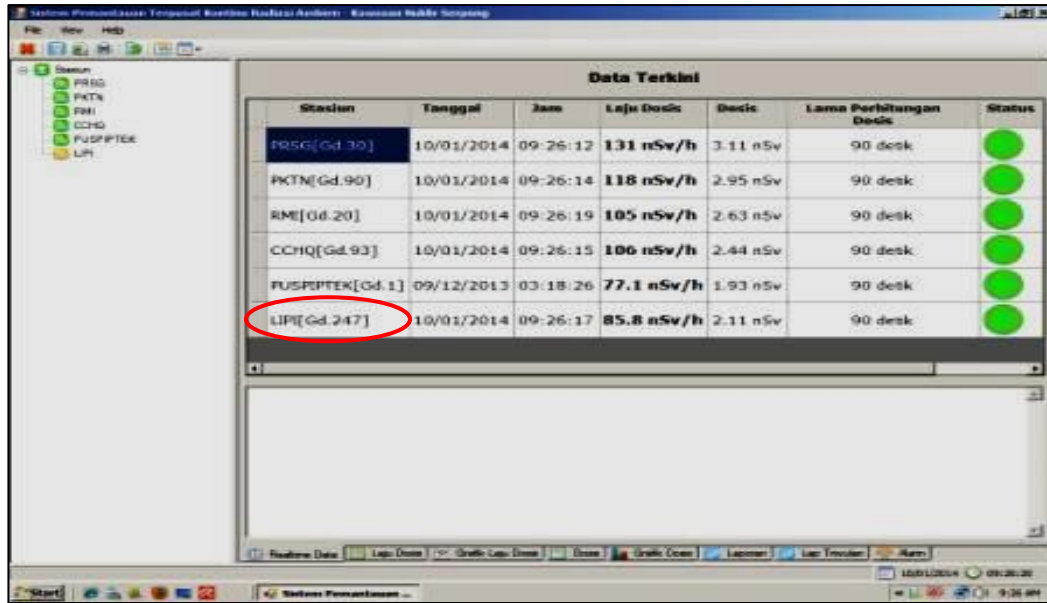
**Gambar 3.** *Gamma dose rate monitor*



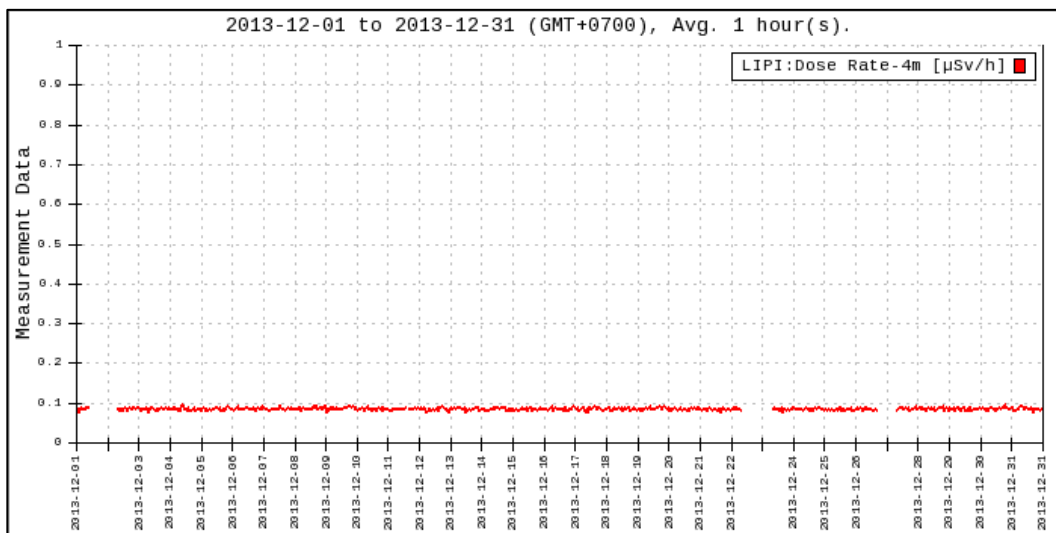
**Gambar 4.** Pemantau partikulat udara (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, TSP)

Perangkat pemantau radiasi udara ambien yang telah dipasang selanjutnya diuji fungsi baik dari aspek data maupun komunikasi ke ruang server di gedung 71 di dalam Kawasan Nuklir Serpong. Setelah kedua aspek tersebut terpenuhi, maka dilakukan integrasi perangkat pemantau radiasi udara ambien LIPI dengan kelima perangkat yang telah ada sebelumnya di dalam lingkup sistem pemantauan radiasi udara ambien. Tampilan integrasi sistem tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.

Data keluaran dari perangkat terpasang dievaluasi untuk diketahui tingkat validitas dan kontinuitasnya. Faktor kalibrasi detektor diterapkan pada konfigurasi perangkat sehingga laju dosis yang terbaca memiliki nilai acuan yang tersertifikasi. Laju dosis yang terbaca pada perangkat terpasang menunjukkan tingkat radiasi latar dengan kisaran di 0,1  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ , seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Rentang laju dosis yang terbaca di stasiun LIPI memiliki kecenderungan nilai latar yang sama seperti kelima stasiun yang telah terpasang sebelumnya.



Gambar 5. Integrasi alat pemantau radiasi LIPI dengan sistem yang telah ada



Gambar 6. Grafik data keluaran laju dosis radiasi stasiun LIPI

Selain laju dosis, parameter lain yang diamati dalam pemantauan udara ambien adalah partikulat ( $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$ , TSP). Alat pemantau partikulat udara dilengkapi dengan pencuplik udara dan filter. Pemantauan partikulat sejauh ini masih merupakan pemantauan penunjang dari pemantauan radiasi. Data pemantauan partikulat udara belum dapat dikirim langsung ke ruang server di gedung 71. Namun perangkat tersebut dapat digunakan untuk pemantauan kontinu di mana datanya akan tersimpan dalam kartu data (*data card*) yang dapat dipindahkan dan diolah menggunakan komputer dengan fasilitas perangkat lunak yang tersedia<sup>[10]</sup>. Data keluaran dari alat pemantau partikulat udara ditunjukkan pada Gambar 7.

Logged Data Table View

View Range

From: 2013 Aug 20 15:46 To: 2013 Aug 20 23:46 Display Conc Units: ppm

Monitor ID	Date	Time	PM5(ug/m3)	TSP PC(L)	TSP(ug/m3)	PM1(ug/m3)	8PC1.0(L)	8PC2.5(L)	8PC5.0(L)	8PC10(L)	PM2.5(ug/...	PM10(ug/m3)
1	2013 Aug 20	16:45:26	40.80	16	29.43	39.12	NR	NR	NR	NR	NR	NR
1	2013 Aug 20	17:45:26	47.31	19	34.25	45.31	NR	NR	NR	NR	NR	NR
1	2013 Aug 20	18:45:26	60.64	26	46.25	58.96	NR	NR	NR	NR	NR	NR
1	2013 Aug 20	19:45:26	76.36	37	63.73	74.92	NR	NR	NR	NR	NR	NR
1	2013 Aug 20	20:45:26	57.78	26	46.79	56.47	NR	NR	NR	NR	NR	NR
1	2013 Aug 20	21:45:26	74.19	25	50.79	71.89	NR	NR	NR	NR	NR	NR
1	2013 Aug 20	22:45:26	65.45	25	47.70	63.59	NR	NR	NR	NR	NR	NR
1	2013 Aug 20	23:45:26	47.91	21	36.65	46.83	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Gambar 7. Tabel data keluaran pengukuran partikulat udara stasiun LIPI

**Kendaraan Pemantauan Lingkungan**

Pengadaan kendaraan pemantauan lingkungan dilakukan dengan beberapa tahapan yang sama dengan pengadaan perangkat pemantauan radiasi udara ambien kontinu, hanya saja dilakukan melalui mekanisme penunjukan langsung. Di dalam pemilihan spesifikasi kendaraan, faktor-faktor yang dipertimbangkan antara lain kehandalan dalam melalui medan yang sulit serta kemampuan membawa personel dan peralatan pengambilan sampel lingkungan yang dilakukan secara rutin. Selain untuk pemantauan lingkungan rutin, kendaraan pemantauan juga dipersiapkan jika terjadi kondisi kedaruratan maupun latihan kedaruratan. Pemeriksaan dan uji fungsi yang dilakukan terhadap kendaraan pemantauan lingkungan meliputi mesin, transmisi, dimensi, kaki-kaki, fitur keselamatan, fitur keamanan, fitur kenyamanan dan aksesoris. Kendaraan tersebut juga dilengkapi dengan jaminan pemeliharaan, petunjuk pengoperasian serta kartu garansi. Bentuk fisik kendaraan pemantauan lingkungan sebelum dan sesudah revitalisasi ditunjukkan pada Gambar 8.



(a) sebelum revitalisasi



(b) sesudah revitalisasi

Gambar 8. Bentuk fisik kendaraan pemantauan lingkungan KNS



Dari bentuk fisik dan fitur kendaraan pemantauan lingkungan sebelum dan sesudah revitalisasi, dapat dibuat matriks yang menggambarkan kelebihan dan kekurangan masing-masing dilihat dari beberapa parameter. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Matriks perbandingan kendaraan pemantauan lingkungan KNS

Parameter	Sebelum Revitalisasi	Sesudah Revitalisasi
Kehandalan di medan sulit	Kurang handal, tanpa penggerak empat roda, ukuran ban lebih kecil	Lebih handal, dilengkapi penggerak empat roda, ukuran ban lebih besar
Kapasitas penumpang	4 – 5 orang	4 – 5 orang
Kapasitas muatan barang	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebih terbatas, sehingga lebih sedikit memuat barang</li> <li>• Tertutup, sehingga muatan tidak terpengaruh cuaca (panas dan hujan)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebih luas, sehingga lebih banyak memuat barang</li> <li>• Terbuka, sehingga muatan terpengaruh cuaca</li> </ul>
Fitur penunjang	-	Kompas

Matriks perbandingan di atas menunjukkan bahwa kendaraan sesudah revitalisasi diharapkan memiliki performa yang lebih baik sehingga dapat meningkatkan kinerja pemantauan lingkungan secara keseluruhan. Namun demikian, kendaraan hasil revitalisasi masih memerlukan penambahan fitur/aksesoris, misalnya ruang muatan barang terbuka. Agar muatan tidak terpengaruh cuaca, diperlukan penutup (*cover*) ruang muatan barang. Sebaiknya penutup tersebut fleksibel dapat dipasang dan dilepas. Dengan demikian, pemasangan penutup dapat disesuaikan dengan dimensi barang muatan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah diuraikan di atas, dapat disimpulkan bahwa proses revitalisasi sistem pemantauan lingkungan yang meliputi sistem pemantauan radiasi udara ambien kontinu dan kendaraan pemantauan lingkungan telah berjalan dengan baik tanpa kendala yang berarti. Perangkat pemantauan radiasi udara ambien yang baru terpasang di stasiun LIPI telah beroperasi dengan baik dan dapat diintegrasikan dengan sistem pemantauan yang telah ada sebelumnya. Sistem tersebut akan terus dikembangkan baik dalam hal penambahan stasiun pemantauan untuk melengkapi arah mata angin maupun dalam hal pengolahan data dan penampilan data di website.

Revitalisasi kendaraan pemantauan lingkungan diharapkan dapat meningkatkan kinerja pemantauan lingkungan di sekitar Kawasan Nuklir Serpong. Pemilihan spesifikasi kendaraan disesuaikan dengan kebutuhan dalam pelaksanaan aktivitas pemantauan rutin maupun kedaruratan. Namun demikian, kendaraan hasil revitalisasi masih memerlukan penambahan fitur/aksesoris sehingga fungsinya dapat dioptimalkan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. ANONIM, “Kamus Besar Bahasa Indonesia Online versi 1.2.1”, Badan Pengembangan dan Pembinaan Bahasa, Kemdikbud (Pusat Bahasa), 2014.
- [2]. [http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/Pengukuran\\_Radiasi/Dasar\\_01.htm](http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/Pengukuran_Radiasi/Dasar_01.htm)
- [3]. [http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/proteksiradiasi/pengenalan\\_radiasi/default.htm](http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/proteksiradiasi/pengenalan_radiasi/default.htm)
- [4]. ANONIM, “SNI 19-7119.3-2005 tentang cara uji partikel tersuspensi total menggunakan peralatan *high volume air sampler* (HVAS) dengan metode gravimetri”, Badan Standardisasi Nasional, 2005.
- [5]. DEWI APRIANTI, “Analisis Pengaruh Tingkat Volume Lalu Lintas Kendaraan di Pintu Tol terhadap Tingkat Konsentrasi *Total Suspended Particulate* (TSP) dan Pengukuran Konsentrasi Timbal di Udara Ambien (Studi Kasus: Pintu Tol Cililitan 2, Bulan Januari-Februari 2011)”, Skripsi, Fakultas Teknik Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Indonesia, 2011.
- [6]. AGUS GINDO S. dan BUDI HARI H., “Pengukuran Partikel Udara Ambien (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) Di Sekitar Calon Lokasi PLTN Semenanjung Lemahabang”, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengolahan Limbah VI, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Serpong, 2008.
- [7]. ANONIM, “Peraturan Kepala Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah Nomor 6 Tahun 2011 tentang Pedoman Penunjukan Langsung Pengadaan Kendaraan Pemerintah di Lingkungan Kementerian/Lembaga/Satuan Kerja Perangkat Daerah/Instansi Lainnya”, Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah, 2011.
- [8]. ANONIM, “Kerangka Acuan Kerja Revitalisasi Sistem Pemantauan Lingkungan Tahun 2013”, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Serpong, 2013.
- [9]. ANONIM, “Multifunctional Gamma Monitor MFM 203 User Manual”, AMES d.o.o., Jamova 39, SI-1000 Ljubljana, Slovenia, 2013.
- [10]. ANONIM, “Aeroqual Dust Sentry User Guide”, Auckland 1024, New Zealand, 2013.

---

## **PENETAPAN FAKTOR KOREKSI *SELF ATTENUATION* PADA ANALISIS SAMPEL SEDIMEN DENGAN SPEKTROMETRI GAMMA**

**Chevy Cahyana, Mohamad Nur Yahya**  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

### **ABSTRAK**

**PENETAPAN FAKTOR KOREKSI *SELF ATTENUATION* PADA ANALISIS SAMPEL SEDIMEN DENGAN SPEKTROMETRI GAMMA.** Efisiensi pengukuran konsentrasi radionuklida pada analisis sampel sedimen dengan sistem spektrometri gamma dapat dipengaruhi oleh gejala *self attenuation*. Oleh karena itu faktor koreksi efisiensi harus ditetapkan untuk memperoleh hasil pengukuran yang lebih baik. Penetapan faktor koreksi efisiensi untuk pengukuran konsentrasi radionuklida telah dilakukan dengan metoda transmisi menggunakan sumber standar titik Cs-137 (energi 662.61 keV). Sumber standar tanah IAEA *Reference Material 375 Soil* digunakan sebagai standar kalibrasi efisiensi yang akan dikoreksi. Pada penelitian ini, sampel sedimen laut dicuplik dari perairan laut Jepara, Madura, Parepare, Bangka dan Balikpapan. Diperoleh faktor koreksi efisiensi berturut-turut sebesar 0.8621, 0.8266, 0.8026, 0.7705 dan 0.7406. Hasil ini menunjukkan bahwa faktor koreksi efisiensi akan mendekati satu jika selisih kerapatan matriksnya mendekati nol dan dimensi sampel sama dengan sumber standar

**Kata kunci :** *self attenuation*, metoda transmisi, faktor koreksi

### **ABSTRACT**

**THE DETERMINATION OF *SELF ATTENUATION CORRECTION FACTOR* ON SEDIMENT SAMPLE ANALYSIS BY MEAN OF GAMMA SPECTROMETRY.** The efficiency of radionuclide concentration measurement on sediment sample analysis by mean of gamma spectrometry system can be influenced by *self attenuation* phenomenon. Based on this reason, the efficiency correction factor must be determined to get better measurement results. The determination of efficiency correction factor for radionuclide concentration measurement have been done by mean of transmission method using Cs-137 point source standard (662.61 keV energy). IAEA Reference Material 375 Soil source standard was used as efficiency calibration standard to be corrected. On this study, sea sediment samples were taken from Jepara, Madura, Parepare, Bangka and Balikpapan. The efficiency correction factors are 0.8621, 0.8266, 0.8026, 0.7705 and 0.7406. These results show that efficiency correction factor will close to one if matrix density difference close to zero and the samples have similar dimension with standard source.

**Keywords:** *self attenuation*, transmission method, correction factor

### **PENDAHULUAN**

Pengukuran konsentrasi radionuklida pemancar gamma pada sampel lingkungan dengan sistem spektrometri gamma pada dasarnya merupakan pengukuran yang bersifat relatif. Sampel lingkungan dapat diukur secara langsung dengan membandingkannya dengan sumber standar yang sudah diketahui kandungannya. Pengukuran juga dapat dilakukan secara tidak langsung dengan menggunakan kurva kalibrasi efisiensi yang dihasilkan dari sumber standar.

Pada saat foton gamma melewati suatu material, foton gamma akan kehilangan sebagian energinya, sehingga foton gamma yang mencapai detektor akan

berkurang. Hal ini menyebabkan berkurangnya laju paparan yang teramati. Fenomena ini disebut *self absorption* atau *self attenuation*<sup>1</sup>. Pengaruh *self attenuation* berkurang jika panjang lintasan foton gamma menembus material lebih pendek<sup>2</sup>.

Untuk meminimalkan deviasi pada pengukuran aktivitas sampel akibat adanya *self attenuation*, sumber standar yang digunakan untuk kalibrasi efisiensi harus memiliki dimensi fisik, komposisi kimia dan kerapatan yang sama dengan sampel yang dianalisis, sehingga derajat *self attenuation* antara sumber standar dengan sampel menjadi sama<sup>1,3</sup>. Perbedaan kerapatan antara sampel dan sumber standar merupakan penyebab utama terjadinya deviasi pada hasil pengukuran aktivitas sampel. Perbedaan kerapatan menyebabkan perlunya koreksi terhadap kurva kalibrasi efisiensi<sup>3</sup>.

Ketersediaan sumber standar yang memiliki dimensi fisik, komposisi kimia dan kerapatan yang sama dengan sampel yang dianalisis menjadi kendala tersendiri. Terutama untuk laboratorium yang melakukan analisis sampel dengan variasi kerapatan dan komposisi yang sangat beragam. Untuk itu perlu dilakukan suatu upaya untuk melakukan koreksi terhadap kurva kalibrasi efisiensi akibat terjadinya gejala *self attenuation*. Salah satu metoda yang dapat digunakan untuk melakukan koreksi efisiensi adalah metoda transmisi<sup>1,4</sup>. Dengan metoda ini, efisiensi pengukuran yang ditetapkan dengan menggunakan sumber standar dapat dikoreksi derajat atenuasinya dengan menggunakan sampel sesungguhnya.

Dalam penelitian ini telah dilakukan penetapan faktor koreksi efisiensi untuk diterapkan pada analisis kandungan radionuklida pemancar gamma pada sampel sedimen laut dengan sistem spektrometri gamma. Sampel sedimen laut yang digunakan dicuplik dari perairan laut Jepara, Bangka, Parepare, Balikpapan dan Madura. Perbedaan lokasi pengambilan sampel diharapkan dapat menghasilkan sampel sedimen dengan kerapatan yang bervariasi, sehingga korelasi antara kerapatan dengan gejala *self attenuation* dapat dipelajari.

## METODOLOGI

### Penghitungan Faktor Koreksi Efisiensi

Atenuasi sinar gamma yang menembus matriks sampel setebal  $t$  dan koefisien atenuasi linier  $\mu$  dapat disajikan dalam bentuk persamaan berikut<sup>1</sup>,

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad (1)$$

dimana  $I$  adalah besarnya paparan yang tertangkap detektor setelah melewati matriks sampel, sementara  $I_0$  adalah besarnya paparan yang tertangkap detektor jika tidak melewati matriks sampel. Pada sebagian besar sampel lingkungan, nilai  $\mu$  dan  $t$  tidak dapat diketahui, tetapi dapat diperkirakan. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menetapkan nilai rata-rata  $\mu t$  untuk jenis dan geometri sampel tertentu adalah metoda transmisi<sup>1,4</sup>. Dengan metoda ini, efisiensi pengukuran yang ditetapkan dengan menggunakan sumber standar dapat dikoreksi derajat atenuasinya dengan menggunakan sampel sesungguhnya.

Pada metoda transmisi, faktor koreksi ditetapkan dengan cara membandingkan laju transmisi sumber titik yang diletakkan di atas sampel ( $I$ ) dengan

laju transmisi sumber titik yang diletakkan di atas wadah sampel yang kosong ( $I_0$ ). Faktor koreksi ( $F$ ) untuk sinar gamma pada energi  $E$ , dihitung dengan persamaan berikut<sup>1</sup>,

$$F(E) = \frac{e^{-\mu t} - 1}{\ln(e^{-\mu t})} \quad (2)$$

dimana  $e^{-\mu t}$  adalah rasio laju transmisi  $I$  dan laju transmisi  $I_0$  dari persamaan 1. Dengan prosedur yang sama dilakukan perbandingan laju transmisi sumber titik yang diletakkan di atas sumber standar yang digunakan untuk kalibrasi efisiensi detektor, sehingga faktor koreksi efisiensi pada energi  $E$  dapat dihitung dengan persamaan berikut<sup>1</sup>,

$$C_f(E) = \frac{\varepsilon_{\text{sampel}}}{\varepsilon_{\text{standar}}} = \frac{F(E)_{\text{sampel}}}{F(E)_{\text{standar}}} \quad (3)$$

### Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *sediment sample grinder*, wadah sampel ukuran 550 cm<sup>3</sup>, oven, timbangan, sumber standar titik buatan *The Nucleus Inc. Oak Ridge TN, USA* dan sumber standar tanah IAEA *Reference Material 375 Soil*. Pengukuran paparan sinar gamma dilakukan dengan menggunakan *gamma spectrometry system* dengan detektor *High Purity Germanium* (HPGe) merek *Canberra* tipe GX2018 dengan efisiensi 20%.

Bahan yang digunakan adalah sampel sedimen laut yang dicuplik dari perairan laut Jepara, Bangka, Madura, Parepare dan Balikpapan, masing-masing sebanyak 2 kg basah.

### Tata Kerja

Pada setiap titik sampling, dicuplik sebanyak lebih kurang 2 kg sampel sedimen. Sampel sedimen dikeringkan dalam oven dengan suhu 100<sup>0</sup>C selama 8 jam per hari selama 5 hari. Setelah kering, sampel sedimen yang mengeras dihaluskan dengan menggunakan *sediment sample grinder* dengan pisau saring berukuran 0,5 mikron. Sampel sedimen kering yang telah dihaluskan dimasukkan ke dalam wadah sampel berukuran 550 cm<sup>3</sup> sampai penuh. Sampel sedimen kemudian ditimbang untuk memperoleh besarnya kerapatan sampel (Tabel 1). Selanjutnya sampel sedimen dalam wadah sampel dianalisa dengan sistem spektrometri gamma.

**Tabel 1.** Massa dan kerapatan sampel sedimen laut setelah preparasi

Sampel	Massa, gram	Kerapatan, g/cm <sup>3</sup>
Jepara	644.3	1.1044
Bangka	799.3	1.3862
Parepare	735.4	1.2700
Balikpapan	850.7	1.4796
Madura	693.7	1.1942

*Live time* sistem spektrometri gamma diset 150 detik. Sumber standar titik Cs-137 buatan *The Nucleus Inc. Oak Ridge TN, USA* diletakkan di atas tutup wadah sampel yang kosong, kemudian dicacah dengan sistem spektrometri gamma (Gambar 1). Pencacahan diulang sebanyak tiga kali. Dengan cara yang sama, pencacahan dilakukan terhadap wadah sampel yang berisi sampel sedimen secara bergantian. Untuk penetapan faktor koreksi efisiensi, prosedur yang sama juga diterapkan pada sumber standar tanah IAEA *Reference Material 375 Soil*.



**Gambar 1.** Pengukuran laju transmisi sumber titik standar di atas wadah sampel.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tabel 1 tampak bahwa kelima sampel sedimen laut yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kerapatan yang berbeda. Hal ini disebabkan oleh perbedaan jenis sedimen yang ada di perairan laut Indonesia. Sampel sedimen dari perairan laut Jepara dan Madura relatif lebih kecil kerapatannya dibandingkan dengan daerah yang lain. Berdasarkan pada peta sedimen laut Indonesia<sup>5</sup>, jenis sedimen di perairan laut Jepara dan Madura adalah pasir dan lanau, sementara itu jenis sedimen di perairan laut Bangka, Parepare dan Balikpapan adalah lumpur. Karena diameter

partikel lumpur lebih kecil daripada diameter pasir dan lanau, maka kerapatan sampel yang dicuplik dari perairan laut Bangka, Parepare dan Balikpapan relatif lebih besar.

Nilai koefisien atenuasi linier ditetapkan dengan menggunakan metoda transmisi. Laju transmisi sumber titik standar pada masing-masing sampel sedimen diukur dengan sistem spektrometri gamma. Untuk menghitung koefisien atenuasi linier, persamaan 1 diubah ke dalam bentuk persamaan berikut,

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{I_0}{I}\right)}{t} \tag{4}$$

Pada penelitian ini sampel sedimen laut dimasukkan ke dalam wadah sampel berbentuk botol silinder berukuran 550 cm<sup>3</sup> dengan ketinggian 13 cm, sehingga nilai *t* yang digunakan pada persamaan 4 adalah 13. Hasil penghitungan koefisien atenuasi linier matriks sampel terhadap foton gamma pada energi 662.61 keV disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Koefisien atenuasi linier sampel sedimen laut.

Sampel	Kerapatan, g/cm <sup>3</sup>	Koefisien Atenuasi Linier, cm <sup>-1</sup>
Jepara	1.1044	0.0876 ± 0.0033
Madura	1.1942	0.0956 ± 0.0017
Parepare	1.2700	0.1013 ± 0.0020
Bangka	1.3862	0.1094 ± 0.0033
Balikpapan	1.4796	0.1174 ± 0.0036

Dari Tabel 2 tampak bahwa semakin besar nilai kerapatan sampel, semakin besar pula nilai koefisien atenuasi linier sampel. Korelasi antara besarnya kerapatan sampel dengan koefisien atenuasi linier dapat dilihat pada Gambar 2. Tampak bahwa koefisien atenuasi linier berbanding lurus dengan kerapatan sampel. Dengan menggunakan regresi linier diperoleh korelasi antara kerapatan sampel (*x*) dengan koefisien atenuasi linier (*y*) memenuhi persamaan,

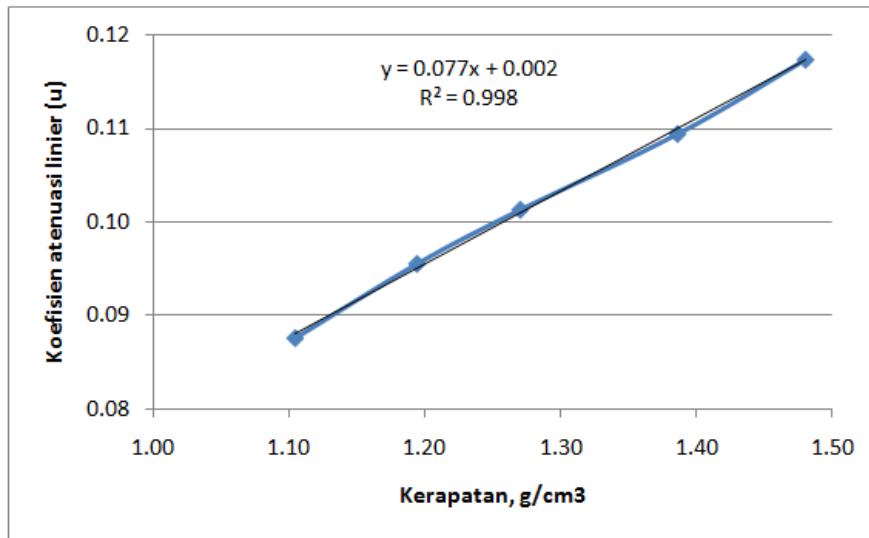
$$y = 0.077x + 0.002 \tag{5}$$

dengan nilai koefisien detriminasi

$$R^2 = 0.998 \tag{6}$$

Nilai koefisien determinasi yang mendekati nilai 1 ini menunjukkan bahwa variabel bebas *x* (kerapatan sampel) sangat besar pengaruhnya terhadap nilai *y* (koefisien atenuasi linier). Fakta ini mengindikasikan bahwa selain ketebalan sampel, kerapatan

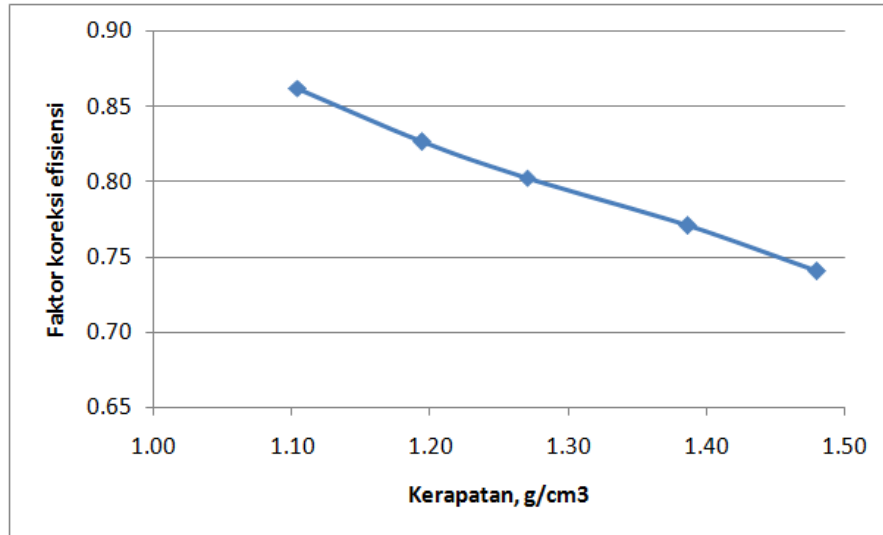
sampel juga memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap serapan sinar gamma oleh matriks sampel, sehingga pada analisis radioaktivitas sampel dengan sistem spektrometri gamma perlu dilakukan koreksi akibat gejala *self attenuation* ini.



**Gambar 2.** Korelasi antara koefisien atenuasi linier ( $\mu$ ) dengan kerapatan sampel

Pengukuran aktivitas sampel dengan sistem spektrometri gamma pada dasarnya merupakan pengukuran relatif terhadap aktivitas sumber standar, sehingga perlu dilakukan kalibrasi efisiensi pada energi yang bersesuaian dengan menggunakan sumber standar yang memiliki matriks dan dimensi yang sama. Adanya gejala *self attenuation* pada matriks sampel akan mempengaruhi besarnya efisiensi pengukuran. Oleh karena itu perlu dilakukan koreksi terhadap besarnya efisiensi pengukuran yang diperoleh dari hasil kalibrasi tersebut. Koefisien atenuasi linier sampel yang telah ditetapkan dengan metoda transmisi dapat digunakan untuk menetapkan faktor koreksi efisiensi.





**Gambar 3.** Faktor koreksi efisiensi pada energi 662.61 keV

Faktor koreksi efisiensi untuk lima sampel sedimen laut ditetapkan dengan menggunakan persamaan 2 dan persamaan 3 (lihat metodologi) dengan memasukkan data koefisien atenuasi linier yang telah diperoleh sebelumnya dengan metoda transmisi menggunakan sumber standar titik Cs-137 (energi 662.61 keV). Sumber standar tanah IAEA *Reference Material 375 Soil* digunakan sebagai standar kalibrasi efisiensi yang akan dikoreksi. Diperoleh faktor koreksi efisiensi untuk pengukuran sampel sedimen laut Jepara, Madura, Parepare, Bangka dan Balikpapan berturut-turut sebesar 0.8621, 0.8266, 0.8026, 0.7705 dan 0.7406.

Gambar 3 menyajikan korelasi faktor koreksi efisiensi terhadap kerapatan sampel dalam bentuk grafik. Tampak bahwa kerapatan sampel berbanding terbalik dengan faktor koreksi efisiensi. Namun, dalam kaitannya dengan faktor koreksi efisiensi, yang menjadi hal utama yang harus diperhatikan bukanlah besar atau kecilnya kerapatan, tetapi besarnya perbedaan kerapatan sampel dengan kerapatan sumber standar. Sumber standar tanah IAEA *Reference Material 375 Soil* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kerapatan sebesar 0.842 gram/cm<sup>3</sup>. Sementara itu kerapatan terkecil dari sampel yang digunakan adalah sebesar 1.1044 gram/cm<sup>3</sup> (lihat Tabel 2), sehingga semakin besar kerapatan sampel, maka semakin besar pula selisihnya dengan kerapatan sumber standar. Jika kerapatan sampel mendekati kerapatan sumber standar, maka faktor koreksi efisiensi akan mendekati nilai 1. Dengan menggunakan metoda regresi linier terhadap kelima data faktor koreksi efisiensi, diperoleh persamaan,

$$C_f = -0.316 \Delta\rho + 0.941 \tag{7}$$

Dimana,

$C_f$  : faktor koreksi efisiensi

$\Delta\rho$  : selisih kerapatan sampel dengan kerapatan sumber standar

## KESIMPULAN

Kerapatan matriks sampel sangat mempengaruhi besarnya koefisien atenuasi linier sampel terhadap foton gamma. Oleh karena itu, pada pengukuran aktivitas sampel dengan sistem spektrometri gamma, koreksi terhadap efisiensi pengukuran harus dilakukan. Faktor koreksi efisiensi dapat ditetapkan dengan metoda transmisi. Semakin kecil perbedaan kerapatan antara sampel dan sumber standar, maka nilai faktor koreksi efisiensi semakin mendekati angka satu.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. McMahan, C. A., et al. 2004. Determination of Self-absorption Correction for Gamma Analysis of Environmental Samples: Comparing Gamma-absorption Curves and Spiked Matrix-matched Samples. *Applied Radiation and Isotopes* 60, 571-577.
- [2]. San Miguel, E. G., et al. 2002.  $^{210}\text{Pb}$  Determination by Gamma Spectrometry in Voluminal Samples (Cylindrical Geometry). *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 493, 111-120.
- [3]. Melquiades, F. L., Appoloni, C. R. 2001. Self-absorption Correction for Gamma Spectrometry of Powdered Milk Samples using Marinelli Beaker. *Applied Radiation and Isotopes* 55, 697-700.
- [4]. Garcia-Talavera, M., Pena, V. 2004. A Hybrid Method to Compute Accurate Efficiencies for Volume Samples in  $\gamma$ -ray Spectrometry. *Applied Radiation and Isotopes* 60, 227-232.
- [5]. Marsia, M. 2010. Peta Sedimen Permukaan Dasar Laut. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.

## STUDI $^{137}\text{Cs}$ DALAM AIR LAUT DISEKITAR PERAIRAN BANGKA SELATAN DAN SUMATERA SELATAN

Heny Suseno

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

### ABSTRAK

**STUDI  $^{137}\text{Cs}$  DALAM AIR LAUT DISEKITAR PERAIRAN BANGKA SELATAN DAN SUMATERA SELATAN.** Perilaku radionuklida buatan masih belum dipahami dengan baik dan masih terdapat kekurangan data yang sistematis mengenai tingkat konsentrasi dan spesiasi fisik dan kimia terutama di sepanjang lingkungan laut Bangka. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari tingkat konsentersasi  $^{137}\text{Cs}$  dalam air laut dimana berdasarkan fakta merupakan salah satu yang radionuklida buatan yang dapat dengan mudah masuk ke biosfer dan hidrosfer di mana pada akhirnya akan masuk ke tubuh manusia melalui lingkungan laut. Penelitian dilakukan dengan melakukan sampling air laut selama pelayaran diwilayah perairan Bangka Selatan ke arah perairan Sumatera Selatan tahun 2013. Metoda yang digunakan berdasarkan sorpsi cesium dari sampel air laut oleh endapan  $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ . Setelah proses sorpsi  $^{137}\text{Cs}$ , sampel dibawa ke laboratorium untuk diukur menggunakan gamma spektrometer. Hasil penelitian diperoleh data dasar konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  di perairan laut Bangka Selatan yang meliputi wilayah pesisir Simpang Rimba sampai dengan perairan Tulung Selapan dan Air Sugihan di Sumatera Selatan berkisar dibawah limit deteksi sampai dengan  $0,5 \text{ mBq.l}^{-1}$ . Kontaminan ini berasal dari *global fall out* dan tidak terindikasi masuknya kontaminan yang berasal dari kecelakaan nuklir di Fukushima.

**Kata kunci:**  $^{137}\text{Cs}$ , air laut, data dasar, Bangka Selatan, Fukushima

### ABSTRACT

**STUDY OF  $^{137}\text{Cs}$  CONCENTRATION ON SEAWATER AT SOUTH BANGKA AND SOUTH SUMATRA WATER AREA.** The behaviour of man-made radionuclide is still not well understood and there is lack of systematic data regarding the concentration levels and its physical and chemical speciation especially along the Bangka marine environment. This research was undertaken to study the level of  $^{137}\text{Cs}$  in seawater in view of the fact that it was one of the most important man-made radionuclide that can easily enter the biosphere and hydrosphere where finally will enter the human body through the marine environment.  $^{137}\text{Cs}$  concentrations in the marine water column have been investigated in selected sampling stations during one cruise from South Bangka coastal to South Sumatra coastal in winter 2013. The method used is based on sorption of caesium on precipitation of  $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ . After  $^{137}\text{Cs}$  sorption on the precipitation, they are transferred back to the laboratory for physical treatment. The final product is measured by gamma – spectrometry. This result of investigation was shown that baseline data of  $^{137}\text{Cs}$  on seawater from South Bangka coastal covered the areas of Simpang Rimba South Bangka to Tulung Selapan and Air Sugihan was under detection limit to  $0.5 \text{ mBq.l}^{-1}$ . This contaminant came from global fallout and no indications impact from Fukushima accident.

**Keywords:**  $^{137}\text{Cs}$ , seawater, baseline data, South Bangka, Fukushima

### PENDAHULUAN

Bangka Selatan merupakan salah satu calon tapak Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Indonesia yang diperkirakan mempunyai kapasitas maksimum maksimum 6.000 MW[1]. Kualitas *background* lingkungan yang merepresentasikan seluruh ekosistem yang ada harus dipetakan sebagai suatu *baseline data* untuk mengantisipasi kemungkinan perubahan selama pembangunan PLTN[2]. Program pemantauan lingkungan untuk air permukaan (termasuk di lingkungan laut) harus dilakukan sebelum dimulainya pembangunan PLTN[2]. Lingkungan laut merupakan sumber daya alam yang penting tidak hanya

dipandang dalam kerangka keanekaragaman hayati tetapi juga membantu berbagai aktivitas seperti turisme, rekreasi dan penangkapan ikan. Kualitas lingkungan laut tidak hanya sebagai konsekuensi ekologis tetapi juga dampak sosial ekonomi yang berkontribusi terhadap kualitas hidup manusia[2].

*Baseline* data konsentrasi radionuklida di lingkungan laut sebelum PLTN dibangun sehingga dapat diperkirakan dampaknya setelah PLTN beroperasi. Beberapa radionuklida yang berasal dari aktivitas nuklir dan dijadikan *baseline* anatar lain:  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239/240}\text{Pu}$ , total- $\alpha$  and total- $\beta$ [3]. Radionuklida  $^{134}\text{Cs}$  dan  $^{137}\text{Cs}$  ( $t_{1/2}$  30,17 tahun), merupakan produk hasil fisi yang sangat larut dalam air sehingga mudah terdispersi dalam lingkungan laut. Inputan radionuklida ini kedalam lingkungan laut berasal dari percobaan senjata nuklir dimasa lampau dan kecelakaan nuklir seperti Chernobil dan Fukushima. Walaupun sifatnya yang mudah larut dalam air, tetapi dengan mudah terperangkap dengan material partikulat kemudian tenggelam ke dasar laut menjadi sedimen[4-5].

*Baseline* konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  di perairan Bangka masih sangat terbatas. Konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  di dalam sedimen perairan Bangka dilaporkan 0,24 – 1,5  $\text{mBq.Kg}^{-1}$ [6]. Disisi lain profil konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  dalam air laut yang berasal dari beberapa pesisir wilayah Indonesia berkisar antara dibawah limit deteksi sampai dengan 0,23  $\text{mBq.l}^{-1}$ [7]. Dilaporkan pula konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  dalam air laut di Pantai Utara Pulau Jawa berkisar antara dibawah limit deteksi sampai dengan 5,83  $\text{mBq.l}^{-1}$ [8]. Diperlukan lebih banyak informasi terkait konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  di perairan laut Bangka terkait dengan rencana pembangunan PLTN tersebut dan untuk keperluan kajian lainnya. Hal ini karena berbagai radionuklida antropogenik telah terlepas ke lingkungan dari belahan dunia lainnya baik yang berasal dari global fall out, kecelakaan nuklir di Chernobil, kecelakaan kapal selam nuklir, jatuhnya satelit ke lautan, kecelakaan Fukushima dan hilangnya sejumlah material radioaktif. Seperti halnya polutan, zat radioaktif tidak mengenal batas wilayah suatu negara dan memungkinkan memasuki perairan laut Indonesia melalui arus laut global. Berdasarkan hal tersebut, Informasi yang berasal dari studi radioaktivitas kelautan dibutuhkan untuk membangun *baseline data* zat radioaktif yang telah dilepas ke lingkungan. Pada makalah ini dibahas status konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  di perairan laut Bangka Selatan.

## TATA KERJA

### Bahan

Kontainer PVC kapasitas 150 liter, potasium heksasianoferrat(II) trihidrat ( $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) dan tembaga (II) nitrat ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ ). Ketas saring, batang pengaduk dan matriks larutan dari uji profisiensi

### Peralatan

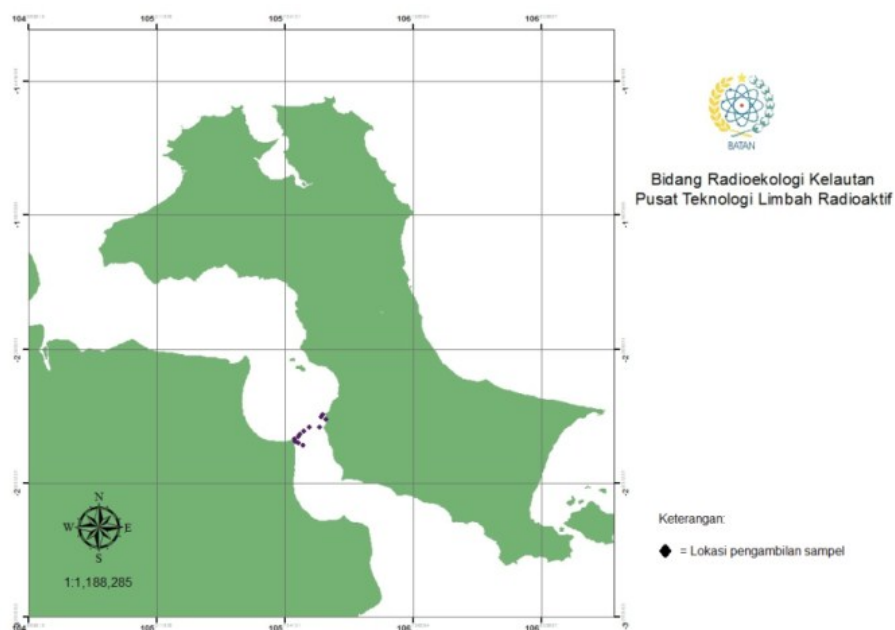
Gamma spektrometer *high-purity germanium (HPGe) detector* yang telah terkalibrasi menggunakan standar gamma cairan yang mengandung sejumlah radionuklida yang telah diketahui konsentrasinya. *Peak resolution* gamma spektrometer yang digunakan adalah 1.5 keV (at FWHM) pada energi 661.62 keV dari  $^{137}\text{Cs}$ . Peralatan GPS digunakan untuk mengetahui koordinat lokasi pengambilan sampel.

### Sampling dan Preparasi di Lapangan

Pengambilan sample dilakukan di sepanjang perairan yang menghubungkan Bangka Selatan dan Sumatera Selatan. Lokasi pengambilan sampel ditunjukkan pada Gambar 1. Sebanyak 50 – 100 liter air laut diambil dari lokasi yang telah ditentukan, ditempatkan dalam kontainer PVC kapasitas 100 – 150 liter. Ditambahkan kedalam sampel air laut tersebut 10 g  $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  dan 10 g  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5 \text{H}_2\text{O}$  sampai terbentuk endapan berwarna coklat dan diaduk selama 2 jam. Proses selanjutnya adalah dekantasi selama 3 jam diikuti dengan penyaringan. Konsentrat  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  dalam saringan yang telah mengandung  $^{137}\text{Cs}$  selanjutnya dibawa ke laboratorium Radioekologi Kelautan untuk dikeringkan.

### Analisis $^{137}\text{Cs}$ dalam air laut

Konsentrat yang telah dikeringkan dimasukan dalam tabung marinery dan dicacah secara langsung menggunakan gamma spektrometer selama lebih dari 259200 detik.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam kegiatan pemantauan lingkungan, kualitas data hasil analisis sangat dibutuhkan. Untuk memperoleh data yang dapat dipertanggungjawabkan, salah satu upaya yang dilakukan adalah mengikuti uji banding laboratorium/ *proficiency test* berskala internasional. Laboratorium Bidang Radioekologi Kelautan telah mengikuti *proficiency test* dari tahun 2011 sampai 2013. Hasil *proficiency test* <sup>137</sup>Cs ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil *proficiency test* tahun 2011-2013

No	Profisiensi Test	Jenis sampel	Radio nuklida	Hasil Uji (Bq.kg <sup>-1</sup> )	Nilai sesungguhnya (Bq.kg <sup>-1</sup> )	Keterangan
1	<i>RCA RAS/07/021 Proficiency Test Exercise, 2013</i>	Air	<sup>137</sup> Cs	0,38 ± 0,07	0,430 ± 0,005	<i>Accepted</i>
2	<i>RCA RAS/07/021 Proficiency Test Exercise, 2013</i>	Air	<sup>134</sup> Cs	0,32 ± 0,04	0,3391 ± 0,0027	<i>Accepted</i>
3	<i>IAEA-TEL-2011-03 World-wide open proficiency test</i>	Tanah	<sup>137</sup> Cs	15,75 ± 1,79	14,4 ± 0,6	<i>Accepted</i>
4	<i>IAEA-TEL-2011-03 World-wide open proficiency test</i>	Air	<sup>137</sup> Cs	5,97 ± 0,74	6,2 ± 0,1	<i>Accepted</i>
5	<i>IAEA-TEL-2011-03 World-wide open proficiency test</i>	Air	<sup>134</sup> Cs	7,60 ± 0,86	7,7 ± 0,1	<i>Accepted</i>
6	<i>IAEA-TEL-2011-03 World-wide open proficiency test</i>	Air	<sup>137</sup> Cs	2,83 ± 4,3	3,1 ± 0,1	<i>Accepted</i>
7	<i>IAEA-TEL-2011-03 World-wide open proficiency test</i>	Air	<sup>134</sup> Cs	3,64 ± 0,46	3,8 ± 0,1	<i>Accepted</i>

8	IAEA-TEL-2011-03 World-wide open proficiency test	Air	$^{137}\text{Cs}$	$3,99 \pm 0,54$	$4,4 \pm 0,1$	Accepted
9	IAEA-TEL-2011-03 World-wide open proficiency test	Air	$^{134}\text{Cs}$	$5,50 \pm 0,65$	$5,4 \pm 0,1$	Accepted

Mengacu pada Tabel 1, kemampuan analisis  $^{137}\text{Cs}$  dalam air laut dapat dipertanggungjawabkan akurasi dan presisinya. Terkait dengan analisis  $^{137}\text{Cs}$  untuk keperluan analisis pada penelitian ini diperlukan proses preparasi untuk mencapai konsentrasi diatas limit deteksi gamma spektrometer yang digunakan. Konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  dalam air laut sangat rendah atau berkisar  $2,9 - 6,6 \times 10^{-9}$  molar sehingga penetapannya sulit dilakukan. Dibutuhkan volume besar (100 sampai dengan 300 litres) untuk mengkonsentrasikan  $^{137}\text{Cs}$  sebelum di analisis[9]. Penggunaan ammonium molybdophosphate (AMP) untuk mengkonsentrasikan  $^{137}\text{Cs}$  dalam air laut sangat mahal dan agak sulit dilakukan di lapangan (*insitu*). Sebagai pengganti AMP berbagai senyawa logam transisi ferisianida lebih sering digunakan. Tembaga (II) hexasyanoferrates (II) umumnya digunakan karena mempunyai stabilitas mekanik yang tinggi dimana  $^{137}\text{Cs}$  mampu diikat kuat selama proses presipitasi[10].

Hasil analisis  $^{137}\text{Cs}$  dalam air laut di wilayah perairan dari Bangka Selatan (calon lokasi PLTN) dengan perairan Sumatra Selatan ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  dalam air laut di wilayah perairan Bangka Selatan – Sumatera Selatan

Lokasi	Konsentrasi $^{137}\text{Cs}$ (mBq.l <sup>-1</sup> )
105° 53.66' BT 02° 36.81' LS	$0,27 \pm 0,04$
105° 53.10' BT 02° 35.68' LS	$0,18 \pm 0,02$
105° 52.69' BT 02° 36.24' LS	$0,17 \pm 0,03$
105° 52.32' BT 02° 38.33' LS	$0,25 \pm 0,03$
105° 50.24' BT 02° 38.4' LS	$0,19 \pm 0,02$
105° 49.20' BT 02° 39.14' LS	$0,10 \pm 0,02$
105° 48.35' BT 02° 39.9' LS	$0,50 \pm 0,14$
105° 47.94' BT 02° 40.37' LS	$0,52 \pm 0,14$
105° 47.17' BT 02° 40.8' LS	$0,27 \pm 0,05$
105° 47.27' BT 02° 41.29' LS	Dibawah limit deteksi
105° 48.06' BT 02° 41.64' LS	$0,24 \pm 0,03$
105° 49.04' BT 02° 42.18' LS	$0,22 \pm 0,02$

Mengacu pada Tabel 2, konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  berkisar dibawah limit deteksi sampai dengan 0,5 mBq.l<sup>-1</sup>. Konsentrasi radionuklida ini meliputi wilayah perairan Simpang Rimba Bangka Selatan sampai dengan wilayah Tulung Selapan dan Air Sugihan- Sumatera Selatan. Data ini akan dijadikan pembandingan untuk keperluan monitoring operasional normal PLTN yang rekomendasikan oleh IAEA[11]. Disisi lain wilayah tersebut diatas berada pada radius < 30 km dari lokasi calon PLTN yang termasuk *Precautionary action zone (PAZ)* dan *Urgent protective action planning zone (UPZ)* jika terjadi kecelakaan nuklir[12]. Untuk keperluan monitoring lingkungan laut jika terjadi kecelakaan nuklir, maka data konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  di perairan ini dapat dijadikan acuan untuk mengantisipasi dampak yang ditimbulkan.

Pengumpulan data dasar tidak lepas dari isu pembangunan PLTN baru di negara-negara *South China Sea basin (SCS)* yang meliputi: Malaysia, Singapura, Thailand, Indonesia, Brunei, Vietnam, Kamboja dan Filipina memberikan perhatian kemungkinan lepasnya zat radioaktif yang berasal dari operasional PLTN ke perairan laut dan akibat dari *monsoon* akan tersebar di negara-negara lain di wilayah SCS ini[13]. isisi lain IAEA mencatat terdapat lebih dari 20 PLTN beroperasi di Kawasan Asia Pasifik yang kemungkinan berpotensi melepaskan zat radioaktif secara langsung dan tidak langsung. Dibutuhkan kapasitas nasional dan program yang berkelanjutan untuk melakukan pemantauan dan pengkajian zat radioaktif di lingkungan laut yang bertujuan untuk memastikan tidak terdapat dampak yang signifikan[14]. Sebagai pembandingan data

dasar di perairan Bangka Selatan, data konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  di kawasan negara-negara SCS ditunjukkan pada Tabel 3.

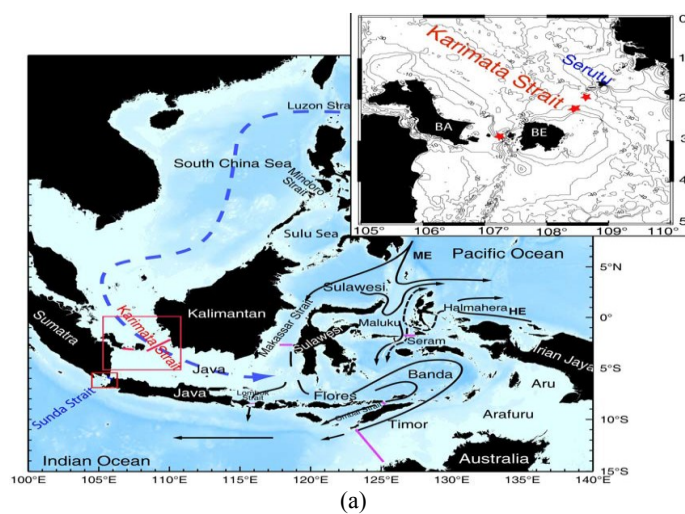
**Tabel 3.** Data dasar  $^{137}\text{Cs}$  dalam air laut di kawasan SCS

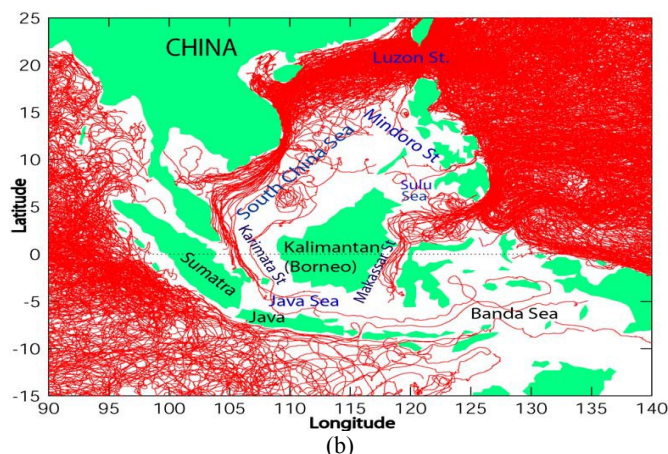
Wilayah	Konsentrasi $^{137}\text{Cs}$ Bq.l <sup>-1</sup>	Acuan
Vietnam	0.67-3.60	[15]
Kawasan Asia Pasifik (ASPAMARD)	0.25-4.22	[16]
Selat Malaka	3.63-5.87	[17]

Mengacu pada Tabel 3, data dasar  $^{137}\text{Cs}$  di wilayah Bangka Selatan cukup dapat dibandingkan setelah diperhitungkan peluruhan  $^{137}\text{Cs}$  di wilayah SCS.

Penentuan produk fisi seperti  $^{137}\text{Cs}$  dalam air laut tidak hanya bertujuan untuk baseline data maupun memperoleh informasi status kontaminasi di dalam lingkungan laut tetapi juga untuk memperoleh informasi sirkulasi zat radioaktif di atmosfer yang akhirnya terdeposisi di laut. Hal ini karena sebanyak 380 dan 40 kali percobaan senjata nuklir telah dilakukan di belahan bumi bagian utara dan selatan. Kecelakaan nuklir di Chernobil pada tanggal 12 April 1986 juga merupakan peningkatan secara signifikan sumber  *fallout* ke lingkungan. Total 85 PBq  $^{137}\text{Cs}$  telah terlepas ke atmosfer dari kecelakaan ini [10]. Disisi lain informasi perilaku dari radionuklida ini di berbagai wilayah sangat sedikit diketahui terutama yang berhubungan dengan konsentrasinya dan spesiasi kimia [3]. Masukan radionuklida kedalam lingkungan laut juga berasal dari kecelakaan nuklir di Fukushima dimana menyusul gempa berkekuatan 9,0 dan akibat dari tsunami pada 11 Maret 2011 [18]. Sistem pendingin beberapa reaktor nuklir mengalami kegagalan, menyebabkan ledakan gas hidrogen di bangunan reaktor dan ventilasi gas menyebabkan lepasnya radionuklida ke atmosfer. Total lepasan dari Fukushima ke atmosfer diperkirakan 9,9–36.6 PBq. Lebih dari 70% lepasan radionuklida terdeposit kelautan pasifik utara. Disisi lain air terkontaminasi oleh sejumlah radionuklida yang berasal dari penyemprotan air laut ke inti reaktor untuk mencegah pelelehan juga terlepas kedalam laut [19]. Paska kecelakaan nuklir air terkontaminasi masuk ke perairan laut sekitarnya dan kekuatan dari arus Kuroshio, sehingga menyebar melalui seluruh Samudera Pasifik. Hal ini dibuktikan dengan Diperkirakan total  $^{137}\text{Cs}$  yang memasuki perairan 13–35.8 PBq,  $^{134}\text{Cs}$  dan  $^{131}\text{I}$  [18].

Data dasar perairan Bangka Selatan dapat dijadikan acuan kemungkinan masuknya kontaminan (yang direpresentasikan oleh  $^{137}\text{Cs}$ ) ke dalam perairan laut Indonesia. Hal ini karena perairan laut Bangka merupakan cabang dari  *Indonesian Throughflow* (ITF) dimana arus laut dari Samudera Pasifik masuk ke Samudera Indonesia. Selama ini ITF lebih banyak diketahui merupakan aliran dari Samudra Pasifik ke Samudera Indonesia melewati Selat Makasar. Menurut Global Drifter Programi dari Agustus 1988 sampai dengan Juni 2007 terindikasi Selat Karimata merupakan saluran penting lainnya untuk ITF dari laut cina selatan ke perairan laut Indonesia. Menurut fakta jumlah drifter yang melalui Selat Karimata lebih tinggi [20]. Aliran ITF ditunjukkan pada Gambar 2.





**Gambar 2.** (a) Cabang aliran ITF melalui selat Karimata. (b) Aliran ITF di selat Karimata berdasarkan Global Drifter Program Agustus 1988- Juni 2007[20].

Berdasarkan Gambar 2 terlihat jumlah *drifter* yang melalui Selat Karimata lebih banyak dibandingkan dengan yang melalui Selat Makasar[20]. Mengacu pada aliran laut di Jepang dimana karakteristik arus Kuroshio Current membawa massa air sepanjang pesisir Jepang bagian timur ke lautan terbuka. Cabang dari Kuroshio juga membawa massa air ke lautan Pasifik[21]. Arus samudra Pasifik pada akhirnya masuk ke perairan Bangka melalui ITF. Namun demikian hasil analisis  $^{137}\text{Cs}$  tidak menunjukkan peningkatan dibandingkan dengan sebelum kecelakaan nuklir Fukushima. Disisi lain hasil penelitian ini juga tidak terdeteksi  $^{134}\text{Cs}$  yang juga merupakan karakter dari lepasan di Fukushima. Disisi lain terdapat argumen dimana massa air laut dari Jepang belum sampai diperairan laut Indonesia. Argumen ini menyatakan bahwa waktu transit antara samudra pasifik arah utara-barat dan wilayah katulistiwa diestimasi sekitar 10 -15 tahun[22]. Sebagian dari massa air Samudera Pasifik bagian utara mengalir ke Samudera Hindia melalui wilayah laut Indonesia menuju belahan selatan Samudera Atalantik dimana waktu perpindahannya diestimasi 30 – 40 tahun[22].

#### KESIMPULAN

Data dasar konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  di perairan laut Bangka Selatan yang meliputi wilayah pesisir Simpang Rimba sampai dengan perairan Tulung Selapan dan Air Sugihan di Sumatera Selatan berkisar dibawah limit deteksi sampai dengan  $0,5 \text{ mBq.l}^{-1}$ . Kontaminan ini berasal dari *global fall out* dan tidak terindikasi masuknya kontaminan yang berasal dari kecelakaan nuklir di Fukushima.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. BATAN , Laporan Akuntabilitas Kinerja Instansi Pemerintah (LAKIP) BATAN 2012, BATAN, Jakarta 2012
- [2]. International Atomic Energy Agency. Managing siting activities for nuclear power plants, IAEA Nuclear Energy Series, No. NG-T-3.7., IAEA, Vienna, 2012
- [3]. OSPAR, Peer Review of the RPII's Environmental Monitoring Programme 2009. Foundation Document, OSPAR 2010
- [4]. Kim, Y., Cho, S., Kang, H-D., Kim, W., Lee, H-R., Doh, S-H., Kim, K., Yun, G-Y., Kim, D-S., Jeong, G.Y. Radiocesium reaction with illite and organic matter in marine sediment Marine Pollution Bulletin 52 : 659–665, 2006
- [5]. Nielsen , S.P., Hou X. MARINA II. Update of the MARINA Project on the radiological exposure of the European Community from radioactivity in North European marine waters, Risø National Laboratory, Denmark, 2005
- [6]. Suseno,H. Profil Konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  Dalam Sedimen Pesisir Pulau Bangka. Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah 15(2): 83-88
- [7]. Suseno, H .Profil Konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  Di Perairan Pesisir Indonesia Yang Ditetapkan Menggunakan Metoda Pemekatan Sampel Melalui *Catride Filter* Berlapis Tembaga Ferrosianat. Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah 15(1): 1-6, 2012
- [8]. Tayib, M.H., Nareh, M., Sutarman, Chaerudin. Kandungan Radionuklida Dalam Ekosistem Laut Di Indonesia: Data Dasar  $^{90}\text{Sr}$  dan  $^{137}\text{Cs}$  di Beberapa Perairan Pantai Utara Pulau Jawa. Proceeding Seminar Pemantauan Pencemaran Laut, Jakarta 7 – 9 Februari 1994
- [9]. Su, C-C., Huh, C-A., Chen, J-C (2000) Rapid Method for the Determination of  $^{137}\text{Cs}$  in Seawater. *TOC*, 11. 4: 753-746



- 
- [10]. Wo, Y.M., Ahmad, Z. Determination of  $^{137}\text{Cs}$  In Seawater Surrounding Peninsular Malaysia : A Case Study Journal Of Nuclear And Related Technologies, 1(2):19-28, 2004
- [11]. International Atomic Energy Agency. Safety Standard Series No RS-G-1.8, Environmental and source monitoring for purposes of radiation protection : safety guide, IAEA,Vienna, 2005
- [12]. International Atomic Energy Agency, Arrangements for preparedness for a nuclear or radiological emergency, safety guide No. GS-G-2.1. IAEA, Vienna , 2005
- [13]. Mohamed, C.A.R Nuclear Energy Production in the South China Sea basin as an International Issue Journal of Tropical Marine Ecosystem 1(2011):43-48
- [14]. International Atomic Energy Agency, Developing national capabilities to monitor and assess marine radioactivity in the Asia and the Pacific region. Technical cooperation (TC). September 2013
- [15]. Nguyen, T. N. and Nguyen, T. B. (2003), Project Formulation Meeting on Enhancing the Marine Coastal Environment. In *Progress Report*. 3-7 March 2003, Kuala Lumpur
- [16]. Garcia, T.Y., Duran, E.B., Enriquez, E.B., deVera, C.M., Nato, Jr., A.Q., Coloma, C.B., Yulo-Nazarea, T. and Cobar, M.L.C. Project Formulation Meeting on Enhancing the Marine Coastal Environment. In *Progress Report*. 3-7 March , 2003, Kuala Lumpur.
- [17]. Zaharudin, A., Yii, M.W., Kamarozaman, I., and A.K.Wood., Distribution of Cs-137 in The Straits of Malacca. Analytical Chemistry: Application and Current Issues. Lee Ming Press, Kuching. 131-137, 2003
- [18]. Zheng, J., Aono, T., Uchida, S., Zang, J., Honda, M.C. Distribution of Pu isotopes in marine sediments in the Pacific 30 km off Fukushima after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Geochemical Journal*, 46: 361 - 369, 2012
- [19]. Bu, W.T., Zheng, J., Aono,T., Tagami, S., Uchida,S., Zhang, J., Honda, M. C., Guo, Q.J and Yamada,M. Vertical distributions of plutonium isotopes in marine sediment cores off the Fukushima coast after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident *Biogeosciences*, 10, 2497–2511, 2013
- [20]. Susanto,R.D., Fang,F., and Supangat, A. Upper Layer Variability of Indonesian Throughflow. *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society*. Venice, Italy, 21-25 September 2009
- [21]. Maderich,V., Bezhenar,R., Heling,R., de With,G., Jung , K.T., Myoung , J.G., Cho, Y.K., Qiao, F., Robertson,L. Regional long-term model of radioactivity dispersion and fate in the Northwestern Pacific and adjacent seas: application to the Fukushima Dai-ichi accident, *Journal of Environmental Radioactivity* , [dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.09.009](https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.09.009), 2013
- [22]. Institut De Radioprotection Et Du Surete Nucleaire. Impact on marine environment of radioactive releases resulting from the Fukushima-Daiichi nuclear accident 4th April, IRSN , 2011



## OPTIMASI METODA UNTUK PENENTUAN PLUTONIUM DARI SAMPEL LINGKUNGAN

Murdahayu Makmur, Wahyu Retno Prihatiningsih  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

Rendahnya aktivitas plutonium di kompartemen lingkungan seperti air laut, membutuhkan metoda yang handal untuk prekonsentrasi, purifikasi dan elektrodeposisi pada plat *stainless steel* sebelum dicacah menggunakan spektrometer alfa. Berbagai metoda telah dikembangkan untuk setiap tahap preparasi sampel, tetapi diperlukan penetapan kondisi optimal tergantung kondisi lingkungan dan peralatan serta bahan kimia yang ada. Penelitian ini dimaksudkan untuk mencari kondisi optimum prekonsentrasi plutonium dari air laut yang berjumlah besar, laju alir purifikasi dan elektrodeposisi plutonium. Modifikasi metoda pada tahap prekonsentrasi sampel menemukan bahwa semakin tinggi konsentrasi  $MnSO_4$ , maka kecepatan pengendapan dan volume endapan semakin besar. Sedangkan kecepatan alir yang optimal untuk purifikasi plutonium adalah kecepatan air 1 ml/menit. Kecepatan arus yang digunakan pada proses elektrodeposisi akan mencapai hasil maksimal pada 0,8 A. Nilai-nilai yang diperoleh ini merupakan kondisi paling optimal yang berkaitan dengan kondisi lingkungan dan peralatan yang tersedia.

Kata Kunci: Plutonium, air laut, pengembangan metoda preparasi

### ABSTRACT

*The presence the plutonium in the sea water is very low, needed the reliable method to pre-concentration, purification and electro deposition in the stainless steel plat before count with alpha spectrometer. Many methods were developed to every step chemical preparation, and this study is needed to find the optimal condition base on the environment, chemical reagent and devices. This aim study is to find the optimal condition for sample pre concentration, purification and electro deposition. Modification method for pre-concentration step shown that higher concentration of  $MnSO_4$  solution will accelerate the precipitation rate and volume the precipitate more high. Flow rate optimal for purification plutonium in the ion exchange column is 1 ml/minute. The current rate of electro deposition process got the optimal recovery at 0,8A. This Method development is a optimal condition base on environmental condition and the device availability.*

*Keywords: Plutonium, seawater, preparation method development*

### PENDAHULUAN

Rendahnya aktivitas plutonium di kompartemen lingkungan seperti air laut, membutuhkan metoda yang handal untuk prekonsentrasi, purifikasi dan elektrodeposisi pada plat *stainless steel* sebelum dicacah menggunakan spektrometer alfa. Penelitian yang dilakukan di perairan laut Malaysia menemukan konsentrasi  $^{239,240}Pu$  pada air permukaannya berkisar dari 2,33-7,95  $mBq/m^3$  (Ahmad et al., 2010). Sedangkan di perairan laut Asia Pasifik, konsentrasi  $^{239,240}Pu$  berkisar dari 0,8–84,3  $mBq/m^3$  pada air permukaan dan 2,2–71,5  $mBq/m^3$  pada kedalaman 51-1000 m. Sedangkan pada laut yang lebih dalam

(kedalaman lebih dari 1000 m) konsentrasi  $^{239,240}\text{Pu}$  sekitar 0,8–60 mBq/ml (Duran et al., 2004).

Melihat kecilnya konsentrasi plutonium pada air laut, maka perlu metoda yang handal untuk dapat memekatkan sampel sampai diatas limit deteksi alat. Berbagai metoda telah dikembangkan untuk setiap tahap preparasi sampel, tetapi diperlukan penetapan kondisi optimal tergantung kondisi lapangan yang ada.

Penelitian dilakukan oleh Ahmad et al. (2010) dalam penentuan konsentrasi  $^{139,240}\text{Pu}$  air laut permukaan di pesisir timur Tanjung Malaysia. Lebih kurang 200 l sampel air laut diprekonsentrasi menggunakan  $\text{KMnO}_4$  jenuh dan larutan  $\text{MnCl}_2$  pada pH 7-8. Untuk purifikasi  $^{239+240}\text{Pu}$  digunakan kolom penukar kation dengan menggunakan resin Bio-rad, Ag 1-X8, 100-200 mesh,  $\text{Cl}^-$  form. Plutonium dielusi menggunakan  $\text{NH}_4\text{I-HCl}$ . Elektrodeposisi menggunakan kecepatan arus 1A selama 1 jam sebelum diukur dengan menggunakan spektrometri alfa selama 3 hari (Ahmad et al., 2010).

Penelitian lain yang dilakukan oleh Levy et al. (2011), dimana prekonsentrasi  $^{239,240}\text{Pu}$  dilakukan dari 80 l air laut menggunakan  $\text{KMnO}_4$  jenuh dan  $\text{MnCl}_2$  pada pH 8-9. Purifikasi dilakukan menggunakan kolom penukar ion dengan resin Bio-rad, Ag 1-X8, 100-200 mesh,  $\text{Cl}^-$  form dengan elutan  $\text{NH}_4\text{I-HCl}$  untuk mengelusi plutonium. Elutan plutonium kemudian dikopresipitasi menggunakan neodiamin dan dipurifikasi kembali menggunakan resin Eicrom-TEVA sebelum diukur menggunakan ICP-MS (Levy et al., 2011).

Dalam manual prosedur standar untuk analisis sampel laut (Nakano, 2010), prekonsentrasi plutonium dilakukan dari 100 l air laut yang diendapkan menggunakan  $\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  pada pH 8. Purifikasi menggunakan kolom penukar ion, resin dowex 1-X8 100-200 mesh,  $\text{Cl}^-$  form. Elektrodeposisi menggunakan arus listrik 1A selama 1 jam, dan pencacahan dengan spektrometri alfa selama 80.000 detik (Nakano, 2010).

Berbagai metoda tersebut telah dilakukan untuk menentukan konsentrasi  $^{239,240}\text{Pu}$  dari air laut, dengan prosedur dan bahan kimia yang digunakan hampir sama. Namun perlu dilakukan pemilihan metoda yang dilakukan atas dasar kondisi lingkungan dan peralatan serta bahan kimia yang ada. Penelitian ini dimaksudkan untuk mencari kondisi optimum prekonsentrasi plutonium dari air laut berjumlah besar, laju alir purifikasi dan elektrodeposisi plutonium.

## METODOLOGI

### Spesifikasi alat dan bahan

Tracer  $^{242}\text{Pu}$ , dibeli dari Eckert & Ziegler dengan nomor sumber 1577-33-3. Aktivitas spesifik awal 2nCi/ml, diencerkan menjadi  $7,4 \times 10^{-3}$  Bg/ml dan digunakan sebagai perunut. Untuk purifikasi digunakan resin Dowex 1-x8, 100-200 mesh,  $\text{Cl}^-$  form. Peralatan spektrometer alfa yang digunakan adalah *Alpha Analyst* model 7200-02 keluaran Canberra yang dilengkapi *software Apex-Alpha<sup>TM</sup>*. Mempunyai 4 buah detector semikonduktor PIPS (*Passivated Implanted Planar Silicon*) untuk pengukuran 4 sampel secara bersamaan

### **Prosedur Prekonsentrasi**

Air laut sebanyak 1 l digunakan untuk mengetahui pengaruh penambahan  $\text{MnSO}_4$  terhadap kecepatan pengendapan. Ke dalam sampel dimasukkan  $\text{KMnO}_4$  jenuh masing-masing sebanyak 0,5 mL dan kemudian diaduk selama 5 menit. Kemudian ditambahkan masing-masing 1 mL larutan  $\text{MnSO}_4$  0,5 M. Untuk variasi konsentrasi  $\text{MnSO}_4$  diatur sebagai berikut: 0,25 M ; 0,5 M ; 1,00 M dan 2,00 M. pH larutan di set 8–9 untuk pembentukan endapannya (Levy et al., 2011). Kecepatan pengendapan dihitung berdasarkan waktu yang terpakai. Endapan yang terbentuk juga diukur volumenya untuk menentukan jumlah pengendapan.

Endapan yang terbentuk dikumpulkan dan pH larutan di set 1 dengan penambahan HCl. Penambahan sedikit larutan  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$  dan pemanasan dimaksudkan untuk melarutkan endapan. Penambahan  $\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{NaNO}_2$  dilakukan untuk menyamakan valensi plutonium. Pengaturan pH menjadi 8-9 dilakukan dengan penambahan  $\text{NH}_4\text{OH}$  dan HCl untuk mengendapkan plutonium (Levy et al., 2011).

Endapan dipisahkan dari larutannya dan ditambahkan HCl untuk melarutkan endapannya. Plutonium dalam fasa HCl kemudian dikonversi ke dalam fasa nitrat dengan penambahan  $\text{HNO}_3$  1 M. Larutan kemudian dipanaskan dan disaring menggunakan kertas Whatman no.42 dan sampel siap untuk dipurifikasi (Levy et al., 2011)

### **Prosedur Purifikasi**

Kolom penukar ion disiapkan dengan menempatkan 10 ml resin yang telah diaktiviasi larutan HCl dan NaOH. Sampel dialirkan ke dalam kolom dengan variasi kecepatan alir 1 ml per menit. Untuk variasi kecepatan alir, digunakan variasi sebagai berikut: 0,5 ml/menit ; 1,00 ml/menit ; 1,5 ml/menit dan 2,00 ml/menit. Ke dalam kolom dialirkan  $\text{HNO}_3$  7 M dan diikuti oleh HCl 9,7 M dimana eluennya dibuang. Kemudian ditambahkan elutan HI-HCl ke dalam kolom dan eluennya ditampung. Eluennya kemudian dipanaskan hingga mendekati kering, ditambahkan  $\text{HNO}_3$  pekat dan  $\text{HClO}_4$  dan dipanaskan kembali hingga mendekati kering (Nakano, 2010).

### **Prosedur Elektrodosisi**

Sampel kemudian ditambahkan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan dititrasi asam basa untuk mendapatkan pH 2. Larutan kemudian di elektrodosisi menggunakan anoda kawat platina, katodanya adalah plat *stainless steel*. Kecepatan arus yang digunakan adalah 1 A selama 2 jam (Nakano, 2010). Variasi kecepatan arus yang digunakan adalah 0,5 A ; 0,7 A ; 0,8 A ; 0,9 A dan 1 A.

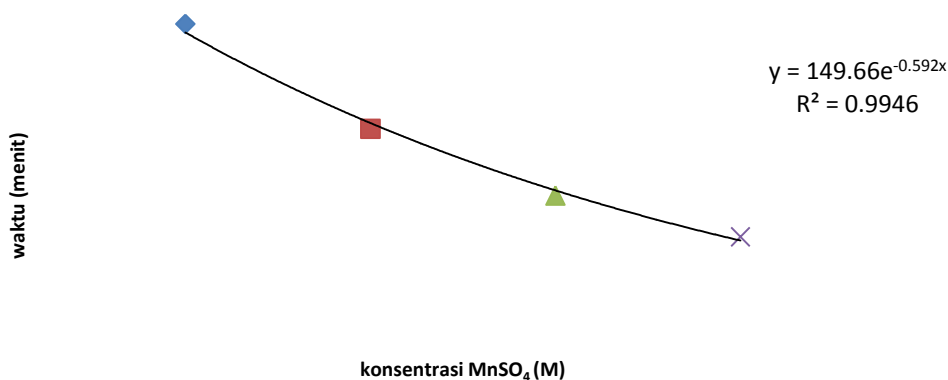
### **Pengukuran menggunakan spektrometer alfa**

Sampel yang telah dielektrodosisi pada plat *stainless steel*, dicacah menggunakan spektrometer alfa selama 48 jam.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Modifikasi Prosedur Prekonsentrasi

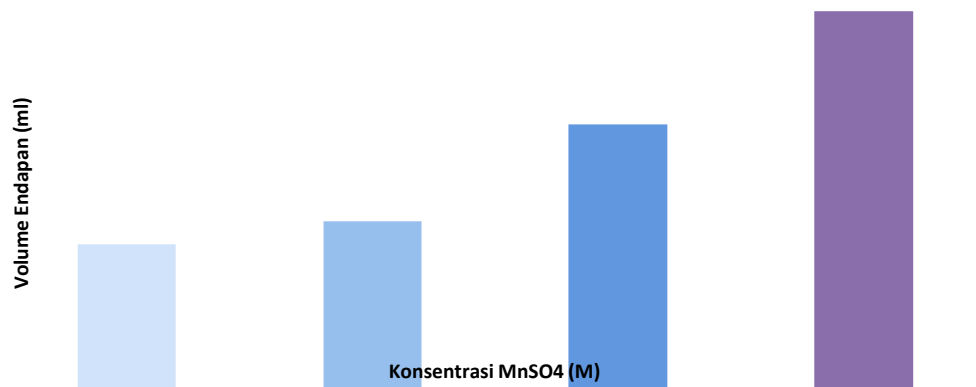
Untuk menentukan kondisi optimum untuk prekonsentrasi plutonium dari sejumlah besar air laut, maka variasi penambahan  $\text{MnSO}_4$  dilakukan pada penelitian ini. Hasil pengamatan terhadap kecepatan pelarutan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Hubungan konsentrasi  $\text{MnSO}_4$  terhadap waktu pengendapan

Ditemukan bahwa semakin tinggi konsentrasi  $\text{MnSO}_4$  yang ditambahkan, maka semakin sedikit waktu yang dibutuhkan untuk mengendapkan sampai batas yang telah ditetapkan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa, penambahan  $\text{MnSO}_4$  sangat berpengaruh terhadapnya terbentuknya flokulan pada sampel dan pada akhirnya mempercepat turunnya flokulan tersebut.

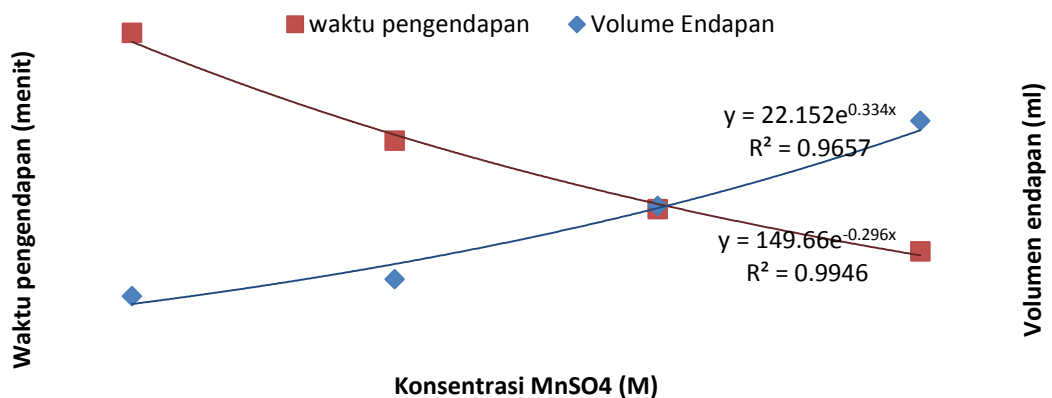
Namun, dari pengamatan, juga ditemukan bahwa semakin tinggi konsentrasi  $\text{MnSO}_4$  yang ditambahkan, jumlah endapan yang terbentuk juga semakin banyak, dengan warna endapan semakin gelap. Jumlah endapan berdasarkan konsentrasi  $\text{MnSO}_4$  yang ditambahkan dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini, dan gradasi warna menunjukkan semakin tinggi konsentrasi  $\text{MnSO}_4$  yang digunakan, semakin gelap warna endapan yang dihasilkan.



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi MnSO<sub>4</sub> terhadap volume dan kepekatan warna endapan

Penelitian yang dilakukan oleh Levy et al. (2011), ditemukan bahwa konsentrasi MnSO<sub>4</sub> yang digunakan adalah 0,5 M, sebanyak 1 ml per liter sampel. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Ahmad et al. (2010) menggunakan 0,5 M MnCl<sub>2</sub> sedikit demi sedikit sampai terbentuk endapan.

Prekonsentrasi di lapangan dengan waktu yang terbatas, maka diperlukan penetapan jumlah dan konsentrasi MnSO<sub>4</sub> yang digunakan untuk pengendapan yang tercepat. Selain hal tersebut juga diperhitungkan volume endapan, karena semakin besar volume endapan, akan memperpanjang waktu penanganan dan pengiriman sampel sampai ke laboratorium.



Gambar 3. Kondisi optimal antara waktu dan volume pengendapan berdasarkan variasi MnSO<sub>4</sub>

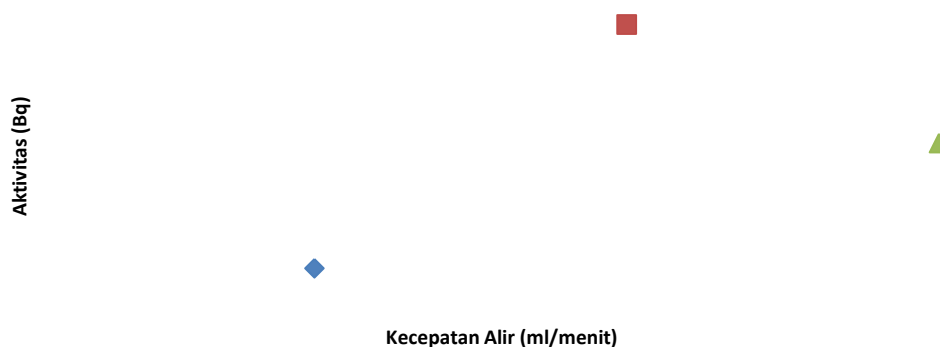
Melihat grafik pada Gambar 3, titik temu antara waktu pengendapan dan volume endapan yang terbentuk akan optimal pada konsentrasi MnSO<sub>4</sub> 1,5 M. Pada titik tersebut, waktu yang diperlukan untuk pengendapan sekitar 60 menit, dengan volume endapan sejumlah 60,9 ml. Apabila dikonversikan untuk kondisi lapangan, dimana untuk pre-konsentrasi plutonium dari air laut, biasanya menggunakan sekitar 80 l air laut, endapan yang terbentuk adalah sekitar 4,8 l.

Jumlah sampel sebanyak itu akan masuk dalam jerigen 5 liter untuk satu titik sampel, dan kondisi tersebut memungkinkan untuk kepraktisan pengambilan sampel.

### Modifikasi kecepatan alir purifikasi plutonium

Kecepatan alir sampel dan eluen yang melewati resin yang terdapat di dalam kolom penukar ion, akan berpengaruh terhadap banyak sedikitnya plutonium yang bisa ditangkap oleh resin dan dapat dielusikan kembali menggunakan eluen yang sesuai. Direkomendasikan oleh Nakano (2010) kecepatan alir yang digunakan adalah 1 ml/menit, sedangkan Levy et al. (2011) dan Ahmad et al. (2010) tidak menerangkan kecepatan alir yang digunakan dalam percobaan yang dilakukannya.

Berdasarkan hal tersebut diatas, maka dicobakan variasi kecepatan alir dibawah dan diatas kecepatan yang direkomendasikan oleh Nakano (2010). Hasil  $^{239,240}\text{Pu}$  yang terukur berdasarkan variasi kecepatan alir dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini.



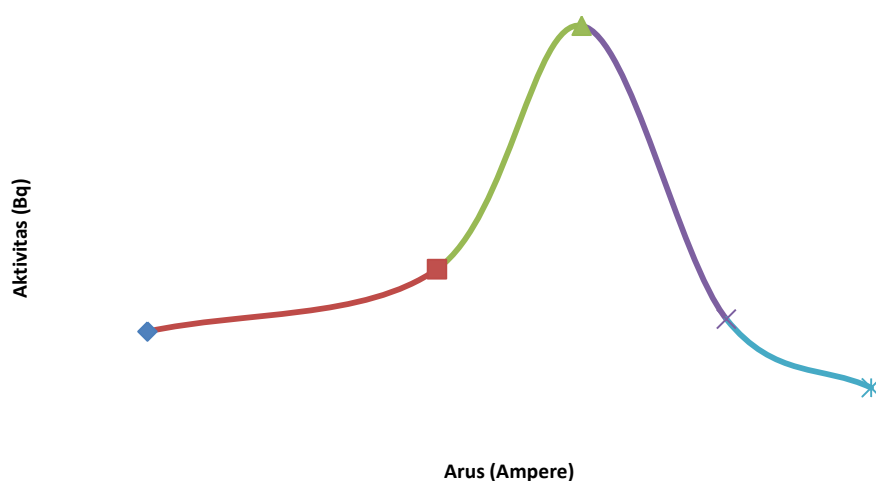
Gambar 3. Aktivitas  $^{239,240}\text{Pu}$  berdasarkan variasi kecepatan alir pada kolom penukar ion

Didapatkan bahwa, aktivitas  $^{239,240}\text{Pu}$  tertinggi didapatkan pada kecepatan alir 1,0 ml/menit, sama dengan yang direkomendasikan oleh Nakano (2010). Dengan demikian, kecepatan yang akan digunakan selanjutnya direkomendasikan menggunakan kecepatan alir 1 ml/menit. Kecepatan alir 1 ml/menit akan memberikan waktu yang cukup untuk terjadi penyerapan radionuklida pada resin, sehingga diharapkan semua radionuklida dapat terserap pada resin.

### Modifikasi prosedur elektrodeposisi

Elektrodeposisi merupakan tahap akhir perlakuan kimia sebelum dilakukan pencacahan menggunakan spektrometer alfa. Pengaruh kecepatan arus listrik yang digunakan dilakukan untuk waktu elektrodeposisi selama 2 jam, volume 12 ml dan pH 2. Aktivitas  $^{239,240}\text{Pu}$  yang terukur berdasarkan variasi kecepatan arus listrik elektrodeposisi dapat dilihat pada Gambar 4. Berikut ini.





Gambar 4. Aktivitas  $^{239,240}\text{Pu}$  yang terukur berdasarkan variasi kecepatan arus listrik elektrodeposisi

Kecepatan arus maksimum adalah pada 0,8 A, dibandingkan dengan yang direkomendasikan oleh Nakano (2010) yang menetapkan 1,0 A sebagai kecepatan arus optimal. Lee & Piml (1999) merekomendasikan 0,95 A sebagai kondisi optimum untuk elektrodeposisi. Adanya perbedaan nilai optimum untuk proses elektrodeposisi tergantung pada alat yang digunakan pada masing-masing percobaan.

## KESIMPULAN

Pengembangan metoda pada tahap prekonsentrasi sampel menemukan bahwa semakin tinggi konsentrasi  $\text{MnSO}_4$ , maka kecepatan pengendapan dan volume endapan semakin besar. Sedangkan kecepatan alir yang optimal untuk purifikasi plutonium adalah kecepatan air 1 ml/menit. Kecepatan arus yang digunakan pada proses elektrodeposisi akan mencapai hasil maksimal pada 0,8 A. Modifikasi metoda ini merupakan kondisi paling optimal yang berkaitan dengan kondisi lingkungan dan peralatan yang tersedia.

## Ucapan Terima Kasih.

Terima kasih diucapkan kepada semua peneliti di Bidang Radioekologi Kelautan, terutama Dr. Heny Suseno yang telah mengarahkan penulis dalam merancang penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan untuk *Adinda* Nesya Nooraidha Amin, Siswa magang dari Akademi Kimia Analis (AKA) Bogor yang membantu pelaksanaan penelitian ini. Dana penelitian ini dibiayai dari DIPA BRK-PTLR-BATAN.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. Ahmad, Z., Mei-Wo, Y., Abu Bakar, A.S. & Shahar, H. (2010) Spatial distribution of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{239+240}\text{Pu}$  in surface seawater within the Exclusive Economic Zone of East Coast Peninsular Malaysia. *Applied Radiation and Isotop 68 (2010)* pg. 1839-1845.
- [2]. Duran, E.B. et al. (2004).  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{239+240}\text{Pu}$  levels in the Asia Pacific Regional Sea. *Journal of Environmental Radioactivity 76 (2004)* pg. 139-160.
- [3]. Lee, M.H. & Pimpl, M. (1999) Development of a new electrodeposition method for Pu-determination in environmental samples. *Applied Radiation and Isotopes 50 (1999)* pg. 851-857.
- [4]. Levy, I. et al. (2011). Marine anthropogenic radiotracer in the Southern Hemisphere: New sampling and analytical strategies. *Progress in Oceanography 89 (2011)* pg. 120-133.
- [5]. Nakano, M. (2007). *Manual of standar procedures for analysis of marine samples*. Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories, JAEA. Pg. 10-16.

## IMOBILISASI LIMBAH CAIR TINGKAT TINGGI MENGGUNAKAN GLASS FRITS FLY ASH

Aisyah, Yuli Purwanto

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**IMOBILISASI LIMBAH CAIR TINGKAT TINGGI MENGGUNAKAN GLASS FRITS FLY ASH.** Limbah cair tingkat tinggi (LCTT) adalah limbah yang ditimbulkan dari proses olah ulang bahan bakar nuklir bekas. Limbah ini banyak mengandung hasil belah dan sedikit aktinida. Limbah ini diimobilisasi menggunakan gelas borosilikat. Faktor penting yang mempengaruhi karakteristik gelas limbah antara lain komposisi kandungan limbah dan *glass frits*. *Fly ash* merupakan abu batubara yang memiliki kandungan antara lain  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang mirip dengan komposisi *glass frits* untuk imobilisasi LCTT, sehingga dapat digunakan sebagai *glass frits* pada imobilisasi LCTT. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pemanfaatan *fly ash* sebagai *glass frits* pada imobilisasi LCTT. Dipelajari beberapa gelas limbah seperti gelas limbah A, B, C yang memiliki kandungan limbah 23,21; 36,75; 50,133 % berat dan gelas limbah D yang menggunakan *glass frits fly ash* saja tanpa penambahan oksida  $\text{SiO}_2$ . Sebagai standar digunakan gelas limbah milik JAEA. Karakteristik gelas limbah yang dipelajari adalah densitas, laju pelindihan dan devitrifikasi. Semakin tinggi kandungan limbah maka densitas dan laju pelindihan semakin tinggi. Densitas tertinggi adalah pada gelas limbah C yang memiliki kandungan limbah paling tinggi, sedangkan laju pelindihan tertinggi adalah pada gelas limbah D yang merupakan gelas limbah dengan *glass frits fly ash* tanpa penambahan  $\text{SiO}_2$ . Devitrifikasi gelas limbah terjadi pada gelas limbah A pada pemanasan  $700^\circ\text{C}$  dalam waktu 5 jam dengan terbentuknya kristal yang didominasi oleh  $\text{SiO}_2$ . Hasil penelitian menyimpulkan bahwa *fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai *glass frits* untuk imobilisasi dengan penambahan  $\text{SiO}_2$  agar diperoleh karakteristik gelas limbah yang memenuhi persyaratan.

*Kata kunci: Limbah cair tingkat tinggi, imobilisasi, glass frits, fly ash*

### ABSTRACT

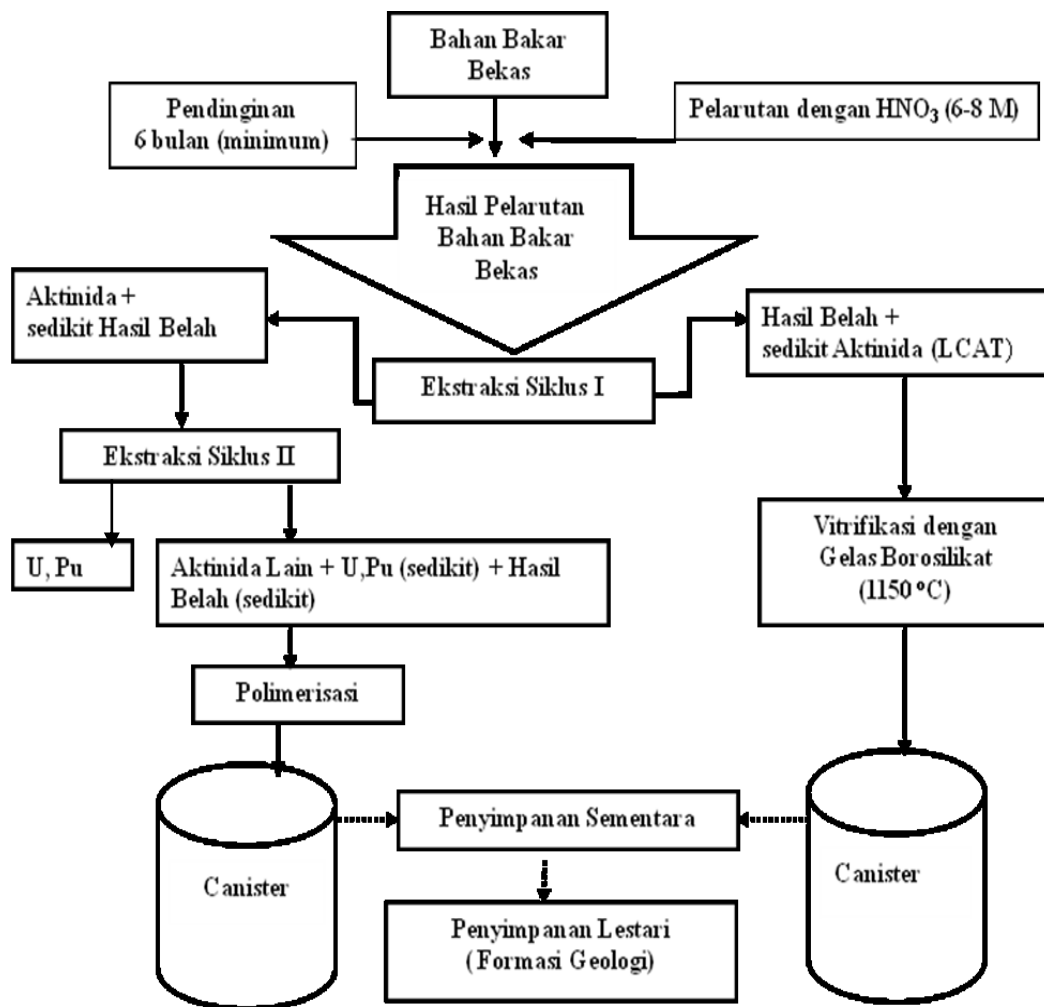
#### **IMMOBILIZATION OF HIGH-LEVEL WASTE USING FLY ASH GLASS FRITS.**

*High level liquid waste (HLLW) is a waste generated from reprocessing of spent nuclear fuel. This waste contains many fission products and a few actinides. The waste is immobilized with borosilicate glass. The important factors influencing the characteristics of the waste-glass among others are waste content and glass frits composition. Fly ash is the ash generated from coal firing. The ash composed of  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , which is similar to that of glass frits. It was assumed that fly ash is possible to be used as substitute for glass frits. The aims of this research was to study the utilization of fly ash for HLLW immobilization. Some waste-glass were studied, namely waste-glasses A, B, C that contain waste loading of 23.21; 36.75 and 50.133 wt% respectively, and waste-glass D that was immobilized with fly ash without addition of  $\text{SiO}_2$  oxide. A standard glass from JAEA was used as reference. The characteristics to be observed were density, leaching rate and devitrification. The higher the density and waste loading of the waste-glass, made the leaching rate higher. The waste-glass with the highest density was the waste-glass C, while the highest leaching rate was the waste-glass D. Devitrification occurred on the waste glass A under  $700^\circ\text{C}$  5 hours heating. The devitrification was identified by the formation of crystal dominated by  $\text{SiO}_2$ . It was concluded that the fly ash can be used as glass frits on immobilization of HLLW with addition of  $\text{SiO}_2$  for improvement of waste-glass characteristics, in order to meet the requirement.*

*Keywords : High-level liquid waste, immobilization, glass frits, fly ash*

**PENDAHULUAN**

Dalam Undang-Undang No.10 Tahun 1997 tentang ketenaganukliran ditetapkan bahwa klasifikasi limbah radioaktif dibagi atas 3 jenis, yaitu Limbah tingkat rendah (*Low Level Waste*), limbah tingkat sedang (*Intermediate Level Waste*) dan limbah tingkat tinggi (*High Level Waste*) [1]. Pada sistem daur bahan bakar terbuka yang dimaksud Limbah Tingkat Tinggi (LTT) adalah bahan bakar bekas reaktor, sedangkan pada sistem daur tertutup bahan bakar bekas dari reaktor setelah proses penyimpanan sementara akan mengalami proses olah ulang. Proses olah ulang bahan bakar bekas bertujuan untuk mengambil sisa uranium yang tidak terbakar dan plutonium yang terbentuk selama proses pembakaran bahan bakar nuklir. Dalam proses olah ulang inilah akan ditimbulkan Limbah Cair Tingkat Tinggi (LCTT) dengan proses pengelolaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1[2-4].



Gambar 1. Pengelolaan LCTT [2-4].

Pada Gambar 1 tampak bahan bakar setelah keluar dari reaktor dapat mengalami pendinginan (peluruhan) selama 6 bulan dalam kolam penyimpanan. Setelah pendinginan, bahan bakar dilarutkan kedalam larutan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) dan hasil pelarutan diekstraksi untuk memisahkan aktinida yaitu uranium (U), plutonium (Pu) dari hasil belah lainnya. Proses ini disebut ekstraksi siklus pertama. Dari hasil proses ekstraksi ini akan diperoleh larutan yang banyak mengandung hasil belah dan sedikit aktinida, larutan ini yang disebut LCTT. Limbah cair tingkat tinggi ini memerlukan pendinginan sekitar 4 tahun sebelum dilakukan imobilisasi dengan gelas borosilikat menjadi gelas-limbah. Proses imobilisasi LCTT dengan gelas disebut vitrifikasi. Lelehan gelas-limbah dimasukkan ke dalam *canister* pada suhu  $1100\text{ }^\circ\text{C}$ . *Canister* yang telah terisi gelas-limbah disimpan dalam penyimpanan sementara (*interim storage*) selama 30~50 tahun, kemudian dapat dilakukan disposal pada formasi geologi [5,6].

Saat ini Indonesia memilih daur terbuka, sehingga terdapat LTT yang berupa bahan bakar bekas. Namun demikian dalam beberapa kegiatannya Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) dan juga PT Industri Nuklir Indonesia (PT. INUKI) menimbulkan limbah radioaktif yang komposisinya mirip dengan LCTT dari proses olah ulang bahan bakar bekas, seperti limbah dari pengujian bahan bakar paska iradiasi ataupun limbah dari produksi radioisotop Mo-99 [7,8]. Oleh karena itu diperlukan penguasaan teknologi pengelolaan LTT baik yang berupa bahan bakar bekas maupun LCTT yang berasal dari proses olah ulang bahan bakar bekas.

Limbah cair tingkat tinggi disamping memiliki panas radiasi yang cukup tinggi, juga mengandung aktinida yang berumur paro panjang. Oleh karena itu LCTT memerlukan pengelolaan dengan tingkat keselamatan yang cukup tinggi termasuk dalam hal pemilihan bahan matriks untuk imobilisasi beserta teknologi imobilisasinya. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam memilih bahan matriks untuk imobilisasi LCTT adalah proses pembuatan yang mudah, praktis, kandungan limbah (*waste loading*) yang ekonomis, serta hasil imobilisasi memiliki karakteristik yang baik seperti ketahanan kimia yaitu laju pelindihan yang rendah, sifat fisika yang sesuai, kestabilan terhadap radiasi, kestabilan terhadap panas yaitu tidak mudah terjadi devitrifikasi dan keutuhan fisik (*physical integrity*) [9].

Terdapat beberapa bahan matriks untuk imobilisasi LCTT seperti gelas, *synrock* dan *vitromet*. Berdasarkan pertimbangan teknik pembuatan, stabilitas dalam jangka panjang, besarnya kandungan limbah, serta berdasarkan standar *International Atomic Energy Agency* (IAEA) dan pengalaman beberapa negara maju seperti Perancis, Jepang, Inggris maka pengolahan LCTT dilakukan melalui imobilisasi dengan gelas borosilikat [10,11].

Banyak faktor yang mempengaruhi karakteristik gelas limbah dalam proses vitrifikasi seperti komposisi limbah, komposisi bahan *glass frits* maupun kondisi operasi vitrifikasi dimana masing-masing unsur memiliki peran dalam karakteristik gelas limbah yang dihasilkan. Umumnya gelas borosilikat dengan kandungan  $\text{SiO}_2$  di atas 40% mempunyai kualitas yang memenuhi syarat hasil vitrifikasi.

*Fly ash* atau abu layang merupakan limbah abu dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berbahan bakar batubara. *Fly ash* memiliki komposisi kimia yang mirip dengan *glass frits* seperti  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  maupun  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

sehingga *fly ash* memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai *glass frits* pada imobilisasi LCTT dengan gelas borosilikat [11].

Sesuai dengan kandungan limbahnya maka komposisi *glass frits* memiliki peran yang penting dalam menghasilkan karakteristik gelas limbah yang sesuai dengan standar. Perubahan komposisi *glass frits* akan menghasilkan karakteristik gelas limbah yang berbeda. Unsur Si maupun Al merupakan salah satu komponen penting dalam *glass frits* yang merupakan unsur pembentuk kerangka gelas yang jumlahnya dapat mempengaruhi karakteristik gelas limbah. Jadi semakin tinggi kadar Si dalam *glass frits* maka akan dihasilkan gelas limbah dengan kualitas yang semakin baik, namun suhu pelelehan gelas limbah semakin tinggi.

Pada penelitian sebelumnya telah dipelajari beberapa topik tentang imobilisasi LCTT menggunakan menggunakan gelas borosilikat antara lain persyaratan gelas limbah untuk vitrifikasi, perbandingan gelas keramik dan gelas borosilikat, pengaruh perlakuan panas terhadap devitrifikasi gelas limbah, pengaruh radiasi dan radionuklida hasil belah terhadap sifat fisika dan kimia gelas-limbah, perubahan komposisi bahan pembentuk gelas pada karakteristik gelas limbah [9,11-15]. Terdapat beberapa karakteristik gelas limbah yang perlu dipelajari seperti densitas, koefisien muai panjang, hantaran panas, viskositas, laju pelindihan, titik pelunakan, hantaran listrik, panas jenis, dan kekuatan mekanik.

Karakteristik gelas limbah yang dipelajari dalam penelitian ini adalah densitas, laju pelindihan dan devitrifikasi gelas limbah terkait dengan adanya perubahan kandungan limbah dan *glass frits*. Penentuan karakteristik densitas gelas limbah diperlukan dalam perancangan *melter*, *canister*, beban transportasi dan kekuatan tumpuk pada penyimpanan gelas limbah. Karakteristik laju pelindihan merupakan karakteristik gelas limbah yang menunjukkan kekuatan gelas limbah dalam mengungkung radionuklida yang ada didalamnya. Seperti diketahui bahwa tujuan akhir pengelolaan limbah adalah menjaga agar radionuklida terikat cukup kuat dalam *monolith* bahan matriks dalam jangka waktu yang sangat lama, sehingga potensi radionuklida terlindih ke lingkungan bisa diminimalkan.

Sebagai acuan adalah gelas limbah standar milik *Japan Atomic Energy Agency* (JAEA) Jepang [6]. Komposisi LCTT ditentukan dengan program *ORIGEN 2*. Pembuatan gelas limbah simulasi dilakukan dengan cara melelehkan campuran *glass frits* dan limbah dalam berbagai komposisi pada suhu 1150 °C. Karakterisasi gelas limbah yang dilakukan adalah densitas, laju pelindihan dan devitrifikasi. Densitas dilakukan secara *Archimedes*, laju pelindihan dilakukan dengan alat soklet dan devitrifikasi dilakukan dengan Difraktometer Sinar X (XRD) sedangkan struktur mikro dilakukan dengan *Scanning Electrone Microscope* (SEM) beserta *Energy Dispersive-X-Ray Spectroscopy* (EDS). Karakteristik gelas limbah yang diteliti akan dibandingkan dengan karakteristik gelas limbah standar. .

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pemanfaatan *fly ash* sebagai *glass frits* dalam imobilisasi LCTT sehingga dapat diperoleh gelas limbah dengan karakteristik yang tidak hanya memenuhi standar namun juga ekonomis dan secara teknis dapat divitrifikasi dengan baik. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bidang Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif Dekontaminasi

dan Dekomisioning di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Kawasan Puspipstek Serpong pada Tahun 2013.

Walaupun saat ini Indonesia belum melakukan proses olah ulang, namun topik penelitian ini menjadi penting sebagai acuan dalam mengelola LCTT yang ditimbulkan dari kegiatan produksi radioisotop maupun pengujian bahan bakar paska iradiasi dimana limbah yang ditimbulkan memiliki komposisi yang mirip dengan LCTT yang ditimbulkan dari proses olah ulang bahan bakar nuklir bekas.

## TATA KERJA

### Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Fly ash* dari PLTU Suralaya, oksida – oksida  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{Cs}_2\text{O}$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$  dan  $\text{CeO}_2$  buatan Merck dengan kemurnian yang tinggi.

Dalam penelitian ini digunakan beberapa peralatan seperti timbangan analitis, tungku pemanas (*Muffle Furnace*), cawan alumina untuk pembuatan gelas limbah, *X-Ray Fluorecent (XRF)*, *Scanning Electrone Microscope (SEM)* dan *Energy Dispersive-X-Ray Spectroscopy (EDS)* untuk pengamatan struktur mikro gelas limbah, Difratometer Sinar X (XRD) untuk pengukuran pola difraksi sinar X dan *software* ORIGEN 2 untuk menentukan komposisi LCTT.

### Metode

#### 1. Penentuan Komposisi *Fly Ash*

Abu batu bara jenis *fly ash* diambil dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Suralaya, Banten. Komposisi kimia *fly ash* ditentukan dengan XRF di Pusat Sains & Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT) Bandung.

#### 2. Penentuan Komposisi Limbah Cair Tingkat Tinggi

Komposisi LCTT ditentukan dengan menggunakan *software* ORIGEN 2 berdasarkan atas sejarah elemen bahan bakarnya, yaitu jenis reaktor PWR, fraksi bakar 45000 MWD/MTU, pengkayaan uranium 4,5 %, daya spesifik 38 MW/MTU dan lama pendinginan sebelum proses vitrifikasi 4 tahun. Dalam penelitian ini digunakan LCTT simulasi yaitu dengan penggantian unsur-unsur radioaktif dengan unsur lain yang terdapat dalam 1 golongan pada tabel periodik dan berdasarkan pengalaman dari negara-negara maju. Dalam hal ini, Tc diganti Mn dan aktinida (U, Np, Pu, Am, Cm) diganti Ce [15,16].

#### 3. Penentuan Komposisi Gelas-Limbah

*Glass frits* (bahan pembentuk gelas) yang utama adalah *fly ash* dengan penambahan oksida  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{B}_2\text{O}_3$ . Komposisi gelas limbah ditentukan berdasarkan variasi kandungan limbah yaitu gelas A, B, dan C, masing-masing dengan kandungan limbah 23,21; 36,747; dan 50,133 %berat serta gelas D merupakan gelas limbah dengan *glass frits* murni *fly ash* tanpa penambahan oksida  $\text{SiO}_2$  lagi. Komposisi gelas limbah A,B,C dan D ditunjukkan pada Tabel

1. Sebagai standar digunakan gelas limbah milik JAEA Jepang dengan komposisi dan karakteristik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3.

#### 4. Pembuatan Gelas Limbah

Pembuatan gelas-limbah dilakukan dengan memanaskan campuran oksida seperti pada Tabel 1 pada suhu 1150 °C selama 2,5 jam. Pemanasan dilakukan dalam tungku pemanas menggunakan wadah dari crucible alumina. Selanjutnya dilakukan pendinginan sampai suhu kamar sehingga terbentuk gelas limbah [9,15,17].

Tabel 1. Komposisi Gelas Limbah A,B,C dan D

Komposisi	Kandungan Limbah (% berat)			
	A (23,21 %)	B (36,747%)	C (50,133%)	D (Fly ash tanpa penambahan SiO <sub>2</sub> )
<i>Fly ash</i>	15,96	4,788	5,586%	65,21
SiO <sub>2</sub>	52,82	43,842	29,487	-
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,58	14,623	14,794	11,58
Na <sub>2</sub> O	9,81	9,94	9,93	9,81
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,15	0,3	0,45	0,15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,45	2,9	4,35	1,45
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,27	0,54	0,81	0,27
NiO	0,24	0,48	0,72	0,24
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,98	3,96	5,94	1,98
Rb <sub>2</sub> O	0,09	0,18	0,27	0,09
Cs <sub>2</sub> O	0,63	1,26	1,89	0,63
SrO	0,23	0,46	0,69	0,23
BaO	0,41	0,82	1,23	0,41
ZrO <sub>2</sub>	1,54	3,08	4,62	1,54
MoO <sub>3</sub>	1,16	2,32	3,48	1,16
MnO <sub>2</sub>	0,27	0,54	0,81	0,27
RuO <sub>2</sub>	0,66	1,32	1,98	0,66
Rh <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,12	0,24	0,36	0,12
PdO	0,36	0,72	1,08	0,36
Ag <sub>2</sub> O	0,02	0,04	0,06	0,02
SnO <sub>2</sub>	0,02	0,04	0,06	0,02
SeO <sub>2</sub>	0,02	0,04	0,06	0,02
TeO <sub>2</sub>	0,14	0,28	0,42	0,14
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,14	0,28	0,42	0,14
CeO <sub>2</sub>	3,5	7	10,5	3,5



Tabel 2. Komposisi Gelas Limbah Standar [6]

Bahan Pembentuk Gelas		Limbah	
Oksida	% berat	Oksida	% berat
SiO <sub>2</sub>	43,15	Na <sub>2</sub> O	9,0
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,20	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + NiO	1,01
Li <sub>2</sub> O	3,12	Hasil belah (termasuk aktinida)	18,83
Na <sub>2</sub> O	1,0	Jumlah	28,84
K <sub>2</sub> O	2,01		
CaO	2,05		
ZnO	2,10		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,53		

Tabel 3. Karakteristik Gelas Limbah Standar [6]

Karakteristik	Besaran
Densitas	2,74 g cm <sup>-3</sup>
Koefisien muai panjang	83x10 <sup>-7</sup> °C <sup>-1</sup> (30-300 °C)
Titik transformasi	501 °C
Konduktivitas panas	0,87 K cal m <sup>-2</sup> jam <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup> (pada 100 °C)
Titik pelunakan	614 °C
Tahanan listrik	4,8 ohm cm (pada 1150 °C)
Kekentalan	40 poise pada (1150 °C)
Laju pelindihan	2,3x10 <sup>-5</sup> g cm <sup>-2</sup> hari <sup>-1</sup> (statik, 100 °C, 24 jam)
Panas jenis	0,21 cal g <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup> (pada 1150 °C)
Kekuatan mekanik	57 Mpa

### 5. Penentuan Densitas Gelas Limbah

Densitas gelas limbah ditentukan secara *Archimedes* dengan cara menimbang potongan gelas limbah di udara dan dalam keadaan tercelup dalam air pada suhu kamar. Densitas gelas limbah dihitung dengan persamaan [15,18,19]:

$$\rho = (W_a \rho_w - W_w \rho_a) / (W_a - W_w) \dots\dots (1)$$

dimana  $\rho$  adalah densitas gelas limbah (g cm<sup>-3</sup>),  $\rho_w$  adalah densitas air (g cm<sup>-3</sup>),  $\rho_a$  adalah densitas udara (g cm<sup>-3</sup>),  $W_a$  adalah berat gelas limbah di udara (g) dan  $W_w$  adalah berat gelas limbah di air (g). Sebagai standar dalam pengukuran densitas digunakan aluminium.

### 6. Penentuan Laju Pelindihan Gelas Limbah

Laju pelindihan gelas limbah dilakukan menurut *Japan Industrial Standart* (JIS), yaitu laju pelindihan dipercepat dalam medium air. Contoh gelas-limbah dihaluskan dan dimasukkan dalam basket dan dipasang pada *sokhlet* untuk direfluks dengan air suling pada suhu 100 °C selama 24 jam. Laju pelindihan gelas-limbah dengan cara *Soxhlet* pada suhu 100 °C dan 1 atm selama 24 jam

ini sama dengan laju pelindihan gelas limbah pada suhu kamar selama 1 tahun. Laju pelindihan dihitung berdasarkan berat contoh yang hilang dengan persamaan [20,21]:

$$L = W/S.t \dots\dots\dots(2)$$

dengan L: laju pelindihan ( $\text{g cm}^{-2} \text{ hari}^{-1}$ ), S: luas permukaan contoh ( $\text{cm}^2$ ), W: berat gelas limbah yang terlindih (g), t: waktu pelindihan (hari).

7. Penentuan *Amorf* dan Devitrifikasi Gelas Limbh

Penentuan struktur *amorf* dan kristalin pada devitrifikasi gelas limbah ditentukan dengan XRD. Terjadinya devitrifikasi secara kualitatif ditentukan terhadap gelas limbah A dengan cara memanaskan gelas limbah A pada suhu  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 5 jam. Dari pola difraksi dapat ditentukan apakah bahan berada pada struktur *amorf* atau telah terbentuk kristal. Struktur kristal ditandai dengan munculnya puncak-puncak pada pola difraksi XRD sedangkan pola difraksi struktur amorf menunjukkan tidak adanya puncak-puncak [14,18].

8. Pengamatan Struktur Mikro Gelas Limbah Dengan SEM dan EDS

Gelas limbah A yang telah mengalami pemanasan pada suhu  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 5 jam ditumbuk halus dan kemudian dilakukan analisis struktur mikro menggunakan SEM di Pusat Sains & Teknologi Bahan Maju (PSTBM) Serpong. Analisis EDS dilakukan secara *spot* (titik) analisis terhadap posisi kristal yang muncul pada permukaan struktur mikro tersebut. Analisis EDS akan memberikan informasi tentang jenis kristal yang terbentuk.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil analisis XRF dari *fly ash* PLTU suralaya ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi Kimia *Fly Ash*

Oksida	Kadar (% berat)
SiO <sub>2</sub>	35,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,54
K <sub>2</sub> O	1,15
CaO	5,26
MnO <sub>2</sub>	0,20
Na <sub>2</sub> O	0,43
TiO <sub>2</sub>	0,66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,32

Pada Tabel 4 tampak bahwa komposisi *fly ash* didominasi oleh SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Unsur yang penting dalam *glass frits* adalah SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, oleh karena itu *fly ash* ini dapat dimanfaatkan sebagai *glass frits* pada imobilisasi LCTT menggunakan gelas borosilikat. Untuk memperoleh kualitas gelas limbah yang memenuhi standar maka salah satunya adalah dengan mengatur kandungan SiO<sub>2</sub> dalam komposisi *glass frits*. Kandungan SiO<sub>2</sub> dalam *glass frits* minimal

adalah 40 %berat, oleh karena itu diperlukan penambahan SiO<sub>2</sub> lagi dari oksida kimia.

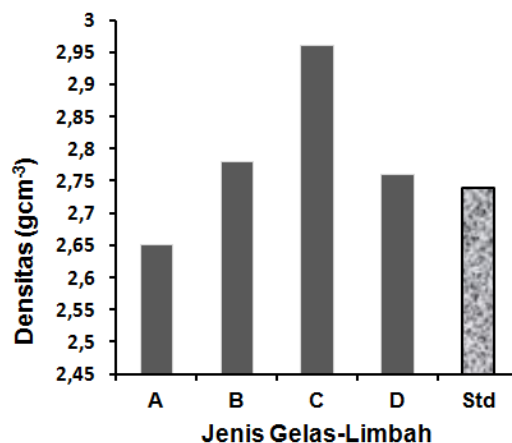
Hasil analisis LCTT menggunakan *software* ORIGEN 2 berdasarkan atas jenis reaktor PWR, fraksi bakar 45000 MWD/MTU, pengkayaan uranium awal 4,5 %, daya spesifik 38 MW/MTU dan lama pendinginan sebelum proses vitrifikasi 4 tahun ditunjukkan pada Tabel 5.

Pada Tabel 5 terlihat bahwa kandungan limbah didominasi oleh radionuklida hasil belah yang merupakan radionuklida pemancar gamma. Oleh karena itu adanya radiasi gamma yang cukup besar yang dipancarkan oleh radionuklida hasil belah dalam gelas-limbah dapat mengakibatkan suhu gelas limbah yang tinggi (> 500 °C). Suhu yang tinggi dan waktu yang cukup lama dapat mengakibatkan timbulnya devitrifikasi [14]. Adanya devitrifikasi akan mengakibatkan ketahanan kimianya menurun, karenanya laju pelindihannya meningkat.

Tabel 5. Komposisi LCTT dari Bahan bakar bekas PWR, fraksi bakar 45.000 MWD/MTU, pengkayaan uranium 4,50%, daya spesifik 38 MW/MTU dan pendinginan 4 tahun

Oksida	% Berat	Oksida	% Berat
Na <sub>2</sub> O	16,48	Ag <sub>2</sub> O	0,11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,05	CdO	0,18
NiO	1,47	SnO	0,15
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,68	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,95	TeO <sub>2</sub>	0,84
SeO <sub>2</sub>	0,11	Cs <sub>2</sub> O	3,91
Rb <sub>2</sub> O	0,56	BaO	2,58
SrO	1,45	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,05
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,85	CeO <sub>2</sub>	4,19
ZrO <sub>2</sub>	6,99	Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	1,93
MoO <sub>3</sub>	7,19	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,77
Tc <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	1,67	Pm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07
RuO <sub>2</sub>	4,12	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,22
Rh <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,74	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,24
PdO	2,20	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,32
ZrO <sub>2</sub>	2,56	PuO <sub>2</sub>	0,14
UO <sub>2</sub>	3,81	Am <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,52
NpO <sub>2</sub>	0,81	Cm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05

Hasil pengukuran densitas terhadap jenis gelas limbah yang diteliti yaitu jenis gelas limbah A, B, C, D ditunjukkan pada Gambar 2.

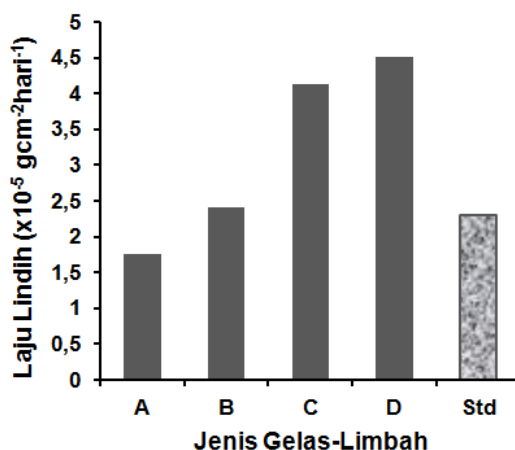


Gambar 2. Pengaruh Jenis Gelas-Limbah Terhadap Densitas Gelas-Limbah

Pada Gambar 2 tampak bahwa dengan bertambahnya kandungan limbah (gelas-limbah A,B,C) maka densitas semakin besar. Sedangkan untuk gelas-limbah D maka densitas menurun. Pada pembuatan gelas limbah, oksida limbah dan *glass frits* memiliki perbandingan yang tertentu, sehingga penambahan kandungan limbah akan diikuti dengan penurunan *glass frits*. Adanya penambahan kandungan limbah berarti prosentase oksida dari unsur-unsur yang lebih besar massanya meningkat sedangkan prosentase unsur *glass frits* yang lebih rendah massanya menurun. Bertambahnya prosentase unsur yang lebih besar massanya akan menaikkan densitasnya (gelas limbah A, B, C). Jika dibandingkan dengan densitas gelas limbah standar (Std) yaitu 2,74 g/cm<sup>3</sup> dengan densitas gelas limbah B dan C yaitu gelas limbah dengan kandungan limbah antara 36,74-50,133 %berat yang memiliki densitas berkisar antara 2,78 dan g/cm<sup>3</sup>, maka densitas gelas limbah standar nampak lebih kecil. Hal ini karena kandungan limbah pada gelas limbah standar lebih kecil yaitu 28,84 %berat dari pada kandungan limbah pada gelas limbah B dan C, sedangkan gelas limbah A memiliki densitas yang lebih kecil dari gelas limbah standar. Hal ini sejalan dengan kandungan limbah pada gelas limbah A sedikit lebih kecil dari kandungan limbah gelas standar. Kandungan limbah yang semakin tinggi akan menghasilkan densitas gelas limbah yang lebih tinggi pula. Berarti gelas limbah akan semakin padat dan kuat. Namun demikian gelas limbah dengan kandungan limbah yang terlalu besar akan menurunkan ketahanan kimia gelas limbah yaitu laju pelindihan akan meningkat dan ini tidak diinginkan. Untuk gelas limbah D yaitu gelas limbah dengan *glass frit* hanya dari *fly ash* tanpa penambahan SiO<sub>2</sub> lagi memiliki densitas yang tidak signifikan berbeda dengan gelas limbah standar. Kandungan limbah pada gelas D adalah 23,21 %berat sedikit lebih rendah dari gelas limbah standar yaitu 28,84 % berat. Dengan demikian *fly ash* secara parsial atau total dapat digunakan sebagai glas frits dalam imobilisasi LCTT dengan gelas borosilikat karena menghasilkan karakteristik densitas gelas-limbah yang sesuai dengan gelas limbah standar. Jika dibandingkan dengan penggunaan *fly ash* sebagai *glass frits* secara parsial dan total maka karakteristik densitas yang dihasilkan sama-sama memenuhi standar, namun dari segi ekonomis maka menggunakan *fly ash* secara total sebagai *glass frits* akan lebih ekonomis karena tanpa penambahan *glass frits* dari oksida kimia lainnya yang harganya lebih mahal dari *fly ash*.

Seperti diketahui bahwa data densitas ini sangat penting untuk diketahui guna perancangan *melter*, *canister* serta strategi penyusunan *canister* yang berisi gelas limbah dalam *storage* maupun disposal. Semakin besar densitas gelas limbah maka gelas limbah mampu menerima beban tumpuk yang lebih besar dan hal ini akan lebih menghemat lahan *storage* maupun disposal. Jika kandungan limbah lebih ditingkatkan lagi maka densitas dapat lebih meningkat lagi yang berarti gelas limbah akan semakin mampu menerima beban tumpuk yang lebih besar. Namun demikian kandungan limbah yang semakin besar akan menurunkan jumlah oksida pembentuk gelas, salah satunya yaitu menurunkan jumlah  $\text{SiO}_2$ . Seperti diketahui  $\text{SiO}_2$  merupakan salah satu unsur dalam *glass frits* yang cukup dominan yang membentuk struktur kerangka gelas yang kuat. Jumlah  $\text{SiO}_2$  yang menurun dapat mengakibatkan menurunnya karakteristik gelas limbah karena kerangka  $\text{SiO}_2$  tidak cukup menampung radionuklida dalam limbah. Hal ini dapat meningkatkan laju pelindihan. Oleh karena itu untuk mendapatkan karakteristik gelas limbah yang baik maka jumlah kandungan limbah dibatasi yaitu 20-25 %berat. Kandungan limbah yang lebih tinggi lagi akan lebih meningkatkan laju pelindihan dan ini harus dihindari

Pengaruh laju pelindihan terhadap jenis gelas limbah ditunjukkan pada Gambar 3.

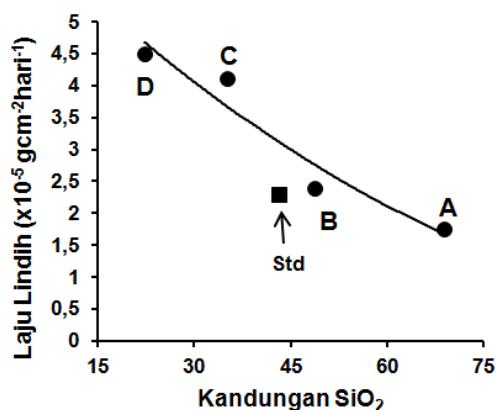


Gambar 3. Pengaruh Jenis Gelas-Limbah Terhadap Laju Pelindihan Gelas-Limbah

Pada Gambar 3 tampak bahwa laju pelindihan semakin meningkat untuk jenis gelas-limbah A,B, dan C. Jika dilihat dari komposisi gelas limbah, maka terjadi peningkatan kandungan limbah A,B, dan C. Bertambahnya kandungan limbah menyebabkan laju pelindihan semakin besar. Kandungan limbah yang besar berarti jumlah radionuklida yang harus ditampung dalam kerangka gelas juga besar, bahkan kerangka gelas akan menjadi penuh dengan radionuklida yang terkandung dalam limbah. Akibatnya, radionuklida mudah terlindih keluar. Gelas limbah dengan laju pelindihan yang besar merupakan gelas limbah dengan kualitas yang tidak baik. Laju pelindihan gelas-limbah B, C dan D lebih besar dari laju pelindihan gelas-limbah standar. Untuk gelas limbah B dan C jumlah kandungan limbah lebih besar dari gelas limbah standar, sehingga jumlah radionuklida yang harus ditampung dalam kerangka gelas B dan C semakin banyak, sehingga potensi pelindihan radionuklida keluar dari gelas limbah semakin besar. Untuk gelas limbah D yaitu gelas limbah dengan *glass frits* hanya

*fly ash* memiliki laju pelindihan paling besar yaitu  $4,514 \times 10^{-5} \text{ g cm}^{-2} \text{ hari}^{-1}$  hampir dua kali laju pelindihan gelas limbah standar. Gelas limbah D memiliki kandungan  $\text{SiO}_2$  hanya dari *fly ash* tanpa adanya penambahan  $\text{SiO}_2$  dari bahan kimia sebagai *glass frits* yaitu 22,823 % berat paling kecil dibandingkan dengan gelas limbah A,B,C bahkan jauh lebih kecil dari gelas limbah standar yaitu 43,15 %berat. Dengan demikian untuk imobilisasi LCTT hanya menggunakan *fly ash* sebagai *glass frits* mengharuskan penambahan  $\text{SiO}_2$  agar diperoleh gelas limbah dengan kualitas yang baik yaitu laju pelindihannya kecil. Yang perlu diperhatikan adalah semakin kecil laju pelindihan menunjukkan bahwa gelas-limbah mempunyai kualitas yang cukup baik. Laju pelindihan merupakan karakteristik yang penting mengingat tujuan akhir dari imobilisasi limbah adalah untuk memperkecil potensi terlepasnya radionuklida yang ada dalam limbah ke lingkungan.

Jika dipelajari pengaruh oksida  $\text{SiO}_2$  dalam *glass frits* terhadap laju pelindihan gelas limbah A,B, C dan D dihasilkan grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

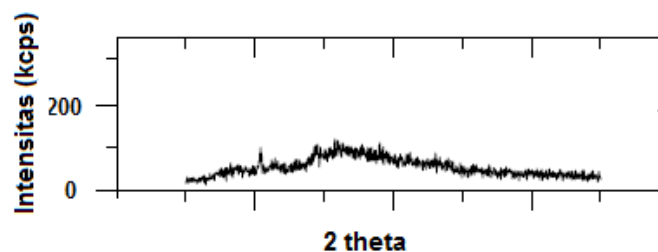


Gambar 4. Pengaruh Kandungan  $\text{SiO}_2$  Terhadap Laju Pelindihan Gelas Limbah

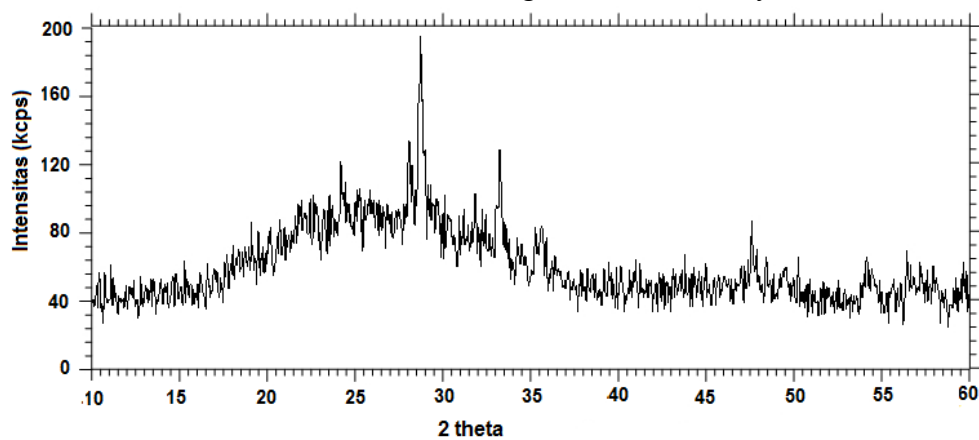
Unsur Si merupakan salah satu unsur dalam *glass frits* yang cukup dominan yang membentuk struktur kerangka gelas yang kuat. Gelas limbah A,B,C,D dan gelas limbah standar memiliki kandungan  $\text{SiO}_2$  yang berbeda yaitu masing – masing 68,78; 48,63; 35,07; 22,28 dan 43,15 %berat. Pada Gambar 4 terlihat bahwa semakin tinggi kandungan  $\text{SiO}_2$  maka laju pelindihan gelas limbah semakin kecil. Semakin tinggi kandungan  $\text{SiO}_2$  maka kualitas gelas limbah akan semakin baik karena karakteristik laju pelindihannya semakin kecil. Namun demikian kandungan  $\text{SiO}_2$  yang besar akan menaikkan titik leleh dan viskositas gelas limbah, sehingga proses vitrifikasi memerlukan suhu yang lebih tinggi lagi. Ini akan meningkatkan laju korosi *refraktory* (bata tahan api) *melter* sehingga meningkatkan timbulnya limbah radioaktif padat sekunder. Demikian pula untuk bisa menuangkan lelehan gelas limbah dari *melter* ke *canister* perlu pemanasan yang lebih tinggi. Hal ini akan mengakibatkan energi untuk pembentukan gelas limbah menjadi lebih tinggi. Oleh karena itu kandungan  $\text{SiO}_2$  dalam gelas limbah yang ideal adalah sekitar 40 %berat. Pada Gambar 4 tampak bahwa laju pelindihan terbesar adalah  $4,514 \times 10^{-5} \text{ g cm}^{-2} \text{ hari}^{-1}$  dan gelas limbah ini memiliki kandungan  $\text{SiO}_2$  terkecil yaitu 22,283 % berat dan

ini adalah gelas limbah D yang merupakan gelas limbah dengan kandungan  $\text{SiO}_2$  hanya dari *fly ash*.

Selain densitas dan laju pelindihan, karakteristik gelas limbah lain yang penting untuk dipelajari adalah devitrifikasi gelas limbah. Devitrifikasi merupakan perubahan struktur gelas limbah dari amorf menjadi kristalin akibat adanya pengaruh panas. Seperti diketahui bahwa LCTT memiliki kandungan hasil belah yang tinggi sehingga panas akibat peluruhan gamma radionuklida hasil belah cukup tinggi yang memungkinkan akan memanaskan gelas sehingga terjadi devitrifikasi. Gelas limbah yang baik harus tahan terhadap kondisi ini. Oleh karena itu untuk meminimalkan terjadinya devitrifikasi maka dalam penyimpanan sementara gelas limbah maka dilengkapi dengan sistem pendingin. Devitrifikasi secara kualitatif dapat diketahui dengan analisis menggunakan Difraktometer Sinar X. Gambar 5 menunjukkan hasil analisis XRD terhadap gelas limbah yang memiliki struktur amorf, sedangkan Gambar 6 menunjukkan struktur gelas limbah A yang mengalami devitrifikasi pada suhu  $700\text{ }^\circ\text{C}$  5 jam.



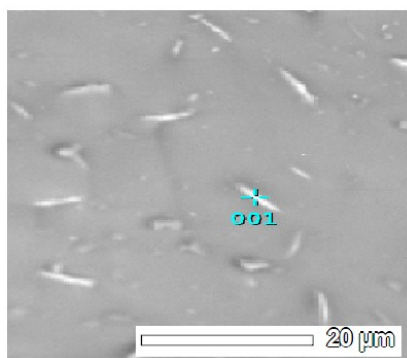
Gambar 5. Struktur gelas-limbah *amorf*



Gambar 6. Struktur gelas limbah yang mengalami devitrifikasi.

Pada Gambar 5 tampak pola difraksi yang tidak muncul puncak-puncak dan hal ini menunjukkan bahwa struktur gelas limbah adalah *amorf*. Sedangkan pola difraksi pada Gambar 6 menunjukkan adanya puncak-puncak pada sudut  $2\theta$  tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa struktur amorf telah berubah menjadi kristalin. Gambar 6 merupakan pola difraksi XRD dari gelas limbah A dengan kandungan limbah 23,21 %berat yang mengalami pemanasan pada suhu  $700\text{ }^\circ\text{C}$  selama 5 jam

Analisis struktur mikro menggunakan SEM terhadap gelas limbah A yang mengalami devitrifikasi pada suhu 700 °C selama 5 jam ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Struktur Mikro Gelas Limbah A yang mengalami Devitrifikasi

Pada Gambar 7 tampak adanya kristal seperti jarum yang tersebar pada permukaan contoh gelas limbah A yang mengalami devitrifikasi pada suhu 700 °C selama 5 jam. Analisis *spot* menggunakan EDS pada kristal putih menunjukkan bahwa kristal tersebut didominasi oleh oksida SiO<sub>2</sub>.

## KESIMPULAN

*Fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai pada imobilisasi LCTT menggunakan gelas borosilikat. Untuk mendapatkan karakteristik gelas limbah yang memenuhi standar maka pemanfaatan *fly ash* sebagai *glass frit* harus ditambahkan lagi oksida SiO<sub>2</sub> dan kandungan limbah dibatasi sekitar 20 -25 %berat. Penggunaan *fly ash* sebagai *glass frits* disamping dapat menghasilkan gelas limbah yang memenuhi standar juga proses imobilisasi menjadi lebih ekonomis karena harga *fly ash* jauh lebih murah dibandingkan dengan SiO<sub>2</sub> dari bahan kimia.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. NEGARA REPUBLIK INDONESIA, Pengelolaan Limbah Radioaktif, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2002, Jakarta, 2002.
- [2]. IAEA, *Spent Fuel Reprocessing Options*, TECDOC Series No.1587, IAEA, Vienna 2008.
- [3]. IAEA, *Management of Reprocessed Uranium Current Status and Future Prospects*, Tecdoc Series No. 1529, IAEA, Vienna, 2007.
- [4]. AISYAH, "Sensitisasi Pada Bahan Canister Limbah Cair Tingkat Tinggi Yang Diimobilisasi dengan Gelas", *Naskah Presentasi Peneliti Utama*, PTLR-BATAN, Serpong, 20 November 2012.
- [5]. KANWAR RAJ AND KAUSHIK, C.P, "Glass Matrices for Vitrification of Radioactive Waste: an Update on R & D Efforts", *Materials Science and Engineering*, 2: 1-6, 2006.
- [6]. JAEA, *Second Progress Report on Research and Development for the Geological Disposal of HLW in Japan*, JAEA, Japan, 2000.



- [7]. AISYAH, MARTONO, H., "Pengelolaan Limbah Radioaktif Hasil Samping Produksi Radioisotop Molibdenun-99", *Prosiding Seminar Teknologi Pengelolaan Limbah V*, hal. 26-38, PTLR-BATAN, Serpong, 2007.
- [8]. MARTONO, H., AISYAH, WATI, "Pengolahan Limbah Cair Hasil Samping Pengujian Bahan Bakar Paska Iradiasi Dari Instalasi Radiometalurgi", *J. Teknol. Pengelolaan Limbah*, Vol.10(2), hal.1-8, 2007.
- [9]. MARTONO,H., "Persyaratan Gelas-Limbah Untuk Vitrifikasi Skala Industri Dan Penyimpanan", *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, Vol.8(1), hal.8-15, 2005.
- [10]. IAEA, *Spent Fuel and High Level Waste : Chemical Durability and Performance Under Simulated Repository Conditions*, IAEA, Vienna, 2007.
- [11]. MARTONO, H., AISYAH, "Pengaruh Radiasi Terhadap Gelas-Limbah Hasil Vitrifikasi Limbah Aktivitas Tinggi", *Prosiding Seminar Nasional Kimia 2012*, hal. D14-D22 Jurusan Kimia-FMIPA, UNS, Surabaya, 2012.
- [12]. EMEM, W., AND MORIMOTO, S., "Preparation Of Glass-Ceramics Using flyash As A RawMaterial", *Suranaree J. Sci. Technol.* Vol. 13, No. 2, pp. 137-142, 2005.
- [13]. MARTONO, H., "Perbandingan Gelas Keramik dan Gelas Borosilikat untuk Solidifikasi Limbah Aktivitas Tinggi", *Prosiding Seminar Nasional ke 37, Jaringan Kerja Sama Kimia Indonesia*, hal.121--126, Jakarta, 2006.
- [14]. AISYAH DAN MARTONO, H., "Pengaruh Perlakuan Panas Dan Kandungan Limbah Terhadap Perubahan Struktur Gelas Limbah", *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, Volume 13, Number 2, hal. 8-17, 2010.
- [15]. AISYAH, "Perubahan Komposisi Bahan Pembentuk Gelas Pada Karakteristik Gelas Limbah", *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, Volume 15 Nomor 2, hal 1-14, 2012.
- [16]. FARMAN, I., *Nuclear Materials Nuclear Waste Lecture 2: Incorporation of radionuclides in immobilisation matrices*, Department of Earth Sciences Cambridge University, 2011.
- [17]. SHIOTSUKI, M. et al., "Perspectives on Application and Flexibility of LWR Vitrification Technology for High Level Waste Generated from Future Fuel Cycle System", *Proceedings of Waste Management 2006*, February 26 - March 2, Tucson, 2006, Available: [http://jolifukyu.tokai-sc.jaea.go.jp/fukyu/mirai-en/2006/8\\_2.html](http://jolifukyu.tokai-sc.jaea.go.jp/fukyu/mirai-en/2006/8_2.html), diakses pada 08-02-2010.
- [18]. IAEA, *Strategy and Methodology for Radioactive Waste Characterization*, Tecdoc -1537, IAEA, Vienna, 2007.
- [19]. PRADO, M.,O., MESSI, N.,B.,et.all., "The Effects of Radiation on The Density of an Aluminoborosilicate Glass", *Journal of Non Crystalline Dolid*, 289:175-184, 2001. Available: <http://www.lamav.ufscar.br/artpdf/jncs289.pdf>, diakses pada 15 -01- 2011
- [20]. JIS K0058-1, Leaching Test Methods, JSA, Japan, 2009.
- [21]. WATI DAN HERLAN, M., "Pengaruh Kondisi Penyimpanan dan Air Tanah Terhadap Laju Pelindihan Radionuklida dari Hasil Solidifikasi", *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, Vol.12.No.1,hal. 19-26, 2009.



## PENGAMBILAN KHROM DARI LIMBAH CAIR MELALUI PROSES REDUKSI DAN KOAGULASI-FLOKULASI

Endang Nuraeni, Mirawaty, Zainus Salimin  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**PENGHILANGAN KHROM DARI LIMBAH CAIR MELALUI PROSES REDUKSI DAN KOAGULASI FLOKULASI.** Limbah cair yang mengandung khrom ditimbulkan antara lain dari kegiatan produksi radioisotop I-131, industri pelapisan logam (electroplating), penyamakan kulit dan lain-lain. Limbah tersebut bersifat racun dan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan sehingga perlu diolah terlebih dahulu sebelum dilepas ke lingkungan. Khrom dapat dijumpai dalam bentuk khrom heksavalen dan khrom trivalen. Khrom heksavalen berbentuk  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$  dalam suasana asam dan  $\text{CrO}_4^{-2}$  dalam suasana basa, sedangkan khrom trivalent dalam larutan berbentuk  $\text{Cr}^{+3}$ . Khrom heksavalen mengandung daya racun yang lebih tinggi dibanding trivalen. Penghilangan khrom dari limbah cair dengan proses reduksi dan koagulasi flokulasi telah dilakukan. Proses reduksi krom heksavalen menjadi trivalent dengan penambahan reduktor KI dengan variasi penambahan 5, 6, 7, 8, 9 dan 10 g per 300 ml limbah simulasi, kemudian dilanjutkan dengan presipitasi  $\text{Cr}^{+3}$  menggunakan kapur 3 g. Kondisi optimum reaksi reduksi terjadi pada supernatant dengan konsentrasi  $\text{Cr}^{+3}$  yang minimum. Besarnya penambahan KI yang paling optimum selanjutnya digunakan untuk proses koagulasi-flokulasi. Koagulan kapur dan tawas diberikan dengan dosis 3, 4, 5 dan 6 g per 300 ml limbah mengandung 92 ppm khrom. Hasil terbaik pada percobaan ini ditunjukkan pada reduktor KI 7 g dengan koagulan kapur 4 g per 300 ml limbah yang menghasilkan konsentrasi khrom pada supernatant 0.32 ppm atau 99,65% khrom terpisah. Pada kondisi dosis reduktor KI 7 g dengan tawas 4 g menghasilkan khrom pada supernatant dengan konsentrasi 1,22 ppm atau 98,68% khrom terpisah. Hal ini telah memenuhi syarat kualitas lingkungan.

Kata kunci: toksik, reduksi, koagulasi, flokulasi

### ABSTRACT

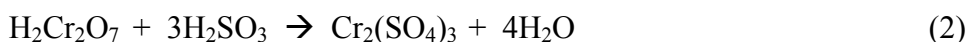
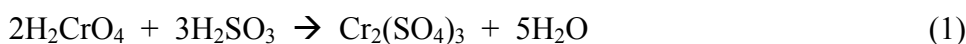
**REMOVING OF CHROMIUM FROM LIQUID WASTE BY REDUCTION AND COAGULATION-FLOCCULATION PROCESSES.** Chromium liquid waste is generated from the industrial activities of I-131isotope production, electro-plating, covering leather, etc. Considering its negative impact to the environment caused by toxic behavior of chromium, it is necessary to treat chemically that's liquid waste. The hexavalent chromium having the form of  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$  on acid milieu or  $\text{CrO}_4^{-2}$  on basic milieu is more toxic than trivalent chromium of  $\text{Cr}^{+3}$ . The removing of chromium from liquid waste by reduction and coagulation-flocculation processes was performed. The reduction of hexavalent chromium to trivalent was performed using KI reductor on its dose variation of 5, 6, 7, 8, 9, and 10 g per 300ml of chromium simulation waste, it is followed by precipitation of  $\text{Cr}^{+3}$  using 3 g of lime. The minimum concentration of  $\text{Cr}^{+3}$  on the results of water supernatant was the optimum condition of reduction reaction, its dose of KI reduction was then utilized for coagulation-flocculation process. The coagulant of lime and alum were utilized on the dose of 3, 4, 5, and 6 g per 300 ml of waste containing of 92 ppm of chromium respectizely. The best result of experiment was achieved at the dose of KI reductor of 7 g and lime coagulant of 4 g for 300 ml waste giving the chromium concentration on the water supernatant of 0.32 ppm or 99.65% of chromium separated. On the dose of KI reductor of 7 g and alum of 4 g gives the chromium concentration on the water supernatant of 1.22 ppm or 98.68% of chromium separated conforming its environmrntal standard quality.

**Keywords :** toxic behavior, reduction, coagulation, flocculation

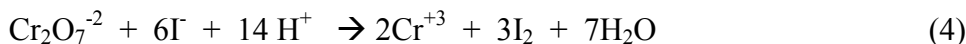
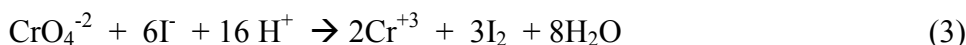
## PENDAHULUAN

Limbah cair yang mengandung khrom ditimbulkan antara lain dari kegiatan produksi radioisotop I-131, industri pelapisan logam (*electroplating*) dan industri penyamakan kulit[1]. Khrom yang dijumpai dialam adalah khrom trivalent yang dalam larutan berbentuk  $\text{Cr}^{+3}$  dan khrom heksavalen yang berbentuk  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$  dalam suasana asam dan  $\text{CrO}_4^{-2}$  dalam suasana basa [2,3]. Khrom memberikan dampak negatif terhadap manusia yaitu menyebabkan iritasi terhadap kulit dan mata, gangguan saluran pencernaan, hati, ginjal dan sistem pembentukan darah. Khrom heksavalen mempunyai toksisitas yang lebih besar dibanding khrom trivalen. Untuk menghindari dampak negatif khrom, limbah tersebut harus diolah. Khrom heksavalen diubah menjadi khrom trivalen melalui reaksi reduksi untuk menurunkan toksisitasnya. Selanjutnya khrom trivalen diendapkan dengan menggunakan koagulan kapur atau tawas, kemudian endapan dipisahkan dari beningannya sehingga diperoleh larutan dengan kadar khrom yang memenuhi nilai baku mutu.

Reduktor yang dapat digunakan adalah  $\text{H}_2\text{SO}_3$ , KI,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ , dan garam fero [4,5,6]. Reaksi reduksi khrom hexavalen menjadi trivalen dengan reduktor  $\text{H}_2\text{SO}_3$  adalah sebagai berikut [4,5]:



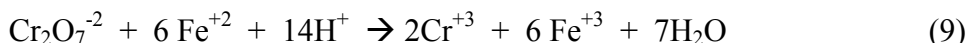
Reaksi reduksi khrom hexavalen menjadi khrom trivalen dengan reduktor KI adalah sebagai berikut [6] :



Reaksi reduksi khrom hexavalen menjadi khrom trivalen dengan reduktor  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  adalah sebagai berikut [4,5]:



Reaksi reduksi khrom hexavalen menjadi khrom trivalen dengan reduktor garam fero adalah sebagai berikut [4,5] :



Reaksi pengendapan ion  $\text{Cr}^{+3}$  dengan koagulan kapur menjadi endapan  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  adalah sebagai berikut [4,5,6] :



Pengendapan ion  $\text{Cr}^{+3}$  dengan koagulan tawas ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) berlangsung melalui tahapan sebagai berikut :

- (1) Ion  $\text{Cr}^{+3}$  bereaksi secara langsung dengan ion hidroksil ( $\text{OH}^-$ ) yang ada dalam larutan membentuk endapan  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  melalui reaksi 10

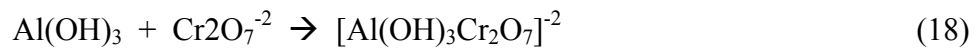
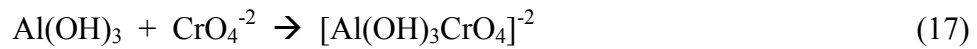
(2) Tawas bereaksi dengan ion hidroksil yang ada dalam larutan membentuk endapan  $\text{Al(OH)}_3$ . Kation  $\text{Al}^{+3}$  sangat elektropositif sehingga endapan  $\text{Al(OH)}_3$  dapat menarik anion dalam larutan secara elektrostatis seperti anion hidroksil atau anion  $\text{CrO}_4^{-2}$ . Endapan tersebut pada suasana basa dengan pH diatas 8,2 membentuk awan negatif dalam bentuk  $\text{Al(OH)}_4^-$  atau  $\text{Al(OH)}_5^{-2}$  atau  $\text{Al(OH)}_6^{-3}$  seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Endapan awan negatif tersebut akan menarik kation  $\text{Cr}^{+3}$  sehingga terbentuk flok yang kemudian mengendap karena gaya gravitasi. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut [7] :



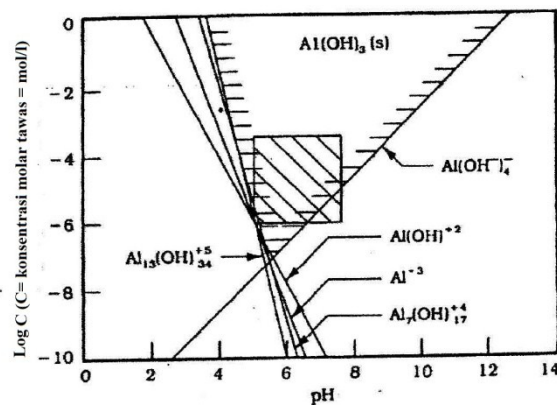
Endapan  $\text{Al(OH)}_3$  berawan negatif ditunjukkan dengan formula sebagai berikut :



Apabila dalam larutan masih terdapat anion  $\text{CrO}_4^{-2}$  atau  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$  maka terjadi interaksi  $\text{Al(OH)}_3$  dengan anion tersebut secara elektrostatis dengan reaksi :



Bentuk dari  $[\text{Al(OH)}_3\text{Cr}_2\text{O}_7]^{-2}$  merupakan endapan  $\text{Al(OH)}_3$  yang berawan negatif juga.



**Gambar 1.** Grafik Kelarutan Aluminium Hidroksida

## TATA KERJA

### Bahan

Bahan yang digunakan memiliki kemurnian *pro-analysis* dari E-Merck, yaitu kalium khromat, kalium bikromat, kalium iodida, kapur, tawas, natrium hidroksida, dan asam sulfat.

### Metode

#### a. Pembuatan limbah simulasi

Limbah cair simulasi yang mengandung konsentrasi khrom 92 ppm (khrom trivalent 41 ppm dan khrom hexavalen 41 ppm) dengan pH 2 dibuat melalui pelarutan 0,179 g kristal kalium khromat  $K_2CrO_4$  dan 0,369 g kristal khrom nitrat monohidrat  $Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  kedalam 1 liter aquades dan pengaturan pH dilakukan dengan asam sulfat.

#### b. Proses reduksi khrom hexavalen dengan KI

Tiga ratus ml limbah cair yang berkadar khrom 92 ppm dengan pH 2 ditambahkan 2g KI kemudian diaduk. Larutan hasil pengadukan ditambah 3g kapur dan diaduk kembali. Larutan didiamkan sehingga terbentuk endapan kemudian dilakukan pemisahan. Beningan yang diperoleh dianalisis kadar khromnya dan diukur pH nya. Pengurangan kadar khrom dalam larutan dan persen penyisihan khromnya dihitung.

Percobaan tersebut diulangi kembali dengan dosis penambahan KI berturut-turut 3; 3,5; 4; 4,5; dan 5 g. Dosis penambahan KI terpilih adalah dosis yang memberikan kadar khrom dalam beningan yang paling kecil atau persen penyisihan khrom yang terbesar.

#### c. Proses koagulasi-flokulasi dengan kapur

Tiga ratus ml limbah cair yang berkadar 92 ppm dan ber pH 2 ditambah kapur 2,5g dan diaduk. Larutan hasil pengadukan kemudian didiamkan sehingga terbentuk endapan dan dilakukan pemisahan. Beningan yang diperoleh dianalisis kadar khromnya dan diukur pHnya. Pengurangan kadar khrom dalam larutan dan persen penyisihan kandungan khromnya dihitung. Percobaan tersebut diulangi kembali dengan dosis penambahan kapur berturut-turut 3; 3,5; 4; 4,5; dan 5 g. Percobaan tersebut diulangi kembali pada 300 ml limbah cair yang telah dikenai proses reduksi dengan proses penambahan KI terpilih.

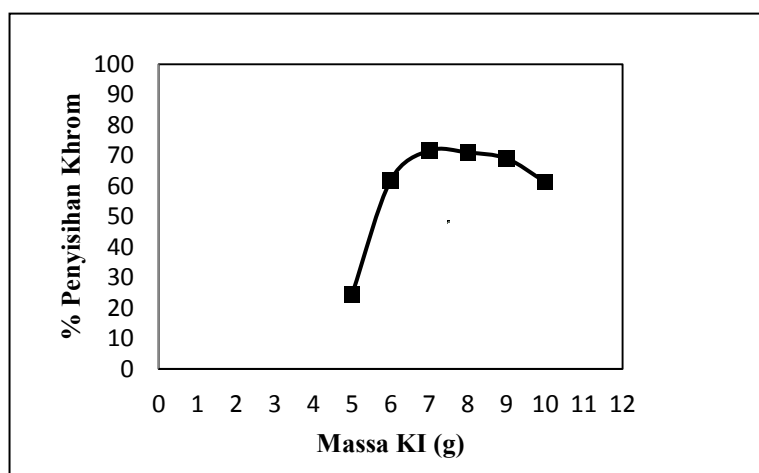
#### d. Proses koagulasi – flokulasi dengan tawas

Tiga ratus ml limbah cair yang berkadar 92 ppm khrom berpH 2 ditambahkan sodium hidroksida dan diaduk untuk penetralan larutan. Kedalam larutan netral tersebut ditambahkan tawas 2,5 g dan diaduk. Larutan kemudian didiamkan sehingga terbentuk endapan yang dapat dipisahkan dari beningannya. Beningan yang diperoleh dianalisis kadar khromnya dan diukur pHnya. Pengurangankadar khrom dalam larutan dan persen penyisihan khromnya dihitung. Percobaan tersebut diulangi kembali dengan dosis penambahan tawas berturut-turut 3; 3,5; 4; 4,5; dan 5 g. Percobaan tersebut diulangi kembali terhadap 300 ml limbah cair yang telah dikenai proses reduksi dengan dosis penambahan KI terpilih.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pembahasan

Hasil proses reduksi khrom heksavalen dengan reduktor KI ditunjukkan pada Gambar 1. Terlihat bahwa semakin besar dosis penambahan KI memberikan persen penyisihan khrom semakin meningkat dimana jumlah endapan  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  semakin besar karena heksavalen yang tereduksi menjadi trivalen semakin banyak sesuai dengan persamaan reaksi (3). Khrom trivalen bereaksi dengan kapur membentuk endapan  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  sesuai dengan reaksi (10). Sesuai Gambar 2 dosis penambahan KI yang paling optimal adalah 7 g dalam 300 ml limbah atau sebesar 23,33 g/l dengan persen penyisihan khrom 72%. Pada penambahan KI lebih besar 7 g memberikan penurunan kembali persen penyisihan khrom, hal ini dikarenakan dalam larutan terdapat kelebihan ion  $\text{I}^-$  yang akan tereduksi menjadi  $\text{I}_2$  sesuai reaksi (5). Kelebihan molekul  $\text{I}_2$  dalam larutan menyebabkan reaksi (3) bergeser kembali ke kiri atau khrom trivalen kembali lagi menjadi heksavalen.



**Gambar 2.** Pengaruh Penambahan Massa Reduktor KI dalam 300 ml Limbah Terhadap Persentase Penyisihan Khrom.

Hasil proses koagulasi–flokulasi dengan kapur ditunjukkan pada Tabel 1, terlihat bahwa persen penyisihan khrom dengan proses reduksi berharga lebih besar dari pada tanpa reduksi. Hal tersebut dikarenakan khrom heksavalen melalui reduksi dengan KI berubah menjadi trivalen sesuai reaksi (3) atau (4) yang kemudian terendapkan oleh kapur menjadi  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  sesuai reaksi (10). Pada Tabel 1 terlihat dengan proses reduksi pada setiap dosis penambahan kapur yang sama nilai pH akhir larutan berharga lebih kecil dari pada tanpa reduksi, konsentrasi ion  $\text{OH}^-$  dalam larutan berharga kecil karena telah dipakai untuk reaksi pengendapan khrom trivalen. Penambahan koagulan kapur semakin banyak memberikan kenaikan khrom yang terendapkan sesuai reaksi (10) sampai nilai optimum penambahan kapur sebesar 4 g untuk 300 ml limbah atau dosis 13,33 g/l dengan persentase penyisihan 99,65%. Penambahan kapur melebihi 4 g menyebabkan penurunan persentase penyisihan khrom karena terdapat kelebihan ion  $\text{OH}^-$  yang menarik kembali ion khrom yang telah jadi endapan.

**Tabel 1.** Pengaruh Penambahan Koagulan Kapur Terhadap Persen Penyisihan Khrom dalam 300 ml Limbah Cair

Dosis Ca(OH)	Tanpa Reduksi			Dengan Reduksi		
	pH larutan	Kadar Khrom dalam larutan (ppm)	% Penyisihan Khrom	pH larutan	Kadar Khrom dalam larutan (ppm)	% Penyisihan Khrom
0,0	2,0	92,00	-	2,0	92,00	-
2,5	7,5	79,73	09,70	-	-	-
3,0	8,5	38,36	56,55	6,5	26,29	71,70
3,5	9,0	38,64	56,23	7,0	13,96	84,98
4,0	9,5	39,87	56,14	8,0	0,33	99,65
4,5	10,0	40,03	54,66	8,5	0,42	99,50
5,0	10,5	42,63	51,72	9,0	0,75	99,20

Hasil proses koagulasi-flokulasi dengan tawas ditunjukkan pada Tabel 2, terlihat bahwa persen penyisihan khrom dengan proses reduksi berharga lebih besar daripada tanpa reduksi. Hal tersebut dikarenakan kadar khrom trivalen menjadi lebih besar, terdapat perolehan penambahan dari hasil reduksi khrom heksavalen. Ion  $Cr^{+3}$  ada yang bereaksi secara langsung dengan ion hidroksil yang ada dalam larutan dari penetralan sesuai reaksi (10). Pada waktu penambahan tawas, terbentuk endapan  $Al(OH)_3$  sesuai reaksi (12), dan saat ada kelebihan ion  $OH^-$  maka endapan  $Al(OH)_3$  akan berawan negatif mengikuti persamaan (13), (14), dan (15) serta Gambar 1. Kation  $Cr^{+3}$  akan terjepit dalam awan negatif dan jatuh mengendap karena gravitasi sesuai reaksi (16). Dosis penambahan tawas 4 g per 300 ml atau 13,33 g/l memberikan persen penyisihan khrom yang paling optimal sebesar 98,68 %.

**Tabel 2.** Pengaruh Penambahan Koagulan Tawas Terhadap Persen Penyisihan Khrom untuk 300 ml Limbah Cair

Dosis Tawas	Tanpa Reduksi			Dengan Reduksi		
	pH larutan	Kadar Khrom dalam larutan (ppm)	% Penyisihan Khrom	pH larutan	Kadar Khrom dalam larutan (ppm)	% Penyisihan Khrom
0	2	92,00	-	2	92	-
2	7	77,02	16,40	7	20,11	78,32
3	7	54,83	40,50	7	4,99	94,62
4	7	54,91	40,40	7	1,22	98,68
5	7	54,87	40,44	7	1,29	98,53
6	7	54,98	40,32	7	1,31	98,51
7	7	54,93	40,38	7	1,37	98,40

Sesuai Tabel 2 untuk proses tanpa reduksi, pada dosis penambahan tawas sama dengan atau lebih dari 3 g memberikan persen penyisihan khrom yang tetap pada nilai yang relatif sama. Hal tersebut berarti setelah dosis 3 g penambahan tawas tidak merubah harga persen penyisihan khrom. Hal ini terjadi karena tidak ada interaksi koagulan dengan khrom untuk mengendapkannya. Dalam kondisi tanpa reduksi, 50% khrom masih dalam bentuk heksavalen, pada keadaan tersebut hasil interaksi  $Al(OH)_3$  dan anion khromat atau bikhromat sesuai reaksi (17) atau (18) masih berwujud flok yang kecil dan mengapung, tidak berinteraksi secara elektrostatis dengan kation untuk bisa mengendap secara gravitasi.

Komparasi hasil koagulasi-flokulasi terhadap limbah cair yang telah direduksi dengan pereduksi KI berturut-turut dengan koagulan kapur dan tawas



sesuai Tabel 1 dan Tabel 2, terlihat bahwa penggunaan koagulan kapur lebih efektif untuk memisahkan khrom dari larutan sebagai endapan khrom hidroksida. Mekanisme pengendapan langsung untuk khrom trivalen dengan kapur lebih baik daripada melalui koagulasi-flokulasi dengan tawas.

## KESIMPULAN

Hasil percobaan menunjukkan bahwa hasil optimum pemisahan khrom dari limbah cair yang mempunyai kadar khrom trivalen 41 ppm, heksavalen 41 ppm dan pH 2 dengan kombinasi proses reduksi menggunakan reduktor KI dosis 23,33g/l dan proses koagulasi-flokulasi dengan kapur dosis 13,33 g/l memberikan persentase penyisihan khrom 99,65% atau kadar khrom tertinggal dalam larutan 0,33 ppm. Kondisi ini telah memenuhi standar baku mutu. Khrom trivalen awal dan hasil reduksi heksavalen terendapkan dalam bentuk khrom hidroksida. Pada proses koagulasi saja dengan kapur dosis 13,33 g/l tanpa proses reduksi terlebih dahulu hanya memberikan persen penyisihan khrom 56, 55% atau kadar khrom tertinggal 38,36 ppm yang belum memenuhi standar baku mutunya. Proses pemisahan khrom dengan kombinasi reduksi menggunakan reduktor KI dosis 23,33 g/l dan koagulasi-flokulasi dengan tawas dosis 13,33 g/l memberikan persen penyisihan khrom 98,68% atau kadar khrom tertinggal dalam larutan 1,22 ppm.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Zainus Salimin, Endang Nuraeni, *Removal Phenomena of Cation, Anion, Inorganic and Organic Contents on Water Treatment for Preparation of Raw Water for Drinking Water*, Water Supply Management System and Social Capital, Volume 3, Universitas Brawijaya Press (UB Press), Malang, Indonesia, 2012.
- [2]. Tchobanoglous, G., et.al., *Waste Water Engineering, Treatment and reused, Fourth Edition*, McGraw Hill Book Company, Singapore, 2003.
- [3]. Vogel., *Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semi Makro*, Edisi 5, PT Kalman Media Pustaka, Jakarta, 1985.
- [4]. William Wesly Eckenfelder, Jr., *Industrial Waste Pollution Control*, Third Edition, McGraw Hill Book Company, New York, 2000.
- [5]. William Wesly Eckenfelder, Jr., *Industrial Waste Pollution Control*, Second Edition, McGraw Hill Book Company, New York, 1989.
- [6]. William C Blackman, Jr., *Basic Hazardous Waste Management*, Lewis Publishers, Florida, USA, 1993.
- [7]. Tom D Reynolds, , *Unit Operation and Processes in Environmental Engineering*, PWS Publishing Company, Boston, 1982.



## PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DARI INDUSTRI : IMOBILISASI LIMBAH RADIOAKTIF CAIR TINGKAT TINGGI DENGAN BAHAN MATRIKS SYNROC TITANAT

**Gunandjar, Titik Sundari, Yuli Purwanto, Sugeng Purnomo**

*Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-Badan Tenaga Nuklir Nasional  
Kawasan Puspiptek Serpong Gedung 50, Tangerang Selatan, Banten 15310  
E-mail: gunand-m@batan.go.id*

### ABSTRAK

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DARI INDUSTRI: IMOBILISASI LIMBAH RADIOAKTIF CAIR TINGKAT TINGGI DENGAN BAHAN MATRIKS SYNROC TITANAT.** Dilakukan penelitian imobilisasi limbah cair radioaktif tingkat tinggi (LCRTT) dengan bahan matriks synroc titanat. Penelitian ini bertujuan untuk imobilisasi LCRTT melalui proses pemadatan menggunakan synroc titanat sebagai bahan matriks melalui proses sintering pada suhu tinggi yang merupakan pengembangan dari proses pres-panas isostatik. Proses imobilisasi dilakukan dengan cara mencampurkan LCRTT simulasi dengan prekursor oksida, kemudian campuran tersebut dikeringkan, dikalsinasi pada suhu 750 °C, kemudian dipres dalam cetakan. Proses berikutnya adalah sintering pada suhu 1000 - 1300 °C selama 1 – 4 jam untuk membentuk suatu **synroc** keramik multi-fase yang padat. Komposisi prekursor oksida (dalam % berat) adalah : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5,4); BaO (5,6); CaO (11,0); TiO<sub>2</sub> (71,4) dan ZrO<sub>2</sub> (6,6). Tingkat muat limbah dalam blok synroc limbah divariasikan antara 10 – 60 % berat. Kualitas blok synroc limbah ditentukan dengan pengujian densitas, kuat tekan, dan laju pelindihan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kualitas terbaik blok synroc limbah diperoleh pada tingkat muat limbah 20 % berat, proses sintering pada suhu 1200 °C selama 3 jam, dengan harga densitas 3,35 g/cm<sup>3</sup>, kuat tekan 14,18 kN/cm<sup>2</sup>, laju pelindihan total 2,5x10<sup>-3</sup> g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>, dan laju pelindihan Cs, Sr, dan U berturut-turut adalah 4,1x.10<sup>-4</sup> g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>, 2,3x10<sup>-6</sup> g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>, dan 6,3x10<sup>-7</sup> g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>. Kualitas blok synroc limbah hasil imobilisasi dengan proses sintering tersebut sesuai dengan proses pres-panas isostatik.

Kata Kunci : imobilisasi limbah radioaktif, limbah radioaktif cair aktivitas tinggi, synroc

### ABSTRACT

**TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL LIQUID RADIOACTIVE WASTE TREATMENT : THE IMMOBILIZATION OF HIGH LEVEL RADIOACTIVE LIQUID WASTES USING MATRIX MATERIAL OF SYNROC TITANATE.** The research of immobilization of high level radioactive liquid wastes (HLLW) using matrix material of titanate synroc have been carried out. The research aim to immobilization of the HLLW by solidification using matrix material of titanate synroc through sintering process at high temperature as development of hot isostatic pressing process. Immobilization process was carried-out by mix the HLLW simulation with precursor oxide, then drying the mixture, calcination at 750 °C, then it was **pressed** in the moulder. Further process are sintering at the temperature of 1000 – 1300 °C with the time 1-4 hours to form the **synroc of** solid multiphase ceramic. The composition of precursor oxide (in % weight) i.e : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5,4); BaO (5,6); CaO (11,0); TiO<sub>2</sub> (71,4) and ZrO<sub>2</sub> (6,6). Waste loading in the waste synroc block are 10 – 60 % weight. The quality of the synroc block was determined by testing of density, pressing strength, and leaching-rate. The testing

results showed that the best quality of waste synroc block was obtained at the waste loading 20% weight, sintering process at 1200 °C for 3 hours with values of density 3,35 g/cm<sup>3</sup>, pressing strength 14,18 kN/cm<sup>2</sup>, total leaching-rate 2,5.10<sup>-3</sup> g.cm<sup>-2</sup>.day<sup>-1</sup>, and leaching-rate of Cs, Sr, and U are 4,1x.10<sup>-4</sup> g.cm<sup>-2</sup>.day<sup>-1</sup>, 2,3x10<sup>-6</sup> g.cm<sup>-2</sup>.day<sup>-1</sup> and 6,3x10<sup>-7</sup> g.cm<sup>-2</sup>.day<sup>-1</sup> respectively. The quality of the waste synroc block produced by the sintering process conform to the hot isostatic pressing process.

Keywords : immobilization of radioactive waste, high level radioactive waste, synroc.

## PENDAHULUAN

Di Indonesia, limbah cair radioaktif tingkat tinggi (LCRTT) ditimbulkan dari pengujian bahan bakar nuklir pasca iradiasi yang dilakukan di Instalasi Radiometalurgi (IRM). Hal tersebut karena Indonesia pada kegiatan di bidang daur bahan bakar nuklir pada pemanfaatan tenaga nuklir di bidang energi menganut strategi daur bahan bakar nuklir terbuka, sehingga tidak melakukan proses olah ulang bahan bakar bekas reaktor nuklir. Oleh karena itu limbah radioaktif tingkat tinggi (LRTT) yang ditimbulkan dari pengoperasian reaktor nuklir adalah bahan bakar bekas reaktor nuklir itu sendiri.

Pengembangan bahan bakar nuklir untuk reaktor riset jenis MTR (Material Test Reactor) di Indonesia untuk memasok bahan bakar reaktor RSG GAS telah dikembangkan yang semula dari jenis U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> menjadi jenis uranium silisida (U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>) masing-masing dengan pengkayaan uranium 20 % berat <sup>235</sup>U. Keduanya telah dilakukan uji pasca iradiasi yang menimbulkan LCRTT.

Pengelolaan LCRTT harus dilakukan untuk menjamin keselamatan pekerja dan masyarakat serta untuk perlindungan lingkungan hidup terhadap potensi bahaya radiasi baik untuk generasi sekarang maupun yang akan datang. Untuk itu dilakukan imobilisasi (solidifikasi) LCRTT untuk mengungkung radionuklida dengan bahan matriks tertentu menjadi kemasan limbah yang siap disimpan dalam fasilitas penyimpanan lestari tanah dalam (*Deep Geological Disposal Facility*). Pemilihan bahan untuk imobilisasi (solidifikasi) didasarkan atas pertimbangan sebagai berikut <sup>[1]</sup> : (a). Proses imobilisasi (solidifikasi) mudah dan praktis; (b).Kandungan limbah atau tingkat muat limbah (*waste loading*) dalam kemasan/matriks tinggi; (c).Ketahanan kimia, yaitu laju pelindihannya sangat rendah; (d).Stabil terhadap radiasi; dan (e).Stabil terhadap panas akibat pemanasan gamma (*gamma heating*).

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN telah menerapkan dengan mantap teknologi sementasi untuk imobilisasi limbah khususnya golongan limbah radioaktif tingkat rendah (LRTR) dan limbah radioaktif tingkat sedang (LRTS) umur paroh pendek ( $T_{1/2} \leq 30$  tahun). Selanjutnya untuk mendukung program pemanfaatan tenaga nuklir di bidang kesehatan (kedokteran nuklir) dan bidang energi, maka perlu disiapkan teknologi imobilisasi LCRTT umur panjang yang ditimbulkan dari produksi radioisotop <sup>99</sup>Mo dan dari uji pasca iradiasi bahan bakar nuklir. Imobilisasi LCRTT tersebut telah dipelajari melalui solidifikasi (pemadatan) dengan proses vitrifikasi menjadi gelas borosilikat <sup>[2,3]</sup> dan juga dengan bahan polimer untuk imobilisasi limbah transuranium <sup>[4]</sup>.

Di negara-negara maju di bidang nuklir, strategi saat ini pengelolaan limbah cair radioaktif tingkat tinggi (LCRTT) umur panjang yang mengandung unsur-unsur hasil belah (hasil fisi), uranium, dan aktinida atau transuranium (TRU) dari

proses olah-ulang bahan bakar nuklir bekas dilakukan imobilisasi melalui solidifikasi (pemadatan) dalam gelas borosilikat (proses vitrifikasi), yang diikuti dengan penyimpanan lestari pada formasi tanah dalam (*Deep Geological Disposal Facility*). Strategi ini ternyata masih menghadapi masalah karena hasil penelitian para ahli geokimia bahwa gelas borosilikat limbah (hasil imobilisasi LCRTT dengan teknik vitrifikasi) ternyata masih kurang stabil bila disimpan di dalam tanah akibat adanya pemanasan gamma (*gamma heating*) di dalam gelas dan perbedaan suhu bumi (*geothermal gradient*) yang dapat menimbulkan suhu lebih dari 100 °C. Selain itu tidak dapat dijamin terhindar kontak air tanah dengan gelas, walaupun serangkaian lapisan tambahan seperti wadah limbah dari logam (*metal container*) dan *overpack* (bungkus luar) dari tanah liat telah digunakan di dalam fasilitas penyimpanan lestari pada formasi geologi tanah dalam<sup>[5]</sup>. Dengan alasan tersebut maka pengembangan teknologi imobilisasi LCRTT terus dilakukan untuk mencari teknologi yang lebih baik. Salah satu teknologi yang telah dikembangkan adalah metode *Synroc* (metode proses pembentukan *synroc*). Metode ini telah dikembangkan di Australia, Inggris, dan Jepang dalam rangka kerja sama dengan Australia<sup>[6]</sup>. *Synroc* adalah suatu bahan imobilisasi limbah bentuk kristalin yang terdiri dari gabungan fase-fase kristal titanat yang stabil. *Synroc* ini dipilih karena kestabilan geokimia dan kemampuan kolektif untuk imobilisasi (mengungkung) semua unsur-unsur radioaktif dalam LCRTT<sup>[7]</sup>. Perkembangan selanjutnya, *synroc* tidak hanya digunakan untuk imobilisasi LCRTT dari olah-ulang bahan bakar nuklir bekas, tetapi juga dikembangkan untuk limbah radioaktif cair aktivitas sedang (LCAS) umur panjang yang mengandung uranium (U), torium (Th) dan TRU/aktinida pemancar  $\alpha$  (alfa) termasuk limbah yang ditimbulkan dari produksi <sup>99</sup>Mo yang karena pertimbangan keselamatan digolongkan dalam LCRTT.

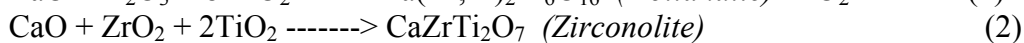
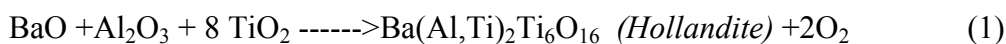
Dalam makalah ini disajikan hasil penelitian imobilisasi LCRTT simulasi dengan bahan matriks *synroc* titanat melalui proses sintering suhu tinggi sebagai pengembangan dan alternatif proses pres-panas isostatik. Optimasi proses imobilisasi dilakukan dengan parameter suhu sintering, waktu sintering, dan tingkat muat limbah. Kualitas blok *synroc* limbah hasil imobilisasi dilakukan pengujian berdasarkan densitas, kuat tekan dan laju pelindihan dalam fasa air. Penelitian ini dipersiapkan untuk pengolahan LCRTT di Indonesia.

## TEORI

Pengembangan bahan untuk imobilisasi LCRTT sebagai alternatif pengganti limbah gelas borosilikat pertama kali dikemukakan dengan ide dasar memasukkan limbah hasil belah dan aktinida ke dalam kisi-kisi kristal mineral sintesis yang telah diketahui mempunyai umur yang sangat panjang (beberapa juta tahun) di alam. Suatu contoh sebagai ilustrasi ditemukan *chemical zoning* dari mineral *zirconite* alam dalam umur 40 juta tahun yang ditemukan di Adamello Itali Utara, kristal tersebut mengandung : 2,7 – 17,1 % berat ThO<sub>2</sub> dan 0,7 – 6,0 % berat UO<sub>2</sub> dan telah dihitung dosis peluruhan  $\alpha$  adalah 0,2 – 1,0 x 10<sup>16</sup>  $\alpha$  /mg yang ekuivalen dengan umur suatu *synroc* yang disimpan selama 10<sup>5</sup> sampai 10<sup>6</sup> tahun<sup>[5]</sup>.

Perkembangan selanjutnya pada tahun 1978, RINGWOOD<sup>[8]</sup> menemukan *synroc* yang merupakan gabungan mineral titanat yang jauh lebih tahan terhadap

air dibanding dengan gelas borosilikat. Proses imobilisasi limbah dalam *synroc* dilakukan dengan cara mencampurkan limbah hasil belah atau aktinida dalam larutan asam nitrat dengan prekursor oksida (*precursor oxide*), kemudian campuran tersebut dikeringkan, dikalsinasi dan dipres-panas dibawah kondisi reduksi pada suhu sekitar 1200 °C untuk membentuk suatu *synroc* keramik multi-fase yang padat <sup>[9]</sup>. Komposisi prekursor oksida (dalam % berat) adalah : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5,4); BaO (5,6); CaO (11,0); TiO<sub>2</sub> (71,4) dan ZrO<sub>2</sub> (6,6). Fase-fase mineral utama dalam *synroc* adalah : *Hollandite* [Ba(Al,Ti)<sub>2</sub>Ti<sub>6</sub>O<sub>16</sub>], *Zirconolite* (CaZrTi<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), dan *Perovskite* (CaTiO<sub>3</sub>), selain itu terdapat fase titan-oksida dan fase-fase paduan (*alloy phases*) dalam jumlah lebih kecil. Pembentukan fase-fase utama mineral *synroc* terjadi pada suhu tinggi sekitar 1200 °C dengan reaksi sebagai berikut :



Sebagaimana tujuan awal pengembangan *synroc*, maka telah dikembangkan *synroc-C* yaitu jenis *synroc* yang dikembangkan untuk imobilisasi LCRTT yang ditimbulkan dari proses olah-ulang bahan bakar nuklir bekas. Fase-fase penyusun *synroc-C* (*synroc* standar) yang mengandung 20 % berat limbah aktivitas tinggi dan radionuklida yang masuk ke dalam kisi-kisi berbagai fase mineral yang ada ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi dan mineralogi *synroc-C* (*synroc* standar) yang mengandung 20 % berat limbah aktivitas tinggi <sup>[10]</sup>.

Fase mineral	% berat	Radionuklida dalam kisi fase mineral
a.Fase Utama :		
- <i>Hollandite</i> , Ba(Al,Ti) <sub>2</sub> Ti <sub>6</sub> O <sub>16</sub>	30	-Cs dan Rb.
- <i>Zirconolite</i> , CaZrTi <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	30	-Logam tanah jarang, aktinida.
- <i>Perovskite</i> , CaTiO <sub>3</sub>	20	-Sr, logam tanah jarang, dan aktinida
b.Fase Minor :		
-Titan Oksida	10	
-Fase paduan	5	- Tc, Pd, Rh, Ru, dll.
-Fase oksida lain	5	

Pada pengembangan *synroc* terbentuk fase turunan dari fase utama dengan unsur-unsur yang terkandung dalam limbah, yaitu : *pyrochlore* (CaATi<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, A =

Gd, Hf, Pu, dan U) yang merupakan turunan *zirconolite* dengan penambahan unsur penyerap neutron (Hf dan Gd) untuk mencegah terjadinya kritikalitas, *brannerite* ( $\text{AnTi}_2\text{O}_6$ , An = aktinida), dan *freudenbergite* ( $\text{Na}_2\text{Fe}_2\text{Ti}_6\text{O}_{16}$ ). Fase-fase utama dan fase turunan mineral *synroc-C* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Fase-fase Utama dan fase turunan dalam mineral *synroc-C* (standar)  
[10,11].

Fase Utama	Fase Turunan	Rumus Kimia Fase turunan
<i>Zirconolite</i>	<i>Pyrochlore</i>	$\text{CaATi}_2\text{O}_7$
<i>Perovskite</i>	<i>Brannerite</i>	$\text{An Ti}_2\text{O}_6$
<i>Hollandite</i>	<i>Freudenbergite</i>	$\text{Na}_2\text{Fe}_2\text{Ti}_6\text{O}_{16}$

Pembuatan blok *synroc* titanat limbah telah dikembangkan oleh ANSTO (Australia) yang menggunakan proses pres-panas isostatik pada suhu tinggi ( $1200\text{ }^\circ\text{C}$ ) menghasilkan blok *synroc* dengan densitas sekitar antara  $2,1\text{-}3,4\text{ g/cm}^3$ , yaitu tergantung jenis limbah (kandungan radionuklida) dan tingkat muat limbah (*waste loading*)<sup>[7]</sup>. *Synroc* titanat mampu mengungkung lebih kuat untuk unsur radioaktif dengan nomor massa yang lebih tinggi (seperti uranium) dibanding dengan unsur-unsur ringan. Laju pelindihan untuk uranium pada hari pertama sekitar  $5,0 \times 10^{-4}\text{ g.cm}^{-2}\text{.hari}^{-1}$ , kemudian dengan cepat turun dalam beberapa hari (10-30 hari) pertama dan secara *asymptotic* turun menuju suatu harga minimum sekitar  $5,0 \times 10^{-6}\text{ g.cm}^{-2}\text{.hari}^{-1}$ <sup>[12]</sup>. Berdasar kemampuan tersebut maka pada perkembangan terakhir *synroc* titanat sangat baik digunakan untuk imobilisasi limbah yang mengandung uranium seperti yang akan dilakukan dalam penelitian ini<sup>[12]</sup>. Berdasar Tabel 1 dan Tabel 2, uranium yang terkandung dalam limbah akan terperangkap dalam fase *zirconolite*, *perovskite*, *pyrochlore* dan *brannerite*.

Teknologi imobilisasi limbah dengan bahan matriks *synroc* melalui proses pres-panas isostatik yang dikembangkan ANSTO memerlukan alat pres-panas suhu tinggi. Salah satu alternatif proses lain adalah melalui proses sintering pada suhu tinggi (tanpa alat pres-panas), proses ini telah dipelajari di *Livermore National Laboratory*<sup>[7]</sup>. Pada penelitian ini akan dipelajari imobilisasi LCRTT yang mengandung uranium dan unsur hasil belah dengan bahan matriks *synroc* titanat tanpa melalui proses pres-panas, tetapi melalui proses sintering pada suhu tinggi yang cukup memerlukan tungku pemanas. Pada penelitian ini dicoba proses sintering pada suhu  $1000\text{-}1300\text{ }^\circ\text{C}$  selama waktu 1 - 4 jam. Kualitas hasil imobilisasi (dengan tingkat muat 10 – 60 % berat) ditentukan dengan melakukan uji karakteristik yang meliputi uji densitas, uji kuat tekan, dan laju pelindihan.

Uji densitas diperlukan dalam proses imobilisasi karena akan menjadi pertimbangan dalam perancangan tempat penyimpanan lestari karena semakin besar densitas dari blok maka akan memperbesar kapasitas tempat penyimpanan sehingga lebih efisien dan menghemat tempat yang akan digunakan. Kuat tekan merupakan parameter penting untuk mengevaluasi apabila blok terjatuh atau mengalami benturan guna menjamin keselamatan pada saat penanganan transportasi, penyimpanan sementara dan penyimpanan lestari blok *synroc*

tersebut, sedang uji laju pelindihan diperlukan sebagai pertimbangan sifat ketahanan terhadap pelindihan oleh fasa air dalam fasilitas penyimpanan lestari.

Komponen utama LCRTT adalah radionuklida hasil belah (*fission product*), uranium sisa dan sejumlah kecil transuranium (TRU) yaitu unsur-unsur aktinida setelah uranium yang mempunyai umur paruh panjang. Ada sekitar 500 unsur hasil belah yang bersifat radioaktif (Radionuklida) yang dihasilkan dalam reaksi fisi nuklir (pembelahan inti) dalam rentang unsur radionuklida dari  $Zn^{30}$  sampai  $Tb^{65}$  atau dengan massa antara 76-160. Namun, hanya ada sekitar 200 unsur yang mudah terdeteksi (karena yang lain umurnya sangat pendek) dan sekitar 18 unsur radionuklida utama yang memiliki hasil belah yang *yield*-nya lebih besar dari 1 %. radionuklida utama hasil belah dari  $U^{235}$  yang mempunyai umur paruh ( $T_{1/2}$ ) panjang dan *yield* tinggi adalah  $Tc^{99}$  ( $T_{1/2}=2,1 \times 10^5$  tahun),  $Cs^{137}$  ( $T_{1/2}=30,17$  tahun) dan  $Sr^{90}$  ( $T_{1/2}= 28,8$  tahun) [13]. Dari ketiga radionuklida ini yang memberikan kontribusi terbesar terhadap aktivitas LCAT adalah  $Cs^{137}$  dan  $Sr^{90}$ . Sedangkan untuk  $Tc^{99}$  aktivitasnya relatif jauh lebih rendah daripada  $Cs^{137}$  dan  $Sr^{90}$  karena umur paro  $Tc^{99}$  jauh lebih tinggi dari kedua radionuklida tersebut. Selain itu,  $Tc^{99}$  adalah pemancar  $\beta$  energi rendah (294 keV), sedangkan  $Cs^{137}$  pemancar gamma ( $\gamma$ ) energi sedang (546 keV) dan  $Sr^{90}$  pemancar  $\beta$  murni (1,17 MeV). Berdasarkan data tersebut maka dalam penelitian ini hanya dipilih radionuklida hasil belah  $Cs^{137}$  dan  $Sr^{90}$  saja (dan juga uranium) serta laju pelindihan total yang menjadi perhatian untuk menentukan kualitas blok *synroc* melalui pengujian laju pelindihannya.

## TATA KERJA

### Bahan

Bahan yang digunakan adalah bahan matriks *synroc* standard yaitu  $Al_2O_3$ ,  $BaO$ ,  $CaO$ ,  $TiO_2$ ,  $ZrO_2$ . Bahan limbah simulasi yaitu  $Sr(NO_3)_2$ ,  $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ,  $CsCl$ ,  $Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ ,  $CdCl \cdot H_2O$ ,  $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ , dan  $RuCl$ . Bahan pendukung yaitu uranil nitrat heksa hidrat (UNH),  $HNO_3$ ,  $NaOH$ ,  $HCl$  dan  $KCl$  ( semua bahan buatan E. Merk, kualitas p.a.) serta aquades.

### Peralatan

Alat yang digunakan adalah : alat cetak blok limbah, alat rolling *Gardco LabMill 8000*, jangka sorong *Krisbow Digital*, oven *Labtech LDO-080F*, alat uji tekan *Carver Hydraulic Unit model #3012*, alat ekstraksi (*Soxhlet*) *Iwaki*, *Furnace Vulcan A-550 1500 °C*, Spektrofotometer UV-VIS *Lambda 35 Perkin Elmer* dan Spektrofotometer Serapan Atom *Analist 400 Perkin Elmer*, dan alat-alat gelas laboratorium.

### Metode

#### a). Pembuatan Sampel Limbah Simulasi

Dibuat limbah cair radioaktif tingkat tinggi (LCRTT) simulasi dengan melarutkan garam-garam UNH,  $CsCl$ ,  $Sr(NO_3)_2$ ,  $CdCl \cdot H_2O$ ,  $Ce(NO_3)_3 \cdot H_2O$ ,  $Co(NO_3)_2$ ,  $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ , dan  $RuCl$  dengan pelarut  $HNO_3$  1 N dalam labu ukur 1000 ml, sehingga diperoleh LCRTT simulasi yang mengandung  $U = 4.000$  ppm,  $Cs = 2000$  ppm,  $Sr = 2000$  ppm,  $Cd = 500$  ppm,  $Ce = 500$  ppm,  $Co = 500$  ppm,  $Ba = 500$  ppm,  $Ru = 500$  ppm.



### b) Pembuatan blok *synroc* limbah variasi suhu dan waktu sintering serta tingkat muat limbah

Bahan prekursor oksida yang terdiri dari (dalam % berat) :  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (5,4),  $\text{BaO}$  (5,6),  $\text{CaO}$  (11,0),  $\text{TiO}_2$  (71,4),  $\text{ZrO}_2$  (6,6) dicampur sebagai bahan matriks *synroc*. Untuk tingkat muat limbah 30 % berat, dicampur 3,5 g bahan matriks *synroc* dengan 1,5 g limbah dan diaduk hingga homogen. Campuran tersebut dikeringkan pada suhu 100 °C, kemudian dikalsinasi dalam *furnace* pada suhu 750 °C. Serbuk hasil kalsinasi lalu dicetak dan dipres dalam cetakan berbentuk silindris, hasil cetakan dilepas dari cetakan kemudian dilakukan proses sintering dengan variasi suhu (1000 -1300 °C, waktu 3 jam) dan variasi waktu sintering (1-4 jam, suhu optimum). Percobaan diulang untuk variasi tingkat muat limbah 10 – 60 % berat. Masing-masing blok limbah hasil proses imobilisasi dilakukan pengujian densitas, kuat tekan, dan laju pelindihan (total, uranium, cesium dan strontium), sehingga diperoleh proses sintering yang optimum untuk mendapatkan kualitas blok *synroc* limbah yang terbaik.

### c) Pengujian blok *synroc* limbah

Pengujian densitas blok *synroc* limbah dilakukan dengan menentukan berat (dengan penimbangan) dan volume (dengan mengukur tinggi dan diameter) sampel blok limbah. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan alat uji tekan.

Pengujian laju pelindihan blok limbah dilakukan menurut *Japan Industrial Standard (JIS)*, yaitu laju pelindihan dipercepat dalam medium air<sup>[14]</sup>. Metode penentuan laju pelindihan ini sama seperti yang dikembangkan oleh IAEA<sup>[15]</sup>. Blok limbah dimasukkan dalam basket dan dipasang pada alat *soxhlet* untuk direfluks dengan air suling pada suhu 100 °C dan tekanan 1 atmosfer selama 6 jam. Pengurangan berat sampel blok *synroc* limbah sebelum dan sesudah pelindihan ditentukan untuk menentukan laju pelindihan total. Selanjutnya konsentrasi uranium dalam air pelindih ditentukan dengan metode Spektrofotometri UV-VIS untuk mengetahui jumlah uranium (U) yang terlindih, sedang konsentrasi Cs dan Sr ditentukan dengan metode Spektrofotometri serapan atom. Laju pelindihan total dan laju pelindihan U, Cs, dan Sr dalam blok *synroc* limbah dihitung dengan persamaan<sup>[14,15]</sup> :

$$L = \frac{W_o - W_t}{At} \quad (4)$$

L adalah laju pelindihan ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hari}^{-1}$ ),  $W_o$  = berat sampel mula-mula (g),  $W_t$  = berat sampel setelah dilindih selama t hari (g), A = luas permukaan sampel ( $\text{cm}^2$ ), dan t = waktu pelindihan (hari). Untuk laju pelindihan U, Cs, dan Sr, maka  $W_o - W_t$  = jumlah U, Cs, dan Sr yang terlindih dalam air pelindih selama waktu pelindihan (g). Sedang untuk pelindihan total,  $W_o - W_t$  = selisih atau pengurangan berat sampel blok *synroc* sebelum dan sesudah dilakukan pelindihan (g). Laju pelindihan total tidak hanya penjumlahan laju pelindihan U, Cs, dan Sr saja, tetapi merupakan laju pelindihan semua komponen dari blok *synroc* yang meliputi unsur-unsur dalam limbah termasuk bahan prekursor (matriks) *synroc*.

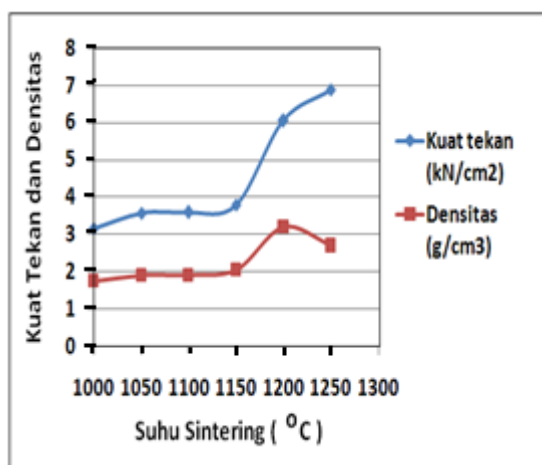
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses imobilisasi dilakukan dengan mencampur limbah simulasi dengan bahan matriks *synroc*, dikeringkan, dikalsinasi pada suhu 750 °C, dicetak dan disintering untuk membentuk blok *synroc* yang padat dan kuat. Pembentukan blok *synroc* dilakukan dengan tiga parameter yaitu parameter suhu sintering, waktu sintering dan tingkat muat limbah (*waste loading*).

### Parameter Suhu Sintering

Hasil pengukuran densitas, kuat tekan, dan laju pelindihan pada sampel blok *synroc* limbah dengan tingkat muat limbah 30 % berat dan waktu sintering 3 jam untuk variasi suhu 1000-1300 °C ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2.

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu sintering maka densitas blok *synroc* limbah semakin meningkat. Pembentukan fase-fase mineral *synroc* pada persamaan (1), (2) dan (3) diperlukan suhu tinggi, makin tinggi suhu sintering maka makin sempurna terbentuknya fase-fase mineral *synroc*. Energi panas yang diberikan pada proses sintering semakin besar menyebabkan terjadinya proses difusi dengan pembentukan fase-fase pada blok *synroc* yang semakin cepat. Secara umum, semakin tinggi kestabilan fisik dari blok *synroc* maka akan meningkatkan kekuatan dan densitas dari blok tersebut karena terjadi penyusutan volume pada blok dengan semakin meningkatnya suhu <sup>[16]</sup>.

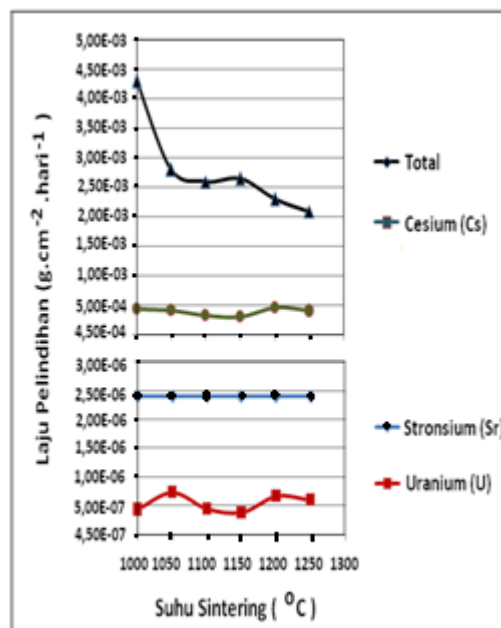


Gambar 1. Pengaruh suhu sintering terhadap kuat tekan dan densitas blok *synroc* hasil imobilisasi.

Proses sintering pada suhu tinggi dapat mengurangi pori-pori pada blok dan menumbuhkan serta mengatur butir-butir fase mineral *synroc* yang akan meningkatkan densitas dari blok itu sendiri. Pada Gambar 1, densitas optimum blok *synroc* limbah diperoleh pada suhu sintering 1200 °C sebesar 3,21 g/cm<sup>3</sup>. Pada suhu 1250 °C terjadi penurunan densitas sampel blok *synroc* limbah, hal ini dapat disebabkan pada suhu sintering tersebut terjadi proses reduksi dari oksida logam menjadi logam pada suhu tinggi dan kemudian membentuk fase *alloy* (paduan logam) yang lebih bebas yang dapat mengakibatkan meningkatnya volume blok dan menurunkan densitas.

Kuat tekan blok *synroc* limbah pada Gambar 1 terlihat bahwa semakin tinggi suhu sintering yang digunakan maka semakin besar kuat tekan blok *synroc* limbah, hal ini karena semakin tinggi suhu maka pembentukan fase-fase *synroc* semakin sempurna sehingga kestabilan kimia dan fisik dari blok yang terbentuk semakin kokoh sehingga menghasilkan kekuatan tekan yang semakin besar. Nilai kuat tekan optimum terdapat pada suhu 1250 °C sebesar 6,87 kN/cm<sup>2</sup>. Nilai kuat tekan tersebut memenuhi bahkan lebih tinggi dari standard yang ditetapkan IAEA yaitu sebesar 2-5 kN/cm<sup>2</sup>.

Hasil pengukuran laju pelindihan untuk setiap blok *synroc* ditunjukkan pada Gambar 2. Nilai laju pelindihan pada blok *synroc* merupakan nilai kemampuan blok *synroc* limbah hasil imobilisasi tersebut terhadap pelarutan oleh air, sehingga semakin kecil nilai laju pelindihan maka semakin baik hasil dari imobilisasi yang dilakukan. Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa laju pelindihan U < Sr < Cs yang berturut-turut nilainya (dalam satuan g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>) berorde 10<sup>-7</sup>, 10<sup>-6</sup>, dan 10<sup>-4</sup>, sedang laju pelindihan total berorde 10<sup>-3</sup> g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa laju pelindihan unsur-unsur yang lain yaitu Co, Cd, dan Ce (unsur-unsur hasil belah dalam limbah) serta Ba, Al, Ca, Zr, dan Ti (unsur dari matriks *synroc*) yang dalam penelitian ini tidak dilakukan pengujian berorde ≤ 10<sup>-3</sup> g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>.



Gambar 2. Pengaruh suhu sintering terhadap laju pelindihan blok *synroc* hasil imobilisasi

Laju pelindihan U adalah paling rendah, hal ini menunjukkan bahwa blok *synroc* limbah sangat baik untuk mengungkung uranium dan termasuk pula unsur-unsur aktinida lain yang merupakan unsur berat seperti ditunjukkan pada Tabel 2 yang mana unsur-unsur aktinida tidak hanya terperangkap tetapi merupakan penyusun fase (fase turunan dari mineral *synroc*). Pada Gambar 2 terlihat pula bahwa semakin tinggi suhu sintering maka laju pelindihan total dari blok *synroc* semakin menurun. Hal itu disebabkan semakin tinggi suhu sintering maka semakin kuat pula pembentukan blok *synroc* dan semakin berkurang pori-

pori yang terdapat pada dinding blok sehingga laju pelindihan semakin turun. Dari kurva tersebut diperoleh pelindihan total minimum pada suhu 1250 °C, walaupun demikian pada suhu 1100 sampai 1250 °C tidak memberikan perbedaan yang berarti yang nilainya antara  $2,1 \times 10^{-3} - 2,6 \times 10^{-3} \text{ g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ .

Laju pelindihan Cs terendah terdapat pada suhu 1150 °C sebesar  $3,1 \times 10^{-4} \text{ g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa pada suhu tersebut kondisi blok *synroc* yang terbentuk cukup baik untuk menjerap unsur cesium sehingga blok yang terlindih berada di bawah standard yang ditetapkan IAEA yaitu sebesar  $8,5 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm}^2.\text{hari}$ . Kemudian laju pelindihan cesium meningkat seiring dengan meningkatnya suhu sintering. Hal tersebut karena cesium bersifat volatil dan mudah lepas dari kisi-kisi blok seiring dengan meningkatnya suhu. walaupun demikian nilai laju pelindihan Cs dengan variasi suhu sintering tidak memberikan perbedaan yang berarti.

Untuk laju pelindihan Sr, semua blok menunjukkan nilai yang sangat rendah (orde  $10^{-6} \text{ g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ ) dan tidak dipengaruhi oleh suhu sintering. Laju pelindihan Sr pada blok *synroc* rata-rata bernilai  $2,4 \times 10^{-6} \text{ g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$  yang menunjukkan bahwa *synroc* dapat sebagai matriks untuk imobilisasi Sr karena tingginya kapasitas muatan Sr yang terperangkap dalam fase *perovskite* pada blok *synroc* sehingga laju pelindihannya sangat rendah<sup>[16]</sup>.

Laju pelindihan uranium pada parameter suhu sintering sangat rendah yaitu antara  $3,9 \times 10^{-7} - 7,4 \times 10^{-7} \text{ g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ . Pelindihan optimum terlihat pada suhu 1150 °C sebesar  $3,9 \cdot 10^{-7} \text{ g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ . Tetapi, semua blok pada parameter suhu sintering tidak menunjukkan perbedaan laju pelindihan uranium yang signifikan dalam orde sangat rendah yaitu  $10^{-7} \text{ g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ . Hal ini membuktikan bahwa *synroc* memiliki kemampuan untuk menjerap unsur aktinida yang memiliki massa atom besar seperti uranium.

Laju pelindihan U, Sr, dan Cs yang terdapat pada blok *synroc* sangat rendah dan pada parameter suhu sintering tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa blok *synroc* memiliki ketahanan yang cukup tinggi terhadap fase air. Secara keseluruhan, nilai laju pelindihan U, Sr, dan Cs untuk setiap blok *synroc* limbah memenuhi standard IAEA.

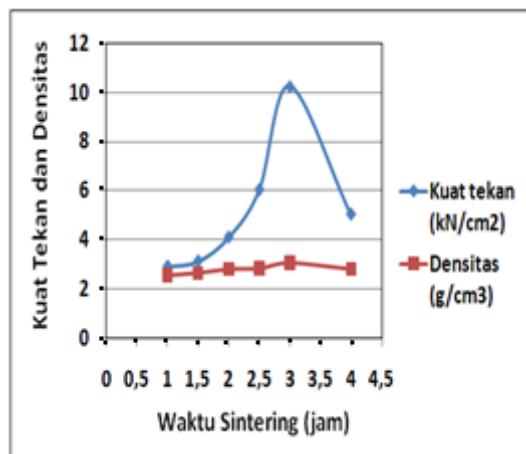
Berdasarkan pertimbangan hasil pengujian blok *synroc* tersebut di atas maka suhu sintering terbaik (optimum) adalah pada 1200 °C. Kondisi suhu sintering terbaik ini digunakan dalam percobaan untuk parameter waktu sintering dan tingkat muat limbah optimum.

#### 4.2. Parameter Waktu Sintering

Pada penentuan waktu sintering optimum, variasi waktu yang digunakan berkisar antara 1-4 jam dengan suhu sintering terbaik (optimum) yaitu 1200 °C dan tingkat muat limbah 30 % berat. Hasil pengujian kuat tekan dan densitas untuk tiap blok *synroc* limbah ditunjukkan pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu sintering yang digunakan maka semakin tinggi densitas dari blok *synroc* limbah yang terbentuk. Kenaikan densitas terjadi karena pada saat proses sintering terjadi proses difusi dan pertumbuhan butir antar fase-fase menuju susunan multifase yang kompak dan padat sehingga pori-pori di antara butir dapat berkurang dan terjadi penyusutan volume sehingga densitasnya meningkat<sup>[17]</sup>. Pertumbuhan butir pada blok dipengaruhi oleh suhu dan lamanya waktu sintering yang diberikan. Semakin

lama dan besar energi (suhu) yang diberikan, maka pembentukan blok *synroc* akan semakin baik sehingga membentuk keramik multi fase yang kompak dan padat. Densitas optimum terjadi pada waktu sintering 3 jam dengan nilai densitas sebesar  $3,06 \text{ g/cm}^3$ . Semua blok *synroc* pada parameter waktu sintering menunjukkan nilai densitas sesuai dengan hasil pembentukan *synroc* dengan proses pres-panas isostatik yaitu antara  $2,1-3,4 \text{ g/cm}^3$ <sup>171</sup>.



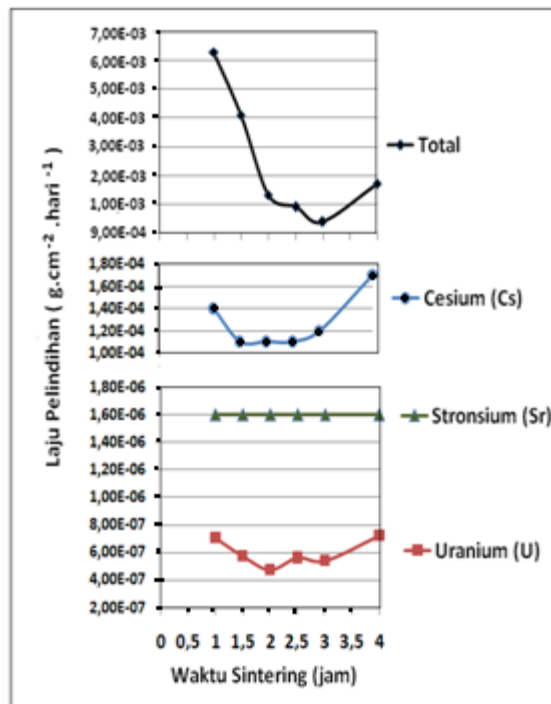
Gambar 3. Pengaruh waktu sintering terhadap densitas dan kuat tekan blok *synroc* limbah hasil imobilisasi.

Kurva kuat tekan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin lama waktu sintering maka semakin besar kuat tekan blok *synroc* yang dihasilkan, hal ini karena terjadi ikatan antar fase yang semakin kuat seiring dengan lamanya waktu sintering sehingga meningkatkan kekuatan dari blok *synroc* tersebut. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu sintering, maka struktur fase dalam blok *synroc* terjadi kristalisasi dan pertumbuhan butir menuju terbentuknya keramik multifase yang kompak dan padat sehingga meningkatkan kuat tekannya<sup>116</sup>. Kuat tekan optimum ditunjukkan pada waktu sintering 3 jam dengan nilai  $10,24 \text{ kN/cm}^2$  yang memenuhi standard IAEA yang menunjukkan bahwa blok *synroc* tersebut cukup baik untuk penyimpanan lestari tanah dalam.

Hasil pengukuran laju pelindihan blok *synroc* limbah dengan parameter waktu sintering ditunjukkan oleh Gambar 4. Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa laju pelindihan  $U < Sr < Cs$  yang berturut-turut nilainya (dalam satuan  $\text{g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ ) berorde  $10^{-7}$ ,  $10^{-6}$ , dan  $10^{-4}$ , sedang laju pelindihan total berorde  $10^{-3} \text{ g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$  (seperti pada Gambar 2). Hal ini berarti pula bahwa laju pelindihan unsur-unsur yang lain yaitu Co, Cd, dan Ce (unsur-unsur hasil belah dalam limbah) serta Ba, Al, Ca, Zr, dan Ti (unsur-unsur dari prekursor matriks *synroc*) yang dalam penelitian ini tidak dilakukan pengujian berorde  $\leq 10^{-3} \text{ g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ .

Uji laju pelindihan total blok *synroc* limbah optimum (nilai terendah) ditunjukkan pada waktu sintering 3 jam sebesar  $3,7 \times 10^{-4} \text{ g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$  yang menunjukkan bahwa dengan waktu tersebut pembentukan fase-fase mineral dalam blok *synroc* telah sempurna. Perbedaan tersebut juga dapat dilihat dari warna pada blok *synroc* dimana semakin lama waktu yang digunakan untuk sintering maka warna blok akan semakin gelap dan hitam yang menandakan semakin lama waktu yang digunakan maka pembentukan blok *synroc* semakin baik. Selanjutnya ada

peningkatan nilai laju pelindihan pada waktu sintering 4 jam yang diakibatkan semakin lama waktu sintering maka kemungkinan lepasnya unsur yang bersifat volatil seperti Cs dari blok *synroc* lebih mudah. Selain itu, terbentuknya fase *alloy* (paduan logam) dari Cs memudahkan pelepasan Cs ke dalam fase air sehingga meningkatkan nilai laju pelindihan.



Gambar 4. Pengaruh waktu sintering terhadap laju pelindihan total, laju pelindihan U, Sr, dan Cs dari blok *synroc* hasil imobilisasi.

Kurva laju pelindihan Cs dapat dilihat bahwa semakin lama waktu sintering, semakin meningkat laju pelindihan Cs dari blok *synroc* limbah. Hal tersebut karena Cs merupakan unsur yang relatif volatil pada suhu tinggi sehingga semakin lama waktu sintering, maka Cs semakin mudah terlepas kembali dari kisi-kisi mineral *synroc*, akibatnya Cs berada di luar kisi-kisi mineral *synroc* dan lebih bebas tidak terikat dalam kisi-kisi mineral *synroc*. Kemudian pada waktu dilakukan proses pelindihan, Cs yang tidak berada dalam kisi-kisi mineral *synroc* (berada bebas di luar kisi-kisi mineral *synroc*) terutama yang berada di pinggir dinding blok *synroc* akan mudah terlindih oleh air pelindih (pada suhu 100 °C), sehingga meningkatkan nilai laju pelindihan. Nilai laju pelindihan Cs terendah dicapai pada waktu sintering antara 1,5 – 3 jam yaitu antara  $1,07 \times 10^{-4}$  –  $1,20 \times 10^{-4}$  g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>. Nilai tersebut berada di bawah nilai laju pelindihan Cs dari blok *synroc* dengan proses pres-panas isostatik yang nilainya sebesar  $8,5 \times 10^{-4}$  g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup> [12].

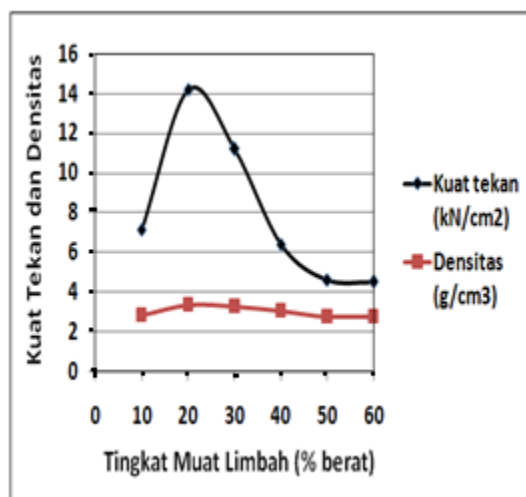
Laju pelindihan Sr dan U, menunjukkan bahwa semua blok mempunyai nilai yang sangat rendah (orde 10<sup>-6</sup> dan 10<sup>-7</sup> g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>) seperti ditunjukkan pada parameter suhu sintering (Gambar 2). Laju pelindihan Sr tidak dipengaruhi oleh suhu dan waktu sintering, demikian pula laju pelindihan U relatif tidak mempunyai perbedaan yang berarti. Pada waktu sintering 1-4 jam, laju pelindihan

Sr pada blok *synroc* rata-rata bernilai  $2,4 \times 10^{-6} \text{ g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$  dan laju pelindihan U rata-rata antara  $4,7 \times 10^{-7}$ - $8,4 \times 10^{-7} \text{ g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ . Nilai tersebut diperkuat bahwa laju pelindihan unsur-unsur valensi satu dan dua seperti Cs dan Sr dalam *synroc* adalah 500 sampai 2000 kali lebih kecil daripada gelas borosilikat, sedang untuk unsur-unsur multivalen seperti U dalam *synroc* lebih kecil 10.000 kali daripada dalam gelas borosilikat, sehingga blok *synroc* sangat baik digunakan untuk mengimobilisasi unsur-unsur tersebut dan lebih lagi untuk aktinida pemancar alfa umur panjang [12,18].

Berdasarkan pertimbangan data uji densitas, kuat tekan, laju pelindihan total, dan, laju pelindihan U, Cs, dan Sr pada blok *synroc* limbah tersebut dia atas maka waktu sintering terbaik (optimum) adalah 3 jam yang kemudian digunakan dalam penentuan tingkat muat limbah (*waste loading*) optimum.

#### 4.3. Parameter Tingkat Muat Limbah

Pada penentuan tingkat muat limbah yang optimum dalam pembuatan blok *synroc*, digunakan suhu sintering optimum yaitu  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$  dan waktu sintering optimum yaitu 3 jam. Variasi tingkat muat limbah berkisar antara 10-60 % berat. Hasil pengujian densitas dan kuat tekan blok *synroc* limbah dengan variasi tingkat muat limbah ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh tingkat muat limbah terhadap densitas dan kuat tekan blok *synroc* hasil imobilisasi.

Pada Gambar 5, densitas optimum ditunjukkan pada tingkat muat limbah 20 % yaitu  $3,35 \text{ g/cm}^3$ , kemudian menurun dengan bertambahnya tingkat muat limbah. Secara keseluruhan tiap blok memiliki nilai densitas sesuai dengan densitas *synroc* limbah yang diperoleh dari proses pres-panas isostatik (antara  $2,1$ - $3,4 \text{ g/cm}^3$ ), nilai tersebut juga memenuhi standard yang ditetapkan IAEA yaitu antara  $2,1$ - $3,2 \text{ g/cm}^3$ . Selain itu, pada tingkat muat limbah diatas 20 % berat terlihat bahwa semakin tinggi tingkat muat limbah pada blok *synroc* maka densitas dari blok semakin berkurang. Matriks *synroc* yang berperan sebagai pengikat limbah akan mengalami suatu batas kejenuhan. Ketika batas tersebut terlampaui, maka sebagian limbah tidak berikatan dengan fase-fase *synroc* sehingga membentuk fase paduan yang bersifat lebih bebas dan dapat mengurangi pembentukan suatu

monolit multifase yang kompak bila limbah melebihi batas titik optimum. Sehingga mengakibatkan menurunnya densitas blok *synroc* limbah.

Dari kurva kuat tekan blok *synroc* limbah (Gambar 5) terlihat bahwa tingkat muat limbah yang paling optimum adalah pada nilai 20 % berat yaitu dengan nilai kuat tekan 14,18 kN/cm<sup>2</sup>. Pada tingkat muat limbah 30 % berat memberikan nilai kuat tekan sebesar 11,18 kN/cm<sup>2</sup> yang berada diatas nilai kuat tekan yang ditetapkan IAEA. Kuat tekan pada blok akan semakin meningkat hingga mencapai tingkat muat limbah optimum dan selanjutnya semakin menurun seiring dengan meningkatnya jumlah limbah. Komposisi limbah memiliki pengaruh terhadap stabilitas kimia blok *synroc* limbah, stabilitas kimia dari blok *synroc* akan semakin berkurang dengan meningkatnya jumlah limbah<sup>[16]</sup>. Penambahan prekursor *synroc* ke dalam limbah akan membentuk fase-fase yang sesuai dengan komposisi unsur yang terdapat pada limbah dan membentuk monolit multifase yang padat dan kompak. Fase yang terbentuk tersebut bersifat saling menguatkan sehingga dapat meningkatkan kuat tekan blok *synroc* yang terbentuk. Sedangkan pengurangan kuat tekan pada blok *synroc* terjadi karena semakin bertambahnya muatan limbah yang tidak sebanding dengan jumlah prekursor *synroc* pembentuk fase-fase yang semakin berkurang karena mengalami kejenuhan.

Hasil pengujian laju pelindihan untuk setiap blok *synroc* limbah pada variasi tingkat muat limbah ditunjukkan pada Gambar 6. Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa laju pelindihan U < Sr < Cs yang berturut-turut nilainya (dalam satuan g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>) berorde 10<sup>-7</sup>, 10<sup>-6</sup>, dan 10<sup>-4</sup>, sedang laju pelindihan total berorde 10<sup>-3</sup> g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup> (seperti pada Gambar 2 dan Gambar 4). Hal ini berarti pula bahwa laju pelindihan unsur-unsur yang lain yaitu Co, Cd, dan Ce (unsur-unsur hasil belah dalam limbah) serta Ba, Al, Ca, Zr, dan Ti (unsur-unsur dari prekursor matriks *synroc*) yang dalam penelitian ini tidak dilakukan pengujian berorde ≤ 10<sup>-3</sup> g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>.

Pada Gambar 6 tersebut terlihat pula bahwa semakin tinggi tingkat muat limbah maka laju pelindihan total semakin menurun hingga mencapai tingkat muat limbah optimum yang terdapat pada tingkat muat limbah sebesar 40 % berat yaitu 1,7x10<sup>-4</sup> g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>. Penurunan laju pelindihan tersebut karena semakin banyak terbentuknya fase-fase turunan yang lebih kuat mengikat dan mengungkung unsur-unsur limbah seperti U, Cs, dan Sr. Selanjutnya laju pelindihan mengalami kenaikan tetapi tidak begitu signifikan, hal ini disebabkan jumlah prekursor oksida untuk pembentukan fase mineral *synroc* semakin berkurang dibanding dengan jumlah kandungan unsur dalam limbah, sehingga ada sebagian unsur yang bebas tidak menjadi penyusun fase atau tidak terperangkap dalam kisi-kisi fase mineral *synroc*, akibatnya laju pelindihan total sedikit naik.

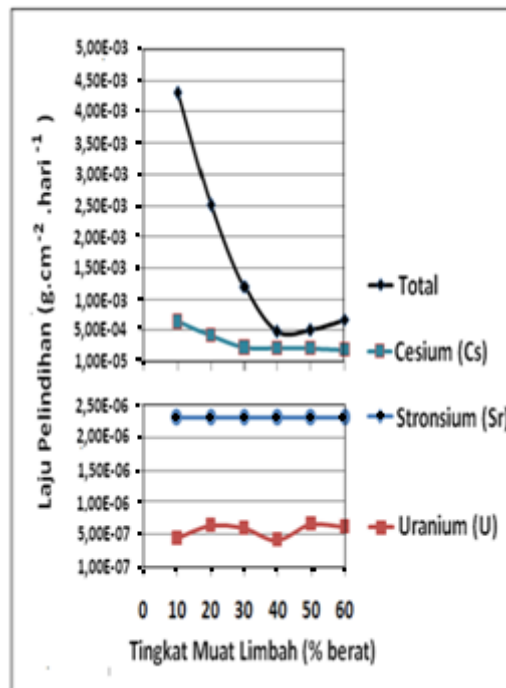
Fenomena serupa juga terjadi pada laju pelindihan Cs yang semakin menurun seiring dengan bertambahnya tingkat muat limbah. Hal tersebut membuktikan bahwa cesium merupakan pembentuk fase yang kuat dan stabil di dalam blok *synroc* sehingga laju pelindihan cesium semakin menurun. Pada tingkat muat limbah 30-60 % berat, laju pelindihan Cs relatif tetap nilainya antara 1,8x10<sup>-4</sup> – 2,2x10<sup>-4</sup> g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>.

Laju pelindihan U dan Sr, hasil yang ditunjukkan tidak jauh berbeda dengan dua parameter suhu dan waktu sintering. Laju pelindihan Sr tidak dipengaruhi oleh tingkat muat limbah sampai 60 % berat yaitu dengan nilai laju pelindihan Sr rata-rata 2,3x10<sup>-6</sup> g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa seiring dengan



meningkatnya tingkat muat limbah, kapasitas pengungkungan (imobilisasi) muatan Sr di dalam blok *synroc* tetap tinggi sehingga Sr tidak terlepas dari kisi-kisi blok *synroc* dan nilai laju pelindihan Sr tetap rendah.

Fenomena laju pelindihan U untuk variasi tingkat muat limbah serupa dengan laju pelindihan Sr bahkan lebih rendah. Dengan bertambahnya tingkat muat limbah tidak menyebabkan perubahan laju pelindihan U yang signifikan (fluktuatif relatif tetap) dengan nilai antara  $4,1 \times 10^{-7}$ - $6,5 \times 10^{-7}$   $\text{g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ .



Gambar 6. Pengaruh tingkat muat limbah terhadap laju pelindihan blok *synroc* limbah hasil imobilisasi.

Secara umum, fase-fase dalam *synroc* memberikan ketahanan kimia yang tinggi pada blok *synroc* yang terbentuk sehingga memberikan daya tahan yang kuat terhadap pelindihan oleh air. Selain itu, pada tingkat muat limbah yang rendah belum banyak terbentuk fase-fase turunan seperti *pyrochlore* dimana uranium berperan sebagai pembentuk fase sehingga unsur-unsur yang terkandung di dalam limbah seperti U, Sr, dan Cs hanya terperangkap di dalam kisi-kisi fase sehingga menyebabkan unsur tersebut relatif mudah lepas pada saat pelindihan. Sedangkan pada tingkat muat limbah yang tinggi (>30 % berat) akan banyak terbentuk fase turunan yang menyebabkan pengungkungan unsur-unsur tersebut pada limbah lebih kuat dan menurunkan nilai laju pelindihan pada blok *synroc*.

Berdasarkan hasil uji karakteristik blok *synroc* limbah tersebut di atas, diperoleh suhu dan waktu sintering terbaik pada 1200 °C selama 3 jam dan tingkat muat limbah 20 % berat, dengan nilai densitas blok *synroc* limbah 3,35  $\text{g/cm}^3$ , kuat tekan 14,18  $\text{kN/cm}^2$ , laju pelindihan total  $2,5 \times 10^{-3}$   $\text{g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ , dan laju pelindihan Cs, Sr, dan U berturut-turut adalah  $4,1 \times 10^{-4}$   $\text{g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ ,  $2,3 \times 10^{-6}$   $\text{g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ , dan  $6,3 \times 10^{-7}$   $\text{g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$ . Berdasarkan efisiensi bahan dan limbah

yang masih dalam batas persyaratan IAEA maka dapat digunakan tingkat muat limbah sampai 40 % karena nilai kuat tekan dan densitas blok synroc limbah telah memenuhi standard beton limbah yang ditetapkan IAEA dengan kuat tekan 2-5 kN/cm<sup>2</sup>, begitu pula pada tingkat muat 10-60 % berat nilai densitasnya cukup tinggi yaitu 2,7 -3,3 g/cm<sup>3</sup>, sedang laju pelindihannya juga sangat memenuhi persyaratan IAEA ( $1,7 \times 10^{-1}$  -  $2,5 \times 10^{-4}$  g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>)<sup>[19]</sup> dan pula jauh lebih kecil daripada laju pelindihan unsur-unsur dalam gelas borosilikat limbah. Kualitas hasil blok *synroc* titanat limbah dengan proses sintering ini relatif sama dengan kualitas hasil blok limbah *synroc* titanat dengan proses pres-panas isostastik.

## KESIMPULAN

Proses imobilisasi LCRTT simulasi yang mengandung uranium dan unsur-unsur hasil belah menggunakan matriks *synroc* titanat dengan proses sintering suhu tinggi diperoleh suhu dan waktu sintering terbaik pada 1200 °C selama 3 jam. Pada kondisi tersebut diperoleh tingkat muat limbah optimum adalah 20 % berat, dengan nilai densitas blok *synroc* limbah 3,35 g/cm<sup>3</sup>, kuat tekan 14,18 kN/cm<sup>2</sup>, laju pelindihan total  $2,5 \times 10^{-3}$  g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>, dan laju pelindihan Cs, Sr, dan U berturut-turut adalah  $4,1 \times 10^{-4}$  g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>,  $2,3 \times 10^{-6}$  g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>, dan  $6,3 \times 10^{-7}$  g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup>. Berdasar persyaratan IAEA dan pertimbangan efisiensi maka masih dapat digunakan untuk tingkat muat limbah sampai 40 % berat. Kualitas hasil blok *synroc* titanat limbah dengan proses sintering ini sesuai dengan kualitas hasil blok *synroc* titanat dengan proses pres-panas isostastik. dan memenuhi kualitas blok limbah yang direkomendasikan oleh IAEA.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. MENDEL J.E, (1985), “*The Fixation of High Level Waste in Glasses*”, PNL Richland, Washington.
- [2]. MARTONO, H. dan AISYAH, (2002), “Efek Radiasi terhadap Gelas Limbah Hasil Vitrifikasi, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Iptek Nuklir”, P3TM-BATAN, Yogyakarta.
- [3]. MARTONO, H. dan WIDIATMO, (2002), “Perancangan Melter untuk Pengolahan Limbah Cair Aktivitas Tinggi Secara Vitrifikasi, Seminar Hasil Penelitian Dan Kegiatan P2PLR 2001”, Serpong.
- [4]. AISYAH dkk, (2004), ”Pengaruh Keasaman dan Kandungan Limbah pada Imobilisasi Limbah Trasuranium dari IRM dengan Polimer”, Seminar Hasil Penelitian Dan Kegiatan P2PLR 2003, Serpong.
- [5]. E.R. VANCE, (1999), “Status of Synroc Ceramics for HLW”, Proceedings of The 2<sup>nd</sup> Bianual Int. Workshop on HLRW Management”, Dep. of Nuclear Engineering, Fac. of Engineering, Gadjah Mada Univ., Yogyakarta.
- [6]. IAEA, (1985), Technical Report Series No.257, “Chemical Durability and Related Properties of Solidified High Level Waste Forms”, International Atomic Energy Agency, Vienna,.

- [7]. D.M.LEVINS, and A.JOSTSONS, (1996), "R&D in Radioactive Waste Management at ANSTO", The 2<sup>nd</sup> Seminar on RWM, Reg. Coop. in Asia, Malaysia.
- [8]. RINGWOOD AE, et.al., (1979), "Immobilization of High Level Nuclear Reactor Wastes in Synroc", *Nature*, 278.
- [9]. RINGWOOD A.E, et.al, (1988), In *Radioactive Waste Form for the Future*, Elsevier, (Eds W.Lutze and R.C.Ewing), North Holland, 233-334.
- [10]. DOSCH, R.G. and LYNCH, A.W., (1980), *Solution chemistry techniques in Synroc preparation*, Sandia Laboratories, Albuquerque. Publ. SAND80-2375.
- [11]. HESPE, E.D., (1971), "Leach testing of immobilized waste solids, a proposal for a standar method", *Atomic Energy. Review*, 9, 1-12.
- [12]. RINGWOOD A.E, OVERBY, V.M., KESSON, S.E., (1981), "Synroc : Leaching Performance and Process Technology," *Proceedings of the International Seminar on Chemistry and Process Engineering for High Level Liquid Waste Solidification*, Julich.
- [13]. THIELE, (1979), *Nuclear Technology and Its Applications*, Training Course, BATAN Yogyakarta.
- [14]. MENDEL, J.E, ROSS, W.A, ROBERTS, F.P., KATAYAMA, Y., WESTSIK, J., TURCOTTE, R., WALD, J. and BRADLEY, D., (1977), " *Annual Report on the Characteristics of High Level Waste Glasses*, PNL Richland, Washington.
- [15]. RINGWOOD, A.E., OVERBY, V.M., KESSON, S.E., SINCLAIR, W., WARE, N., HIBBERSON, W. and MAJOR, A., (1981), " *Immobilization of high level nuclear reactor wastes in synroc : a current appraisal*, *Nucl. Chem.Waste Management*, 286-292.
- [16]. BAO, W., S. XU, L. LI, C. SONG, J. ZHANG, Y. ZHU, (2002), *Solidification of Sr-Containing Stripping Solutions in Titanate Ceramics. Journal of Nuclear Material*, 237-241.
- [17]. RISTIC, R.I., J.N. SHERWOOD and T. SRIPPATHI,(1990), *Train Variation of (100) Growth Sector of Potash Alum Single Crystals and its Relation of the Growth Rate Dispersion. Journal of Crystal Growth*, 245-248.
- [18]. OVERSBY, V.M. and RINGWOOD, A.E., (1980), "Leach testing of Synroc and glass samples at 85 °C and 200 °C", *Nuclear Chem. Waste Management*, 254-259.
- [19]. IAEA, (1997), *Characterization of Radioactive Waste Form and Packages*, Technical Report Series No. 383, International Atomic Energy Agency, Vienna.



## DEVITRIFIKASI GELAS-LIMBAH DARI ABU BATUBARA PADA BERBAGAI SUHU DAN WAKTU PEMANASAN

Herlan Martono, Yuli Purwanto  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

### ABSTRAK

**DEVITRIFIKASI GELAS-LIMBAH DARI ABU BATUBARA PADA BERBAGAI SUHU DAN WAKTU PEMANASAN.** Imobilisasi limbah cair aktivitas tinggi (LCAT) simulasi dari ekstraksi siklus I proses olah ulang dilakukan dengan gelas borosilikat. Gelas borosilikat yang digunakan dibuat dari abu batubara. Limbah cair aktivitas tinggi simulasi komposisinya ditentukan menggunakan komputer ORIGEN-2 berdasarkan jenis reaktornya PWR, fraksi bakar 50.000 MWD/MTU, pengkayaan uranium 4,50 %, panas peluruhan 38 MW/MTU, dan pendinginan selama 4 tahun. Untuk imobilisasi jenis limbah tersebut digunakan *bottom ash* dan *fly ash* hasil pembakaran batubara. Limbah cair aktivitas tinggi simulasi dengan kandungan limbah 20 % diimobilisasi dengan abu batubara pada suhu 1150 °C, selama 2,50 jam. Hasil imobilisasi gelas-limbah dipanaskan pada berbagai suhu dan waktu pemanasan. Pemanfaatan abu batubara untuk imobilisasi limbah cair aktivitas tinggi, *bottom ash* lebih tahan terhadap kristalisasi daripada *fly ash*. Untuk immobilisasi limbah cair aktivitas tinggi di Indonesia yang aktivitasnya tidak setinggi limbah aktivitas tinggi dari proses olah ulang, kedua bahan tersebut dapat digunakan. Proses sangat ekonomis dengan penggantian bahan kimia oleh abu batubara.

Kata kunci : limbah cair aktivitas tinggi, imobilisasi, gelas borosilikat, abu batubara.

### ABSTRACT.

**DEVITRIFICATION OF WASTE-GLASS FROM COAL ASH AT VARIOUS TEMPERATURE AND TIME OF HEATING TIME.** Immobilisation of simulated high level liquid waste (HLLW) from the first cycle of the reprocessing plant is conducted by borosilicate glass. Borosilicate glass is conducted made of coal ash. The composition of simulated high level liquid waste was determined by ORIGEN-2 Code, based on PWR, burn up 50,000 MWD/MTU, uranium enriched 4,50 %, decay heat 38 MW/MTU, and cooling for 4 years. For immobilization this type of waste were used bottom ash and fly ash as product of combustion of coal. Simulated HLLW are immobilized by coal ash with waste loading 20 % at temperature 1150 °C for 2,50 hours. The immobilization product of waste-glass are heating at various temperature and time. Application of coal ash for immobilization of high level liquid waste, bottom ash more resistance to the crystallization than fly ash. For immobilization of HLLW in Indonesia, its activity is not high as HLLW from reprocessing plant, the two materials can be used. The process is very economic with changed of chemical materials by coal ash.

Keywords : high level liquid waste, immobilization, borosilicate glass, coal ash.

### PENDAHULUAN.

Imobilisasi limbah cair aktivitas tinggi (LCAT) dilakukan dengan bahan gelas, yang dikenal dengan proses vitrifikasi. Pada pengolahan secara industri, suhu pembentukan yang tinggi mengakibatkan korosi *melter* lebih cepat sehingga umur *melter* lebih pendek dan lebih banyak menghasilkan limbah radioaktif padat. Oleh karena itu dibuat gelas-limbah yang suhu pembentukannya 1150°C, seperti yang dilakukan oleh negara-negara maju. Gelas adalah bahan amorf yang dibentuk

dari pendinginan lelehan gelas menjadi gelas setelah melewati suhu transisinya ( $T_g$ )[1]. Limbah cair aktivitas tinggi banyak mengandung hasil belah dan sedikit aktinida. Imobilisasi LCAT menggunakan proses vitrifikasi ketahanan kimia dan reduksi volumenya tinggi sehingga menguntungkan dari segi penyimpanan[2,3]. Banyak negara seperti Amerika Serikat, Perancis, Inggris, Jepang, Rusia, dan India telah menerapkan vitrifikasi untuk mengolah LCAT, sedangkan ada beberapa negara lain sedang dalam proses pengembangan[4].

Beberapa jenis gelas telah dikembangkan untuk vitrifikasi LCAT, namun gelas borosilikat adalah jenis gelas yang paling banyak digunakan. Hal ini karena proses pembuatan gelas borosilikat lebih mudah dan mempunyai ketahanan kimia dan kandungan limbah yang tinggi[5]. Gelas aluminosilikat tidak dikembangkan lagi karena kandungan limbahnya rendah sekitar 10 % berat dan suhu pembentukannya tinggi sekitar 1350 °C, sedangkan gelas fosfat bersifat korosif dan mengalami devitrifikasi pada suhu yang rendah yaitu 400 °C[6]. Aspek keselamatan merupakan pertimbangan utama dalam pemilihan bahan matriks untuk imobilisasi LCAT, namun aspek ekonomi juga harus dipertimbangkan. Jika hanya aspek keselamatan yang jadi pertimbangan, maka pengelolaan limbah menjadi sangat mahal. Ada 3 kendala yang dihadapi teknologi vitrifikasi yaitu biaya yang mahal, proses yang sukar, dan tuntutan ketahanan gelas-limbah hasil vitrifikasi[7]. Ketidak tahanan gelas-limbah terhadap panas menyebabkan perubahan struktur dari amorf menjadi kristalin yang disebut devitrifikasi. Devitrifikasi meningkatkan laju pelindihan yang berpotensi bahaya terhadap lingkungan. Adanya hambatan tersebut perlu inovasi vitrifikasi agar proses menjadi lebih ekonomis. Salah satu inovasi yang dapat diterapkan adalah mengganti *glassfrits* dengan *bottom ash* dan *fly ash* abu batubara, sehingga diharapkan dapat menghemat biaya vitrifikasi.

Limbah abu dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batubara dimungkinkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan gelas untuk vitrifikasi LCAT karena komposisi abu batubara yang mendekati komposisi *glassfrits* dari bahan kimia. *Bottom ash* dan *fly ash* merupakan material dengan kandungan utama silika dan alumina[8]. Kandungan silika dan alumina yang tinggi akan menaikkan suhu lebur gelas-limbah. Suhu lebur proses vitrifikasi yang tinggi akan mempercepat korosi dan umur pakai *melter*.

## TATA KERJA.

### Bahan.

*Fly ash* dan *bottom ash* abu batubara sebagai *glass frit*, dan bahan kimia :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CrO}_3$ ,  $\text{NiCl}_2$ ,  $\text{Gd}_2\text{O}$ ,  $\text{RbCl}$ ,  $\text{CsCl}$ ,  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{Mn}_2\text{SO}_4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ScO}_3$ ,  $\text{CeO}_3$  dengan kemurnian tinggi untuk membuat limbah simulasi.

### Peralatan.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- Furnace suhu maksimum 1200 °C
- Furnace suhu maksimum 1700 °C

- Neraca analitic
- X-Ray Defraction
- Peralatan gelas

## Metode.

### Penentuan Komposisi Limbah.

Komposisi LCAT dari bahan bakar bekas PWR, burn up 45.000 MWD/MTU, pengkayaan uranium 4,50 %, panas peluruhan 38 MW/MTU dan pendinginan selama 4 tahun ditentukan dengan ORIGEN-2. Unsur-unsur Tc diganti Mn dan aktinida (U, Np, Pu, Am, Cm) diganti Ce.

### Penentuan Komposisi Gelas-Limbah.

Komposisi *fly ash* dan *bottom ash* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia gelas borosilikat, *fly ash*, dan *bottom ash*.

Komposisi	Gelas borosilikat (% berat)	<i>Fly ash</i> (% berat)	<i>Bottom ash</i> (% berat)
SiO <sub>2</sub>	62,3	35,44	47,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,7	36,54	24,30
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19	--	--
K <sub>2</sub> O	--	1,15	0,90
Li <sub>2</sub> O	4	--	--
CaO	4	5,26	3,45
ZnO	4	--	--
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	--	20,32	22,71
MnO <sub>2</sub>	--	0,20	0,24
Na <sub>2</sub> O	--	0,43	0,48
TiO <sub>2</sub>	--	0,66	0,56

### Pembuatan Gelas-Limbah.

- Komposisi gelas borosilikat, *fly ash*, dan *bottom ash* ditunjukkan pada Tabel 1.
- Berat bahan limbah yang komposisinya seperti pada Tabel 2, digunakan untuk membuat komposisi gelas-limbah seperti pada Tabel 3 dan Tabel 4.
- Komposisi gelas (*fly ash*) dan gelas (*bottom ash*) masing-masing ditambahkan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sedang komposisi limbah LCAT pada Tabel 2 ada beberapa oksida yang tidak dimasukkan dalam komposisi gelas limbah yaitu tanpa SrO, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, MoO<sub>3</sub>, Tc<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, RuO<sub>2</sub>, ZrO, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>, Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- *Fly ash*-limbah dengan kandungan limbah 20 % dan *bottom ash*-limbah dengan kandungan limbah 20 %/.
- Campuran bahan-bahan tersebut dicampur dan digerus sehingga homogen dalam *crucibel* porselin.

- Campuran *fly ash*-limbah dan *bottom ash*-limbah dilebur pada suhu 1150 °C selama 2,50 jam, kemudian didinginkan sampai suhu kamar, sehingga terbentuk gelas-limbah.

**Pembuatan diagram *Time Temperature Transformation* (TTT).**

- Gelas-limbah hasil di atas dipecah menjadi bagian-bagian kecil kemudian digerus sampai menjadi serbuk dalam *crucibel* porselin. Serbuk gelas-limbah dianalisis menggunakan difraktometer sinar-X. Pola difraksi sinar-X amorf menunjukkan struktur gelas.
- Bagian-bagian kecil gelas-limbah yang lain dipanaskan pada berbagai suhu dan waktu, kemudian digerus dalam *crucible* porselin sampai menjadi serbuk halus. Serbuk halus dianalisis menggunakan difraktometer sinar-X. Dari pola difraksi dapat dilihat terjadi kristal atau tidak.
- Dari hasil diatas dapat dibuat diagram TTT.

Tabel 2. Komposisi LCAT bahan bakar bekas PWR, fraksi bakar 45.000 MWD/MTU, pengkayaan U 4,50 %, daya spesifik 38 MW/MTU, pendinginan 4 tahun[2].

Oksida	% berat		Oksida	% berat
Na <sub>2</sub> O	16,48		Ag <sub>2</sub> O	0,11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,05		CdO	0,18
NiO	1,47		SnO	0,15
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,68		Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,95		TeO <sub>2</sub>	0,84
SeO <sub>2</sub>	0,11		Cs <sub>2</sub> O	3,91
Rb <sub>2</sub> O	0,56		BaO	2,58
SrO	1,45		La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,05
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,85		CeO <sub>2</sub>	4,19
ZrO <sub>2</sub>	6,99		Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	1,93
MoO <sub>3</sub>	7,19		Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,77
Tc <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	1,67		Pm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07
RuO <sub>2</sub>	4,12		Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,22
Rh <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,74		Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,24
PdO	2,20		Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,32
ZrO <sub>2</sub>	2,56		PuO <sub>2</sub>	0,14
UO <sub>2</sub>	3,81		Am <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,52
NpO <sub>2</sub>	0,81		Cm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05



## HASIL DAN PEMBAHASAN.

Pada pembuatan gelas secara simulasi, unsur-unsur aktinida (U, Np, Pu, Am, dan Cm) disubstitusi dengan Ce. Komposisi gelas-limbah dengan bahan gelas dari *fly ash* dengan komposisi seperti pada Tabel 3 dan dari *bottom ash* dengan komposisi seperti pada Tabel 4, masing-masing dengan penambahan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Bahan gelas-limbah dengan bahan gelas dari *fly ash* dan *bottom ash* masing-masing dipanaskan pada 1150 °C selama 2,50 jam, sehingga terbentuk gelas-limbah. Penentuan suhu tersebut agar pada penerapan dalam skala industri, *monofrax - K3* suhunya masih sama atau dibawah 900 °C, sehingga laju korosi bahan tersebut masih kecil. Pada suhu 1150 °C laju korosi *monofrax K-3* sekitar 0,022 mm/hari, sehingga *melter* dengan bahan ini dapat tahan selama 5 tahun[1].

Adanya kadar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang tinggi akan menaikkan suhu peleburan gelas-limbah. Oleh karena itu perlu adanya penambahan unsur-unsur untuk menurunkan suhu peleburan gelas-limbah seperti Na<sub>2</sub>O dan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Kadar maksimum Na<sub>2</sub>O adalah 10 %, karena jika lebih besar dari 10 % akan terbentuk fase pemisah yang berwarna kuning yang disebut *yellow phase*[1].

Tabel 3. Komposisi gelas (fly ash dengan penambahan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> )-limbah LCAT bahan bakar bekas PWR, fraksi bakar 45.000 MWD/MTU, pengkayaan U 4,50 %, daya spesifik 38 MW/MTU, pendinginan 4 tahun dengan kandungan limbah 20 % berat[2].

	Oksida	% berat		Oksida	% berat
a.	SiO <sub>2</sub>	40,00		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,15
	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,58		SeO <sub>2</sub>	0,02
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,44		Rb <sub>2</sub> O	0,09
	K <sub>2</sub> O	0,53		Rh <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,12
	CaO	2,36		PdO	0,36
	MnO <sub>2</sub>	0,09		Ag <sub>2</sub> O	0,02
	Na <sub>2</sub> O	0,19		CdO	0,03
	TiO <sub>2</sub>	0,30		SnO	0,02
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,14		TeO <sub>2</sub>	0,14
				Cs <sub>2</sub> O	0,63
b.	Na <sub>2</sub> O	9,81		BaO	0,41
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,45		MnO <sub>2</sub>	0,27
	NiO	0,24		CeO <sub>2</sub>	3,50
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,27			

a. Komposisi gelas (*fly ash*)

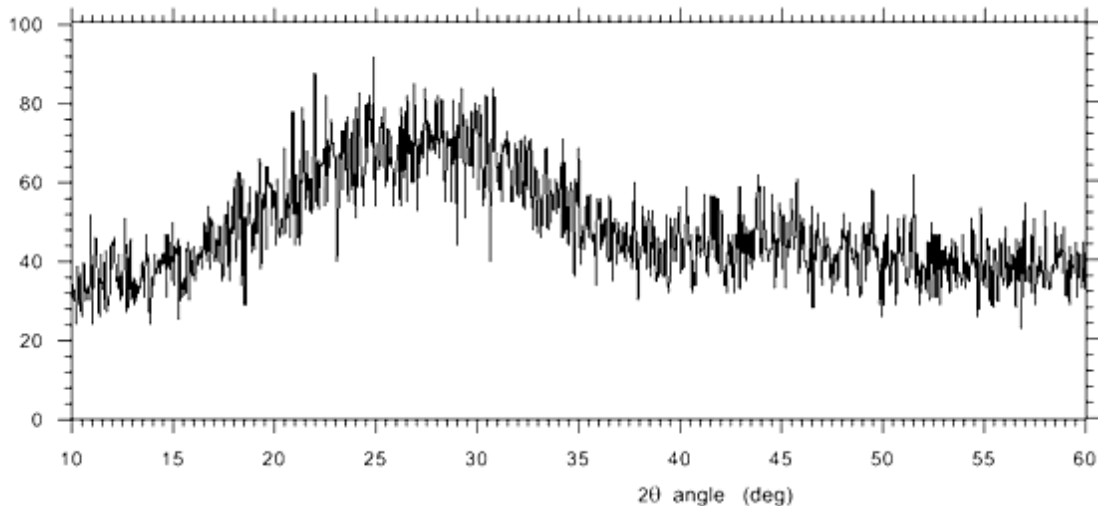
b. Komposisi limbah LCAT

Tabel 4. Komposisi gelas (*bottom ash*)-limbah LCAT bahan bakar bekas PWR, fraksib bakar 45.000 MWD/MTU, pengkayaan U 4,50 %, daya spesifik 38 MW/MTU, pendinginan 4 tahun dengan kandungan limbah 20 % berat[2].

Oksida	% berat		Oksida	% berat
a. SiO <sub>2</sub>	40,00		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,27
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,32		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,15		SeO <sub>2</sub>	0,02
K <sub>2</sub> O	0,45		Rh <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,12
CaO	1,72		PdO	0,36
MnO <sub>2</sub>	0,12		Ag <sub>2</sub> O	0,02
Na <sub>2</sub> O	0,24		SnO	0,02
TiO <sub>2</sub>	0,28		Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,35		TeO <sub>2</sub>	0,14
b. Na <sub>2</sub> O	9,76		Cs <sub>2</sub> O	0,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,45		BaO	0,41
NiO	0,24		MnO <sub>2</sub>	0,27
			CeO <sub>2</sub>	3,50

- a. Komposisi gelas (*bottom ash*)
- b. Komposisi limbah LCAT

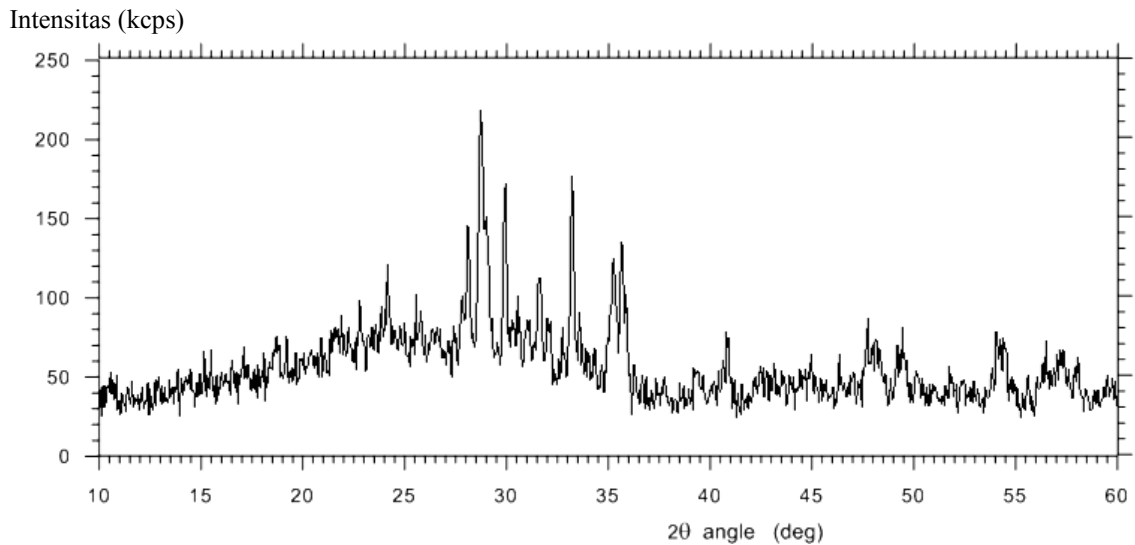
Intensitas (kcps)



Gambar 1. Pola difraksi amorf bahan gelas dari *bottom ash*

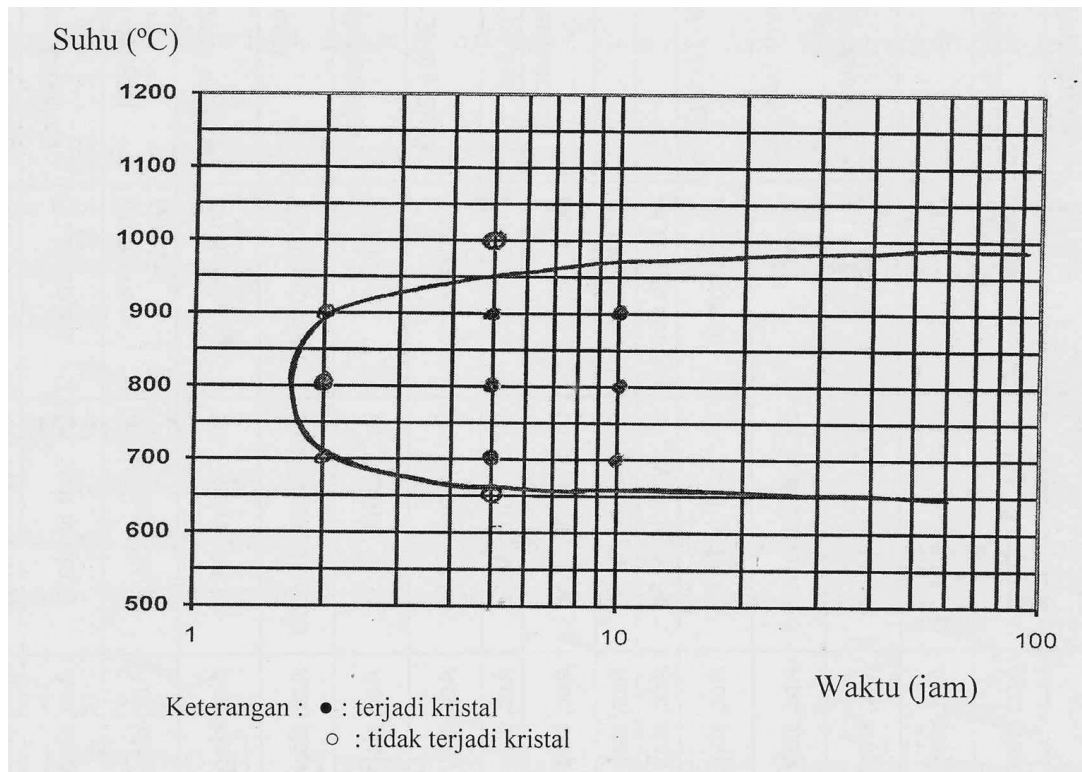
Gelas-limbah dengan bahan gelas dari *bottom ash* dianalisis dengan difraktometer sinar-X menunjukkan pola difraksi untuk bahan amorf, seperti pada Gambar 1. Demikian pula gelas-limbah dengan bahan gelas dari *fly ash* yang

dipanaskan pada 800 °C selama 2 jam menunjukkan pola difraksi seperti pada Gambar 2.

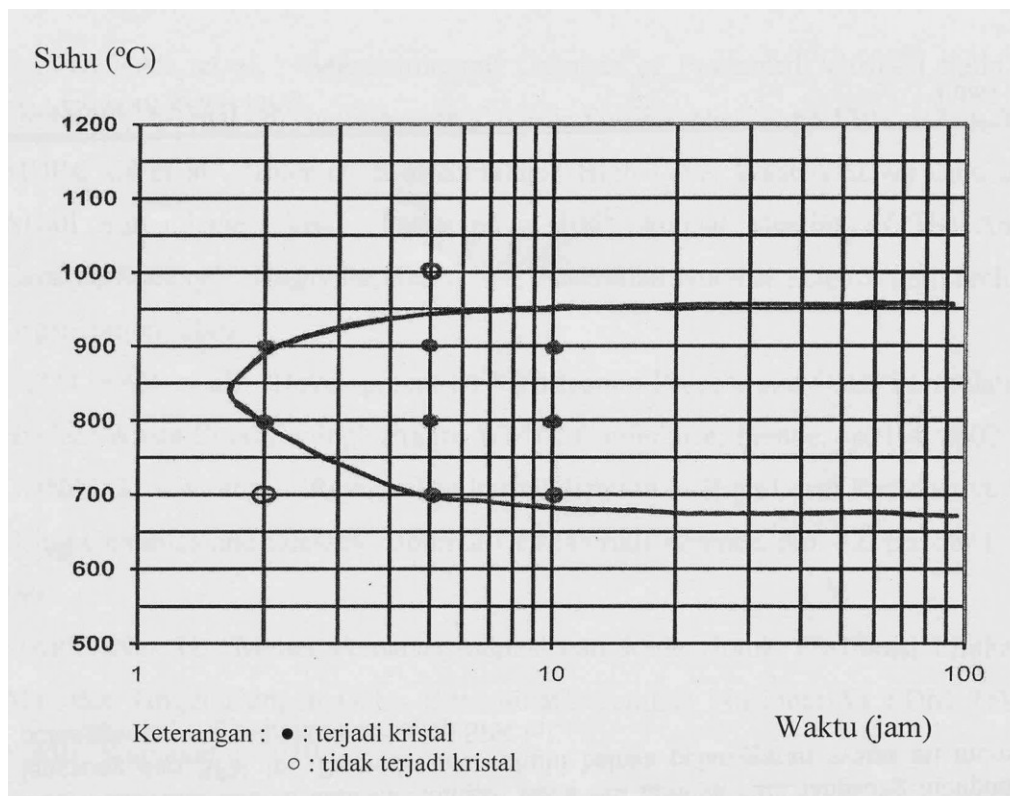


Gambar 2. Pola difraksi kristal gelas *fly-ash* limbah yang dipanaskan pada 800 °C selama 2 jam

Dari hasil analisis dengan defraktometer sinar -x, gelas (*fly ash*)- limbah dan gelas (*bottom ash*)-limbah dapat dibuat diagram TTT yang ditunjukkan pada gambar 3 dan gambar 4. Suhu diatas 900 °C tidak terjadi kristalisasi gelas karena gerakan atom-atomnya sangat cepat sehingga sukar untuk mengatur diri membentuk kristal. Kristalisasi dapat terjadi pada suhu rendah yaitu 600 °C tetapi dalam jangka waktu yang sangat lama. [9].



Gambar 3. Difraktometer sinar-X gelas limbah dengan bahan gelas dari *fly ash*



Gambar 4. Difraktometer sinar-X gelas limbah dengan bahan gelas dari *bottom ash*.

Kadar  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang tinggi dalam *bottom ash* menyebabkan titik lebur yang tinggi. Penambahan  $\text{B}_2\text{O}_3$  dalam *bottom ash* dapat menurunkan titik lebur gelas-limbah.

Titik lebur (*melting point*) adalah suhu dimana viskositas gelas-limbah adalah 100 poise dan ini terjadi pada suhu 1150 °C. Terjadinya kristalisasi harus dihindari karena akan menaikkan laju pelindihan gelas-limbah. Untuk menghindari kristalisasi digunakan sistem pendingin sampai temperatur di bawah  $T_g$  (titik transformasi).

## KESIMPULAN.

Kristalisasi *fly ash*-limbah dan *bottom ash*-limbah terjadi antara suhu 700 - 900 °C. Kristalisasi gelas-limbah harus dihindari karena menaikkan laju pelindihan gelas-limbah. Di atas suhu 900 °C, kristalisasi tidak terjadi karena gerakan atom-atomnya sangat cepat.

## DAFTAR PUSTAKA.

- [1].MARTONO, H, "Treatment of High Level Liquid Waste and Characterization of Waste Glass", PNC, Japan, 1988.
- [2].KAVOURAS, et al, "Microstructural Changes of Processed Vitrified Solid Waste Products", *Journal Of The European Ceramic Society*, No. 23, pp 1305 - 1311, 2002.
- [3].MORGAN et al, "Interaction of Simulated High Level Waste (HLW) Calcine With Alkali Borosilicate Glass". Presented at 105th Annual Meeting of The American Ceramic Society", Nashville, Tennessee, Australian Nuclear Science and Technology Organization, 2002.
- [4].PETITJEAN, et al, "Development Of Vitrification Process and Glass Formulation For Nuclear Waste Conditioning" France WM'02 Conference, France, pp. 1-4, 2002.
- [5].DONALD, I.W, et al, "Review The Immobilization of High Level Radioactive Wastes Using Ceramics and Glasses", *Journal Of Materials Science*, No. 32, pp. 5851 - 5887, 1997.
- [6].MARTONO, H, "*Melter* Pemanas Induksi dan Joule Untuk Vitriifikasi Limbah Cair Aktivitas Tinggi Dengan Gelas Borosilikat", Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 2010.
- [7].Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), "High-Level Waste *Melter* Study Report", Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington, 2001.
- [8].PUSPITASARI, Y, et al, "Sintesis Dan Karakterisasi Geopolimer Berdasarkan Variasi Rasio Mol  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  Dari Abu Layang PLTU Suralaya", Prosiding Kimia FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2010.
- [9].MOSER, C.M, "Borosilicate and Alumino Silicate Glass AS A High Level Radioactive Waste Form", *Environmental Science*, 2001.



## OPTIMALISASI PENGOPERASIAN SISTEM PENYEDIA MEDIA & ENERGI INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF

**Gatot Sumartono**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**OPTIMALISASI PENGOPERASIAN SISTEM PENYEDIA MEDIA DAN ENERGI INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTI**, Telah dilaksanakan optimalisasi pengoperasian sistem penyedia media dan energi instalasi pengolahan limbah radioaktif. Mengingat bahwa peralatan sistem penyedia media dan energi mempunyai umur relatif tua sehingga hasil unjuk kerja peralatannya banyak menurun apalagi sebagian peralatan tersebut ada yang mengalami kerusakan sehingga secara keseluruhan media & energi yang dihasilkan kurang optimal. Untuk menjamin kelancaran operasi IPLR maka peralatan sistem penyedia media dan energi unjuk kerjanya supaya dioptimalkan dengan menitik beratkan pada langkah perawatan preventif dan kuratif serta mengefektifkan operasi peralatannya. Media dan energi yang dihasilkan pada sistem ini adalah air pendingin, air chiller, air servis & domestik, air bebas mineral, udara tekan, uap panas dan energi listrik serta manajemen tata udara ruang perkantoran maupun ruang proses. Dengan optimalnya operasi sistem penyedia media dan energi tersebut maka seluruh kegiatan rutin Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan.

*Kata kunci: Operasi, media, energi.*

### ABSTRACT

*Optimization of media and energy supply (MES) system operation for radioactive waste treatment installation (RWI). Optimization of MES system operation for RWI has been carried out. Based on actual condition, most of MES equipments have been working for long period causes the equipments performance decreased. Moreover, some equipments were damaged so that the overall media and energy produced is not optimal. To support operation of the RWI can run well, performance of MES equipments should be optimized with emphasis on preventive and corrective maintenance and conducting effective operation. The media and energy produced by MES system consist of water coolant, chilled water, service water demineralized water, compressed air, steam and electricity. Operation also include office and process room management. With optimum MES system operation then the whole routine activities of RWI can run as expected.*

*Key words: operation, media, energy.*

### PENDAHULUAN

Sistem Penyedia Media dan Energi merupakan fasilitas PTLR yang menghasilkan media dan energi. Peralatan Penyedia Media dan Energi yang dimiliki terdiri dari beberapa sistem, yaitu *Chilled Water System, Steam System, Compressed Air System, Demineralized System, Gen-Set System, Service dan Domestic Water System, VAC & OFF-GAS System, Cooling Water System, Fuel System dan Drainage System*. Seluruh sistem tersebut dioperasikan bila instalasi pengolahan limbah radioaktif melaksanakan proses pengolahan limbah radioaktif cair dengan evaporasi, tetapi bila mengolah limbah radioaktif padat dengan kompaksi atau dengan proses Insenerasi, sistem penyedia media dan energi hanya sebagian yang dioperasikan yaitu *Chilled Water System, VAC & OFF-GAS*

*System, Compressed Air System, Service dan Domestic Water System.* adapun *Generator Set* akan dioperasikan bila arus listrik PLN padam.

Kondisi terakhir peralatan sistem penyedia media dan energi pada kenyataannya ada beberapa sistem tidak bekerja optimal karena mengalami kendala teknis yang disebabkan adanya kerusakan di beberapa peralatan utamanya. Oleh sebab itu kebijakan yang diambil untuk mengoptimalkan unjuk kerja sistem lebih memilih dilakukannya perawatan secara preventif maupun kuratif pada peralatan utama tersebut dibandingkan dengan penggantian peralatan baru, karena dinilai lebih ekonomis ditinjau dari harga maupun waktu. Dengan optimalnya unjuk kerja seluruh sistem penyedia media dan energi diharapkan bisa menjamin kelancaran suplai media dan energi yang sesuai dengan standar spesifikasi sehingga memperlancar seluruh kegiatan yang dilaksanakan oleh Pusat Teknologi Limbah Radioaktif.

## TATA KERJA

### Bahan :

Bahan pendukung operasional pada sistem sarana penunjang yang harus disiapkan sebelum dioperasikan adalah sbb :

- Freon 22
- Oli kompresor YORK
- Filter HEPA (*High Efficiency Partical Air*)
- *V-Belt*
- Solar
- Gas elpiji
- *Water softener*
- Oli kompresor (*SSR Ultra Coolan*)
- Kation & anion
- HCl, NaOH
- Garam dapur
- Elektrolit
- *Carbon filter*
- *Turbidity Filter*

### Alat :

Peralatan dan dokumen yang dipergunakan untuk pengoperasian sistem penyedia media dan energi adalah sbb :

1. Prosedur dan Instruksi kerja semua sistem.
2. Logsheets.
3. APD
4. *Tool Set Mekanik*
5. *Manometer - U*
6. *Oil Pump Compressor*
7. *Multi Tester*

### Metode :

Ada tiga metode pengoperasian sistem penyedia media dan energi yaitu sistem dengan operasi terus menerus, sistem dengan operasi temporer/ jika ada proses pengolahan limbah dan sistem dengan operasi *emergency* jika PLN mati. Sistem yang dioperasikan setiap hari kerja selama 8 jam terus menerus adalah *Chilled water system dan VAC & OFF Gas System, Electrical system dan Service & Domestic water system, serta Compressed Air System.*



Sistem yang dioperasikan bila diminta oleh kelompok atau bidang lain adalah *Steam system*, *Fuel System*, *Demineralized water system*, dan *Cooling water system*.

Sistem yang beroperasi bila aliran arus listrik PLN padam adalah *Generator set system*. Operasi ini berlangsung secara otomatis pada saat PLN padam. Demikian pula perpindahan akan berlangsung otomatis saat PLN nyala kembali.

Adapun metode perawatannya dilaksanakan dengan dua cara yaitu perawatan preventif yaitu perawatan secara berkala sebelum peralatan mengalami gangguan atau kerusakan seperti penggantian oli pompa, penambahan gemuk (vet), pelaksanaan setting peralatan (*aligment*), penggantian V-Belt, pembersihan dan penggantian *filter*, penggantian spare part, dll. yang mana pelaksanaan perawatan preventif dilakukan saat peralatan sistem tetap beroperasi, tetapi bila diperlukan sistem dimatikan dalam waktu yang ditentukan.

Sedangkan perawatan kuratif adalah pelaksanaan perbaikan peralatan sistem yang mengalami kerusakan dan harus dilakukan pembongkaran total sehingga sistem dimatikan dalam waktu yang cukup lama.

## HASIL & PEMBAHASAN.

Dalam menunjang kelancaran pengolahan limbah radioaktif serta kebutuhan laboratorium selama tahun 2013, telah dioperasikan sistem sarana penunjang yang dimiliki yaitu *steam*, *demineralized water*, *cooling water*, *compressed air*, *chilled water*, *service water*, *gen-set*, *electrical*, *vac & off gas*, dan *fuel* yang jumlah jam operasinya dijelaskan pada **Gambar 1**. Pada gambar ditunjukkan pula bahwa hanya dua sistem yang beroperasi selama 2200 jam yaitu *chiller* dan *VAC / Off gas*. Sistem ini dituntut untuk beroperasi terus menerus untuk memenuhi syarat kualitas udara dalam ruang IPLR. Jam operasi paling sedikit adalah *Fuel system* (18 jam) dan *Demineralized Water System* (34 jam), sedangkan *Gen-set* beroperasi bilamana asupan listrik dari PLN padam. Proses transfer dari PLN ke generator set atau sebaliknya berlangsung secara otomatis dengan alat *ATS (automatic transfer switch)*.

Operasi *Steam system*, *Demineralized water system*, dan *Cooling water system* selama satu tahun tidak maksimal dikarenakan hanya untuk keperluan pemanasan dan kebutuhan laboratorium. Sedangkan untuk *service water system* dan *compressed air system* lebih lama atau sekitar 2000 jam selama satu tahun karena dioperasikan setiap hari kerja untuk mensuplai media pada saat pengolahan limbah radioaktif padat atau saat pemanasan sistem. Adapun nama sistem dan jenis media yang dihasilkan serta peruntukannya ditunjukkan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Sistem dan Fungsi Media.

SISTEM	MEDIA ENERGI	FUNGSI PENUNJANG
1. Chilled water	Air pendingin ( 4-7 °C )	Proses Evaporasi, VAC/Off gas
2. Steam	Uap panas ( 160 °C ) Tekanan uap 125 Psi	Proses Evaporasi, Mesin setrika
3. Compressed air	Udara tekan (Max 8 Kg/cm <sup>2</sup> )	Kompaktor, sistem pneumatic pada peralatan proses.
4. Service & Domestic Water	Air bersih. ( PH : 7 – 9 )	Proses pengolahan limbah, Laboratorium, Laundry.
5. Cooling water	Air pendingin (20 °C)	Proses Evaporasi
6. Demineralized Water	Air bebas mineral ( < 1,2 µS/cm )	Proses Evaporasi, Laboratorium
7. Fuel	Bahan bakar Solar	Boiler, Gen-Set dan Fork-Lift
8. Generator - Set	Arus listrik ( 1455 KVA )	Pengganti fungsi PLN bila arus listrik terputus/padam.
9. VAC & Off Gas	Managemen Tata Udara	Pengaturan suhu, humidity, dan tekanan udara ruang proses.

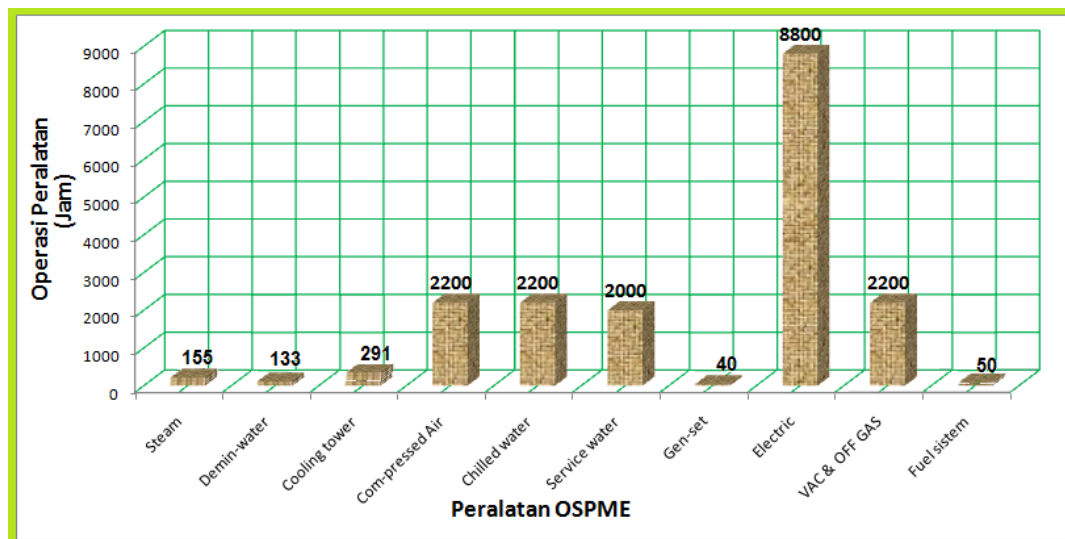
**Tabel 2.** Data Jam Operasi Sistem Penyedia Media dan Energi Tahun 2013.

No	SISTEM	JAM OPERASI				JUML Jam Operasi	KETERANGAN
		TW 1	TW2	TW3	TW4		
1	Steam	16	16	90	33	155	Pemanasan alat, operasi evaporasi dan laundry
2	Demineralized water	4	6	90	33	133	Pemanasan alat, operasi evaporasi dan laundry
3	Cooling tower	4	6	90	33	133	Pemanasan alat dan operasi evaporasi
4	Compresed Air	550	550	550	550	2200	Pemanasan alat, operasi evaporasi, laundry dan kompaktor
5	Chilled water	550	550	550	550	2200	Operasi Tata Udara ruang IPLR dan Perkantoran
6	Service water	350	550	550	550	2000	Operasi evaporasi
7	Gen-set	8	12	8	12	40	Arus PLN padam dan Pemanasan alat
8	Electrical	2200	2200	2200	2200	8800	Sumber arus seluruh sistem dan penerangan PTLR
9	VAC & OFF GAS	550	550	550	550	2200	Managemen udara ruang PTLR
10	Fuel sistem	5	5	38	2	50	Kebutuhan bahan bakar untuk Boiler dan Gen- Set, serta atas permintaan BPL

Keterangan TW: tri-wulan.

Peralatan sistem penyedia media dan energi yang beroperasi rutin selama lima hari kerja adalah VAC (*ventilation air conditioning*) dan gas buang (*off gas*).

Peralatan beroperasi untuk memenuhi persyaratan fasilitas nuklir yaitu temperatur, kelembaban, tekanan negatif dan *pressure drop HEPA filter*. Di IPLR temperatur dijaga untuk ruangan tipe A < 25 °C, ruangan tipe B < 28 °C dan untuk ruangan tipe C < 50 °C. Kelembaban untuk ruangan tipe A < 60 %, ruangan type B < 60 % dan untuk ruangan type C > 60 %. *Negative pressure* harus dijaga untuk *zone 1* berkisar antara 0 s/d -7 daPa, *zone 2* antara - 8 – 10 daPa, *zone 3* antara -12 s/d -14 daPa dan *zone 4* sampai dengan -22 daPa. *Pressure drop HEPA filter* sistem VAC < 105 daPa, sedangkan sistem off-gas < 90 daPa. Berdasarkan data dari **Tabel 2**, maka dapat digambarkan perbandingan masing-masing sistem sarana penunjang terhadap jumlah jam operasinya selama tahun 2013 seperti terangkum pada grafik **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Grafik Operasi Peralatan Sistem tahun 2013.

Optimalisasi peralatan sistem penyedia media dan energi mengharuskan sub bidang perawatan lebih fokus menjalankan kegiatan pelaksanaan perawatan preventif maupun kuratif. Adapun perawatan preventif yang dimaksud adalah suatu kegiatan perawatan peralatan yang sifatnya untuk mencegah terjadinya ketidak sesuaian atau kerusakan misalnya penggantian filter karena sudah jenuh, penggantian oli pelumas karena sudah keruh, penambahan gemuk (vet) karena sudah kering, penggantian V-Belt dan lain lain kegiatan. Kegiatan perawatan preventif selama tahun 2013 serta dampak perubahan unjuk kerja peralatannya sebelum dan sesudah dilakukan perawatan preventif secara lengkap diperlihatkan pada **Tabel 3**.

Sedangkan yang dimaksud dengan perawatan kuratif adalah suatu kegiatan perbaikan dengan membongkar secara total peralatan yang mengalami kerusakan dengan mengganti beberapa suku cadang, sehingga apabila tidak diperbaiki peralatan tersebut tidak bisa beroperasi dan secara keseluruhan sistem yang terkait tidak menghasilkan media yang diharapkan. Pelaksanaan perawatan kuratif selama tahun 2013 dilakukan oleh pihak ketiga (Kontraktor) yang dikoordinir oleh Sub Bidang Perawatan dan Perbaikan Peralatan Proses yang bertanggung jawab penuh terhadap seluruh kegiatannya.

Kegiatan perawatan kuratif yang sudah dilaksanakan untuk peralatan operasi sistem penyedia media dan energi selama tahun 2013 antara lain.

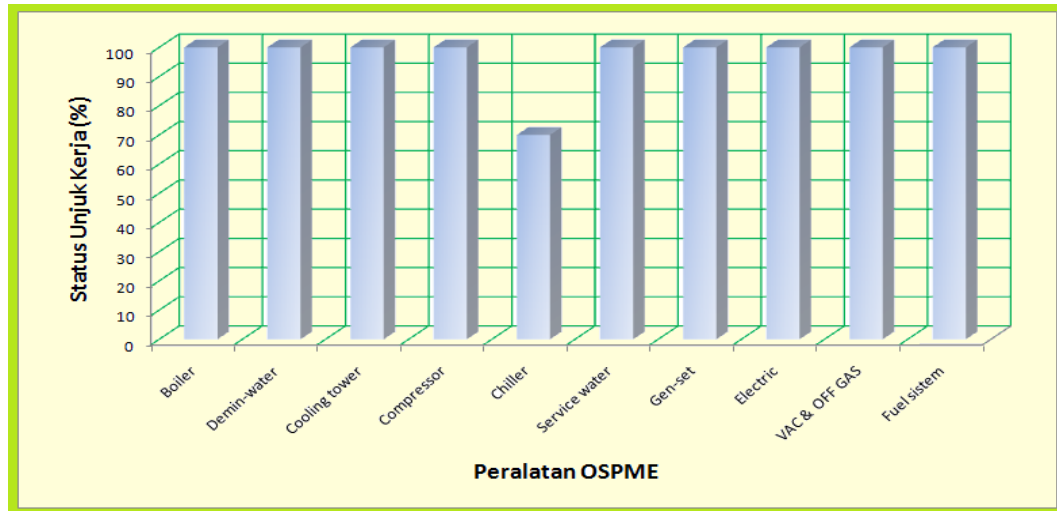
- Penambahan satu unit kompresor baru
- Perbaikan modul Generator-Set.
- Pembersihan condenser pada unit chiller.
- Perbaikan sistem kelistrikan Cooling Tower.
- Penggantian Pompa Servise Water P 6281 B .
- Perbaikan sistem AHU Office
- Perbaikan, Bearing , V-Belt dan Motor blower, sistem VAC & Off gas.

Adapun kegiatan perawatan preventif yang dilaksanakan selama tahun 2013 dijelaskan pada **Tabel 3**, dimana adanya dampak perubahan unjuk kerja peralatan sistem sebelum dan sesudah dilaksanakannya perawatan preventif tersebut.

**Tabel 3.** Keterlibatan Operator dalam Kegiatan Perawatan Preventif dan Dampak Perubahan Unjuk kerja Peralatan OSPME.

No	Jenis kegiatan perawatan preventif	Unjuk kerja sebelum perawatan	Unjuk kerja setelah perawatan	Spesifikasi standar
1.	Pemebrihan condenser chiller 1,2,3 dan 4	LWT > 7 <sup>0</sup> C	LWT < 7 <sup>0</sup> C	LWT 4 <sup>0</sup> C s/d 7 <sup>0</sup> C
2.	Penggantian <i>HEPA Filter</i> pada sistem tata udara (setiap tahun)	$\Delta P = 130$ daPa	$\Delta P = 40$ daPa	$\Delta P < 110$ daPa
3.	Pembersihan <i>Filter AHU Office</i> (Setiap satu tahun)	Temperatur ruang perkantoran 28 <sup>0</sup> C	Temperatur ruang perkantoran 23 <sup>0</sup> C	Temperatur ruang 16 – 26 <sup>0</sup> C
4.	Pengurusan dan pem bersihan bak penam pung air ( <i>Reservoir</i> ) (Setiap enam bulan)	Air agak keruh dengan pH = 10	Air Jernih dengan pH = 8	Air Jernih dengan pH = 7 s/d 9
5.	Penambahan gemuk/vet pada <i>bearing</i> motor dan <i>bearing blower</i> sistem tata udara. (Setiap 1 bl)	Suara Bearing kasar 95 dB, dengan suhu mencapai 90 <sup>0</sup> C	Suara Bearing 75 dB dan suhu 70 <sup>0</sup> C	Suara normal (60 – 80 dB), Temperatur (60 – 80 <sup>0</sup> C)
6.	Penggantian <i>V-Belt</i> motor blower VAC ruang proses <i>Zone 3-4</i> (Setiap 3 bulan)	Putaran blower 1300 rpm	Putaran blower 1400 rpm	Putaran Blower (1400 – 1450) rpm
7.	Penambahan <i>Freon 22</i> dan oli <i>compressor</i> pada <i>chiller2</i> (Setiap 3 bln)	Temperatur air <i>chiller</i> yang dihasilkan 10 <sup>0</sup> C	Temperatur air <i>chiller</i> yang dihasilkan 7 <sup>0</sup> C	Temperatur air <i>chiller</i> 4 – 7 <sup>0</sup> C
8.	Penggantian oli <i>compressor</i> (setiap satu tahun)	Suara <i>compressor</i> kasar (oli keruh)	Suara <i>compressor</i> halus	Normal
9.	Penggantian <i>filter</i> udara dan <i>filter oil compressor</i> (setiap satu tahun)	Udara tekan yang dihasilkan lembab	Udara tekan yang dihasilkan bersih dan kering.	Udara tekan harus bersih dan kering
10.	Penggantian oil diesel gen-set (setiap 1 tahun)	Suara diesel gen-set kasar	Suara diesel gen-set sedang.	Normal
11.	Penggantian <i>filter oil</i> dan <i>filter</i> bahan bakar gen-set (setiap 1 tahun)	Suara diesel gen-set kasar dan rpm tidak stabil	Suara diesel gen-set sedang dan rpm stabil	Normal
12.	Penggantian Turbidity Filter untuk Air (setiap 3 bulan)	Air agak keruh	Air bersih dan jernih	Air bersih dan jernih

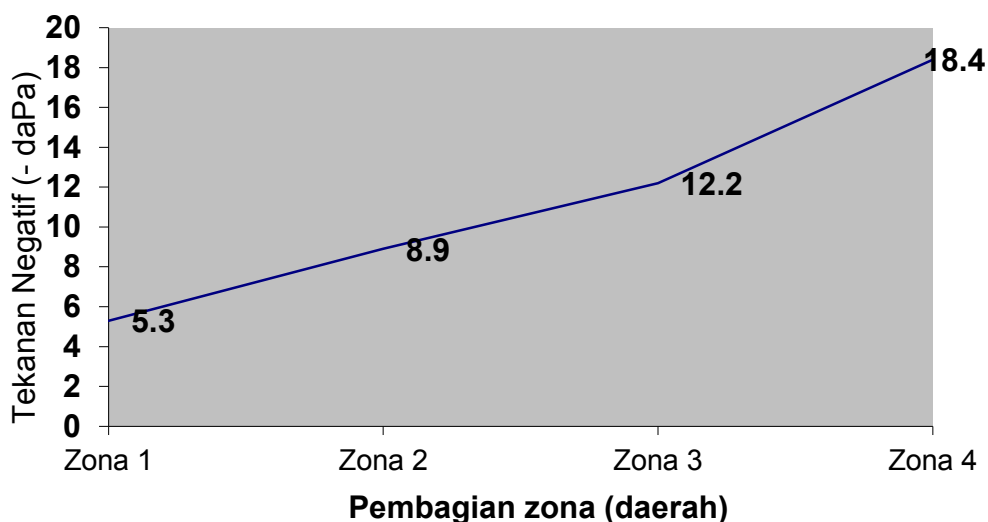
Adapun status unjuk kerja peralatan Operasi Sistem Penyedia Media dan Energi pada akhir tahun 2013 setelah dilakukan Optimalisasi diperlihatkan pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Unjuk kerja Peralatan Operasi sistem Penyedia Media dan Energi.

Pada **Gambar 2** diperlihatkan bahwa masih adanya sistem yang tidak beroperasi optimal yaitu *Chilled Water System*, dari empat unit Chiller yang dimiliki PTLR hanya dua Unit yang beroperasi sempurna, sedang kedua unit lainnya salah satu sistemnya mengalami gangguan sehingga perlu dipikirkan langkah kedepannya. Grafik diatas juga menunjukkan bahwa *Cooling Water System* dan *Service Water System* pada tahun sebelumnya hanya beroperasi 75% karena ada peralatan utamanya yang tidak berfungsi dan memerlukan perbaikan, tetapi pada tahun 2013 semua peralatan utamanya yang mengalami kerusakan sudah diperbaiki sehingga pada awal bulan agustus 2013 kedua sistem tersebut sudah beroperasi 100%.

Kegiatan lain yang berhubungan dengan manajemen tata udara (*VAC & Off-gas System*) adalah melakukan pengukuran rata-rata pada ruangan *zone* (daerah) kerja berdasarkan tekanan negatif di IPLR – BATAN. Hal ini dijelaskan pada **Gambar 3** bahwa tekanan negatif yang dihasilkan untuk zone 1, 2, 3 dan 4 masih dalam batas yang diijinkan.



**Gambar 3.** Tekanan rata-rata negatif berdasarkan zone kerja.

Hasil pengukuran rata-rata tekanan negatif (pressure drop) selama tahun 2013 untuk ruang IPLR yang dibandingkan dengan standar tekanan negatif yang berlaku diperlihatkan pada **Tabel 4**, sedangkan hasil pengukuran rata-rata suhu dan kelembaban tekanan negatif diperlihatkan pada **Tabel 5**.

**Tabel 4.** Hasil rata-rata pengukuran tekanan negatif sistem VAC di IPLR.

No	Zona	Hasil rata-rata pengukuran tekanan	
		Terukur (daPa)	Standar (daPa)
1	<i>Zone 1</i>	- 5.3	0 sampai - 7
2	<i>Zone 2</i>	- 8,9	- 8 sampai - 10
3	<i>Zone 3</i>	- 12.2	- 12 sampai - 14
4	<i>Zone 4</i>	- 18,4	> - 22

**Tabel 5.** Hasil pengukuran suhu dan kelembaban sistem VAC & Off Gas.

No	Ruang	Tipe Ruang	Temperatur rata-rata (°C)		Kelembaban rata-rata (%)		Nama Ruang
			terukur	standar	terukur	standar	
1	1.0.13	A	23.4	< 25	47.5	< 60	Ruang ganti pakaian ( <i>cool</i> )
2	2.0.01	A	24.7	< 25	46.9	< 60	Ruang ganti pakaian ( <i>hot</i> )
3	2.0.06	A	24.8	< 25	47.4	< 60	Ruang kendali sementasi
4	2.0.13	A	22.3	< 25	47.3	< 60	Ruang kendali evaporasi

5	2.1.03	A	23.4	< 25	47.2	< 60	Ruang mesin cuci
6	3.B.01	B	22.8	< 28	49.4	< 60	Ruang penampung limbah
7	3.0.01	B	24.6	< 28	49.7	< 60	Ruang pompa evaporasi
8	2.1.01	B	23.5	< 28	49.3	< 60	Koridor
9	3.0.02	B	26.8	< 28	46.8	< 60	Ruang kompaktor
10	2.1.07	B	25.1	< 28	43.7	< 60	Ruang exhaust fan

## KESIMPULAN

Dari hasil kegiatan di atas maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Peralatan sistem penyedia media dan energi yang tidak beroperasi rutin, tetap dioperasikan secara berkala untuk pemanasan alat.
2. Peningkatan Unjuk Kerja Peralatan OSPME dapat tercapai setelah dilakukan perawatan preventif dan kuratif secara terprogram.
3. Berdasarkan hasil pengukuran ruang IPLR terhadap kinerja sistem tata udara, maka kondisi setiap ruang IPLR masih memenuhi standar yang dipersyaratkan untuk temperatur, kelembaban maupun tekanan negatifnya.
4. Walaupun kondisi peralatan sistem penyedia media dan energi masih belum maksimal, tetapi tetap bisa menjamin asupan kebutuhan media dan energi yang dibutuhkan untuk menunjang pengolahan limbah radioaktif IPLR.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. **MARYUDI**, "*Prosedure Maintenance Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif*", Serpong 2001.
- [2]. **ANONIM**, "*Diklat seminar York Air Conditioning Service & Maintenance*" Jakarta, 9 Juli 1992.
- [3] **ANONIM**, *Prosedur & Instruksi kerja sistem OSPME – BOSP*, 2010.
- [4] **ANONIM**, *Logbook operasional MES*, tahun 2013.
- [5] **ANONIM**, *Logbook perawatan MES*, tahun 2013.
- [6] **ANONIM**, *Operating manual*, Sistem Sarana Penunjang RWI, 1985.





**PENGOPERASIAN BOILER SEBAGAI ENERGI PENGUAPAN PROSES  
EVAPORASI LIMBAH CAIR IPLR****TAHUN 2013****Heri Witono, Ahmad Nurjana**  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN**ABSTRAK**

**PENGOPERASIAN BOILER SEBAGAI ENERGI PENGUAPAN -PADA PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF CAIR DALAM EVAPORATOR.** Telah dilakukan pengoperasian boiler untuk menunjang proses evaporasi limbah radioaktif cair di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif ( IPLR ). Uap jenuh ( *saturated steam* ) dari boiler digunakan sebagai pemanas pada proses evaporasi limbah radioaktif cair. Untuk menghasilkan uap panas lanjut ( *superheated steam* ) digunakan ketel uap yang dioperasikan pada tekanan 8,3 Kg/cm<sup>2</sup> dan suhu 160 °C. Boiler dioperasikan dengan cara menghidupkan pompa bahan bakar, burner dan blower udara. Pada operasi *boiler*, uap panas yang dihasilkan 8.950.000 BTU/jam dengan kapasitas 2348 kg/jam dan digunakan evaporator untuk mengkonsentrasikan limbah radioaktif cair dari volume 50 m<sup>3</sup> menjadi 1 m<sup>3</sup> selama 72 jam operasi. Pada kondisi uap dengan spesifikasi di atas masih mampu digunakan untuk proses evaporasi limbah radioaktif cair.

Kata Kunci : Pengoperasian boiler, Uap, Evaporasi limbah cair

**ABSTRACT**

**OPERATION OF BOILER AS VAPORATION ENERGY FOR LIQUID WASTE EVAPORATION AT RWI.** Boiler operation as steam generator has been performed to support the treatment of liquid radioactive waste using evaporator at the Radioactive Waste Management Instalation ( RWI ). Saturated steam from the boiler is used as heating medium in evaporation of liquid waste. To produce saturated steam, the boiler was operated at pressure of 8,3 kg/ cm<sup>2</sup> and temperature of 160 °C. Boiler was operated by turning on fuel pump, burner, and blower. The boiler, produces 8.950.000 BTU/h steam at capacities of 2348 kg/h and it can be used by evaporator to concentrate 50 m<sup>3</sup> of radioactive waste to be 1 m<sup>3</sup> during 72 hours operation. The condition of steam with that specification can be used for the evaporation process of liquid radioactive waste.

Keyword : Boiler operation, Steam, Liquid waste evaporation

**PENDAHULUAN.**

Pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif, Boiler digunakan sebagai alat pembangkit uap, selanjutnya energi uap dipergunakan untuk memanaskan 50 m<sup>3</sup> limbah radioaktif cair menjadi 1m<sup>3</sup> konsentrat. Energi panas boiler diserap oleh kisi kisi evaporator untuk menguapkan limbah. Kondensat uap dikembalikan ke system boiler sebagai air umpan boiler agar kerja boiler menjadi lebih efisien. Dengan perawatan dan pemanasan yang rutin maka kondisi boiler saat ini masih layak dan aman untuk dioperasikan, sebagai dasar keamanan operasi maka secara berkala boiler diperiksa dan diberi sertifikat layak operasai oleh Disnaker.

**DASAR TEORI:**

Boiler yang digunakan di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif ( IPLR ) adalah jenis pipa api sistem 4 aliran. Api ditimbulkan dari pembakaran semprotan bahan bakar ( solar ) oleh *burner* ke ruang bakar, kemudian mengalir pada lorong pipa api utama, ke pipa-pipa api fase kedua dan ketiga selanjutnya menuju ke cerobong. Proses perpindahan panas terjadi sepanjang pipa api ke air secara radiasi, konduksi dan konveksi. Proses pembentukan uap terjadi akibat adanya perpindahan panas dari api secara radiasi ke dinding pipa, kemudian diteruskan secara konduksi pada pipa menuju dinding yang bersentuhan dengan air, selanjutnya dari dinding pipa ke air yang paling dekat dengan pipa api. Akibatnya air yang paling dekat dengan pipa mengalami perubahan panas sehingga berat jenisnya akan turun akibatnya naik ke permukaan dan digantikan oleh air yang suhunya lebih dingin. Proses seterusnya terjadi secara berulang-ulang sehingga terjadi pembentukan uap.

Effisiensi Boiler :

$$\eta = \frac{\text{Panas yang dibutuhkan untuk memproduksi uap}}{\text{Jumlah Bahan Bakar } \times \text{ nilai kalor}} \times 100 \% \dots\dots\dots(3)$$

Effisiensi Boiler sangat tergantung pada:

1. Kondisi pipa, terbentuk kerak dan jelaga akan membuat panas yang dibutuhkan menjadi lebih banyak karena pipa menjadi lebih tebal dengan koefisien perpindahan panas berbeda antara jelaga, pipa karbon steel dan kerak.
2. Kualitas bahan bakar yang digunakan hubungan antara index diesel dan angka cethane sangat mempengaruhi kalor yang dihasilkan disamping juga kesempunaan perbandingan antara udara dan bahan bakar.

**TATA KERJA**

Bahan :

1. Solar
2. Air umpan yang telah dilunakkan
3. Garam untuk regenerasi *water softener*.

Metode.

Sebelum dilakukan pengoperasian sistem boiler perlu dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

**1. Start up**

- Pemeriksaan konfigurasi sistem pemipaan uap termasuk kedudukan katub-katub.
- Pemeriksaan peralatan utama
  1. Gelas penduga,
  2. Katub pelepas tekanan
  3. Bel atau sirine tanda bahaya

- Pemeriksaan peralatan bantu.
  4. *Water softener*, pH air harus 7 – 9
  5. Pompa bahan bakar
  6. Pompa air umpan
  7. *Surge Tank*
  8. *Lifting Condensate Pump*
  9. Pompa penambahan bahan kimia
  10. *Deaerator Tank*

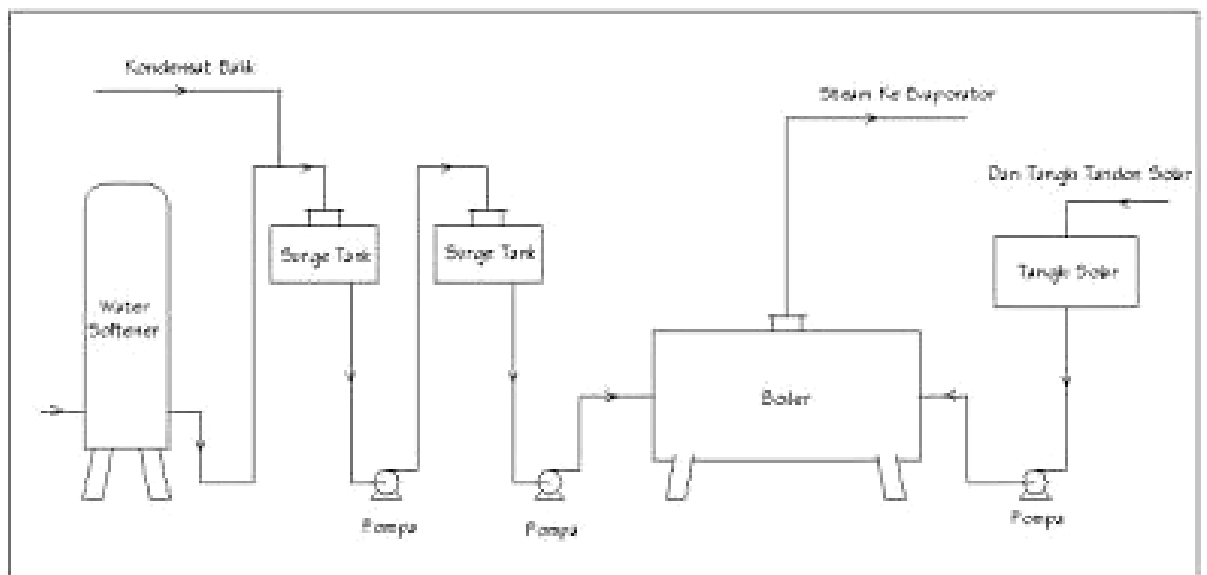
2. Menghidupkan **Boiler**

- *Boiler* diisi air sampai pada *level* yang telah ditentukan dengan memutar *switch power* pada posisi *on*
- *Boiler* dihidupkan atau dioperasikan dengan memutar *switch on* pada panel *boiler*
- Setelah 10 menit operasi *switch burner* ditekan pada posisi *main flame*.
- Setelah tekanan telah mencapai 8,3 kg/cm<sup>2</sup> katub utama uap dibuka untuk distribusi uap ke evaporator.

3. Mematikan **Boiler**

- *Switch boiler* diputar pada posisi *off*
- Seluruh uap yang tersisa dikeluarkan dari dalam *boiler*
- Semua *switch boiler* dan pompa-pompa diputar pada posisi *off*.

Diagram alir proses operasi sistem uap di IPLR ditunjukkan Gambar 1



Gambar 1. Diagram alir proses operasi sistim uap

Keterangan :

1. Air baku dilunakkan dengan menggunakan resin kation di dalam *Water Softener* untuk menghilangkan mineral mineral dalam air.

2. Dalam *Surge Tank* air lunak dicampur dengan kondensat balik agar temperatur air isian menjadi lebih tinggi.
3. Kemudian air dimasukkan ke dalam *Deaerator Tank* agar bebas dari kandungan oksigen yang berlebihan selanjutnya dipompa masuk boiler.
4. Bahan bakar dipompa dengan tekanan 17,5 bar menuju *burner* dan ruang bakar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk produksi uap ( m ) dengan kapasitas 2348Kg/jam.....( 1 )  
 maka panas yang dibutuhkan untuk memproduksi uap :

$$Q = m ( h_{uap} - h_{air\ umpan} ).....( 4 )$$

Dimana :

h = energy yang dibutuhkan pada suhu yang kita inginkan.

Dari rumus diatas maka, temperature air masuk Boiler sangat mempengaruhi panas yang dibutuhkan untuk memproduksi uap, sehingga makin tinggi suhu air isian Boiler maka bahan bakar juga akan semakin hemat.

Kegiatan pengopersian yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kegiatan operasi boiler yang telah dilaksanakan tahun 2013

Kegiatan	Bulan												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Persiapan operasi												
2	Operasional alat												
3	Perawatan												
4	Pemanasan alat												
5	Evaluasi												
6	Pembuatan laporan												

Pada tabel 1 diatas dapat dilihat :

- Persiapan operasi hanya dilakukan pada awal tahun untuk menjamin dalam satu tahun operasi tidak menemui kendala.
- Operasional alat dilakukan tiap bulan, sesuai dengan permintaan bidang pengolahan limbah.
- Perawatan alat dilakukan tiap empat bulan sekali agar kondisi alat tetap terjaga.
- Pemanasan dilakukan agar kondisi alat tetap baik dan siap dioperasikan setiap saat.
- Evaluasi dan pembuatan laporan dilakukan tiap triwulan sekali sesuai jadwal.

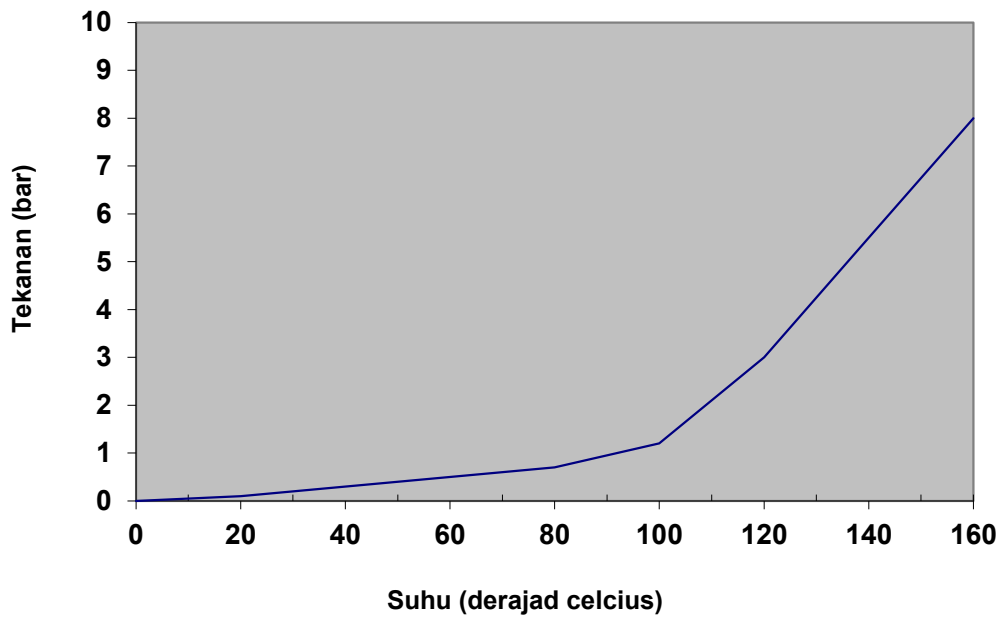
Hubungan antara tekanan dan temperatur uap dalam boiler ditunjukkan Tabel 3 dan Gambar 2 sedangkan konsumsi bahan bakar operasi boiler ditunjukkan Tabel 2 dan Gambar 3.

Tabel. 2 Hubungan antara konsumsi bahan bakar dengan lama operasi boiler

No.	Operasi boiler ( jam )	Konsumsi bahan bakar
1.	0	0
2.	1	160
3.	2	260
4.	3	360
5.	4	460
6.	5	560
7.	6	660
8.	7	760
9.	8	860

Tabel. 3 Hubungan antara Tekanan dan Temperatur dalam boiler ( 5 )

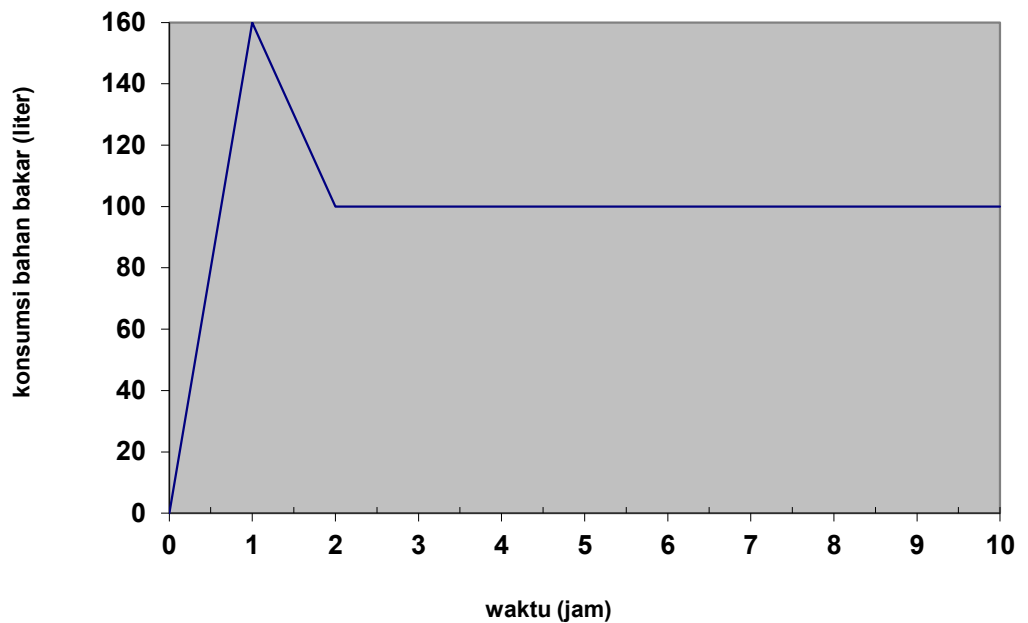
No.	Tekanan ( bar )	Temperatur ( °C )
1.	1	30
2.	1	40
3.	1	50
4.	1	60
5.	1	70
6.	1	90
7.	1	100
8.	1,5	110
9.	2	120
10.	3	130
11.	4	140
12.	6	150
13.	8,3	160



Gambar 2. Hubungan antara tekanan dan temperature (5)

Uap jenuh (*Saturated Steam*) dapat dicapai dengan menaikkan tekanan uap harus dinaikkan sampai 8,14 bar dan temperatur uap 160<sup>0</sup>C. Tekanan uap yang diijinkan pada pipa-pipa api adalah 12 bar, tekanan yang diijinkan ini akan menurun seiring adanya penipisan pipa api akibat pembersihan kerak dan kavitasi air.

Jika dengan uap jenuh (*saturated steam*) untuk memperoleh entalpi (energi) yang sama, maka pada keadaan ini tekanan operasi menjadi lebih tinggi, sehingga membahayakan. Penggunaan *saturated steam* lebih banyak menghasilkan air setelah uap keluar dari evaporator. Ketel uap menghasilkan panas 8 950 000 Btu/jam dengan kapasitas uap 2348 kg/jam, Panas tersebut digunakan evaporator untuk mengkonsentrasikan limbah radioaktif cair dari 50m<sup>3</sup> menjadi 1m<sup>3</sup> dengan konsumsi bahan bakar 7 200 liter.....( 1 )



Gambar 3. Hubungan konsumsi bahan bakar dan waktu

Pada Gambar 3. Terlihat bahwa konsumsi bahan bakar terbanyak pada satu jam pertama

Saat operasi *boiler* pada tekanan 1 bar hingga mencapai tekanan kerja yaitu 8,3 bar dibutuhkan kerja *burner* pada kondisi operasi penuh (*main flame*), karena air baku masih pada temperatur 30°C. Hal tersebut mengakibatkan pemakaian bahan bakar menjadi relatif boros yaitu 160 liter tiap jam, tapi pada kondisi *steady state* pemakaian bahan bakar menjadi lebih ekonomis karena air isian *boiler* sudah dicampur dengan kondensat balik dengan temperatur campuran air isian menjadi 80°C.

## KESIMPULAN.

Kegiatan pengoperasian sistim uap sebagai penunjang proses evaporasi limbah radioaktif cair radioaktif di IPLR dapat tercapai pada tekanan 8,3 bar. Dengan operasi dan perawatan yang teratur maka diperoleh unjuk kerja alat yang relatif baik serta pemakaian bahan bakar lebih hemat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. WAHYATMOKO, *Design and Calculation Steam Sytem*, Jakarta 26 November 1985
- [2]. ARCHITEN, *System Note Steam System*, Jakarta, 1985.
- [3]. DJOKOSETYARDJO. M.J, “Ketel Uap“, PT. Pradnya Paramita, cetakan ke 3, 1993

- [4].Djojodihardjo Hardjono, Dasar-dasar termodinamika Teknik, PT.Gramedia,1985
- [5].Witono Heri, *Lookbook* laporan harian operasi *Boiler*, 2013



## REVITALISASI SISTEM PENERANGAN KANAL HUBUNG INSTALASI PENYIMPANAN SEMENTARA BAHAN BAKAR BEKAS

**Sugianto, Budiyo, Parjono**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**REVITALISASI SISTEM PENERANGAN KANAL HUBUNG INSTALASI PENYIMPANAN SEMENTARA BAHAN BAKAR BEKAS (KH-IPSB3).** Tingkat pencahayaan rata-rata ruang Kanal Hubung Instalasi Bahan Bakar Nuklir Bekas (KHIPSB3) sebelum revitalisasi dibawah persyaratan minimum. Komponen sistem penerangan mengalami penuaan sehingga kemampuannya menurun. Tingkat pencahayaan ruang kerja sangat berpengaruh pada keselamatan. Oleh karena itu revitalisasi sistem penerangan KH-IPSB3 mendesak untuk dilakukan. Revitalisasi bertujuan untuk mengembalikan tingkat pencahayaan sesuai standar penerangan. Metode kegiatan dilaksanakan dengan cara mengevaluasi desain, menghitung ulang dan mengganti komponen sistem penerangan. Kegiatan yang dilakukan telah berhasil mengembalikan instalasi penerangan KHIPSB3 sesuai dengan peraturan umum instalasi listrik, Pemasangan lampu *emergency* dapat meningkatkan keselamatan pekerja. Pasca revitalisasi, tingkat pencahayaan ruangan meningkat rata - rata 173,475 % dan telah memenuhi standar pencahayaan.

**Kata kunci :** *revitalisasi, instalasi kelistrikan, tingkat pencahayaan.*

### ABSTRACT

**REVITALISATION OF LIGHTING SYSTEM IN TRANSFER CHANNAL INTALATION STORAGE FOR SPENT FUEL(TC-ISFSF).** Average lighting level in Transfer Channal Intalation Storage For Spent Fuel (TC-ISFSF) before revitalization below the minimum requirements . Component aging lighting system so the ability to decline . Workspace lighting levels are very influential on safety . Therefore revitalization lighting system TC-ISFSF urgent to do . Revitalization aims to restore the lighting levels according to standard lighting . Methods of activities carried out by evaluating the design , recalculate and replace the lighting system components . Activities undertaken have managed to restore lighting installation TC-ISFSF in accordance with the general rules of electrical installation, installation of emergency lights can improve worker safety . Post revitalization , increased average room lighting levels - average 173,473 % and has met the standard of lighting

**Keywords :** *revitalization, electrical installation, lighting levels*

### PENDAHULUAN

Instalasi penerangan merupakan komponen penting dalam suatu bangunan tak terkecuali bangunan Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara bahan Bakar Nuklir Bekas. Setiap proses kegiatan di gedung KH-IPSB3 membutuhkan tingkat pencahayaan yang cukup. Gedung didesain hanya memanfaatkan cahaya buatan dari instalasi lampu penerangan. Sistem penerangan KH-IPSB3 memanfaatkan supai energi listrik dari jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN). Dalam kondisi darurat atau PLN padam, tidak ada pencahayaan yang cukup didalam ruangan.

Berdasarkan jenis lampu penerangannya, KH-IPSB3 dipasang 2 jenis lampu yaitu lampu TL dan merkuri. Mayoritas ruang dipasang lampu jenis TL. Lampu merkuri dipasang pada ruangan kolam penyimpanan bahan bakar nuklir bekas.

KH-IPSB3 hanya memanfaatkan cahaya buatan dalam menerangi setiap ruangan. Karakteristik cahaya buatan adalah sangat dipengaruhi usia komponen sumber cahaya. Bertambahnya umur mengakibatkan penurunan tingkat pencahayaan sampai dibawah ketentuan sebelum akhirnya mati. Dari sisi usia, instalasi penerangan KH-IPSB3 telah beroperasi sekitar 20 tahun. Sebagian besar lampu penerangan beroperasi terus menerus atau 24 jam dalam sehari. Selama perawatan diperoleh data bahwa lampu penerangan banyak yang mati akibat rusaknya *balast*, *starter*, kapasitor maupun tabung lampu. Fakta lainnya terjadi pada panel penerangan dimana selama operasi kontaktor telah mengeluarkan bunyi, lampu indikator banyak yang mati dan *miniature circuit breaker* (MCB) mudah sekali *trip*.

Kondisi diatas menjadi alasan untuk melakukan revitalisasi sistem penerangan KH-IPSB3. Revitalisasi bertujuan untuk mengembalikan tingkat pencahayaan ruang KH-IPSB3 sesuai dengan ketentuan, yaitu tingkat pencahayaan ruang koridor 100 lux, ruang kontrol 200 lux dan ruangan proses antara 200 – 500 lux. Standar pencahayaan yang digunakan dibawah nilai desain awal karena standar telah diturunkan ketika ada program penghematan energi listrik.

Makalah ini menyampaikan revitalisasi sistem penerangan KH-IPSB3 yang telah dilakukan selama tahun 2013.

## TEORI

### A. Tingkat Pencahayaan

Tingkat pencahayaan suatu ruangan didefinisikan sebagai tingkat pencahayaan rata-rata pada bidang kerja. Yang dimaksud dengan bidang kerja ialah bidang horisontal imajiner yang terletak 0,75 meter di atas lantai pada seluruh ruangan. Tingkat pencahayaan dapat dihitung dengan persamaan: <sup>[1]</sup>

$$E_r = \frac{F_t \times k_p \times k_d}{A} \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

- Er = Tingkat pencahayaan rata-rata (lux)
- Ft = Fluks luminus total dari semua lampu yang menerangi bidang kerja (lumen)
- A = luas bidang kerja (m<sup>2</sup>).
- kp = koefisien penggunaan .
- kd = koefisien depresiasi (penyusutan).

Tingkat pencahayaan minimum dan renderasi warna yang direkomendasikan untuk berbagai fungsi ruangan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel.1 Tingkat Pencahayaan Minimum dan Renderasi Warna yang Direkomendasikan <sup>[2]</sup>

Fungsi ruangan	Tingkat Pencahayaan (lux)	Kelompok renderasi warna
Ruang Parkir	50	3
Koridor	100	1
Gudang	100	3
Ruang Kontrol	200	1 atau 2
Industri (pekerjaan kasar)	100 - 200	2 atau 3
Industri (pekerjaan sedang)	200 - 500	1 atau 2
Industri (pekerjaan halus)	500 - 1000	1
Laboratorium	500	1

**B. Koefisien Penggunaan (kp)**

Sebagian cahaya yang dipancarkan lampu diserap oleh armatur, sebagian dipancarkan ke arah atas dan sebagian lagi dipancarkan ke arah bawah. Faktor penggunaan didefinisikan sebagai perbandingan antara fluks luminus yang sampai di bidang kerja terhadap keluaran cahaya yang dipancarkan oleh semua lampu. Besarnya koefisien penggunaan dipengaruhi oleh faktor: <sup>[1]</sup>

- distribusi intensitas cahaya dari armatur;
- perbandingan antara keluaran cahaya dari armatur dengan keluaran cahaya dari lampu di dalam armatur;
- reflektansi cahaya dari langit-langit, dinding dan lantai;
- pemasangan armatur apakah menempel atau digantung pada langit-langit;
- dimensi ruangan.

Besarnya koefisien penggunaan sebuah armatur diberikan dalam bentuk tabel yang dikeluarkan oleh pabrik pembuat armatur berdasarkan hasil pengujian. Dengan menggunakan tabel yang tersedia, ditentukan faktor penggunaan untuk pemasangan berbagai cahaya jika pantulan dinding, pantulan langit-langit, dan jenis lumener diketahui, serta indeks ruangan (k) telah dihitung. Nilai k hasil perhitungan digunakan untuk menentukan nilai efisiensi penerangan lampu. Indeks ruang dihitung dengan persamaan: <sup>[1]</sup>

$$K = \frac{p \times l}{tb(p + l)} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- p = Panjang ruangan (m)
- l = lebar ruangan (m)
- tb = tinggi sumber cahaya diatas bidang kerja (m).

**C. Koefisien Depresiasi (penyusutan) (kd)**

Koefisien depresiasi atau sering disebut koefisien rugi-rugi cahaya didefinisikan sebagai perbandingan antara tingkat pencahayaan setelah beroperasi

dalam jangka waktu tertentu terhadap tingkat pencahayaan instalasi baru. Besarnya koefisien depresiasi dipengaruhi oleh: <sup>[1]</sup>

- kebersihan lampu dan armatur;
- kebersihan permukaan ruangan;
- penurunan keluaran cahaya lampu selama waktu penggunaan;
- penurunan keluaran cahaya lampu akibat penurunan tegangan listrik.

Besarnya koefisien depresiasi ditentukan berdasarkan estimasi. Untuk ruangan dan armatur dengan pemeliharaan yang baik pada umumnya koefisien depresiasi diambil sebesar 0,8.

**D. Jumlah Armatur yang Diperlukan untuk Mendapatkan Tingkat Pencahayaan Tertentu**

Dalam menentukan jumlah armatur, terlebih dahulu dihitung fluks luminus total yang diperlukan agar diperoleh tingkat pencahayaan yang sesuai, dengan menggunakan persamaan: <sup>[1]</sup>

$$F_t = \frac{kp \times kd}{E_r \times A} \dots\dots\dots(3)$$

Jumlah armatur dihitung dengan persamaan :

$$N_t = \frac{F_t}{F_1 \times n} \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

- F1 = fluks luminus satu buah lampu.
- n = jumlah lampu dalam satu armatur.

**E. Pemilihan Lampu**

Dalam pemilihan lampu, ada dua hal yang perlu diperhatikan, yaitu tampak warna yang dinyatakan dalam temperatur warna dan efek warna yang dinyatakan dalam indeks renderasi warna. Temperatur warna yang lebih besar dari 5300 Kelvin tampak warnanya dingin, 3300 ~ 5300 Kelvin tampak warnanya sedang dan lebih kecil dari 3300 Kelvin tampak warnanya hangat. Untuk perkantoran di Indonesia disarankan memakai temperatur warna lebih besar dari 5300 Kelvin atau antara 3300 ~ 5300 Kelvin. <sup>[1]</sup>

Indeks renderasi warna dinyatakan dengan angka 0 sampai dengan 100, dimana angka 100 menyatakan warna benda yang dilihat akan sesuai dengan warna aslinya. Pengelompokan renderasi warna dan indeks renderasinya diperlihatkan pada Tabel-2.

Tabel-2. Pengelompokan Renderasi Warna

Kelompok Renderasi Warna	Rentang Indeks Renderasi Warna (Ra).	Tampak Warna
1	Ra > 85	dingin
		sedang
		hangat
2	70 < Ra < 85	dingin
		sedang
		hangat
3	40 < Ra < 70	
4	Ra < 40	

Efisiensi lampu atau yang disebut juga efikasi luminus, menunjukkan efisiensi lampu dari pengalihan energi listrik ke cahaya dan dinyatakan dalam lumen per watt. Banyaknya cahaya yang dihasilkan lampu disebut Fluks luminus dengan satuan lumen. Efikasi luminus lampu bertambah dengan bertambahnya daya lampu. Rugi-rugi balast ikut diperhitungkan dalam menentukan efisiensi sistem lampu.

Perlu dipertimbangkan juga faktor keekonomian umur lampu berdasarkan fluks luminus dan umur teknik. Umur teknik adalah banyaknya jam menyala pada kombinasi antara depresiasi/pengurangan fluks luminus lampu dan kegagalan lampu. Umur lampu dipengaruhi oleh temperatur ruang, perubahan tegangan listrik, banyaknya pemutusan dan penyambungan pada saklar, dan jenis komponen bantuannya. Efisiensi, indeks perubahan warna dan umur dari beberapa jenis lampu diperlihatkan pada Tabel-3

Tabel-3. Efisiensi, Indeks Perubahan Warna dan Umur Beberapa Jenis Lampu <sup>[3]</sup>

Jenis Lampu	<i>Efficacy</i> termasuk kerugian <i>balast</i> (Lumens/Watt)	Indeks Perubahan Warna	Umur Lampu (Jam)
Lampu pijar	8 - 17	100	1000
Lampu Neon tabung (diisi Argon)	31 - 58	67 - 77	5000
Lampu Neon tabung (diisi Krypton)	38 - 64	67 - 77	5000
Lampu Neon Kompak (CFLs)	26 - 64	85	8000
Lampu Merkuri	18	50	5000

## TATA KERJA

### Bahan

Kegiatan revitalisasi menggunakan bahan sebagai diperlihatkan pada Table-4.

Tabel-4. Daftar bahan yang digunakan dalam revitalisasi

No	Komponen	Jumlah
<b>A.</b>	<b>Power Distribution System</b>	
1	MCB 10 A, 1 ph, Schneider	96 buah
2	MCB 16 A, 1 ph, Schneider	8 buah
3	MCB 32 A, 1 ph, Schneider	12 buah
4	MCB 63 A, 3 ph, Schneider	1 buah
5	HY pilot lamp 220V, Schneider	38 buah
6	MCCB 100A (compact), Schneider	10 buah
7	MCCB F/S, 250/650 A (compact), Schneider	2 buah
8	MCCB F/S, 200/250 A (compact), Schneider	3 buah
9	MCCB F/S, 160/400 A (compact), Schneider	2 buah
10	MCCB F/S, 125/160 A (compact), Schneider	4 buah
11	MCCB F/S, 80/100 A (compact), Schneider	8 buah
12	MCCB F/S, 50/63 A (compact), Schneider	1 buah
13	Kabel NYA 1 x 2,5 mm (100 m), eternal	2 buah
14	Kabel tray (l x w x h x t) 3000 x 300 x 50 x 2 mm, galvanized, C type inside,	20 buah
15	Support cabel tray (wall bracket type) tebal 5mm	30 buah
16	Kabel tray Bend 90° ( type cornered) tebal 2mm	6 buah
17	Joint plate 150 mm length, tebal 2mm	20 buah
18	Cable trunking (l x w x h x t) 3000 x 100 x 50 x 2 mm, galvanized,	15 buah
19	Flat bend (w x h x t) 100 x 50 x 2 mm, galvanized,	12 buah
20	Tee (w x h x t) 100 x 50 x 2 mm, galvanized,	6 buah
<b>B.</b>	<b>Lighting System</b>	
1	Spot light lamp holder, Lampu E 27 LED 9 W, Vacolux	20 buah
2	Lampu HPI-T 400 W dengan dudukan galvanis, Philips	14 buah
3	Lampu 45 W tornado, Philips	140 buah
4	Lampu downlight:Frame golp, reflektor diamond, fitting E 27, lampu CFL 19 watt tornado, panasonic	23 buah
5	Stop kontak AC 3 pin (M 2000 series), Clipsal	65 buah
6	Stop contact 3 phase, legrand	6 buah
7	Saklar tunggal, Broco	67 buah
8	Saklar ganda, Broco	4 buah
9	Kabel NYA 3 x 2.5 (100 meter), Jembo	5 rol
10	Kabel NYAF 1 x 2.5 (100 meter) warna kuning, biru, hitam, Jembo	24 rol
11	Fitting w. Reflector, vacolux	140 buah

12	LDR Photocell sensor automatic on / off	6 buah
13	Pipa conduit besi 32 mm, galvanized (10 ft),	14 batang
14	Pipa conduit besi 20 mm, galvanized (10 ft),	436 batang
15	Pipa conduit besi 25 mm, galvanized (10 ft),	30 batang
16	Tee conduit 20 mm, galvanish,	35 buah
17	Tee conduit 25 mm, galvanish,	4 buah
18	L Conduit 20 mm, galvanish,	178 buah
19	L Conduit 25 mm, galvanish,	20 buah
20	Pipe clamp 20 mm, galvanish,.	1.450 buah
21	Pipe clamp 25 mm, galvanish,	120 buah
22	Besi profil U (80x60x100, tebal 4 mm)	154 buah
23	Flexible pipe : besi 20+ mm, galvanized,	100 meter
24	Plafon + lis : GRC, finishing cat putih	70 meter <sup>2</sup>
<b>C.</b>	<b>Panel System</b>	
1	Local box panel grounding (200x300x150 tebal 2mm)	15 buah
2	Outdoor Panel Box (1200x1200x600, tebal 2mm)	1 set
3	Kontaktor : 220 VAC/50 A, siemens	4 buah
4	Kabel NYAF 1 x 1.5 mm dengan Skun kabel 2,5 mm sesuai kebutuhan, Jembo	1 rol
5	Cooper ground bar dengan lubang untuk panel.	2 meter
6	Insulator 50mm x 40 mm	16 buah
7	Support lampu kolam: besi holo 40x60x2 mm & profil-L 60x60 medium	30 meter

## Metode

1. Evaluasi tingkat pencahayaan
  - a. Penentuan titik pengukuran <sup>[4]</sup>  
 Luas ruangan kurang dari 10 meter persegi, titik potong garis horizontal panjang dan lebar ruangan adalah pada jarak setiap 1 meter.  
 Luas ruangan lebih dari 10 meter persegi, titik potong garis horizontal panjang dan lebar ruangan adalah pada jarak setiap 3 meter.
  - b. Tingkat pencahayaan pada titik-titik yang telah ditentukan diukur dengan *luxmeter* dengan membuka penutup sensor.
  - c. Hasil pengukuran dicatat dalam lembar evaluasi kemudian dihitung tingkat pencahayaan rata-ratanya untuk dibandingkan dengan standar.
2. Revitalisasi penerangan
  - a. Nilai pencahayaan dihitung ulang dengan persamaan 1, 2, 3 dan 4.
  - b. Komponen pengganti sistem penerangan ditentukan berdasarkan hasil perhitungan dan tabel.
  - c. Penggantian komponen sistem penerangan sesuai tabel bahan diatas.

3. Pengujian tingkat pencahayaan
  - a. Tingkat pencahayaan pada titik-titik yang telah ditentukan diukur ulang dengan *luxmeter* dengan membuka penutup sensor.
  - b. Hasil pengukuran dicatat dalam lembar pengujian kemudian dihitung tingkat pencahayaan rata-ratanya untuk dibandingkan dengan standar.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Revitalisasi telah dilakukan dengan cara mengganti sebagian besar instalasi penerangan KH-IPSB3. Konduit instalasi penerangan diganti dengan pipa galvanis agar instalasi sesuai dengan apa yang dituliskan dalam laporan analisis keselamatan. Konduit pipa galvanis ini berfungsi untuk melindungi kabel instalasi kelistrikan dari bahaya kebakaran/api.

Pemasangan instalasi lampu *emergency* dilakukan di ruang lobi, ruang ganti, *healt phisic*, RKU, kolam penyimpanan bahan bakar bekas dan kanal hubung. Energi listrik lampu *emergency* disuplai dari catu daya tak terputus / *Uninterruptable Power Suplay (UPS)* dan dikontrol oleh sumber listrik normal yang bersumber dari PLN. Lampu *emergency* yang sudah dipasang secara otomatis menyala apabila sumber listrik dari PLN padam, sehingga apabila ada pekerja di dalam instalasi KH-IPSB3 sedang bekerja, dan tiba-tiba sumber listrik dari PLN padam, keselamatan pekerja masih terjamin.

Penggantian lampu penerangan telah meningkatkan tingkat pencahayaan setiap ruangan KHIPSB3. Pengukuran tingkat pencahayaan dilakukan saat pra dan pasca revitalisasi. Tabel hasil pengukuran diperlihatkan pada Tabel-5.

Tabel 5. Hasil pengukuran tingkat pencahayaan rata-rata pra dan pasca revitalisasi

Ruang	Tingkat pencahayaan (lux)		Kenaikan tingkat pencahayaan (%)
	Pra Revitalisasi	Pasca Revitalisasi	
Ruang Lobi	96,0	178,2	85,6
Koridor/ tangga	89,5	180,6	101,8
Ruang Kontrol	82,5	152,0	84,2
Ruang Kolam	100,0	380,0	280,0
Ruang Kanal	98,0	320,0	226,5

Tabel-5 menunjukkan bahwa tingkat pencahayaan masing-masing ruang sebelum revitalisasi dibawah standar yang dipersyaratkan. Ruang lobi rata-rata 96 lux dibawah standar 100 lux, koridor terukur rata-rata 70 lux dibawah 100 lux, ruang kontrol terukur rata-rata 96 lux dibawah standar 150 lux dan ruang proses terukur rata-rata 100 dan 98 lux dibawah standar 200 lux. Rendahnya nilai tersebut diakibatkan beberapa hal diantaranya jam operasi lampu telah melebihi 5000 jam, adanya kotoran pada permukaan lampu, armatur dan permukaan ruangan. Lama operasi lampu berakibat pada penurunan fluk luminus sehingga pencahayaan ke bidang kerja berkurang. Kotoran pada lampu mengakibatkan



terhambatnya cahaya yang keluar sedangkan kotoran pada armatur dan permukaan ruangan akan mengurangi tingkat refleksinya.

Tabel 5. menunjukkan bahwa tingkat pencahayaan pada ruang – ruang di KH-IPSB3 setelah dilakukan revitalisasi mengalami peningkatan. Rata – rata kenaikan tingkat pencahayaan dari ruang – ruang yang dilakukan pengukuran tingkat pencahayaan adalah 173,475 %. Tingkat pencahayaan tersebut bila dibandingkan dengan standar pencahayaan adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Tingkat pencahayaan dibandingkan dengan standar pencahayaan

Ruang	Tingkat pencahayaan (lux)		Keterangan
	Setelah Revitalisasi	Standar Pencahayaan	
Ruang Lobi	178,2	100 - 200	Memenuhi standar
Koridor/ tangga	180,6	100 - 200	Memenuhi standar
Ruang Kontrol	152,0	150 - 200	Memenuhi standar
Ruang Kolam	380,0	200 - 500	Memenuhi standar
Ruang Kanal	320,0	200 - 500	Memenuhi standar

Pasca revitalisasi, tingkat pencahayaan sistem penerangan di ruang – ruang KH-IPSB3 telah memenuhi standar penerangan. Dengan terpenuhinya standar penerangan maka dampak yang diakibatkan oleh kurangnya pencahayaan dapat dikurangi. Pengaruh dari penerangan yang tidak memenuhi syarat diantaranya kelelahan mata, kelelahan mental, keluhan pegal di daerah mata dan sakit kepala di sekitar mata. Keluhan tersebut akan menurunkan konsentrasi pekerja yang berakibat pada menurunnya performansi kerja.

## KESIMPULAN

Revitalisasi instalasi kelistrikan KH-IPSB3 diperoleh hasil :

1. Penggantian komponen instalasi penerangan telah sesuai dengan peraturan umum instalasi listrik.
2. Pemasangan lampu emergency yang disuplai dari catu daya tidak terputus/UPS, dapat meningkatkan keselamatan pekerja
3. Tingkat pencahayaan ruangan KHIPSB3 meningkat rerata 173,475 % dan telah memenuhi standar pencahayaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. "Laporan Analisis Keselamatan Kanal Hubung – Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas “ revisi 5, Serpong 2009.
- [2]. SNI 03-6575-2001, "Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan Pada Bangunan Gedung", BSN, Jakarta, 2001
- [3]. SNI 16-7062-2004, "Pengukuran Intensitas Penerangan Di Tempat Kerja", BSN, Jakarta 2004
- [4]. SNI 04-0225-2000, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000", BSN, Jakarta, 2000
- [5]. "Electricity" <http://www.energyefficiencyasia.org/energyequipment/energyequipment.html>.  
di unduh pada Maret 2014

## PENGOPERASIAN KOMPRESOR SEBAGAI PENUNJANG INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF TAHUN 2013

Sriwidada, Ch. Susiana Atmaja

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

### ABSTRAK

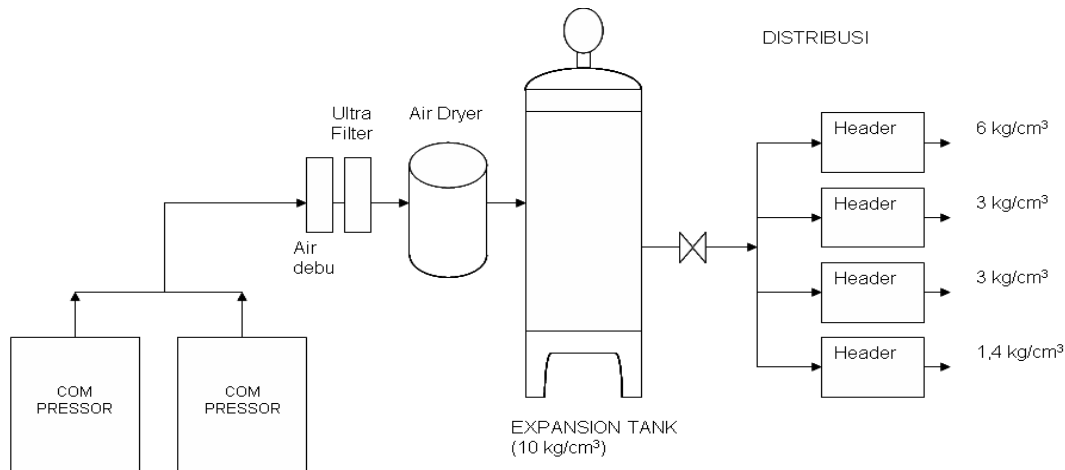
**PENGOPERASIAN KOMPRESOR SEBAGAI PENUNJANG INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF TAHUN 2013**. Telah dilakukan pengoperasian kompresor sebagai sarana penunjang untuk Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR). Kompresor berfungsi untuk menghasilkan udara bertekanan. Udara tekan dikeringkan dengan *air dryer* sebelum didistribusikan ke peralatan proses dan instrumentasi di IPLR. Peralatan IPLR yang memanfaatkan operasi kompresor adalah sistem tata udara, evaporasi, sementasi, *laundry*, kompaksi dan insenerasi. Kompresor dioperasikan secara rutin di hari kerja dari hari senin sampai dengan jumat. Operasi dilakukan berdasar pada *standart operating procedure* yang berlaku. Pengoperasian sistem udara tekan secara efektif akan menghemat listrik Sampai akhir tahun 2013, dua dari tiga unit kompresor beroperasi dengan baik. Kompresor beroperasi 1.634 jam dengan rata-rata operasi 136,16 jam/bulan pada tekanan operasi 6 – 8 bar.

### ABSTRACT

**OPERATION OF COMPRESSOR TO SUPPORT RADIOACTIVE WASTE INSTALLATION IN THE YEAR OF 2013**. The operation of compressor have been conducted to support operation of Radioactive Waste Treatment Installation (RWI). The Compressor is used to product compressed air. Compressed Air is dried by air dryer before it is distributed to instrumentation and process equipment in RWI. RWI equipment that utilize operating system of air compressor is ventilation system evaporation, cementation, laundry, compaction and incineration. The compressor is operated every day in work days from Monday to Friday. Operation has been conducted to base standard operating procedure. Effective operation of Compressed air system would save the use of electricity. During 2013, two of three compressor operate. Compressed air system operate 1.634 hour with average 136,16 hour/month for operation pressure 6 – 8 bar.

### PENDAHULUAN

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) merupakan salah satu fasilitas pelaksana penelitian dan pengembangan pengelolaan limbah radioaktif untuk mendukung Iptek Nuklir di Badan Tenaga Nuklir Nasional. Disamping pelaksana litbang, PTLR secara khusus bertugas melakukan pelayanan pengolahan limbah radioaktif. Kompresor merupakan sarana penunjang dalam kegiatan pengelolaan limbah yang dapat beroperasi secara otomatis maupun manual. Kompresor digunakan untuk menunjang pengoperasian sistem chiller water, epaporasi, laundry, kompaksi, simentasi dan peralatan dekontaminasi dan dekomisioning yang ada di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif ( PTLR ). Agar kondisi kompresor dapat terjaga dengan baik maka harus dilakukan perawatan dengan baik. Diagram alir udara tekan diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir udara tekan [ 5 ]

Secara normal, pengoperasian udara tekan dipersyaratkan memenuhi tekanan :

1. Untuk kebutuhan Instrumentasi : [ 1 ]
  - Transmitter dan indikator : 1,4 bar
  - *Valve* yang disuplai BATAN: 2-2,7 bar
  - *Valve* yang disuplai Tecnicatome : 8 bar
2. Untuk kebutuhan Service peralatan : [ 2 ]
  - semua aplikasi : 3 bar
  - mesin setrika dalam ruang 2.0.12 : 6 bar

Kualitas udara yang dibutuhkan :

1. Untuk instrumentasi 44 Nm<sup>3</sup> /hari
2. Untuk *service* peralatan 165 Nm<sup>3</sup> /hari termasuk kerugian

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut dipilih kompresor dengan kapasitas 225 Nm<sup>3</sup> /hari dengan tekanan 10 bar gauge, dengan demikian kebutuhan dapat terpenuhi. Hasil pengoperasian udara tekan juga tidak terlepas dari kualitas udara tekan yang dihasilkan. Seperti terlihat pada Gambar 1, bahwa udara yang dihasilkan udara tekan dilewatkan pada filter debu dan alat pengering udara (*air dryer*) sehingga udara yang dihasilkan tidak mengandung air dan debu. Makalah ini menyampaikan tentang hasil kegiatan operasi kompresor selama tahun 2013.

## TATA KERJA

### A. Persiapan Operasi

Sebelum dilakukan pengoperasian sistem udara tekan, terlebih dahulu pemeriksaan level oli, filter oli, filter udara, tekanan udara dan lain-lain.

Catat data pengamatan pada form pengisian yang telah disediakan. sistem kompresor dioperasikan melalui panel kontrol yang ada di ruang 1.1.02 pada gedung 51 (gedung MES).

### B. Pengoperasian

Pengoperasian udara tekan dilakukan sebagai berikut :

Pengoperasian secara jarak jauh dari panel kontrol HS 6260A/B dalam ruang 1.1.02 gedung 51. [ 3 ]

1. *Switch* “*base selector*” di putar untuk memilih salah satu kompresor yang akan dioperasikan. Untuk menghidupkan kompresor A, maka dipilih A, sedangkan kompresor B akan “*stand by*”.
2. Berdasarkan “*base selector*” tersebut kompresor dihidupkan dengan memutar *switch* ke posisi otomatis selanjutnya kompresor akan bekerja secara otomatis sesuai dengan batas pengesetan level tekanan tinggi/rendah di dalam kompresor.
3. Pengering udara (*air dryer*) E 62701 dioperasikan secara jarak jauh dari panel kontrol HS 62701 dalam ruang 1.1.02 gedung 51. Semua operasi dilakukan secara manual antara lain *start* dan *stop* dari pengering udara dengan syarat tekanan mencapai 60 Psi.

### C. Pencatatan data operasi

Data operasi dimonitor setiap 1 jam sekali dan di catat pada form operasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam rangka menunjang kelancaran pengolahan limbah radioaktif serta kebutuhan laboratorium, selama tahun 2013 telah dioperasikan sistem udara tekan. Selama operasi, operator pemegang system selalu mengadakan pengawasan, pengecekan terhadap peralatan yang sedang dioperasikan dan mencatat tekanan pada form pengisian yang telah disediakan. Pada tahun 2013 ada penambahan satu kompresor baru yang terpasang. Selama tahun 2013 ada dua kompresor yang bisa dioperasikan dan yang satunya rusak sehingga perlu segera diperbaiki. Hambatan pada sistem udara tekan yang dialami selama tahun 2013 adalah terjadinya tumpahan oli, dimana udara tekan sedang beroperasi tiba-tiba

listrik mati. Untuk menangani terjadinya tumpahan oli operator segera menambahkan oli sesuai batas maksimum atau sesuai oli yang tumpah (terbuang) kemudian udara tekan dihidupkan kembali.

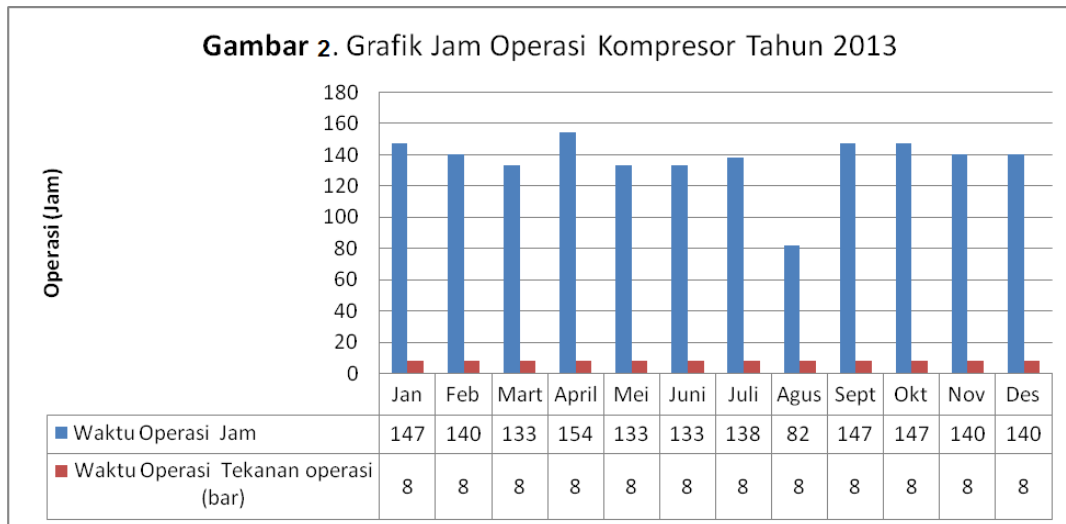
Selama tahun 2013 *Compressed air system* dioperasikan rutin mulai hari senin sampai dengan hari jum'at dimulai dari jam 08.00 sampai dengan jam 15.00. Lamanya waktu operasi selama tahun 2013 ditunjukkan pada Tabel 1. [ 4 ]

Tabel 1. Hasil Operasi Kompresor Tahun 2013

Bulan	Waktu Operasi	
	Jam	Tekanan operasi (bar)
Januari	147	8
Februari	140	8
Maret	133	8
April	154	8
Mei	133	8
Juni	133	8
Juli	138	8
Agustus	82	8
September	147	8
Oktober	147	8
November	140	8
Desember	140	8
Jumlah	1.634	

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa selama tahun 2013 kompresor beroperasi selama 1.634 jam, dengan rata-rata operasi 136,16 jam/bulan. Kompresor dioperasikan rutin sesuai dengan hari kerja dari hari senin sampai dengan hari jum'at. Mengingat biaya listrik yang semakin mahal maka udara tekan dioperasikan mulai dari jam 08.00 sampai dengan jam 15.00 agar tepat guna sehingga efektif. Tekanan yang dihasilkan mencapai rata-rata 8 bar pada setiap pengoperasian udara tekan, maka memenuhi kebutuhan udara tekan pada seluruh peralatan proses dan instrumentasi yang berada di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, karena kebutuhan instrumentasi dan servis peralatan hanya 6 bar.

Grafik pengoperasian udara tekan selama tahun 2013 dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar grafik jam operasi kompresor menunjukkan bahwa jam operasi terkecil pada bulan Agustus. Hal ini disebabkan oleh adanya bulan puasa dan hari raya Idul fitri. Jam operasi harian menjadi lebih pendek yaitu dari jam 8<sup>30</sup> – 14<sup>00</sup> wib.



Untuk menjaga kualitas udara, maka pemeliharaan kompresor dilakukan secara rutin. Pemeliharaan terutama untuk pembersihan filter udara, penggantian oli kompresor dan air dryer.

## KESIMPULAN

1. Selama tahun 2013 sistem udara tekan beroperasi selama 1.634 jam, dengan rata-rata operasi 136,16 jam / bulan pada tekanan 8 bar
2. Durasi pengoperasian sistem udara tekan lebih kecil sehingga konsumsi energi listrik lebih hemat.
3. Udara tekan yang dihasilkan berkualitas baik karena tidak mengandung debu dan air setelah pemasangan filter dan pengering udara baru.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Sistem Notes Kompresor untuk Instrumentasi Sytem'', Jakarta, 1985.
- [2]. Sistem Notes Kompresor untuk Service Peralatan'', Jakarta, 1985
- [3]. SUWARNA BE, " *Juklak dan Protap Pengoperasian Sistem Kompresor BTDD-PTLR*", Serpong – Tangerang, 1990.
- [4]. SRIWIDADA, " *Log - Sheet Pengoperasian Sistem Kompresor*", Serpong-Tangerang 2010.
- [5]. Intruksi Kerja Pengoperasian *Compressed Air System*", Serpong-Tangerang, 2010.





## PEMANTAUAN SISTEM TATA UDARA INSTALASI PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF TAHUN 2013

Arifin Istavara

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN

### ABSTRAK

**PEMANTAUAN SISTEM TATA UDARA INSTALASI PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF (IPLR) TAHUN 2013.** Pemantauan sistem tata udara sangat penting di IPLR karena menyangkut keselamatan pekerja dan lingkungan. Sistem tata udara berperan penting dalam menunjang pengelolaan limbah radioaktif di IPLR, sehingga perlu pemantauan agar dapat melayani dan memenuhi parameter standar IPLR dengan optimal. Pengelolaan udara melalui sistem ventilasi dan pengkondisian udara serta gas buang (VAC-OFF GAS) dalam fasilitas nuklir harus dilakukan untuk menjamin kesehatan dan keselamatan pekerja dan lingkungan, selain itu juga berperan memelihara kondisi instrumen di IPLR. Parameter yang diamati antara lain suhu, kelembaban, hampa parsial dan pressure drop Hepa Filter. Hasil kegiatan diperoleh suhu daerah tipe A rata-rata dibawah 25 °C, daerah tipe B dibawah 28 °C dan daerah tipe C dibawah 50 °C. Nilai kelembaban relatif memenuhi standar yaitu daerah tipe A, tipe B dan tipe C kurang dari 60 %. Tekanan negatif sesuai standar persyaratan kecuali zona 4 ini disebabkan *open valve* hanya dibuka 60%.. *Pressure drop* dari Hepa Filter yang digunakan selama satu tahun rata – rata dibawah 105 daPa pada zona 2 dan zona 3, dibawah 90 daPa pada zona 4 dan *Off gas*.

**Kata kunci :** tata udara, keselamatan, suhu, kelembaban, tekanan negatif, tekanan drop

### ABSTRACT

**MONITORING VENTILATION AND AIR CONDITIONING AT RADIOACTIVE WASTE TREATMENT INSTALLATION (RWI) YEAR OF 2013.** Monitoring Ventilation and Air Conditioning System is very important for safety of worker and environment. Ventilation and air conditioning system is very important to support radioactive waste installation, so it is needed monitoring for service and comply of IPLR standard. The management of air by ventillation and air conditioning and off gas system (VAC-OFF GAS) of nuclear facility must be performed to assure the health and safety of the worker and environment, besides for maintain instrument. The system of VAC-OFF GAS was monitored by the measurement of parameter operation as temperature, humidity and negative pressure, the result of measurement are obtained A type region average under 25 °C, B type region under 28 °C and C type region under 50 °C. Relative humidity value of A type, B type and C type region under 60 %. Negative pressure according to standard except zone 4. Pressure drop Hepa Filter for average one years is under 105 daPa for zone 2 and zone 3, under 90 daPa for zone 4 and *Off gas*.

**Keyword :** Ventilation and air conditioning, safety, temperature, humidity, negative pressure, pressure drop

**PENDAHULUAN**

Sistem tata udara pada IPLR pada dasarnya dibuat untuk memberi keselamatan para pekerja dan lingkungan. Sistem tata udara ini mempunyai fungsi utama antara lain untuk menjaga kondisi dalam ruangan IPLR agar selalu berada pada keadaan hampa parsial terhadap tekanan udara luar, membatasi kemungkinan adanya kontaminasi didalam ruangan dengan cara menghembuskan udara segar , pengolahan serta evakuasi udara yang keluar dari IPLR dan menjamin persyaratan udara IPLR.

Sistem tata udara berperan penting dalam menunjang pengelolaan limbah radioaktif di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR), sehingga perlu unjuk kerja yang baik agar dapat melayani dan memenuhi parameter standar IPLR dengan optimal, untuk itu harus dilakukan perawatan berkala pada tiap-tiap sub sistem. sistem tata udara terdiri dari beberapa sub sistem yaitu sistem Air Handling Unit (AHU), sistem Filtrasi, sistem *Ducting*, sistem panel kontrol operasi, sistem *Exhaust fan* zona 2,3,4 dan sistem *Off Gas*.

Dengan sistem perbedaan tekanan dari zona 1 sampai dengan zona 4, udara akan mengalir dari daerah bertekanan tinggi ( zona 1 ) menuju ke daerah bertekanan paling rendah (zona 4 ). Bila terjadi masalah kontaminasi di zona 4, maka zat radioaktif tidak akan menyebar kedaerah lain yang ditempati pekerja. Sebelum udara dihembuskan keluar gedung melalui cerobong, terlebih dahulu dilewatkan melalui filter jenis HEPA yang berfungsi menyaring partikel – partikel radioaktif agar tidak terlepas kelingkungan. Sistem filtrasi udara dibagi berdasarkan 4 zona, dimana zona 1 adalah daerah terletak diantara daerah luar dan zona 2, zona 2 adalah daerah terkontrol tanpa bahaya kontaminasi dapat secara rutin ditempati oleh personil, zona 3 adalah daerah yang terletak diantara zona 2 dan zona 4, sedangkan zona 4 adalah daerah terlarang atau daerah dengan pengguna terbatas dengan resiko kontaminasi. Pengaliran udara segar dihembuskan langsung ke zona 1 dan ruangan – ruangan tertentu di zona 2 dan 3. zona 4 tidak ada hembusan langung udara segar tapi melalui daerah 3 ke daerah 4, ini bertujuan meniadakan bahaya kecelakaan karena tekanan yang berlebih didalam ruangan. Sistem tata udara berperan penting dalam evakuasi udara dan distribusi udara segar <sup>[1][2]</sup>.

Desain sistem tata udara di IPLR mempunyai nilai standar parameter yang harus terpenuhi seperti terlihat pada tabel 1 sampai dengan 3 <sup>[1][2]</sup>:

Tabel 1. Standar Suhu dan Kelembaban Ruangan IPLR

Parameter Max	Tipe Ruangan		
	A	B	C
Temperature (°C)	25	28	50
Humidity (%)	60	60	60

Tabel 2. Standar Tekanan Negatif Ruang IPLR

Negative Pressure (daPa)	Zona (daerah)			
	1	2	3	4
	0 s/d -2	-8 s/d -10	-12 s/d -14	< -22

Tabel 3. Standar Maksimal *Pressure Drop* Ruang IPLR

Pressure Drop Hepa Filter (daPa)	Zona Filtrasi		
	2 dan 3	4	Off Gas
	105	90	90

**TATA KERJA**

**Bahan yang digunakan pada kegiatan ini diperlihatkan pada tabel 4 [ 3 ] :**

Tabel 4. Bahan Operasi Sistem Tata Udara IPLR

No	Bahan	Spesifikasi	Keterangan
1	Hepa Filter Dimensi : 305 x 610 x 292	Efisiensi : 99,99 %	46 buah
		Luas muka penyaringan : 20,5 m <sup>2</sup>	
		<i>Air flow</i> 1500 m <sup>3</sup> / jam	
		Rangka baja galvanis, seal PVC dan <i>gasket neoprene</i>	
		Berat 14 Kg	
2	Hepa Filter Dimensi : 130 x 600 x 202	Efisiensi : 99,99 %	4 buah
		Luas muka penyaringan : 7 m <sup>2</sup>	
		<i>Air flow</i> 450 m <sup>3</sup> / jam	
		Rangka baja galvanis, seal PVC dan <i>gasket neoprene</i>	
		Berat 6 Kg	
3	<i>Vinyl bag</i>		50 buah
4	<i>Grease</i>	<i>high temperature</i>	tiap 4 bulan
5	<i>Oil manometer U</i>	<i>Sae 10</i>	-

**Peralatan yang digunakan pada kegiatan ditampilkan pada table 5 :**

Tabel 5. Peralatan Pemantau Unjuk Kerja

No	Peralatan	Kegunaan
1	<i>Thermo hygrometer</i>	Mengukur suhu dan kelembaban udara
2	<i>Aneroid barometer</i>	Mengukur tekanan negatif ruangan
3	<i>Manometer U</i>	Mengukur <i>pressure drop</i> Hepa Filter

## Waktu pengamatan :

Waktu pengamatan dilakukan selama tahun 2013, operasi dilakukan tiap hari kerja dan dilakukan pemantauan dengan mencatat parameter operasi. Hasil pemantauan diinterpretasi datanya setiap hari untuk mengetahui bila terjadi ketidaksesuaian operasi dapat segera diatasi, sehingga tidak membahayakan keselamatan pekerja dan lingkungan.

## METODE

### Metode pemantauan

#### 1. Operasi

Pengoperasian sistem tata udara pada IPLR sebagai berikut :

- Pengoperasian sistem tata udara selama 7 jam setiap hari kerja dari jam 08:00 sampai jam 16:00, sebelum pengoperasian terlebih dahulu instalasi dipastikan dalam kondisi siap operasi sesuai dengan instruksi kerja sistem tata udara.
- Tahapan pengoperasian diawali dengan *exhaust fan* zona 4 dilanjutkan *exhaust* zona 2 dan 3, kemudian diakhiri penghembusan *blower fan* zona 1, 2 dan 3. Tahapan untuk mematikan sistem mengikuti tahap sebaliknya <sup>[4]</sup>.

#### 2. Pengambilan Data

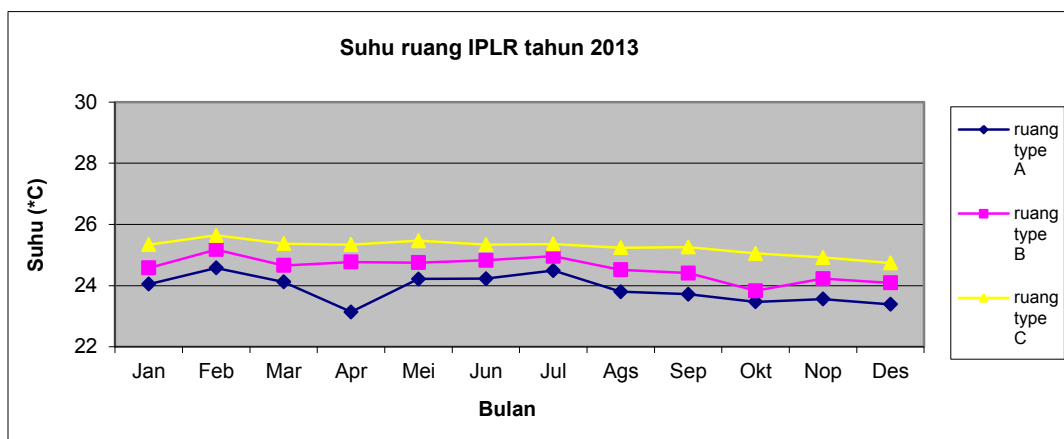
Pemantauan parameter dimulai saat operasi sistem, hal ini untuk memastikan agar sistem tata udara beroperasi dengan normal. Unjuk kerja sistem tata udara diukur setelah respon parameter yang akan diukur setabil yaitu 4 sampai dengan 5 jam setelah *start up* operasi, mengingat hanya beroperasi 7 jam setiap hari. Parameter yang diamati tersebut antara lain :

- a) Suhu dan kelembaban relatif diukur dengan *thermo hygrometer*, pengukuran dilakukan di daerah tipe A, tipe B dan tipe C. Pengambilan data dilakukan pada beberapa daerah yang tergolong tipe A, B dan C. Hasil data tiap tipe dihitung guna mendapatkan nilai rata-rata.
- b) Tekanan negatif atau hampa parsial IPLR diukur menggunakan *Anaeroid barometer*, pengukuran dilakukan pada daerah 1, 2, 3 dan 4. Pengambilan data dilakukan pada beberapa daerah yang tergolong pada daerah 1, 2, 3 dan 4. Hasil data tiap daerah dihitung guna mendapatkan nilai rata-rata.
- c) Kejenuhan Hepa Filter diukur dengan manometer U dengan melihat perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ), media yang dipakai adalah oil manometer U. Dimana pipa masukan Manometer U dihubungkan pada bagian tekanan masuk filter, sedangkan pipa keluaran dihubungkan dengan tekanan keluar filter. *Pressure drop* didapat dari perbedaan tekanan antara sebelum dan sesudah masuk filter yang ditunjukkan pada alat manometer U tersebut. Pengambilan data dilakukan di beberapa manometer U yang terpasang pada instalasi Hepa Filter, hasil dicatat guna mendapatkan tingkat kejenuhan.

Data diambil setiap hari saat operasi dan setelah pengambilan data diinterpretasi, yang selanjutnya dirata-rata setiap bulannya dan disajikan dalam laporan grafik bulanan dan tahunan.

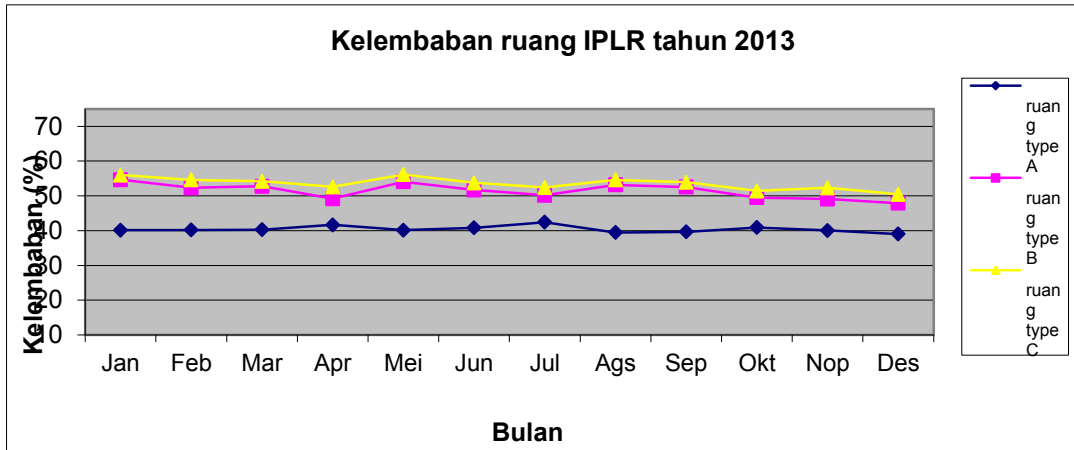
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pemantauan dan pengambilan data operasi sistem tata udara selama tahun 2013 cenderung lebih baik dibanding tahun sebelumnya<sup>[5]</sup>, ini dikarenakan kegiatan pemeliharaan dilakukan dengan optimal. Pemantauan sistem tata udara tahun 2013 nilai rata-rata semua ruangan memenuhi standar operasi IPLR. Grafik suhu selama operasi menunjukkan bahwa ruangan tipe A, B dan C masih dalam batas persyaratan. Rata – rata dalam satu tahun suhu daerah tipe A dibawah 25 °C yaitu 23,90 °C, daerah tipe B dibawah 28 °C yaitu 24,57 °C dan daerah tipe C dibawah 50 °C yaitu 25,26 °C. Grafik menunjukkan ruang tipe A cenderung kurang stabil dibandingkan dengan ruang tipe B dan C, ini dikarenakan jumlah kegiatan pekerja dan peralatan lebih banyak di daerah ini, selain itu unjuk kerja dari sistem pendingin sangat berpengaruh sekali terhadap suhu ruangan. Data kegiatan rata – rata tiap bulan dapat dilihat pada Tabel-6 dan grafik suhu ruang IPLR selama kegiatan diperlihatkan pada Gambar-1.



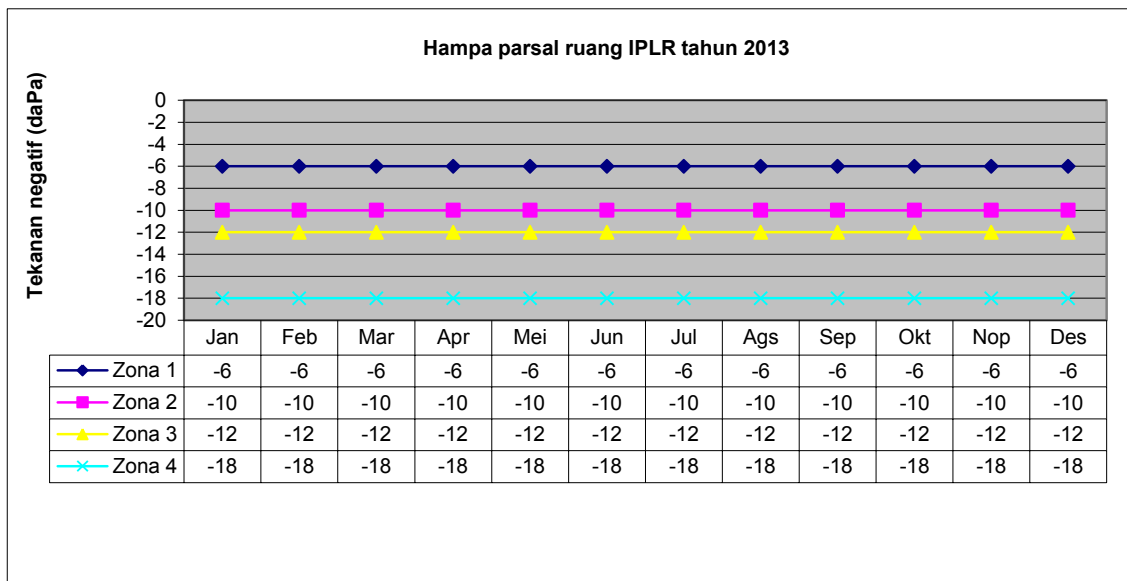
Gambar 1. Grafik Suhu Ruang IPLR tahun 2013

Grafik kelembaban relatif menunjukkan bahwa semua ruang IPLR memenuhi syarat kelembaban relatif dimana ruang tipe A dibawah 60% yaitu 40,40 dan tipe B dibawah 60% yaitu 51,42% sedangkan diruang tipe C dibawah 60% yaitu 53,53%. Grafik menunjukkan di semua tipe ruangan kelembaban cenderung stabil dan memenuhi standar IPLR, pemantauan kelembaban sangat penting dilakukan mengingat kelembaban sangat berpengaruh terhadap unjuk kerja peralatan dengan jenis tertentu yang membutuhkan kelembaban tertentu juga diruangan tersebut, selain itu menjaga kenyamanan dan kesehatan para pekerja dengan standar kelembaban yang tidak melebihi batas. Data kegiatan rata – rata tiap bulan dapat dilihat pada Tabel-6 dan grafik kelembaban ruang IPLR selama kegiatan diperlihatkan pada Gambar-2.



Gambar 2. Grafik Kelembaban Ruang IPLR tahun 2013

Hasil dari tekanan negatif ruang IPLR selama tahun 2013 diperlihatkan pada Tabel-7 dan grafik tekanan negatif ruangan pada Gambar- 3.



Gambar 3. Grafik Tekanan Negatif IPLR tahun 2013

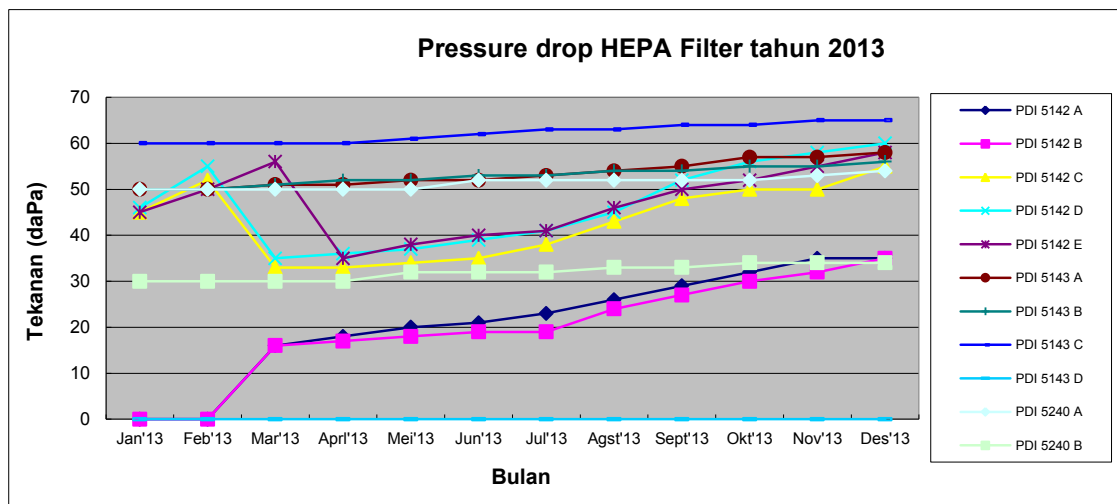
Grafik menunjukkan bahwa tekanan negatif zona 1, zona 2 dan zona 3 sesuai persyaratan. Zona 4 tidak memenuhi persyaratan karena hasil rata-rata tekanan negatif lebih kecil dari -22 daPa, hal ini disebabkan karena konfigurasi *valve exhaust fan* dibuka 60%, dengan pertimbangan pada zona 4 tidak ada proses pengelolaan limbah, sehingga menghemat penggunaan listrik dan mengurangi kejenuhan *Hepa Filter* [6].

*Exhaust fan* 5102 meskipun hanya dioperasikan satu unit dapat mencapai persyaratan yaitu lebih besar dari - 22 daPa bila *valve* dibuka 100% sesuai pada tabel-8. Terbukanya

pintu antar zona yang tidak semestinya sangat berpengaruh terhadap tekanan negatif masing-masing zona tersebut.

Udara sebelum dikeluarkan dari ruang IPLR, terlebih dahulu dievakuasi dengan sistem filtrasi oleh Hepa Filter. Hepa Filter berfungsi menyaring partikel – partikel radioaktif agar tidak keluar kelingkungan. Instalasi Hepa Filter digunakan untuk memfilter udara dari zona 2, 3, 4 dan Off gas. Data rata – rata *pressure drop* selama tahun 2013 dapat dilihat pada Tabel-9 dan Grafik kenaikan kejenuhan filter dapat dilihat pada Gambar-4.

Pada bulan Februari dilakukan penambahan pembukaan Hepa Filter pada instalasi filtrasi PDI 5142 A dan B yang awalnya sebagai cadangan, dikarenakan sistem filtrasi PDI 5142 C, D dan E cenderung mengalami kejenuhan. Terlihat pada grafik PDI 5142 A dan B mengalami kenaikan dan PDI 5142 C, D dan E mengalami penurunan tekanan drop karena berkurangnya tekanan masukan. PDI 5143 D tidak dioperasikan karena sebagai cadangan filtrasi pada zona 4 sehingga pada grafik menunjukkan nilai 0 daPa.



Gambar. 4 Grafik laju pressure drop Hepa Filter tahun 2013

Selama operasi tahun 2013 Hepa Filter belum mengalami batas kejenuhan sehingga tidak dilakukan penggantian Hepa Filter selama tahun 2013, hanya melakukan penambahan pembukaan sistem filtrasi pada PDI 5142 A dan B. Manometer U pada instalasi Hepa Filter menunjukkan adanya kenaikan pressure drop selama operasi dalam satu tahun. Rata-rata masih dibawah batas kejenuhan yaitu kurang dari 105 daPa untuk zona 2 dan 3, sedangkan zona 4 kurang dari 90 daPa dan off gas kurang dari 90 daPa.

## KESIMPULAN

Intepretasi data hasil pemantauan sistem tata udara IPLR pada tahun 2013 menunjukkan bahwa pada dasarnya sistem tersebut beroperasi normal :

1. Seluruh parameter yang dipantau pada sistem tata udara tahun 2013 memenuhi standar IPLR.
2. *Pressure drop* Hepa Filter dalam satu tahun masih memenuhi persyaratan yaitu belum melampaui batas kejenuhan.
3. Sistem tata udara dapat berfungsi normal apa bila syarat-syarat instalasi terpenuhi agar sesuai dengan standar IPLR yang diinginkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. System Note VAC WSPG 510 NTA 9001 TECHNIATOME, (1986)
- [2]. System Note Off Gas WSPG 520 NTA 9001 TECHNIATOME, (1986)
- [3]. Sofiltra – Camfil, “ Air Filter Absolute Nuclear Type “ La Garrene – Colombes Codex, France, (2010)
- [4]. SOP Pengoperasian Sistem VAC dan Off Gas, 3.T.002.IN 00 04
- [5]. Istavara, A, “Layanan Sistem Tata Udara Ruang Perkantoran dan Ruang Proses Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif Tahun 2010”, Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR 2012, ISSN 0852-2979, (2013)
- [6]. Istavara, A. Sugianto, “Pengaruh Konfigurasi Damper 5102 Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif Terhadap Efisiensi Konsumsi Listrik dan Hepa Filter”, Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR 2011, ISSN 0852-2979 , (2012)



**Lampiran.**

**Tabel. 6**  
**Nilai rata – rata suhu dan kelembaban pada ruang IPLR**

Bulan 2013	Suhu rata - rata			Kelembaban rata - rata		
	ruang type A	ruang type B	ruang type C	ruang type A	ruang type B	ruang type C
Jan	24.05	24.58	25.34	40.13	54.65	55.98
Feb	24.58	25.18	25.64	40.21	52.34	54.6
Mar	24.12	24.66	25.37	40.3	52.76	54.19
Apr	23.14	24.77	25.34	41.66	49.17	52.59
Mei	24.22	24.75	25.47	40.13	54.06	56.13
Jun	24.23	24.83	25.34	40.82	51.71	53.76
Jul	24.49	24.96	25.36	42.44	50.16	52.39
Ags	23.8	24.52	25.24	39.46	53.16	54.62
Sep	23.72	24.41	25.26	39.66	52.55	53.91
Okt	23.47	23.83	25.05	40.89	49.48	51.42
Nop	23.56	24.23	24.92	40.04	49.11	52.31
Des	23.39	24.09	24.74	39.02	47.91	50.44
Average:	23.90	24.57	25.26	40.40	51.42	53.53

**Tabel. 7**  
**Nilai tekanan negatif ruangan IPLR**

Bulan 2013	Hasil Pengukuran Tekanan Negatif Rata-rata ( daPa )			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Jan	-6	-10	-12	-18
Feb	-6	-10	-12	-18
Mar	-6	-10	-12	-18
Apr	-6	-10	-12	-18
Mei	-6	-10	-12	-18
Jun	-6	-10	-12	-18
Jul	-6	-10	-12	-18
Ags	-6	-10	-12	-18
Sep	-6	-10	-12	-18
Okt	-6	-10	-12	-18
Nop	-6	-10	-12	-18
Des	-6	-10	-12	-18
Rata-rata	-6	-10	-12	-18
Standar	0 sampai -7	-8 sampai -10	-12 sampai -14	> -22
Keterangan	memenuhi	memenuhi	memenuhi	cukup

**Tabel. 8**  
**Nilai tekanan negative pada open valve 100%**

Open valve 100%	Hasil Pengukuran Tekanan Negatif Rata-rata ( daPa )			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
rata-rata	-7	-10	-14	-26
Standar	0 sampai -7	-8 sampai -10	-12 sampai -14	> -22
Keterangan	memenuhi	memenuhi	memenuhi	memenuhi

**Tabel. 9**  
**Nilai pressure drop Hepa Filter**

No	No. Tag. Hepa Filter	Pengukuran Pressure Drop HEPA Filter ( daPa )												Setandar maksimal kejenuhan
		Jan'1 3	Feb' 13	Mar' 13	Aprl' 13	Mei' 13	Jun' 13	Jul' 13	Ags' 13	Sep' 13	Okt' 13	Nov' 13	Des'1 3	
1	PDI 5142 A	-	-	16	18	20	21	23	26	29	32	35	35	105 daPa
2	PDI 5142 B	-	-	16	17	18	19	19	24	27	30	32	35	105 daPa
3	PDI 5142 C	45	52	33	33	34	35	38	43	48	50	50	55	105 daPa
4	PDI 5142 D	46	55	35	36	37	39	41	45	52	56	58	60	105 daPa
5	PDI 5142 E	45	50	56	35	38	40	41	46	50	52	55	58	105 daPa
6	PDI 5143 A	50	50	51	51	52	52	53	54	55	57	57	58	90 daPa
7	PDI 5143 B	50	50	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	90 daPa
8	PDI 5143 C	60	60	60	60	61	62	63	63	64	64	65	65	90 daPa
9	PDI 5143 D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90 daPa
10	PDI 5240 A	50	50	50	50	50	52	52	52	52	52	53	54	90 daPa
11	PDI 5240 B	30	30	30	30	32	32	32	33	33	34	34	34	90 daPa

---

**PERAWATAN UNINTERRUPTIBLE POWER SYSTEM  
PUSAT TEKNOLOGI LIMBAH RADIOAKTIF**

**Harwata, CH Susiana Atmaja**  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

**ABSTRAK**

**PERAWATAN UNINTERRUPTIBLE POWER SYSTEM PUSAT TEKNOLOGI LIMBAH RADIOAKTIF.** Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) mempunyai *Uninterruptible power system* (UPS) dengan kapasitas besar guna menjamin pemberian daya (listrik) yang tak terputus pada saat arus bolak-balik tersedia dari jalur utama maupun saat tidak tersedia. *Uninterruptible power sistem* (UPS) merupakan sistem penyedia daya listrik yang sangat penting dan diperlukan sekaligus dijadikan sebagai pencegahan dari kegagalan daya serta kerusakan sistem dan peralatan perangkat keras. Sistem ini perlu perawatan agar dapat beroperasi optimal. Dalam pemeliharaan UPS, baterai adalah komponen utama yang harus diperiksa untuk kinerja yang lebih baik dan dapat memberikan keluaran yang optimal. Nilai tegangan dan arus pengisi UPS juga harus dipantau untuk meningkatkan masa pakai baterai. Pemeliharaan pencegahan berhasil meminimalkan masalah kerusakan pada saat peralatan beroperasi. Dari data operasi, nilai tegangan, arus frekuensi, daya, beban, *backup time*, dan kapasitas UPS masih dalam batas standar operasi, sehingga kinerja operasi UPS masih berkualitas baik.

**Kata kunci :** Perawatan, *Uninterrubtible Power System*

**ABSTRACT**

**MAINTENANCE OF UNINTERRUPTIBLE POWER SYSTEM AT CENTER FOR RADIOACTIVE WASTE TECHNOLOGY.** Center for Radioactive Waste Technology has *Uninterruptible power systems* (UPS) with a large capacity to ensure the provision of uninterrupted power (electricity) supply when an alternating current is available from the main line and when not available. *Uninterruptible power system* (UPS) is a provider of electrical power systems are very important and necessary as well as the prevention of power failure and damage to the system and the equipment (hardware). The system needs maintenance in order to operate optimally. In UPS maintenance, battery is the main component that should be examined for better performance and provide optimal output. Voltage and current UPS charger should also be monitored to increase battery life. Preventive maintenance succeeded to minimize equipment damage and prevent failures. According to operating data, the value of voltage, current frequency, power, load, *backup time*, and the capacity of the UPS is within the operating standards limit so that the operating performance of the UPS is still in good quality.

**Keywords:** *Uninterrubtible Power System, Maintenance*

## PENDAHULUAN

*Uninterruptible power system* (UPS) atau sistem daya cadangan merupakan sistem peralatan sumber daya listrik sementara apabila sumber utama (PLN) dalam kondisi padam<sup>[2]</sup>. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) mempunyai dua buah UPS kapasitas besar yaitu untuk suplai listrik pada sistem-sistem kontrol peralatan proses IPLR dengan keluaran 48 Volt DC, dan suplai listrik pada sistem tenaga dengan keluaran 220 Volt AC<sup>[4]</sup>. Tipe UPS yang dimiliki PTLR adalah tipe *online*. Tipe *online* berarti bahwa suplai listrik utama PLN yang memasok energi ke beban secara terus menerus melalui UPS<sup>[1,3]</sup>.

Untuk keperluan suplai sistem tenaga, PTLR menggunakan UPS kapasitas 30 KVA. UPS ini digunakan untuk meng-cover semua peralatan yang terpasang pada instalasi kedaruratan (*emergency*) di ruang perkantoran. Diantaranya peralatan komputer, telepon dan AC (*air conditioning*). Sistem ini beroperasi selama 24 jam secara terus menerus<sup>[3]</sup>. Akan tetapi fungsi UPS ini bukanlah sebagai pengganti sumber listrik, dalam pengertian dapat menggunakan UPS untuk selamanya sebagai pengganti sumber listrik utama bila padam, waktu maksimal yang diberikan biasanya tergantung dari jenis dan kualitas baterai yang dimilikinya.

Dua hal utama pemeliharaan yang diperlukan untuk UPS<sup>[5]</sup>. yaitu :

1. Pemeliharaan untuk pencegahan (*preventif*) dan
2. Perbaikan (*korektif*)

Pemeliharaan (*preventif*) tujuannya adalah untuk meminimalkan masalah peralatan operasi dan mencegah kegagalan dengan membuat perbaikan kecil atau diperlukan sebelum kesulitan operasi besar terjadi. Kondisi umum dari peralatan tersebut perlu dievaluasi secara berkala, dan catatan perlu dipertahankan untuk perbandingan pada pemeriksaan berikutnya, karena informasi yang tercatat lebih dapat diandalkan daripada memori teknisi perawatan ini.

*Pemeliharaan preventif* terdiri dari daftar kegiatan yang direncanakan, melakukan kegiatan-kegiatan pencegahan agar UPS dalam kondisi sehat, dengan tujuan membantu mencegah kerusakan.

*Pemeliharaan korektif* dilakukan sebagai akibat dari kerusakan, perawatan ini merupakan kegiatan perbaikan setelah terjadi kerusakan. .

Dalam kegiatan perawatan ini yang harus dilakukan adalah membersihkan sistem UPS dari kotoran debu atau kotoran lain yang akan mengganggu bekerjanya UPS tersebut. Disamping itu juga perlu dilakukan pemeriksaan terhadap sambungan terminal kabel, *bateray* / aki, bila permukaan air aki berada di pertengahan limit atas dan limit bawah, segera ditambah air aki<sup>[2]</sup>.

## TATA KERJA

### A. Alat dan Bahan

#### Alat :

1. Tool Kit
2. Multi Tester
3. Tang Ampere
4. Dll.

#### Bahan:

- |                |                   |
|----------------|-------------------|
| 1. Battery     | 4. Vakum cleaner  |
| 2. Air Accu    | 5. Majun          |
| 3. Kabel Power | 6. Dan lain lain. |

### B. METODE

Perawatan *Uninterruptible power system* (UPS) <sup>[2]</sup> ini meliputi :

1. Pemeriksaan harian permukaan air aki zuur
  - Permukaan cairan elektrolit dipertahankan berada diantara *UPPER LEVEL* (limit atas) dan *LOWER LEVEL* (limit bawah)
  - Tambah air aki sampai limit atas, bila permukaan air aki berada di pertengahan limit atas dan limit bawah
  - Setelah ditambah air aki, tutup/*vent* dipasang kembali
2. Pemeriksaan terminal aki
  - Memeriksa sambungan terminal kabel apakah ada yang rusak dan berkarat atau terdapat residu ( bila berkarat atau terdapat residu, digosok dengan sikat kawat, amplas halus, lalu diolesi gemuk anti karat)
3. Pemeriksaan klem penahan aki
  - Aki harus di klem dengan kuat agar tidak bergeser atau bergerak.
4. Pemeriksaan visual dan pembersihan
  - Memastikan aki tidak berubah bentuk, retak serta tidak bocor
  - Menggunakan kain yang dibasahi air untuk membersihkan aki, jangan membersihkan aki dengan kain kering karena bisa menimbulkan elektrostatis yang mengakibatkan ledakan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan perawatan UPS yang paling utama adalah membersihkan ruangan dan sistem UPS dari kotoran debu atau kotoran lain yang akan mengganggu bekerjanya UPS . Selain itu juga dilakukan pemeriksaan terhadap sambungan *incoming* UPS dengan jaringan *emergency*, sambungan UPS dengan panel distribusi daya permanen, serta mengamati parameter-parameter seperti :

- Nilai tegangan dan frekuensi masukan pada saat *online*
- Nilai tegangan, frekuensi, beban dan arus baterai pada saat *online*

- Nilai backup time, kapasitas, tegangan positif dan negatif pada saat *online*
- Nilai daya, arus, dan tegangan yang terpakai pada saat *online*

Dan yang tak kalah penting adalah pemeriksaan terhadap :

- Permukaan air aki
- Terminal
- Klem penahan

Perawatan dilakukan dalam mingguan, bulanan, dan tahunan yang harus ditinjau berdasarkan waktu yang sama periodik sehingga situasi masalah potensial dapat diselidiki dan diperbaiki secepat mungkin <sup>[2]</sup>.

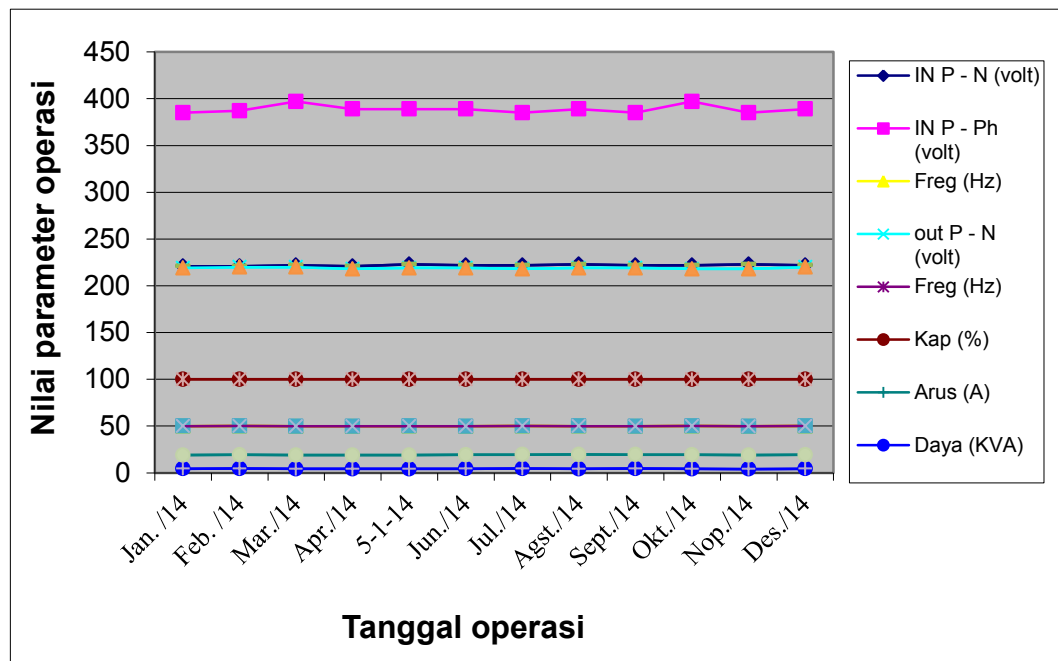
**Tabel-1.** Data *surveillance* bulanan UPS DX

No	Bulan	Input			Output								
		Phase - Netral (volt)	Phase - Phase (volt)	Frek (Hz)	Phase - Netral (volt)	Frek (Hz)	Kap (%)	Arus (A)			Daya (KVA)		
								R	S	T	R	S	T
1	Jan.14	221	385	49.9	219	50	100	10.3	4.8	3.9	2.3	1.1	1.0
2	Feb14	221	387	50	220	49.8	100	10.3	4.7	4.3	2.4	1.1	1.1
3	Mar.14	222	397	49.8	220	50	100	10.1	4.9	3.9	2.3	0.9	1.0
4	Apr/14	221	389	49.8	218	49.9	100	10.1	4.7	4.1	2.1	1.0	1.2
5	Mei/14	223	389	49.9	219	50	100	10.3	4.7	3.9	2.3	1.0	1.0
6	Jun./14	222	389	49.8	219	49.9	100	10.1	4.9	4.3	2.3	1.0	1.1
7	Jul./14	222	385	50	218	49.8	100	10.5	4.8	4.2	2.4	0.9	1.2
8	Ags/14	223	389	49.9	219	49.8	100	10.4	4.9	4.3	2.3	0.9	1.1
9	Sep/14	222	385	49.8	219	50	100	10.3	4.9	4.3	2.4	1.0	1.2
10	Okt/14	222	397	50	218	49.8	100	10.4	4.8	4.1	2.1	1.0	1.2
11	Nop/14	223	385	49.8	218	49.8	100	10.1	4.7	4.2	2.1	0.9	1.1
12	Des/14	222	389	50	220	49.8	100	10.3	4.8	4.1	2.3	1.1	1
Min		221	385	49.8	218	49.8	100	3.9			0.9		
Maks		223	397	50	220	50	100	10.5			2.4		

**Tabel-2.** Perbandingan rata-rata data *surveillance* UPS DX 30 KVA dengan standar operasi

	Input			Output				
	Phase -Netral (volt)	Phase -Phase (volt)	Frek (Hz)	Phase -Netral (volt)	Frek (Hz)	Kap (%)	Arus total (A)	Daya total (KVA)
<b>Nilai rerata</b>	221,8	388,0	49.9	218,7	49.9	100.0	19.3	7.4
<b>STD</b>	0.9	3.5	0.1	0.7	0.1	0.0	0.2	0.2
<b>Standar operasi</b>	220±25%	380±25%	50±8%	220±1%	50±8%	100	63	30

Dari **Tabel-1.** Data *surveillance* UPS DX 30 KVA didapat **Gambar-1** grafik sebagai berikut:



**Gambar - 1.** Grafik dari data *surveillance* UPS DX 30 KVA

Tabel-1. Data *surveillance* UPS DX 30 KVA, menunjukkan bahwa nilai tegangan masukan antara *phase* dengan netral terendah 220 volt dan tertinggi 223 volt. Nilai tegangan masukan antara *phase* dengan *phase* terendah 385 volt dan tertinggi 397 volt. Nilai frekuensi masukan terendah 49,8 Hz dan tertinggi 50 Hz. Tegangan keluaran antara *phase* dengan netral terendah 218 volt dan tertinggi 220 volt. Nilai frekuensi keluaran terendah 49,8 Hz dan tertinggi 50 Hz. Kapasitas baterai 100%. Arus keluaran terendah pada *phase* T yaitu 3,9 ampere sedangkan

tertinggi pada *phase* R 10,5 ampere. Daya keluaran terendah pada *phase* S 0,9 KVA sedangkan tertinggi pada *phase* R yaitu 2,4 KVA.

Data evaluasi perbandingan rata-rata data UPS *surveillance* DX 30 KVA dengan standar diperlihatkan pada lampiran Tabel-2. Pada tabel terlihat bahwa nilai tegangan masukan antara *phase* dengan netral  $221,8 \pm 0,9$  volt (diantara range standar  $220 \pm 25\%$ ). Tegangan masukan antara *phase* dengan *phase*  $388,0 \pm 3,5$  volt (diantara range standar  $380 \pm 25\%$ ). Frekuensi masukan dan keluaran sama  $49,9 \pm 0,1$  Hz ( masuk range standar  $50 \pm 8\%$ ). Tegangan keluaran antara *phase* dengan netral  $218,7 \pm 0,7$  volt (masuk range standar  $220 \pm 1\%$ ). Arus total 19,2 A (dibawah 63 Ampere) sedangkan daya total 7,3 A (dibawah 30 KVA).

Gambar-1 Grafik dari data operasi UPS DX 30 KVA menunjukkan bahwa nilai *input* antara *phase* dengan netral, *phase* dengan *phase*, dan frekuensi relatif stabil. Begitu juga nilai *output* antara *phase* dengan netral, *phase* dengan *phase*, frekuensi, arus dan daya juga masih stabil.

Dari nilai parameter yang diamati menunjukkan bahwa semua masih dalam batas standar operasi yang diberikan oleh pabrikan.

## KESIMPULAN

Dari pembahasan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa: Perawatan berhasil mempertahankan kondisi operasi UPS DX 30 KVA sesuai standar operasi:

- Tegangan *phase* – Netral  $218,7 \pm 0,7$  volt (standar  $220 \pm 1\%$ )
- Frekuensi  $49,9 \pm 1$ Hz (standar  $50 \pm 8\%$ )
- Arus total  $19,3 \pm 0,2$  A (Standar 63 A)

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Budiyo ST, Pengoperasian *Uninterruptible Power* (UPS) DX 30 KVA, 2009
- [2]. Edvard, Pemeliharaan *Uninterruptible Power* (UPS), Desember 2010
- [3]. Manual Book *Uninterruptible Power* (UPS) DX 30 KVA
- [4]. Manual Book *Uninterruptible Power* (UPS) *Type Nife*
- [5]. Buiyono ST Prosedur Perawatan dan Perbaikan peralatan PLR/5/P3P/00/2006



## PERBAIKAN *SERVICE WATER SYSTEM* PUSAT TEKNOLOGI LIMBAH RADIOAKTIF

**Harwata**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

### ABSTRAK

**PERBAIKAN *SERVICE WATER SYSTEM* PUSAT TEKNOLOGI LIMBAH RADIOAKTIF.** Untuk menunjang proses pengolahan limbah radioaktif, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif memiliki *service water system*. Sistem ini berfungsi untuk mensuplai air ke peralatan proses pengolahan limbah radioaktif. Karena telah beroperasi lebih dari 25 tahun, sehingga beberapa komponen mengalami penuaan. Kemampuan pompa menurun dan pipa distribusi bocor karena korosi. Untuk itu perlu dilakukan perbaikan *service water system*. Perbaikan bertujuan untuk mengembalikan unjuk kerja peralatan sesuai persyaratan. Perbaikan dilakukan dengan cara analisis kerusakan, inventarisasi kerusakan dan penggantian komponen. Pasca perbaikan, *service water system* dapat beroperasi sesuai persyaratan yaitu tekanan mencapai 10 Kg/cm.

**Kata kunci :** perbaikan, *service water system*

### ABSTRACT

**REPARATION OF *SERVICE WATER SYSTEM* AT CENTER FOR RADIOACTIVE WASTE TECHNOLOGY.** Center for Radioactive waste technology has *service water system* to support radioactive waste treatment installation. The system is used to supply water to the radioactive waste processing equipment. The system has been operating for more than 25 years, so some components aging. Decreased pumping ability and distribution pipes leaking due to corrosion. It is necessary to repair *service water system*. Repair aims to restore the performance of the equipment. Reparation have been conducted by failure analysis, inventory and replacement of components. After the repair, *service water system* can operate according to the requirements that the pressure reaches 10 kg / cm.

**Keywords :** repair, *service water system*

### PENDAHULUAN

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif memiliki fasilitas peralatan proses untuk mendukung proses pengolahan limbah radioaktif yaitu: *Service water system*. Sistem ini digunakan dalam rangka mendukung proses pengolahan limbah radioaktif cair, pengolahan limbah padat pada proses sementasi, pengolahan limbah resin, pengoperasian sistem *laundry*, pengoperasian *chemical treatment* dan lain sebagainya.<sup>[2,3,4,]</sup>

*Service water system* terdiri dari beberapa unit komponen yaitu 2 buah motor pompa, 2 buah *resevoir*, satu buah tangki tekanan (*pressure tank*), dan unit pemipaan. Fungsi masing – masing komponen tersebut adalah:

- Motor pompa fungsinya untuk mensirkulasikan /memindahkan, berbagai macam fluida, dengan jalan membuat perbedaan tekanan antara saluran hisap dengan saluran tekan yang terdapat pada pompa

- *Resevoir* fungsinya untuk menampung (tandon) air dari Puspipetek yang akan didistribusikan keruang proses
- Tangki tekanan (*pressure tank*) fungsinya meningkatkan tekanan air yang akan didistribusikan ke gedung proses (laboratorium)
- Unit Pemipaan fungsinya untuk mendistribusikan air bertekanan ke gedung proses (laboratorium)

Perbaikan *service water system* dilakukan setelah menganalisa jenis kerusakan dan menginventarisasi keperluan bahan untuk perbaikan. Kemudian merencanakan jenis perbaikan yang pelaksanaannya dilakukan oleh pihak ke 3<sup>[5]</sup>.

Sementara untuk *Domestic Water* (air domestic) digunakan selain untuk keperluan air *make up* pada peralatan penunjang proses, seperti : *chilled water system*, *cooling water system*, *demineralized water system* juga untuk keperluan pencucian tangan (*wastafel*), kamar mandi dan lain sebagainya.<sup>[1,2]</sup>

## TATA KERJA

### Alat dan Bahan

#### Alat:

1. Tools Set Mekanik
2. Mesin Las Listrik
3. Kunci Inggris Kunci Pipa
4. Tangga
5. Mesin gerenda
6. Dan lain-lain.

#### Bahan:

- |                               |                       |
|-------------------------------|-----------------------|
| 1. Motor pompa set            | 6. Reducer Ø 4", Ø 3" |
| 2. <i>Flexible joint</i> Ø 4" | 7. L-Bow Ø 3", Ø 4"   |
| 3. Flange Ø 2", Ø 3" Ø 4",    | 8. T-Joint Ø 3", Ø 4" |
| 4. Gate valve Ø 3"            | 9. Packing flange     |
| 5. Pipa Ø 3", Ø 4"            | 10. Dan lain-lain.    |

## METODOLOGI

Perbaikan *Service water system* dilaksanakan dengan tahapan:

- Analisis kerusakan dan inventarisasi perbaikan
- Perencanaan perbaikan
- Pelaksanaan perbaikan
- Evaluasi dan Pelaporan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar 1. Sebelum dilakukan perbaikan, tekanan air service pada pompa P 6281A tidak dapat mencapai persyaratan diatas 8 Kg/cm untuk pengolahan limbah, sehingga dilakukan penggantian pompa, berikut check valve, gate valve, flexible joint untuk discharge dan memodifikasi / penambahan flexible untuk suction seperti pada gambar 3.

*Service water system* ini dilakukan perbaikan dengan mengganti motor dan pompa, karena tekanan air tidak memenuhi persyaratan untuk operasi pengolahan limbah, disamping itu juga perlu penggantian flexible joint karena bocor sehingga harus diganti. Sebelum diganti, *flexible joint* hanya di pasang pada *discharge* saja. Dalam perbaikan ini ada penambahan (memodifikasi) pada *suction* dipasang *flexible joint* agar dapat mengurangi getaran yang di timbulkan oleh pompa service tersebut,

Pipa distribusi *service air* yang bocor di ruang binatu dan ruang mushola, seperti terlihat pada gambar 2. Potongan pipa ruang binatu, terlihat banyak endapan yang memenuhi ruangan pipa sehingga menghambat aliran air, hal ini akan mempercepat terjadinya korosi.



**Gambar 1.** Sebelum dilakukan perbaikan



**Gambar 2.** Potongan pipa ruang binatu



**Gambar 3.** Modifikasi *flexible joint*

Modifikasi *flexible joint* seperti terlihat pada gambar : 3 dilakukan untuk mengurangi efek getaran pompa terhadap konstruksi bangunan. Selama ini getaran konstruksi bangunan melebihi persyaratan 7 mm/s. Jika dibiarkan maka akan menyebabkan retak/bocor pada struktur bangunan kolam disamping ruang pompa. Air yang bocor keruang pompa bisa merendam pompa dan panel kelistrikan yang ada di ruang pompa.

Hasil uji fungsi srvic watr systm pasca prbaikan ditunjukkan pada table 1 berikut ini :

**Tabel 1.** Hasil uji fungsi service water system pasca perbaikan

NO	PERAWATAN	HASIL	STANDAR
1	Sistem kontrol	Berfungsi baik	Berfungsi baik
	<i>Sistem A</i>		
	<i>Sistem B</i>	Berfungsi baik	Berfungsi baik
2	Pompa (P)		
	Suhu bearing (°C)	40/ 40	< 80
	Kebisingan (dB)	92/ 90	< 95
	Putaran (rpm)	1400/ 1400	1400 ± 2 %
	Arus listrik (A)	R:.15.3/ 17.5 S. 16.7/ 17.8 T: 14.6/ 15.2	< 18
	Mechanical seal	Tidak bocor	Tidak bocor
	Kopling	lurus	lurus
3	Filter turbidity	bersih	bersih
4	Valve - valve	Berfungsi baik saat <i>open/ close</i>	Berfungsi baik saat <i>open/ close</i>
5	Indicator tekanan (PI) Pompa P6281-A & B	8 kg/cm <sup>2</sup> dan 11 kg/cm <sup>2</sup>	> 6 kg/cm <sup>2</sup>
6	Reservoir (Bak Air)	besih	besih
7	Pemipaan	Tidak bocor	Tidak bocor

## KESIMPULAN

1. Perbaikan yang telah dilakukan dengan mengganti *spare part* yang di anggarkan tahun 2013 sudah terealisasi dengan baik dan kebocoran yang terjadi di ruang binatu maupun di ruang sound sistim dapat teratasi dengan baik. Hal ini terbukti bahwa persyaratan tekanan *sevice water* sudah tercapai yaitu 10 kg/cm.

2. Setelah dilakukan perbaikan peralatan sistem *service water*, suplai air guna keperluan proses pengolahan limbah radioaktif telah berjalan sesuai yang diharapkan.

## SARAN

Dalam pengamatan secara visual yang terjadi kebocoran pada pipa distribusi *service* dan *domestic water* hanya pada titik-titik tertentu yang terdeteksi seperti pada ruang binatu dan ruang *sound sistem*, ini menunjukkan pada titik - titik lain akan terjadi seperti terlihat pada Gambar 1. Potongan pipa ruang binatu. Sarannya untuk dikaji sebagai pertimbangan penggantian pipa distribusi *service* dan *domestic water* pada anggaran tahun yang akan datang.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. **A 10**, *System Notes Service and Domestic Water*, 1985
- [2]. **A 10**, *P & ID Process Servie Water*, 1985
- [3]. **SRI MARYANTO**, *Juklak dan Protap Service dan Domestic Water*, 1990
- [4]. **SRI MARYANTO**, *Pengoperasian Service & Domestic Water System* sebagai penunjang pengolahan limbah radioaktif dan penambahahn air pada Sistem Penyedia Media dan Energi
- [5]. **BUDIYONO**, *Prosedur Perawatan dan Perbaikan peralatan* No. PLR/5/P3P/00/2006

## PENGOPERASIAN *COOLING WATER* UNTUK PENURUNAN TEMPERATUR MEDIA PENDINGIN EVAPORATOR

Ahmad Nurjana

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**PENGOPERASIAN *COOLING WATER* UNTUK PENURUNAN TEMPERATUR MEDIA PENDINGIN *EVAPORATOR* TAHUN 2013.** Pengoperasian *cooling water* telah dilaksanakan oleh subbidang Operasi Sistem Penyedia Media dan Energi (OSPME) pada tahun 2013. Pada proses evaporasi, *system cooling water* digunakan sebagai alat penunjang *evaporator* yang berfungsi untuk mendinginkan dan mengembunkan uap dari *evaporator*. Air yang keluar dari *evaporator* sebagai pendingin primer diturunkan temperaturnya oleh sistem pendingin sekunder menggunakan *plate heat exchanger* dan *cooling tower*. Kemampuan sistem *cooling water* dalam sistem pendingin sekunder dapat menurunkan temperatur pendingin primer dari 42°C menjadi 29°C, sehingga dapat digunakan kembali sebagai media pendingin evaporasi.

**Kata kunci :** air pendingin, media pendingin, pendingin evaporator

### ABSTRACT

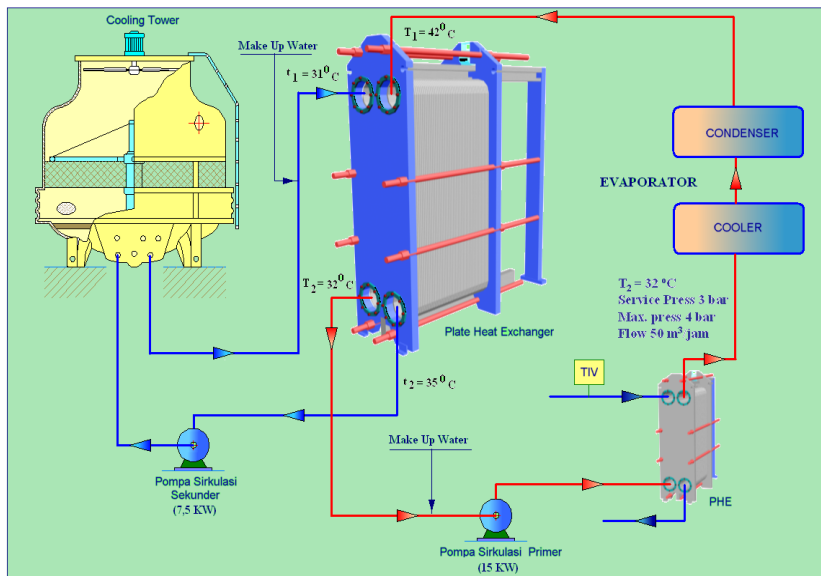
**OPERATION OF *COOLING WATER* FOR TEMPERATURE REDUCEMENT OF *EVAPORATOR COOLANT*.** Operation of the cooling water has been carried out by subdivision Operation of Media and Energy Provider System in 2013. In the process of evaporation, cooling water system is used as a supporting facility that serves to cool the evaporator and condensing the vapor from the evaporator. Water discharged from the evaporator as the primary coolant is reduced its temperature by a secondary cooling system using a plate heat exchanger and cooling tower. The cooling water system in the secondary cooling system can reduce the temperature of primary coolant from 42°C to 29°C, so it can be reused as evaporator coolant.

**Keywords :** cooling water, cooling media, evaporator coolant.

### PENDAHULUAN

*Cooling Water System* digunakan sebagai alat penunjang *Evaporator* yang berfungsi untuk mendinginkan dan mengembunkan uap dari *Evaporator*. Sistem pada *Cooling water* ini merupakan sistem terbuka yang mensirkulasikan air dengan pompa Pompa primer 62101A dan Pompa primer 62101B untuk kemudian didinginkan oleh *Cooling Tower* E 62101A dan E 62101B.[1] Kebutuhan air pendingin kondensor *Evaporator* adalah 50 m<sup>3</sup>/jam dengan tekanan 7,5 kg/cm<sup>2</sup>, suhu 29 °C dan pH 4 ~ 9. Kandungan Khlor dalam air harus lebih kecil dari 100 mg/liter dan kandungan padatan tidak boleh lebih dari 5 mg/liter.[2] Sistem *Cooling Water* ini di operasikan hanya berdasarkan permintaan bidang pengolahan limbah pada saat pengolahan limbah radioaktif cair.[3] dan operasi pemanasan alat sesuai jadwal pemanasan.

Operasi Sistem *Cooling water* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir *Cooling Water System*[3]

Sistem air pendingin dilengkapi dengan beberapa peralatan penunjang sebagai berikut :

- 2 Unit *Cooling Tower* (E 62101A dan E 62101B) yang dioperasikan bergantian secara manual.
- 1 Unit *Expansion Tank*.
- 1 Unit *Air Separator*.
- 4 Unit *Circulating Pump* A dan B yang dioperasikan bergantian secara otomatis.
- 1 Unit *Heat Exchanger*
- Chemical Feeder System*.
- pH meter dan *Chloride Control*.
- Make Up Water System*
- Make Up water Cooling Tower System*.
- Make Up water Cooling Water System*.
- Bleed Off System*.

## LANGKAH KERJA

### 1. Persiapan

- Pemeriksaan instalasi seluruh sistem air pendingin, pemeriksaan karakteristik air pendingin, pemeriksaan kedudukan *valve* pada saat akan dioperasikan atau pada saat beroperasi normal.
- Pemeriksaan peralatan utama:
  - *Cooling Tower* (A dan B).
  - Evaporasi (R 62101).
  - *Heat Exchanger* ( E 62102).
  - Peralatan kontrol (*Indicator* dan *Switch*).



c. Pemeriksaan kesiapan sistem penunjang:

- *Make up Water, Cooling Water* dan *Water Cooling Tower* serta air dari Puspipstek.
- Menghidupkan power utama di dalam gedung MES dengan mengatur *handle* ke posisi “ON” pada panel.

**2.Mengoperasikan *Cooling Tower System***

- *Cooling Tower A/B* dihidupkan dengan menekan tombol *start* pada panel lokal atau melalui panel utama.
- *Circulation pump A/B* dihidupkan dengan memutar saklar “*Start*” di posisi ON pada panel utama (sesuai dengan pilihan pompa yang dikehendaki).
- Motor *Stirer M 6213* dan pompa injeksi *P 6213* dihidupkan sebagai penambah NaOHCO3 dan khlorida dengan menekan tombol *start* di panel lokal.

**3.Mematikan *Cooling Tower System***

- Motor *stirer* dan pompa injeksi penambah khlorida dan NaOHCO3 dimatikan dengan menekan tombol *stop* di panel local.
- *Circulation pump* dimatikan dengan menurunkan saklar ke posisi ‘*OFF*’ pada panel utama.
- *Cooling Tower* dimatikan dengan menekan 6 (enam) tombol *stop* pada panel *local*.

Kegiatan operasi *Cooling water* pada tahun 2013, ditunjukkan pada Tabel 1.

Diagram alir *Cooling Water System* ditunjukkan pada Gambar 1.

Tabel 1. Kegiatan Operasi *Cooling Water System* pada Tahun 2013 [5]

KEGIATAN	BULAN											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Persiapan Operasi	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Operasi Alat			*	*	*	*	*		*	*		*
Perawatan Alat	*			*			*			*		*
Pemanasan Alat	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Evaluasi			*						*			
Pembuatan Laporan			*			*			*			*

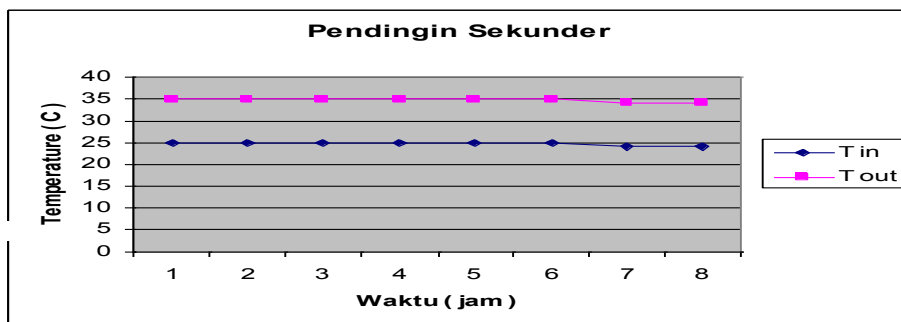
Keterangan : \* = 6 jam

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

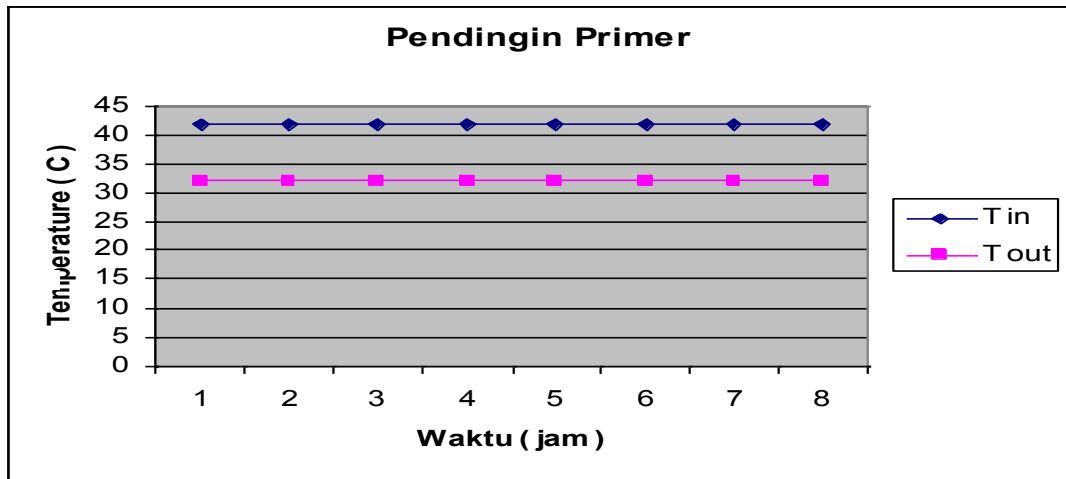
Sistem *Cooling Water* merupakan suatu sistem pendingin tipe terbuka yang terdiri dari 2 buah *Cooling Tower*, 2 buah Pompa distribusi dan 1 buah alat penukar panas (*Heat Exchanger*) yang kesemuanya secara sinergi berfungsi untuk mendinginkan media pendingin primer sebagai media utama pendingin *Evaporator* pada proses pengolahan limbah radioaktif cair. Berdasarkan data operasi sistem pendingin primer dan sekunder yang di catat setiap 1 jam ditunjukkan bahwa peningkatan temperatur saat masuk ke dalam sistem *inlet* dan saat keluar dari sistem atau *outlet* tidak ada perubahan yang melebihi standar yang di ijinakan yaitu T in untuk pendingin sekunder 25<sup>0</sup>C dan T out 35<sup>0</sup>C, pada tekanan air 4,5 – 6,5 Kg/Cm<sup>2</sup>, adapun standar yang diijinkan untuk sistem pendingin primer adalah T in 42<sup>0</sup>C dan T out 32<sup>0</sup>C serta tekanan airnya 2,5 – 3,5 Kg/Cm<sup>2</sup>. Hasil pencatatan data teknis operasi sistem pendingin primer maupun sekunder secara lengkap dapat dilihat pada tabel 2. Untuk perubahan temperatur air pendingin sekunder secara bertahap dengan perbedaan waktu 1 jam mengalami sedikit perubahan yang dapat dilihat pada gambar 2, adapun perubahan temperatur untuk air pendingin primer terhadap perbedaan waktu dapat dilihat pada gambar 3, sedangkan gambar 4 dan 5 menunjukkan adanya perubahan tekanan air saat kedua sistem pendingin tersebut beroperasi berdasarkan perbedaan waktu. Demikian juga gambaran kemampuan sistem pendingin sekunder dalam menurunkan temperatur air ( $\Delta T$ ) pada air pendingin primer mencapai 8 – 10<sup>0</sup>C dapat dilihat pada gambar 6 .

Tabel 2. Temperatur Air Masuk dan Keluar pada Pendingin Primer dan Sekunder

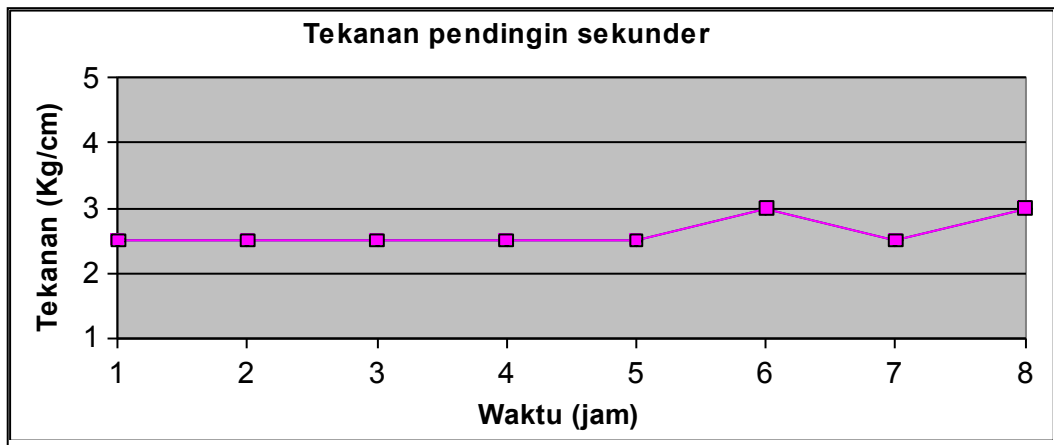
No	Jam ke	Pendingin Sekunder			Pendingin Primer		
		T-in <sup>0</sup> C	T-out <sup>0</sup> C	Press Kg/cm <sup>2</sup>	T-in <sup>0</sup> C	T-out <sup>0</sup> C	PressKg/cm <sup>2</sup>
1.	1	25	35	2,5	42	32	2,5
2.	2	25	35	2,5	42	32	2,5
3.	3	25	35	2,5	42	32	2,8
4.	4	25	35	2,5	42	32	2,5
5.	5	25	35	2,5	42	32	2,5
6.	6	25	35	3,5	42	32	2,5
7.	7	24	34	2,5	42	32	2,5
8.	8	24	34	3,5	42	32	3,2



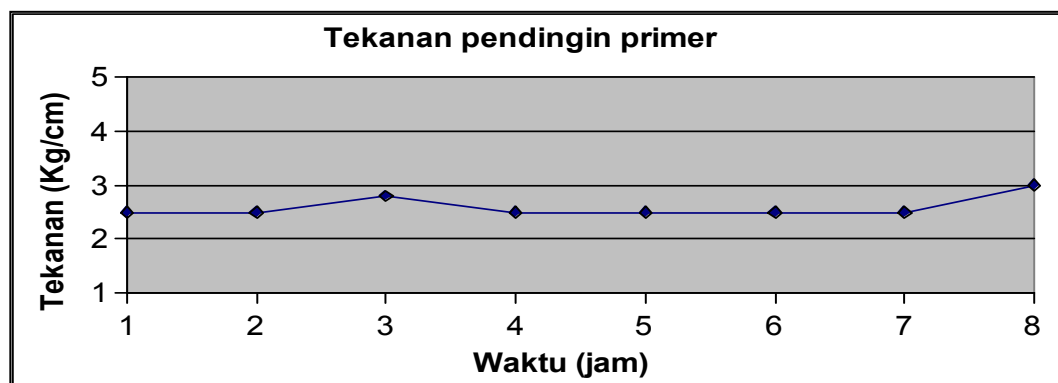
Gambar 2. Grafik Hubungan Temperatur Pendingin Sekunder Terhadap Waktu



Gambar 3. Grafik Hubungan Temperatur Pendingin Primer Terhadap Waktu



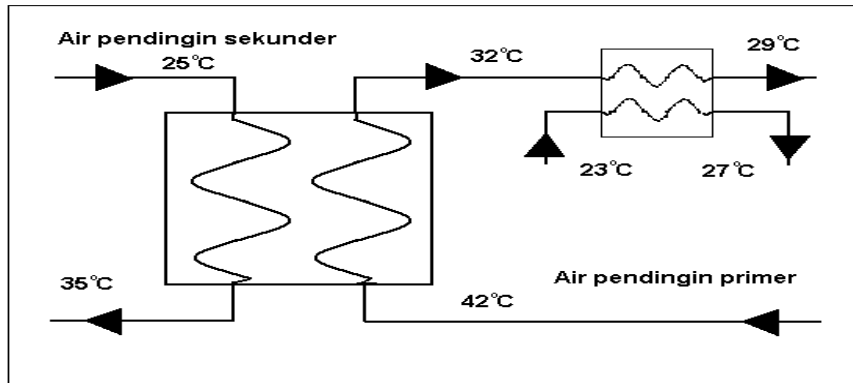
Gambar 4. Grafik Hubungan Tekanan Pendingin Sekunder Terhadap Waktu



Gambar 5. Grafik Hubungan Tekanan Pendingin Primer Terhadap Waktu

Untuk memperoleh temperatur operasi yang dikehendaki proses evaporasi batas T in yang baik yaitu  $< 25^{\circ}\text{C}$ , maka air pendingin yang keluar dari pendingin

sekunder harus didinginkan lagi dengan menggunakan Heat Exchanger *chiller* karena kemampuan menurunkan temperatur pada pendingin sekunder hanya maks 10 °C.



Gambar 6. Ilustrasi Perpindahan Panas pada *Cooling Water System*

## KESIMPULAN

Dari Pengoperasian *Cooling Water* dapat disimpulkan, Bahwa tekanan dan temperatur suhu air pendingin saat beroperasi selalu stabil sesuai dengan spesifikasi teknis yang ditentukan. Pada pendingin sekunder air masuk pada suhu 25<sup>0</sup>C dan setelah mengambil panas keluar dengan suhu 35<sup>0</sup>C. Tekanan air yang masuk pendingin sekunder 2,5 kg/cm<sup>2</sup> dan keluar dengan tekanan yang sama. Sedangkan pada pendingin primer air masuk pada suhu 42<sup>0</sup> C dan keluar dengan suhu 29<sup>0</sup> C. Tekanan air yang masuk pendingin primer 2,5 kg/cm<sup>2</sup> dan keluar dengan tekanan yang sama. Volume air pada pendingin primer dan sekunder harus selalu dipantau karena bila air berkurang akibat penguapan maka proses pendinginan akan terhambat. Oleh karena itu bila air berkurang maka operator harus menambahkan air dengan membuka *valve make up wáter*. Bila temperatur air pendingin primer mengalami peningkatan secara mendadak , hal ini disebabkan volume air pendingin sekunder banyak berkurang karena terjadinya penguapan, oleh karena itu harus dilakukan penambahan air pendingin sekunder dengan membuka *valve make up water* secukupnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ANONIM," *Cooling Water*" LBC", BTDD - P2PLR, Serpong Tahun 2004
- [2]. ANONIM," Juklak dan Protap Sistem *Cooling Tower*, PTLR, Serpong, Tahun2008.
- [3]. P & ID, SISTEM PENDINGIN SEKUNDER
- [4]. INSTRUKSI KERJA PENGOPERASIAN COOLING WATER SISTEM, PTLR-BATAN, Serpong,2010
- [5]. AHMAD NURJANA, *log book* laporan harian operasi *Cooling Water*, 2013

## PENGOPERASIAN SISTEM AIR BEBAS MINERAL PADA INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF

Ahmad Nurjana

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

### ABSTRAK

**PENGOPERASIAN SISTEM AIR BEBAS MINERAL PADA INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF TAHUN 2013.** Telah dilakukan kegiatan pengoperasian sistem air bebas mineral pada instalasi pengolahan limbah radioaktif sebagai penunjang proses pengolahan limbah radioaktif cair secara evaporasi dan untuk berbagai keperluan kegiatan penelitian pada laboratorium Preparasi dan Analisis di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR). Pengoperasian sistem air bebas mineral telah dilaksanakan oleh subbidang Operasi sistem Penyedia Media dan Energi (OSPME) pada tahun 2013. Kegiatan pengoperasian sistem air bebas mineral meliputi pemeriksaan kualitas air, regenerasi, pengolahan limbah cair dan pemanasan peralatan. Hasil analisis air bebas mineral dalam proses regenerasi selama 2 jam menghasilkan air bebas mineral yang cukup ideal, yaitu 1,2  $\mu\text{Sm/cm}$ .

Kata kunci : demin,pengolahann air bebas mineral,regenerasi

### ABSTRACT

**OPERATION OF WATER DEMINERALIZATION SYSTEM AT RADIOACTIVE WASTE TREATMENT INSTALLATION.** The radioactive waste treatment Installation as a support for liquid radioactive waste treatment processes by evaporation and for various research activities on Preparation and Analysis laboratory at the Center for Radioactive Waste Technology. Operation of Water Demineralization system has been carried out by subdivision Operation of Media and Energy Provider System in 2013, Operating activities include water quality checking, regeneration, liquid waste treatment and running the equipment for maintenance purposes. Demineralized water analysis results that ideal demineralized water(1.2  $\mu\text{Sm/cm}$ ) could be produced in about 5 hours regeneration process.

Keywords : demineralized water analysis, regeneration process

### PENDAHULUAN

Sistem Air Bebas Mineral (*Demineralized Water System*) merupakan salah satu sistem penunjang yang mempunyai fungsi untuk mengolah air baku menjadi air bebas mineral yang selanjutnya air bebas mineral tersebut digunakan sebagai pendukung pengolahan limbah radioaktif cair secara evaporasi dan berbagai keperluan penelitian di laboratorium preparasi dan analisis di PTLR.

Air bebas mineral adalah air yang tidak mengandung unsur-unsur mineral anion dan kation yang telah melalui proses pemurnian beberapa tahap. Air baku dari Pusat Penelitian dan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK) dialirkan melewati filter karbon selanjutnya air dilewatkan ke dalam kolom penukar kation dan kolom penukar anion, sehingga air tidak mengandung unsur-unsur mineral. Proses penyerapan ini akan menghasilkan air bebas mineral dengan kualitas yang cukup tinggi, yaitu dengan resistivitas 500.000 ohm/cm atau setara dengan konduktivitas 2  $\mu\text{Sm/cm}$ .<sup>[1]</sup>

Dalam proses pembuatan air bebas mineral, air baku dialirkan melewati tangki (kolom) filter yang berisi arang karbon aktif, tangki (kolom) penukar kation dan tangki (kolom) penukar anion.

Kegiatan pengoperasian sistem air bebas mineral meliputi pemeriksaan kualitas air baku, regenerasi, pengolahan limbah cair, perawatan dan pemanasan peralatan. Hasil analisa air bebas mineral dalam proses regenerasi selama kurang lebih 5 jam telah menghasilkan air yang cukup ideal, yaitu 1,2  $\mu\text{Sm}/\text{cm}$ . Pengoperasian sistem air bebas mineral dilakukan sebagai pendukung proses pengolahan limbah radioaktif cair secara evaporasi dilakukan selama 14 jam dan pemanasan peralatan selama 159 jam, baik pemanasan sistem evaporasi maupun pemanasan pompa-pompa pada sistem air bebas mineral. Sistem air bebas mineral ini di operasikan hanya berdasarkan permintaan bidang pengolahan limbah pada saat pengolahan limbah radioaktif cair dan operasi pemanasan alat.

## **TATA KERJA**

### **Bahan**

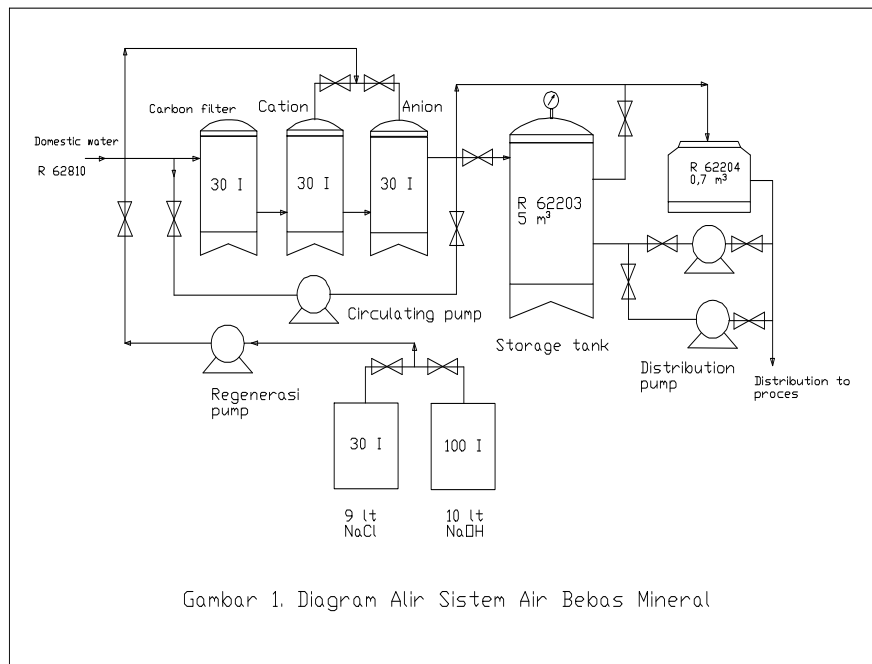
Bahan-bahan yang digunakan :

- Air baku dari Puspipstek dengan pH 6 – 7,
- HCL 32% sebanyak 9 liter dicampur dengan air menjadi 30 liter,
- NaOH 48% sebanyak 10 liter dicampur air menjadi (konsentrasi) 100 liter.<sup>[3]</sup>

### **Alat**

- Satu unit demineralisasi SA FILT type SA08-155CA
- Pompa regenerasi SEISUN type MP-20RX
- Pompa sirkulasi NOCCHI type PURA 100 ex ITALY
- Pompa *booster type vertical multistage centrifugal pump*
- Pompa distribusi *type vertical multistage centrifugal pump*
- *Chemical tank, circulation tank*
- Konduktivitas meter saku
- pH meter dan gelas ukur.<sup>(3)</sup>

### **Cara Kerja**



Gambar 1. Diagram Alir Sistem Air Bebas Mineral

**Gambar 1. Diagram Alir Sistem Air Bebas Mineral**

Proses pembuatan air bebas mineral pada sistem air bebas mineral di PTLR menggunakan resin penukar ion yang terdiri dari resin penukar kation dan penukar ion dan karbon aktif. Air baku sebagai umpan pada air bebas mineral diambil dari pusat pengolahan air PAM PUSPIPTEK ditampung dalam kolam tangki penyimpanan R 62801 dan R 62802 dengan kapasitas masing-masing 25 m<sup>3</sup>. Air baku dipompakan dengan menggunakan pompa sentrifugal (P 6282 A atau P 6282 B) dimasukkan ke dalam tangki domestik bertekanan R 62810. Diagram alir air bebas mineral dapat dilihat pada Gambar 1.

Tahapan selanjutnya dalam pembuatan air bebas mineral adalah air baku dari tangki R 62810 dipompakan dengan menggunakan pompa booster *type centrifugal vertical*

(P 62202 A atau P 62202 B) dengan laju alir 5 gpm melewati kolom karbon filter aktif guna menyaring dan menghilangkan padatan tersuspensi dan senyawa-senyawa organik, sehingga air yang masuk kedalam kolom resin penukar ion telah terbebas dari partikel-partikel bau, warna dan rasa. Kemudian air tersebut dilewatkan ke dalam kolom penukar kation dan kolom penukar anion. Untuk mengetahui karakteristik kinerja resin penukar ion pada sistem air bebas mineral, pengamatan dilakukan setiap 15 menit sampai kualitas air bebas mineral yang diinginkan tercapai. Pengukuran dilakukan pada setiap pengoperasian sistem. Hasil pengukuran dari tahap pengambilan sampel sebelum dan sesudah regenerasi diberikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Selanjutnya air bebas mineral tersebut ditampung dalam tangki penyimpan (*storage tank*) R 62203 yang berkapasitas 5 m<sup>3</sup> dan tangki penyimpan (*storage tank*) R 62204 yang berkapasitas 0,7 m<sup>3</sup> untuk keperluan penelitian Pusat lain. Proses pembuatan air bebas mineral ini di namakan regenerasi.<sup>(4)</sup>

Dengan menggunakan salah satu pompa distribusi (*distribution pump*) P 62201 A atau P 62201 B air bebas mineral tersebut

disalurkan/didistribusikan ke proses pengolahan limbah cair atau keperluan lainnya untuk berbagai penelitian di laboratorium preparasi dan analisis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Regenerasi

Sehari sebelum pengoperasian sistem air bebas mineral, terlebih dahulu dilaksanakan pemeriksaan kualitas air pada tangki penyimpanan R 62201, R 62202 dan tangki penyimpanan R 62204. Air tersebut diambil sampelnya dengan memakai gelas / botol kaca ukuran 200 ml. Air tersebut diukur dengan menggunakan alat ukur konduktivitas guna mengetahui kualitas air tersebut. Bila dari hasil pengamatan, ternyata kualitas air baku di atas  $2 \mu\text{S}/\text{cm}$ , maka perlu dilakukan regenerasi.

Proses regenerasi sebagai berikut :

- a. Pada tangki Resin Kation : HCL 32 % sebanyak 9 liter dicampur air hingga menjadi  $\pm 30$  liter dalam wadah *chemical* HCL. Pompa P 62204 dihidupkan sampai larutan *chemical* habis. Agar sisa larutan *chemical* pada saluran pipa dan wadah hilang katup V7 & V9 dibuka  $\pm 5 - 10$  menit. Setelah benar-benar bersih katup V7 & V9 ditutup.
- b. Pada tangki Resin Anion : NaOH 48% sebanyak 10 liter dicampur dengan air hingga menjadi  $\pm 100$  liter dalam wadah *chemical* NaOH. Pompa P 62204 dihidupkan sampai larutan *chemical* habis. Agar sisa larutan *chemical* pada saluran pipa dan wadah hilang, katup V16 & V42 dibuka  $\pm 5 - 10$  menit. Setelah benar-benar bersih *valve* V16 & V42 ditutup kembali

Tabel 1. Data Air Baku Sebelum Regenerasi

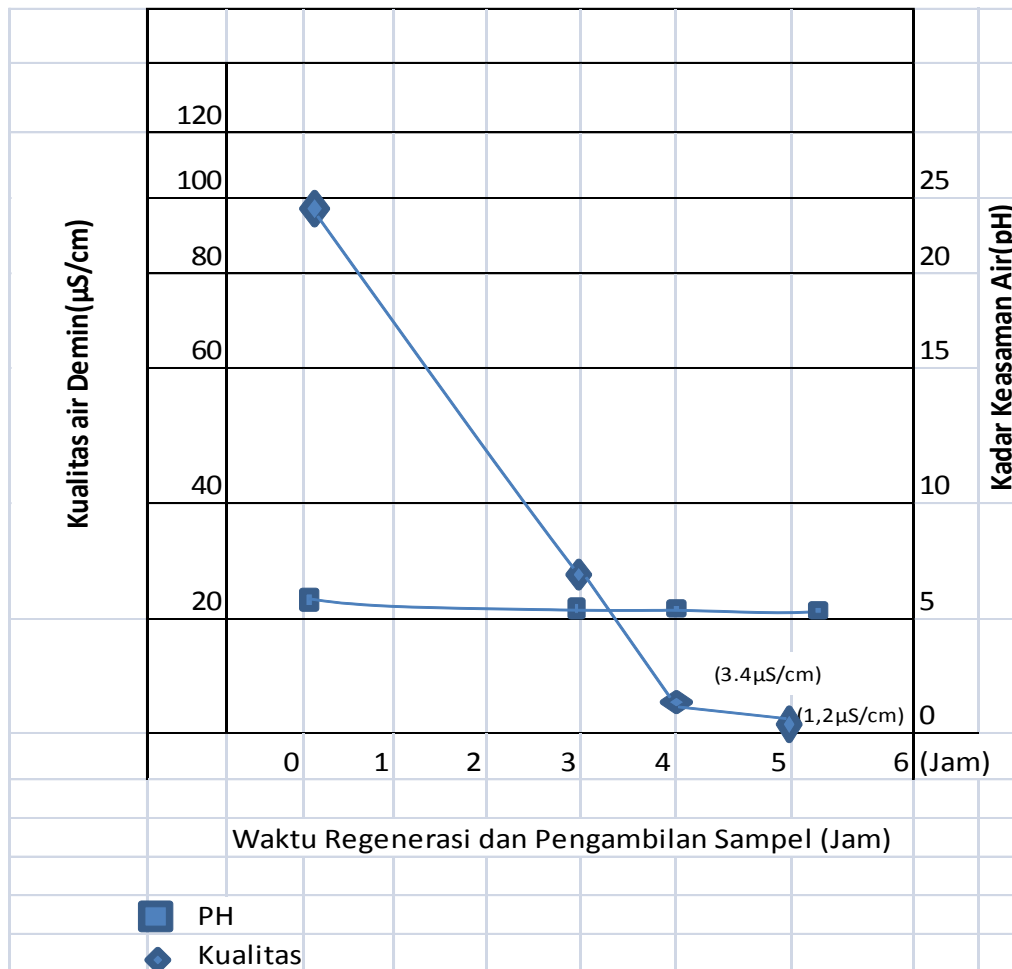
No	J A M	KUALITAS AIR BAKU				KETERANGAN
		PH	WARNA	BAU	KONDUKTIVITAS	
1	09.00	6,7	Tidak berwarna	Tidak berbau	98 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Tidak memenuhi syarat ( $< 2\mu\text{S}/\text{cm}$ )

Tabel 2. Data Kualitas Air Demin Setelah Regenerasi

No	J A M	KUALITAS AIR				KETERANGAN
		PH	WARNA	BAU	KONDUKTIVITAS	
1.	12.15	5,44	Tidak berwarna	Tidak berbau	28,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Tidak memenuhi syarat ( $> 2\mu\text{S}/\text{cm}$ )
2.	12.30	5,14	Tidak berwarna	Tidak berbau	8,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Tidak memenuhi syarat ( $> 2\mu\text{S}/\text{cm}$ )
3.	13.00	5,90	Tidak berwarna	Tidak berbau	3,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Tidak memenuhi syarat ( $> 2\mu\text{S}/\text{cm}$ )
4.	14.00	5,19	Tidak berwarna	Tidak berbau	1,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Memenuhi syarat ( $< 2 \mu\text{S}/\text{cm}$ )



Dalam gambar 2. ditunjukkan semakin lama waktu sirkulasi maka kualitas air yang dihasilkan semakin baik



Gambar 2. Grafik Kualitas Air Demin Pada Proses Regenerasi

## 2. Pengoperasian

Setelah proses regenerasi selesai, air demin yang telah memenuhi syarat selanjutnya disalurkan ke tangki penyimpanan R 62203 kapasitas 5 m<sup>2</sup> dengan membuka valve V30 dan V44. Dengan menggunakan pompa distribusi P 62201 A atau P 62201 B (secara otomatis akan beroperasi secara bergantian yang diatur dengan selector switch pada posisi auto agar aliran dapat dipertahankan kontinyu). Air bebas mineral didistribusikan ke evaporator untuk keperluan proses pengolahan limbah cair dan kegiatan penelitian di laboratorium Preparasi dan Analisis BPLR dengan membuka valve V31.

Pada kurun waktu 2013 pengoperasian sistem air bebas mineral dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini :

Tabel 3. Jumlah Operasi Tahun 2013

No	BULAN	KEGIATAN OPERASI (jam)	KETERANGAN
1.	Januari	6	Pemanasan sistem
2.	Februari	--	--
3.	M a r e t	--	--
4.	A p r i l	6	Pemanasan sistem
5.	M e i	--	--
6.	J u n i	--	--
7.	J u l i	6	Pemanasan sistem
8.	Agustus	--	--
9.	September	96	Operasi Evaporasi
10.	Oktober	--	--
11.	Nopember	--	--
12.	Desember	--	--
	<b>Jumlah Operasi</b>	<b>114</b>	

### 3. Perawatan

Perawatan dilakukan dengan melakukan pemeriksaan beberapa bagian peralatan sistem air bebas Mineral, yaitu :

- Pembersihan tangki R 62202, R 62203, dan R 62204 1 kali setahun
- Pemeriksaan *valve-valve* dan saluran sirkulasi minimal 1 kali sebulan
- Pemeriksaan pompa-pompa sirkulasi dan distribusi (*clearence* kelurusan poros motor terhadap poros pompa, *bearing*, temperatur dan *megger*) 1 kali sebulan
- Pemeriksaan dan pembersihan panel kelistrikan dari kotoran 3 bulan sekali
- Pemeriksaan kualitas air minimal 1 kali dalam setahun.

### 4. Pemanasan

Telah dilakukan pemanasan peralatan sistem air bebas mineral, diantaranya pompa Booster P 62202 A dan P 62202 B, pompa Distribusi P 62201 A dan P 62201 B, pompa Sirkulasi P 62203 dan pompa Regenerasi P 62204 selama 3 jam per minggu dalam setiap bulannya. Untuk keseluruhan jam operasi dapat dilihat pada Tabel.4.

Tabel 4. Jumlah Operasi Pemanasan Alat

<b>No</b>	<b>BULAN</b>	<b>KEGIATAN OPERASI (jam)</b>	<b>KETERANGAN</b>
1.	Januari	12	Pemanasan pompa P 62201 A dan B, P 62202 A dan B, P 62203 dan P 62204
2.	Februari	12	Pemanasan pompa P 62201 A dan B, P 62202 A dan B, P 62203 dan P 62204
3.	M a r e t	12	Pemanasan pompa P 62201 A dan B, P 62202 A dan B, P 62203 dan P 62204
4.	A p r i l	12	Pemanasan pompa P 62201 A dan B, P 62202 A dan B, P 62203 dan P 62204
5.	M e i	12	Pemanasan pompa P 62201 A dan B, P 62202 A dan B, P 62203 dan P 62204
6.	J u n i	12	Pemanasan pompa P 62201 A dan B, P 62202 A dan B, P 62203 dan P 62204
7.	J u l i	12	Pemanasan pompa P 62201 A dan B, P 62202 A dan B, P 62203 dan P 62204
8.	Agustus	12	Pemanasan pompa P 62201 A dan B, P 62202 A dan B, P 62203 dan P 62204
9.	September	15	Pemanasan pompa P 62201 A dan B, P 62202 A dan B, P 62203 dan P 62204
10.	Oktober	12	Pemanasan pompa P 62201 A dan B, P 62202 A dan B, P 62203 dan P 62204
11.	Nopember	12	Pemanasan pompa P 62201 A dan B, P 62202 A dan B, P 62203 dan P 62204

12.	Desember	15	Pemanasan pompa P 62201 A dan B, P 62202 A dan B, P 62203 dan P 62204
	Jumlah Operasi	<b>150</b>	Pemanasan pompa P 62201 A dan B, P 62202 A dan B, P 62203 dan P 62204

## KESIMPULAN

Sistem air bebas mineral selama kurun waktu Tahun 2013 masih dapat berjalan dengan normal, karena kualitas air masih sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan yaitu  $< 2 \mu\text{S/cm}$ , dari hasil regenerasi dalam waktu sekitar 2 jam didapat hasil kualitas air bebas mineral  $1,2 \mu\text{S/cm}$ . Pengoperasian sistem air bebas mineral tidak dilakukan kontinyu, hanya sebagian besar melakukan pemanasan pada peralatan sistem evaporasi maupun peralatan sistem air bebas mineral, Pada tahun 2013 hanya dilakukan 1 (satu) siklus regenerasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. TEDDY SUMANTRI, Diktat Praktikum Sistem Air Bebas Mineral, PTPLR, Tangerang, 1988
- [2]. ANONIM, *System Note For Demineralized Water*, A10, Jakarta, 1985
- [3]. ANONIM, *Operating Manual, Sa Filt*, Jakarta, 2004
- [4]. ANONIM, *Demineralized Water Calculation Sheet*, A10, Jakarta, 1985
- [5]. INSTRUKSI KERJA PENGOPERASIAN SISTEM AIR BEBAS MINERAL, PTLR-BATAN, Serpong, 2010

## PENGGANTIAN FILTER PADA TURBIDITY FILTER

**Sri Maryanto**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**PENGGANTIAN FILTER PADA TURBIDITY FILTER.** Telah dilakukan kegiatan pemeriksaan dan penggantian filter turbidity pada sistem *service water & domestic water system* dalam menunjang kegiatan proses pengolahan limbah radioaktif untuk menunjang pengoperasian sistem mesin pendingin (*chilled water system*), sistem air pendingin (*cooling water system*), sistem boiler (*steam system*), sistem air bebas mineral (*demineralized water system*), kegiatan di laboratorium dan untuk sistem pembuangan air (*sanitaries*). Saat ini *service water system* dioperasikan secara terus-menerus (*continue*) 8 jam sehari, 5 hari dalam seminggu baik untuk pemanasan maupun pengolahan limbah radioaktif dan *domestic water system* dioperasikan selama 24 jam sehari 7 hari per minggu. Sampai akhir 2013 telah dilakukan penggantian *cartridge filter* pada sistem *turbidity filter* sebanyak 3 (tiga) kali.

Kata Kunci : *Service Water, domestic Water, Turbidity Filter*

### ABSTRACT

**REPLACEMENT FILTER ON FILTER TURBIDITY.** And inspection activities have been carried replacement filter turbidity in water systems and domestic water service. system in supporting the processing of radioactive waste activities to support the operation of the refrigeration system (*chilled water system*), cooling water system (*water cooling system*), system boilers (*steam system*), demineralized water system (*demineralized water system*), activity in the laboratory and for water disposal system (*sanitaries*). Currently the service water system is operated continuously (*continue*) 8 hours a day, 5 days a week for both heating and radioactive waste treatment and domestic water system is operated for 24 hours per day 7 days per week. times. Until the end of 2013 has been done on the systematic replacement filter cartridges filter turbidity for three (3) times.

Keywords : *Service Water, Domestic Water, Turbidity Filter*

### PENDAHULUAN

Air merupakan faktor penting dalam pemenuhan kebutuhan vital bagi makhluk hidup diantaranya sebagai air minum atau keperluan rumah tangga lainnya. Air yang digunakan harus bebas dari kuman penyakit dan tidak mengandung bahan beracun. Sumber air minum yang memenuhi syarat sebagai air baku air minum jumlahnya makin lama makin berkurang sebagai akibat ulah manusia sendiri baik sengaja maupun tidak disengaja.

Peranan Air terhadap sumber kehidupan khususnya untuk manusia ini tidak hanya memenuhi kebutuhan secara fisik, tetapi juga berperan untuk memenuhi kegiatan manusia sehari-hari, seperti misalnya digunakan untuk mencuci pakaian, mandi, dan memenuhi kebutuhan manusia lainnya.

Ternyata air bukan saja dibutuhkan oleh makhluk hidup saja bahkan benda matipun seperti mesin-mesin juga sangat membutuhkan air untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Tanpa Air maka kehidupan menjadi sirna. Di Instalasi

Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) air digunakan sebagai penunjang proses pengolahan limbah radioaktif disebut *service water*. Sistem *service water* digunakan untuk mendukung beroperasinya peralatan-peralatan, seperti : pompa-pompa *seal* pada sistem evaporasi, mesin cuci pada sistem *laundry*, *wastafel*, *water heater*, sementasi, kompaksi, dekontaminasi personil dan lain sebagainya. Sistem *domestic water* adalah sistem yang menyediakan air untuk mensuplai kebutuhan peralatan penunjang proses yang ada di gedung MES (*Media Energy Supply*), seperti : *chilled water system*, *cooling water system*, *demineralized water system*, *steam system* dan untuk keperluan sehari-hari (*wastafel*, mandi, dan lain sebagainya).

Sumber air yang baik dan layak digunakan tentunya tidak terlepas dari proses pengolahan air itu sendiri. Adakalanya dari pihak pengelola tidak menerapkan aturan-aturan yang sesuai dengan keinginan pengguna. Untuk itulah di IPLR aliran air yang berasal dari saluran PUSPIPTEK disaring kembali dengan menggunakan *turbidity filter* yang di dalamnya berisi *cartridge filter* untuk mengurangi ataupun menghilangkan kadar besi (Fe), mangan (Mn), posfor (P) dan partikel-partikel halus lainnya. Salah satu jenis filter air ini adalah filter air yang menggunakan sistem *cartridge*. Sistem ini dapat menggunakan beberapa lapis filter yang terbuat dari bahan polietelin. Bahan ini berfungsi untuk menghalau kotoran yang tampak mata, seperti kerikil, pasir, atau lumut. Filter jenis *cartridge* relatif lebih mudah dipasang dan dirawat. Jika filter mulai kotor, maka cukup ganti *cartridge*-nya saja. Air yang telah melalui filter *cartridge* akan tersaring sebagai sumber utama pengoperasian sistem *service & domestic water* dengan karakteristik pH 7 – 9, klorida 20mg/l, turbiditas 0.5 NTU dan kesadahan 10 deg.French TH.

Pengoperasian pada sistem *service* secara terus menerus pada pengolahan limbah dan penambahan air (*make up*) pada peralatan sistem penyedia energi dan penggunaan air pada perkantoran selama 24 jam sehari tentunya akan membuat kinerja filter bekerja secara maksimal dan tentunya cepat membuat jenuh. Penggantian filter dilakukan saat tidak ada aliran pada *wastafel* atau sarana lainnya yang ada pada perkantoran atau tekanannya berkurang dari 1 bar.

Sumber air *service & domestic water* berasal dari saluran PUSPIPTEK yang dialirkan dengan tekanan 3 – 4 bar. Kemudian dialirkan ke tandon air (*reservoir*) R 6281 dan R 6282 secara gravitasi dengan kapasitas masing-masing *reservoir* 25 m<sup>3</sup>.

Air *service water* yang dibutuhkan pada proses pengolahan limbah radioaktif dalam kondisi normal (8 jam operasi) sebanyak 23,5 m<sup>3</sup> per hari. Dan untuk *domestic water* dengan operasi rutin 24 jam sebanyak 87,2 m<sup>3</sup> per hari. Dari kebutuhan air sebanyak itu tentunya membutuhkan air dengan kualitas yang cukup baik.



Gambar 1. Tabung Turbidity Filter

### Prasyarat kualitas air

Air bersih yang sehat harus memenuhi beberapa persyaratan antara lain :

- *Air harus jernih atau tidak keruh.* Kekeruhan pada air biasanya disebabkan oleh adanya butir-butir tanah liat yang sangat halus. Semakin keruh menunjukkan semakin banyak butir-butir tanah dan kotoran yang terkandung di dalamnya.
- *Tidak berwarna.* Air yang berwarna berarti mengandung bahan-bahan lain berbahaya bagi kesehatan, misalnya pada air rawa berwarna kuning , air buangan dari pabrik , selokan, air sumur yang tercemar dan lain-lain.
- *Rasanya tawar.* Air yang terasa asam, manis, pahit, atau asin menunjukkan bahwa kualitas air tersebut tidak baik. Rasa asin disebabkan adanya garam-garam tertentu yang larut dalam air, sedangkan rasa asam diakibatkan adanya asam organik maupun asam anorganik. *Tidak berbau.* Air yang baik memiliki ciri tidak berbau bila dicium dari jauh maupun dari dekat. Air yang berbau busuk mengandung bahan-bahan organik yang sedang didekomposisi (diuraikan) oleh mikroorganisme air.
- *Derajat keasaman (pH) nya netral* sekitar 6,5 – 8,5 . Air yang pHnya rendah akan terasa asam, sedangkan bila pHnya tinggi terasa pahit. Contoh air alam yang terasa asam adalah air gambut (rawa)
- *Tidak mengandung zat kimia beracun,* misalnya arsen, timbal, nitrat, senyawa raksa, senyawa sulfida, senyawa fenolik, amoniak serta bahan radioaktif.
- *Kesadahnannya rendah.* Kesadahan air dapat diakibatkan oleh kandungan *ion kalsium ( $Ca^{2+}$ )* dan *magnesium ( $Mg^{2+}$ )* . Hal ini dapat dilihat bila sabun atau deterjen yang digunakan *sukar berbusa* dan di bagian dasar peralatan yang dipergunakan untuk merebus air terdapat *kerak* atau endapan. Air sadah dapat juga mengandung *ion Mangan ( $Mn^{2+}$ )* dan *besi ( $Fe^{2+}$ )* yang memberikan rasa anyir pada air

dan berbau, serta akan menimbulkan *noda-noda kuning kecoklatan* pada peralatan dan pakaian yang dicuci. Meskipun ion kalsium, ion magnesium, ion besi dan ion mangan diperlukan oleh tubuh kita. Air sadah yang banyak mengandung ion-ion tersebut tidak baik untuk dikonsumsi. Karena dalam jangka panjang akan menimbulkan kerusakan pada ginjal, dan hati. Tubuh kita hanya memerlukan ion-ion tersebut dalam jumlah yang sangat sedikit sedikit sekali. Kalsium untuk pertumbuhan tulang dan gigi, mangan dan magnesium merupakan zat yang membantu kerja enzim, besi dibutuhkan untuk pembentukan sel darah merah. Batas kadar ion besi yang diizinkan terdapat di dalam air minum hanya sebesar 0,1 sampai 1 ppm (ppm = part per million, 1 ppm = 1 mgr/liter). Untuk ion mangan : 0,005 – 0,5 ppm, ion kalsium : 75 – 200 ppm dan Ion magnesium : 30 – 150 ppm.

- Tidak boleh mengandung bakteri patogen seperti *Escheria coli*, yaitu bakteri yang biasa terdapat dalam tinja atau kotoran, serta bakteri-bakteri lain yang dapat menyebabkan penyakit usus dan limpa, yaitu kolera, typhus, paratyphus, dan hepatitis. Dengan memasak air terlebih dahulu hingga mendidih, bakteri tersebut akan mati.

## TATA KERJA

Kegiatan penggantian turbidity filter dibagi beberapa tahap, yaitu :

### 1. Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada proses penggantian filter turbidity adalah :

1. Kunci pas ukuran 17 mm
2. Kunci Inggris 16 mm
3. APD
4. Kunci pipa 36 -57

### 2. Bahan

Bahan yang digunakan pada proses penggantian *turbidity filter* adalah filter jenis *cartridge* sedimen 30 micron.



Gambar 2. Filter Turbidity Type Cartridge 30 micron



### 3. Metode Kerja

Pelaksanaan kegiatan meliputi :

1. Aliran air dari puspiptek dihentikan dengan menutup valve V 62857 dan V 62858 yang menuju penyaring air (*Turbidity Filter*) S 62801 dan S 62802 dan V 62859 dan V 62860 yang menuju saluran *Recervoir* R 6281 dan R 6282 dengan dengan tangan terbuka.
2. Pengurasan air pada *casing* (tabung) filter *turbidity* dengan membuka saluran drainase yang terletak di bawah *casing* tabung dengan melepas baut *draint* dengan menggunakan alat bantu berupa kunci pas no.17. Pengurasan ini dimaksudkan untuk mengurangi tekanan air pada saat pelepasan kepala tabung dari dari tempatnya.
3. Filter *turbidity* yang terbuat dari mengeluarkan filter *turbidity* tutup kepala tabung dilepas dengan mengendurkan gelang pengikat yang ada pada sisi bagian atas tabung dengan menggunakan alat bantu kunci Inggris. Filter yang berjumlah masing-masing untuk tabung *turbidity* S 62801 sebanyak 10 buah dan satunya lagi S 62802 sebanyak 15 buah dikeluarkan satu-persatu dengan menggunakan tangan secara manual. Kemudian filter tersebut dibersihkan dari kotoran yang menempel berupa lumpur dibersihkan satu-persatu hingga bersih. Ternyata pembersihan tidak bisa maksimal karena kotoran yang menempel sangat sulit untuk dihilangkan, maka filter tersebut harus diganti.
4. Tabung (*casing*) S 62801 dibersihkan dengan melepas batang penyangga *filter cartridge* satu persatu dari dudukannya. Kemudian batang penyangga tersebut dibersihkan dengan sikat dan dibilas sampai tidak terlihat lagi kotoran atau lumpur yang menempel dengan aliran air dari lubang *casing turbidity* dengan membuka valve V 62857. Buka dan tutup valve tersebut berulang-ulang untuk memastikan tidak ada lagi kotoran pada batang penyangga dan *casing* S 6201. Setelah itu tutup kembali valve V 62857 dengan menggunakan kunci pipa.
5. Pasang kembali batang penyangga *cartridge* satu persatu pada *casing* S 62801. Kemudian secara perlahan dan hati-hati filter *cartridge* yang baru dimasukan satu persatu pada *casing* S 62801 sebanyak 10 buah.
6. Lubang *draint* pada *casing* ditutup kembali menggunakan kunci pas no. 17. Buka valve V 52857 secara perlahan untuk mengisi air pada *casing* S 62801 sampai batas level tutup kepala tabung, lalu valve V 62857 ditutup.
7. Kepala tabung ditutup kembali dengan mengencangkan gelang pengikat yang ada pada sisi bagian atas tabung dengan menggunakan alat bantu kunci Inggris.
8. Valve V 62857 dan valve V 62859 dibuka kembali untuk mengalirkan air ke *recervoir* R 62981 dan R 6282 dan juga saluran *bypass domestic water* dengan menggunakan kunci pipa.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Selama tahun 2013 telah dilakukan penggantian *filter cartridge* pada turbidity sebanyak 3 (tiga) kali. Penggantian filter cartridge harus dilakukan karena memang sudah jenuh. Kejenuhan *cartridge* dapat dilihat secara manual dengan membongkar *casing turbidity* S 62801 atau bila tidak ada aliran air pada *wastafel* perkantoran ataupun kurangnya *make up water* pada sistem *chilled water, cooling water, demin water* dan lain sebagainya. Biasanya *cartridge* pada *casing turbidity filter* cepat jenuh bila pipa saluran air terbuat dari *carbon steel*, adanya pengurasan dan pembersihan pada tandon air di PUSPIPTEK.

Gambar 3 sampai dengan gambar 8 memperlihatkan kegiatan penggantian filter pada *Turbidity Filter* untuk sistem *service water* dan *domestic water*. Tabel 1. menunjukkan kegiatan penggantian filter selama kurun waktu 2013.



Gambar 3. Membuka Valve V 62857



Gambar 4. Melepas Cartridge dari Casing



Gambar 5. Cartridge yang jenuh



Gambar 6. Pembersihan Cartridge



Gambar 7. Pembersihan Casing



Gambar 8. Pemasangan Cartridge baru

Tabel 1. Penggantian Cartridge Filter

No.	Waktu Pelaksanaan	Hasil Pemeriksaan	Keterangan
1.	17 Januari 2013	Aliran pada wastafel office tidak mengalir	Jenuh karena adanya kotoran berupa lapisan lumpur
2.	21 Mei 2013	Aliran pada wastafel, kran terlihat air berwarna keruh, coklat kemerahan	Diduga hasil <i>flushing</i> pada tandon di PUSPIPTEK mengalir ke pipa saluran IPLR
3.	22 Oktober 2013	Aliran pada wastafel dan kran tempat wudhu office tidak ada aliran air atau kecil	Jenuh karena adanya kotoran berupa lapisan lumpur

## KESIMPULAN

*Cartridge filter* dapat cepat jenuh karena beberapa faktor :

1. Saluran pipa pada system service & domestic terbuat dari bahan *carbon steel*.
2. Karena *flushing* dari PDAM PUSPIPTEK yang tidak sempurna.
3. Kadar air yang banyak mengandung fosfor, besi dan zat pengotor lainnya

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Depkes *Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air Minum/Air Bersih*.
- [2]. Jakarta, 2002
- [3]. A10, *System Notes Service and Domestic Water*, 1985
- [4]. A10, *Design Calculation For Servie & Domestic Water System*, 19855
- [5]. A10, *P & ID Process Servie Water*, 1985
- [6]. SRI MARYANTO, *Juklak dan Protap Service dan Domestic Water*, 1990



**DESAIN PERHITUNGAN SISTEM BAHAN BAKAR  
UNTUK KETEL UAP DAN DIESEL GEN-SET**

**Atam**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

**ABSTRAK**

**DESAIN PERHITUNGAN SISTEM BAHAN BAKAR UNTUK KETEL UAP DAN DIESEL GEN-SET.** Telah dilakukan desain perhitungan konsumsi bahan bakar solar untuk kebutuhan pengoperasian dua unit ketel uap E 6251bA & B dan satu unit diesel gen-set. Tujuan dari perhitungan adalah untuk mengetahui kebutuhan bahan bakar untuk mendukung operasi Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif. Perhitungan hasil boiler menggunakan :  $Q = Ms = (h - hj)$ , sedangkan kapasitas diesel gen-set dengan  $600 \times 0,8 \times 3413$  btu/jam. Konsumsi bahan bakar solar untuk masing-masing boiler adalah = 178 liter/jam dan konsumsi bahan bakar solar untuk diesel gen-set adalah = 173 liter/jam . Kapasitas tangki harian ditentukan  $3 \times 2500$  L, sedangkan tangki penyimpanan ditentukan  $2 \times 25000$  L.

**Kata kunci :** desain perhitungan konsumsi bahan bakar solar, ketel uap (boiler) dan diesel gen-set.

**ABSTRACT**

**FUEL SYSTEM DESIGN CALCULATIONS FOR BOILER AND DIESEL GEN-SET.** Have performed design calculations of fuel consumption of diesel oil for boiler operation of two units E 6251bA & B and one unit of diesel gen-sets. The purpose of the calculation is to determine the need for fuel to support the operation of Radioactive Waste Treatment Plant .Calculation results of the boiler using :  $Q = Ms = (h - hj)$  , while the capacity of the diesel gen - sets with a  $600 \times 0.8 \times 3413$  btu / hr .Diesel fuel consumption for each boiler is = 178 liters / h and fuel consumption of diesel for diesel gen - set is = 173 liters / hour .Tank capacity is determined daily  $3 \times 2500$  L , while the tank is determined  $2 \times 25000$  L.

**Keywords:** Designs calculation of fuel consumption of diesel , steam boilers ( boilers ) and diesel gen-sets.

**PENDAHULUAN**

Sistem bahan bakar di sini akan menguraikan penyediaan bahan bakar untuk :

Ketel uap E 6251 A & B, diesel gen-set G 6001, tangki harian, tangki penyimpanan dan pompa distribusi bahan bakar.

Tujuan dari perhitungan ini adalah menghitung konsumsi bahan bakar solar dan kebutuhan bahan bakar untuk mendukung operasi instalasi pengolahan limbah radioaktif. Pemilihan peralatan dan dimensi(perhitungan luas) instalasi bahan bakar juga dilakukan di dalam sistem ini <sup>[1]</sup>.

Hasil boiler, yang diukur atau diserap oleh air panas dan uap panas adalah <sup>[2]</sup>:

$$Q = Ms = (h - hj) \dots\dots\dots 1.$$

Dimana = Q = hasil boiler

Ms= kapasitas boiler

h= enthalpy (nilai kalor) lb dari 1 tenaga

h<sub>j</sub>= enthalpy(nilai kalor) yang cair dari 1 lb  
dari pengisian air

Kapasitas Gen-set & hasil Gen-Set. Kapasitas Gen-set = 600 kva<sup>[3]</sup>.  
 $Q = M_s \times B_j \times h$  ..... 2

Tangki harian boiler berbahan bakar solar dapat diperkirakan dua belas jam persiklus konsumsi bahan bakar untuk boiler ;

$T_b = S_o \times M_t$  ..... 3  
 Dimana  $T_b$  = Total bahan

$S_o$  = Persirkulus operasional

$M_t$  = Kapasitas pertangki harian

Tangki harian Gen-set berbahan bakar solar dapat diperkirakan adalah dua belas jam persiklus konsumsi bahan bakar ;

$T_b = S_o \times M_t$  ..... 4  
 Dimana  $T_b$  = Total bahan

$S_o$  = Persirkulus operasional

$M_t$  = Kapasitas tangki harian

Tangki penyimpanan bahan bakar solar akan diperkirakan adalah lima hari persiklus dari total konsumsi bahan bakar solar untuk boiler plus satu hari untuk konsumsi bahan bakar untuk diesel gen-set. Bahan bakar akan ditribusikan ke tangki-tangki harian dengan menggunakan pompa distribusi (type roda gigi).

Perhitungan desain berdasarkan<sup>[4]</sup>:

1. Jenis bahan bakar

Jenis bahan bakar yang digunakan dalam industri minyak diesel (IDO), minyak diesel kelas ringan.

2. Spesifikasi bahan bakar solar :

- Air dan endapan : 0,1% Max.
- Karbon residu : 0,1% Max.
- Sulfur : 0,15%
- Standart suhu : 60 ° F
- Suhu cepat : 135 ° F
- Berat jenis : 0,89

Kekentalan untuk air dan produk cair minyak bumi :

- Suhu (t) = 60 ° F
- Sifat merekat ( $\mu$ ) = 9,5 centipoise

Minyak industri menyatakan jenis dalam derajat, pada American Petroleum Institute (API) skala. API derajat yang dapat ditentukan oleh rumus:

Derajat API =  $\frac{141,5}{\text{Berat jenis}}$  - 131,5 ..... 5

Kepadatan yang dapat ditentukan oleh rumus:

Kepadatan (P) = Berat jenis x 62.367 ..... 6

Pemanasan tinggi nilai dapat ditentukan oleh rumus:

Pemanasan tinggi nilai:

= 22.320 - (3.780 x berat jenis<sup>2</sup>) ..... 7

**TATA KERJA**

**Metode**

**Perhitungan Konsumsi bahan bakar solar.**

**1. Konsumsi bahan bakar solar untuk steam boiler dihitung dengan menggunakan persamaan 1.**

1,1 Data steam boiler :

- kapasitas boiler = 5175 lb/j
- Penilaian: - Tekanan = 125 psi
- Suhu = 347 ° F
- Kualitas uap = 100%
- Suhu pengisian air = 212 ° F
- Tekan pengisian air = 5 psi G
- Jumlah unit boiler = 2 (termasuk 1 unit untuk cadangan)

1,2 Hasil boiler (masing-masing boiler)

Hasil boiler, yang diukur atau diserap oleh air panas dan uap panas, adalah:

$Q = Ms(h - h_j)$

Dimana =Q = hasil boiler

Ms = kapasitas boiler

h = enthalpy (nilai kalor) lb dari 1 tenaga

h<sub>j</sub> = enthalpy(nilai kalor) yang cair dari 1 lb dari pengisian air

Q = 5175 (1150,4 - 180,07)  
= 5021458 Btu/j

1,3 konsumsi bahan bakar solar (masing-masing boiler)

=  $\frac{\text{Hasil boiler}}{\text{Pemanasan katup (Btu/gal) x effesien Boiler(\%)}}$

=  $\frac{5021458 \text{ Btu/j}}{119350 \text{ (Btu/gal) x } 90\%}$

= 46,75 gal/j  
= 176,7 L/J dibulatan 178 L/j

Jumlah = 2 unit Boiler

Total bahan bakar solar = 2 x 178 L/j  
= 356 L/j

**2. Konsumsi bahan bakar minyak diesel untuk gen-set dihitung dengan menggunakan persamaan 2.**

2.1. Kapasitas Gen-set & hasil Gen-Set.

Kapasitas Gen-set = 600 kva

$$\begin{aligned}\text{Hasil Gen-set} &= 600 \times 0,8 \times 3413 \text{ Btu/j} \\ &= 1638240 \text{ Btu/j}\end{aligned}$$

## 2.2. Konsumsi bahan bakar

$$\begin{aligned}&= \frac{\text{Hasil Gen-set (Btu/j)}}{\text{Nilai pemanasan (Btu/gal) x effesien Gen-set(\%)}} \\ &= \frac{1638240 \text{ Btu/j}}{119350 \text{ Btu/gal} \times 30\%} \\ &= 45,75 \text{ gal/j} \\ &= 172,2 \text{ L/j dibulatkan } 173 \text{ L/j}\end{aligned}$$

## Tangki bahan bakar solar.

### 1. Tangki harian

#### 1.1. Tangki harian untuk steam boiler

Tangki harian boiler berbahan bakar solar dapat

diperkirakan dua belas jam persiklus konsumsi bahan bakar untuk boiler dihitung dengan menggunakan persamaan 3.

$$\begin{aligned}&= 12 \times 356 \text{ L} \\ &= 4272 \text{ liter dibulatkan } 5000 \text{ liter} \\ &\text{dari dua tangki harian pertangki @ } 2500 \text{ liter cap.}\end{aligned}$$

#### 1.2. Tangki harian untuk Diesel Gen-set.

Tangki harian Gen-set berbahan bakar solar dapat diperkirakan adalah dua belas jam persiklus konsumsi

bahan bakar dihitung dengan menggunakan persamaan 4.

$$\begin{aligned}&= 12 \times 173 \text{ L} \\ &= 2076 \text{ liter dibulatkan } 2500 \text{ liter}\end{aligned}$$

### 2. Tangki penyimpanan

Tangki penyimpanan bahan bakar solar akan diperkirakan

adalah lima hari persiklus dari total konsumsi bahan bakar solar untuk boiler plus satu hari untuk

konsumsi bahan bakar untuk Diesel Gen-Set ;

$$\begin{aligned}&= (5 \times 24 \times 178 \text{ L}) + (1 \times 24 \times 173 \text{ L}) \\ &= 42.720 + 4.152 \text{ l L} \\ &= 46.872 \text{ liter dibulatkan } 50.000 \text{ liter} \\ &\text{dari dua tangki pertangki @ } 25000 \text{ L cap.}\end{aligned}$$

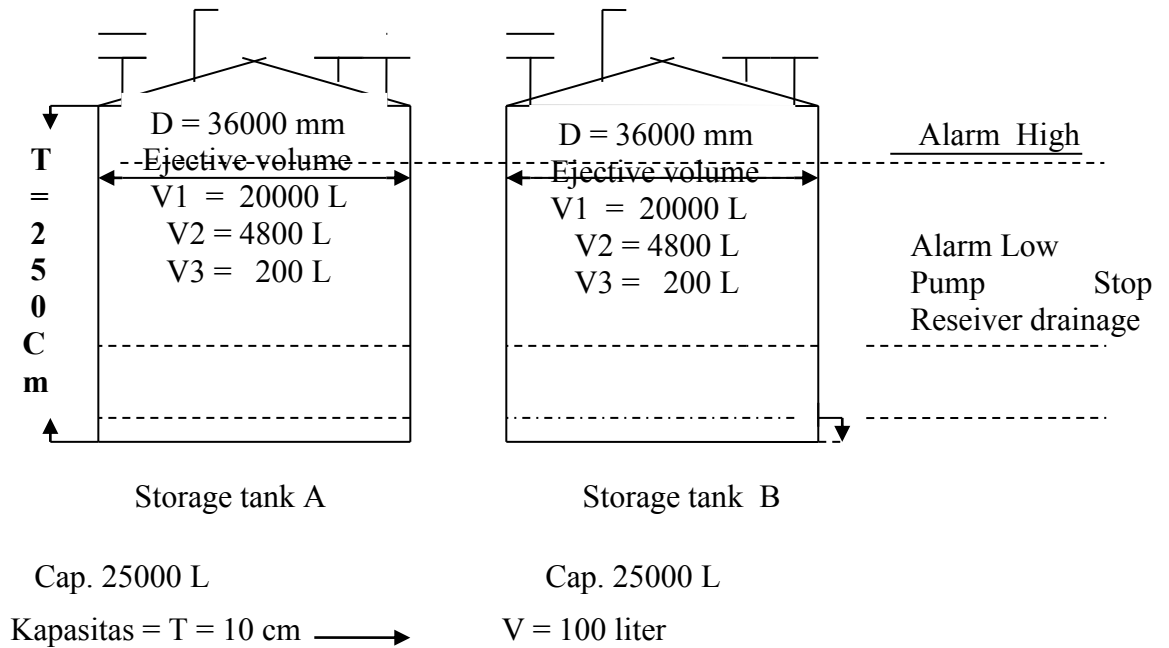
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai konsumsi bahan bakar solar untuk 1 buah boiler sebesar 178 l/j, sehingga untuk 2 buah boiler dibutuhkan 356 l/j. Nilai konsumsi bahan bakar solar untuk gen-set diperoleh nilai 173 l/j. Dari nilai tersebut maka untuk menyediakan bahan bakar boiler diperlukan tangki



penampung harian sebesar 5000 liter. Jika 1 tangki harian berkapasitas 2500 liter, maka dibutuhkan 2 tangki. Tangki harian untuk gen-set hanya 1 berkapasitas 2500 liter karena konsumsi hariannya hanya 2076 liter.

Untuk mensuplai tangki harian diatas maka dibutuhkan 2 buah tangki penyimpanan yang berkapasitas 25000 liter. Gambar desain tangki penyimpanan bahan bakar diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Gambar desain tangki penyimpanan bahan bakar

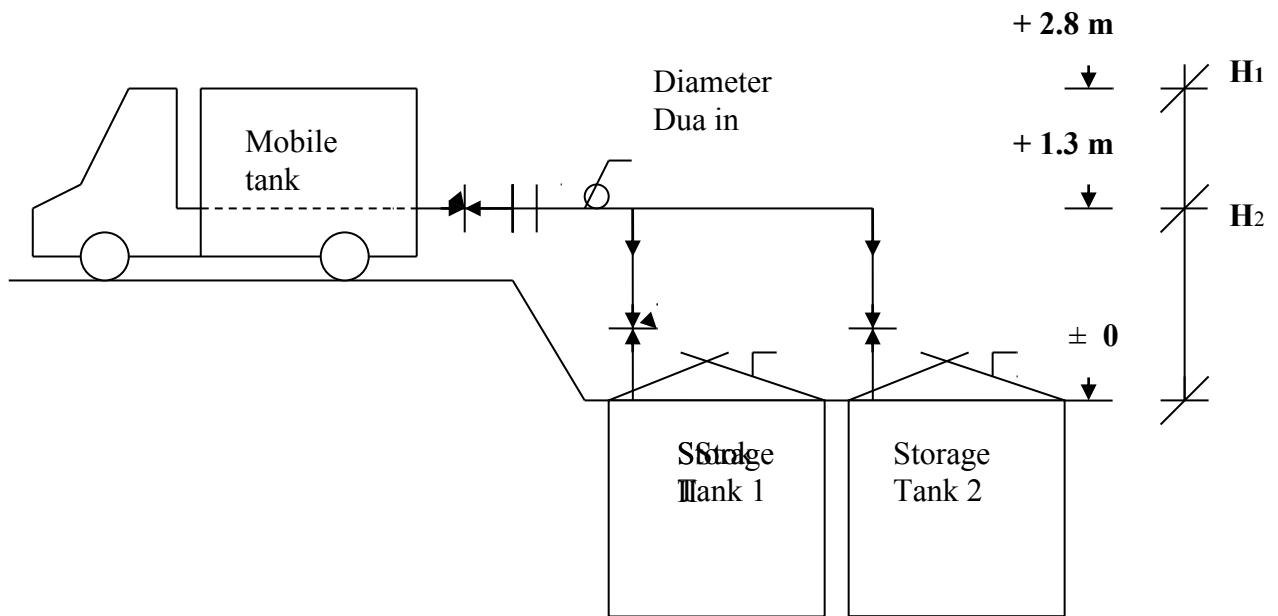
**DISTRIBUSI BAHAN BAKAR**

Desain proses distribusi bahan bakar dibagi dalam 3 tahap yaitu.

**1. Dari truck PERTAMINA ke tangki penyimpanan**

Bahan bakar akan distribusikan ke tangki penyimpanan dengan metode sistem gravitasi.

Diagram distribusi sistem bahan bakar disampaikan pada gambar 2.



Gambar 2. Distribusi bahan bakar dari PERTAMINA ke tangki penyimpanan.

Laju alir (Q)

Laju alir bahan bakar dapat ditentukan oleh rumus:

$$Q = A \times V$$

Dimana, A = bidang permukaan pipa ... ..  $M^2$

V = kecepatan rata-rata ... .. m/detik.

(gesekan pipa ctc kerugian akan diperkirakan adalah 15%)

$$Q = A \times V$$

$$= \pi \cdot r^2 \times \left\{ (100 - 15)\% \times \sqrt{29 \times \frac{H_1 + H_2}{2}} \right\} \times 1000$$

$$= 3,1416 \times (0,025)^2 \times \left\{ 85\% \times \sqrt{2 \times 9,81 \times \frac{1,3 + 2,8}{2}} \right\} \times 1000$$

$$= 0,0019635 \times 5,39 \times 1000$$

$$= 10,58 \text{ L/detik}$$

Waktu transfer bahan bakar (t)

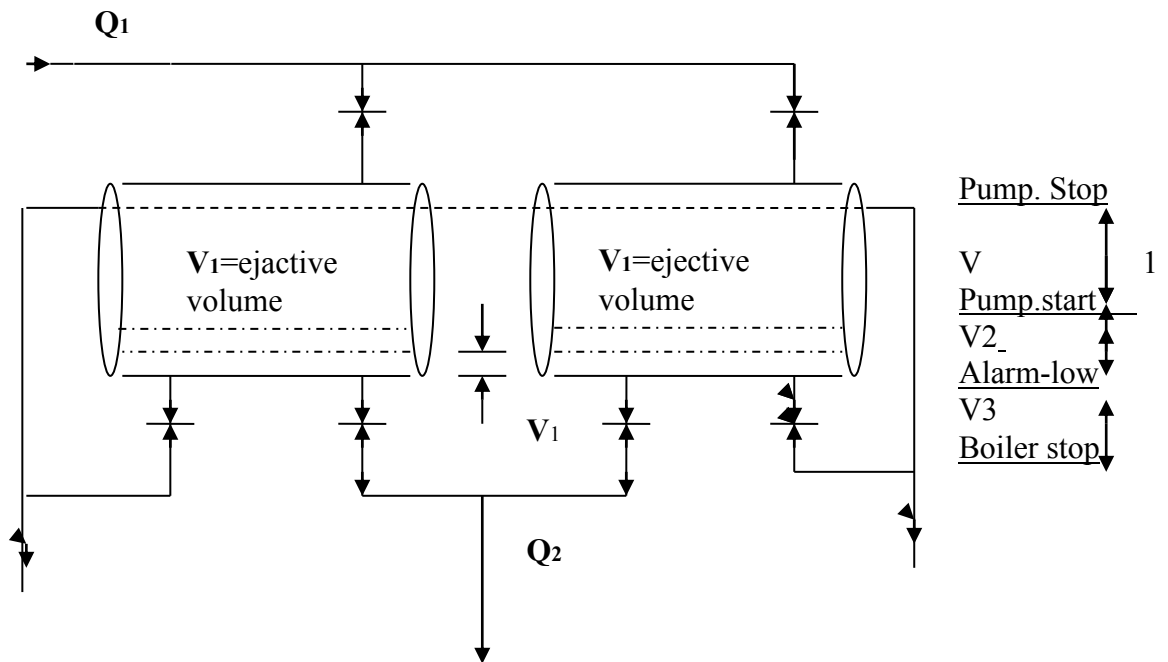
Waktu transfer bahan bakar (t) dari truck PERTAMINA ke tangki penyimpanan tangki dapat ditentukan oleh rumus :

$$T = \frac{\text{mobile tangki kapasitas ... L}}{60} \dots \text{ menit}$$

Laju alir bahan bakar ...L/detik  
 - Jika truck PERTAMINA adalah kapasitas tangki 5000 L  
 $t = \frac{5000}{10,58} = 60$   
 = 7,87 bulan dibulatkan 8 bulan  
 - Jika truck PERTAMINA adalah kapasitas tangki 8000 L  
 $t = \frac{8000}{10,58} = 60$   
 = 12,6 menit dibulatkan 13 menit

**2. Dari tangki penyimpanan ke tangki harian**

Bahan bakar akan ditribusikan ke tangki-tanki harian dengan menggunakan pompa distribusi(type roda gigi). Gambar distribusi bahan bakar dari tangki penyimpanan ke tangki harian disampaikan pada gambar 3<sup>151</sup>.



Gambar 4. Distribusi bahan bakar dari tangki harian ke boiler.

<u>Tangki harian A</u>	<u>Tangki harian B</u>
Kapasitas 2500L	Kapasitas 2500 L

Dimana,  $Q_1$  = laju alir pompa bahan bakar  
 $Q_2$  = konsumsi bahan bakar boiler  
 $V_1$  = diperkirakan adalah 2800 L  
 $V_2$  = diperkirakan adalah 1000 L  
 $V_3$  = diperkirakan adalah 1100 L  
 $V_0 = 100$  l adalah tangki tumpahan (tiap tangki).

Operasi distribusi pompa bahan bakar. Diperkirakan adalah sepuluh jam setiap operasi waktu untuk 2 unit ketel uap yang beroperasi.

Laju alir pompa bahan bakar (Q1)

Laju alir pompa bahan bakar dapat ditentukan oleh rumus ;

$$T = \frac{V1}{Q1 - Q2} + \frac{V1}{Q2}$$

Dimana = t = pompa setiap op. waktu = 10 J = 600 menit

V1 = volume efektif = 2800 L

Q2 = konsumsi bahan bakar boiler = 356 l/j = 5,93 L/men

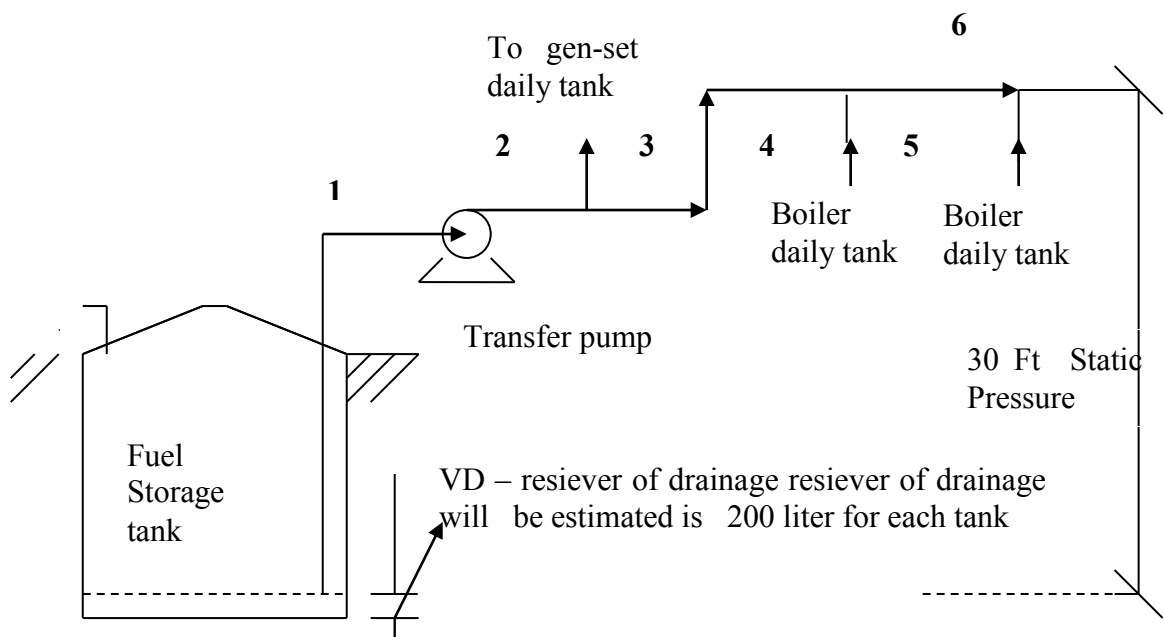
$$600 = \frac{2800}{Q1 - 5,93} + \frac{2800}{5,93}$$

$$Q1 = \frac{2800}{\frac{2800 - (2800)}{5,93}} + 5,93$$

$$= 21,9 + 5,93$$

$$= 27,83 \text{ L/menit atau}$$

$$= 7,36 \text{ GPM dibulatkan } 8 \text{ GPM.}$$



Gambar 5. Distribusi bahan bakar dari tangki penyimpanan ke tangki harian.

Tabel 1. Desain dimensi pemipaan

Pipe No.	Size (inch)	Flow rate (GPM)	Velocity (Ft/Xc)	Press Drop (Psi/100 Ft)	Length (Ft)	Total press drop (Psi)
1.	3/4	8	5	4.5	20	0.9
2.	3/4	8	5	4.5	70	3.15
4.	3/4	8	5	4.5	64	15.86
6	3/4	8	5	4.5	12	0.54

Pompa distribusi

kapasitas = 8

Total = 20,45 Psi atau

Head = 47,27 GPM Ft H<sub>2</sub>O dibulatkan = 50 Ft (tinggi tekan)

## KESIMPULAN

Konsumsi bahan bakar solar dari hasil desain perhitungan untuk pengoperasian satu ketel uap sebesar 178 liter/jam pada pemakaian jam pertama atau diawal pengoperasian, sedangkan untuk pemakaian jam berikutnya hanya sebesar 100 liter. Untuk konsumsi bahan bakar solar hasil desain perhitungan untuk pengoperasian diesel gen-set 173 liter/jam pada pemakaian jam pertama atau diawal pengoperasian, sedangkan untuk pemakaian jam berikutnya hanya sebesar 90 liter.

Dua buah tangki harian untuk operasional ketel uap dan satu buah tangki harian untuk operasional gen-set dengan kapasitas masing-masing 2500 liter. Dua buah tangki penyimpanan bahan bakar yang menampung solar dari truck PERTAMINA dengan kapasitas masing-masing 25000 liter yang berfungsi mendistribusikan solar ke tiga buah tangki harian dengan pompa distribusi bahan bakar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ronny, "Design calculation of fuel system", RWI Tahun 1985.
- [2]. Heri Witono, "Uap Sistem Boiler", PTPLR 1990.
- [3]. Sugito, "Diesel Gen-Set", RWI Tahun 1990.
- [4]. Ronny "Jenis bahan bakar dan Spesifikasinya", RWI Tahun 1985.
- [5]. "Steam boiler plant", RSG 53 M 625.00 B.



## PENGOPERASIAN *CHILLED WATER SYSTEM* PADA INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF

**Budi Arisanto, Heri Witono, Arifin Istavara**  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**PENGOPERASIAN *CHILLED WATER SYSTEM* PADA INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF.** Telah dilakukan pengoperasian *chilled water system* pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR). *Chilled water system* dioperasikan selama 8 jam dalam 5 hari kerja (Senin-Jum'at). Pada tahun 2013 *chiller* dapat melayani kebutuhan air pendingin di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif dengan baik dan lebih konsten. Air pendingin yang dihasilkan berkisar antara 4<sup>o</sup>C s/d 5<sup>o</sup>C dengan rerata temperatur yang diturunkan ( $\Delta t$ ) 8,4 <sup>o</sup>C. Untuk dapat mempertahankan kinerja *chilled water system* dilakukan perawatan secara berkala.

**Kata kunci:** sistem mesin pendingin, beban pendingin

### ABSTRACT

**OPERATION OF CHILLER IN THE INSTALLATION OF RADIOACTIVE WASTE TREATMENT.** The operation of *chilled water system* in the Installation Of Radioactive Waste Treatment have been conducted, *chilled water system* operated in 8 hours in 5 workdays (Monday to Friday). Ithe year 2013, *chiller* can supply demant of *chilled water* in the installation of radioactive waste treatment better and more consistent. The temperature produced by *chiller* about 4<sup>o</sup>C s/d 5<sup>o</sup>C with derived temperature average ( $\Delta t$ ) 8,4 <sup>o</sup>C. To maintain performance of the *chilled water system*, maintenance conducted pediocally.

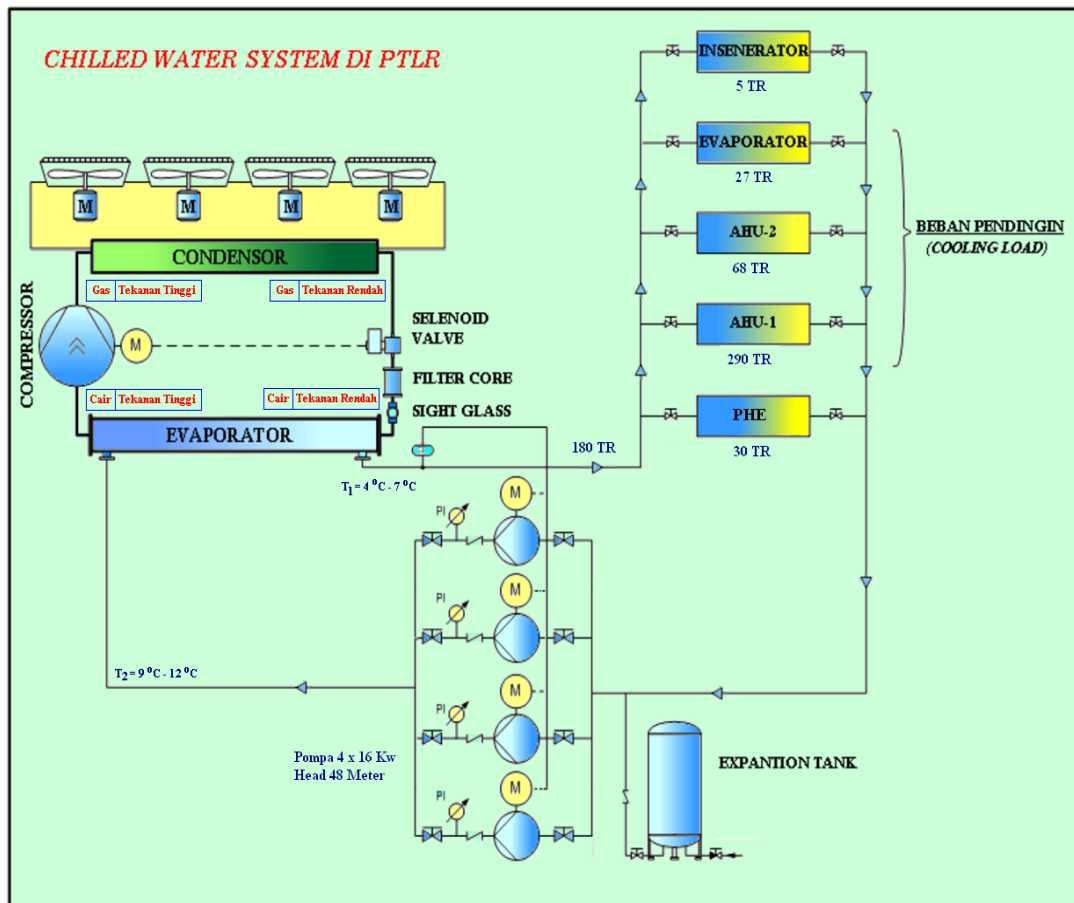
**Keyword:** *Chilled water system, cooling load*

### PENDAHULUAN

*Chiller* adalah mesin pendingin yang digunakan untuk mendinginkan air sebagai media pendingin (penukar panas). *Chiller* terdiri dari beberapa instrumen yang terintegrasi menjadi satu, yaitu: *compressor, condensor, katup ekspansi* dan *evaporator*. Untuk mendistribusikan air dingin hasil produksi *chiller* digunakan pompa-pompa distribusi. Pompa-pompa distribusi berfungsi untuk mendistribusikan air pendingin dengan temperatur 6 - 7 <sup>o</sup>C ke beban-beban pendingin, yaitu *cooling coil* pada *AHU, evaporasi, insenerasi* dan *cooling tower*. Beban pendinginan total dari *water chiller* adalah besarnya kalor yang diterima refrigeran pertama dari refrigeran kedua yang berlangsung di evaporator (dari *chiller*) <sup>[1]</sup>. Beban-beban pendingin di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) ditunjukkan pada **Tabel 1**. Diagram alir Sistem mesin pendingin dapat dilihat pada **Gambar 1**.

**Tabel 1.** Beban Pendinginan pada IPLR [2]

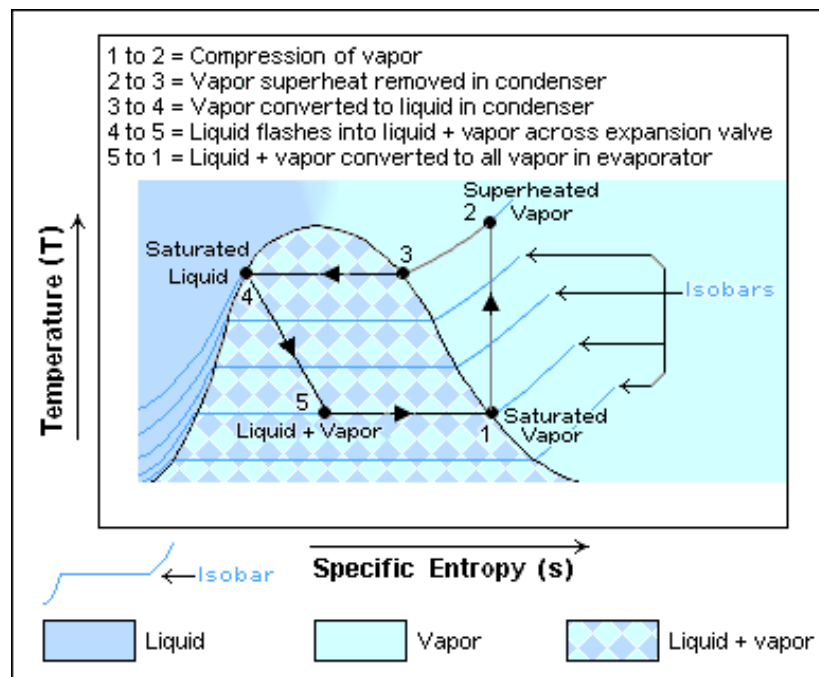
Beban pendinginan	Beban minimum (TR)	Beban maksimum (TR)
AHU	358,2	358,2
Evaporasi	Off	27
Cooling Tower	Off	30
Insenerasi	Off	4,6
<b>Total Beban</b>	358,2	416,4



**Gambar 1.** Spesifikasi Teknis Chilled Water System [1]

Di dalam *chiller* terdapat *refrigerant* (media pendingin) yang disirkulasikan dan mengalami beberapa perubahan bentuk sesuai siklus *Carnot*. Siklus *Carnot* dilihat pada **Gambar 2**.





**Gambar 2.** Siklus Carnot pada Mesin Pendingin <sup>[3]</sup>.

Pada titik 1, freon sudah berbentuk uap jenuh dengan temperatur rendah dan tekanan rendah, kemudian ditekan/dikompresi oleh kompresor untuk menaikkan tekanan sampai pada titik 2, pada titik ini freon berbentuk uap, dengan temperatur tinggi dan tekanan tinggi.

Pada titik 2, freon didinginkan dengan menghembuskan udara pada kondensor. Pada kondensor freon mengalami dua kali perubahan fase, yaitu fase uap ke fase uap jenuh (titik 3) dan fase uap jenuh ke fase cair jenuh (titik 4).

Pada titik 4, freon dilewatkan pada katup ekspansi sehingga freon berbentuk cair dan gas dengan temperatur dan tekanan rendah. Temperatur freon yang rendah tersebut yang akan digunakan untuk mendinginkan air pendingin yang diumpungkan pada beban-beban pendingin.

Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) mempunyai 4 unit *chiller* yang diberi kode E 62301, E 62302, E 62303 dan E 62304. Setiap unit *chiller* terdiri dari dua sistem rangkaian *Refrigerator* yang masing-masing berkapasitas 70 TR untuk sistem I dan 100 TR untuk sistem II dengan spesifikasi teknis yang dapat dilihat pada **Tabel 2**

**Tabel 2.** Spesifikasi teknis *chiller* di IPLR

SPESIFIKASI TEKNIS	
Merk	York YCHA 175
Kapasitas	167,5 TR
Daya <i>compressor</i>	200,7 KW
Rangkaian <i>refrigerant</i>	2
Kapasitas oli	3 gal/sys
Volume air di <i>evaporator</i>	39 gal
Refrigerant	R 22
Kapasitas refrigerant	Sys 1 : 116 gal
	Sys 2 : 133 gal
<i>Motor fan kondensor</i>	8 x 2,2 KW
Kecepatan aliran air pada <i>cooler</i>	Min. 150 gpm
	Max. 640 gpm

Satuan pendingin pada *chiller* adalah *Ton Refrigeration (TR)*, 1 (satu) *TR* setara dengan 12000 Btu/jam. Pada desain operasi, dioperasikan 3 unit *chiller* dan 1 unit *chiller* yang lain pada posisi cadangan (*stand by*) konfigurasi kemampuan pendinginan *chiller* di IPLR ditunjukkan pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Konfigurasi Pendinginan *Chiller*

<i>Chiller</i> yang beroperasi	Kemampuan <i>chiller</i> (TR)
Kondisi 1: 4 unit <i>chiller</i> beroperasi sekaligus (maksimal)	680
Kondisi 2: 3 unit <i>chiller</i> beroperasi, 1 <i>stand by</i> (Ideal)	510
Kondisi 3: 1 unit <i>chiller</i> beroperasi, 1 <i>chiller stand by</i>	170
Kondisi 4: 2 unit <i>chiller</i> beroperasi sekaligus	340

- Beban pendinginan minimum adalah beban minimum yang terjadi pada IPLR yaitu saat peralatan pengolahan limbah radioaktif pada kondisi *off* atau tidak beroperasi.
- Beban pendinginan maksimum adalah beban yang terjadi pada IPLR saat peralatan pengolahan limbah radioaktif beroperasi.

Pada tahun 2013, beban pendinginan di IPLR hanya merupakan beban pendingin minimum karena hanya mensuplai air dingin untuk diumpankan ke *cooling coil* pada AHU, hal ini berarti bahwa beban-beban pendingin lainnya seperti Insenerator, Evaporator dan cooling tower tidak beroperasi.

## TATA KERJA

### Alat dan Bahan Pendukung pengoperasian

Untuk mendukung pengoperasian *chiller*, maka diperlukan alat dan bahan yaitu:

- |                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| a. Mekanik tool       | d. Multi Tester  |
| b. Tang Ampere        | e. Tespen        |
| c. Digital termometer | f. Alat Pencatat |

### Metode

Untuk dapat mengoperasikan *chiller* dengan baik, dilakukan tahapan-tahapan pengoperasian, yaitu:

1. Persiapan,

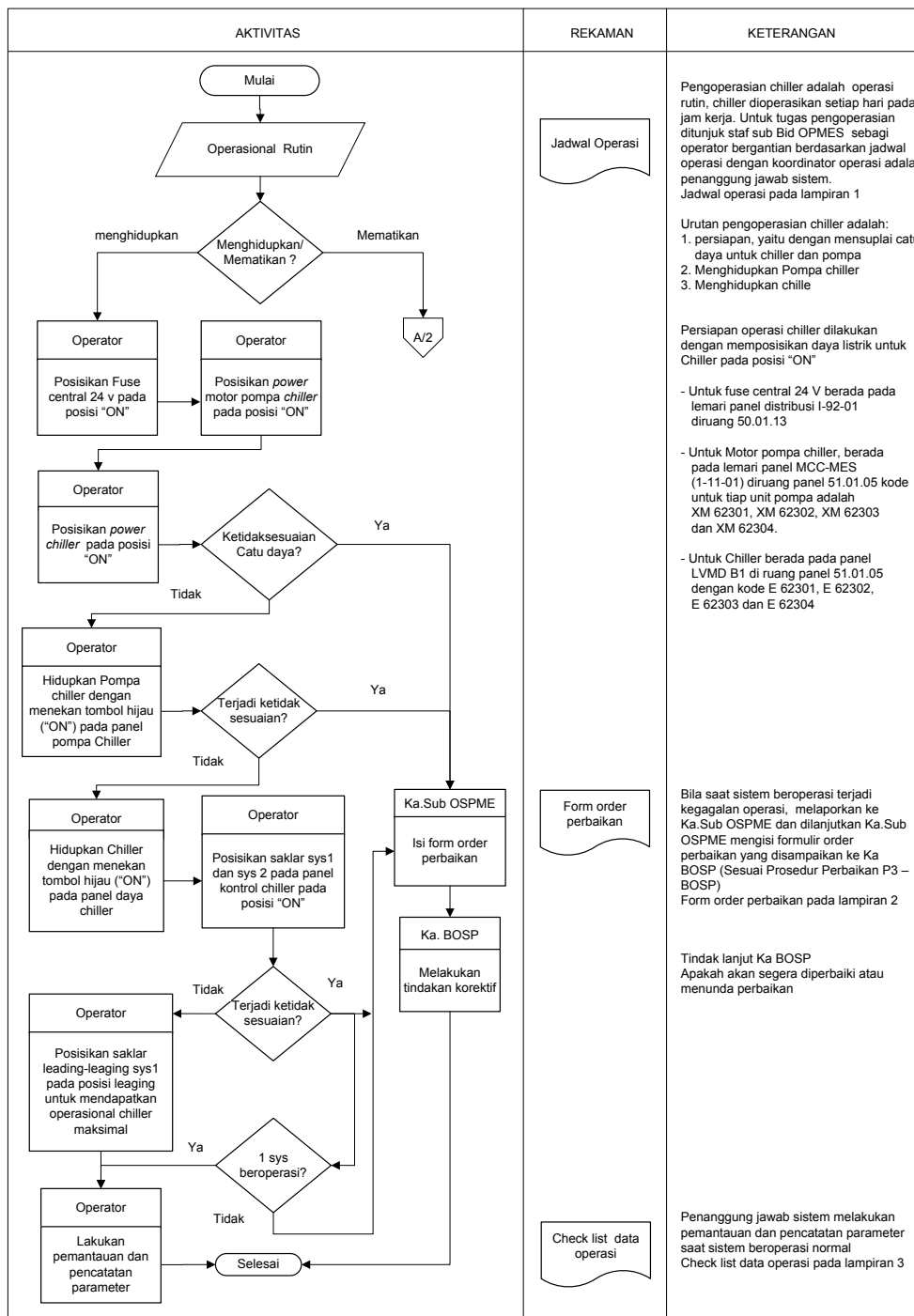
Untuk dapat memperoleh kinerja yang optimal dilakukan persiapan pengoperasian yaitu dengan memeriksa komponen-komponen pendukung seperti pompa-pompa *chiller*, motor-motor penggerak pompa dan suplai catu daya. Untuk memeriksa kekencangan baut pada pompa distribusi digunakan mekanik tool, untuk memeriksa catu daya digunakan tang ampere dan multi tester.

2. Pengoperasian

Pengoperasian dilakukan setelah persiapan pengoperasian tidak mengalami hambatan atau tidak terjadi kerusakan. Urutan pengoperasian *chiller* dapat dilihat pada **Gambar 3**.

3. Pemantauan

Selama proses pengoperasian *chiller* dilakukan pemantauan dan pencatatan data operasi.



Gambar 3. Diagram Pengoperasian Chiller [3]

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada Tahun 2013 didapatkan hasil pengoperasian *chiller* yang dapat dilihat pada **Tabel 3**.

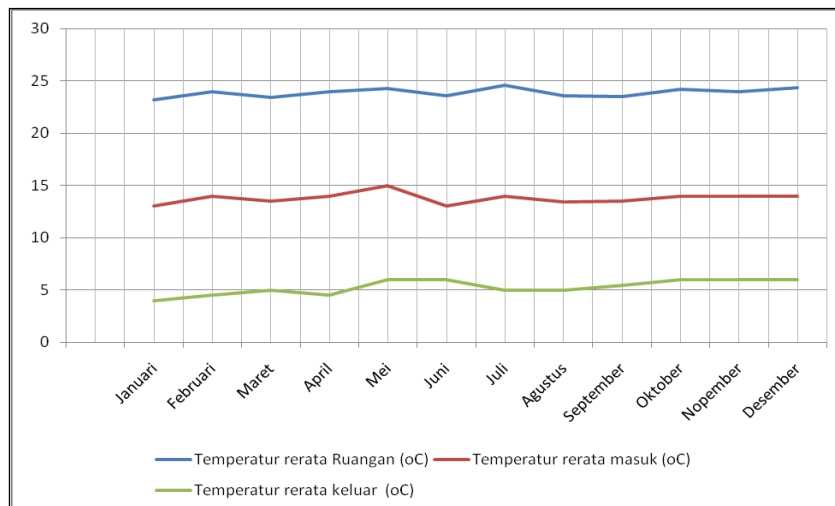
**Tabel 3.** Operasional *chiller* selama tahun 2013

Bulan	<i>chiller</i> yang beroperasi	Temperatur rerata Ruangan (°C)	Temperatur rerata masuk (°C)	Temperatur rerata keluar (°C)	ΔT (°C)
Januari	C3	23,2	13	4	9
Februari	C3	24	14	4,5	9,5
Maret	C3	23,4	13,5	5	8,5
April	C3	24	14	4,5	9,5
Mei	C3	24,3	15	6	9
Juni	C3	23,6	13	6	7
Juli	C3	24,6	14	5	9
Agustus	C4	23,6	13,4	5	8,4
September	C4	23,5	13,5	5,5	8
Oktober	C4	24,2	14	6	8
Nopember	C2	24	14	6	8
Desember	C2	24,4	14	6	8

**Keterangan:**

C1 adalah *Chiller* E 62301  
 C2 adalah *Chiller* E 62302

C3 adalah *Chiller* E 62303  
 C4 adalah *Chiller* E 62303



**Gambar 4.** Grafik Perbandingan Air produksi chiller dengan Temperatur ruangan.

Dari data operasi diketahui temperatur air pendingin yang dihasilkan *chiller* adalah 4 °C s/d 5 °C dengan rerata temperatur yang diturunkan ( $\Delta t$ ) 8 °C s/d 9 °C, dan relatif konstan sampai akhir tahun, hal ini dikarenakan telah direvitalisasinya Chiller E62303. Temperatur ruangan yang dapat dicapai berkisar antara 23 °C s/d 24 °C.

### KESIMPULAN

1. Unjuk Kerja *chiller* pada tahun 2013 relatif konstan dari awal hingga akhir tahun 2013, hal ini dikarenakan adanya revitalisasi Chiller E62303.
2. Perbedaan temperatur antara supply *chiller* (input) dengan suhu ruangan (*output*)  $\pm 20$  °C masih besar.
3. Perlu adanya kajian tentang rugi-rugi distribusi/heat loss pada *chiller*.
4. Untuk dapat mempertahankan kinerja *chilled water system* dilakukan perawatan secara berkala.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. PK PURWADI DAN WIBOWO KUSBANDONO, “Karakteristik Chilled Water”, Jurnal Teknologi Industri Vol. V No. 2 April 2001 : 67-74
- [2]. PURWANTARA, “Pengoperasian Chiller untuk menunjang manajemen tata udara IPLR”, Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR 2001, PTLR-BATAN, Serpong, 2001.
- [3]. WIKIPEDIA, “Heat pump and Refrigeration Cycle” Figure 2. Temperature-Entropy diagram.
- [4]. YORK INTERNATIONAL COOPERATION, “Air Cooled Packaged Liquid Chiller”, USA, 1986.
- [5]. INSTRUKSI KERJA PENGOPERASIAN CHILLER, PTLR-BATAN, Serpong, 2010.
- [6]. FORMULIR PENGOPERASIAN CHILLED WATER SYSTEM TAHUN 2013.

## **KAJIAN TERHADAP KEBUTUHAN ALAT PEMANTAU KAPASITAS AIR CHILLER PADA SISTEM BLOWER DI KANAL HUBUNG INSTALASI PENYIMPANAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS**

**Budiyono**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### **ABSTRAK**

**KAJIAN TERHADAP KEBUTUHAN ALAT PEMANTAU KAPASITAS AIR CHILLER PADA SISTEM BLOWER DI KANAL HUBUNG INSTALASI PENYIMPANAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS.** Untuk menjaga keselamatan petugas dan peralatan instalasi Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas (KH-IPSB3) maka kondisi udara di ruangan gedung dipertahankan pada suhu dibawah 28<sup>0</sup>C dan kelembaban dibawah 86%. Udara dihembuskan kedalam ruangan dengan sistem blower. Alat penukar panas digunakan untuk media perpindahan kalor yang disirkulasikan dari mesin *chiller* ke udara yang akan dimasukkan ke ruangan. Kapasitas pendinginan udara tergantung dari debit air dingin yang disirkulasikan melalui pipa. Diperlukan alat pemantau kapasitas aliran air dalam pipa baik berupa *flow meter* atau *pressure gauge*. Kajian ini menghasilkan kesimpulan bahwa sistem distribusi *chilled water* di KHIPSB3 tidak membutuhkan alat pemantau kapasitas dalam bentuk *flow meter* karena sudah dipasang alat pemantau tekanan (*pressure indicator*). Jika nilai tekanan dalam pipa diketahui maka nilai debit alirannya sudah dapat diketahui. Besarnya kapasitas aliran pada sistem blower adalah tetap 45 m<sup>3</sup>/jam jika tekanan pada pipa 3,2 bar.

### **ABSTRACT**

**STUDY OF EQUIPMENT REQUIREMENT FOR CHILLED WATER CAPACITY MONITOR AT BLOWER SYSTEM IN INTERIM STORAGE FOR SPENT FUEL.** To maintain the safety of personel and equipment in interim storage for spent fuel (ISSF), the air condition in the building is maintained at a temperature below 28<sup>0</sup>C and humidity below 86%. Air is blown into the room by a blower system. The heat exchanger is used to transfer heat from water that is circulated from the chiller machine to the air that will be blown into the room. The cooling capacity of air depends on the flow of cold water circulated through pipes. Equipment is required to monitor flow capacity in the pipeline in the form of a flow meter or pressure gauge. This study resulted conclusion that the chilled water distribution system in ISSF does not require a flow meter, because a pressure indicator has been installed. If the value of the pressure in the pipeline is known, so the flow capacity value can be known. The magnitude of the flow capacity of the blower system is still 45 m<sup>3</sup>/hr if the pressure in the pipe of 3.2 bar

### **PENDAHULUAN**

Kanal Hubung-Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3) dibangun pada tahun 1993, berfungsi untuk menyimpan bahan bakar nuklir bekas dan bahan teriradiasi lain yang berasal dari Reaktor Serbaguna (RSG-GAS), Instalasi Radio Isotope (IPR), dan Instalasi Radio Metalurgi (IRM). Didalam gedung KH-IPSB3 terdapat kanal transfer dan kolam penyimpan bahan bakar nuklir bekas yang berisi air. Kualitas air selalu dijaga dengan pemantauan suhu, pH, konduktivitas dan level permukaan. Temperatur maksimum 35<sup>0</sup>C, pH air kolam antara 6,0 - 7,7,

konduktivitas maksimum 15  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dan tingkat permukaan air kolam minimum 6,5 m. Kondisi suhu ruangan gedung dipertahankan pada suhu dan kelembaban tertentu untuk menjaga keselamatan petugas dan peralatan didalamnya. Suhu dan tingkat kelembaban udara di daerah kolam penyimpanan maksimum adalah 28  $^{\circ}\text{C}$  dan 86% RH. Angka ini ditetapkan dengan mengasumsikan bahwa kolam penyimpanan mengalami penguapan dengan kecepatan 250 liter/hari.

Dalam rangka menjaga suhu air kolam dan suhu ruangan KHIPSB3 pada nilai yang ditentukan maka instalasi dilengkapi dengan sistem pendingin. Suhu air kolam dijaga dengan mengoperasikan sistem pendingin air kolam sedangkan suhu ruangan dijaga dengan mengoperasikan sistem VAC (*blower*). Kedua sistem dihubungkan ke unit mesin pendingin (*chiller*) melalui pemipaan dengan media air. Pada saat ini, alat pemantau kapasitas debit air *chiller* yang masuk ke sistem *blower* tidak ada. Pemantauan kapasitas air *chiller* dilakukan dengan menggunakan *pressure indikator* dan *temperatur indikator*.

Kajian ini bertujuan untuk menentukan perlu tidaknya pemasangan alat pemantau kapasitas air *chiller* pada sistem *blower* di KHIPSB3.

## TINJAUAN SISTEM

Diagram alir *chilled water* di instalasi KHIPSB3 diperlihatkan pada gambar-1. Pada gambar terlihat bahwa instalasi *chilled water* terbagi menjadi lima unit peralatan yaitu mesin pendingin (*chiller*), pompa distribusi, pompa make-up, pendingin air kolam dan *blower*. Produksi *chilled water* dari mesin pendingin (*chiller*) disirkulasikan dengan pompa distribusi ke unit pendingin air kolam dan unit *blower*. Setelah terjadi pengambilan panas, air dikembalikan ke *chiller* untuk didinginkan. Spesifikasi dan fungsi dari masing-masing unit diuraikan sebagai berikut;

### 1. Mesin Pendingin (*chiller*)

Untuk mensuplai air dingin, KH-IPSB3 mempunyai dua unit mesin pendingin merk *carrier*. Dua unit *chiller* diletakkan di atas atap gedung ISPB3, terpisah tidak saling tergantung satu sama lain, masing-masing dilengkapi dengan panel kendali dan panel starter. Setiap unit *chiller* terdiri dari dua *system* kondisi *standby* masing-masing dilengkapi dengan 4 langkah pengendalian untuk memvariasi kebutuhan pendingin pada sistem *chilled water*. Pada masing-masing saluran masuk dan keluar *chiller* dipasang *pressure indikator* dan *temperature indikator*. *Pressure indikator* berfungsi untuk mengetahui nilai tekanan air yang masuk dan keluar *chiller*, sedangkan *temperature indikator* untuk mengetahui besarnya suhu air. Sistem ini juga dilengkapi dengan *flow switch* untuk mengetahui adanya aliran. Informasi aliran digunakan sebagai *interlock* pada *chiller*.



## 2.2. Pompa distribusi

Pompa distribusi berguna untuk mengalirkan air dingin dari mesin pendingin (*chiller*) ke sistem blower dan sistem pendingin air kolam. Air yang telah mengambil panas dialirkan kembali ke *chiller*, sirkulasi terjadi terus menerus. Untuk mengetahui adanya aliran air pada pipa sebelum dan sesudah pompa dipasang *pressure indicator*. Pompa distribusi berjumlah 2 buah dengan kapasitas masing-masing 51 m<sup>3</sup>/jam

## 2.3. Pompa Make-up

Pompa *make up* berfungsi untuk menambah volume air pada saluran pipa distribusi yang kemungkinan berkurang. Pompa berjumlah dua buah dengan kapasitas 1 m<sup>3</sup>/jam Pompa berfungsi otomatis dikendalikan dengan *pressure switch*.

## 2.4. Pendingin Air Kolam

Sistem pendingin air kolam KHIPSB3 berguna untuk menjaga suhu air kolam penyimpanan bahan bakar bekas sesuai persyaratan dibawah 35°C. Panas terbangkitkan diestimasi sebesar 40 kW, 35 kW dibangkitkan oleh perangkat bahan bakar bekas, 5 kW berasal dari pemanasan sistem penerangan. Sejumlah kehilangan panas dapat terjadi sebagai akibat dari perpindahan panas melalui tembok beton yaitu sebesar 1-2 kW, dan penguapan air. Penguapan air sebanyak 250 l/hari.

Untuk mendinginkan kolam secara efektif air disirkulasikan dari permukaan kolam yang terletak berdekatan dengan *water treatment plant room* dan dikembalikan ke kolam di bagian ujung menjauhi daerah penyimpanan. Kecepatan sirkulasi air 6,0 m<sup>3</sup>/jam disesuaikan dengan bentuk plat penukar panas. Untuk menghindari kontaminasi, disediakan dua kalang sistem pendingin, pendingin primer dan pendingin sekunder [1]

### 2.4.1. Pendingin primer

Pompa pendingin primer berfungsi memompa air dari kolam melalui filter 10 µm menuju ke penukar panas primer. Perpindahan panas terjadi antara air dari kolam dengan air dari pendingin sekunder. Spesifikasi peralatan pendingin primer adalah sebagai berikut;

#### Pompa Pendingin Primer

Tipe	: <i>Centrifugal</i>
Material	: <i>Stainless Steel</i> dengan <i>Silicon Carbide</i>
Kapasitas	: 6m <sup>3</sup> /jam × 2,6 bar
Motor	: 2,2 kW, TEFV 2900 rpm.

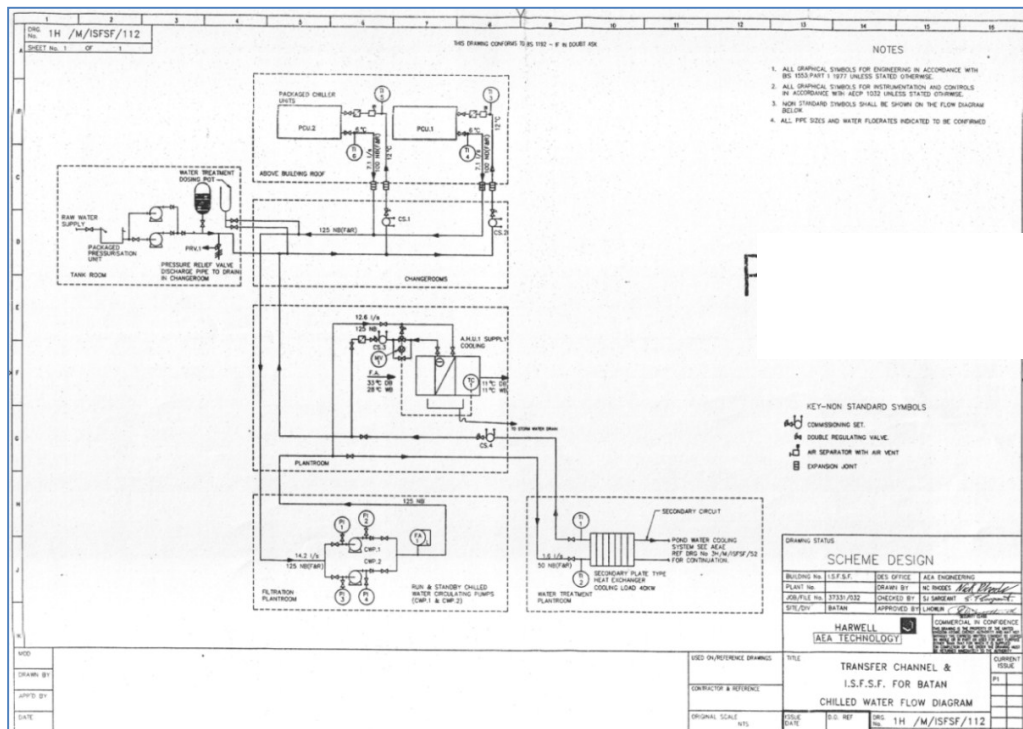
**Filter**

- Tipe : Disposable Cartridge
- Material : Stainless Steel
- Cartridge : 10 micron.
- Kapasitas aliran : 20 m<sup>3</sup>/jam (maksimum)

**Penukar Panas Primer**

- Tipe : Tipe plat
- Material : Stainless Steel
- Beban panas : 40 kW
- Tekanan maksimum : 6 bar
- Temperatur maksimum : 100 °C

Distribusi air dingin di KHIPSB3 ditunjukkan pada Gambar-1. [2]



Gambar-1. Diagram distribusi chilled water di KHIPSB3

**2.4.2. Pendingin sekunder**

Pendingin sekunder berfungsi untuk mengambil panas dari air yang berasal dari sistem pendingin primer. Panas dipindahkan ke air *chiller* dengan alat

penukar panas. Kapasitas air chiller yang masuk sebesar  $6\text{m}^3/\text{jam}$ . Spesifikasi peralatan pendingin sekunder adalah sebagai berikut;

#### **Penukar panas**

Tipe	: Tipe plat
Material	: <i>Stainless Steel</i>
Beban panas	: 40 kW
Tekanan maks.	: 6 bar
Temperatur maks.	: 100 °C

#### **Pompa Sekunder**

Tipe	: <i>Centrifugal</i>
Material	: <i>Stainlees Steel</i> dengan <i>Silicon Carbide</i>
Kapasitas	: $6\text{m}^3/\text{jam} \times 2,6 \text{ bar}$
Motor	: 2,2 kW, TEFV 2900 rpm.

### **2.5. BLOWER**

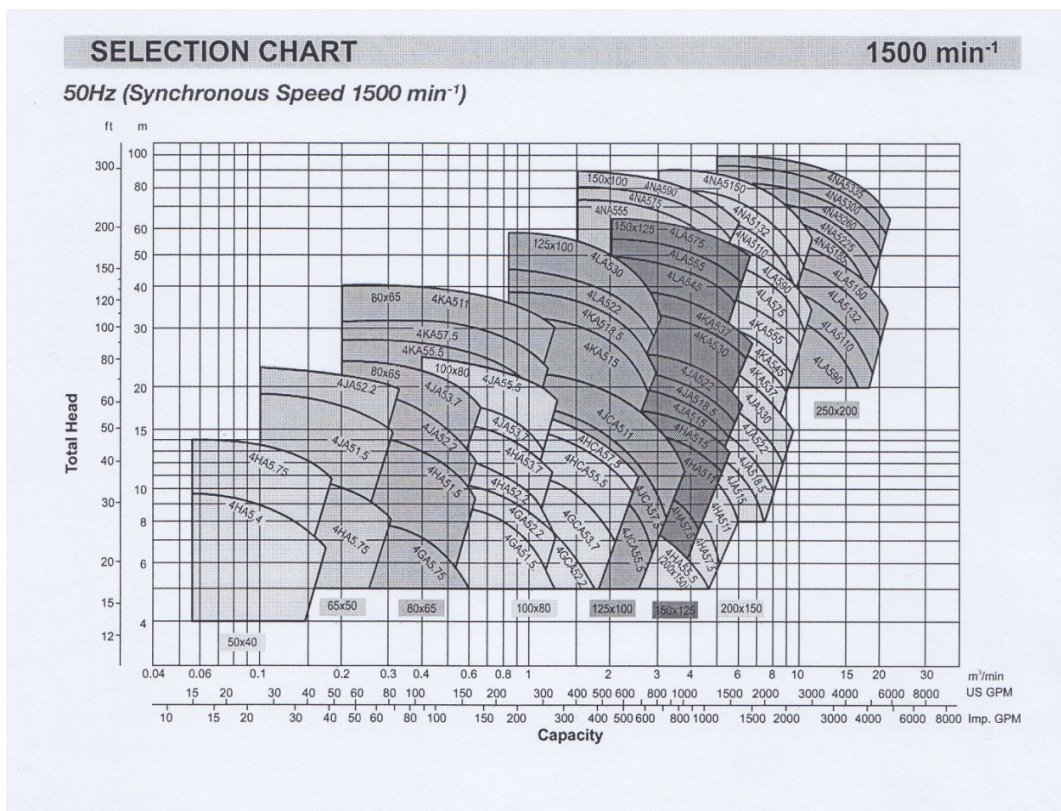
Sistem blower berfungsi untuk mempertahankan suhu dan kelembaban ruangan KHIPSB3 sesuai yang dipersyaratkan. Gedung disuplai dengan udara segar melalui unit pengolah udara AHU1 yang terletak di ruang lantai dasar gedung. Unit ini terdiri dari balancing damper, panel filter, bagian filter, cooling coil, backward curved centrifugal, electric heater battery dan sound attenuator. Cooling Coil pendingin AHU1 yang berfungsi memindahkan suhu air yang masuk dari 33 °C DB (*Dry Bulk*) dan 28 °C WB (*Wet Bulk*) menjadi 11 °C DB dan 11 °C WB. Suhu dipindahkan ke udara yang akan dihembuskan ke ruangan. Tiga buah baterai electric heater dengan No. HB2, HB3 dan HB4 dipasang di sistem ducting, berfungsi untuk memvariasi suhu udara di daerah kolam penyimpanan, ruang kendali dan ruang ganti. Pengendali kecepatan aliran udara (damper pengisolasi) dipasang di dua tempat, yaitu pada posisi inlet dan pada saluran utama, dengan tujuan untuk keseimbangan. Kecepatan aliran udara dipertahankan selalu tetap melalui pengaturan secara manual damper D1.

## **METODOLOGI**

Langkah kerja yang dilakukan dalam kajian ini adalah studi pustaka, analisis data sekunder, dan analisis data primer. Studi pustaka tentang mekanisme pompa, aliran fluida air dengan melihat laporan-laporan hasil penelitian terdahulu, serta sejumlah pustaka lain. Penelusuran dan analisis data sekunder berupa hubungan antara tekanan air dengan debit aliran dalam pipa, dan hubungan antara kapasitas dan total head pada pompa. Pengambilan data lapangan dilakukan untuk mendapatkan data primer dari semua aspek kajian. Data hasil dari data lapangan kemudian dianalisis dan dievaluasi sehingga diperoleh kesimpulan hasil kajian.

**PEMBAHASAN**

Distribusi *chilled water* di KHIPSB3 menggunakan dua buah pompa jenis sentrifugal. Masing masing pompa berkapasitas 51 m<sup>3</sup>/jam pada tekanan 3,8 bar. *Chilled water* dialirkan melalui pipa yang dicabang, satu ke arah unit *blower* dan satunya lagi ke arah unit pendingin kolam. Pembagian besarnya kapasitas aliran menggunakan perbandingan diameter pipa. Disain kapasitas aliran ke unit *blower* sebesar 45 m<sup>3</sup>/jam sedangkan ke arah unit pendingin kolam sebesar 6 m<sup>3</sup>/jam. Kapasitas aliran dibuat tetap karena *valve* pencabangan dibuka 100%. Penutupan *Valve* hanya dilakukan untuk keperluan pemeliharaan.

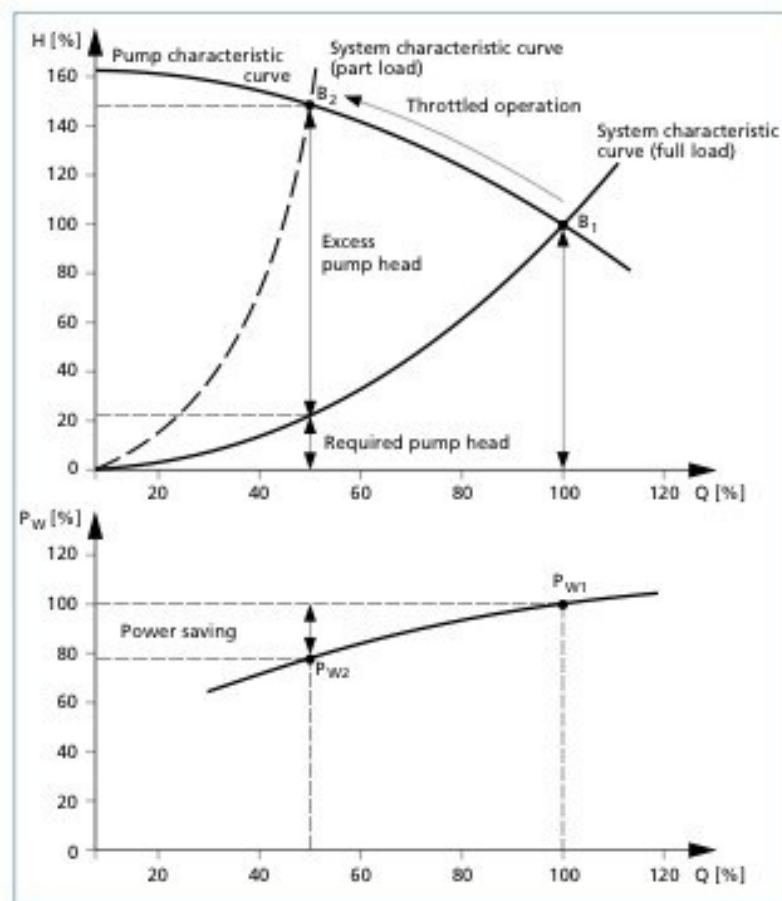


Gambar-2. Hubungan antara head/ tekanan dengan debit aliran (kurva karakteristik pompa) [3]

Perubahan kapasitas aliran hanya mungkin dapat dilakukan melalui pengaturan katup yang terpasang pada keluaran pompa dan perubahan jumlah pompa yang dioperasikan. Pada sistem distribusi *chilled water* tidak dipasang alat pemantau kapasitas aliran tetapi dipasang alat pemantau tekanan pada unit pompa, unit mesin pendingin dan *blower*. Dengan pemasangan alat pemantau tekanan diharapkan sudah dapat diketahui adanya aliran dalam pipa. Kapasitas aliran dapat dibaca pada kurva pompa dan karakteristik pipa jika nilai tekanan telah diketahui. Kurva pompa sangat penting, karena dari kurva tersebut dapat diketahui kemampuan pompa di setiap titik kerja sehingga dapat ditentukan debit, *total head*, efisiensi, NPSHR, dan daya

penggerak yang diperlukan. Hubungan antara *head* / tekanan dengan debit aliran pompa *chilled water* di KHIPSB3 diperlihatkan pada Gambar-2. Gambar kurva karakteristik pompa menunjukkan bahwa pompa merk EBARA model 50 x 40 FSA untuk tekanan 3,8 bar debit alirannya sebesar 51 m<sup>3</sup>/jam.

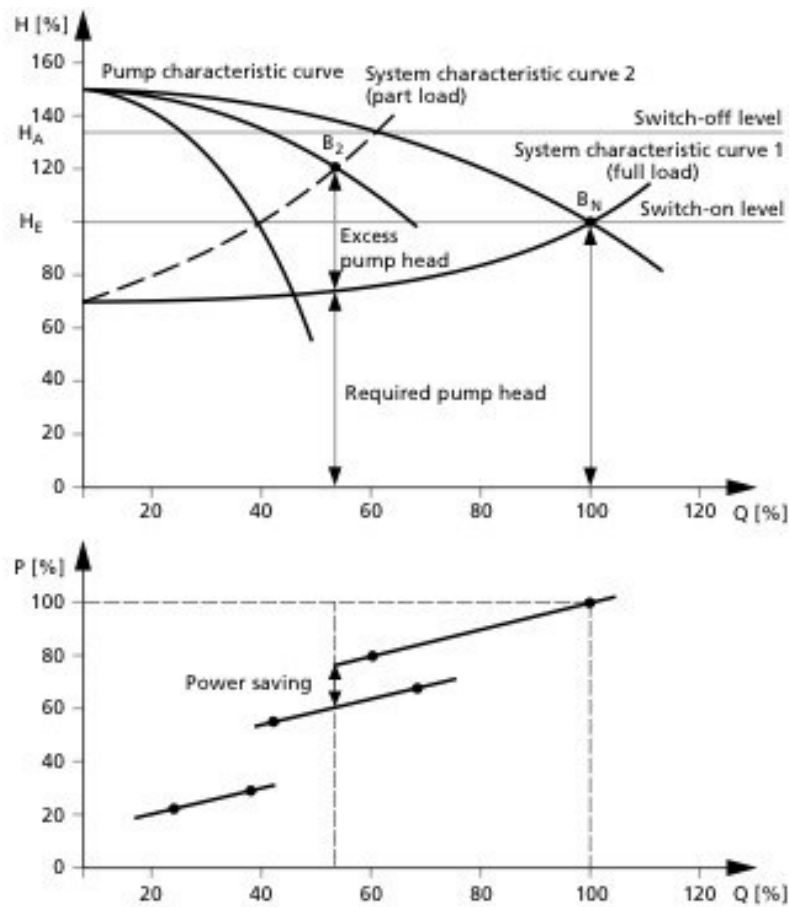
Debit atau *flow* pompa sangat dipengaruhi oleh diameter impeler, semakin besar diameter impeler maka akan semakin besar kemampuan debit pompa. Seperti pada gambar diatas, nilai debit pompa terbaca pada sumbu garis mendatar dengan lambang huruf Q dan biasanya menggunakan satuan m<sup>3</sup>/jam. *Total head* atau *pressure* pompa ditentukan dari sistem pemipaan yang digunakan.



Gambar-3. Pengaruh perubahan *valve* terhadap kurva karakteristik pompa [4]

Distribusi air *chiller* di KH-IPSB3 menggunakan pompa berjenis sentrifugal. Aliran pompa sentrifugal dapat divariasikan nilai *head* dan debitnya sesuai dengan kebutuhan. Kontrol debit aliran air *chiller* menggunakan model *discharge control valve*. *Valve* yang dipasang pada keluaran pompa bertujuan untuk menambah restriksi aliran fluida sehingga terjadi pergeseran kurva karakteristik sistem. Karena pompa bekerja pada putaran konstan, maka titik operasional pompa bergeser pada garis

kurva karakteristik pompa ke arah debit aliran yang lebih rendah. Ilustrasi pergeseran kurva karakteristik aliran akibat pengaturan *valve* diperlihatkan pada Gambar-3. Gambar menunjukkan bahwa pengaturan *valve* keluaran saluran *discharge* menyebabkan perubahan tekanan dan debit aliran. Besarnya perubahan debit aliran mengikuti perubahan tekanan sesuai grafik karakteristik pompa.



Gambar-4. Pengaruh perubahan operasi pompa terhadap kurva karakteristik pompa [4]

Pompa sentrifugal di KHIPSB3 dipasang secara parallel maka debit aliran total adalah jumlah dari debit aliran pompa yang bekerja. Dengan cara ini kita dapat mengatur debit aliran fluida dengan jalan mengoperasikan sejumlah pompa secara bersamaan sesuai dengan kebutuhan sistem. Kurva karakteristik pompa dan sistem menjadi acuan kerja untuk masing-masing pompa. Perubahan karakteristik aliran akibat pengaturan jumlah pompa yang beroperasi diperlihatkan pada Gambar-4. Gambar menunjukkan bahwa perubahan jumlah pompa yang beroperasi mengakibatkan perubahan kurva karakteristik antara tekanan dan debit aliran.

## KESIMPULAN

Dari bahasan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa;

Pada sistem distribusi *chilled water* di KHIPSB3 sudah dipasang alat pemantau tekanan (*pressure indicator*) sehingga alat pemantau kapasitas *chiller* (*flow meter*) pada sistem *blower* tidak dibutuhkan. Dengan terbacanya indikator tekanan maka nilai debit alirannya sudah dapat diketahui. Besarnya kapasitas aliran pada sistem blower adalah konstan 45 m<sup>3</sup>/jam jika tekanan pada pipa 3,2 bar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1].PTLR, “LAK Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3)”, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, Tangerang, 2009.
- [2].AEA ENGINEERING, “Transfer Channel and ISFSF for BATAN, Preliminary Design Package, Volume 1”, BATAN, Jakarta, 1992.
- [3].- , “EBARA PUMPS” [Online] 5 Oktober 2013, [Dikutip: 5 Oktober 2013], [http://ebara.com.my/pic/product/upload/20091027100147\\_TD\\_FSA.pdf](http://ebara.com.my/pic/product/upload/20091027100147_TD_FSA.pdf)
- [4].ONNY APRIYAHANDA, “Cara-Cara Mengontrol Debit Aliran Sistem Pompa Sentrifugal” [Online] 5 Oktober 2013, [Dikutip: 5 Oktober 2013], <http://onnyapriyahanda.com/cara-cara-mengontrol-debit-aliran-sistem-pompa-sentrifugal/>
- [5].CAHYO HARDO PRIYOASMORO, “ Cara Mengkaji Piping & Instrumentation Diagram”, [Online] 5 Oktober 2013, [Dikutip: 5 Oktober 2013], [http://www.freewebs.com/tekim-ubh/Cara\\_mengkaji\\_P\\_ID\\_\\_\\_Pompa.pdf](http://www.freewebs.com/tekim-ubh/Cara_mengkaji_P_ID___Pompa.pdf)





## REVITALISASI DAN PEMELIHARAAN PERALATAN INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF

**Gatot Sumartono**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**REVITALISASI DAN PEMELIHARAAN PERALATAN INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF.** Telah dilakukan peningkatan kembali kemampuan peralatan proses dan peralatan sarana penunjang instalasi pengolahan limbah radioaktif (IPLR) melalui pemeliharaan pada periode tahun 2013. Pemeliharaan untuk menjamin kelangsungan operasional dari sistem dan peralatan. Pemeliharaan preventif dilakukan secara berkala dan kuratif ketika mengalami kegagalan pada peralatan mekanik, elektrik dan instrumentasi sesuai dengan petunjuk pelaksanaan pemeliharaan yang telah dibuat. Kegiatan pemeliharaan mencakup seluruh IPLR dengan prioritas anggaran pada perbaikan peralatan sarana penunjang, peralatan dukung dan suku cadang peralatan yang keseluruhannya telah berjalan baik sesuai rencana.

### ABSTRACT

**REVITALIZATION AND MAINTENANCE OF RADIOACTIVE WASTE TREATMENT INSTALLATION EQUIPMENT.** Maintenance activities have been done to recover the capability of process equipment and supporting facilities of radioactive waste treatment installation (RWI) during maintenance period 2013. The maintenance was conducted to ensure continuity of system and equipment operation. Preventive maintenance was done regularly and curative maintenance was conducted when a failure occurred in a mechanical equipment, electrical equipment and instrumentation in accordance with the maintenance guidelines that have been made. The maintenance activities were successfully carried out to all RWI facilities with priority on repair of supporting facility, supporting equipment, and spare parts.

### PENDAHULUAN

Semakin lama umur pakai peralatan maka kerusakan yang timbul juga akan semakin sering terjadi. Dengan demikian diperlukan usaha untuk menjaga peralatan proses Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) agar selalu dalam kondisi baik dan siap pakai. Usaha menunjang hal tersebut diperlukan program, manajemen dan pelaksanaan pemeliharaan yang teratur dan terukur.

Kegiatan pemeliharaan peralatan dan perawatan/perbaikan peralatan di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) dilakukan oleh Sub Bidang Perawatan dan Perbaikan Peralatan - Bidang Operasi dan Sarana Penunjang (P3-BOSP), meliputi peralatan mekanik, elektrik dan instrumentasi.

Sub Bidang Perawatan dan Perbaikan Peralatan dengan jumlah personil yang sangat terbatas (tujuh orang) tersebut mempunyai tugas dan fungsi antara lain, melaksanakan kegiatan pemeliharaan (perawatan preventif), perawatan/perbaikan peralatan (perawatan kuratif) untuk seluruh peralatan IPLR dan Kanal Hubung – Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3) serta supervisi perbaikan yang dilakukan oleh pihak ketiga yang telah diajukan tahun sebelumnya dan didanai pada tahun anggaran berjalan juga pengelolaan gudang suku cadang dan pengoperasian bengkel elektromekanik.

Pemeliharaan (perawatan preventif) adalah kegiatan pemeliharaan peralatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan tak terduga dan menemukan secara dini kondisi atau keadaan tertentu yang dapat menyebabkan peralatan mengalami kerusakan pada waktu digunakan. Sedangkan perawatan

kuratif adalah kegiatan perbaikan peralatan yang dilakukan setelah terjadinya suatu kerusakan atau kelainan pada peralatan, hal ini sering disebut sebagai kegiatan reparasi. Sedangkan pengoperasian bengkel dan pengelolaan gudang suku cadang merupakan sarana pendukung dalam perawatan dan perbaikan peralatan IPLR dan KH-IPSB3.

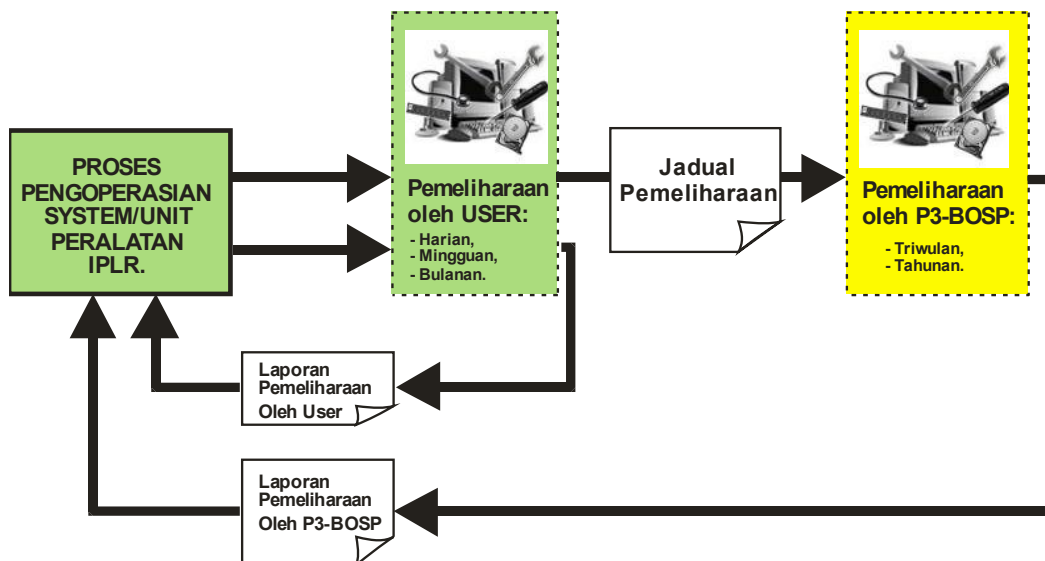
Peralatan IPLR terdiri dari unit/sistem Evaporasi, Sementasi, Insenerasi, Kompaksi, Imobilisasi, *Laundry*, Dekontaminasi, *Chemical treatment*, Penyimpanan Sementara Limbah Aktivitas Tinggi (PSLAT) dan sarana dukungnya berupa unit/sistem *Compressed Air*, *VAC & Off-gas*, *Chilled Water*, *Boiled Water*, *Demineralized Water*, *Service Water*, *Domestic Water*, *Cooling Water*, *Fuel System*, *Normal Drainage*, Genset, Capacitor Bank dan UPS. Sedangkan KH-IPSB3 terdiri dari unit/sistem Kolam BBNB, Pendingin Kolam, *VAC & Off-gas*, Purifikasi, Air Bebas Mineral, *Handling* Elektromekanik, Proteksi Radiasi dan Proteksi Kebakaran.

**TATA KERJA**

**1. Pemeliharaan Peralatan**

Pemeliharaan peralatan elektrik meliputi pemeriksaan tegangan dan arus listrik, pengukuran tahanan listrik, pemeriksaan otomatisasi dan kalibrasi pada peralatan yang dioperasikan terpusat serta berbagai panel distribusi/kontrol termasuk penggantian komponen bila perlu. Pada peralatan elektronik berupa pemeriksaan terhadap instrumentasi kontrol dan unit elektronik pada panel kontrol serta kalibrasi instrumentasi kontrol, juga pemeriksaan peralatan komunikasi intern dan penggantian komponen elektronik bila perlu.

Sedangkan pemeliharaan peralatan elektromekanik kegiatan yang dilakukan termasuk pemeriksaan minyak pelumas, pemeriksaan kondisi *bearing*, pengukuran getaran, pemeriksaan kondisi *v-belt*, pengukuran putaran, pengecekan kebocoran cairan, pengukuran laju alir, pelurusan poros (*alignment*), pengukuran temperatur serta penggantian komponen-komponen mekanik bila diperlukan. Secara skematis kegiatan pemeliharaan peralatan dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Skema Pemeliharaan Peralatan.

**2. Perawatan/Perbaikan Peralatan**

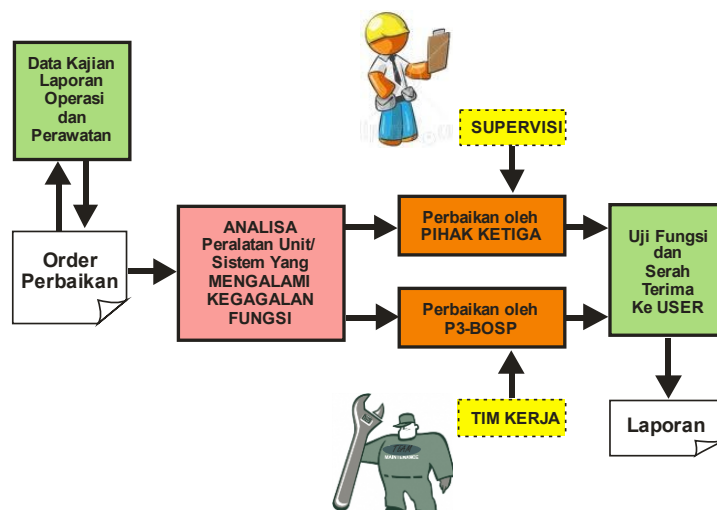
Perawatan/perbaikan peralatan (perawatan kuratif) adalah berupa perbaikan peralatan instrumentasi, elektrik dan mekanik yang dilakukan manakala peralatan/unit/sistem telah mengalami gangguan unjuk kerja dan atau kerusakan sebagaimana dilaporkan oleh operator/penanggung jawab peralatan.

Perawatan/perbaikan peralatan dilakukan didasarkan pada order operator/ penanggung jawab peralatan, kemudian dilakukan pemeriksaan lapangan, persiapan suku cadang dan peralatan yang kemungkinan diperlukan. Kemudian langkah-langkah sesuai prosedur dan instruksi kerja dilakukan sampai dengan kerusakan ditemukan dan peralatan dapat beroperasi kembali. Ada kalanya perawatan ini tidak mencapai hasil yang diharapkan, sehingga peralatan harus menunggu suku cadang atau anggaran tahun berikutnya. Mekanisme yang dilakukan seperti terlihat pada skema **Gambar 2**.

Perawatan dan atau perbaikan peralatan dapat dilakukan oleh pihak ketiga apabila dipandang perlu dan mendapatkan persetujuan pembiayaan melalui rencana kegiatan pada tahun anggaran sebelumnya. Keterlibatan staf perawatan dan perbaikan peralatan dalam kegiatan tersebut hanya sebagai supervisor.

**3. Pengelolaan Gudang Suku Cadang**

Pengelolaan gudang suku cadang peralatan IPLR adalah merupakan salah satu tugas melekat yang berada di bawah Sub Bidang Perawatan dan Perbaikan Peralatan - Bidang Operasi dan Sarana Penunjang. Sebagaimana tugas lainnya, pengelolaan gudang suku cadang juga merupakan tugas untuk pelayanan kebutuhan operasional pelaksanaan kegiatan teknis. Kegiatan pengelolaan gudang suku cadang peralatan meliputi penataan barang/*spare-part* di gudang, penataan administrasi pergudangan, dan pelayanan pengadaan serta distribusi *spare-part* peralatan proses pengolahan limbah radioaktif di PTLR-BATAN Serpong.



**Gambar 2.** Skema Perawatan/Perbaikan Peralatan.

#### 4. Pengembangan Bengkel Elektromekanik

Bengkel merupakan sarana penunjang yang penting bagi suatu instalasi nuklir maupun non-nuklir dan sangat membantu tugas Subbid. P3-BOSP dalam melaksanakan tugas sehari-hari. Mengingat instalasi pengolahan limbah radioaktif sudah dioperasikan kurang lebih 25 tahun (diresmikan 5 Desember 1988) maka dibutuhkan perawatan preventif maupun kuratif yang serius.

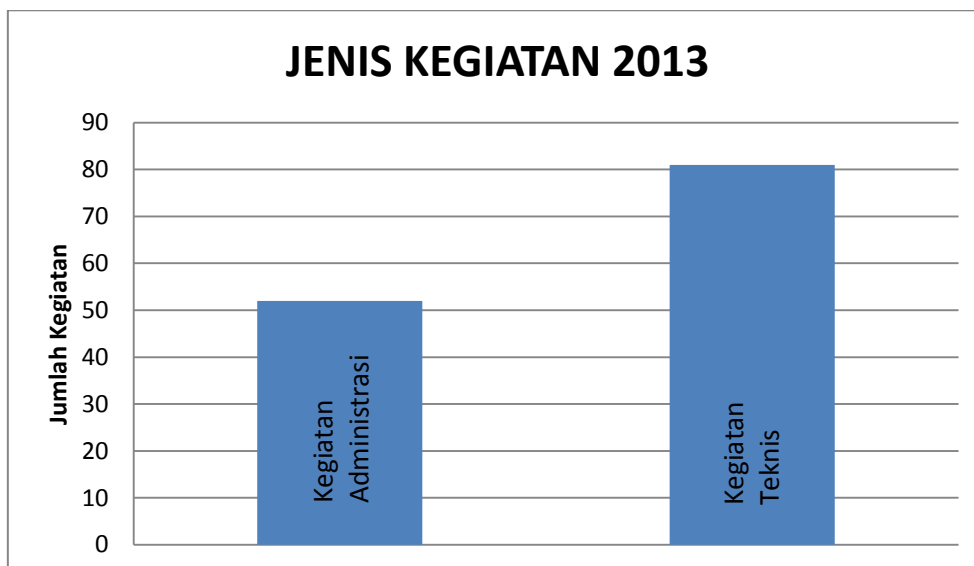
Pengoperasian dan pengembangan peralatan bengkel elektromekanik yang memadai diharapkan dapat menghemat biaya dan waktu bilamana ada kerusakan peralatan yang sekiranya Subbid. P3-BOSP mampu memperbaiki dengan segera.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeliharaan berupa inspeksi secara periodik pada fasilitas pengolahan dan peralatan dukung, guna mencegah dan mengatasi kerusakan yang mendadak. Pemeliharaan harian, mingguan sampai bulanan dilakukan sebagai awal kegiatan operasi peralatan oleh *user* sebagai operator dan penanggung jawab langsung sistem/peralatan, sedang perawatan triwulan dan tahunan dilakukan oleh Subbid. P3-BOSP.

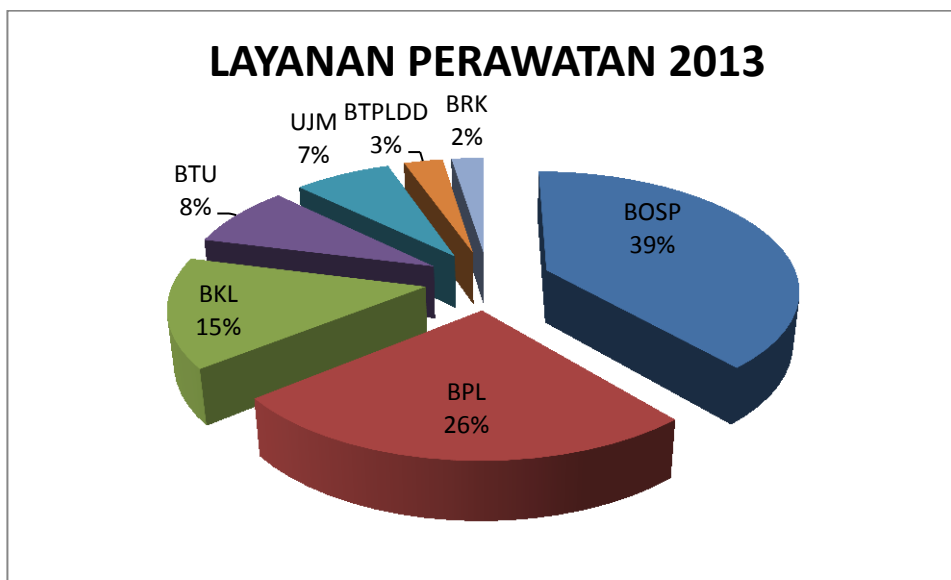
Perbaikan oleh pihak ketiga pada tahun 2013 sebanyak lima kegiatan yaitu, perbaikan *Compressed Air System*, perbaikan *Service Water System*, Perbaikan Generator Set, Sistem Distribusi Listrik IPLR dan Kelistrikan KH-IPSB3. Anggaran yang disediakan Rp. 1.245.000.000,- semua telah berjalan baik sesuai rencana.

Kegiatan pengadaan peralatan baru untuk mendukung pelaksanaan kerja berupa *Power Quality Analysis*, *Infrared Camera Thermal Imaging*, *Earth Tester*, *Vibrometer Digital* dan peralatan elektromekanik, peralatan pengolah data, komunikasi dan fasilitas perkantoran. Anggaran yang tersedia Rp. 412.400.000,- semua telah tercapai sesuai dengan rencana.



Gambar 3. Jenis Kegiatan Perawatan/Perbaikan Tahun 2013.

Kegiatan perawatan/perbaikan pada tahun 2013 dilakukan berdasarkan pada pengumpulan data dan analisis dari hasil laporan pemeriksaan berkala peralatan dan jadwal pemeliharaan maupun permintaan dari *user*, sehingga terkumpul 133 sub kegiatan. Kegiatan tersebut terdiri dari 52 (39%) sub kegiatan administrasi dan 81 (61%) sub kegiatan teknis, seperti terlihat pada **Gambar 3** serta disajikan dalam bentuk tabel (**lampiran 1**) dan dokumentasi **lampiran 2**.



**Gambar 4.** Layanan Perawatan/Perbaikan Peralatan Tahun 2013.

Perawatan/perbaikan peralatan IPLR dan KH-IPSB3 pada periode tahun 2013 mengalami penurunan 14% dibanding tahun 2012 namun bila diamati dari waktu yang dibutuhkan dalam setiap penyelesaian kegiatan perawatan jauh lebih panjang dikarenakan jenis kerusakannya makin rumit dibanding tahun-tahun sebelumnya. Saat ini terdapat 133 sub kegiatan dilakukan oleh Subbid P3-BOSP. Secara umum seluruh kegiatan dapat dilaksanakan dengan baik sehingga dapat menunjang operasional IPLR sesuai rencana.

Sub Bidang Perawatan dan Perbaikan Peralatan – BOSP dalam kegiatannya melayani order perawatan dan perbaikan dari seluruh bidang-bidang dan unit yang ada di PTLR. Layanan perawatan/ perbaikan peralatan tahun 2013 ditunjukkan pada **Gambar 4**. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa layanan perawatan yang terbanyak dari intern bidang mencapai 39%, yang sebagian besar melayani Sub Bidang Operasi Sarana Penyedia Media dan Energi (OSPME). Bidang Pengolahan Limbah (BPL) 26%, Bidang Keselamatan Lingkungan (BKL) 15%, Bagian Tata Usaha (BTU) 8%, Unit Jaminan Mutu (UJM) 7%, dan Bidang Teknologi Pengolahan Limbah Dekontaminasi Dekomisioning (BTPLDD) 3%, sedang Bidang Radioekologi dan Kelautan (BRK) 2%, Bidang Teknologi Pengolahan Limbah (BTPL) dan Unit Pengamanan Nuklir (UPN) termasuk kegiatan terkait lain. Bidang Pengolahan Limbah (BPL) mengalami penurunan permintaan layanan pada tahun 2013, presentase permintaan menjadi 26% (20% tahun 2009, 20% tahun 2010, 26% tahun 2011,

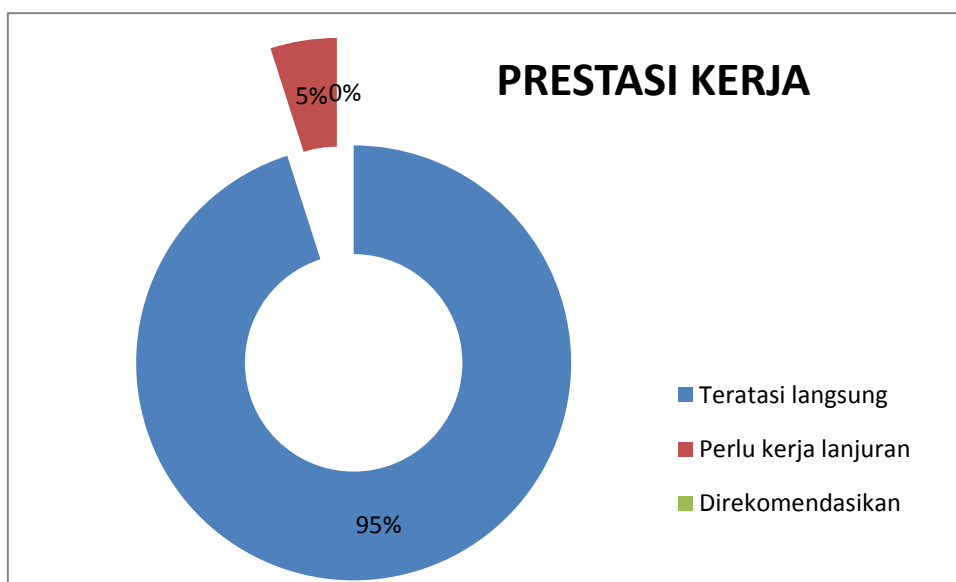
42% tahun 2012 dan 26% untuk tahun 2013) dikarenakan kegiatan perawatan dimasukkan dalam program pengolahan limbah sehingga mengurangi jumlah order perawatan/perbaikan.

Dari gambar dapat diketahui bahwa nilai keberhasilan staf P3-BOSP dalam menuntaskan kegiatan perawatan/perbaikan peralatan di PTLR cukup baik yang ditunjukkan pada **Gambar 5**. Ada 95% sub kegiatan yang dapat diatasi langsung sesuai program yang disepakati, bahkan ada *user/operator* yang ordernya dapat diselesaikan dalam hari itu juga. Sedangkan 5% sub kegiatan lagi dapat diselesaikan namun dengan penambahan waktu pelaksanaan disebabkan keterbatasan tenaga dan atau peralatan dikarenakan tingkat kesulitan pelaksanaan yang tinggi. Pada tahun 2013 tidak ada sub kegiatan yang pada akhirnya direkomendasikan untuk dilakukan oleh Pihak Ketiga.

Pengelolaan gudang yang baik akan menghindari hal-hal yang tidak menguntungkan. Beberapa kerugian yang akan timbul akibat kesalahan dalam pengelolaan gudang diantaranya adalah penumpukan *stock barang/spare-part*, kekosongan *stock barang*, dan kemungkinan adanya pengadaan barang di luar prosedur. Pada periode kegiatan 2013 ini pengolahan data suku cadang masih dilakukan manual dengan pencatatan kartu dan kegiatan ini mengandung kelemahan, bahkan data *stock opname* tidak dapat diketahui secara akurat dan cepat.

Pengembangan bengkel elektromekanik sudah cukup menggembirakan, dengan terpenuhinya pengadaan peralatan mulai lima tahun terakhir, maka kegiatan perawatan dan perbaikan peralatan di tahun 2013 banyak terbantu oleh kegiatan pengoperasian bengkel tersebut. Namun demikian realita di lapangan masih membutuhkan pengadaan beberapa peralatan bengkel terutama, bengkel elektronik dan SDM pelaksana kegiatan.

Dari data yang telah dilaporkan dapat diketahui bahwa secara umum kegiatan yang dilakukan oleh Subbid P3-BOSP dapat dikatakan cukup sukses.



**Gambar 5.** Prestasi Kinerja Perawatan Peralatan Tahun 2013.

Segala keterbatasan tenaga, peralatan dan dana masih dapat dikesampingkan demi mengemban amanah yang dibebankan, sehingga keberadaannya dapat menunjang operasional IPLR secara keseluruhan. Harapan dari staf Perawatan dan Perbaikan Peralatan hanya dalam bentuk dukungan dan kerjasamanya dari personil/staf bidang terkait.

## KESIMPULAN

Dari hasil kegiatan yang telah dipaparkan di atas, maka dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya :

1. Pemeliharaan peralatan IPLR dan KH-IPSB3 dapat berjalan sesuai jadwal yang telah diprogramkan pada awal tahun.
2. Perawatan/ perbaikan peralatan oleh Subbid. P3-BOSP tahun 2013 mencapai 133 sub kegiatan berupa 61% teknis dan 39% administrasi.
3. Perbaikan dan pengadaan peralatan oleh pihak ketiga dengan supervisi Subbid P3-BOSP telah dilakukan dengan baik.
4. Kinerja staf P3-BOSP cukup baik, karena dalam kegiatan perawatan/perbaikan peralatan 95% dapat diselesaikan tepat waktu, 5% perlu kerja lanjutan dan tidak ada yang ditindaklanjuti dengan rekomendasi.
5. Pengelolaan gudang suku cadang belum memuaskan karena masih dilakukan manual, perlu didukung peralatan dan atau program pengolahan data. Sedangkan pengoperasian dan pengembangan peralatan bengkel sudah cukup baik.
6. Secara umum perawatan dan perbaikan telah berjalan baik, sehingga dapat menunjang operasional IPLR secara keseluruhan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ANONIM, *Program Perawatan Peralatan IPLR & KH-IPSB3*, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN, Serpong, 2012.
- [2]. ANONIM, *Prosedur Bidang Operasi Sarana Penunjang*, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN, Serpong, 2012.
- [3]. ANONIM, *Prosedur Perawatan Peralatan*, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN, Serpong, 2012.
- [4]. ANONIM, *Prosedur Perbaikan Peralatan*, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN, Serpong, 2012.
- [5]. ANONIM, *Rencana Strategis PTLR 2010-2014, Menjadi sentra nasional untuk layanan dan pengembangan teknologi pengelolaan limbah radioaktif, keselamatan lingkungan dan radioekologi kelautan yang handal*, PTLR, Serpong, 2010.
- [6]. ANONIM, *Rencana Strategis BATAN 2010-2014, Energi Nuklir sebagai Pemercepat Kesejahteraan Bangsa*, BATAN, Jakarta, 2010.
- [7]. MA'MOERI, E., SOETRISNO, *Pengelolaan Informasi dan Teknik Pelaporan*, Bahan Ajar Diklatpim Tingkat IV, Lembaga Administrasi Negara Republik Indonesia, Jakarta, 2001.

## Lampiran 1

Tabel 1. Kegiatan Pemeliharaan dan Perawatan Peralatan 2013.

No.	Tanggal	Kegiatan	User	Keterangan
1	2	3	4	5
1	07 Januari 2013	Rapat koordinasi	P3-BOSP	Dilakukan koordinasi rencana pelaksanaan kegiatan pemeliharaan peralatan.
2	08 Januari 2013	Pengajuan pengadaan Motor. Operasional pemeliharaan kawasan.	P3-BOSP	Mengisi form. Pengadaan dilakukan oleh fihak ke tiga. Menunggu realisasi.
3	08 Januari 2013	Rapat persiapan perbaikan Kompersor dan Genset System.	P3-BOSP	Pra pengadaan perbaikan oleh fihak ke tiga. Menunggu realisasi.
4	09-10 Januari 2013	Pembuatan laporan 2012.	P3-BOSP	Laporan Tahunan. Dilakukan pelaporan kegiatan yang telah dilakukan periode Januari-Desember 2012.
5	09-14 Januari 2013	Perawatan/perbaikan <i>Normal Drainage System</i> . Gedung 50.	OSPME-BOSP	Dilakukan pengecekan fisik, motor-pompa, piping dan pemeriksaan sistem otomasi peralatan. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
6	10 Januari 2013	Pengajuan pengadaan Alat Pengolah Data dan Komunikasi.	P3-BOSP	Mengisi form dan melampirkan data spesifikasi. Pengadaan dilakukan oleh fihak ke tiga. Menunggu realisasi.
7	11-12 Januari 2013	Perawatan/perbaikan <i>AHU Office</i> . Gedung 50.	OSPME-BOSP	Dilakukan pengecekan fisik, setting dan penggantian bearing As Fan/Blower AHU serta pemeriksaan sistem otomasi peralatan. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
8	14 Januari 2013	Rapat Tim Pemeliharaan IPLR & KH-IPSB3.	BPL, BKL, BOSP	Persiapan, re-skedul, koordinasi kegiatan dan penuntasan rencana kegiatan triwulan1. Tim dapat bekerja dengan baik.
9	15-16 Januari 2013	Presentasi Uskeg dan Uspen 2013.	PTLR	Persiapan, sosialisasi kegiatan komponen bidang/bagian/unit di PTLR. Sosialisasi berjalan dengan baik.
10	17-18 Januari 2013	Rapat Koordinasi Pemeliharaan Peralatan IPLR & KH-IPSB3. Cipanas.	BPL, BKL, BOSP	Koordinasi kegiatan, sceduling dan kesepakatan rencana kegiatan 2013. Koordinator dan anggota ahli tim dapat bekerja dengan baik.
11	21 Januari 2013	Revisi Draft Tim Pemeliharaan Peralatan IPLR & KH-IPSB3.	BTU, BOSP	Pembuatan SK Tim Pemeliharaan kegiatan tahun 2013.
12	21 Januari 2013	Perawatan/perbaikan <i>Normal Drainage System</i> . Gedung 50.	OSPME-BOSP	System tidak dapat beroperasi. Dilakukan pengecekan fisik dan perbaikan sistem otomasi peralatan. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
13	22-28 Januari 2013	Penyiapan data lelang Compressed Air System.	P3-BOSP	Melakukan inspeksi, verifikasi, komparasi dan survey serta membuat data spesifikasi/HPS. Spesifikasi/lampiran pengadaan siap.
14	22 Januari 2013	Rapat persiapan perbaikan Sistem Distribusi Kelistrikan IPLR dan Kelistrikan KH-IPSB3. Gedung 51, 50 dan 38.	P3-BOSP	Pra pengadaan perbaikan oleh fihak ke tiga. Melakukan identifikasi dan verifikasi serta pembuatan draft lampiran lelang. Draft lelang sudah diperoleh.
15	23 Januari 2013	Pengelolaan dokumen order perbaikan peralatan IPLR dan KH-IPSB3.	P3-BOSP	Melakukan pemeriksaan, penyusunan dan penataan form/dokumen rekaman. Dokumen tertata dengan baik.
16	25 Januari 2013	Membuat draft Usulan Kegiatan Pemeliharaan dan Perbaikan Peralatan 2014	P3-BOSP	Melakukan pemutahiran data, penyusunan dan pembuatan usulan kegiatan 2014. Dokumen draft usulan siap.
17	29-30 Januari 2013	Perawatan/perbaikan <i>Unit Laundry</i> . Gedung 50.	BPL-BOSP	System tidak dapat beroperasi. Dilakukan pengecekan fisik dan perbaikan sistem otomasi peralatan. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
18	01 Februari 2013	Pengecekan system pendingin ruangan di gedung 52	PPS-BPL	Dilakukan pemeriksaan/pengecekan. Peralatan dapat difungsikan kembali.



1	2	3	4	5
19	05-07 Februari 2013	Perawatan/perbaikan <i>Hand Manipulator</i> . Gedung 53.	BPL-BOSP	System tidak dapat beroperasi. Dilakukan pengecekan fisik dan perbaikan sistem mekanik peralatan. Peralatan belum dapat dioperasikan kembali karena masih ada spare-part yang tidak tersedia.
20	05-07 Februari 2013	Perawatan/perbaikan <i>Blower Fan</i> . Gedung 53.	BPL-BOSP	System tidak dapat beroperasi. Dilakukan pengecekan fisik dan perbaikan sistem mekanik dan elektrik peralatan. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
21	08 Februari 2013	Perawatan Cooling Tower System. Out Door, Gedung 51.	OSPME- BOSP	Dilakukan pengecekan, dan perawatan. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
22	12-14 Februari 2013	Perencanaan bahan dan <i>spare part</i> elektromekanik.	P3-BOSP	Pra pengadaan suku cadang. Dilakukan penyusunan kebutuhan suku cadang terkini yang dibutuhkan tahun 2013.
23	14-15 Februari 2013	Pemeliharaan VAC-Off gas KH- IPSB3, Gedung 38	PPS-BPL	Dilakukan pemantauan dan pengecekan AHU KH-IPSB3. Peralatan dapat difungsikan kembali.
24	18-19 Februari 2013	perbaikan AHU Office. Gedung 50	P3-BOSP	AHU tidak dapat dioperasikan. Dilakukan pemeriksaan, perbaikan dan penggantian suku cadang. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
25	19 Februari 2013	Verifikasi data perbaikan kelistrikan KH-IPSB3, Gedung 38	BPL, BOSP	Melakukan pemutahiran data, penyusunan dan pembuatan usulan pengadaan lelang perbaikan. Dokumen lampiran lelang siap.
26	20-21 Februari 2013	Perawatan Chiller System.	P3-BOSP	Chiller E62303. Dilakukan cleaning dan penambahan freon. Chiller dapat difungsikan kembali.
27	21 Februari 2013	Pembuatan SKP P3-BOSP.	P3-BOSP	Melakukan rekap kegiatan dalam rangka pengisian SKP 2013.
28	22 Februari 2013	Usulan Rencana Revitalisasi PTLR 2015-2019.	BOSP, PTLR	Melakukan penyusunan daftar rencana kegiatan revitalisasi peralatan PTLR. Draft usulan 2015-2019 siap.
29	25 Februari 2013	Pembuatan SKP P3-BOSP.	P3-BOSP	Melakukan input SKP perorangan pada program SIKAP-BATAN.
30	25 Februari 2013	Perawatan Jaringan UPS. Gedung 50.	PTLR	Dilakukan pengecekan, pembersihan dan pengukuran. Peralatan dapat difungsikan kembali.
31	26-27 Februari 2013	Perawatan Chiller KH-IPSB3 Gedung 38.	PPS-BPL	Chiller trip. Dilakukan pengecekan, setting kontrol. Peralatan dapat difungsikan kembali.
32	27-28 Februari 2013	Pemeliharaan chiller E62304. <i>Out Door</i> Gedung 51.	OSPME- BOSP	Chiller tidak dapat hidup. Dilakukan pengecekan, pemeriksaan dan perbaikan flow switch. Peralatan dapat difungsikan kembali.
33	01-04 Maret 2013	Pengisian SKP 2013	P3-BOSP	Dilakukan rapat pembuatan SKP dan revisi pengisian SKP dalam SIKAP.
34	04-06 Maret 2013	Perbaikan AHU Office. Gedung 50	P3-BOSP	AHU tidak dapat dioperasikan. Dilakukan pemeriksaan, perbaikan dan penggantian suku cadang. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
35	07 Maret 2013	Kontrak Lelang	P3-BOSP	Kontrak pengadaan peralatan elektromekanik. Menunggu pengadaan oleh pihak ketiga.
36	09-10 Maret 2013	Perbaikan AHU Office. Gedung 50	P3-BOSP	AHU beroperasi tidak normal. Dilakukan lembur perbaikan dan penggantian suku cadang. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
37	14-15 Maret 2013	Pemeliharaan lingkungan kerja. Gedung 51	P3-BOSP	Dilakukan pembersihan lingkungan kerja, lingkungan peralatan/unit/system dan penataan kenyamanan kerja.
38	18 Maret 2013	Revisi Dokumen	P3-BOSP	Dilakukan rapat revisi dokumen pemeliharaan IPLR untuk memberikan layanan yang lebih baik.
39	19 Maret 2013	Revitalisasi Genset Gedung 51	P3-BOSP	Melakukan pemutahiran data, penyusunan dan pembuatan usulan pengadaan lelang perbaikan Genset. Dokumen lampiran lelang siap.

1	2	3	4	5
40	20-21 Maret 2013	Pengadaan Suku Cadang Elektromekanik	P3-BOSP	Melakukan pemutahiran data, penyusunan dan pembuatan usulan pengadaan lelang pengadaan bahan suku cadang. Dokumen lampiran lelang siap.
41	22 Maret 2013	Pemeliharaan VAC & Off-gas. Gedung 50	P3-BOSP	Dilakukan pembersihan lingkungan kerja, lingkungan peralatan/unit/system dan penataan kenyamanan kerja pengoperasian VAC & Off-gas. Peralatan terawat dan suasana kerja nyaman.
42	25-27 Maret 2013	Perbaikan Pompa Chilled Water. Gedung 51	P3-BOSP	Pompa beroperasi tidak normal. Dilakukan perbaikan dan penggantian suku cadang P62303 dan P62304. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
43	26-28 Maret 2013	Komparasi Pemeliharaan Instrumentasi Nuklir di PTAPB Yogyakarta	PTLR, PTAPB	Dinas komparasi 4 staf. Dilakukan pembelajaran dan tukar pengalaman dengan bidang sejenis. Diperoleh pengalaman dan ilmu baru dalam rangka penyelesaian tugas.
44	28 Maret 2013	Perawatan <i>Blower and Exhaust fan VAC-Off gas System.</i> Gedung 50	P3-BOSP	Perawatan berkala. Dilakukan <i>greasing, setting</i> dan kalibrasi. Peralatan siap dioperasikan kembali.
45	01-02 April 2013	Komparasi Pemeliharaan Instrumentasi Nuklir dan Sosialisasi Log Book di PTLR. Gedung 50	PTLR, PTNBR, PTAPB	Komparasi Pemeliharaan dan Rekaman. Dilakukan pembelajaran dan tukar pengalaman dengan bidang sejenis. Diperoleh pengalaman dan ilmu baru dalam rangka penyelesaian tugas.
46	03 April 2013	Jaringan LAN dan Internet. Gedung 50.	PTLR	Dilakukan pemeriksaan, pengecekan dan setting komputer. Komputer dan jaringan berfungsi kembali.
47	03-04 April 2013	Perbaikan Pompa Chilled Water. Gedung 51	P3-BOSP	Pompa beroperasi tidak normal. Dilakukan perbaikan dan penggantian suku cadang P62304. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
48	04 April 2013	Laporan Berkala Tahun 2013	P3-BOSP	Laporan Triwulan I. Dilakukan pelaporan kegiatan yang telah dilakukan periode Januari-Maret 2013.
49	04-07 April 2013	Perbaikan AHU Proses. Gedung 50	P3-BOSP	AHU proses bocor/banjir. Dilakukan pemeriksaan, perbaikan, pengelasan dan penggantian suku cadang. Peralatan sementara dapat dioperasikan, perlu kerja lanjutan.
50	08-10 April 2013	Perbaikan AHU Proses. Gedung 50	P3-BOSP	AHU proses bocor/banjir. Dilakukan pemeriksaan, perbaikan, pengelasan dan penggantian suku cadang. Peralatan sementara dapat dioperasikan kembali.
51	09-10 April 2013	Seminar Hasil Penelitian dan Kegiatan 2012. Gedung 50	P3-BOSP	Sebagai penyaji dan peserta seminar. Dapat mengetahui perkembangan kegiatan seputar PTLR.
52	11-12 April 2013	Revisi Dokumen Pemeliharaan. Cipanas.	BOSP, BPL, BKL, UJM	Dilakukan rapat penetapan revisi dokumen pemeliharaan IPLR untuk memberikan layanan yang lebih baik.
53	22-24 April 2013	Rakor Pengelolaan Limbah RA. Yogyakarta.	BATAN	Dilakukan rapat koordinasi pengelolaan limbah RA, B3 dan BBNB untuk sosialisasi peraturan dan mendapatkan input layanan yang lebih baik.
54	25 April 2013	Koordinasi pelaksanaan revitalisasi Sistem Distribusi Listrik dan Service Water System. Gedung 50.	PTLR	Dilakukan rapat koordinasi pelaksanaan revitalisasi guna mendapatkan data dan input terkini yang sangat bermanfaat.
55	26 April 2013	Pengecekan pendingin ruangan. Gedung 71.	BRK	Pendingin mati. Dilakukan pengecekan ketidaksesuaian. Peralatan berfungsi kembali.
56	29-30 April 2013	Kursus Singkat Pengoperasian Peralatan Elektromekanik. Gedung 50.	PTLR	Dilakukan pembelajaran dalam penggunaan peralatan kerja pemeliharaan peralatan.
57	01 Mei 2013	Perawatan Meja Getar dan sistem pengolah limbah padat. Gedung 50.	PLP-BPL	Dilakukan greasing dan pelumasan bagian-bagian yang bergerak. Peralatan dapat difungsikan kembali.

1	2	3	4	5
58	02 Mei 2013	Pemeliharaan VAC-Off gas KH-IPSB3, Gedung 38.	PPS-BPL	Dilakukan pemantauan, pengecekan dan perbaikan AHU KH-IPSB3. Peralatan dapat difungsikan kembali.
59	03 Mei 2013	Perawatan Sarana komunikasi/internet. Gedung 50.	PTLR	Dilakukan pemeliharaan wiring, sambungan dan setting. Peralatan dapat difungsikan kembali.
60	06-07 Mei 2013	Perawatan sistem Purifikasi KH-IPSB3. Gedung 38.	PPS-BPL	Perawatan berkala. Dilakukan pengecekan, pengencangan baut dan setting control operasi. Peralatan berfungsi kembali.
61	08 Mei 2013	Perawatan Chiller E62301. <i>Out door</i> gedung 51.	OSPME-BOSP	Perawatan berkala. Dilakukan pengecekan, pengencangan baut, grasing dan setting control operasi. Peralatan berfungsi kembali.
62	10 Mei 2013	Perawatan sistem Chiller KH-IPSB3, Gedung 38.	PPS-BPL	Perawatan berkala. Dilakukan pengecekan, pengencangan baut, grasing dan setting control operasi. Peralatan berfungsi kembali.
63	13-15 Mei 2013	Revisi RKAKL dan RAB	BOSP	Revisi anggaran dan kegiatan pemeliharaan dan perawatan IPLR.
64	16-17 Mei 2013	Workshop Uji Cicip BBNB Bandung.	PTLR, PTNBR	Dinas ke PTNBR Bandung. Dilakukan pembelajaran dan tukar pengalaman dengan bidang sejenis. Diperoleh pengalaman dan ilmu baru dalam rangka penyelesaian tugas.
65	20-22 Mei 2013	Audit PSJMN	BOSP	Melayani audit dari PSJMN. Senyapkan semua dokumen dan pertanyaan yang dibutuhkan.
66	22 Mei 2013	Perbaikan pneumatic Insenerator. Gedung 50.	BPL	Pneumatic tidak berfungsi. Dilakukan pemeriksaan dan perbaikan. Peralatan berfungsi kembali.
67	23-24 Mei 2013	Perbaikan Compressed Air System. Gedung 51.	OSPME-BOSP	Revitalisasi. Dilakukan supervisi perbaikan.
68	27-28 Mei 2013	Revisi Dokumen Perawatan dan Operasi Peralatan MES. Cipanas.	BOSP, UJM	Dilakukan rapat penetapan revisi dokumen untuk memberikan layanan yang lebih baik. Perlu kerja lanjutan.
69	29-30 Mei 2013	Perbaikan Compressed Air System. Gedung 51.	OSPME-BOSP	Revitalisasi. Dilakukan supervisi perbaikan.
70	03-07 Juni 2013	Perbaikan Compressed Air System. Gedung 51.	OSPME-BOSP	Revitalisasi. Dilakukan supervisi perbaikan. Perlu kerja lanjutan.
71	10 Juni 2013	Perbaikan peralatan KH-IPSB3. Gedung 38.	BPL, BOSP	Dilakukan supervisi perbaikan peralatan sarana penunjang KH-IPSB3.
72	10-13 Juni 2013	Perbaikan Compressed Air System. Gedung 51.	OSPME-BOSP	Revitalisasi. Dilakukan supervisi perbaikan. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
73	24-25 Juni 2013	Pengadaan bahan elektromekanik. Gedung 51.	BOSP	Dilakukan supervisi pengadaan bahan suku cadang elektromekanik anggaran 2013.
74	26-27 Juni 2013	Training Teknik Kalibrasi Flowmeter Bandung.	PTLR	Dinas mengikuti pelatihan SPIN Bandung. Dilakukan pembelajaran serta menggali pengalaman dengan institusi/bidang sejenis. Diperoleh pengalaman dan ilmu baru dalam rangka penyelesaian tugas.
75	28 Juni 2013	Rapat Pemeliharaan. Gedung 50.	BPL, BKL, BOSP	Dilakukan pemantauan program, realisasi kegiatan, dan capaian kerja Tim Pemeliharaan serta presentasi hasil training peningkatan SDM.
76	01-02 Juli 2013	Perawatan <i>Lighting System</i> . Gedung 50.	BTU	Beberapa system penerangan mati. Dilakukan pemeriksaan dan penggantian lampu TL. Ruangan terang kembali.
77	02 Juli 2013	Pelaporan Triwulan II	P3-BOSP	Pelaporan kegiatan triwulan II Perawatan dan Perbaikan Peralatan.
78	02-03 Juli 2013	Pemeliharaan Chiller E62301. <i>Out Door</i> Gedung 51.	OSPME - BOSP	Dilakukan pemeriksaan sistem mekanis dan kontrol. Peralatan siap dioperasikan.

1	2	3	4	5
79	04-05 Juli 2013	Pemeliharaan IPLR & KH-IPSB3. Gedung 50, 38.	BPL, BKL, BOSP	Dilakukan supervisi, pemantauan program, realisasi kegiatan, dan capaian kerja Tim Pemeliharaan.
80	06-07 Juli 2013	Perbaikan Sistem Distribusi Listrik IPLR. Gedung 50.	P3-BOSP	Revitalisasi. Dilakukan lembur dalam rangka supervisi perbaikan.
81	08 Juli 2013	Perawatan/perbaikan <i>Blower Fan</i> . Gedung 53.	BPL-BOSP	System tidak dapat beroperasi. Dilakukan pengecekan fisik dan perbaikan sistem mekanik dan elektrik peralatan. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
82	09 Juli 2013	Pemeliharaan sistem Penerangan. Gedung 52.	BPL, BTPLDD	Lampu penerangan mati. Dilakukan penggantian lampu TL di ruang PLC-BPL dan Lab BTPLDD. Ruangan dapat difungsikan kembali.
83	09 Juli 2013	Audit Operasi dan Pemeliharaan PTLR	BOSP	Melayani audit dari PSJMN. Menyiapkan semua dokumen dan pertanyaan yang dibutuhkan.
84	11-13 Juli 2013	RAB 2014	BOSP	Membuat RAB anggaran dan kegiatan pemeliharaan dan perawatan IPLR tahun 2014.
85	16-17 Juli 2013	Revisi LAK KH-IPSB3. Cipanas.	BPL, BKL, BOSP	Dilakukan rapat penetapan revisi dokumen LAK KH-IPSB3 untuk menjawab tantangan pengelolaan BBNB yang lebih baik.
86	18-19 Juli 2013	Kalibrasi Transmitter Unit Evaporasi. Gedung 50.	BPL, BKL, BOSP	Dilakukan kalibrasi parameter kontrol dukung operasi unit .
87	23-26 Juli 2013	Perbaikan Sistem Distribusi Listrik IPLR. Gedung 50 dan 51.	P3-BOSP	Revitalisasi. Dilakukan pemeriksaan dan supervisi perbaikan. Perlu kerja lanjutan.
88	24 Juli 2013	Pemeliharaan Unit Evaporasi. Gedung 50.	BPL	Dilakukan kalibrasi level transmitter. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
89	24-26 Juli 2013	Perbaikan Generator Set. Gedung 51.	P3-BOSP	Revitalisasi. Dilakukan pemeriksaan dan supervisi perbaikan. Perlu kerja lanjutan.
90	24-26 Juli 2013	Perbaikan Service Water System. Gedung 51.	P3-BOSP	Revitalisasi. Dilakukan pemeriksaan dan supervisi perbaikan. Perlu kerja lanjutan.
91	29-31 Juli 2013	Perbaikan Sistem Distribusi Listrik IPLR. Gedung 50 dan 51.	P3-BOSP	Revitalisasi. Dilakukan pemeriksaan dan supervisi perbaikan. Perlu kerja lanjutan.
92	29-31 Juli 2013	Perbaikan Generator Set. Gedung 51.	P3-BOSP	Revitalisasi. Dilakukan pemeriksaan dan supervisi perbaikan. Perlu kerja lanjutan.
93	29-31 Juli 2013	Perbaikan Service Water System. Gedung 51.	P3-BOSP	Revitalisasi. Dilakukan pemeriksaan dan supervisi perbaikan. Perlu kerja lanjutan.
94	01 Agustus 2013	Rapat Forum Keselamatan. Gedung 50.	PTLR	Temuan Inspeksi Bapeten. Dilakukan pembahasan langkah menjawab/ mengatasi temuan.
95	02 Agustus 2013	Pemeriksaan peralatan pra libur panjang.	PTLR	Dalam rangka libur lebaran. Dilakukan langkah antisipasi kejadian tak diinginkan yang dapat terjadi.
96	19-22 Agustus 2013	Perbaikan AHU Office. Gedung 50	P3-BOSP	AHU tidak dapat dioperasikan. Dilakukan pemeriksaan, perbaikan dan penggantian suku cadang. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
97	26 Agustus 2013	Supervisi perbaikan pendingin ruangan. Gedung 50.	BTU	Dilakukan <i>supervisi</i> dalam pelaksanaan perbaikan peralatan. Perlu kegiatan lanjutan.
98	27 Agustus 2013	Pemeliharaan Chilled water system. Gedung 51.	OSPME- BOSP	Dilakukan penggantian ruber coupling motor-pompa. Peralatan berfungsi kembali.
99	28 Agustus 2013	Pemeliharaan sistem Penerangan KH-IPSB3. Gedung 38	PPS-BPL	Dilakukan penggantian lampu TL yang telah mati. Kanal hubung terang kembali.
100	29-30 Agustus 2013	Perbaikan Service Water System. Gedung 51.	P3-BOSP	Pasca revitalisasi. Dilakukan uji fungsi peralatan sesuai kontrak. Peralatan dapat dioperasikan kembali.

1	2	3	4	5
101	04-05 September 2013	Perbaikan Demin water. Gedung 51.	OSPME- BOSP	Unit Demin bocor. Dilakukan pemeriksaan & penggantian suku cadang. Peralatan dapat difungsikan kembali.
102	06-07 September 2013	Perbaikan Lifting Condensate. Gedung 50.	OSPME- BOSP	Pompa tidak bekerja. Dilakukan pemeriksaan, pembongkaran dan perbaikan. Peralatan dapat difungsikan kembali.
103	09 September 2013	Perbaikan VAC & Off-gas System. Gedung 50.	OSPME- BOSP	Motor mati. Dilakukan pemeriksaan, penggantian MCCB. Peralatan dapat difungsikan kembali.
104	09 September 2013	Perbaikan Kelistrikan LAB. Gedung 50.	PA-BPL	Listrik Laboratorium mati. Dilakukan pemeriksaan, penggantian MCB. Peralatan dapat difungsikan kembali.
105	12-13 September 2013	Finalisasi Dokumen Pemeliharaan. Cipanas.	BPL, BOSP, UJM	Revisi Dokumen pemeliharaan KH-IPSB3. Dilakukan pembahasan dan finalisasi dokumen.
106	18-19 September 2013	Perbaikan Normal Drainage. Gedung 50.	PTLR	Pompa tidak bekerja. Dilakukan pemeriksaan, penggantian suku cadang dan perbaikan. Peralatan dapat difungsikan kembali.
107	21-22 September 2013	Perbaikan Kelistrikan KH-IPSB3. Gedung 38.	BPL	Revitalisasi. Dilakukan pemeriksaan dan supervisi perbaikan. Perlu kerja lanjutan.
108	23 September 2013	Perbaikan AHU ruang tangki destilat. Gedung 50.	BPL	AHU tidak bekerja. Dilakukan pemeriksaan, penggantian suku cadang dan perbaikan. Peralatan dapat difungsikan kembali.
109	24 September 2013	Perbaikan Kolom Netralisasi. Gedung 50.	BPL	Peralatan tidak bekerja. Dilakukan pemeriksaan, penggantian suku cadang dan perbaikan. Peralatan dapat difungsikan kembali.
110	26-27 September 2013	Perbaikan Boiller. Gedung 51.	OSPME- BOSP	Peralatan tidak bekerja. Dilakukan pemeriksaan, penggantian suku cadang dan perbaikan. Peralatan dapat difungsikan kembali.
111	30 September 2013	Perbaikan VAC & Off-gas. Gedung 50.	OSPME- BOSP	Peralatan tidak bekerja. Dilakukan pemeriksaan, penggantian suku cadang dan perbaikan. Perlu lanjutan.
112	01-02 Oktober 2013	Perbaikan VAC & Off-gas. Gedung 50.	OSPME- BOSP	Peralatan tidak bekerja. Dilakukan pemeriksaan, penggantian suku cadang dan perbaikan. Peralatan dapat difungsikan kembali.
113	02 Oktober 2013	Laporan Triwulan III	P3-BOSP	Pelaporan kegiatan triwulan III Perawatan dan Perbaikan Peralatan PTLR.
114	07-08 Oktober 2013	Perbaikan AHU Office. Gedung 50	P3-BOSP	AHU getaran tinggi saat dioperasikan. Dilakukan penggantian support. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
115	10-11 Oktober 2013	Workshop Perawatan Jaringan. Gedung 50	PTLR	Dilakukan pelatihan pemanfaatan jaringan untuk regenerasi dengan melibatkan pengguna bidang terkait.
116	16-18 Oktober 2013	Perbaikan Pompa Chilled Water. Gedung 51	P3-BOSP	Pompa bocor saat dioperasikan. Dilakukan pemeriksaan, penggantian suku cadang dan perbaikan. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
117	24-26 Oktober 2013	Training Teknik Supervisi dan Inspeksi Mutu. Bandung.	PTLR	Dinas mengikuti pelatihan SPIN Bandung. Dilakukan pembelajaran serta menggali pengalaman dengan institusi/bidang sejenis. Diperoleh pengalaman dan ilmu baru dalam rangka penyelesaian tugas.
118	28-29 Oktober 2013	Perbaikan Sistem Distribusi Listrik. Gedung 50, 51.	P3-BOSP	Pasca revitalisasi. Dilakukan uji fungsi peralatan sesuai kontrak. Peralatan dapat dioperasikan kembali.
119	30-31 Oktober 2013	Addendum LAK KH-IPSB3.	BPL, BKL, BOSP	Dilakukan rapat dan pembahasan addendum dokumen LAK KH-IPSB3 untuk menjawab temuan Bapeten.
120	06-08 Nopember 2013	Workshop Manajemen Penuaan KH-IPSB3. Gedung 50	PTLR	Dilakukan pelatihan pra persiapan/ pembuatan dokumen Manajemen Penuaan KH-IPSB3.

1	2	3	4	5
121	13-16 Nopember 2013	Perbaikan Genset. Gedung 51.	OSPME- BOSP	Genset tidak dapat dioperasikan. Dilakukan pemeriksaan, penggantian suku cadang dan perbaikan. Perlu kerja lanjutan.
122	19 Nopember 2013	Audit Pemeliharaan dan Perbaikan IPLR & KH-IPSB3.	BOSP, UJM	UJM melakukan audit kegiatan pemeliharaan, perawatan dan perbaikan peralatan tahun 2013.
123	20-22 Nopember 2013	Workshop Penggunaan Alat Kerja dan Rekaman Digital. Gedung 50	PTLR	Dilakukan pelatihan dalam rangka pemenuhan kebutuhan Tim Pemeliharaan Peralatan IPLR & KH-IPSB3.
124	26-27 Nopember 2013	Perbaikan Genset. Gedung 51.	OSPME- BOSP	Genset tidak dapat dioperasikan. Dilakukan pemeriksaan, penggantian modul dan perbaikan otomatisasi. Peralatan dapat difungsikan kembali.
125	28 Nopember 2013	Rapat Koordinasi Tim Pemeliharaan IPLR & KH-IPSB3. Gedung 50	PTLR	Dilakukan koordinasi dalam rangka pelaksanaan kerja Tim Pemeliharaan Peralatan IPLR & KH-IPSB3.
126	02-06 Desember 2013	Perbaikan Lobby MES. Gedung 51	BTU, BOSP	Dilakukan pemeriksaan dan supervisi perbaikan. Sesuai spesifikasi dalam kontrak.
127	09-11 Desember 2013	Pembenahan ruang gudang dan rak <i>spare-parts</i> . Gedung 51.	P3-BOSP	Dalam rangka kemudahan temu kembali <i>spare-part</i> , kebersihan dan kerapihan gudang.
128	10-11 Desember 2013	Rekap data layanan gudang. Gedung 51.	P3-BOSP dan BTU	Dilakukan rekap data layanan, dan pemeriksaan kondisi suku cadang. Layanan gudang siap kembali.
129	11 Desember 2013	Pelaporan <i>Stock Opname</i> gudang <i>spare part</i> . Gedung 51.	P3-BOSP dan BTU	Pelaporan <i>stock opname</i> per semester ke Batan pusat sebagai data kekayaan negara melalui Subbag Perlengkapan.
130	12-13 Desember 2013	Rapat Evaluasi Tim Pemeliharaan IPLR & KH-IPSB3. Cipanas.	BOSP	Dilakukan Evaluasi kegiatan dalam rangka laporan pelaksanaan dan kinerja Tim Pemeliharaan Peralatan IPLR & KH-IPSB3.
131	17-18 Desember 2013	Monev kegiatan Pemeliharaan dan Perawatan IPLR & KH-IPSB3. Gedung 50.	PTLR, BP	Dilakukan monitoring kegiatan Pemeliharaan dan perawatan Peralatan IPLR & KH-IPSB3.
132	26-27 Desember 2013	Laporan Triwulan IV	P3-BOSP	Pelaporan kegiatan triwulan IV Perawatan dan Perbaikan Peralatan PTLR.
133	30-31 Desember 2013	Laporan Tahun 2013	P3-BOSP	Pelaporan kegiatan Tahun anggaran 2013. Perawatan dan Perbaikan Peralatan PTLR.

Lampiran 2

## Perbaikan/Revitalisasi Compressed Air System



## Perbaikan/Revitalisasi Service Water System





## Perbaikan/Revitalisasi Generator Set 625 KVA



## Perbaikan/Revitalisasi Sistem Distribusi Listrik IPLR



## Perbaikan/Revitalisasi Sistem Kelistrikan KH-IPSB3





## REVITALISASI SISTEM DISTRIBUSI KELISTRIKAN INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF

**Parjono, Sugianto**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif

### ABSTRAK

**REVITALISASI SISTEM DISTRIBUSI KELISTRIKAN INSTALASI PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF.** Sistem distribusi kelistrikan IPLR berfungsi untuk menyuplai energi listrik dari sumber ke jaringan beban. Sistem distribusi telah beroperasi lebih dari 25 tahun. Banyak komponen yang menurun kemampuannya akibat dari efek penuaan. Jika komponen tidak segera diganti, dikawatirkan akan terjadi kegagalan distribusi yang menghentikan kegiatan operasi pengelolaan limbah. Oleh karena itu, perlu dilakukan revitalisasi sistem distribusi kelistrikan. Kegiatan bertujuan untuk mengembalikan fungsi komponen sesuai dengan standar keselamatan. Kegiatan dilakukan dengan mengganti komponen - komponen yang sudah mengalami keausan karena umur pemakaian yaitu MCCB, bus bar, alat ukur tegangan dan arus serta instalasi jalur *emergency*. Kegiatan ini telah berhasil mengembalikan sistem distribusi kelistrikan sesuai Peraturan Umum Instalasi Listrik.

Kata kunci : distribusi kelistrikan

### ABSTRACT

**REVITALISATION OF ELECTRICAL DISTRIBUTION SISTEM IN RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT INSTALLATION (RWI).** *Electricity distribution sistem at RWI serves to supply energy from the source to the load network. The distribution sistem has been operating for more than 25 years. Many of the components are their decreased ability because of the effects of aging. If the component is not immediately replaced, it is feared that there will be failure that stop the waste management operations. Therefore, it is necessary to revitalize the electrical distribution sistem. The activities aimed to restor the function of components in accordance with safety standards. The activities were carried out by replacing components that been worn out experienced wear and tear due to age, namely MCCB, bus bars, the voltage and current measuring instruments as well as the installation of an emergency lane. The activities have been successfully restore the electricity distribution sistem in accordance General Electrical Installation Regulations.:*

*Keywords: Electrical distributions*

### PENDAHULUAN

Sistem Distribusi Kelistrikan yang ada di ruang panel Gedung 51 dan Gedung 50 (MES) Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) telah berusia lebih dari 20 tahun. Sebagaimana peralatan teknik lain, ketersediaan suku cadang yang sesuai dengan spesifikasi dan dimensi peralatan tersebut sudah sangat langka. Seiring dengan usianya yang telah cukup lama, unjuk kerjanya juga mulai menurun. Oleh karena itu, pada saat terjadi lonjakan beban arus tinggi kadang mengalami kegagalan mendistribusikan listrik ke sistem, sehingga perlu dilakukan tindakan perbaikan peralatan-peralatan tersebut.

Listrik PTLR didistribusikan dari dua trafo yang berkapasitas masing-masing 1 kilo volt ampere (KVA). Namun demikian, karena beberapa alasan diantaranya kebutuhan maksimal sehari-hari yang kurang dari 1500 KVA maka beban *input* yang bersumber dari listrik PLN diturunkan dan saat ini tinggal 1455

KVA. Trafo I dihubungkan ke *Low Voltage Main Distribution Board* (LV MDB) I melalui *Air Circuit Breaker* (ACB). Trafo II dihubungkan ke LV MDB II dengan ACB model *motorized*. Jaringan dari LV MDB II dicabang menjadi dua bagian yaitu jalur normal dan jalur *emergency*. Kedua jalur dipisahkan dengan menggunakan ACB model *motorized coupler*. Jalur *emergency* kemudian dihubungkan dengan sumber energi listrik yang kedua yaitu generator set dengan ACB.

Sistem Kelistrikan didistribusikan melalui panel MCC-MES 1.10.001 untuk jalur normal dan Emergency bus MES untuk jalur *emergency*. Panel distribusi ini menyuplai kebutuhan listrik sistem di MES dan Perkantoran di Gedung 51, 53, Sistem Insenerasi dan Gd PSLAT MES. Untuk kebutuhan listrik gedung 50 di suplai dari panel distribusi Normal Suply SDB1 1-11-11-03, Emergency Suply SDB2 1-11-004 dan SDB3 1-11-005. Untuk kebutuhan Suply DC 48 Volt didistribusikan oleh panel tersendiri yang ada di gedung 50 PTLR.

Makalah ini menyampaikan hasil kegiatan revitalisasi sistem distribusi kelistrikan IPLR tahun 2013.

## DASAR TEORI

### Sistem Distribusi Kelistrikan

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke sistem. Jadi fungsi distribusi kelistrikan adalah pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (sistem) dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan sistem, oleh karena itu catu daya pada pusat-pusat beban dilayani langsung melalui sistem distribusi.

Komponen-komponen sistem distribusi kelistrikan di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif antara lain :

#### A. MCCB

MCCB (*Moulded Case Circuit Breaker*) merupakan alat pengaman yang dalam proses operasinya mempunyai dua fungsi yaitu sebagai pengaman dan sebagai alat untuk penghubung. Jika dilihat dari segi pengaman, maka MCCB dapat berfungsi sebagai pengaman gangguan arus hubung singkat (*short circuit*) dan arus beban lebih (*over load*). Pada jenis tertentu pengaman ini, mempunyai kemampuan pemutusan yang dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan. Gambar 1 memperlihatkan contoh MCCB.



Gambar 1. Bentuk Fisik MCCB

### Memilih MCCB

Dalam memilih MCCB ada beberapa karakteristik sistem yang perlu diperhatikan, yaitu mencakup:

1. Tegangan sistem  
Tegangan operasional dari MCCB harus lebih besar atau minimal sama dengan tegangan sistem
2. Frekuensi sistem  
Frekuensi pengenal dari MCCB harus sesuai dengan frekuensi sistem
3. Arus pengenal  
Arus pengenal dari MCCB harus disesuaikan dengan besarnya arus beban yang melalui penghantar
4. Kapasitas pemutusan  
Kapasitas pemutusan dari MCCB harus paling sedikit sama dengan arus hubung singkat yang mungkin akan terjadi pada suatu titik instalasi dimana MCCB itu dipasang
5. Jumlah pole dari MCCB  
Jumlah pole atau kutub dari MCCB tergantung pada sistem pembumian dari sistem

### Kebutuhan kontinuitas sumber daya

Dalam memilih circuit breaker, untuk menyesuaikan kebutuhan tingkat kontinuitas pelayanan sumber daya listrik, maka yang harus diperhatikan adalah :

1. Diskriminasi total dari dua *circuit breaker* yang ditempatkan secara seri, atau
2. Diskriminasi terbatas (sebagian), diskriminasi hanya dijamin sampai tingkat arus gangguan tertentu.

### Aturan-aturan dan standar proteksi

Aturan-aturan instalasi listrik yang berlaku seperti PUIL harus diperhatikan dan dituruti.

Standar-standar yang diacu baik standar lokal maupun standar internasional harus diperhatikan seperti SPLN, IEC 60947-2.

## B. Busbar

Busbar merupakan batangan konduktor yang sering dijumpai pada sebuah peralatan panel distribusi baik untuk distribusi low voltage sampai high voltage distribusi .

Dalam penentuan dan pemilihan ukuran busbar yang akan digunakan pada sebuah peralatan panel distribusi, hal yang mesti diperhatikan adalah sebagai berikut :

- Dimensi busbar dengan mempertimbangkan kondisi normal operasi
- Tegangan operasional saat beroperasi, baik antara line dengan line maupun antara line dengan netral
- Arus yang akan mengalir pada busbar, yang akan mempengaruhi penentuan tipe dan luas penampang busbar itu sendiri.

Selain hal diatas, yang juga patut diperhatikan adalah kemampuan isolator tempat busbar dipasang, dimana kemampuan isolator tersebut harus bisa menanggung dan tahan terhadap efek mekanikal yang timbul, baik yang disebabkan karena efek kenaikan temperatur pada busbar maupun guncangan/getaran akibat gangguan hubungan singkat (short circuit) yang menjalar dari busbar ke isolator.

Untuk melakukan perhitungan dalam menetapkan jenis dan ukuran busbar yang akan digunakan, diperlukan beberapa parameter operasi sebagai referensi , yaitu :

- Network short circuit (Ssc)
- Nilai hubungan singkat pada jaringan – MVA
- Rated Voltage (Rate Tegangan) – V
- Operating Voltage (Tegangan Operasional) – V
- Rated Current - Rated Arus - A

Sedangkan hal yang mesti diperhatikan untuk karakteristik phisik dari busbar adalah sbb :

- Luas penampang busbar (Cross Section) - cm<sup>2</sup>
- Jarak antara phasa - phasa – cm
- Panjang isolator yang mendukung sebuah phasa – cm
- Temperatur ruangan – °C
- Kenaikan temperatur yang diizinkan
- Profile Busbar (Flat atau Round)
- Material Busbar (Tembaga (Copper) atau Aluminium)
- Pemasangan Busbar (Flat Mounted atau Edge Mounted)



Tabel 1. Ukuran Vs Arus beban Busbar

**TABEL UKURAN REL TEMBAGA IMPORT DAN AMPACITY**  
Panjang rel standart 4 meter

Tebal(mm)	Lebar (mm)	Cap (A)	Tebal(mm)	Lebar (mm)	Cap (A)
3	15	184	8	40	795
3	20	245	8	50	950
3	25	300	8	60	1110
3	30	350	8	80	1480
3	35	405	8	100	1850
3	40	470	10	30	700
3	50	570	10	40	800
4	15	235	10	50	1060
4	20	305	10	60	1200
4	25	385	10	80	1525
4	30	430	10	100	1800
4	40	540	10	120	2100
5	20	345	10	150	2625
5	25	415	10	160	2800
5	30	480	10	200	3500
5	40	610	12	100	2100
5	50	740	12	120	2520
5	60	885	15	100	2625
5	80	1110			
5	100	1345			
6	25	460			
6	30	535			
6	35	675			
6	40	815			
6	50	955			
6	60	1148			
6	80	1528			
6	100	1910			

C. MCB (Miniatur Circuit Breaker)

Alat pengaman arus lebih adalah pemutus sirkit mini yang selanjutnya disebut MCB. MCB ini memproteksi arus lebih yang disebabkan terjadinya beban lebih dan arus lebih karena adanya hubungan pendek. Dengan demikian prinsip dasar bekerjanya yaitu untuk pemutusan hubungan yang disebabkan beban lebih dengan relai arus lebih seketika digunakan electromagnet. Bila bimetal ataupun electromagnet bekerja, maka ini akan memutuskan hubungan kontak yang terletak pada pemadam busur dan membuka saklar. MCB untuk rumah seperti pada pengaman lebur diutamakan untuk proteksi hubungan pendek, sehingga pemakaiannya lebih diutamakan untuk mengamankan instalasi atau konduktornya. Sedang MCB pada APP diutamakan sebagai pembawa arus dengan karakteristik CL (current limiter) disamping itu juga sebagai pengaman arus hubung pendek yang bekerja seketika. Arus nominal yang digunakan pada APP dengan mengenal tegangan 230/400V ialah: 1.2.4.6.10.16.20.25.35 dan 50 A disesuaikan dengan tingkat VA konsumen. Adapun kemampuan membuka (breaking capacity) bila terjadi hubung singkat 3 KA dan 6 KA (SPLN 108-1993). MCB yang khusus digunakan oleh PLN mempunyai tombol biru.MCB pada saat sekarang paling banyak digunakan untuk instalasi rumah ataupun instalasi industri maupun instalasi gedung bertingkat.



Gambar 2. MCB

**D. Voltmeter dan Amperemeter**

Voltmeter adalah alat untuk mengukur besar tegangan listrik dalam suatu rangkaian listrik. Voltmeter disusun secara paralel terhadap letak komponen yang diukur dalam rangkaian. Alat ini terdiri dari tiga buah lempengan tembaga yang terpasang pada sebuah bakelite (bahan plastic) yang dirangkai dalam sebuah tabung kaca atau plastik. Lempengan luar berperan sebagai anode sedangkan yang di tengah sebagai katode. Umumnya tabung tersebut berukuran 15 x 10cm (tinggi x diameter).

Amperemeter adalah suatu alat listrik yang dipergunakan untuk mengukur besarnya arus listrik dari suatu beban. Tahanan dalam amperemeter sangat kecil sedangkan idealnya mendekati nol.



Gambar 3 . Voltmeter dan AmperMeter

**TATA KERJA**

**Bahan**

Dalam kegiatan ini bahan yang diperlukan adalah sebagai berikut :

NO	URAIAN	SPESIFIKASI	Jumlah
<b>I</b>	<b>Panel Distribution Board 48 VDC (1-92-001)</b>		
1	Ammeter DC	Ammeter DC Range 0-400 A (96X96mm), GAE	1 bh
2	Voltmeter DC	Voltmeter DC Range 0-50 Volt (96X96mm), GAE	1 bh
3	Shut R 400A	Shut R 400A GAE	2 bh
4	MCCB	3P 350A EZ400N SCHNEIDER	1 bh
5	MCCB	3P 40A EZ100N SCHNEIDER	11 bh
6	MCCB	3P 20A EZ100N SCHNEIDER	17 bh

7	MCCB	3P 60A EZ100N SCHNEIDER	6 bh
8	MCCB	3P 125A EZ250N SCHNEIDER	2 bh
<b>II</b>	<b>Panel Emergency Supply (1-11-004)</b>		
1	Ammeter AC Range 0-800 A	Ammeter AC Range 0-800 A (96X96), GAE	3 bh
2	Current Transformer A 400	Current Transformer A 400/5, 50-60Hz, GAE	3 bh
3	Voltmeter Range 0-500V	Voltmeter Range 0-500V (96X96), GAE	1 bh
4	MCCB, compact, 400 A	MCCB, compact, 400 A (INCOMING), Merlin Gerin	1 bh
5	Insulator Coklat	Insulator Coklat 50X40mm, bahan DMC	16 bh
6	MCCB Range 70-100 A	MCCB, compact, Range 70-100 A, Merlin Gerin	2 bh
7	MCCB Range 25-35 A	MCCB, compact, Range 25-35 A, Merlin Gerin	1 bh
8	MCCB Range 35-50A	MCCB, compact, Range 35-50A, Merlin Gerin	3 bh
9	MCCB Range 50-70A	MCCB, compact, Range 50-70A, Merlin Gerin	1 bh
10	Rotary Switch 1 PHASE	Rotary Switch, RN-SN-TN-O-RS-ST-TR,O-RST, A-O-M, 1 PHASE, Merlin Gerin	1 bh
11	LBS, 200 A	LBS, 3 Phase 200 A, Merlin Gerin	1 bh
12	Busbar	Busbar, tembaga 3mmX35mm X 4meter, Cooper busbar plate	4 btg
13	Lampu mimik	Lampu mimik + holder 220V, LED, red, green, yellow	3 bh
14	Dudukan dan pengecatan	Modifikasi dudukan MCCB, panel dan pengecatan busbar	1 set
<b>III</b>	<b>Panel Emergency Supply (1-11-005)</b>		
1	Ammeter AC Range 0-800 A	Ammeter AC Range 0-800 A (96X96), GAE	3 bh
2	Current Transformer A 400	Current Transformer A 400/5, 50-60Hz, GAE	3 bh
3	Voltmeter Range 0-500V	Voltmeter Range 0-500V (96X96), GAE	1 bh
4	MCCB, compact, 400 A	MCCB, compact, 400 A (INCOMING), Merlin Gerin	1 bh
5	Insulator	Insulator 50X40mm, bahan DMC	12 bh
6	MCCB, Range 70-100 A	MCCB, compact, Range 70-100 A, Merlin Gerin	2 bh
7	MCCB, Range 25-35 A	MCCB, compact, Range 25-35 A, Merlin Gerin	11 bh
8	Rotary Switch 1 PHASE	Rotary Switch, RN-SN-TN-O-RS-ST-TR,O-RST, A-O-M, 1 PHASE, Merlin Gerin	1 bh
9	Busbar	Busbar, tembaga 3 mm X 35 mm X 4 meter, Cooper busbar plate	4 btg
10	Lampu mimik 220V	Lampu mimik + holder 220V, LED, red, green, yellow	3 bh
11	Dudukan dan pengecatan	Modifikasi dudukan MCCB, panel dan pengecatan busbar	1 set
<b>IV</b>	<b>Panel Normal Supply (1-11-003)</b>		
1	Ammeter AC Range 0-800 A	Ammeter AC Range 0-800 A (96X96), GAE	3 bh
2	Current Transformer A 400	Current Transformer A 400/5, 50-60Hz, GAE	3 bh
3	Voltmeter Range 0-500V	Voltmeter Range 0-500V (96X96), GAE	1 bh
4	MCCB, compact, 400 A	MCCB, compact, 400 A (INCOMING), Merlin Gerin	1 bh

5	Insulator	Insulator 50X40mm, bahan DMC	16 bh
6	MCCB range 35-50 A	MCCB, compact, range 35-50 A, Merlin Gerin	8 bh
7	Rotary Switch 1 PHASE	Rotary Switch, RN-SN-TN-O-RS-ST-TR,O-RST, A-O-M, 1 PHASE, Merlin Gerin	1 bh
8	Lampu mimik 220V	Lampu mimik + holder 220V, LED, red, green, yellow	3 bh
9	Busbar	Busbar, tembaga 3 mm X 35 mm X 4 meter, Cooper busbar plate	4 btg
10	Dudukan dan pengecatan	Modifikasi dudukan MCCB, panel dan pengecatan busbar	1 set
<b>V</b>	<b>Panel Ventilation Air Condition</b>		
1	Ammeter AC Range 0-800 A	Ammeter AC Range 0-800 A (96X96), GAE	3 bh
2	Current Transformer A 400	Current Transformer A 400/5, 50-60Hz, GAE	3 bh
3	Voltmeter Range 0-500V	Voltmeter Range 0-500V (96X96), GAE	1 bh
4	MCCB compact, 190-250A	MCCB, compact, 190-250A (INCOMING), Merlin Gerin	1 bh
5	Insulator	Insulator 50X40mm, bahan DMC	16 bh
6	MCCB, compact, 70-100 A	MCCB, compact, 70-100 A, Merlin Gerin	8 bh
7	Rotary Switch 1 PHASE	Rotary Switch, RN-SN-TN-O-RS-ST-TR,O-RST, A-O-M, 1 PHASE, Merlin Gerin	1 bh
8	Busbar	Busbar, tembaga 3 mm X 35 mm X 4 meter, Cooper busbar plate	4 btg
9	<b>Lampu mimik 220V</b>	<b>Lampu mimik + holder 220V, LED, red, green, yellow</b>	<b>3 bh</b>
10	Dudukan dan pengecatan	Modifikasi dudukan MCCB, panel dan pengecatan busbar	1 set
<b>VI</b>	<b>Panel MCC-MES (1-11-001)</b>		
1	Ammeter AC Range 0-800 A	Ammeter AC Range 0-800 A (96X96), GAE	3 bh
2	Current Transformer A 400	Current Transformer A 400/5, 50-60Hz, GAE	3 bh
3	Voltmeter Range 0-500V	Voltmeter Range 0-500V (96X96), GAE	1 bh
4	MCCB 35-50 A	MCCB, compact, 35-50 A, Merlin Gerin	6 bh
5	MCCB 13-21 A	MCCB, compact, 13-21 A, Merlin Gerin	2 bh
6	MCCB 250 190-250A	MCCB, compact 250, 190-250A, Merlin Gerin	1 bh
7	Rotary Switch, LBS 200A	Rotary Switch, LBS 200A ,3phase, Siemen	1 bh
8	Insulator	Insulator 50X40mm, bahan DMC	16 bh
9	Rotary Switch 1 PHASE	Rotary Switch, RN-SN-TN-O-RS-ST-TR,O-RST, A-O-M, 1 PHASE, Merlin Gerin	1 bh
10	Busbar	Busbar, tembaga 3 mm X 35 mm X 4 meter, Cooper busbar plate	4 btg
11	Lampu mimik 220V	Lampu mimik + holder 220V, LED, red, green, yellow	8 bh
12	Dudukan dan pengecatan	Modifikasi dudukan MCCB, panel dan pengecatan busbar	1 set
<b>VII</b>	<b>Emergency BUS (1-11-002) MES</b>		
1	Ammeter AC Range 0-800 A	Ammeter AC Range 0-800 A (96X96), GAE	3 bh
2	Current Transformer 400 A	Current Transformer A 400/5, 50-60Hz, GAE	1 bh

3	Voltmeter Range 0-500V	Voltmeter Range 0-500V (96X96), GAE	3 bh
4	MCCB 13-21 A	MCCB, compact, 13-21 A, Merlin Gerin	2 bh
5	MCCB 35-50 A	MCCB, compact, 35-50 A, Merlin Gerin	5 bh
6	MCCB 70 - 100 A	MCCB, compact, 70 - 100 A, Merlin Gerin	1 bh
7	MCCB 200A	MCCB, compact, 200A, MGEZ200F, Merlin Gerin	1 bh
8	MCCB 400A	MCCB, compact , 400A, Merlin Gerin	1 bh
9	LBS 200A	LBS 3 phase 200A, Siemen	1 bh
10	Insulator	Insulator 50X40mm, bahan DMC	16 bh
11	Rotary Switch 1 PHASE	Rotary Switch, RN-SN-TN-O-RS-ST-TR,O-RST, A-O-M, 1 PHASE, Merlin Gerin	1 bh
12	Busbar	Busbar, tembaga 3 mm X 35 mm X 4 meter, Cooper busbar plate	4 btg
13	Dudukan dan pengecatan	Modifikasi dudukan MCCB, panel dan pengecatan busbar	1 set
<b>VII MCC Panel Off Gas</b>			
	Ammeter Range 0-100A	Ammeter Range 0-100A (96X96mm), Merlin Gerin	3 bh
	Curet Tranformer, A 50/	Curet Tranformer, A 50/5, Merlin Gerin	3 bh
3	Voltmeter Range 0-500V	Voltmeter Range 0-500V (96X96), GAE	1 bh
4	MCCB 25-32 A	MCCB, compact 25-32 A, Merlin Gerin	3 bh
5	MCCB 10-16A	MCCB, compact 10-16A, Merlin Gerin	2 bh
6	LBS 200A	LBS 3phase, LBS 200A, GAE	1 bh
7	Lampu mimik 220V	Lampu mimik + holder 220V, LED, red, green, yellow	3 bh
8	Busbar	Busbar, tembaga 3 mm X 35 mm X 4 meter, Cooper busbar plate	4 btg
9	Dudukan dan pengecatan	Modifikasi dudukan MCCB, panel dan pengecatan busbar	1 set
<b>IX Panel LVMD MES (Chiller)</b>			
1	MCCB 630 A	MCCB 630 A, Compact, MG	3 bh
2	B 100 A	B 100 A, compact, MG	2
3	Busbar	Busbar, tembaga 5mmX50mm X 4meter	4 btg
4	Dudukan dan pengecatan	Modifikasi dudukan MCCB, panel dan pengecatan busbar	1 set
<b>X Panel Normal MES</b>			
1	MCCB 250A	MCCB , compac 250A, MG	2 bh
2	MCCB 630 A	MCCB 630 A, Compact, MG	1 bh
3	Busbar	Busbar, tembaga 5mmX50mm X 4meter	4 btg
4	Dudukan dan pengecatan	Modifikasi dudukan MCCB, panel dan pengecatan busbar	1 set
<b>XI Panel Emergency MES</b>			
1	MCCB 250A	MCCB , compac 250A, MG	3 bh
2	MCCB 630 A	MCCB 630 A, Compact, MG	2 bh
3	MCCB 100 A	MCCB 100 A, compact, MG	2 bh

4	Busbar	Busbar, tembaga 5mmX50mm X 4meter	4 btg
5	Dudukan dan pengecatan	Modifikasi dudukan MCCB, panel dan pengecatan busbar	1 set
<b>XII</b>	<b>Line Emergency</b>		
1	Kabel 3 x 1.5 mm	Kabel NYM 3 x 2,5 (100 meter), Kabel Metal	1 roll
2	Kabel 3 x 1.5 mm	Kabel NYM 3 x 1,5 (100 meter), Kabel Metal	6 roll
3	Spot lamp	Lampu Sorot LED 20 watt 220 volt,	15 bh
4	Pipa Conduit	Pipa conduit besi 20 mm, galvanized (10 ft), with conector pipe and clamp, Clipsal	45 btng
5	Panel	Panel 20x40 cm berisi MCB dan kontaktor set, Lokal.	2 set

### Metode

Metode yang dilakukan dalam revitalisasi adalah.

- a. Kajian pustaka, mengumpulkan informasi dari diagram control dan cara kerja dari sistem, serta mempelajari berbagai teori yang mendukungnya..
- b. Perunutan sistem elektrik dengan multimeter.
- c. Perunutan sistem kontrol mekanik.
- d. Estimasi biaya.
- e. Pengadaan komponen dan pelaksanaan perbaikan
- f. Proses revitalisasi dilakukan dengan mengganti komponen-komponen lama dengan yang baru sesuai spesifikasi sebelumnya. Untuk distribusi 48Volt DC dilakukan perubahan komponen yang semula menggunakan batas arus menggunakan socket sekering jenis NH 3 phole, dalam revitalisasi ini diganti dengan MCCB dengan batas arus sesuai dengan sebelumnya.
- g. Instalasi jalur emergency dengan melakukan pemasangan lampu LED 20 Watt, 220 Volt dengan mengambil suplai dari UPS. Pemasangan lampu emergency 15 titik yaitu 2 titik di office dan 13 titik di ruang proses.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem distribusi di Gedung 51, sub-sub panel distribusi diuji coba dengan menghidupkan sistem (motor pompa) satu persatu sampai beban puncak. Begitu juga untuk pengujian distribusi untuk sistem chiler. Besaran tegangan dimonitor dengan voltmeter dan arus beban dengan ampermeter. Hasil pengujian sistem distribusi di gedung 51 diperlihatkan pada Tabel.2

Tabel.2 Hasil pengukuran arus beban panel distribusi di gedung 51

No	Panel	Arus beban terukur (Ampere)	Setting batas arus (Ampere)
1	Panel MCC-MES (1-11-001)	76	250
2	Emergency BUS (1-11-002) MES	90	400
3	Panel LVMD MES (Chiller)	380	630
4	Panel Normal MES	320	630
5	Panel Emergency MES	390	630

Tabel.2 menunjukkan bahwa MCCB yang dipasang pada sistem distribusi memenuhi persyaratan, dimana nilai arus beban terukur rata-rata lebih kecil dari nilai setting batas arus. Arus beban terbesar terukur pada panel *emergency bus*. Panel merupakan sistem distribusi utama jaringan darurat berfungsi untuk menyuplai energi listrik ke peralatan yang berhubungan dengan keselamatan. Arus beban terkecil terlihat pada panel 1-11-001. Panel distribusi ini hanya digunakan untuk jaringan beban pompa yang kecil seperti sistem *cooling tower, demineralized water, boiler* dan *domestic water*.

Pengujian sistem distribusi Gedung 50, sub-sub panel distribusi diuji coba dengan menghidupkan sistem (motor pompa, sistem VAC, Suply UPS dan komputer ) satu persatu sampai beban puncak . Untuk pengujian sistem Distribusi kelistrikan Unit Evaporasi, dilakukan dengan mengoperasikan unit insenerasi, semula batas arus maksimal adalah 400 Amper, ternyata batas arus ini tidak memenuhi untuk mengoperasikan unit ini, sehingga batas arus di tambah menjadi 450 Amper. Hasil pengujian sistem distribusi di gedung 50 diperlihatkan pada Tabel.3.

Tabel.3 Hasil pengukuran arus beban panel distribusi di gedung 50

No	Panel	Arus beban terukur (Ampere)	Setting batas arus (Ampere)
1	Panel Distribution Board 48 VDC (1-92-001)	60	350
2	Panel Emergency Supply (1-11-004)	210	400
3	Panel Emergency Supply (1-11-005)	120	400
4	Panel Normal Supply (1-11-003)	140	400
5	Panel Ventilation Air Condition	70	250
8	MCC Panel Off Gas	40	200

Tabel.3 menunjukkan bahwa MCCB yang dipasang pada sistem distribusi di gedung 50 telah memenuhi persyaratan. Nilai arus beban terukur rata-rata lebih kecil dari nilai setting batas arus. Arus beban terbesar terukur pada panel 1-11-004. Panel merupakan sistem distribusi darurat yang berfungsi untuk menyuplai energi listrik ke sistem VAC IPLR. Motor fan berukuran besar sehingga menarik arus listrik yang besar pula. Arus beban terkecil terlihat pada panel Off Gas. Panel distribusi ini hanya digunakan untuk jaringan beban dua buah exhaust fan dan sistem kontrolnya.

Tabel 4 menunjukan data pengukuran tegangan untuk sumber 380 Volt di panel distribusi utama di gedung 51 IPLR, pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat Power Quality Analyzer , HIOKI type 3197.

Waktu	U1 (V)	U2 (V)	U3 (V)
9.00	381	381	376
9.10	381	381	376
9.20	381	381	376
9.30	381	381	376

Waktu	U1 (V)	U2 (V)	U3 (V)
11.00	381	382	376
11.10	381	382	376
11.20	381	382	376
11.30	381	382	376

Waktu	U1 (V)	U2 (V)	U3 (V)
12.00	381	382	376
12.10	381	382	376
12.20	381	382	376
12.30	381	382	376

9.40	381	381	376	11.40	381	382	376	12.40	381	382	376
9.50	381	382	376	11.50	381	382	376	12.50	381	382	376
10.00	381	382	376	12.00	381	382	376	13.00	381	382	376
10.10	381	382	376	12.10	381	382	376	13.10	381	382	376
10.20	381	382	376	12.20	381	382	376	13.20	381	382	376
10.30	381	382	376	12.30	381	382	376	13.30	381	382	376
10.40	381	382	376	12.40	381	382	376	13.40	381	382	376
10.50	381	382	376	11.50	381	382	376	13.50	381	382	376
								13.59	381	382	376

Tabel 4. Hasil Pengukuran Tegangan di panel distribusi gd 51 PTLR



Grafik 1. Hasil Pengukuran Tegangan di panel distribusi gd 51 PTLR

Dari data diatas, menunjukkan adanya kesetabilan tegangan, walaupun tegangan antar *phasa* berbeda, namun masih dalam batas toleransi (SPLN.No.1; 1985 (220/380 Volt : + 5%; - 10%)

Pemasangan lampu *emergency* diruangan IPLR berhasil mengatasi masalah selama ini yaitu tidak adanya penerangan darurat. Sumber daya listrik instalasi penerangan diambilkan dari UPS. Sehingga pada saat PLN padam, penerangan darurat dicatu oleh UPS yang mampu beroperasi selama 8 jam. Dengan ini maka UPS telah lebih dari cukup menggantikan suplai listrik pada saat PLN padam sampai dengan generator set siap mensuplai. Jumlah pembebanan UPS 30 KVA hanya 24% dari total kapasitas yang dimiliki.

## KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa;

1. Revitalisasi telah menghasilkan sistem distribusi kelistrikan yang memenuhi standar persyaratan.
2. Revitalisasi telah mengatasi masalah keselamatan pekerja tentang sistem penerangan darurat di ruang IPLR.



#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. BUDIYONO, ” Pemeliharaan Sistem Suplai *Emergency* Kelistrikan Di Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif”, Prosiding Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR, Tangerang, 2010
- [2]. Renstra PTLR tahun 2010-2014
- [3]. Supriyono, Junaedi, A. Paid, Setia Permana, “Hasil-hasil Penelitian EBN Tahun 2007”
- [4]. Panitia PUIL 2000, “Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)” Yayasan PUIL. Jakarta, 2004.
- [5]. <http://ilmulistrik.com/>, ”Pengertian Distribusi Listrik”



**PENGHEMATAN PEMAKAIAN LISTRIK INSTALASI LIMBAH RADIOAKTIF DENGAN MENGGUNAKAN CAPACITOR BANK****Jonner Sitompul**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

**ABSTRAK**

**PENGHEMATAN PEMAKAIAN LISTRIK INSTALASI LIMBAH RADIOAKTIF DENGAN MENGGUNAKAN CAPACITOR BANK.** Peralatan instalasi limbah radioaktif pada umumnya menggunakan motor induksi sebagai motor penggerak. Motor induksi mengakibatkan biaya tagihan listrik lebih besar akibat daya semu yang hilang. Daya semu adalah arus listrik yang disediakan Perusahaan Listrik Negara namun tidak dipergunakan karena hilang dalam kerja motor induksi. Motor induksi kurang efisien dalam hal mengkonsumsi arus listrik karena nilai  $\cos\phi$  ( $\phi$ ) motor induksi biasanya berkisar antara 0,60 – 0,75. Untuk memperbaiki nilai  $\cos\phi$  ( $\phi$ ) motor induksi dilakukan pemasangan capacitor bank pada jaringan utama listrik sebelum daya masuk ke jaringan distribusi. Berdasarkan perhitungan dan kapasitas daya listrik Pusat Teknologi Limbah Radioaktif dipergunakan capacitor bank yang 400 kVArh untuk panel jaringan instalasi limbah radioaktif dan 500 kVArh untuk jaringan mesin pendingin (chiller system). Dari pemasangan capacitor bank tersebut penghematan pemakaian listrik mencapai 25 - 30 % dari total biaya yang harus di bayarkan ke Perusahaan Listrik Negara.

**Kata Kunci:** instalasi limbah radioaktif, capasitor bank, hemat

**ABSTRACT**

**SAVING THE USE OF ELECTRICITY FOR RADIOACTIVE WASTE INSTALLATION USING CAPACITOR BANK.** Equipment installation radioactive waste in general using the motor as a driving force induks. Induction motors resulting in larger electric bill due to the apparent power is lost. All power is supplied electrical current state electricity company but not used because of work lost in an induction motor. Induction motors are less efficient in terms of consumption of electric current as the value  $\cos\phi$  ( $\phi$ ) induction motors typically ranges from 0.60 to 0.75. To fix the value  $\cos\phi$  ( $\phi$ ) indukasi motors capacitor bank was installed at the main electrical network before entering the power supply to the distribution network. Based on the calculation of the electric power and capacity of Radioactive Waste Technology Center capacitor bank 400 kVArh used for network installation panels of radioactive waste and 500 kVArh to network refrigeration (chiller system). From the installation of the capacitor bank saving electricity consumption reaches 25-30 % of the total cost that must be paid to the State Electricity Company.

**Keywords :** radioactive waste installation, capacitor banks, saving

**PENDAHULUAN**

Kapasitor adalah komponen listrik dua terminal pasif yang digunakan untuk menyimpan energi elektrostatik dalam medan listrik. Bentuk-bentuk kapasitor praktis sangat bervariasi, tetapi semua mengandung setidaknya dua konduktor listrik (pelat) yang dipisahkan dengan *isolator*. Konduktor berupa film tipis logam, aluminium *foil* atau *disk*, dan lain-lain yang dapat dipergunakan untuk meningkatkan kapasitas muatan kapasitor. Dielektrik berupa kaca, keramik, film plastik, udara, kertas, mika, dan lain-lain. Kapasitor banyak digunakan sebagai bagian dari sirkuit listrik di banyak perangkat listrik umum. Tidak seperti resistor, kapasitor tidak menghilangkan energi. Sebaliknya, kapasitor menyimpan energi dalam bentuk medan elektrostatik antara pelatnya.

Kapasitor ditandai dengan nilai tunggal konstan untuk kapasitansi, dimana kapasitansi dinyatakan sebagai rasio dari muatan listrik ( $Q$ ) pada masing-masing konduktor dengan beda potensial ( $V$ ) di antara mereka. Satuan SI dari kapasitansi adalah farad (F), yang sama dengan satu coulomb per volt ( $1 \text{ C/V}$ ). Nilai kapasitansi khas berkisar dari sekitar  $1 \text{ pF}$  ( $10^{-12} \text{ F}$ ) sampai sekitar  $1 \text{ mF}$  ( $10^{-3} \text{ F}$ ) [1].

*Capacitor bank* adalah peralatan listrik yang mempunyai sifat kapasitif yang akan berfungsi sebagai penyeimbang sifat induktif. Kapasitas kapasitor dari ukuran  $5 \text{ kVAr}$  sampai  $60 \text{ kVAr}$ . Dari tegangan kerja  $230 \text{ volt}$  sampai  $525 \text{ volt}$  atau *capacitor bank* adalah sekumpulan dari beberapa kapasitor yang disambung secara paralel untuk mendapatkan kapasitas kapasitif tertentu. Besaran yang sering dipakai adalah  $\text{kVAr}$  (kilo volt ampere reaktif) meskipun didalamnya terkandung/tercantum besaran kapasitansi yaitu Farad atau microfarad. Kapasitor ini mempunyai sifat listrik yang kapasitif (*leading*). Sehingga mempunyai sifat mengurangi/ menghilangkan terhadap sifat induktif (*lagging*) [1].

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif menggunakan catu daya (listrik) dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai catu daya utama dan menggunakan Gen-set sebagai catu daya cadangan. Perusahaan Listrik Negara memperhitungkan kerugian akibat daya semu yang hilang yang harus dibayar pemakai. Daya yang hilang terjadi disebabkan motor-motor induksi yang dipergunakan sebagai motor penggerak pada sistem peralatan Instalasi Pengelolaan Limbah Radioaktif.

Keuntungan perbaikan faktor daya melalui pemasangan kapasitor;

#### 1. Keuntungan konsumen.

Khususnya perusahaan atau industri hanya sekali investasi untuk pembelian dan pemasangan kapasitor akan mendapatkan keuntungan ;

- a. Mengurangi biaya listrik karena daya reaktif ( $\text{VAr}$ ) tidak lagi dipasok oleh perusahaan utilitas sehingga kebutuhan daya ( $\text{VA}$ ) dapat dikurangi.
- b. Nilai denda yang dibayar jika beroperasi pada faktor daya rendah dapat dihindarkan.
- c. Mengurangi kehilangan distribusi ( $\text{kWh}$ ) dalam jaringan/instalasi pabrik.

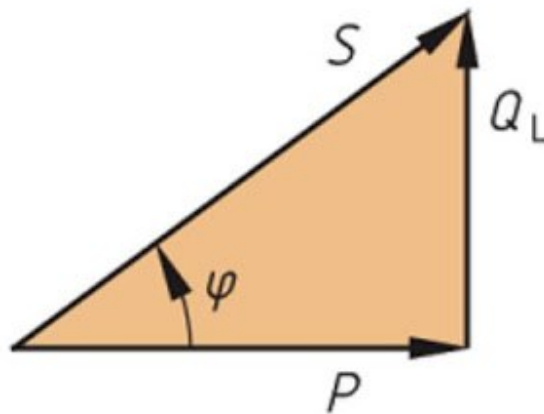
- d. Tingkat tegangan pada beban akhir meningkat sehingga meningkatkan kinerja motor.
2. Bagi utilitas pemasok listrik.
    - a. Komponen reaktif pada jaringan dan arus total pada sistim ujung akhir berkurang.
    - b. Kehilangan daya I kwadrat R dalam sistem berkurang karena penurunan arus.
    - c. Kemampuan kapasitas jaringan distribusi listrik meningkat, mengurangi kebutuhan untuk memasang kapasitas tambahan.

## DASAR TEORI

Dalam sistem listrik arus bolak-balik (*Alternating Current (AC)*) ada tiga jenis daya yang dikenal, khususnya untuk beban yang memiliki impedansi ( $Z$ ), yaitu: 1. Daya semu ( $S$ , VA, Volt Amper), 2. Daya aktif ( $P$ , W, Watt), 3. Daya reaktif ( $Q$ , VAR, Volt Amper Reaktif) [2].

Untuk rangkaian listrik AC, bentuk gelombang tegangan dan arus adalah sinusoidal, dimana besarnya daya setiap saat tidak sama. Maka daya yang merupakan daya rata-rata diukur dengan satuan **Watt**, Daya ini membentuk energi aktif persatuan waktu dan dapat diukur dengan kWh meter dan juga merupakan **daya nyata** atau **daya aktif** (daya poros, daya yang sebenarnya) yang digunakan oleh beban untuk melakukan tugas tertentu.

Sedangkan daya semu dinyatakan dengan satuan Volt-Ampere (disingkat, VA), menyatakan kapasitas peralatan listrik, seperti yang tertera pada peralatan generator dan transformator. Pada suatu instalasi, khususnya di pabrik/industri juga terdapat beban tertentu seperti motor listrik, yang memerlukan bentuk lain dari daya, yaitu daya reaktif (VAr) untuk membuat *medan magnet* atau dengan kata lain daya reaktif adalah daya yang terpakai sebagai energi pembangkitan *flux* magnetik sehingga timbul magnetisasi dan daya ini dikembalikan ke sistem karena efek induksi elektromagnetik itu sendiri, sehingga daya ini sebenarnya merupakan beban (kebutuhan) pada suatu sistem tenaga listrik.



Gambar 1. Gambar hubungan segitiga daya.

### Pengertian Faktor Daya / Faktor Kerja

Faktor daya atau faktor kerja adalah perbandingan antara daya aktif (watt) dengan daya semu/daya total (VA), atau cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu/daya total (lihat Gambar 1). Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu.

Secara teoritis, jika seluruh beban daya yang dipasok oleh perusahaan listrik memiliki faktor daya satu, maka daya maksimum yang ditransfer setara dengan kapasitas sistem pendistribusian. Sehingga, dengan beban yang terinduksi dan jika faktor daya berkisar dari 0,2 hingga 0,5, maka kapasitas jaringan distribusi listrik menjadi tertekan. Jadi, daya reaktif (VAr) harus serendah mungkin untuk daya efektif keluaran (kW) yang sama dalam rangka meminimalkan kebutuhan daya total (VA) [2].

Faktor daya/faktor kerja menggambarkan sudut fase antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya yang rendah merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi. Untuk memperbaiki faktor daya ini maka perlu digunakan/diinstal alat kapasitor.

### TATA KERJA

#### Kapasitor untuk Memperbaiki Faktor Daya.

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, mempunyai 2 buah trafo dengan kapasitas 1500 kVA. Dalam situasi pengoperasian daya di instalasi diukur sebesar 1160 kVA dengan faktor daya 0,70. Persentase pembebanan trafo dibulatkan sekitar 78 persen ( $1160/1500 = 77,3$  persen). Untuk memperbaiki faktor daya 0,70 menjadi diatas 0,89 maka *capacitor bank* sebagai pengkoreksi faktor daya pada sistem distribusi listrik

untuk Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) dan untuk sistem pendingin (*chiller*) yang memiliki motor induksi daya besar. Kapasitor akan bertindak sebagai pembangkit daya reaktif dan oleh karenanya akan mengurangi jumlah daya reaktif, juga daya semu yang dihasilkan oleh bagian utilitas (pompa-pompa induksi) [3].

Di bawah ini disajikan contoh perhitungan daya listrik :

1. Kapasitas trafo 1500 kVA. Kebutuhan instalasi pada mulanya 1160 kVA dengan faktor daya 0,70. Persentase pembebanan trafo sekitar 78 persen ( $1160/1500 = 77.3$  persen). Untuk memperbaiki faktor daya ditambahkan sekitar 410 kVAr pada beban motor. Hal ini dapat meningkatkan faktor daya hingga 0,89, dan mengurangi kVA yang diperlukan menjadi 913 kVA, yang merupakan penjumlahan vektor kW dan kVAr. Sehingga trafo 1500 kVA kemudian hanya berbeban 60 persen dari kapasitasnya[3].

P: Daya nyata (pengukuran)

S: Daya yang disediakan PLN

QL: Daya yang dipergunakan dan daya semu

Jika P = 812 kWatt

$$S = 1160 \text{ kVA}$$

$$\text{Cosphi} = \frac{812}{1160} = 0,7$$

$$QL = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$QL = \sqrt{1160^2 - 812^2}$$

$$= 828 \text{ kVAr}$$

Perbaikan factor (PF) daya adalah :  $PF = \frac{kW}{kVA}$

$$\frac{812}{913} = 0,89$$

Jadi *cosphi* 0,89 minimal yang harus dicapai agar beban semu tidak diperhitungkan PLN sebagai biaya beban yang hilang.

maka  $\frac{812}{0,89} = 913 \text{ kVA}$

Perbaikan factor (PF) daya adalah :  $PF = \frac{812}{913} \text{ kW/ kVA} = 0,89$

Daya pengoreksi perbaikan oleh PLN 410 kvar kVA yang diperlukan menjadi 913 kVA,

$$\text{kVAr } 828 - 410 = 418 \text{ kVAr}$$

1. Sekelompok lampu pijar dengan tegangan 220V/58 W, digabungkan dengan 12 lampu TL 11 W, ada 30 buah lampu pijar dan lampu TL. Faktor daya terukur sebesar  $\cos \phi_1 = 0,5$ , maka daya semu dari beban dan besarnya arus I1 dihitung sebelum kompensasi. Untuk mengnginkan faktor kerja menjadi  $\cos \phi_2 = 0,9$ . besarnya arus I2 setelah kompensasi adalah :
  - a. Besarnya daya lampu gabungan

$$P_g = (58 \text{ W} \times 18) + (11 \text{ W} \times 12) = 1176 \text{ watt} = 1,176 \text{ kW}$$

$$\text{Cos } \phi_1 = P_g/S_1 \rightarrow S_1 = P_g/\text{Cos } \phi_1 = 1,176\text{kW}/0,5 = 2,352 \text{ kVA.}$$

$$I_1 = S_1/U = 2,352 \text{ kVA}/220 \text{ V} = 10,69 \text{ ampere (A)} \rightarrow \text{sebelum kompensasi}$$

- b. Besarnya daya setelah kompensasi ( $\cos \phi = 0,9$ )

$$S_2 = P_g/\text{Cos } \phi_2 = 1,176 \text{ kW}/0,9 = 1,306 \text{ kVA}$$

$$\text{maka } I_2 = S_2/U = 1,306 \text{ kVA}/220 \text{ V} = 5,94 \text{ A} \implies \text{setelah kompensasi}$$

Tabel 1. Tabel standart Cos  $\phi$  [4].

NO.	Original PF (Cos $\phi_1$ )	Conversion factor for a target power factor Cos $\phi_2$									
		0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.92	0.94	0.96	0.98	1
1	0.2	3.879	4.017	4.149	4.279	4.415	4.473	4.536	4.607	4.696	4.899
2	0.25	2.853	2.991	3.123	3.253	3.389	3.447	3.51	3.581	3.67	3.873
3	0.3	2.16	2.298	2.43	2.56	2.695	2.754	2.817	2.888	2.977	3.18
4	0.35	1.656	1.795	1.926	2.057	2.192	2.25	2.313	2.385	2.473	2.676
5	0.4	1.271	1.409	1.541	1.672	1.807	1.865	1.928	2	2.088	2.291
6	0.45	0.964	1.103	1.235	1.365	1.5	1.559	1.622	1.693	1.781	1.985
7	0.5	0.712	0.85	0.982	1.112	1.248	1.306	1.369	1.44	1.529	1.732
8	0.55	0.498	0.637	0.768	0.899	1.034	1.092	1.156	1.227	1.315	1.518
9	0.6	0.313	0.0451	0.583	0.714	0.849	0.907	0.97	1.042	1.13	1.333
10	0.65	0.149	0.287	0.419	0.549	0.685	0.743	0.806	0.877	0.966	1.169
11	0.7		0.138	0.27	0.4	0.536	0.594	0.657	0.729	0.817	0.02
12	0.75			0.132	0.262	0.398	0.456	0.519	0.59	0.679	0.882



13	0.8				0.13	0.266	0.324	0.387	0.458	0.547	0.75
14	0.85					0.135	0.194	0.257	0.328	0.417	0.62
15	0.9						0.058	0.121	0.193	0.281	0.484
16	0.95								0.037	0.126	0.329

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari hasil pengukuran di panel distribusi utama PTLR adalah;

- a. Konsumsi energi aktif .....Ew = 300.000 kwh
- b. Konsumsi energi reaktif .....EB = 400.000 kvarh
- c. Jumlah waktu kerja ..... t = 600 h
- d. Daya konsumsi IPLR rata-rata .....P = 850 kva

Rumus dasar faktor daya[5]. 
$$\text{Cos } \phi = \frac{1}{\left(\frac{E_B}{E_W}\right)^2 + 1}$$

$$\text{Cos } \phi = \frac{1}{\left(\frac{400\,000\text{ kvarh}}{300\,000\text{ kwh}}\right)^2 + 1} = 0.6$$

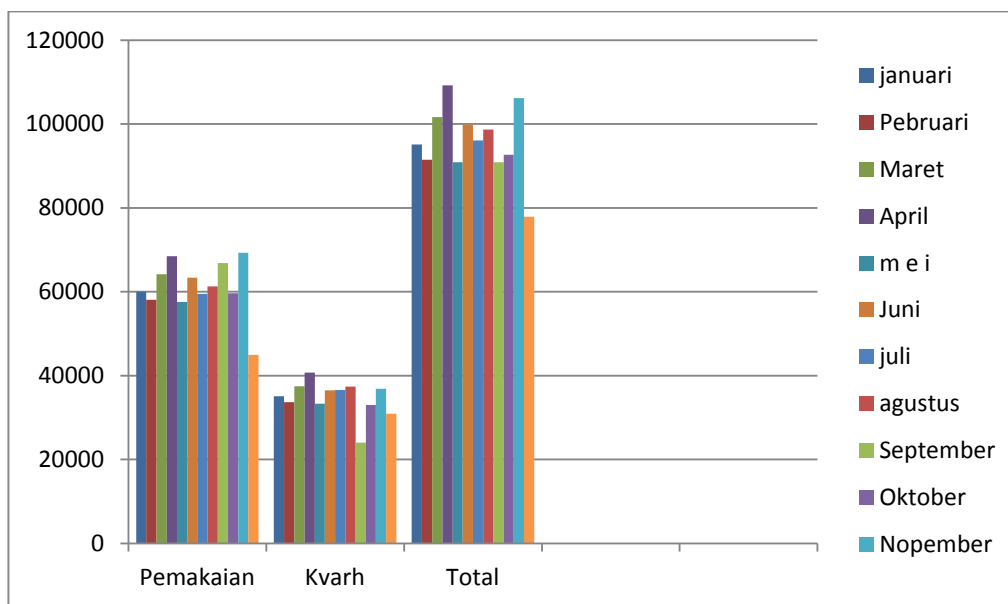
Untuk perbaikan faktor Cos  $\phi$  0,6 menjadi Cos  $\phi$  0,9 bila dilihat pada tabel standart Cos  $\phi$  yang ada pada Tabel 1. Diketahui faktor daya pada posisi **Cos  $\phi$  0.849**.

Daya kapasitor yang dibutuhkan adalah :  $P_c = P \text{ Cos } \phi,$   
 $= 850 \text{ kVA } (0,849) = 806,55 \text{ kVArh}$

Sehingga untuk Pusat Teknologi Limbah Radioaktif dipasang *capacitor bank* dengan kapasitas 806,55 + 10 % adalah 887,2 kVArh, untuk lebih amannya dipasang yang 900 kVArh, di panel distribusi IPLR 400 kVArh dan untuk panel mesin pendingin (*chiller*) sebesar 500 kVArh.

Hasil tagihan Listrik sebelum pemasangan *capacitor bank* dapat dilihat pada Tabel 2, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif setiap bulan rata-rata biaya semu (biaya kVArh) sekitar Rp. 30.000.000 sampai Rp 40.000.000. Total biaya dalam satu tahun mencapai Rp. 417.660.000,-. Dengan pemasangan *capacitor bank* 400 kVArh untuk jaringan Instalasi Limbah Radioaktif dan 500 kVArh untuk jaringan mesin pendingin (*Chiller*) ternyata cukup efektif untuk menghilangkan daya semu motor induksi, sehingga biaya semu (biaya kVArh) dapat dikurangi atau dihilangkan (lihat Tabel 3.), maka tagihan listrik PTLR setiap bulan tahun tahun 2013 (Tabel 3) menjadi lebih hemat 25 % sampai 30 % yang setara dengan sepertiga tagihan listrik setiap bulan (lihat Gambar 2.).

Setelah pemasangan *capacitor bank*  $\cos \phi$  pemakaian listrik PTLR rata-rata 0,95 sampai 0,98, sehingga hal ini juga dapat mempengaruhi kinerja masing-masing pompa, yang secara tidak langsung diperbaiki akan dapat mengurangi jadwal perbaikan atau perawatan.



Gambar 2. Perbandingan biaya pemakaian listrik dengan biaya beban semu (kVArh).

Tabel 2. Rekening listrik PTLR sebelum *capacitor bank* dipasang

No.	Bulan	Pemakaian kWh Total	Biaya kVArh (Rp)	Biaya Meterai (Rp)	Biaya Pemakaian Blok I (Rp)	Biaya Pemakaian Blok II (Rp)	Jumlah Total (Rp.)
1	Januari	17.530	35.060.000	6.000	54.750.000	5.265.000	95.081.000
2	Pebruari	16.850	33.700.000	6.000	52.545.000	5.197.500	91.448.500
3	Maret	18.740	37.480.000	6.000	58.860.000	5.287.500	101.633.500
4	April	20.370	40.740.000	6.000	62.775.000	5.715.000	109.236.000
5	Mei	16.650	33.300.000	6.000	52.725.000	4.815.000	90.846.000
6	Juni	18.250	36.500.000	6.000	57.780.000	5.557.500	99.843.500
7	Juli	18.280	36.560.000	6.000	54.600.000	4.905.000	96.071.000
8	Agustus	18.710	37.420.000	6.000	55.800.000	5.467.500	98.693.500
9	September	12.020	24.040.000	6.000	60.420.380	6.402.810	90.869.190
10	Oktober	16.520	33.040.000	6.000	53.790.000	5.850.000	92.686.000

11	Nopember	18.440	36.880.000	6.000	59.895.000	9.405.000	106.186.000
12	Desember	16.470	32.940.000	6.000	43.650.000	1.301.370	77.897.370
		208.830	417.660.000	72.000	667.590.380	65.169.180	1.150.491.560
Jumlah rekening listrik PTLR sebesar							<b>1.150.491.560</b>

Pada Tabel 2. dapat diketahui bahwa pembayaran biaya semu (kVArh) yang harus ditanggung Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) setiap bulan mencapai tiga puluhan juta rupiah. Jika dibandingkan dengan Total pemakaian listrik dapat disimpulkan bahwa biaya semu tersebut sepertiga dari biaya total yang harus dibayarkan ke Perusahaan Listrik Negara (PLN).

Tabel 3. Rekening listrik PTLR setelah *capacitor bank* dipasang

No.	Bulan	Pemakaian kWh Total	Biaya kVArh	Biaya Meterai	Biaya Pemakaian Blok I (Rp)	Biaya Pemakaian Blok II (Rp)	Jumlah Total (Rp)
1	Januari	20.110	0	6.000	93.270.000	4.950.000	98.226.000
2	Pebruari	19.390	0	6.000	77.275.200	7.613.880	84.895.080
3	Maret	20.480	0	6.000	73.028.700	5.986.350	79.021.050
4	April	19.020	0	6.000	63.663.600	6.511.050	70.180.650
5	Mei	21.100	0	6.000	68.755.080	6.727.140	75.488.220
6	Juni	27.880	0	6.000	95.849.100	15.730.380	111.585.480
7	Juli	18.340	0	6.000	71.503.260	7.384.680	78.893.940
8	Agustus	16.800	0	6.000	69.654.000	6.697.500	76.357.500
9	September	12.020	0	6.000	60.420.380	6.402.810	66.829.190
10	Oktober	24.260	0	6.000	96.908.360	15.136.350	112.050.710
11	Nopember	18.580	0	6.000	82.616.280	7.699.110	90.321.390
12	Desember	16.670	0	6.000	77.028.980	7.301.370	84.336.350
		234.650	0	72.000	929.972.940	98.140.620	1.028.185.560
Jumlah Total Rekening Listrik PTLR tahun 2013 sebesar							<b>1.028.185.560</b>

## KESIMPULAN

1. Pemakaian listrik PTLR dapat diperbaiki dari mulai  $\text{Cos } \phi$  0,65 s/d 0,7 menjadi diatas  $\text{Cos } \phi$  0,94 s/d 0,98.
2. Pembayaran biaya listrik PTLR dapat dihemat rata-rata Rp. 35.000.000,- setiap bulan, setara dengan sepertiga biaya pemakaian rutin.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. FRANKLIN, BENJAMIN “Capacitor Charging and Discharging”. *All About Circuits*. Retrieved 2009-02-19.
- [2]. CORNELL DUBILIER “Aplication Guide, Aluminium Electric Capacitor Bank” Retrieved 2013-05-27.
- [3]. MARYUDI, ST “Petunjuk Operasi Kapasitor Bank” Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, 2010.
- [4]. BIRD, JOHN, “*Electrical Circuit Theory and Technology*. Routledge. p. 501. ISBN 9780750681391. Retrieved 2013-03-17.
- [5]. EFUNDA, GLOSSARY, “Unit Electric Capasitance”. Retrieved 2013-03-17

## PENYIMPANAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS PLTN 1000 MWe SISTEM KERING *CASK STORAGE*

Subiarto, Cahyo Hari Utomo, Dwi Luhur Ibnu Saputra  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**PENYIMPANAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS PLTN 1000 Mwe SISTEM KERING *CASK STORAGE*.** Telah dilakukan pengkajian tentang penyimpanan bahan bakar nuklir bekas (BBNB) dari PLTN 1000 Mwe dengan sistem kering *cask storage*. Jumlah BBNB yang ditimbulkan dari pengoperasian PLTN 1000 Mwe adalah sebanyak 64 bundel per 18 bulan atau 29,805 MtU per 18 bulan. Setelah disimpan dalam kolam air (*wet storage*) selama 3-5 tahun, BBNB kemudian dipindahkan ke tempat penyimpanan kering untuk jangka waktu yang lebih lama. Ada banyak metoda penyimpanan kering, salah satunya adalah *dry cask storage* yang akan dikaji dalam pengkajian dan penelaahan ini. *Dry cask storage* telah lazim digunakan sebagai tempat penyimpanan BBNB di negara-negara yang telah mengoperasikan PLTN dan selama ini operasi penyimpanan BBNB telah berlangsung dengan baik selama puluhan tahun tanpa kendala yang berarti.

Kata Kunci : Bahan Bakar Nuklir Bekas (BBNB), PLTN 1000 Mwe, *Dry Cask Storage*.

### ABSTRACT

**STORAGE OF NPP's 1000 MWe SPENT NUCLEAR FUEL WITH DRY CASK STORAGE SYSTEM.** Assesment about storage of spent nuclear fuel (SNF) from Nuclear Power Plant (NPP)'s 1000 MWe with dry cask storage system have been done. The amount of spent nuclear fuel inflicted from operation of NPP 1000 MWe was as much as 64 bundles per 18 months or 29.805 MtU per 18 months. After being stored in a pool of water (*wet storage*) for 3-5 years, spent nuclear fuel then transferred to dry storage for longer periods of time. There were many methods of dry storage system, one was the dry cask storage which will be examined in this assessment and review. Dry cask storage has been customarily used as storage of spent nuclear fuel in countries that have been operating NPP's and this spent nuclear storage operation has been ongoing well for decades without the constraints of meaning.

Keywords : Spent nuclear fuel (SNF), NPP 1000 MWe, Dry cask storage.

### PENDAHULUAN

Operasi PLTN menimbulkan bahan bakar nuklir bekas (BBNB). Untuk menjamin keselamatan pekerja dan masyarakat serta lingkungan, BBNB ini harus dikelola dengan tepat. Setelah disimpan dalam kolam reaktor selama periode waktu sekitar 5 tahun, selanjutnya BBNB disimpan dalam fasilitas penyimpanan sistem kering. Ada beberapa macam fasilitas penyimpanan sistem kering ini, salah satunya sistem *cask storage* yang akan dibahas dalam pengkajian ini.

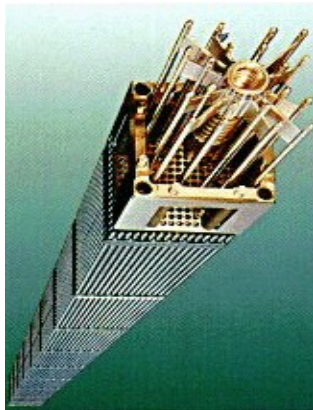
Indonesia direncanakan akan membangun beberapa PLTN tipe PWR (*Pressurized Water Reactor*) dengan kapasitas masing-masing 1000 MWe (*Mega Watt electric*). Kondisi saat ini, Indonesia belum memiliki PLTN, sehingga BBNB yang ditimbulkannya berasal dari ke-3 reaktor penelitian yang ada di Serpong, Bandung dan Yogyakarta dengan dimensi yang berbeda dari BBNB reaktor PLTN.

Tanggung-jawab PTLR-BATAN saat ini adalah mengelola BBNB dari reaktor di Serpong dengan aman dan selamat. Ke depan, dengan beroperasinya PLTN, maka PTLR juga harus sudah siap mengelola BBNB dari PLTN tersebut.

Sebagaimana tertuang dalam Kebijakan Energi Nasional (KEN) 2003 – 2020 yang telah disusun oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), pemenuhan kebutuhan listrik nasional dilakukan melalui diversifikasi pembangkitan listrik. Salah satu pilihan pembangkitan energi listrik yang akan dibangun adalah PLTN.

Adanya rencana memasukkan energi nuklir dalam sistem pemasok energi nasional melalui pembangunan PLTN tersebut maka akan mulailah era industri nuklir di Indonesia. Guna menghadapi pengelolaan bahan bakar nuklir bekas dalam waktu dekat maupun dalam jangka panjang, untuk reaktor pembangkit daya listrik, maka perlu dipelajari perkembangan teknologi pengelolaan bahan bakar nuklir bekas.

Bahan bakar nuklir bekas (BBNB) adalah bahan bakar nuklir yang telah selesai digunakan untuk menghasilkan energi listrik dalam operasi PLTN, biasanya berbentuk perangkat bahan bakar (*fuel assembly*). Bahan bakar nuklir umumnya dipakai di dalam PLTN selama beberapa tahun sebelum kehilangan kemampuan untuk menghasilkan energi. Saat PLTN beroperasi proses pembelahan inti berlangsung, energi dilepaskan dan di dalam bahan bakar terbentuk produk fisi dan aktinida hasil aktivasi. Umumnya BBNB kelihatan sama persis seperti ketika pertama kali dimasukkan ke dalam reaktor [1] Gambar 1 memperlihatkan contoh perangkat bahan bakar nuklir PWR.



Assembly : 17x17  
 Berat uranium : 461,4 kg  
 Berat UO<sub>2</sub> : 523,4 kg  
 Berat perangkat : 657,9 kg  
 Berat logam : 134,5 kg

Gambar 1. Contoh Perangkat Bahan Bakar PWR [2]

BBNB dalam pengelolaannya tergantung pada opsi siklus daur bahan bakar nuklir yang dianut negara bersangkutan. Ada dua macam siklus bahan bakar nuklir (BBN), yaitu siklus BBN terbuka dan siklus BBN tertutup. Pada awal industri PLTN asumsi yang diterima dalam pengelolaan adalah BBNB akan diolah ulang, uranium dan plutonium digunakan kembali sebagai bahan bakar nuklir (disebut siklus BBN tertutup). Situasi ini muncul sebagai konsekuensi atas perkiraan besar terhadap pertumbuhan program PLTN dan

kurangnya ketersediaan uranium. Namun demikian perubahan pertumbuhan PLTN, penemuan sumber-sumber uranium baru dan penggunaan material dapat belah dari senjata nuklir membuat program olah ulang BBNB tidak berkembang. Teknologi olah ulang tersedia dan teruji, beberapa negara telah memutuskan untuk mengimplementasikannya dalam program PLTN mereka. Beberapa negara atau pengguna listrik menganggap lebih menguntungkan untuk mengimplementasikan siklus terbuka, dimana BBNB yang dikeluarkan dari teras reaktor disimpan, setelah jangka waktu tertentu BBNB akan dikondisioning dan dibuang langsung ke fasilitas *repository* pada formasi geologi. Kedua pendekatan siklus terbuka dan tertutup masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan.

Pada makalah ini dilakukan pengkajian penyimpanan BBNB dengan metoda sistem kering *dry cask storage*, dengan tujuan mendapatkan data dan spesifikasi dry cask storage untuk tempat penyimpanan BBNB sebelum langkah berikutnya dilakukan, yakni olah-ulang atau penyimpanan lestari di formasi geologi dalam.

## DATA DAN PEMBAHASAN

### BBNB dari PLTN 1000 MWe

Bahan bakar nuklir bekas adalah limbah radioaktif padat aktivitas tinggi, jumlah BBNB yang ditimbulkan dari pengoperasian PLTN 1.000 MWe sebanyak 64 bundel per 18 bulan atau 29,805 MtU per 18 bulan seperti ditunjukkan Tabel 1. Pada tabel tersebut PLTN diasumsikan beroperasi pada awal tahun 2020, pemuatan pertama bahan bakar segar (*fresh fuel/FF*) adalah 89,4 MtU, kemudian setelah iradiasi selama 18 bulan sebanyak 29,805 MtU menjadi bahan bakar nuklir bekas (*spent nuclear fuel/SNF*) [3].

Tabel 1. Jumlah Limbah BBNB yang Dihasilkan oleh Reaktor PLTN 1000 MWe [3]

Tahun	JUMLAH BAHAN BAKAR (MIU)									
	REAKTOR-1		REAKTOR-2		REAKTOR-3		REAKTOR-4		ALL REAKTOR	
	FF	SNF	FF	SNF	FF	SNF	FF	SNF	MT FF	SNF
2020	89,4	0	0	0	0	0	0	0	89,4	0
2021	19,87	29,805	89,4	0	0	0	0	0	109,27	29,805
2022	19,87	29,805	19,87	29,805	0	0	0	0	39,74	59,61
2023	19,87	0	19,87	29,805	0	0	0	0	39,74	29,805
2024	19,87	29,805	19,87	0	0	0	0	0	39,74	29,805
2025	19,87	29,805	19,87	29,805	0	0	0	0	39,74	59,61
2026	19,87	0	19,87	29,805	0	0	0	0	39,74	29,805
2027	19,87	29,805	19,87	0	89,4	0	0	0	129,14	29,805
2029	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	89,4	0	149,01	89,415
2030	19,87	0	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	79,48	89,415
2031	19,87	29,805	19,87	0	19,87	0	19,87	29,805	79,48	59,61
2032	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	0	79,48	89,415
2033	19,87	0	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	79,48	89,415
2034	19,87	29,805	19,87	0	19,87	0	19,87	29,805	79,48	59,61
2035	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	0	79,48	89,415
2036	19,87	0	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	2031	19,87
2037	19,87	29,805	19,87	0	19,87	0	19,87	29,805	2032	19,87
2038	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	0	2033	19,87
2039	19,87	0	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	2034	19,87
2040	19,87	29,805	19,87	0	19,87	0	19,87	29,805	2035	19,87
2041	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	0	2036	19,87
2042	19,87	0	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	2037	19,87
2043	19,87	29,805	19,87	0	19,87	0	19,87	29,805	2038	19,87
2044	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	0	2039	19,87
2045	19,87	0	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	2040	19,87
2046	19,87	29,805	19,87	0	19,87	0	19,87	29,805	2041	19,87
2047	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	0	2042	19,87
2048	19,87	0	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	2043	19,87
2049	19,87	29,805	19,87	0	19,87	0	19,87	29,805	2044	19,87
2050	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	0	2045	19,87
2051	19,87	0	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	2046	19,87
2052	19,87	29,805	19,87	0	19,87	0	19,87	29,805	2047	19,87
2053	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	0	2048	19,87
2054	19,87	0	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	2049	19,87
2055	19,87	29,805	19,87	0	19,87	0	19,87	29,805	2050	19,87
2056	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	0	2051	19,87
2057	19,87	0	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	2052	19,87
2058	19,87	29,805	19,87	0	19,87	0	19,87	29,805	2053	19,87
2059	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	0	2054	19,87
2060	19,87	0	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	2055	19,87
2061	19,87	29,805	19,87	0	19,87	0	19,87	29,805	2056	19,87
2062	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	0	2057	19,87
2063	19,87	0	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	2058	19,87
2064	19,87	29,805	19,87	0	19,87	0	19,87	29,805	2059	19,87
2065	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	29,805	19,87	0	2060	19,87
2020-2065	963,68	894,15	943,61	864,345	824,59	745,125	804,72	715,32	3536,8	3218,94

Bahan bakar nuklir PLTN jenis PWR 1.000 MeW mempunyai nilai bakar (*burn up*) dan persen pengayaan U-235 yang bervariasi, seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Bahan bakar PLTN yang digunakan mempunyai *burn up* 50.000 MWD/ton U [3].

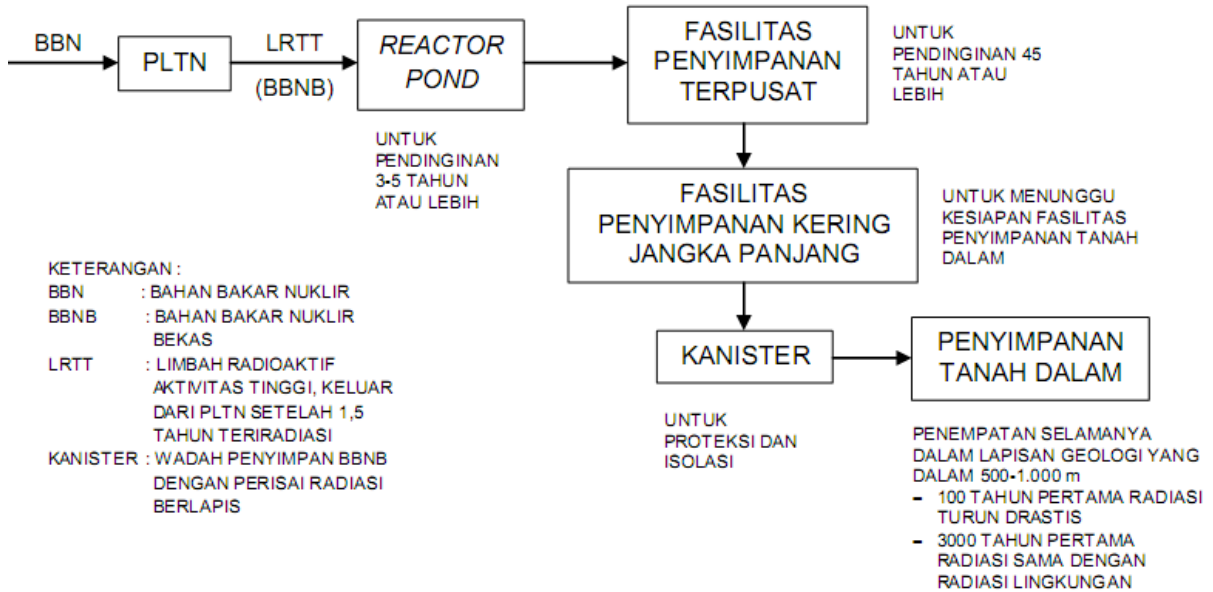


Tabel 2. Hubungan Nilai Bakar, Persen Pengayaan dan Jumlah Uranium yang Diperkaya dalam Satu Siklus/Catu Bahan Bakar (18 Bulan) [3]

Nilai Bakar ( <i>Burn-Up</i> ) MWD/ton U	Persen Pengayaan U-235	Ton Uranium Sisa per Siklus (18 bulan)
35.000	3,227 %	42,57
40.000	3,651 %	37,25
45.000	4,079 %	33,11
50.000	4,51 %	29,8
55.000	4,953 %	27,09
60.000	5,398 %	24,83

#### Fasilitas Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas (FPSBBNB)

Dalam reaktor nuklir, bahan bakar menghasilkan neutron dan panas selama periode operasi. Bahan bakar dikeluarkan dari reaktor bila umur ekonomisnya telah dicapai (berdasarkan desain), bahan bakar tersebut menjadi bahan bakar bekas. Bahan bakar bekas mengandung unsur-unsur radioaktif hasil fisi, elemen transurium dan hasil aktivasi. Bahan bakar tersebut mengeluarkan panas dan radiasi yang ditimbulkan oleh peluruhan unsur-unsur radioaktifnya. Sasaran utama pengelolaan BBNB adalah bahan bakar tersebut harus disimpan secara aman, ekonomis dan memenuhi ketentuan keselamatan terhadap manusia dan lingkungan [4,5]. Bahan bakar nuklir bekas tersebut setelah keluar dari reaktor disimpan dalam kolam penyimpanan (*reactor pond*) selama 3-5 tahun atau lebih untuk peluruhan aktivitas dan panas. Selanjutnya BBNB dipindah ke fasilitas penyimpanan sementara dilokasi PLTN yang mampu menyimpan bahan bakar selama periode panjang 45 tahun atau lebih. Setelah itu BBNB dipindah ke fasilitas penyimpanan lestari. Saat ini pengelolaan BBNB di Indonesia sesuai dengan regulasi yang berlaku menganut sistem bahan bakar nuklir terbuka, pengelolaan BBNB ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Strategi dan Program Pengelolaan Limbah Radioaktif untuk PLTN di Masa yang akan Datang [4,6,7]

### Penyimpanan BBNB Sistem Kering

Penyimpanan kering akan lebih baik dari segi kerusakan perangkat BBNB terutama terhadap korosi sehingga BBNB akan tahan lebih lama dalam sistem penyimpanan kering. Pada sistem penyimpanan basah BBNB diharapkan tahan sampai 50 tahun, sedangkan pada sistem kering diharapkan tahan sampai 100 tahun, pendinginan kering dengan udara merupakan pilihan yang lebih baik dari pada pendinginan kolam air. Namun demikian, sistem penyimpanan kering mempunyai kapasitas perpindahan panas yang rendah sehingga tidak dapat digunakan untuk BBNB yang baru keluar dari teras reaktor. Oleh karena itu penyimpanan sistem kering banyak digunakan untuk penyimpanan sementara BBNB di luar lokasi reaktor, *AFR ( Away From Reactor )*

Sistem penyimpanan sementara BBNB tipe kering menggunakan udara sebagai media pendingin. Perpindahan panas yang terjadi pada sistem tempat penyimpanan BBNB tipe kering meliputi panas konveksi yang terakumulasi pada dinding, panas tempat penyimpanan yang diambil secara konveksi oleh pendingin melalui pengaliran udara dan laju massa alir yang dibutuhkan oleh udara masuk.

Sistem penyimpanan sementara BBNB tipe kering terbagi dari 4 jenis, yaitu :

#### 1. *Vault Storage*

Struktur fasilitas penyimpanan ini meliputi *shell* beton yang besar dengan rak penyimpanan atau lobang penyimpanan. *Canister* ditumpuk 1 atau 2 tingkat. *Vault Storage* ada dua macam, yaitu yang menggunakan udara pendingin secara konveksi paksa dan konveksi alam. Sebagai perisai adalah beton dan wadahnya (kelongsong bahan bakar dan *canister*). Laju dosis permukaan yang diperkenankan kurang dari 2 mrem/jam pada permukaan gedung. Sebagai pelindung pada *vault storage* dengan konveksi paksa adalah *canister*, kelongsong

dan bangunan, sedangkan untuk konveksi alam adalah *canister* dan kelongsong. BBNB yang disimpan secara *vault storage* telah mengalami pendinginan 5 tahun atau lebih. Untuk menjamin keutuhan BBNB selama penyimpanan maka dilakukan pemantauan temperatur dan temperatur udara pendingin "*cask*". *Vault Storage* secara konveksi paksa telah dioperasikan di Wylfa- Inggris untuk bahan bakar jenis *Magnox* dan di Moderex – Switzerland. *Vault Storage* secara konveksi alam telah dioperasikan di Inggris untuk bahan bakar jenis *LWR (Light Water Reactor)*.

## 2. *Drywell Storage*

Struktur fasilitas penyimpanan ini meliputi pipa besi baja dan beton, dengan perisai tanah beton dan besi baja. Perlengkapan *drywell* dibatasi oleh pengambilan panas dan kritikalitas. Sebagai pelindung adalah *canister*, kelongsong dan *drywell*. BBNB yang disimpan secara *drywell storage* adalah BBNB yang telah mengalami pendinginan selama 3-5 tahun atau lebih. Untuk menjamin keutuhan BBNB selama penyimpanan maka dilakukan pemantauan temperatur permukaan *canister* dan *drywell*, temperatur dan radioaktivitas udara pendingin dalam *drywell storage* untuk penyimpanan. Penyimpanan dengan metoda *drywell storage* ini sedang diuji coba di USA.

## 3. *Silo Storage*

Struktur fasilitas penyimpanan ini meliputi silo dan plat besi baja. Diameter dalam silo 1,2–1,6 m dan tinggi 5,5-6,6 m. Bahan perisai adalah beton dan besi baja. Laju dosis yang diperkenankan adalah lebih kecil daripada 2 mrem/jam pada permukaan luar silo. Sebagai pelindung pada penyimpanan adalah *canister*, kelongsong dan *over package* (dengan aliran udara atau tanpa aliran udara) . BBNB yang disimpan secara *silo storage* adalah yang telah mengalami pendinginan selama 5 tahun atau lebih. Untuk menjamin keutuhan BBNB selama penyimpanan, dilakukan pemantauan temperatur *canister* dan radioaktivitas udara dalam silo.

## 4. *Cask Storage*

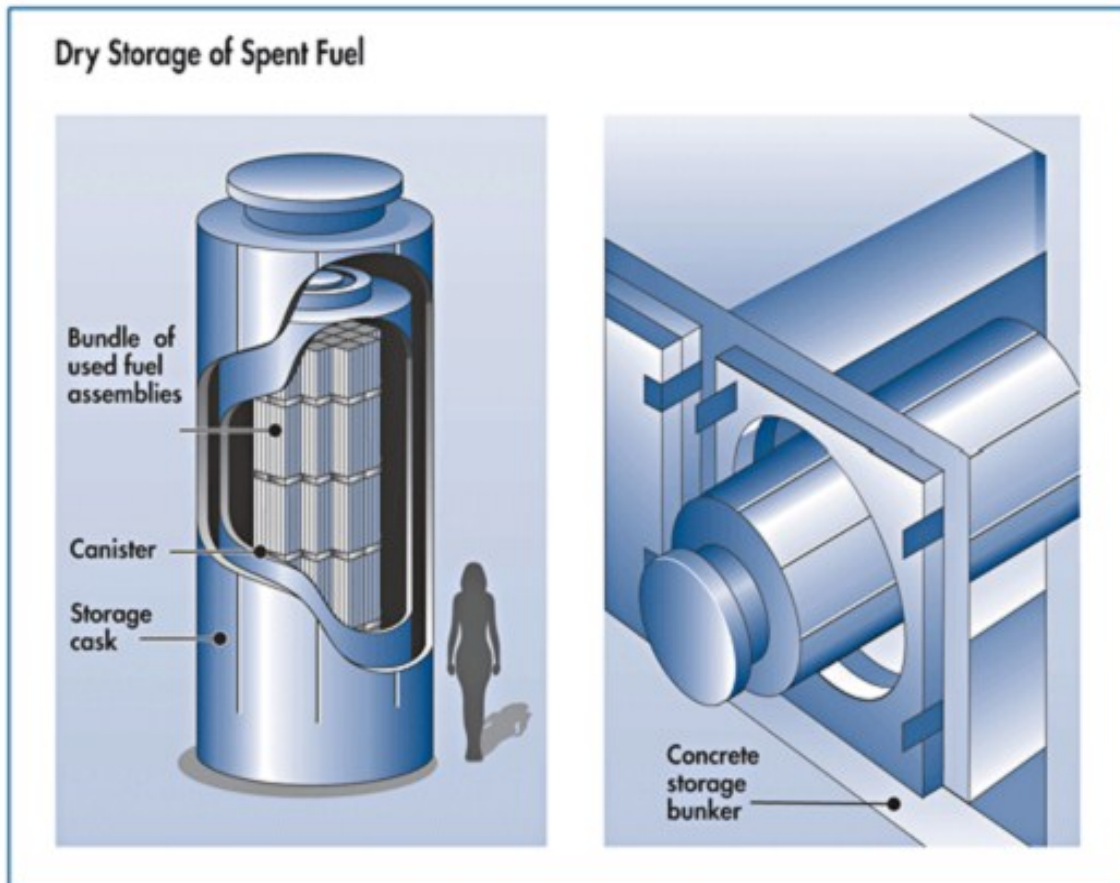
Struktur fasilitas penyimpanan ini meliputi wadah (*cask storage*) dan bangunan penyimpanan dengan struktur "*reinforced cement*". *Cask storage* untuk BBNB jenis *LWR* di USA berukuran diameter luar 2,0-2,5 m, tinggi 6,4-7,0 m dan berat 90-120 ton. Bahan perisai terdiri dari Pb dan bahan perisai netron, besi tuang nodular dan perisai netron. Laju dosis yang diperkenankan adalah 200 mrem/jam pada permukaan *cask* dan 10 mrem/jam pada jarak 1 m dari permukaan *cask*. Sebagai pelindung adalah *cask* dan kelongsong bahan bakar. Bahan bakar yang disimpan secara *cask storage* adalah yang telah mengalami pendinginan selama 5 tahun atau lebih. Untuk menjamin keutuhan BBNB selama penyimpanan, maka dilakukan pemantauan kebocoran *cask*.

### *Dry Cask Storage*

*Dry cask storage* adalah metode penyimpanan limbah radioaktif tingkat tinggi, seperti bahan bakar nuklir bekas yang telah didinginkan dalam kolam bahan bakar untuk setidaknya satu tahun atau paling lama sepuluh tahun.[8][9] *Casks* adalah biasanya silinder baja yang dilas atau dikunci tertutup. Batang bahan

bakar di dalam dikelilingi oleh gas inert. Idealnya, wadah silinder baja memberikan penangkalan kebocoran bahan bakar yang ketat. Setiap silinder dikelilingi oleh tambahan baja, beton, atau bahan lain untuk memberikan perlindungan terhadap radiasi bagi pekerja dan anggota masyarakat.

Ada berbagai desain sistem *dry cask storage*. Beberapa desain, meletakkan silinder baja yang mengandung bahan bakar secara vertikal dalam beton; desain lainnya mengorientasikan silinder secara horizontal. Kubah beton menyediakan perlindungan terhadap radiasi. Desain *Cask* lainnya mengorientasikan silinder baja secara vertikal pada landasan beton di tempat penyimpanan *dry cask* dan menggunakan genteng beton dan lapisan logam luar silinder untuk perlindungan terhadap radiasi. Saat ini belum ada fasilitas penyimpanan permanen jangka panjang; Penyimpanan *dry cask* dirancang sebagai solusi sementara yang lebih aman dibandingkan penyimpanan bahan bakar bekas dalam kolam. *Cask* yang disimpan secara vertikal dan horizontal bisa dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema *storage cask* yang berisi canister dengan BBNB yang diletakkan secara vertikal (kiri) dan horizontal (kanan). [10]

## Pengalaman Negara Yang Telah Memiliki PLTN dalam Pengelolaan BBNB

### a. China

China memiliki 8 PLTN *PWR* dan 2 *PHWR* (*Pressurized Heavy Water Reactor*) dengan kapasitas total 7.572 MWe, 5 *PWR* dengan kapasitas 4.220 MWe sedang dalam konstruksi. China menganut siklus daur tertutup. Semua BBNB disimpan di reaktor. Proses olah-ulang BBNB skala pilot dengan kapasitas 0.1 tHM/tahun dibangun di Lanzhou, beroperasi tahun 2001. Penyimpanan basah tersentralisasi dengan kapasitas 550 tHM beroperasi tahun 2003 di kompleks bahan bakar nuklir Lanzhou.

### b. Jepang

PLTN Jepang pertama berjenis *BWR* (*Boiling Water Reactor*) dengan kapasitas 13 MWe dan terhubung ke sistem kelistrikan pada tahun 1963. Sampai saat ini ada 23 PLTN tipe *PWR* dan 32 PLTN tipe *BWR* sedang beroperasi dengan kapasitas mencapai 47.587 MWe, menyumbang energi sebesar 29,97 % dari produksi listrik nasional Jepang tahun 2006. Empat reaktor *shutdown* permanen dan satu *PWR* kapasitas 86 MWe sedang dibangun di HOKAIDO.

Jepang menganut siklus bahan bakar nuklir daur tertutup yang mempunyai fasilitas olah ulang BBNB dengan kapasitas 0.7 tHM/hari dan fasilitas kolam penyimpanan sementara *AFR* berkapasitas 140 tHM beroperasi di Tokai pada tahun 1977. Sampai akhir tahun 2002 tidak ada BBNB di fasilitas *AFR* Jepang, pabrik olah ulang BBNB di Tokai telah memproses sekitar 1009 t Udisamping itu Jepang juga membuat kontrak dengan Perancis dan Inggris untuk memproses ulang 5600 t U BBNB *LWR* yang pengirimannya selesai akhir September 1998.

### c. Korea Selatan

Korea Selatan memulai program PLTN komersial pertama pada tahun 1977 dengan mengoperasikan *PWR* 600 MWe, lima tahun kemudian Korea mengoperasikan PLTN jenis *PHWR* 600 MWe. Sampai saat ini ada PLTN, 16 tipe *PWR* dan 4 tipe *PHWR* beroperasi dengan kapasitas total 18 GWe menyumbang energi sekitar 38.64 % listrik nasional tahun 2006, satu PLTN jenis *PWR* dengan kapasitas 1000 MWe sedang dalam konstruksi dan direncanakan beroperasi tahun 2010.

Korea Selatan menganut siklus daur bahan bakar nuklir terbuka, BBNB disimpan di masing-masing bangunan PLTN. *KHNP* (*Korea Hydro Nuclear Power*) mengoperasikan fasilitas penyimpanan BBNB sistem kering *AFR* untuk reaktor *PHWR* di Wolsong pada tahun 1994 dengan kapasitas 1212 tHM. *AEC* (*Atomic Energy Commission*), badan pembuat kebijakan tenaga atom tertinggi di Korea memutuskan untuk membangun fasilitas penyimpanan BBNB sistem kering diluar lokasi reaktor (*AFR*) dan menunjuk *KAERI* (*Korean Atomic Energy Research Institute*) sebagai organisasi nasional pengelolaan limbah tahun 1984, namun pada tahun 1999 tugas pengelolaan limbah dipindahkan ke *NETEC* (*Nuclear Environment Technology Institute*) yang merupakan divisi khusus dibawah *KHNP*.

Persiapan dan pemilihan lokasi untuk penyimpanan sementara BBNB diluar lokasi reaktor (*AFR*) Korea dan penelitian aspek-aspek teknik fasilitas penyimpanan sementara BBNB dilakukan oleh *NETEC*, penyimpanan kering BBNB diluar lokasi reaktor (*AFR*) untuk BBNB jenis *PWR* direncanakan beroperasi tahun 2016 dengan kapasitas 2000 tHM.

#### **d. Perancis**

Perancis mulai menggunakan listrik dari PLTN tahun 1959 dengan mengoperasikan PLTN jenis *GCR* (*Gas Cooled Reactor*) yang sekarang sudah *shutdown*. Reaktor jenis *GCR* mendominasi Perancis sampai tahun 1973, setelah itu pemerintah Perancis memutuskan untuk mengkonsentrasikan pada PLTN jenis *PWR*. Sampai saat ini terdapat 58 *PWR* dengan kapasitas total 61.5 GWe, menyumbang 78 % kebutuhan listrik nasional Perancis tahun 2006.

Perancis menganut siklus tertutup dengan mengolah ulang BBNB *PWR* dan menggunakan kembali plutonium dan uranium dalam PLTN *PWR*. Semua bahan bakar nuklir bekas *GCR* (18000 tHM) telah diolah-ulang di Cogema UP1 yang berlokasi di Marcole yang sekarang sudah dekomisioning. BBNB *PWR* Perancis dikirim ke kolam penyimpanan sementara *AFR* La Hague untuk pendinginan sebelum diolah ulang di Cogema UP2. BBNB dari luar Perancis diolah ulang di Cogema UP3 La Hague. Uranium dan plutonium digunakan kembali di fasilitas fabrikasi bahan bakar. Limbah dari proses olah-ulang BBNB dikondisioning dan disimpan sementara sebelum dikirim ke *ANDRA* (*Agency nationale pour la gestion des déchets radioactifs*) atau pelanggan luar negeri. Jumlah total BBNB *LWR* yang telah diolah ulang lebih dari 18300 tHM. Limbah Aktivitas Tinggi yang telah dikondisioning disimpan di lokasi pengolahan menunggu lokasi disposal yang disiapkan oleh *ANDRA*.

#### **e. Jerman**

Jerman mulai mengoperasikan PLTN *BWR* 15 MWe pada tahun 1961, lima tahun kemudian menambah 3 PLTN *PHWR*, *PWR* dan *BWR* masing-masing berkapasitas 52, 62 dan 237 MWe. Sampai tahun 1971 Jerman memiliki 8 PLTN dengan kapasitas total mencapai 1.000 MWe yang semua sudah dalam status *shutdown* permanen. Saat ini Jerman mengoperasikan 11 *PWR* dan 6 *BWR* dengan kapasitas total sekitar 21 GWe, total produksi listrik PLTN untuk tahun 2006 di Jerman 158.709.486 GWh(e), atau 31.82 % dari total penggunaan listrik di Jerman.

Jerman menganut siklus daur bahan bakar nuklir terbuka dan tertutup. Semua kegiatan olah ulang BBNB dalam negeri dihentikan, proses olah ulang BBNB dilakukan dengan kontrak mengirim BBNB ke Inggris dan Perancis. Amandemen Undang-undang di Jerman tahun 1994 mengizinkan pembuangan BBNB di *repository* geologi sebagai pengganti penghentian olah-ulang BBNB. Dan aturan baru tahun 2001 melarang transportasi BBNB ke fasilitas olah-ulang BBNB setelah pertengahan 2005. BBNB yang tidak dikirim ke luar negeri untuk olah-ulang BBNB disimpan di fasilitas penyimpanan sementara tersentralisasi.

#### f. Amerika Serikat

Amerika Serikat mengoperasikan 103 PLTN dengan kapasitas total 99,25 GWe, menghasilkan listrik 787.219,77 GWh(e) atau 19,42 % kebutuhan energi listrik Amerika Serikat tahun 2006. PLTN pertama Amerika Serikat jenis BWR dengan kapasitas 24 MWe beroperasi tahun 1957 di California. Tidak ada pabrik olah-ulang BBNB yang beroperasi, Amerika Serikat menganut daur bahan bakar nuklir siklus terbuka.

Negara-negara yang telah disebutkan diatas telah memiliki solusi untuk tempat penyimpanan BBNB dari PLTN-nya. Gambar 4 menunjukkan tempat penyimpanan BBNB sistem *dry cask storage*



Gambar 4. Tempat Penyimpanan BBNB dari PLTN Sistem *Dry Cask Storage*

#### Adaptasi Teknologi Penyimpanan BBNB di Indonesia

Indonesia dapat mempelajari dan menimba pengalaman dari negara-negara yang telah memiliki dan mengoperasikan PLTN, maka BBNB dari reaktor risetnya setelah disimpan di kolam reaktor harus disiapkan tempat penyimpanan kering untuk periode berikutnya. Begitu pula bila nanti Indonesia mengoperasikan PLTN, maka selain kolam di reaktor (untuk penyimpanan sistem basah), harus disediakan pula fasilitas penyimpanan sistem kering untuk nantinya diteruskan dengan *disposal* di fasilitas formasi geologi dalam, karena Indonesia menganut daur bahan bakar nuklir terbuka, sehingga tidak diperlukan fasilitas olah-ulang BBNB.

## KESIMPULAN

Saat ini, Indonesia belum memiliki PLTN. BBNB yang ditimbulkan dari ketiga reaktor risetnya di Yogyakarta, di Bandung dan di Serpong telah dikelola dengan baik. Penanganan BBNB dari reaktor riset di Serpong menjadi tugas dan tanggung jawab PTLR. Sampai saat ini BBNB tersebut masih disimpan di kolam KH – IPSB3 (Kanal Hubung – Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas), dan belum ada fasilitas untuk penyimpanan kering. Bila nanti PLTN jadi dibangun, maka BBNB yang ditimbulkannya harus dikelola, disamping di kolam (*wet storage*) juga harus sudah disiapkan fasilitas untuk penyimpanan keringnya, yaitu metoda *dry cask storage*.

Dari pengoperasian PLTN 1000 MW selama 18 bulan, ditimbulkan BBNB sebanyak 64 bundel atau 29,805 MtU. Setelah penyimpanan dalam kolam untuk pendinginan dan peluruhan aktivitas BBNB yang baru keluar dari reaktor, maka sudah harus disiapkan tempat penyimpanan sistem kering *dry cask storage*. Dari pengalaman negara-negara yang sudah mempunyai PLTN, penyimpanan BBNB dengan sistem kering *dry cask storage* telah berlangsung puluhan tahun tanpa kendala yang berarti sampai nanti penyimpanan di tempat yang lestari di formasi geologi dalam siap digunakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. WATI, NUROKHIM, “Pengelolaan Bahan Bakar Nuklir Bekas dari Reaktor Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir”, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengolahan Limbah VI.
- [2]. GONYEAU, J., “The Virtual Nuclear Tourist, Nuclear Power Plants Around the World” , (on line). <http://www.nucleartourist.com> diakses tanggal 10 April 2006.
- [3]. WESTING HOUSE ELECTRIC COMPANY, “Radioactive Waste Management, AP 1.000 Design Control Document”, AP 1.000 Design Document, Revision 17, Westing House, Pittsburgh, 2010.
- [4]. SALIMIN, Z, ”Pemikiran Pengelolaan Bahan Bakar Bekas untuk Operasi PLTN di Masa Yang Akan Datang”, Prosiding Seminar XII Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, Yogyakarta, 5 – 6 September 2006.
- [5]. SALIMIN, Z, “Safe Handling of Irradiated Fuel of Indonesian Multi Purpose Reactor of 30 MW” , Proceeding of Waste Management 1998 Conference , March 1 – 5, 1998, Tucson, Arizona, USA.
- [6]. SALIMIN, Z, “Peran dan Perkembangan Operasi Teknik Kimia Pengolahan Limbah Radioaktif Untuk Mendukung Aplikasi Iptek Nuklir di Indonesia”, Orasi Pengukuhan Profesor Riset Bidang Teknologi Evaporasi, BATAN, Serpong, 27 Desember 2007.
- [7]. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, “Evaluation of Spent Fuel as a Final Waste Form”, Technology Reports Series No. 320, Vienna, 1991.
- [8]. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, “Dry Cask Storage”, Retrieved 2011-03-17.



- [9]. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, “ Spent Fuel Storage in Pools and Dry Casks : Key Points and Questions & Answers”, Retrieved 2013-11-27.
- [10]. ZAINUS SALIMIN, DYAH SULISTYANI RAHAYU :”Unjuk Kerja Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas PLTN dalam Kaitan dengan Teknologi Penyimpanannya”, Prosiding Seminar Nasional ke-16 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir, ISSN :0854-2910.



## PENGAJIAN KESELAMATAN FASILITAS DISPOSAL LIMBAH RADIOAKTIF DI KAWASAN NUKLIR SERPONG (SKENARIO)

**Arimuladi S Purnomo**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN

### ABSTRAK

**PENGAJIAN KESELAMATAN FASILITAS DISPOSAL LIMBAH RADIOAKTIF (SKENARIO).** Kegiatan ini dilakukan untuk mendukung kegiatan yang terkait dengan aspek lokasi yang menyangkut geosfer, biosfer, dan aspek inventory data limbah yang akan menentukan disain dan keselamatan disposal limbah radioaktif. Dalam rangka memberikan keyakinan bahwa sistem disposal limbah radioaktif berfungsi dengan baik maka perlu dilakukan pengkajian keselamatan. Subyek utama dalam tulisan ini adalah pengembangan sistim informasi dari *Features, Events and Processes* (FEP) untuk digunakan pada pengkajian keselamatan terhadap skenario desain fasilitas penyimpanan limbah radioaktif dekat permukaan (*near surface disposal* = NSD), utamanya di Kawasan Nuklir Serpong.

*Kata kunci : skenario, keselamatan, disposal, limbah radioaktif*

### ABSTRACT

**SAFETY ASSESSMENT OF RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL FACILITY (SCENARIOS).** *This activity is carried out to support activities related to location aspects concerning of the geosphere, the biosphere and the data inventory of radioactive waste that will determine the design and safety of radioactive waste disposal. In order to provide the confidence that the function of radioactive waste disposal system is running properly, it is necessary to conduct the safety assessment. The main subject in this paper is the development of information systems include of Features, Events and Processes (FEP) for use in the safety assessment of the design of scenarios for radioactive waste disposal facility, especially for near surface disposal (NSD) type, especially in the Nuclear Serpong Area.*

*Keywords: design scenarios, safety, near surface disposal, radioactive waste*

### PENDAHULUAN

Dalam pengkajian keselamatan penyimpanan limbah radioaktif dekat permukaan (*near surface disposal*/NSD), sangatlah penting untuk mengevaluasi kinerja sistem *disposal* (fasilitas pembuangan, geosfer dan biosfer) pada kondisi sekarang dan masa depan, termasukantisipasi dalam peristiwa yang kurang menguntungkan. Berarti banyak faktor yang harus diperhitungkan dan dievaluasi secara konsisten, dan seringkali tidak ada data kuantitatif. Tidak bisa diabaikan, hal ini akan menghasilkan banyak ketidakpastian analisis, karena sifat bawaan kurangnya pengetahuan manusia atas bagaimana sistem akan berkembang seiring dengan waktu. Bagaimanapun ketidakpastian ini harus dilaksanakan dan hal ini sering dicapai setiap generasi dalam serangkaian skenario analisis.

Salah satu kunci aktifitas dalam metodologi generasi skenario untuk kasus pengembangan keselamatan, adalah identifikasi komprehensif faktor-faktor yang secara potensial berhubungan, sering diistilahkan fitur, peristiwa dan proses (*features, events and processes / FEPs*), yang dapat atau tidak secara langsung mempengaruhi sistem *disposal* dan migrasi radionuklida. FEPs ini biasanya diidentifikasi dari deskripsi sistem *disposal*. Ketika daftarnya telah lengkap setiap

FEP yang berhubungan penting untuk ditinjau, sering kali menggunakan pertimbangan para ahli. Tinjauan dan hasil proses keputusan dalam penyaringan FEPs ini dapat juga dikesampingkan, yang mana membutuhkan pertimbangan lebih jauh dalam perkiraan analisis keselamatan. Penyaringan suatu FEP dapat didukung oleh perhitungan-perhitungan. Suatu FEP dapat dikesampingkan atas kriteria kuantitatif maupun kualitatif atau bahkan keduanya.

Daftar yang dihasilkan oleh FEPs digunakan bersama dengan deskripsi sistem untuk merumuskan kasus-kasus perhitungan atau skenario. Hal ini membutuhkan suatu deskripsi hubungan antara fitur-fitur, peristiwa-peristiwa, dan proses-proses. Penilaian dalam skenario mana saja yang harus dianalisis dalam pengkajian keselamatan dapat dibuat kemudian, pilihan ini akan mempengaruhi tujuan pengkajian (contohnya konteks pengkajian).

Karena dokumen ini mencerminkan kemajuan yang dibuat saat ini, metode-metode untuk menjaring daftar FEP dan untuk menggambarkan hubungan antara fitur yang berbeda, peristiwa dan proses untuk membentuk skenario-skenario, hanya akan ditambahkan pada dokumen pada tahap selanjutnya. Apa yang akan dibahas adalah kemajuan yang dibuat dengan kompilasi database FEP dan generasi skenario secara umum.

Pembangunan fasilitas *disposal demo* di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) adalah sebagai langkah antisipasi untuk pemenuhan kebutuhan penyimpanan akhir (*disposal*) limbah radioaktif dari kegiatan riset, medis dan industri yang juga sekaligus untuk melengkapi fasilitas nasional pelayanan pengelolaan limbah radioaktif PLTN dan *TENORM* (*Technologically-Enhanced, Naturally-Occurring Radioactive Materials*) di Indonesia. Sebagai langkah awal maka dilakukan pengkajian dengan menggunakan metodologi skenario keselamatan di atas.

## TATA KERJA

Tinjauan dilakukan dengan studi pustaka dari skenario keselamatan baik yang dikeluarkan oleh *Nuclear Energy Agency (NEA) – OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development)* maupun oleh *IAEA*, dan praktek negara-negara yang telah mengoperasikan *NSD* seperti Perancis dan Jepang serta survey lapangan untuk *TENORM*. Kemudian analisis data sekunder dan penapisan yang disesuaikan dengan kondisi di Indonesia serta evaluasi ketidakpastian dari skenario keselamatan tersebut sehingga harus dibuatkan suatu alternative skenario keselamatan yang aman. Diharapkan dari tinjauan skenario keselamatan ini dapat digunakan sebagai acuan dan langkah awal untuk dapat menyusun model keselamatan *NSD* limbah radioaktif skenario normal pada geosfer dan biosfer di Indonesia, utamanya di Kawasan Nuklir Serpong.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Definisi Fitur, Peristiwa, Proses dan Skenario

*ISAM (Improvement of Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal)*, mempunyai definisi yang ditetapkan dengan istilah secara khusus, dibutuhkan pertimbangan definisi istilah untuk:

- fitur, peristiwa, proses, dan juga
- skenario.

Istilah tersebut digunakan secara luas dalam pengkajian *disposal* pasca-penutupan, dan para ahli berharap menemukan definisi yang diterima dalam literatur, yang ternyata menjadi kenyataan.

Dalam istilah "fitur", "peristiwa" dan "proses" tampaknya istilah tersebut belum didefinisikan secara independen. Hal ini sering disebabkan karena baik wujud fisik yang dianggap sebagai fitur, peristiwa, atau proses yang bergantung pada skala ruang dan waktu yang dilihat, dan pada kenyataannya hal ini direpresentasikan sebagai sebuah model. Selain itu, perbedaan tersebut tidak terlalu penting secara operasional. Jika katalog fitur, peristiwa dan proses (*Features, Events and Process / FEPs*) disusun, maka apa yang paling penting adalah semua FEP yang bersangkutan diidentifikasi, bukan label tertentu yang dapat dilampirkan pada FEP. Dalam prakteknya, sering kali ditemukan deskripsi FEP rinci yang menyebutkan fitur, peristiwa dan proses.

Analisis keselamatan melibatkan pertimbangan semua kemungkinan Fitur, Peristiwa dan Proses, baik secara langsung atau tidak mempengaruhi lepas dan transport radionuklida dari tempat penyimpanan.

Untuk Proyek ISAM, menggunakan istilah "FEP" karena penggunaan umumnya dalam literatur pengkajian. Mengacu pada definisi yang masih sejalan dengan istilah NEA secara umum, dengan demikian:

FEP adalah fitur, peristiwa, proses, atau faktor lain, yang mungkin penting untuk mempertimbangkan pengkajian keselamatan *disposal*. Hal ini termasuk fitur fisik, peristiwa dan proses yang secara langsung atau tidak mempengaruhi lepas dan transport radionuklida dari tempat penyimpanan atau paparan radiasi selanjutnya kepada manusia dan juga faktor lainnya, misalnya syarat pengaturan atau isu pembuatan model yang mendesak atau berfokus pada analisis<sup>[1]</sup>.

"Fitur" adalah suatu bagian yang menonjol atau khas atau sifat (dari penyimpanan atau lingkungannya).

"Peristiwa" ialah suatu perubahan kualitatif atau kuantitatif atau perubahan kompleks yang berlokasi di ruang dan waktu yang terbatas.

"Proses" merupakan suatu fenomena yang ditandai dengan perubahan-perubahan bertahap yang mengarah pada hasil tertentu.

### **Skenario**

Dalam kasus "skenario", masalah yang timbul ialah istilah yang sering kali didefinisikan berbeda-beda, sering berhubungan dengan penerapan prosedur kajian keselamatan, identifikasi skenario dan penghitungan sebagaimana yang dipraktikkan dalam pembelajaran.

Analisis skenario pertama kali dikembangkan dalam konteks ilmu masa depan untuk mendefinisikan pengandaian masa depan agar membantu dalam pembuatan keputusan. Dalam konteks ini, skenario tidaklah dimaksudkan untuk memprediksi tetapi untuk mengilustrasikan kemungkinan masa depan alternatif yang harus dipertimbangkan. Istilah ini juga digunakan dalam analisis statik dimana ia mempunyai sebuah makna spesifik, lebih umum dalam perkiraan *disposal* pasca-penutupan<sup>[2]</sup>.

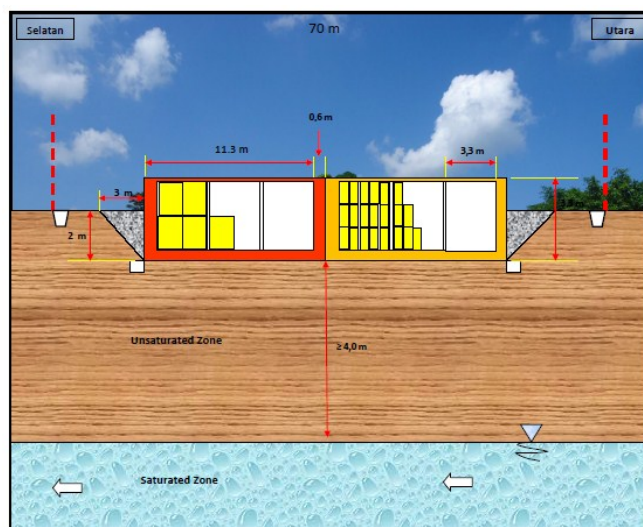
**Pengembangan dan perlakuan skenario**

Fasilitas *disposal demo* di KNS ini untuk limbah radioaktif katagori *Very Low Level* (level sangat rendah) yang disimpan selama 50 tahun.

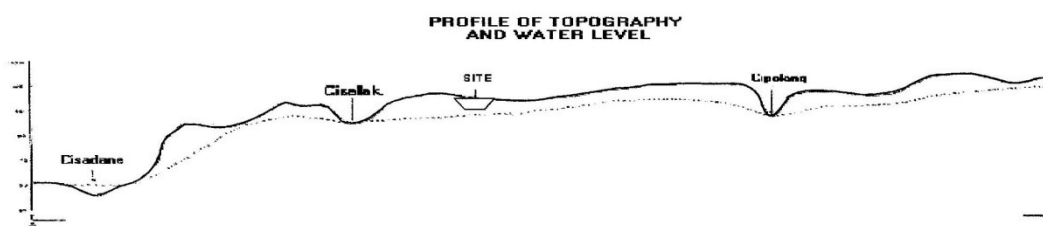
**1) Skenario Air tanah**

Dampak potensial dari peristiwa dan proses pada fungsi keselamatan dipertimbangkan dalam Skenario Dasar dan FEPs yang terkait, diperiksa dengan cara diagram pengaruh dan digunakan untuk membangun satu set skenario. Menggunakan informasi ini, set FEPs diidentifikasi untuk setiap fungsi keselamatan yang tercantum, misalnya sejumlah FEPs seperti kimia *porewater* di wilayah *overpack*, korosi *overpack*, stres pada *overpack* dan kegagalan *overpack* diidentifikasi untuk "penahanan radionuklida dalam *overpack*" keamanan fungsi. Basis informasi yang mendasari set FEPs diringkas lebih dalam. Akhirnya, skenario menggambarkan bagaimana fungsi keselamatan individu muncul dan fungsinya yang dikembangkan.

Untuk fasilitas *disposal demo* di KNS skenario air tanah terjadi setelah kegagalan isolasi limbah pada sistim repositori, ditandai dengan kegagalan pada wadah limbah baik itu oleh korosi dan atau stres pada *shell* beton maupun drum, kemudian dilanjutkan dengan kegagalan isolasi pada repositori yang memudahkan radionuklida lolos ke lingkungan melalui air tanah. Namun demikian di KNS tidak mudah bagi radionuklida untuk mencapai air tanah karena masih ada penghalang jarak setinggi minimal 4 meter antara dasar repositori dengan permukaan air tanah (lihat Gambar 1). Selain itu masih ada lagi jarak penghalang antara fasilitas *disposal demo* dengan sungai Cisalak sejauh 200 meter sebagai penghalang pula bagi radionuklida untuk mencapai lingkungan (lihat Gambar 2), meskipun mengacu kepada IAEA jarak minimal dari fasilitas *disposal demo* ke sungai adalah 500 meter<sup>[3]</sup>. Untuk itu ke depan perlu diteliti kecepatan aliran air tanah dari fasilitas *disposal demo* ke sungai Cisalak, untuk menentukan kecepatan migrasi radionuklida pada aliran air tanah, sehingga bisa diprediksi kapan radionuklida mencapai lingkungan. Dengan demikian ditinjau dari skenario air tanah KNS termasuk lokasi yang aman untuk fasilitas *disposal demo*.



Gambar 1. Konsep *Disposal* (*Vault* dibangun di bawah permukaan tanah dan minimum 4 m di atas muka air tanah tertinggi)



Gambar 2. Penampang Topografi dan Muka Air Tanah

## 2) Skenario Kegagalan Isolasi

Skenario kegagalan Isolasi yang terkait dengan FEPs ditapis karena probabilitasnya rendah atau kemungkinan untuk menghindari tapak dan desain yang sesuai (karena itu tidak dianggap dalam perhitungan pengkajian keselamatan utama) meliputi:

- Gangguan manusia langsung;
- *Uplift*/erosi yang dihasilkan pada repositori mendekati permukaan tanah;
- Gerakan seismik/patahan di sekitar repositori;
- Aktivitas Vulkanik

Skenario lain, seperti dampak meteorit, dianggap sangat tidak mungkin atau konsekuensi yang signifikan tersebut tidak terkait dengan repositori serta dapat dikecualikan dengan pertimbangan lebih lanjut.

Untuk fasilitas *disposal demo* di KNS skenario kegagalan isolasi probabilitasnya termasuk rendah.

KNS termasuk kawasan yang steril dari aktivitas umum, diperuntukkan khusus untuk aktivitas yang berhubungan dengan kegiatan nuklir dan aktivitas yang berhubungan dengan pengembangan iptek. Dengan demikian gangguan manusia (*human intrusion*) sangatlah kecil.

Tidak didapatkan kegiatan *Uplift* (pengangkatan wilayah akibat aktivitas tektonik) di sekitar wilayah KNS, karena sangat jauh dari kegiatan tektonik yang berpusat di sepanjang pantai selatan pulau Jawa. KNS berada di dataran dengan ketinggian  $\pm 50$  meter dari permukaan air laut dengan lereng 2–5 % yang menyebabkan kawasan ini relatif terhindar dari erosi.

Demikian pula fasilitas *disposal demo* di KNS jauh dari aktivitas vulkanik, gunung yang aktif terdekat adalah gunung Gede-Pangrango  $\pm 50$  km dari KNS.

## 3) Skenario Disain

Pengembangan skenario desain dimulai pada saat periode operasional ketika wadah limbah dimasukkan ke dalam *repository*, kemudian periode setelah *repository* ditutup, terakhir periode selesainya kontrol *repository*.

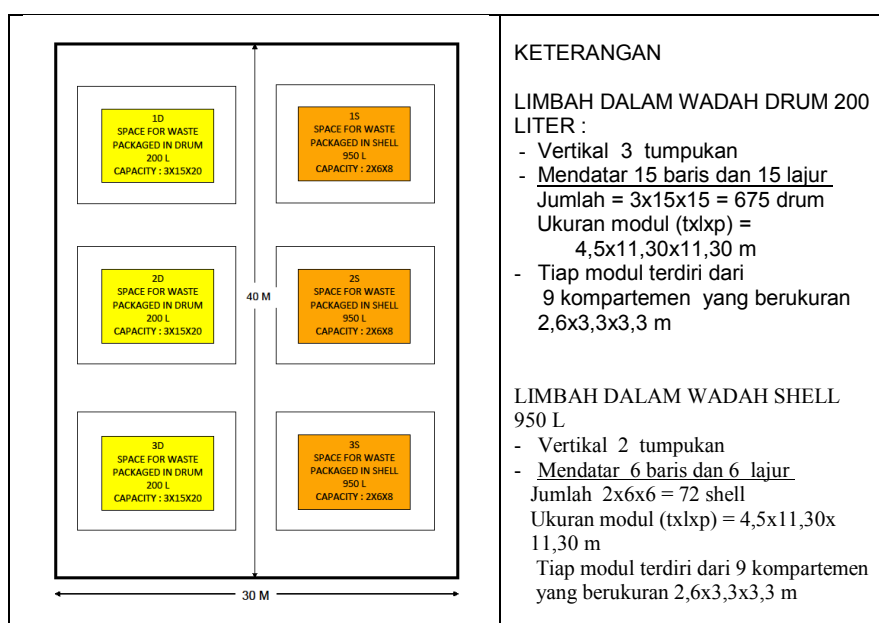
### Periode Operasional

Tapak dibangun dan dioperasikan seperti yang direncanakan. Meskipun, mungkin ada kecelakaan skala kecil ketika operasional, namun tidak merusak struktur kubah atau bahan yang mendasarinya, atau kerusakan masih dapat ditanggulangi. Setiap paket dengan kerusakan parah ditempatkan didalam

overpacks. Kubah operasi tertutup oleh atap sementara. Lantai *Vault* dirancang untuk mengalirkan air hujan/badai ke dalam drainase.

*Vault* yang telah terisi penuh ditutupi oleh tutup sementara yang membatasi infiltrasi dan mencegah intrusi hewan. Area seluruh tapak dikendalikan untuk mencegah hewan dan akses manusia yang tidak berkepentingan. Setelah penutupan kubah terakhir, tutup atas sementara tiap kubah dibuat untuk membentuk tutup akhir seperti yang telah direncanakan dalam desain.

Fasilitas *disposal demo* di KNS direncanakan beroperasi selama 25 tahun untuk setiap modul yang merupakan bagian dari *Vault*, disesuaikan dengan perkiraan kapasitas yang ada di *Interim Storage (IS)*. Setiap modul ada dua kompartemen masing-masing berisi drum 200 liter sebanyak 675 drum dan *shell* beton 950 liter sebanyak 72 *shell* (lihat Gambar 3).



Gambar 3. Paket Limbah Dalam Disposol

**Periode Pasca-Penutupan Kontrol Tapak**

Mengingat Fasilitas *disposal demo* di KNS ini untuk limbah radioaktif katagori *Very Low Level* (level sangat rendah) yang disimpan selama 50 tahun, maka kontrol tapak di fasilitas *disposal demo* dipertahankan untuk jangka waktu 20 tahun setelah penutupan fasilitas.

Pada periode ini, area tapak dipagari dan jika memungkinkan ada patroli untuk mencegah hewan dan akses manusia yang tidak diinginkan. Akses yang tidak diinginkan kemungkinan sekali dapat terjadi, tapi ini tidak signifikan. Setiap hewan penggali harus dikontrol. Kondisi tutup akan dipantau dan dapat diperbaiki atau ditingkatkan sesuai dengan kebutuhan. Beberapa pemantauan radiologi juga dapat dilanjutkan untuk maksud memastikan kembali.

Desain tutup akan efektif untuk mencegah infiltrasi air mencapai kubah. Beberapa kelembaban dapat masuk dan tinggal di kubah dalam fase uap dengan siklus evaporasi-kondensasi karena perbedaan suhu, terutama setelah peristiwa badai.



Beberapa korosi pada logam drum limbah akan atau telah terjadi, bahkan kemungkinan terjadi sebelum drum-drum tersebut ditempatkan, mungkin juga ada degradasi limbah dalam jumlah kecil di dalam drum. Karena kondisi lokal yang kering dan kontak air terbatas dengan drum, korosi eksternal agak sedikit terjadi selama periode operasi. Degradasi limbah dapat terus terjadi dalam beberapa fraksi drum yang memiliki air yang signifikan dan / atau bermuatan organik (air timbul dari aksi mikroba), beberapa drum dapat timbul korosi dari dalam. Air berkurang dalam drum atau kubah ketika terjadi rembesan, namun kemungkinan dilepas dalam fasa uap dan gas. Drum dalam hal apapun mungkin berventilasi namun tidak dirancang untuk memampatkan gas.

Jadi mungkin ada beberapa spesies gas lepas dalam periode ini, misalnya uap air,  $^{14}\text{CO}_2$  dan radon. Meskipun gas dari kubah akan menguap secara cepat ke permukaan tutup (didorong oleh efek harian dan perbedaan tekanan Bernoulli), dosisnya cenderung kecil karena gas apapun akan cepat terdispersi di udara.  $^{14}\text{CO}_2$  bisa diambil dari vegetasi pelindung pada tutup tetapi ini tidak menjadi perhatian untuk eksposur manusia pada saat ini.

### **Periode Pasca Kontrol**

Penyimpangan kontrol (diasumsikan 20 tahun setelah penutupan) diperkirakan terjadi setelah kerusakan lokal pada tutup akibat intrusi hewan atau kendaraan yang melintas di atas tutup dan tidak akan diperbaiki lagi. Erosi pada parit/selokan selama terjadi hujan badai secara cepat dan tidak terkonsolidasi akan menembus sedimen dan pasir sewaktu-waktu setelah penutup rusak. Jadi selokan sempit dan tanggul akan berbentuk radial melalui tutup, khususnya pada kejadian di luar batas, dan mengikis material kubah beton<sup>[4]</sup>.

Dalam skenario desain, diasumsikan bahwa manusia tidak mengambil langsung kepentingan terhadap apa yang terjadi. Tidak berusaha untuk memperbaiki tutup, atau berusaha untuk mengeksplorasi atau mengeksploitasi apa yang mungkin tersembunyi di dalam kubah tersebut, (Catatan, ini adalah skenario alternatif yang mungkin).

Dalam periode beberapa puluh sampai ratusan tahun setelah akhir periode kontrol, kubah beton secara lokal tidak akan terlindungi dan beberapa degradasi beton akan terkikis atau retak akibat siklus pemanasan-pendinginan dan pelapukan kimiawi. Dalam setiap kasus akan ada celah dan sendi di dinding beton dan atap sehingga air akan masuk kubah selama peristiwa hujan badai. Jadi korosi pada drum dan degradasi limbah di dalam kubah yang terkena akan berjalan lebih cepat.

Sekitar 50 sampai 100 tahun setelah penutupan, sekitar 10% - 20% porsi kubah tidak terlindungi. Dinding kubah akan mulai runtuh, dipercepat oleh erosi lokal pada dasar pasir di bawah lantai kubah. Beton mulai jatuh/turun akan menimpa dan merusak drum limbah, sehingga logam drum berkarat, puing-puing beton dan bahan penutup dari campuran heterogen dalam kubah sekarang terkelupas<sup>[5]</sup>.

Perembesan signifikan air akibat badai ke fasilitas tersebut dimulai setelah tutup gagal tetapi sementara atap kubah beton masih lengkap, air merembes melalui celah-celah kubah. Setelah sebagian kubah terbongkar, air dapat masuk ke kubah dan radionuklida mulai lepas dari limbah. Kontrol kimia oleh semen tidak akan efektif dalam kondisi heterogen dan aerobik. Spesies dapat larut mungkin

bergerak dalam larutan sedangkan spesies yang tidak larut dapat bergerak melekat pada partikel tanah liat atau koloid. Beberapa migrasi ke bawah tanah dimulai di bawah kubah, tetapi kebanyakan radionuklida diserap ke dalam fraksi tanah liat pada sedimen utama atau diendapkan dalam lapisan evaporasi. Selama hujan badai, genangan kecil dapat terbentuk pada kubah yang mungkin diminum oleh binatang pemakan rumput.

Penggerusan di pinggiran kubah berakibat radionuklida berada pada bantalan terkikis partikulat dari limbah/semen/sedimen campuran dalam kubah. Vegetasi dapat terbentuk di tanah untuk merumput hewan-hewan gembala/liar.

Tanah urugan di atas fasilitas cenderung menjadi lokasi utama untuk pengembalaan, akan ada pemandangan rumput dan pertanian di lahan sekitar fasilitas tanah urugan. Air dapat diambil dari sumur bor di dataran sekitar tanah urugan, walaupun sedikit mengabaikan kontaminasi akuifer.

Pada periode ini, jalur paparan utama fasilitas *disposal demo* di KNS yang dipertimbangkan adalah:

1. Paparan eksternal dan inhalasi debu ke individu biasanya di atas kubah, termasuk tempat bermain anak-anak.
2. Kemungkinan hewan minum dari genangan air hujan di/dekat kubah, dan konsumsi manusia berikutnya seperti susu, daging dan lain lain
3. Hewan merumput pada vegetasi kemudian minum pada drainase pembuangan, dan konsumsi manusia berikutnya seperti susu, daging dan lain lain.  
Jalur lain yang mungkin perlu dipertimbangkan adalah:
4. Paparan pada tutup gedung untuk radionuklida yang mengandung gas akan bergerak dari limbah ke atas atap.
5. Air minum (manusia dan hewan) diambil dari sumur terdekat. (Diharapkan rendah, karena tingkat kontaminasi mencapai akuifer akan mengecil).
6. Penggunaan beton terdegradasi dan limbah sebagai agregat, misalnya untuk melapisi jalan, dengan paparan eksternal berikutnya dan inhalasi selama penggalian yang dilaksanakan.

## KESIMPULAN

- Ditinjau dari skenario air tanah KNS termasuk lokasi yang aman untuk fasilitas *disposal demo*. Ke depan perlu diteliti kecepatan aliran air tanah dari fasilitas *disposal demo* ke sungai Cisalak, untuk menentukan kecepatan migrasi radionuklida pada aliran air tanah, sehingga bisa diprediksi kapan radionuklida mencapai lingkungan.
- Untuk fasilitas *disposal demo* di KNS skenario kegagalan isolasi probabilitasnya termasuk rendah.
- Untuk Skenario Desain Fasilitas *disposal demo* di KNS Direncanakan beroperasi selama 25 tahun untuk setiap modul yang merupakan bagian dari *Vault*, disesuaikan dengan perkiraan kapasitas yang ada di *Interim Storage*.

Mengingat Fasilitas *disposal demo* di KNS ini untuk limbah radioaktif katagori *Very Low Level* (level sangat rendah) yang disimpan selama 50 tahun, maka kontrol tapak di fasilitas *disposal demo* dipertahankan untuk jangka waktu 20 tahun setelah penutupan fasilitas.

Penyimpangan kontrol (diasumsikan 20 tahun setelah penutupan) diperkirakan terjadi setelah kerusakan lokal pada tutup akibat intrusi hewan atau kendaraan yang melintas di atas tutup dan tidak akan diperbaiki lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. IAEA., *Development of an Information System for Features, Events and Processes (FEPs) and Generic Scenarios for the Safety Assessment of Near Surface Radioactive Waste Disposal Facilities*. Scenario generation and Justification Working Group, ISAM Document, Version (0.3) February 1999.
- [2]. Nuclear Energy Agency – OECD. *Features, Events and Processes (FEPs) for Geologic Disposal of Radioactive Waste*, An International Database, Radioactive Waste Management, 1988.
- [3]. IAEA., *Operational Experience in Shallow Ground Disposal of Radioactive Waste*, Technical Reports Series No. 253, Vienna, 1985.
- [4]. Japan Nuclear Cycle Development Institute, H12., *Project to Establish the Scientific and Technical Basis for HLW Disposal in Japan*. Supporting Report 1 Geological Environment in Japan, 2000.
- [5]. Japan Nuclear Cycle Development Institute, H12., *Project to Establish the Scientific and Technical Basis for HLW Disposal in Japan*. Supporting Report 3 Safety Assessment of Geological Disposal System 2000.



## MANAJEMEN TEKNOLOGI PENDUKUNG KESELAMATAN FASILITAS DISPOSAL LIMBAH RADIOAKTIF PLTN DAN *TENORM*

Arimuladi S Purnomo, Sucipta  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN

### ABSTRAK

**Mnanejemen Teknologi Pendukung Keselamatan Fasilitas Disposal Limbah Radioaktif PLTN dan TENORM.** Kegiatan ini dilakukan untuk mendukung kegiatan yang terkait dengan aspek lokasi yang menyangkut geosfer, biosfer, dan aspek *inventory* data limbah yang akan menentukan desain dan keselamatan disposal limbah radioaktif. Dalam rangka memberikan keyakinan bahwa sistem disposal limbah radioaktif berfungsi dengan baik maka perlu dilakukan pengkajian keselamatan. Subyek utama dalam tulisan ini adalah pengembangan sistem informasi dari *Features, Events and Processes* (FEP) untuk digunakan pada pengkajian keselamatan terhadap skenario desain fasilitas penyimpanan limbah radioaktif dekat permukaan (*near surface disposal = NSD*) untuk PLTN dan *TENORM*.

*Kata kunci* : skenario desain, keselamatan, *near surface disposal*, limbah radioaktif, *TENORM*.

### ABSTRACT

**Supporting Technology Management on Safety of Disposal Facility for NPP Radioactive Waste and TENORM.** This activity is carried out to support activities related to location aspects concerning of the geosphere, the biosphere and the data inventory of radioactive waste that will determine the design and safety of radioactive waste disposal. In order to provide the confidence that the function of radioactive waste disposal system is running properly, it is necessary to conduct the safety assessment. The main subject in this paper is the development of information systems include of *Features, Events and Processes* (FEP) it is used in the safety assessment of the design of scenarios for radioactive waste disposal facility, especially for *near surface disposal (NSD)* type for NPP and *TENORM*.

*Keywords*: design scenarios, safety, *near surface disposal*, radioactive waste, *TENORM*.

### PENDAHULUAN

Dalam pengkajian keselamatan penyimpanan limbah radioaktif dekat permukaan (*near surface disposal/NSD*), sangatlah penting untuk mengevaluasi kinerja sistem *disposal* (fasilitas pembuangan, geosfer dan biosfer) pada kondisi sekarang dan masa depan, termasukantisipasi dalam peristiwa yang kurang menguntungkan. Berarti banyak faktor yang harus diperhitungkan dan dievaluasi secara konsisten, dan seringkali tidak ada data kuantitatif. Tidak bisa diabaikan, hal ini akan menghasilkan banyak ketidakpastian analisis, karena sifat bawaan kurangnya pengetahuan manusia atas bagaimana sistem akan berkembang seiring dengan waktu. Bagaimanapun ketidakpastian ini harus dilaksanakan dan hal ini sering dicapai setiap generasi dalam serangkaian skenario analisis.

Salah satu kunci aktifitas dalam metodologi generasi skenario untuk kasus pengembangan keselamatan, adalah identifikasi komprehensif faktor-faktor yang secara potensial berhubungan, sering diistilahkan fitur, peristiwa dan proses (*features, events and processes / FEPs*), yang dapat atau tidak secara langsung mempengaruhi sistem *disposal* dan migrasinya radionuklida. FEPs ini biasanya diidentifikasi dari deskripsi sistem *disposal*. Ketika daftarnya telah lengkap setiap FEP yang berhubungan penting untuk ditinjau, sering kali menggunakan pertimbangan para ahli. Tinjauan dan hasil proses keputusan dalam penyaringan

FEPs ini dapat juga dikesampingkan, yang mana membutuhkan pertimbangan lebih jauh dalam perkiraan analisis keselamatan. Penyaringan suatu FEP dapat didukung oleh perhitungan-perhitungan. Suatu FEP dapat dikesampingkan atas kriteria kuantitatif maupun kualitatif atau bahkan keduanya.

Daftar yang dihasilkan oleh FEPs digunakan bersama dengan deskripsi sistem untuk merumuskan kasus-kasus perhitungan atau skenario. Hal ini membutuhkan suatu deskripsi hubungan antara fitur-fitur, peristiwa-peristiwa, dan proses-proses. Penilaian dalam skenario mana saja yang harus dianalisis dalam pengkajian keselamatan dapat dibuat kemudian, pilihan ini akan mempengaruhi tujuan pengkajian (contohnya konteks pengkajian).

Karena dokumen ini mencerminkan kemajuan yang dibuat saat ini, metode-metode untuk menjaring daftar FEP dan untuk menggambarkan hubungan antara fitur yang berbeda, peristiwa dan proses untuk membentuk skenario-skenario, hanya akan ditambahkan pada dokumen pada tahap selanjutnya. Apa yang akan dibahas bagaimanapun, adalah kemajuan yang dibuat dengan kompilasi database FEP dan generasi skenario secara umum.

Pembangunan fasilitas *disposal demo* di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) adalah sebagai langkah antisipasi untuk pemenuhan kebutuhan penyimpanan akhir (*disposal*) limbah radioaktif dari kegiatan riset, medis dan industri yang juga sekaligus untuk melengkapi fasilitas nasional pelayanan pengelolaan limbah radioaktif PLTN dan *TENORM* (*Technologically-Enhanced, Naturally-Occurring Radioactive Materials*) di Indonesia. Sebagai langkah awal maka dilakukan pengkajian dengan menggunakan metodologi skenario keselamatan di atas.

## TATA KERJA

Tinjauan dilakukan dengan studi pustaka dari skenario keselamatan baik yang dikeluarkan oleh *Nuclear Energy Agency (NEA) – OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development)* maupun oleh *IAEA*, dan praktek negara-negara yang telah mengoperasikan *NSD* seperti Perancis dan Jepang serta survey lapangan untuk *TENORM*. Kemudian analisis data sekunder dan penapisan yang disesuaikan dengan kondisi di Indonesia serta evaluasi ketidakpastian dari skenario keselamatan tersebut sehingga harus dibuatkan suatu alternatif. Diharapkan dari tinjauan skenario keselamatan ini dapat digunakan sebagai acuan dan langkah awal untuk dapat menyusun model keselamatan *NSD* limbah radioaktif skenario normal pada geosfer dan biosfer di Indonesia, utamanya di Kawasan Nuklir Serpong untuk PLTN dan *TENORM*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Definisi Fitur, Peristiwa, Proses dan Skenario

*ISAM (Improvement of Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal)*, mempunyai definisi khusus yang ditetapkan dengan istilah secara khusus disini, dibutuhkan pertimbangan definisi istilah

- fitur, peristiwa, proses, dan juga
- skenario.

Sepintas, hal ini tampak sesuai ke masa depan semenjak istilah-istilah tersebut digunakan secara luas dalam pengkajian *disposal* pasca-penutupan, dan para ahli

akan berharap menemukan definisi yang diterima dalam literatur, dan hal ini ternyata menjadi kenyataan.

Dalam istilah "fitur", "peristiwa" dan "proses" tampaknya istilah tersebut belum didefinisikan secara independen. Hal ini sering disebabkan karena baik wujud fisik yang dianggap sebagai fitur, peristiwa, atau proses yang bergantung pada skala ruang dan waktu yang dilihat, dan pada kenyataannya hal ini direpresentasikan sebagai sebuah model. Selain itu, perbedaan tersebut tidak terlalu penting secara operasional. Jika katalog fitur, peristiwa dan proses (*Features, Events and Process / FEPs*) disusun, maka apa yang paling penting adalah semua FEP yang bersangkutan diidentifikasi, bukan label tertentu yang dapat dilampirkan pada FEP. Dalam prakteknya, sering kali ditemukan deskripsi FEP rinci yang menyebutkan fitur, peristiwa dan proses.

Analisis keselamatan melibatkan pertimbangan semua kemungkinan Fitur, Peristiwa dan Proses, baik secara langsung atau tidak mempengaruhi lepas dan transport radionuklida dari tempat penyimpanan.

Untuk Proyek ISAM, menggunakan istilah "FEP" karena penggunaan umumnya dalam literatur pengkajian. Mengacu pada definisi yang masih sejalan dengan istilah NEA secara umum, dengan demikian:

FEP adalah fitur, peristiwa, proses, atau faktor lain, yang mungkin penting untuk mempertimbangkan pengkajian keselamatan *disposal*. Hal ini termasuk fitur fisik, peristiwa dan proses yang secara langsung atau tidak mempengaruhi lepas dan transport radionuklida dari tempat penyimpanan atau paparan radiasi selanjutnya kepada manusia dan juga faktor lainnya, misalnya syarat pengaturan atau isu pembuatan model yang mendesak atau berfokus pada analisis<sup>[1]</sup>.

"Fitur" adalah suatu bagian yang menonjol atau khas atau sifat (dari penyimpanan atau lingkungannya).

"Peristiwa" ialah suatu perubahan kualitatif atau kuantitatif atau perubahan kompleks yang berlokasi di ruang dan waktu yang terbatas.

"Proses" merupakan suatu fenomena yang ditandai dengan perubahan-perubahan bertahap yang mengarah pada hasil tertentu.

### **Skenario**

Dalam kasus "skenario", masalah yang timbul ialah istilah yang sering kali didefinisikan berbeda-beda, sering berhubungan dengan penerapan prosedur kajian keselamatan, identifikasi skenario dan penghitungan sebagaimana yang dipraktikkan dalam pembelajaran yang diajarkan.

Analisis skenario pertama kali dikembangkan dalam konteks ilmu masa depan untuk mendefinisikan pengandaian masa depan agar membantu dalam pembuatan keputusan. Dalam konteks ini, skenario tidaklah dimaksudkan untuk memprediksi tetapi untuk mengilustrasikan kemungkinan masa depan alternatif yang harus dipertimbangkan. Istilah ini juga digunakan dalam analisis statik dimana ia mempunyai sebuah makna spesifik, lebih umum dalam perkiraan *disposal* pasca-penutupan<sup>[2]</sup>.

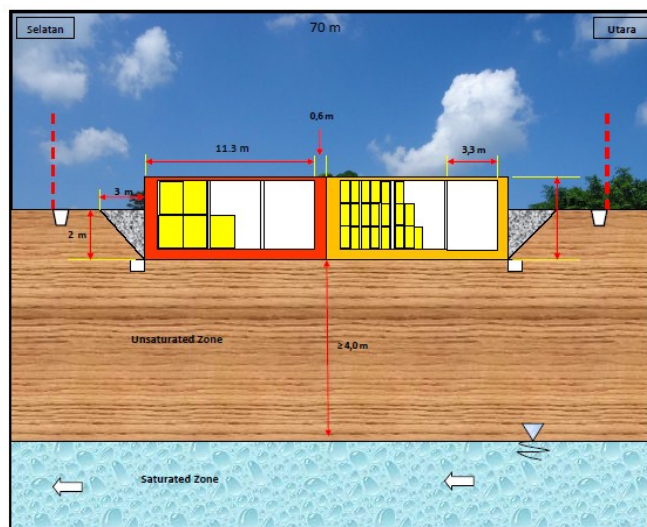
**Pengembangan dan perlakuan skenario**

Fasilitas *disposal demo* di KNS ini untuk limbah radioaktif katagori *Very Low Level* (level sangat rendah) yang disimpan selama 50 tahun.

**1) Skenario Air tanah**

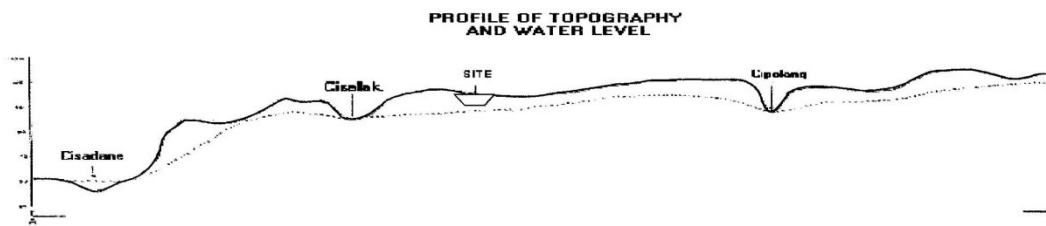
Dampak potensial dari peristiwa dan proses pada fungsi keselamatan dipertimbangkan dalam Skenario Dasar dan FEPs yang terkait, diperiksa dengan cara diagram pengaruh dan digunakan untuk membangun satu set skenario. Menggunakan informasi ini, set FEPs diidentifikasi untuk setiap fungsi keselamatan yang tercantum, misalnya sejumlah FEPs seperti kimia *porewater* di wilayah *overpack*, korosi *overpack*, stres pada *overpack* dan kegagalan *overpack* diidentifikasi untuk "penahanan radionuklida dalam *overpack*" keamanan fungsi. Basis informasi yang mendasari set FEPs diringkas lebih dalam. Akhirnya, skenario menggambarkan bagaimana fungsi keselamatan individu muncul dan fungsinya yang dikembangkan.

Untuk fasilitas *disposal demo* di KNS skenario air tanah terjadi setelah kegagalan isolasi limbah pada sistim repositori, ditandai dengan kegagalan pada wadah limbah baik itu oleh korosi dan atau stres pada *shell* beton maupun drum, kemudian dilanjutkan dengan kegagalan isolasi pada repositori yang memudahkan radionuklida lolos migrasi ke lingkungan melalui air tanah. Namun demikian di KNS tidak mudah bagi radionuklida untuk mencapai air tanah karena masih ada penghalang jarak setinggi 4 meter antara dasar repositori dengan permukaan air tanah (lihat Gambar 1). Selain itu masih ada lagi jarak penghalang antara fasilitas *disposal demo* dengan sungai Cisalak sejauh 200 meter sebagai penghalang pula bagi radionuklida untuk mencapai lingkungan (lihat Gambar 2), meskipun mengacu kepada IAEA jarak minimal dari fasilitas *disposal demo* ke sungai adalah 500 meter<sup>[3]</sup>. Untuk itu ke depan perlu diteliti kecepatan aliran air tanah dari fasilitas *disposal demo* ke sungai Cisalak, untuk menentukan kecepatan migrasi radionuklida pada aliran air tanah, sehingga bisa diprediksi kapan radionuklida mencapai lingkungan. Dengan demikian ditinjau dari skenario air tanah KNS termasuk lokasi yang aman untuk fasilitas *disposal demo*.



Gambar 1. Konsep *Disposal* (*Vault* dibangun di bawah permukaan tanah dan minimum 4 m di atas muka air tanah tertinggi)





Gambar 2. Penampang Topografi dan Muka Air Tanah

## 2) Skenario Kegagalan Isolasi

Skenario kegagalan Isolasi yang terkait dengan FEPs ditapis karena probabilitasnya rendah atau kemungkinan untuk menghindari tapak dan desain yang sesuai (karena itu tidak dianggap dalam perhitungan pengkajian keselamatan utama) meliputi:

- Gangguan manusia langsung;
- *Uplift*/erosi yang dihasilkan pada repositori mendekati permukaan tanah;
- Gerakan seismik/patahan di sekitar repositori;
- Aktivitas Vulkanik

Skenario lain, seperti dampak meteorit, dianggap sangat tidak mungkin atau konsekuensi yang signifikan tersebut tidak terkait dengan repositori serta dapat dikecualikan dengan pertimbangan lebih lanjut.

Untuk fasilitas *disposal demo* di KNS skenario kegagalan isolasi probabilitasnya termasuk rendah.

KNS termasuk kawasan yang steril dari aktivitas umum, diperuntukkan khusus untuk aktivitas yang berhubungan dengan kegiatan nuklir dan aktivitas yang berhubungan dengan pengembangan iptek. Dengan demikian gangguan manusia (*human intrusion*) sangatlah kecil.

Tidak didapatkan kegiatan *Uplift* (pengangkatan wilayah akibat aktivitas tektonik) di sekitar wilayah KNS, karena sangat jauh dari kegiatan tektonik yang berpusat di sepanjang pantai selatan pulau Jawa. KNS berada di dataran dengan ketinggian  $\pm 50$  meter dari permukaan air laut dengan lereng 2–5 % yang menyebabkan kawasan ini relatif terhindar dari erosi.

Demikian pula fasilitas *disposal demo* di KNS jauh dari aktivitas vulkanik, gunung yang aktif terdekat adalah gunung Gede-Pangrango  $\pm 50$  km dari KNS.

## 3) Skenario Disain

Pengembangan skenario desain dimulai pada saat periode operasional ketika wadah limbah dimasukkan ke dalam *repository*, kemudian periode setelah *repository* ditutup, terakhir periode selesainya kontrol *repository*.

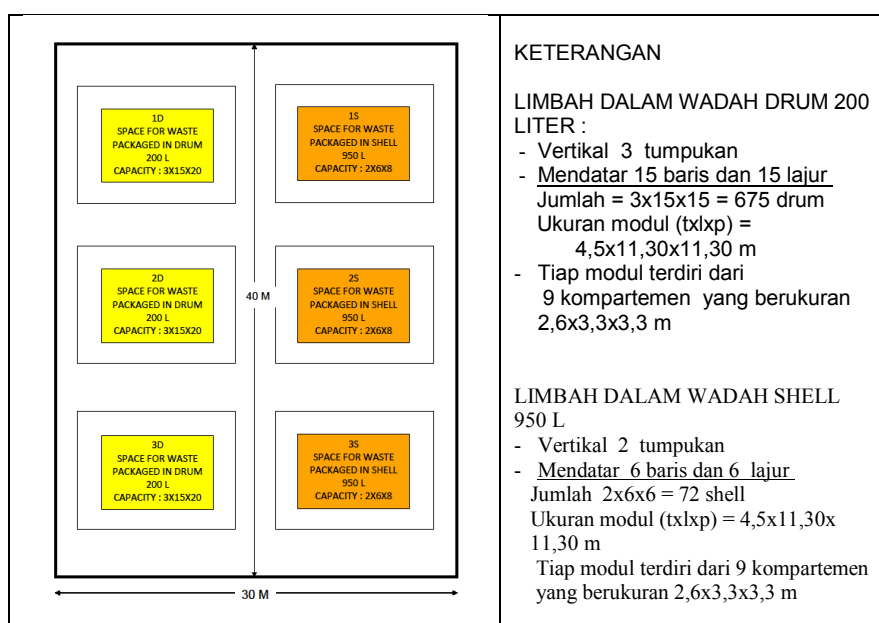
### Periode Operasional

Tapak dibangun dan dioperasikan seperti yang direncanakan. Meskipun, mungkin ada kecelakaan skala kecil ketika operasional, namun tidak merusak struktur kubah atau bahan yang mendasarinya, atau kerusakan masih dapat ditanggulangi. Setiap paket dengan kerusakan parah ditempatkan didalam

overpacks. Kubah operasi tertutup oleh atap sementara. Lantai *Vault* dirancang untuk mengalirkan air hujan/badai ke dalam drainase.

*Vault* yang telah terisi penuh ditutupi oleh tutup sementara yang membatasi infiltrasi dan mencegah intrusi hewan. Area seluruh tapak dikendalikan untuk mencegah hewan dan akses manusia yang tidak berkepentingan. Setelah penutupan kubah terakhir, tutup atas sementara tiap kubah dibuat untuk membentuk tutup akhir seperti yang telah direncanakan dalam desain.

Fasilitas *disposal demo* di KNS direncanakan beroperasi selama 25 tahun untuk setiap modul yang merupakan bagian dari *Vault*, disesuaikan dengan perkiraan kapasitas yang ada di *Interim Storage (IS)*. Setiap modul ada dua kompartemen masing-masing berisi drum 200 liter sebanyak 675 drum dan *shell* beton 950 liter sebanyak 72 *shell* (lihat Gambar 3).



**KETERANGAN**

**LIMBAH DALAM WADAH DRUM 200 LITER :**

- Vertikal 3 tumpukan
- Mendatar 15 baris dan 15 lajur  
 Jumlah =  $3 \times 15 \times 15 = 675$  drum  
 Ukuran modul (txlpx) = 4,5x11,30x11,30 m
- Tiap modul terdiri dari 9 kompartemen yang berukuran 2,6x3,3x3,3 m

**LIMBAH DALAM WADAH SHELL 950 L**

- Vertikal 2 tumpukan
- Mendatar 6 baris dan 6 lajur  
 Jumlah  $2 \times 6 \times 6 = 72$  shell  
 Ukuran modul (txlpx) = 4,5x11,30x11,30 m  
 Tiap modul terdiri dari 9 kompartemen yang berukuran 2,6x3,3x3,3 m

Gambar 3. Paket Limbah Dalam Disposal

**Periode Pasca-Penutupan Kontrol Tapak**

Mengingat Fasilitas *disposal demo* di KNS ini untuk limbah radioaktif katagori *Very Low Level* (level sangat rendah) yang disimpan selama 50 tahun, maka kontrol tapak di fasilitas *disposal demo* dipertahankan untuk jangka waktu 20 tahun setelah penutupan fasilitas.

Pada periode ini, area tapak dipagari dan jika memungkinkan ada patroli untuk mencegah hewan dan akses manusia yang tidak diinginkan. Akses yang tidak diinginkan kemungkinan sekali dapat terjadi, tapi ini tidak signifikan. Setiap hewan penggali harus dikontrol. Kondisi tutup akan dipantau dan dapat diperbaiki atau ditingkatkan sesuai dengan kebutuhan. Beberapa pemantauan radiologi juga dapat dilanjutkan untuk maksud memastikan kembali.

Desain tutup akan efektif untuk mencegah infiltrasi air mencapai kubah. Beberapa kelembaban dapat masuk dan tinggal di kubah dalam fase uap dengan siklus evaporasi-kondensasi karena perbedaan suhu, terutama setelah peristiwa badai.

Beberapa korosi pada logam drum limbah akan atau telah terjadi, bahkan kemungkinan terjadi sebelum drum-drum tersebut ditempatkan, mungkin juga ada degradasi limbah dalam jumlah kecil di dalam drum. Karena kondisi lokal yang kering dan kontak air terbatas dengan drum, korosi eksternal agak sedikit terjadi selama periode operasi. Degradasi limbah dapat terus terjadi dalam beberapa fraksi drum yang memiliki air yang signifikan dan / atau bermuatan organik (air timbul dari aksi mikroba), beberapa drum dapat timbul korosi dari dalam. Air berkurang dalam drum atau kubah ketika terjadi rembesan, namun kemungkinan dilepas dalam fasa uap dan gas. Drum dalam hal apapun mungkin berventilasi namun tidak dirancang untuk memampatkan gas.

Jadi mungkin ada beberapa spesies gas lepas dalam periode ini, misalnya uap air,  $^{14}\text{CO}_2$  dan radon. Meskipun gas dari kubah akan menguap secara cepat ke permukaan tutup (didorong oleh efek harian dan perbedaan tekanan Bernoulli), dosisnya cenderung kecil karena gas apapun akan cepat terdispersi di udara.  $^{14}\text{CO}_2$  bisa diambil dari vegetasi pelindung pada tutup tetapi ini tidak menjadi perhatian untuk eksposur manusia pada saat ini.

### **Periode Pasca Kontrol**

Penyimpangan kontrol (diasumsikan 20 tahun setelah penutupan) diperkirakan terjadi setelah kerusakan lokal pada tutup akibat intrusi hewan atau kendaraan yang melintas di atas tutup dan tidak akan diperbaiki lagi. Erosi pada parit/selokan selama terjadi hujan badai secara cepat dan tidak terkonsolidasi akan menembus sedimen dan pasir sewaktu-waktu setelah penutup rusak. Jadi selokan sempit dan tanggul akan berbentuk radial melalui tutup, khususnya pada kejadian di luar batas, dan mengikis material kubah beton<sup>[4]</sup>.

Dalam skenario desain, diasumsikan bahwa manusia tidak mengambil langsung kepentingan terhadap apa yang terjadi. Tidak berusaha untuk memperbaiki tutup, atau berusaha untuk mengeksplorasi atau mengeksploitasi apa yang mungkin tersembunyi di dalam kubah tersebut, (Catatan, ini adalah skenario alternatif yang mungkin).

Dalam periode beberapa puluh sampai ratusan tahun setelah akhir periode kontrol, kubah beton secara lokal tidak akan terlindungi dan beberapa degradasi beton akan terkikis atau retak akibat siklus pemanasan-pendinginan dan pelapukan kimiawi. Dalam setiap kasus akan ada celah dan sendi di dinding beton dan atap sehingga air akan masuk kubah selama peristiwa hujan badai. Jadi korosi pada drum dan degradasi limbah di dalam kubah yang terkena akan berjalan lebih cepat.

Sekitar 50 sampai 100 tahun setelah penutupan, sekitar 10% - 20% porsi kubah tidak terlindungi. Dinding kubah akan mulai runtuh, dipercepat oleh erosi lokal pada dasar pasir di bawah lantai kubah. Beton mulai jatuh/turun akan menimpa dan merusak drum limbah, sehingga logam drum berkarat, puing-puing beton dan bahan penutup dari campuran heterogen dalam kubah sekarang terbongkar<sup>[5]</sup>.

Perembesan signifikan air akibat badai ke fasilitas tersebut dimulai setelah tutup gagal tetapi sementara atap kubah beton masih lengkap, air merembes melalui celah-celah kubah. Setelah sebagian kubah terbongkar, air dapat masuk ke kubah dan radionuklida mulai lepas dari limbah. Kontrol kimia oleh semen tidak akan efektif dalam kondisi heterogen dan aerobik. Spesies dapat larut mungkin

bergerak dalam larutan sedangkan spesies yang tidak larut dapat bergerak melekat pada partikel tanah liat atau koloid. Beberapa migrasi ke bawah tanah dimulai di bawah kubah, tetapi kebanyakan radionuklida diserap ke dalam fraksi tanah liat pada sedimen utama atau diendapkan dalam lapisan evaporasi. Selama hujan badai, genangan kecil dapat terbentuk pada kubah yang mungkin diminum oleh binatang pemakan rumput.

Penggerusan di pinggiran kubah berakibat radionuklida berada pada bantalan terkikis partikulat dari limbah/semen/sedimen campuran dalam kubah. Vegetasi dapat terbentuk di tanah untuk merumput hewan-hewan gembala/liar.

Tanah urugan di atas fasilitas cenderung menjadi lokasi utama untuk penggembalaan, akan ada pemandangan rumput dan pertanian di lahan sekitar fasilitas tanah urugan. Air dapat diambil dari sumur bor di dataran sekitar tanah urugan, walaupun sedikit mengabaikan kontaminasi akuifer.

### Hasil Pengukuran Radiasi Lokasi Penyimpanan TENORM

Lokasi penimbunan TENORM milik PT. Timah Bangka berada di daerah Muntok, Bangka Barat, pada koordinat sekitar  $02^{\circ} 04' 20,8''$  LS dan  $105^{\circ} 10' 48,9''$  BT. Morfologi asli kawasan penimbunan TENORM berupa dataran yang berbatasan dengan punggung rendah batuan granit (di sebelah timur dan utara) dan dataran pantai di sebelah barat. Secara geologi, lokasi tempat penimbunan TENORM tersusun oleh batulempung - batupasir yang termasuk Formasi Tanjunggenting yang berumur Trias awal (252,2 juta tahun yang lalu). Tidak ditemukan singkapan batuan di dalam kawasan penimbunan TENORM. Penggunaan lahan daerah sekitar lokasi penimbunan berupa kawasan industri PT. Timah, semak dan pantai (Gambar 4). Lokasi penimbunan relatif dekat dengan dari kawasan industri, permukiman, dekat dengan pantai, serta lalu lintas.

Gambar 4. Lokasi Survey



PT. Timah Muntok



PT. Timah Toboali



PT. Timah Pengareem

TENORM ditimbun secara terbuka di atas lahan tanah. Lahan kawasan penimbunan relatif berbentuk segilima (ukuran lebih kurang 150 m x 150 m) yang dibagi dua sehingga masing-masing blok berbentuk persegi panjang yang dipisahkan oleh pagar. Masing-masing blok digunakan untuk timbunan slag (Gambar 4). Di bagian depan (dekat pintu masuk) kawasan penimbunan diberi papan nama lokasi penimbunan slag, kawasan dibatasi secara fisik dengan pagar beton dan dilengkapi dengan pintu dan kunci gembok. Di bagian tepi kawasan dilengkapi dengan saluran air, *sand trap* dan saluran buangan air ke arah saluran sungai di sebelah barat yang mengalir ke laut.

Dari Tabel data TENORM, menunjukkan nilai konsentrasi rata-rata Cs-137 Monazit di lokasi 1 sebesar 33 kBq/kg, di lokasi 2 Slag sebesar 9,1 kBq/kg, di lokasi 3 Slag sebesar 7,72 kBq/kg, di lokasi 4 Tailing sebesar 2,24 kBq/kg.

Nilai konsentrasi rata-rata K-40 Monazit di lokasi 1 sebesar 64 kBq/kg, di lokasi 2 Slag sebesar 14,72 kBq/kg, di lokasi 3 Slag sebesar 12,66 kBq/kg, di lokasi 4 Tailing sebesar 4,6 kBq/kg.

Nilai konsentrasi rata-rata Ra-226 Monazit di lokasi 1 sebesar 17,4 kBq/kg, di lokasi 2 Slag sebesar 4,12 kBq/kg, di lokasi 3 Slag sebesar 3,52 kBq/kg, di lokasi 4 Tailing sebesar 315,58 kBq/kg.

Nilai konsentrasi rata-rata Th-228 Monazit di lokasi 1 sebesar 9,9 kBq/kg, di lokasi 2 Slag sebesar 9,73 kBq/kg, di lokasi 3 Slag sebesar 8,04 kBq/kg, di lokasi 4 Tailing sebesar 2,3 kBq/kg, (lihat Tabel TENORM).

Di lokasi-1 rata-rata laju dosis 40-50  $\mu\text{Sv/h}$ , lokasi-2 rata-rata laju dosis 14,22-16,77  $\mu\text{Sv/h}$ , lokasi-3 rata-rata laju dosis 11,50-12,95  $\mu\text{Sv/h}$ , lokasi-4 rata-rata laju dosis 2,43-4,45  $\mu\text{Sv/h}$ .

Kecenderungan konsentrasi Cs-137, K-40, Ra-226 dan Th-228 dalam slag, monazit dan tailing di lokasi 1, lokasi 2, lokasi 3, dan lokasi 4 relatif sama, dan menurut ketentuan peraturan perundangan masih relatif jauh di atas ambang batas yang harus dilakukan penanganan lebih lanjut agar aman<sup>[6]</sup>.

Tingkat kontaminasi *NORM* di semua lokasi menunjukkan tingkat yang melebihi batas Tingkat Intervensi. Keberadaan *NORM* yang melebihi Tingkat Intervensi (konsentrasi aktivitas *NORM* > 1000 Bq/kg) di dalam kawasan kerja dapat menimbulkan potensi paparan radiasi kepada pekerja, terutama yang sering beraktivitas di kawasan tersebut<sup>[7]</sup>.

### Tabel TENORM

Alat : NORMmeter, AustralRAD, Gamma Spectrometer Portable (Atomtex)  
 Hari, Tanggal : Kamis, 3 Oktober 2013  
 Operator : Hendra Adhi Pratama, Nurul Efri E., Arimuladi SP, Dadang Suganda

Lokasi 1 : Tempat penyimpanan Monazit PT. Timah di Muntok

No	Koordinat Lokasi	Elevasi (m)	Laju Dosis ( $\mu\text{Sv/h}$ )		Konsentrasi Aktivitas (kBq/kg)				Aktivitas Efektif of NORM (kBq/kg)
			Survey-meter	Austral RAD	Cs-137	K-40	Ra-226	Th-228	
1	S : 02° 04' 21.3" E : 105° 11' 17.1"	18	40	50,00	33,0	64,0	17,4	9,9	

Lokasi 2 : Tempat penyimpanan Slag TENORM-1 PT. Timah di Muntok

No	Koordinat Lokasi	Elevasi (m)	Laju Dosis ( $\mu\text{Sv/h}$ )		Konsentrasi Aktivitas (kBq/kg)				Aktivitas Efektif of NORM (kBq/kg)
			Survey-meter	Austral RAD	Cs-137	K-40	Ra-226	Th-228	
1	S : 02° 04' 20.8" E : 105° 10' 48.8"	32	14	17,38	9,4	15,1	4,2	10,0	18,6 ± 4,1
2	S : 02° 04' 20.3" E : 105° 10' 49.3"	33	14	15,15	7,8	12,4	3,5	8,3	15,5 ± 3,4
3	S : 02° 04' 21.0" E : 105° 10' 49.2"	35	15	15,73	9,7	15,9	4,4	10,3	19,2 ± 4,2
4	S : 02° 04' 21.7" E : 105° 10' 49.2"	27	15	17,38	9,5	15,0	4,3	10,2	18,8 ± 4,1
5	S : 02° 04' 22.3" E : 105° 10' 50.0"	27	16	20,90	10,3	17,0	4,7	11,0	20,5 ± 4,5
6	S : 02° 04' 22.4" E : 105° 10' 50.6"	29	15	16,20	9,4	15,9	4,4	10,2	19,2 ± 4,2

No	Koordinat Lokasi	Elevasi (m)	Laju Dosis ( $\mu\text{Sv/h}$ )		Konsentrasi Aktivitas (KBq/kg)			Aktivitas Efektif NORM (KBq/kg)	
			Survey-meter	Austral RAD	Cs-137	K-40	Ra-226		Th-228
7	S : 02°04' 21.5" E : 105° 10' 50.7"	29	12	16,00	8,0	12,5	3,5	8,4	15,6 ± 3,4
8	S : 02°04' 21.3" E : 105° 10' 50.2"	29	14	16,32	8,8	14,2	4,0	9,4	17,5 ± 3,8
9	S : 02°04' 20.5" E : 105° 10' 50.4"	27	13	15,85	9,1	14,5	4,1	9,8	18,2 ± 4,6
Rata rata			14,22	16,77	9,1	14,72	4,12	9,73	

Lokasi 3 : Tempat penyimpanan Slag TENORM-2 PT. Timah di Muntok

No	Koordinat Lokasi	Elevasi (m)	Laju Dosis ( $\mu\text{Sv/h}$ )		Konsentrasi Aktivitas (KBq/kg)			Aktivitas Efektif of NORM (KBq/kg)	
			Survey-meter	Austral RAD	Cs-137	K-40	Ra-226		Th-228
10	S : 02°04' 23.3" E : 105° 10' 52.2"	26	10	11,74	6,5	10,9	3,0	6,8	12,9 ± 2,8
11	S : 02°04' 22.8" E : 105° 10' 52.5"	26	12	12,5	8,2	13,1	3,7	8,6	16,1 ± 3,5
12	S : 02°04' 22.4" E : 105° 10' 52.1"	24	11	13,97	7,9	12,9	3,6	8,0	15,1 ± 3,3
13	S : 02°04' 22.0" E : 105° 10' 51.3"	22	12	14,09	7,7	12,6	3,5	8,1	15,2 ± 3,3
14	S : 02°04' 22.6" E : 105° 10' 51.2"	2	12,5	12,45	8,3	13,8	3,8	8,7	16,4 ± 3,6
Rata rata			11,50	12,95	7,72	12,66	3,52	8,04	

Lokasi 4 : Tempat penyimpanan tailing PPBT PT. Timah di Tobaali

No	Koordinat Lokasi	Elevasi (m)	Laju Dosis ( $\mu\text{Sv/h}$ )		Konsentrasi Aktivitas (KBq/kg)			Aktivitas Efektif of NORM (KBq/kg)	
			Survey-meter	Austral RAD	Cs-137	K-40	Ra-226		Th-228
1	Titik A (timur) S : 03°00' 38,9" E : 106°26' 33,2"	9	1,9	4,5	2,8	5,2	1,3	2,8	5,4 ± 1,0
2	Titik B (tgh bwh) S : 3,0108° E : 106,4426°	9	3,0	2,6	1,7 1,5	3,2 3,0	781,0 792,7	1,5 1,3	3,1 ± 0,5 2,8 ± 0,5
3	Titik C (barat) S : 03,0110° E : 106,4425°	9	2,8	6,3	4,0	7,7	1,9	3,8	7,5 ± 1,3
4	Titik D (tgh atas) S : 03,0109° E : 106,4424°	14	2,0	4,4	2,2	3,9	1,0	2,1	4,1 ± 0,7
Rata-rata					2,24	4,6	315,58	2,3	

Lokasi 5 : Tambang PT. Timah, TSK 4.10, Pengarem, Bangka Selatan

No	Koordinat Lokasi	Elevasi (m)	Laju Dosis ( $\mu\text{Sv/h}$ )		Konsentrasi Aktivitas (KBq/kg)			Aktivitas Efektif of NORM (KBq/kg)	
			Survey-meter	Austral RAD	Cs-137	K-40	Ra-226		Th-228
1	Penambangan S : 03°01' 29,4" E : 106°41' 30,8"	41	-td-	0,14	-td-	-td-	-td-	-td-	-td-
2	Tailing tambang	41	-td-	0,14	-td-	-td-	-td-	-td-	-td-
3	Grinding-Meja gy S : 03°01' 25,2" E : 106°41' 41,0"	34	0,08	0,05	-td-	-td-	-td-	-td-	-td-



No	Koordinat Lokasi	Elevasi (m)	Laju Dosis ( $\mu\text{Sv/h}$ )		Konsentrasi Aktivitas (kBq/kg)				Aktivitas Efektif of NORM (kBq/kg)
			Survey-meter	Austral RAD	Cs-137	K-40	Ra-226	Th-228	
4	Buangan meja gy S : 03° 01' 24,7" E : 106° 41' 41,4"	31	0,14	0,14	39,1	93,1	17,7	36,8	73,8 ± 7,2
5	Penggorengan S : 03° 01' 24,4" E : 106° 41' 40,7"	30	0,1	0,08	-td-	-td-	-td-	-td-	-td-
6	Arang bekas	30	0,18	0,08	-td-	-td-	-td-	-td-	-td-
7	Pecahan batu	30	0,08	0,08	-td-	-td-	-td-	-td-	-td-

## KESIMPULAN

- Ditinjau dari skenario air tanah KNS termasuk lokasi yang aman untuk fasilitas *disposal demo*. Ke depan perlu diteliti kecepatan aliran air tanah dari fasilitas *disposal demo* ke sungai Cisalak, untuk menentukan kecepatan migrasi radionuklida pada aliran air tanah, sehingga bisa diprediksi kapan radionuklida mencapai lingkungan.
- Untuk fasilitas *disposal demo* di KNS skenario kegagalan isolasi probabilitasnya termasuk rendah.
- Untuk Skenario Desain Fasilitas *disposal demo* di KNS  
Direncanakan beroperasi selama 25 tahun untuk setiap modul yang merupakan bagian dari *Vault*, disesuaikan dengan perkiraan kapasitas yang ada di *Interim Storage*.  
Mengingat Fasilitas *disposal demo* di KNS ini untuk limbah radioaktif katagori *Very Low Level* (level sangat rendah) yang disimpan selama 50 tahun, maka kontrol tapak di fasilitas *disposal demo* dipertahankan untuk jangka waktu 20 tahun setelah penutupan fasilitas.  
Penyimpangan kontrol (diasumsikan 20 tahun setelah penutupan) diperkirakan terjadi setelah kerusakan lokal pada tutup akibat intrusi hewan atau kendaraan yang melintas di atas tutup dan tidak akan diperbaiki lagi.
- Identifikasi *TENORM* di daerah pertambangan dan industri pengolahan timah khususnya beberapa *site* untuk penimbunan memiliki paparan tinggi yang mengindikasikan adanya pencemaran oleh *NORM*, yaitu di lokasi timbunan monazit, ilmenit dan slag di Muntok (PT. Timah Bangka).
- Dilihat dari nilai rata-rata konsentrasi Cs-137, Ka-40, Ra-226 dan Th-228 baik dalam monazit, ilmenit, slag maupun tailing menunjukkan nilai konsentrasi yang masih melebihi batasan *TENORM* yang harus diintervensi yaitu sebesar 1 Bq/g atau 1 kBq/kg.
- Kecenderungan konsentrasi Cs-137, Ka-40, Ra-226 dan Th-228 dalam slag di lokasi timbunan slag di Muntok (lokasi 1 dan lokasi 2) relatif sama, dan menurut ketentuan peraturan perundangan masih relatif jauh di atas ambang batas yang harus dilakukan intervensi lebih lanjut.
- Tingkat kontaminasi *NORM* di semua lokasi menunjukkan tingkat yang melebihi batas Tingkat Intervensi. Keberadaan *NORM* yang melebihi Tingkat Intervensi (konsentrasi aktivitas *NORM* > 1000 Bq/kg) di dalam kawasan kerja dapat menimbulkan potensi paparan radiasi kepada pekerja, terutama yang sering beraktivitas di kawasan tersebut.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. IAEA., *Development of an Information System for Features, Events and Processes (FEPs) and Generic Scenarios for the Safety Assessment of Near Surface Radioactive Waste Disposal Facilities*. Scenario generation and Justification Working Group, ISAM Document, Version (0.3) February 1999.
- [2]. Nuclear Energy Agency – OECD. *Features, Events and Processes (FEPs) for Geologic Disposal of Radioactive Waste*, An International Database, Radioactive Waste Management, 1988.
- [3]. IAEA., *Operational Experience in Shallow Ground Disposal of Radioactive Waste*, Technical Reports Series No. 253, Vienna, 1985.
- [4]. Japan Nuclear Cycle Development Institute, H12., *Project to Establish the Scientific and Technical Basis for HLW Disposal in Japan*. Supporting Report 1 Geological Environment in Japan, 2000.
- [5]. Japan Nuclear Cycle Development Institute, H12., *Project to Establish the Scientific and Technical Basis for HLW Disposal in Japan*. Supporting Report 3 Safety Assessment of Geological Disposal System 2000.
- [6]. PERATURAN PEMERINTAH RI No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif.
- [7]. PERATURAN KEPALA BAPETEN No. 9 Tahun 2009 tentang Intervensi terhadap Paparan yang Berasal dari *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*.
- [8]. KATHREN, R.L., *NORM Sources and Their Origins*, Appl. Radiat. Isot. < Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.



## KARAKTERISASI GEOFISIKA TAPAK TERPILIH UNTUK DISPOSAL LIMBAH RADIOAKTIF: PENGGUNAAN METODE GEOLISTRIK

Dadang Suganda, Sucipta, Sugeng Waluyo  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**KARAKTERISASI GEOFISIKA TAPAK TERPILIH UNTUK DISPOSAL LIMBAH RADIOAKTIF: PENGGUNAAN METODE GEOLISTRIK.** Karakterisasi tapak terpilih untuk disposal limbah radioaktif di P. Jawa, merupakan kelanjutan kegiatan dari tahun sebelumnya (2012). Pada tahun 2013 telah dilakukan kegiatan penelitian mengenai karakterisasi tapak terpilih dengan metode geofisika/geolistrik untuk memperoleh data bawah permukaan. Penelitian yang dilakukan menggunakan metode Geolistrik dengan konfigurasi Wenner 2 Dimensi. Instrumen yang digunakan adalah resistivitymeter dengan jumlah elektroda 32 dan 48 buah elektroda dengan jarak antar elektroda 7 m. Dalam penelitian ini digunakan software Res2Dinv untuk pengolahan data yang didapat. Dari hasil pengolahan data terlihat bahwa perlapisan/stratigrafi bumi di bawah permukaan di daerah kabupaten Karawang dan Sumedang didominasi oleh batuan lempung dan sedikit area cebakan air permukaan di kedalaman tertentu. Sampai kedalaman 52 m masih belum diperoleh adanya lapisan akuifer. Untuk tujuan disposal limbah radioaktif, di daerah yang diteliti dimungkinkan untuk direkomendasikan sebagai tapak terpilih untuk dibangunnya disposal tersebut.

**Kata Kunci :** karakterisasi, tapak terpilih, disposal, limbah

### ABSTRACT

*Characterization of preferred site of radioactive waste disposal in Java: using geoelectric method.* Characterization of preferred site of radioactive waste disposal in Java is a continuation of the activities of the previous year (2012). In 2013, research activities have been carried out on the characterization of the site selected by geophysical method / geoelectric to obtain subsurface data. Research conducted using the Wenner configuration of Geoelectric method with 2 dimensions. The instrument used is resistivitymeter by 32 and 48 pieces of electrodes by the distance between electrodes 7 m. In this study Res2Dinv software used for processing the data obtained. From the data processing is seen that the stratigraphically below the earth's surface in Karawang and Sumedang district dominated by clay stone and a little clay deposits of water surface area in certain depth. To a depth of 52 m is still not obtained the existence of a layer of the aquifer. For the purpose of disposal of radioactive waste, in the area studied is possible to be recommended as the site chosen for the construction of disposal.

**Keywords:** Characterization, preferred site, disposal, waste

### PENDAHULUAN

Sehubungan dengan adanya rencana pembangunan dan pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Indonesia khususnya di Pulau Jawa, selain diperlukan adanya instalasi pengolahan limbah, dan tempat penyimpanan sementara (interim storage), maka perlu antisipasi kebutuhan *disposal* (penyimpanan akhir) limbah radioaktif.

Pemilihan tapak penyimpanan akhir (disposal) limbah radioaktif ialah untuk mencari suatu tapak yang menjamin keselamatan masyarakat dan lingkungan dari bahaya radiasi, serta memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh badan pengawas. Untuk mencapai tujuan tersebut, tapak perlu dilengkapi dengan desain repositori, kemasan limbah, penghalang rekayasa dan kontrol institusional yang memadai. Standard *International Atomic Energy Agency (IAEA)* [1] dan rekomendasi serta petunjuk internasional yang telah ada dapat dipertimbangkan.

Sejak tahun 2008 telah dilakukan kegiatan pencarian wilayah potensial untuk penyimpanan limbah radioaktif. Pada tahun 2010 telah dilaksanakan kegiatan seleksi tapak potensial dari evaluasi terhadap wilayah-wilayah potensial tersebut telah diperoleh 10 (sepuluh) tapak potensial yaitu Ujungjaya (Sumedang), Kramatronggeng-Cilame (Karawang), Kragan (Rembang), Bancar (Tuban), Puloampel (Serang), Jatirogo (Tuban), Buahdua (Sumedang), Bojonegara (Serang), G., Pusuh (Jepara), dan Serpong [2].

Pada tahun 2011 dilakukan evaluasi pengkerucutan terhadap tapak-tapak potensial tersebut untuk mendapatkan sekitar 3 hingga 6 tapak terpilih. Kesesuaian tapak terutama tergantung pada kapasitasnya untuk mengungkung limbah radioaktif dalam periode waktu yang dibutuhkan, dan untuk membatasi laju pelepasan radionuklida, dan pada kemampuannya untuk membatasi potensi penyebaran dampak dari sistem disposal terhadap manusia dan lingkungan [3].

Pada tahun 2012 dilakukan karakterisasi geologi tapak terpilih, dan sebagai kelanjutan kegiatan dari tahun sebelumnya (2012) pada tahun 2013 telah dilakukan karakterisasi Geofisika untuk disposal limbah radioaktif di P. Jawa. Kegiatan karakterisasi Geofisika tapak terpilih ini dilakukan dengan metode geolistrik di 2 (dua) kabupaten yaitu kabupaten Karawang dan Sumedang.

## **METODOLOGI**

Penelitian dilakukan di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif pada tahun 2013 dengan cakupan wilayah Desa Karanganyar, Klari, Karawang, dan Desa Keboncau, Ujungjaya, Sumedang. Penelitian ini dilakukan dalam 3 tahapan yaitu tahap pra-lapangan, tahap lapangan dan tahap pasca lapangan.

### **Tahap pra-lapangan :**

1. Koordinasi dan pengurusan ijin penelitian di BAPPEDA Kabupaten Karawang dan Sumedang.
2. Interpretasi peta rupa bumi yang terdiri dari aspek relief/topografi (kontur), drainase (pengaliran sungai), vegetasi dan budidaya manusia.
3. Penentuan lintasan dan titik-titik untuk pengamatan geolistrik berdasarkan peta rupa bumi.

### **Tahap kerja lapangan :**

1. Orientasi medan, peninjauan aksesibilitas dan transportasi penelitian;
2. Pelaksanaan survey pada titik-titik yang telah ditentukan sesuai dengan tingkat keterjangkauannya;
3. Pelaksanaan survey meliputi penentuan posisi koordinat, posisi di peta dan posisi di lapangan, pengamatan, pengukuran, pencatatan dan perekaman data geolistrik.
4. Metoda geolistrik (tahanan jenis) yang dipilih kali ini adalah metoda Wenner 2 dimensi (36 dan 48 buah elektroda dengan jarak antar elektroda 7 m).

### **Tahap pasca lapangan :**

Pengolahan data Geolistrik dengan perangkat lunak RES2DINV. Pembuatan

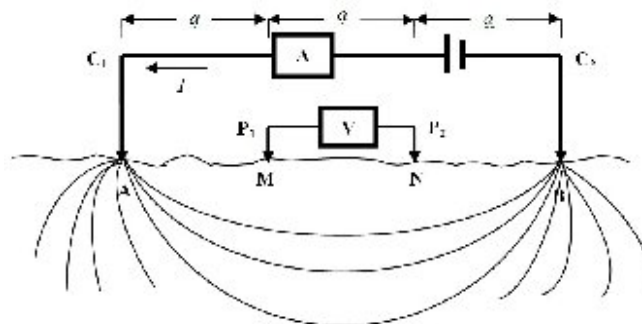
laporan hasil penelitian lapangan mengenai data Geolistrik dengan metoda Wenner di daerah Kabupaten Karawang (Kecamatan Klari, desa Karanganyar) dan Kabupaten Sumedang (Kecamatan Ujungjaya, Desa Keboncau).

**TEORI**

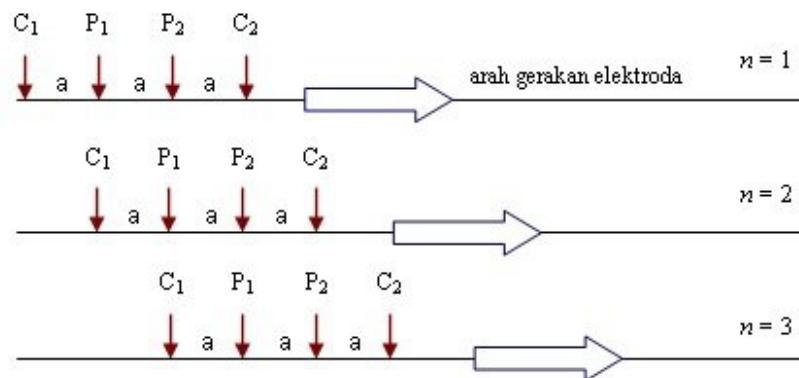
Metode geolistrik merupakan salah satu metoda geofisika yang dimanfaatkan dalam eksplorasi sumber daya alam bawah permukaan. Prinsip kerja metode geolistrik adalah mempelajari aliran listrik di dalam bumi dan cara mendeteksinya di permukaan bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perlapisan bumi (stratigrafi) di Kab. Karawang ( 3 lintasan pengukuran) dan Sumedang (2 lintasan pengukuran).

Metode tahanan jenis didasari oleh hukum Ohm, bertujuan mengetahui jenis pelapisan batuan didasarkan pada distribusi nilai resistivitas pada tiap lapisan. Dengan menginjeksikan arus melalui dua elektroda arus maka beda potensial yang muncul dapat terukur dari elektroda potensial. Variasi harga tahanan jenis akan didapatkan jika jarak masing-masing elektroda diubah, sesuai dengan konfigurasi alat yang dipakai (metode Wenner-2D). Pada metode tahanan jenis diasumsikan bahwa bumi bersifat homogen isotropik, dimana nilai tahanan jenis yang terukur bukan merupakan harga sebenarnya akan tetapi merupakan nilai resistivitas semu (*apparent Resistivity*).

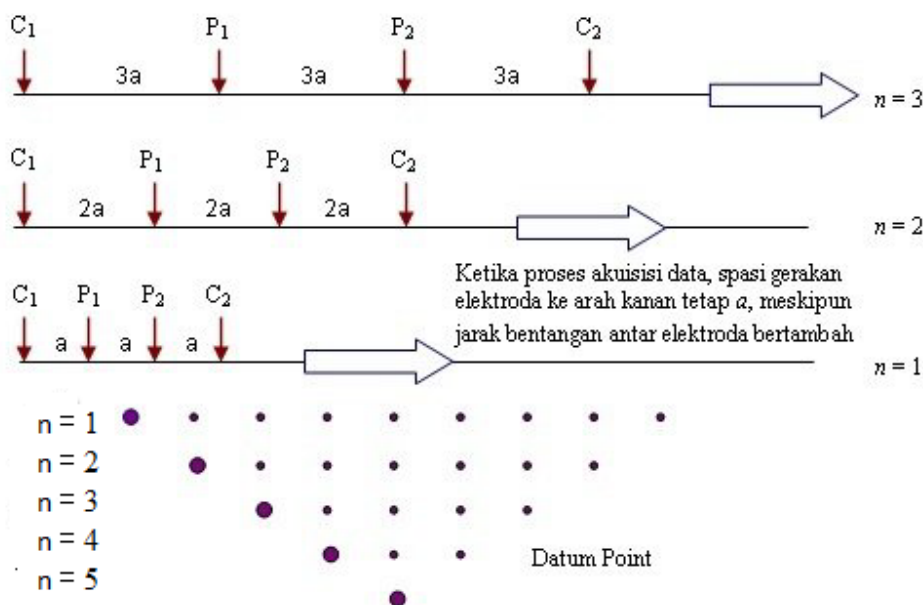
Pengukuran resistivitas dengan konfigurasi *Wenner* dilakukan dengan cara menancapkan elektroda pada permukaan tanah dengan susunan seperti **Gambar 1**. Pada pengukuran pertama jarak antar elektroda dibuat sama misalnya *a*, kemudian dilakukan pengukuran arus (*I*), beda potensial ( $\Delta V$ ), dan jarak bentangan elektroda (*a*). Setelah itu seluruh elektroda digeser ke arah kanan sejauh *a* seperti **Gambar 2**, kemudian dilakukan pengukuran kembali terhadap arus, beda potensial dan jarak elektroda. Demikian seterusnya hingga pengukuran ke-*n*, dimana seluruh panjang lintasan pengukuran terpenuhi. Untuk mendapatkan profil resistivitas batuan bawah permukaan secara dua dimensi pada suatu lintasan, maka pengukuran pada lintasan tersebut diulang hingga beberapa kali, dimana setiap pengulangan jarak bentangan elektroda selalu diperlebar seperti **Gambar 3**. Teknik akuisisi data ini merupakan perpaduan antara teknik *lateral mapping* (pemetaan resistivitas secara lateral) dengan teknik *vertical sounding* (pendugaan resistivitas secara vertikal).



**Gambar 1.** Susunan elektroda dan sebaran arus dalam medium sampel dengan model konfigurasi Wenner [4].



**Gambar 2.** Pergerakan elektroda dalam survei geolistrik resistivitas dengan model konfigurasi Wenner.



**Gambar 3.** Teknik pengukuran dan presentasi data dalam bentuk penampang resistivitas dua dimensi (2D) dalam konfigurasi Wenner.

Setelah diperoleh data kuat arus ( $I$ ), beda potensial ( $\Delta V$ ), dan jarak bentangan elektroda ( $a$ ) dari hasil pengukuran, maka selanjutnya dilakukan perhitungan nilai resistivitas semu ( $\rho_a$ ) untuk seluruh data. Nilai resistivitas semu yang diperoleh di setiap titik diolah menggunakan perangkat lunak RES2DINV 3.54.44 sehingga dihasilkan citra resistivitas 2D lapisan batuan bawah permukaan. Berdasarkan citra resistivitas 2D ini, maka dapat dilakukan interpretasi untuk menafsirkan jenis litologi maupun kondisi hidrogeologi lapisan batuan bawah permukaan yang menjadi target survey [5].



## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. DATA PENGAMATAN GEOLISTRIK DI DAERAH PENELITIAN

Lokasi penelitian di Desa Karanganyar Kecamatan Klari Kabupaten Karawang dan di Desa Keboncau Kecamatan Ujungjaya Kabupaten Sumedang Jawa Barat dengan koordinat :

1. Pengukuran survey geolistrik di Desa Karanganyar Kecamatan Klari Kabupaten Karawang Jawa Barat (lihat Gambar 4) :

Lintasan I.  $06^{\circ}27'32,28''$ LS,  $107^{\circ}24'34,85''$ BT di Utara  $06^{\circ}27'42,39''$ LS,  
 $107^{\circ}24'34,74''$ BT di Selatan

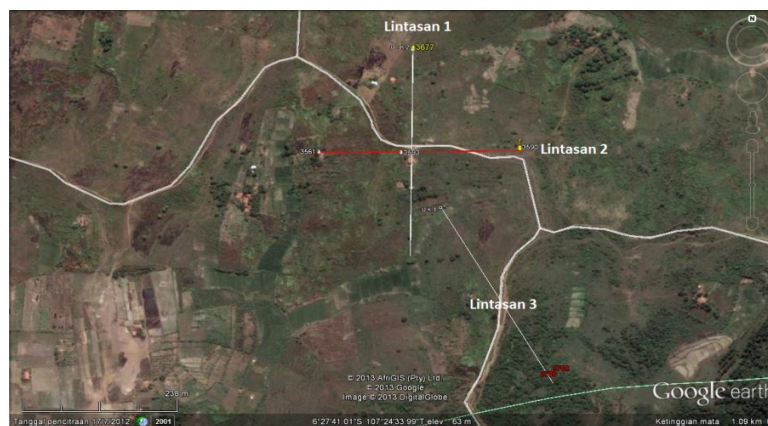
Lintasan II.  $06^{\circ}27'37,45''$ LS,  $107^{\circ}24'29,56''$ BT di Barat  
 $06^{\circ}27'37,44''$ LS,  $107^{\circ}24'40,19''$ BT di Timur

Lintasan III.  $06^{\circ}27'40,51''$ LS,  $107^{\circ}24'36,26''$ BT di Barat Daya  
 $06^{\circ}27'42,39''$ LS,  $107^{\circ}24'34,74''$ BT di Timur Laut

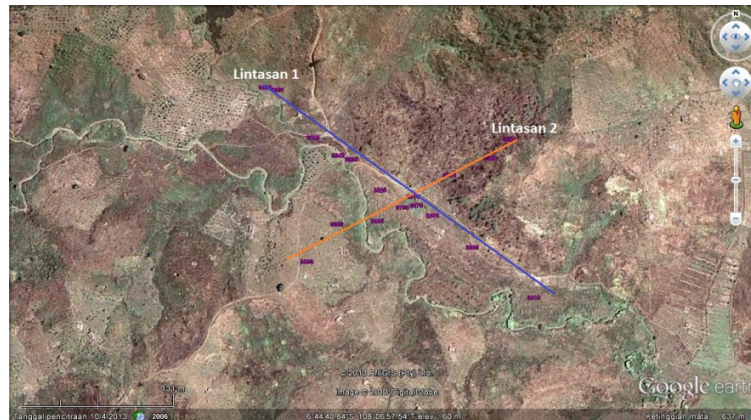
2. Pengukuran survey geolistrik di Desa Keboncau Kecamatan Ujungjaya Kabupaten Sumedang Jawa Barat (lihat Gambar 5) :

Lintasan I.  $06^{\circ}44'37,13''$ LS;  $108^{\circ}6'54,29''$ BT di Barat Laut  
 $06^{\circ}44'43,26''$ LS;  $108^{\circ}7'10,52''$ BT di Tenggara.

Lintasan II.  $06^{\circ}44'38,76''$ LS;  $108^{\circ}7'10,02''$ BT di Timur Laut  
 $06^{\circ}44'42,24''$ LS ;  $108^{\circ}6'55,00''$ BT di Barat Daya



Gambar 4. Lokasi pengukuran Geolistrik di Desa Karanganyar Kecamatan Klari Kabupaten Karawang Jawa Barat ( 3 lintasan)



Gambar 5. Lokasi pengukuran survey Geolistrik di Desa Keboncau Kecamatan Ujungjaya Kabupaten Sumedang Jawa Barat

## B. LITHOLOGI BATUAN DAERAH PENELITIAN

Batuan di daerah penelitian baik di Kabupaten Karawang maupun Sumedang termasuk Formasi Subang. Berdasarkan ciri umum sedimen yang terdapat di daerah penelitian dapat disimpulkan bahwa wilayah ini termasuk dalam Mandala Paparan Kontinen ( Martodjoyo, 1984 ), yaitu mandala sedimentasi yang dicirikan oleh endapan laut dangkal dari Miosen Awal hingga Plistosen yang umumnya terdiri atas lempung, pasir dan gamping, dengan ketebalan sedimen mencapai 4000 m [6].

Secara regional, batuan yang tersingkap di daerah penyelidikan terdiri dari batuan sedimen yang berumur *Miosen* Tengah hingga *Pliosen* dan endapan permukaan yang berumur *Plistosen* sampai *Holosen* (ACHDAN dan SUDANA, 1992) [7] dan [8].

Batuan yang tersingkap di daerah penelitian meliputi (urut dari tua ke muda) Formasi Subang yang terdiri atas batulempung dengan sisipan batupasir dan batugamping pasiran, batulanau berumur Miosen Akhir ( Tersier ) dan Satuan batupasir tufaan dan konglomeratan berumur Plistosen ( Kuarter ) [7] dan [8].

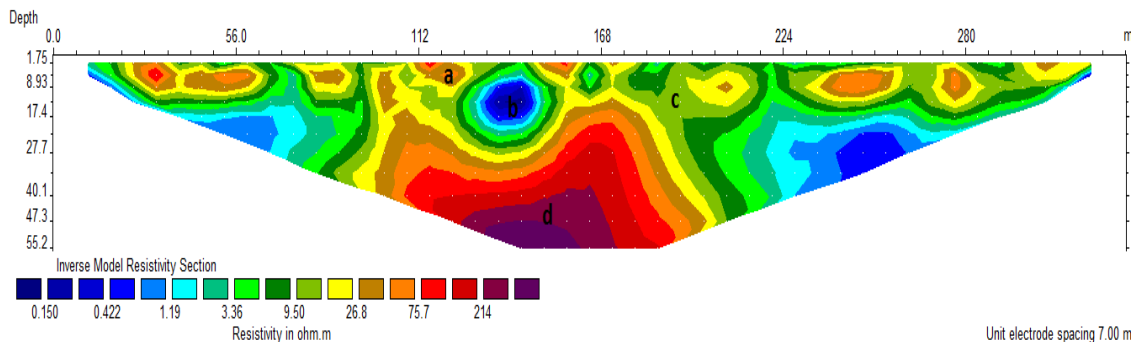
Di daerah penelitian ini kehadiran batulempung lebih dominan dibandingkan dengan jenis batuan lainnya (batupasir dan batugamping pasiran ). Dalam keadaan segar, batuan ini berwarna abu-abu kehijauan hingga abu-abu kehitaman, umumnya non-karbonatan, kedap air (impermeable), pejal /monoton dan kadang berlapis. Kadang-kadang dijumpai adanya sisipan tipis batupasir, serta dijumpai nodul batulanau karbonatan dan konkresi oksida besi.

### C. Pengukuran Survey geolistrik di Desa Karanganyar Kecamatan Klari, Kabupaten Karawang, Jawa Barat

Pengukuran geolistrik di Kabupaten Karawang ini menggunakan Resistimeter S-Field, dengan bentangan sejauh 329 m dan 48 buah elektroda, dan datanya diolah dengan perangkat lunak RES2DINV. Hasil pengolahan data dengan perangkat lunak RES2DINV dapat dilihat pada Gambar 6, 7, dan 8 di bawah ini.

**Lintasan I** (Koordinat:  $06^{\circ} 27' 32,28''$  LS;  $107^{\circ} 24' 34,85''$  BT di Utara s/d  $06^{\circ} 27' 42,80''$  LS;  $107^{\circ} 24' 34,74''$  BT di Selatan)

Lintasan I terdiri dari 48 elektroda dengan bentangan 329 m, arah Utara - Selatan. Terlihat bahwa pada daerah penyelidikan terdiri dari beberapa lapisan batuan dengan rentang nilai resistivitas batuan dari 0,15 – 214 Ohm m dan jangkauan kedalaman penyelidikan geolistrik mencapai 55,2 m dari permukaan.



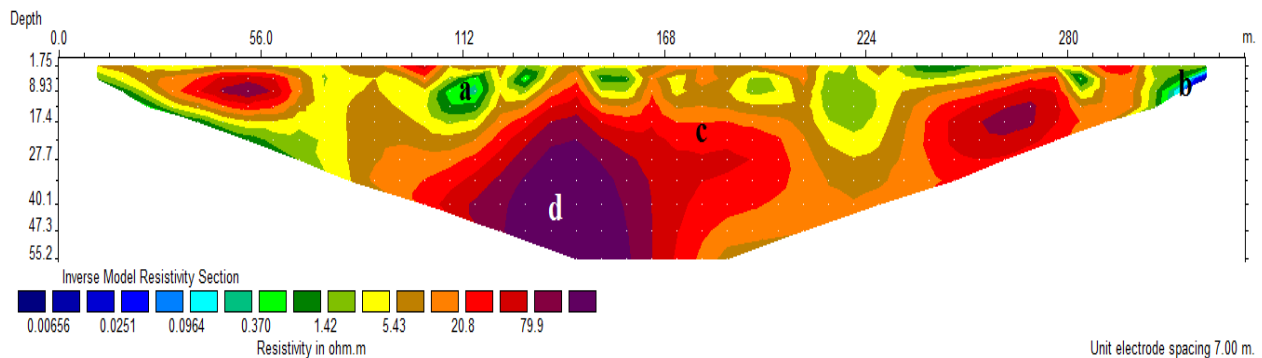
Gambar 6. Hasil pengolahan data dengan perangkat lunak RES2DINV pada lintasan I Karawang

Pada lintasan I di desa Karanganyar, Kecamatan Klari Karawang dapat ditafsirkan sebagai berikut:

- Pada lapisan yang bercitra coklat sampai dengan merah tersusun dari lapisan batuan lempung.
- Pada lapisan yang bercitra biru tua sampai dengan biru muda ( di kedalaman 17 s/d 40 m di bawah permukaan) diinterpretasikan sebagai lapisan pasir dimana terdapat konsentrasi air yang cukup besar di tiga lokasi.
- Pada lapisan yang bercitra hijau sampai dengan kuning diinterpretasi sebagai lapisan lempung pasiran.
- Pada lapisan yang bercitra merah tua diinterpretasikan sebagai lapisan lempung keras.

**Lintasan II** (Koordinat: 06° 27' 37,45" LS; 107° 24' 29,56" BT di Barat s/d  
06° 27' 37,44" LS ; 107° 24' 40,19" BT di Timur)

Lintasan II terdiri dari 48 elektroda dengan bentangan 329 m, arah Barat – Timur. Terlihat bahwa pada daerah penyelidikan terdiri dari beberapa lapisan batuan dengan rentang nilai resistivitas batuan dari 0,0251 – 79,9 Ohm m dan jangkauan kedalaman penyelidikan geolistrik mencapai 55,2 m dari permukaan.



Gambar 7. Hasil pengolahan data dengan perangkat lunak RES2DINV pada lintasan 2 Karawang

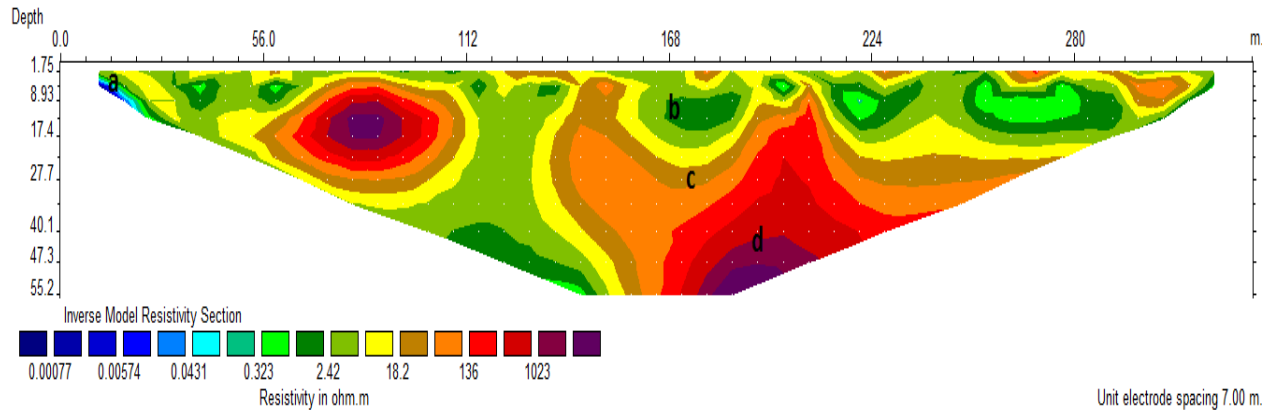
Pada lintasan II di desa Karanganyar, Kecamatan Klari, Karawang dapat ditafsirkan sebagai berikut:

- Pada lapisan yang bercitra hijau sampai dengan kuning tersusun dari lapisan batuan lempung pasiran.
- Pada lapisan yang bercitra biru tua sampai dengan biru muda di sudut kanan (di kedalaman 8 s/d 17, 40 m di bawah permukaan) diinterpretasikan sebagai lapisan batu pasir dimana terdapat konsentrasi air (di lokasi ini terdapat lokasi air tadah hujan).
- Pada lapisan yang bercitra coklat sampai dengan merah diinterpretasi sebagai lapisan batu lempung .
- Pada lapisan yang bercitra merah tua diinterpretasikan sebagai lapisan batu lempung keras.

**Lintasan III** (Koordinat: 06° 27' 40,51" LS ; 107° 24' 36,26" BT di Barat Daya s/d  
06° 27' 49,05" LS ; 107° 24' 42,18" BT di Timur Laut)

Lintasan III terdiri dari 48 elektroda dengan bentangan 329 m, arah Barat Daya – Timur Laut.

Terlihat bahwa pada daerah penyelidikan terdiri dari beberapa lapisan batuan dengan rentang nilai resistivitas batuan dari 0,00574 – 1023 Ohm m dan jangkauan kedalaman penyelidikan geolistrik mencapai 55,2 m dari permukaan.



Gambar 8. Hasil pengolahan data dengan perangkat lunak RES2DINV pada lintasan 3 Karawang

Pada lintasan III di desa Karanganyar, Kecamatan Klari, Karawang dapat ditafsirkan sebagai berikut:

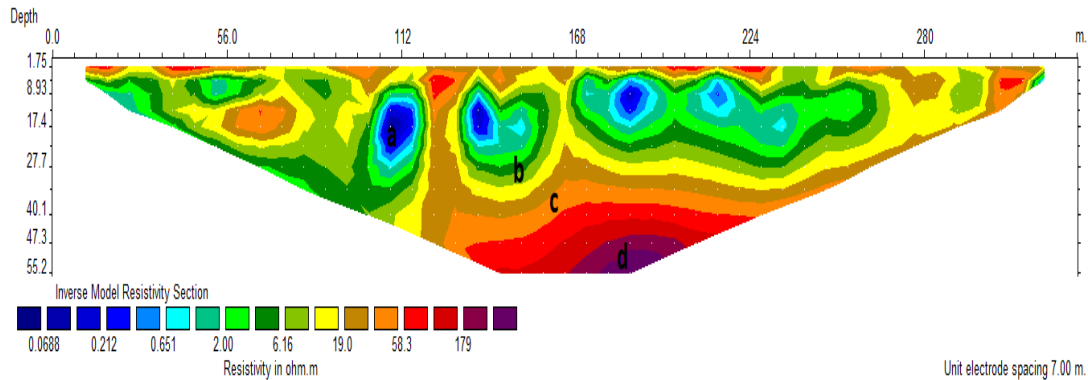
- a. Pada lapisan yang bercitra biru tua sampai dengan biru muda ( di kedalaman 5 s/d 17 m di bawah permukaan) diinterpretasikan sebagai lapisan batu pasir dimana terdapat konsentrasi air lokasi ini adalah kelanjutan dari lintasan 2.
- b. Pada lapisan yang bercitra hijau sampai dengan kuning diinterpretasi sebagai lapisan lempung pasir.
- c. Pada lapisan yang bercitra coklat sampai dengan merah tersusun dari lapisan batuan lempung.
- d. Pada lapisan yang bercitra merah tua diinterpretasikan sebagai lapisan lempung keras.

#### D. Pengukuran Survey Geolistrik Desa Keboncau, Kecamatan Ujungjaya, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat

Hasil pengolahan data dengan perangkat lunak RES2DINV dapat dilihat pada Gambar 9 dan 10 di bawah ini.

**Lintasan I** (Koordinat:  $06^{\circ} 44' 37,13''$  LS;  $108^{\circ} 6' 54,29''$  BT di Barat Laut s/d  $06^{\circ} 44' 43,26''$  LS;  $108^{\circ} 7' 10,52''$  BT di Tenggara.

Lintasan I terdiri dari 48 elektroda dengan bentangan 329 m, arah Barat Laut-Tenggara. Terlihat bahwa pada daerah penyelidikan terdiri dari beberapa lapisan batuan dengan rentang nilai resistivitas batuan dari 0,0688 – 179 Ohm m dan jangkauan kedalaman penyelidikan geolistrik mencapai 55,2 m dari permukaan.



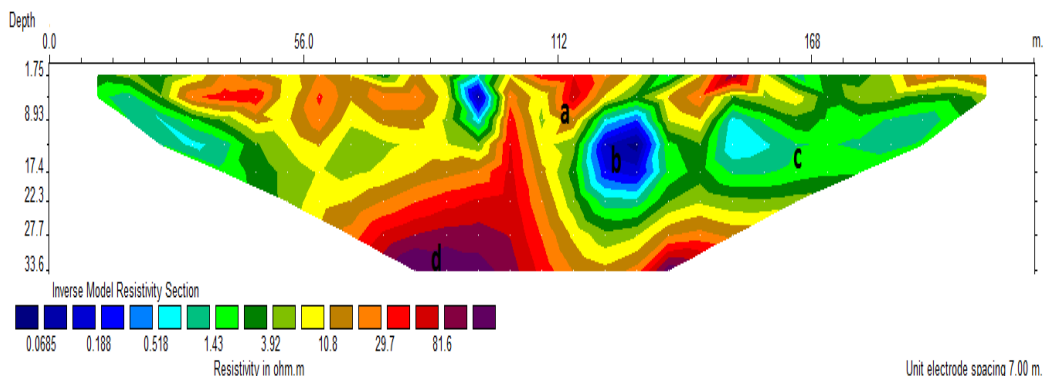
Gambar 9. Hasil pengolahan data dengan perangkat lunak RES2DINV pada lintasan 1 Sumedang

Pada lintasan I di desa Keboncau, Kecamatan Ujungjaya, Sumedang ini,

- a. Pada lapisan yang bercitra biru tua sampai dengan biru muda diinterpretasikan sebagai lapisan batu pasir dimana terdapat terdapat cebakan air di beberapa lokasi.
- b. Pada lapisan yang bercitra hijau sampai dengan kuning diinterpretasi sebagai lapisan lempung pasir.
- c. Pada lapisan yang bercitra coklat sampai dengan merah tersusun dari lapisan batuan lempung.
- d. Pada lapisan yang bercitra merah tua diinterpretasikan sebagai lapisan lempung keras.

**Lintasan II** (Koordinat:  $06^{\circ} 44' 38,76''$  LS;  $108^{\circ} 7' 10,02''$  BT di Timur Laut s/d  $06^{\circ} 44' 42,24''$  LS ;  $108^{\circ} 6' 55,00''$  BT di Barat Daya.

Lintasan II terdiri dari 32 elektroda dengan bentangan 217 m, arah Timur Laut – Barat Daya. Terlihat bahwa pada daerah penyelidikan terdiri dari beberapa lapisan batuan dengan rentang nilai resistivitas batuan dari 0,0685 – 81,6 Ohm m dan jangkaun kedalaman penyelidikan geolistrik mencapai 33,6 m dari permukaan. .



Gambar 10. Hasil pengolahan data dengan perangkat lunak RES2DINV pada lintasan 2 Sumedang

Pada lintasan II di desa Keboncau, Kecamatan Ujungjaya, Sumedang ini, dapat ditafsirkan sebagai berikut:

- a. Pada lapisan yang bercitra coklat sampai dengan merah tersusun dari lapisan batuan lempung.
- b. Pada lapisan yang bercitra biru tua sampai dengan biru muda ( di kedalaman s/d 22 m di bawah permukaan) diinterpretasikan sebagai lapisan pasir dimana terdapat konsentrasi air.
- c. Pada lapisan yang bercitra hijau muda sampai dengan kuning diinterpretasi sebagai lapisan lempung pasiran.
- d. Pada lapisan yang bercitra merah tua diinterpretasikan sebagai lapisan lempung keras.

## KESIMPULAN

Dari hasil pengolahan data dan pembahasan penelitian di atas terlihat bahwa perlapisan/stratigrafi bumi di bawah permukaan di daerah kabupaten Karawang dan Sumedang didominasi oleh batuan lempung dan sedikit area cekungan air di kedalaman tertentu. Sampai kedalaman 52 m masih belum diperoleh adanya lapisan akuifer. Untuk tujuan disposal limbah radioaktif, di daerah yang diteliti dimungkinkan untuk direkomendasikan sebagai tapak terpilih untuk dibangunnya disposal tersebut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Bpk. Budi Setiawan, Bpk. Arimuladi, Bpk. Ari Pudyo, Bpk. Teddy Sumantry, dan Sdr. Hendra Adhi Pratama yang telah terlibat dalam pengambilan data geolistrik serta Bpk. Marwoto yang telah terlibat dalam mempersiapkan alat untuk survey geolistrik sehingga kegiatan survey tersebut dapat berjalan dengan lancar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1].IAEA, Near Surface Disposal of Radioactive Wastes, Safety Series No. 111-S.3, IAEA, Vienna, 1994.
- [2].SUCIPTA, Pemilihan Tapak Potensial untuk Penyimpanan Lestari Limbah Radioaktif di Pulau Jawa, Prosiding Seminar Teknologi Pengelolaan Limbah VIII, PTLR BATAN, Serpong, 2011.
- [3].IAEA, Siting of Near Surface Disposal Facilities, Safety Series No. 111 G-3.1, IAEA, Vienna, 1994.
- [4].AZHAR dan HANDAYANI, G., 2004, Penerapan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger untuk Penentuan Tahanan Jenis Batubara, *Jurnal Natur Indonesia* 6(2): 122 – 126(2004).
- [5].REYNOLDS, J.M., 1997, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Willey and Sons, New York.

- [6].SOEGENG WALUYO, SUCIPTA, dan BUDI SETIAWAN, Karakterisasi Geologi Tapak Terpilih Untuk Disposasi Limbah Radioaktif DI Pulau Jawa, Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR, Tahun 2012.
- [7].ACHDAN dan SUDANA, Peta Geologi Lembar Karawang,P3G ESDM,Bandung,1992  
DJURI, Peta Geologi Lembar Arjawinangun, P3G ESDM, Bandung, 1995



## PENYIAPAN KONSEP DESAIN FASILITAS DISPOSAL DEMO LIMBAH RADIOAKTIF DI KAWASAN NUKLIR SERPONG

Heru Sriwahyuni, Dewi Susilowati, Budi Setiawan, Hendra Adhi Pratama  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif

### ABSTRAK

**PENYIAPAN DESAIN KONSEP FASILITAS DISPOSAL DEMO LIMBAH RADIOAKTIF DI KAWASAN NUKLIR SERPONG.** Telah dilakukan pengkajian dan penelitian mengenai konsep desain tata letak, konsep desain drainase, konsep desain penutupan dan pemilihan bahan pengisi pada fasilitas disposal demo limbah radioaktif. Metode yang digunakan adalah pengumpulan data sekunder, pengambilan data primer di lapangan dan analisa sampel di laboratorium. Tujuan kegiatan ini untuk memperoleh seperangkat data desain dalam rangka mendukung pembangunan fasilitas disposal demo di Kawasan Nuklir Serpong (KNS). Terdapat dua zona dalam area fasilitas disposal demo. Zona I adalah zona terbuka, yang meliputi gedung administrasi dan ruang pengamanan. Zona II adalah zona terbatas, yang meliputi fasilitas disposal, gedung penyimpanan sementara, gedung laboratorium, fasilitas dekontaminasi dan fasilitas utilitas penunjang operasional disposal. Fasilitas disposal demo dilengkapi dengan tiga sistem drainase, yaitu drainase tertutup yang terdapat pada desain *cover* dan drainase terbuka yang terdapat dalam gedung dan diluar gedung fasilitas disposal. Untuk bahan pengisi digunakan pasir kuarsa yang berasal dari Babel. Hasil penelitian bahan pengisi menunjukkan bahwa waktu kontak untuk mencapai kesetimbangan diperoleh setelah 48 jam dengan nilai  $K_d$  125 mL/g. Waktu kesetimbangan desorpsi dicapai lebih panjang setelah pengocokan sekitar 5 hari dengan nilai  $K_d$  baru menjadi 100 mL/g. Peningkatan konsentrasi NaCl di larutan membuat nilai  $K_d$  menurun karena adanya kompetisi antara ion Na dan Cs-137 berinteraksi dengan sampel. Rendahnya konsentrasi CsCl di larutan menghasilkan nilai  $K_d$  yang tinggi, demikian pula sebaliknya, hal ini disebabkan terbatasnya kapasitas serap sampel terhadap Cs-137. Fasilitas disposal demo akan ditutup setelah seluruh kompartemen disposal terisi penuh dan diberi bahan pengisi. Proses penutupan fasilitas disposal dilakukan dengan menempatkan beberapa lapisan *cover* pada disposal, pembangunan fasilitas *monitoring* dan perawatan untuk menjamin keselamatan dan kehandalan disposal. Pengawasan pasca penutupan dilakukan secara berkala dan dapat menjadi alasan yang cukup jika sewaktu-waktu diperlukan tindakan korektif. Komponen penting sistem penutupan yaitu *multi-layer cover*, sistem drainase, fasilitas *monitoring* dan perawatan disposal.

Kata Kunci : Desain Konsep, Disposal Limbah Radioaktif, Tata Letak, Drainase

### ABSTRACT

**PREPARATION OF DESIGN CONCEPT OF RADIOACTIVE WASTE DEMONSTRATION DISPOSAL FACILITY AT SERPONG NUCLEAR AREA.** The study and research about the concept design of lay out, drainage, backfill material and post closure of radioactive waste demonstration disposal facility in the Serpong Nuclear Area has been done. The method has used the collected secondary data sources, primary data collection in the field and analysis samples in the laboratory. The purpose of this activity is to obtain a set of design data to support the construction of radioactive waste demonstration disposal facility. There are two zone on the radioactive waste disposal, the first zone is an unrestricted one consisting of administration building and security office. The second one is a restricted zone consisting of disposal facility, utility facility, waste receival facility, temporary storage facility, waste conditioning facility and decontamination facility. The disposal facility has three drainage system that is closed drainage in the cover design and open drainage in the inside and out side the facility of disposal demo. Backfill material was used Quartz sand from Bangka-Belitung Provinces. Results showed that equilibrium contact times were reached after 48 hours with  $K_d$  values 125 mL/g. Desorption times were reached more longer after shaking about 5 days with new  $K_d$  values was 100 mL/g. Increasing in NaCl concentration in solution made  $K_d$  value decreasing due to competition among Na and Cs ions interacted with sample. Low concentration of CsCl in solution produced a high  $K_d$  value, vice a versa due to the limitation of sorption capacity of samples to Cs-137. The disposal

*demo facility will be closed when the compartment full filled waste packages and filled of the backfill materials. The closure process was done by placing multilayer cover on the disposal facility, construction of monitoring and maintenance facility to ensure the safety and reliability of disposal. Post closure monitoring conducted periodically and may be a sufficient reason at any time if necessary corrective action. Important component of the closure system is a multi-layer cover, drainage systems, monitoring and treatment disposal facilities.*

*Keywords: Design Concepts, Disposal of Radioactive Waste, Layout, Drainage*

## PENDAHULUAN

Sejak tahun 2010 Bidang Teknologi Penyimpanan Lestari (BTPL), khususnya kelompok desain penyimpanan lestari fokus pada kegiatan penyiapan desain konsep disposal demo limbah radioaktif di KNS. Sebagai tindak lanjut dari pelaksanaan kegiatan tersebut, maka pada tahun 2013 dilakukan penyiapan konsep desain tata letak, konsep desain bahan isian, konsep desain drainase dan konsep disain penutupan fasilitas disposal demo. Penyiapan disposal limbah radioaktif di KNS dilatarbelakangi oleh kebutuhan akan tersedianya disposal untuk limbah radioaktif dari kegiatan aplikasi iptek nuklir di bidang industri, kesehatan dan riset, serta bidang energi yang masih dalam tahap perencanaan. Prinsip dasar dari disposal adalah bahwa fasilitas tersebut ditempatkan, dirancang, dibangun, dioperasikan, ditutup dan didekomisioning sedemikian rupa sehingga pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup terlindung dari bahaya lepasnya zat radioaktif. Lahan untuk tapak disposal dipilih yang memenuhi kriteria keselamatan sehingga dapat mengungkung radionuklida dalam limbah, mampu menahan lepasan radionuklida tersebut ke biosfer dan mampu menyangga beban repositori beserta limbahnya.

Fasilitas disposal harus dibangun dan dioperasikan secara sungguh-sungguh untuk menjamin bahwa semua persyaratan keselamatan terpenuhi dan didesain sesempurna mungkin sehingga dapat menutup atau meminimalkan kemungkinan terjadinya kecelakaan karena kesalahan desain. Pembangunan fasilitas disposal demo ini akan menjadi pengalaman pertama Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) dalam membuat sebuah fasilitas disposal, yang tentunya dapat digunakan sebagai uji coba sekaligus unjuk kerja sebuah disposal walaupun bersifat *demonstration plant*. Hal ini juga dapat dilakukan sebagai unjuk kemampuan PTLR dalam mempersiapkan fasilitas disposal yang sesungguhnya.

Disain tata letak fasilitas disposal demo mengacu pada ketentuan IAEA, dimana area dibagi menjadi dua zona yaitu zona tak terbatas/terbuka (*unrestricted zone*) dan zona terbatas/tertutup (*restricted zone*) [1]. Zona tak terbatas/terbuka biasanya merupakan area dengan akses bebas, area ini biasanya berisi bangunan/gedung administrasi, kantor pengamanan. Gedung administrasi didesain untuk mengakomodasi semua personil administrasi dan menyediakan ruang untuk inventaris paket limbah yang akan ditempatkan dalam fasilitas disposal limbah radioaktif. Untuk zona terbatas/tertutup keberadaannya sangat terjaga dan untuk personil yang akan memasuki area tersebut harus melewati prosedur pemeriksaan yang sangat. Di antara zona tak terbatas dan terbatas terdapat area

kontrol dimana terdapat gedung yang di dalamnya terdapat ruang ganti baju untuk operator, kamar mandi, ruang monitoring, ruang pemeriksaan kesehatan, laboratorium lingkungan, ruang dekontaminasi personil dan ruangan pengamanan. Untuk zona terbatas mencakup gedung MES, gedung fasilitas pembongkaran (*unloading*) dan penyortiran, gedung tempat pengkondisian limbah dan fasilitas dekontaminasi peralatan maupun kendaraan angkut juga fasilitas monitoring kontaminasi.

Untuk tujuan keselamatan, fasilitas disposal perlu dilengkapi dengan penahan untuk menghalangi air agar tidak masuk ke dalam repositori (*preventive barrier*) dan atau untuk menahan pelepasan radionuklida ke biosfer (*remedial barrier*). Air merupakan media transport utama bagi radionuklida, sehingga kontrol terhadap air permukaan dan air tanah merupakan hal yang sangat penting. Rekayasa sipil atau struktur dapat digunakan untuk menahan kemungkinan infiltrasi air hujan dan air permukaan menjadi minimum. Sistem tersebut harus bisa menjamin efisiensi dan pergerakan cepat air hujan serta mencegah banjir dan erosi. Salah satu cara untuk mencapai tujuan tersebut maka harus disediakan sistem drainase yang memadai, sistem drainase dibuat sedemikian rupa sehingga limbah radioaktif aman tersimpan didalam fasilitas disposal demo dan tidak membahayakan manusia dan lingkungan.

Secara umum drainase dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air irigasi suatu kawasan sehingga fungsi kawasan tidak terganggu [2]. Sedangkan drainase yang ada dalam fasilitas disposal berfungsi untuk mencegah air hujan dan atau air rembesan masuk ke dalam fasilitas disposal, sehingga limbah radioaktif yang tersimpan di dalamnya tidak *release* ke lingkungan.

Bahan isian (*backfill*) merupakan salah satu dari sistem penghalang berlapis (*multibarriers system*) dalam fasilitas disposal. Bahan isian ini akan mengisi ruang antara wadah limbah dan berfungsi sebagai *mechanical support* terhadap tumpukan paket limbah, bahan isian yang digunakan adalah pasir kuarsa yang karena sifat mekaniknya yang baik dan mempunyai konduktivitas panas yang tinggi [3]. Efek dari sistem penghalang berlapis ini diharapkan mampu menjamin tidak adanya radionuklida yang terlepas ke lingkungan [4]. Pasir kuarsa adalah bahan galian berupa kristal-kristal silika ( $\text{SiO}_2$ ) juga dikenal dengan nama pasir putih. Pasir kuarsa mempunyai komposisi gabungan dari  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ , berwarna putih bening atau warna lain tergantung pada senyawa pengotornya. Mempunyai nilai kekerasan 7 (Skala Mohs), berat jenis 2,65 bentuk kristal hexagonal, panas spesifik 0,185 [5].

Pasir kuarsa selain sebagai sistem *drainase* juga digunakan sebagai stabilisator paket limbah pada fasilitas disposal. Bahan ini digunakan karena murah dan mudah untuk diperoleh. Data karakter sorpsi diperoleh dari serangkaian percobaan sorpsi-desorpsi radionuklida dari sampel sebagai fungsi waktu kontak, pengaruh kekuatan ionik larutan yang diwakilkan oleh adanya perubahan konsentrasi  $\text{NaCl}$  dan pengaruh konsentrasi  $\text{CsCl}$  terhadap sorpsi  $\text{Cs-137}$  ke sampel [6-8]. Percobaan lama waktu kontak dimaksudkan untuk mendapatkan waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi equilibrium dari  $\text{Cs-137}$

137 ke sampel, dimana selanjutnya diaplikasi sebagai waktu untuk pengontakan antara sampel dengan larutan yang mengandung Cs-137 pada percobaan-percobaan selanjutnya. Kekuatan ionik larutan pada beberapa penelitian diperkirakan dapat mempengaruhi besarnya Cs-137 yang akan terserap ke sampel, demikian pula dengan variasi konsentrasi CsCl terhadap sorpsi Cs-137 oleh sampel [6-8].

Fasilitas disposal demo akan ditutup setelah seluruh kompartemen disposal terisi penuh dan diberi bahan pengisi. Tahap ini merupakan tahap akhir setelah fasilitas disposal terisi penuh oleh paket limbah, diberi *backfill material* dan ditutup oleh *cover*. Proses penutupan ini termasuk kegiatan dekontaminasi, disposal limbah hasil dekontaminasi, menghilangkan atau menutup sistem struktur atau peralatan ganda, pemutakhiran arsip disposal, dan penerapan/melanjutkan proses monitoring yang diperlukan [9]. Pada fasilitas disposal demo, karena merupakan tipe *near surface disposal* proses penutupan merupakan *final cover* untuk kedua pasang kompartemen kembar 1S, 2S, 1D dan 2D. Kegiatan pada tahap pasca penutupan yaitu *monitoring* secara aktif atau pasif fasilitas disposal selama periode tertentu sehingga perlu dibuatkan jalur akses masuk untuk *monitoring* disposal.

Sejalan dengan prinsip standar keselamatan IAEA maka komponen desain penutupan fasilitas Disposal Demo harus dapat memenuhi persyaratan berikut [10]:

1. Isolasi limbah
2. Kontrol lepasan
3. Reduksi pengaruh yang dihasilkan oleh lepasan
4. Hindari atau minimasi perawatan fasilitas

Hal ini untuk menjamin keselamatan fasilitas Disposal Demo dalam jangka panjang baik selama masa operasi maupun masa *monitoring* setelah pasca penutupan.

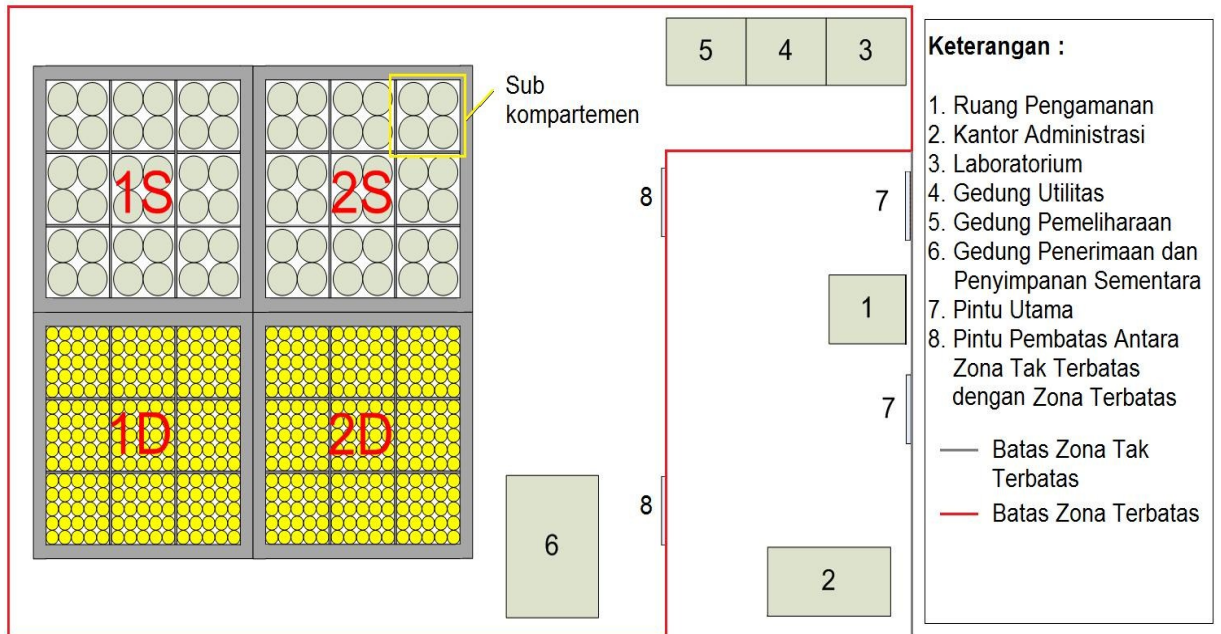
## METODE

Metode yang diterapkan adalah metode deskripsi dengan cara penelusuran pustaka, mengumpulkan informasi tentang berbagai tipe *near surface disposal* dari negara lain dan melakukan percobaan secara batch/catu di laboratorium. Tujuannya adalah mendapatkan data untuk mendukung pembangunan Fasilitas Disposal Demo di Kawasan Nuklir Serpong.

## PEMBAHASAN

Fasilitas disposal demo yang direncanakan akan dibangun pada tahun 2015 berada di lahan seluas lahan seluas 85 x 50 m dengan koordinat lokasi : 6°20'56,01" LS/ 106°39'41,70" BT. Secara topografis lokasi penelitian tapak disposal demo terletak pada ketinggian antara 50 m hingga 57 m di atas muka air laut [11].

Konsep desain tata letak fasilitas disposal demo terdapat dua zona dalam area fasilitas disposal demo. Zona I adalah zona terbuka, yang meliputi gedung administrasi dan ruang pengamanan. Zona II adalah zona terbatas, yang meliputi fasilitas disposal, gedung penyimpanan sementara, gedung laboratorium, fasilitas dekontaminasi dan fasilitas utilitas penunjang operasional disposal. Desain tata letak fasilitas disposal demo disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain tata letak fasilitas disposal demo di KNS [11]

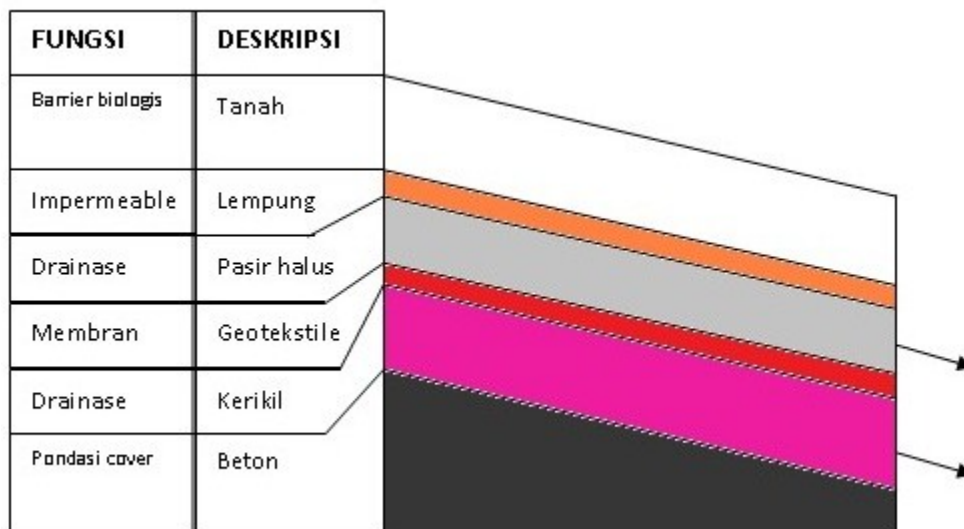
Di dalam gedung administrasi dilengkapi ruang ganti, ruang monitoring, ruang pengecekan limbah dan dokumen limbah. Di area ini dilakukan pemeriksaan kontaminasi permukaan dan keadaan kemasan limbah juga diperiksa dan dicatat untuk diteruskan kemudian bila sudah sampai di area penerimaan disposal. Begitu pula pemeriksaan untuk kendaraan pengangkut paket limbah perlu dilakukan pemeriksaan awal walau tidak secara detail sebelum kendaraan masuk ke dalam zona tertutup/terbatas. Laboratorium (3) untuk kegiatan analisis rutin, seperti analisis air, tanah udara dan tumbuhan di sekitar disposal. Parameter yang diukur minimal adalah aktivitas total alpha, beta, gamma dan tritium. Bila ada indikasi kontaminasi yang tidak normal maka segera ditentukan jenis radionuklida yang terlepas ke lingkungan. Gedung utilitas (4), merupakan fasilitas penunjang selama operasional disposal berlangsung seperti kebutuhan air dan listrik. Gedung pemeliharaan (5) tempat melakukan pengecekan dan perbaikan peralatan monitoring dan *handling* yang mengalami kerusakan karena kegiatan disposal. Gedung penerimaan dan penyimpanan sementara (6), pemeriksaan/pengecekan terhadap kendaraan dan paket limbah dilakukan (seperti cek laju dosis, kontaminasi permukaan, kerusakan paket, akurasi dan kelengkapan dokumen). Pembongkaran dan penyortiran paket limbah dilakukan satu persatu setelah itu baru penanganan paket limbah dengan mempergunakan peralatan yang ada. Fasilitas penyimpanan sementara perlu disediakan di dalam area disposal untuk mengantisipasi adanya limbah yang tidak bisa langsung di disposal, atau

menunggu kesiapan fasilitas. Paket limbah akan di tempatkan dalam fasilitas disposal limbah radioaktif yang terdiri dari 2 kompartemen kembar, kompartemen kiri untuk disposal shell 950 l, kompartemen kanan untuk disposal drum 200l. Pintu utama dan pintu pembatas antara zona tak terbatas dan zona terbatas dibuat untuk menjaga ketertiban maupun membatasi akses bagi personil yang tidak memiliki ijin akses ke zona terbatas (7,8). Pagar pembatas dengan kawasan luar dibuat untuk pengamanan dan mencegah adanya kerusakan maupun pencurian oleh pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab.

Untuk tujuan keselamatan, fasilitas disposal perlu dilengkapi drainase yang bertujuan untuk menghalangi air agar tidak masuk ke dalam repositori (*preventive barrier*) dan atau untuk menahan pelepasan radionuklida ke biosfer (*remedial barrier*).

Sistem drainase pada fasilitas disposal demo terbagi menjadi 3 bagian, yaitu :

1. Saluran drainase yang terdapat pada *cover* fasilitas disposal : terdapat dua saluran drainase pada *cover* yang berada pada lapisan ketiga dan lapisan kelima. Pada lapisan ketiga merupakan lapisan drainase sekunder yang berupa pasir halus dan dialasi lapisan semi impermeable yang berfungsi untuk mengalirkan air yang lolos dari lapisan di atasnya. Pada lapisan kelima adalah lapisan drainase primer berupa kerikil yang berfungsi untuk mengalirkan air ke sisi luar dan mencegah masuknya air ke dalam fasilitas disposal. Kedua lapisan drainase tersebut mengalirkan air menuju ke drainase utama. Sketsa *cover* untuk disposal demo dapat dilihat pada Gambar 4.

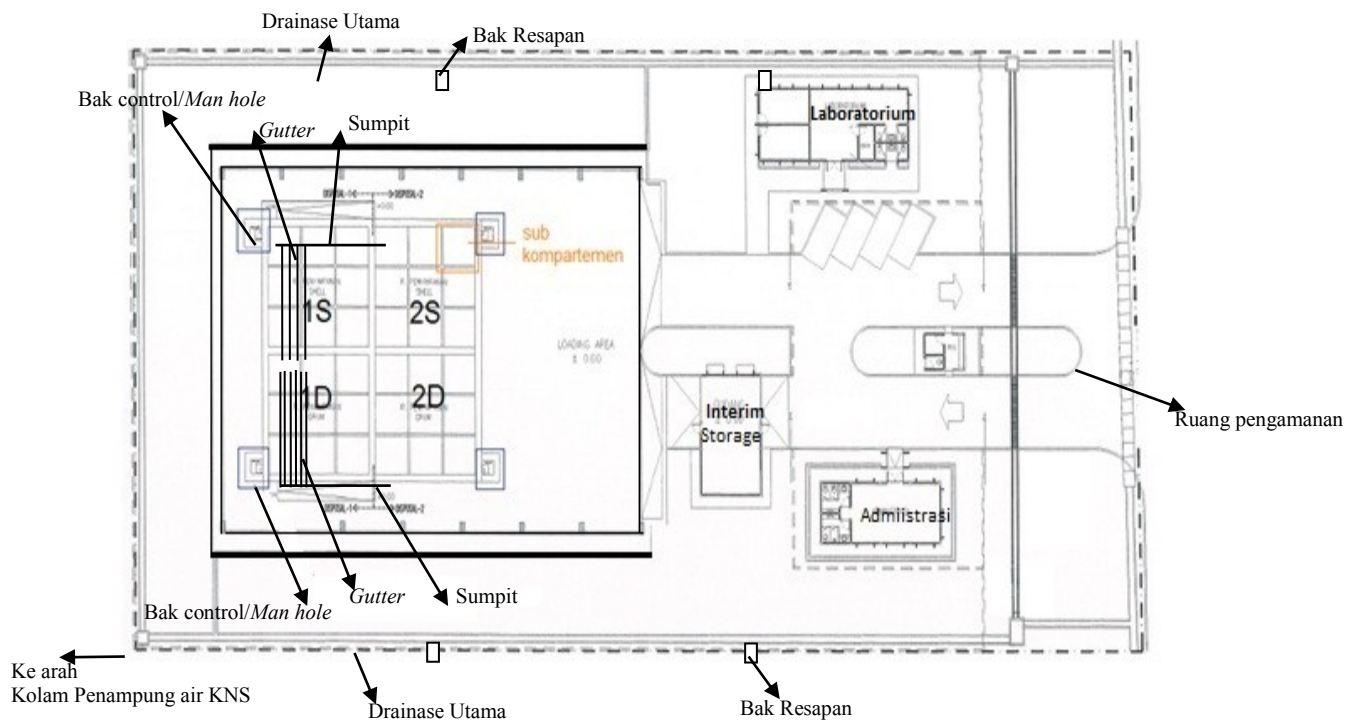


Gambar 4. Sketsa cover untuk disposal demo di KNS [12]

2. Saluran drainase yang terdapat di dalam bangunan fasilitas disposal : berupa *gutter* yang terdapat dalam kompartemen dengan kemiringan 1 % dan mengarah ke sumpit. Dari sumpit aliran menuju ke bak kontrol, bak kontrol dilengkapi dengan pompa yang berfungsi untuk menyedot air jika terjadi luapan air. Jarak antar *gutter* pada kompartemen penyimpanan

paket limbah drum 20 cm, jarak antar *gutter* pada kompartemen penyimpanan paket limbah shell beton 50cm. Untuk memonitor bak kontrol, di buat *man hole* yang dilengkapi dengan tangga.

- Saluran drainase utama terdapat di luar bangunan fasilitas disposal. Drainase utama menggunakan beton bertulang dengan kedalaman 40 cm dan kemiringan 1 %, yang dilengkapi dengan bak resapan. Diameter drainase adalah 20 cm (lingkar dalam) yang akan digunakan untuk menampung tapisan air hujan dari atap (talang) dan mengalir menuju kolam penampung air KNS. Sketsa saluran drainase fasilitas disposal demo disajikan pada Gambar 5.



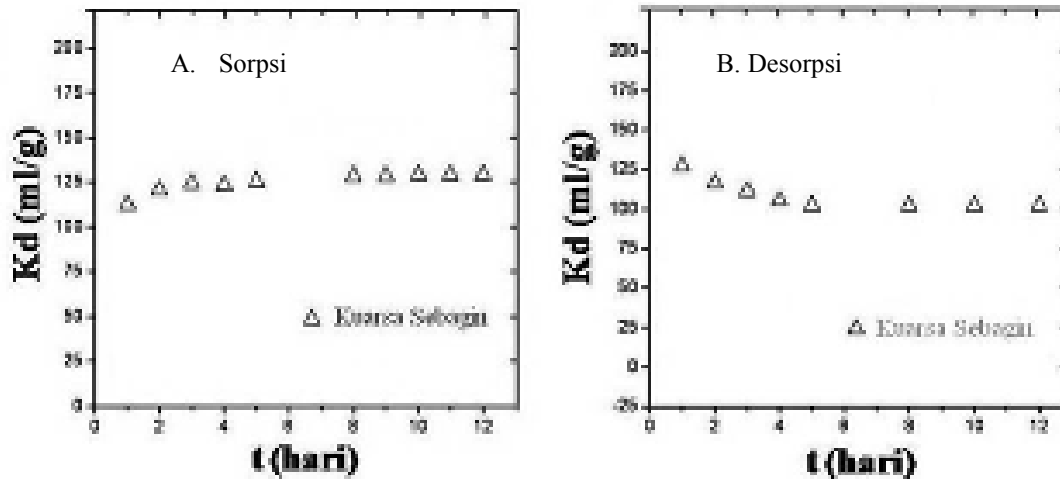
Gambar 5. Sketsa saluran drainase fasilitas disposal demo [13]

Sistem drainase yang terdapat dalam fasilitas disposal demo merupakan saluran drainase tertutup dan terbuka. Saluran tertutup terdapat pada saluran drainase pada *cover*, sedangkan untuk saluran terbuka terdapat di luar dan di dalam bangunan fasilitas disposal. Sistem jaringan drainase mengikuti pola gerakan air tanah, dimana pola aliran air mengikuti gaya gravitasi dan kontur dari tapak.

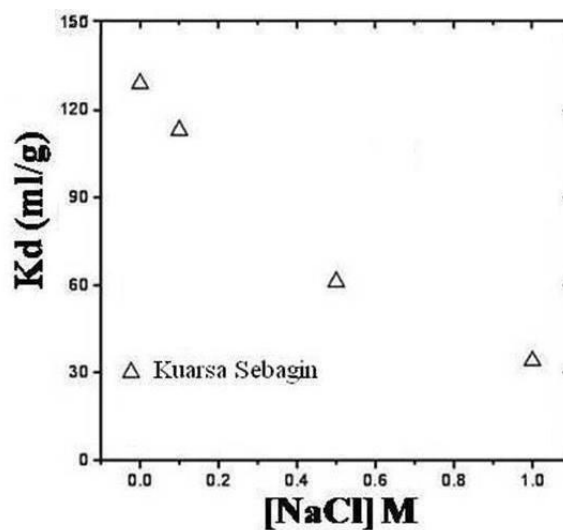
Bahan isian (*backfill*) merupakan salah satu dari sistem penghalang berlapis (*multibarriers system*) dalam fasilitas disposal. Hasil penelitian bahan isian pasir kuarsa dari Sebagin mempunyai nilai  $K_d$  sekitar 125 ml/g setelah kontak sekitar 24 jam sehingga terlihat cukup jelas bahwa kemampuan sorpsi radiocesium oleh sampel pasir kuarsa sangat kecil sekali.

Demikian pula pada saat percobaan desorpsi, dalam waktu yang relatif singkat telah terjadi pelepasan CsCl dari sampel pasir kuarsa akibat terjadinya

perubahan konsentrasi di larutan. Hal ini dapat terjadi karena kemungkinan besar bila sorpsi ion logam oleh pasir kuarsa hanya terjadi berupa sorpsi permukaan saja tidak sampai masuk ke dalam butiran sampel [14], sehingga dengan adanya gangguan sedikit saja maka ion logam yang menempel pada permukaan sampel akan segera terlepas dari sampel dan kembali ke larutan. Nilai  $K_d$  yang diperoleh pada kondisi kesetimbangan yang baru 100 ml/g.



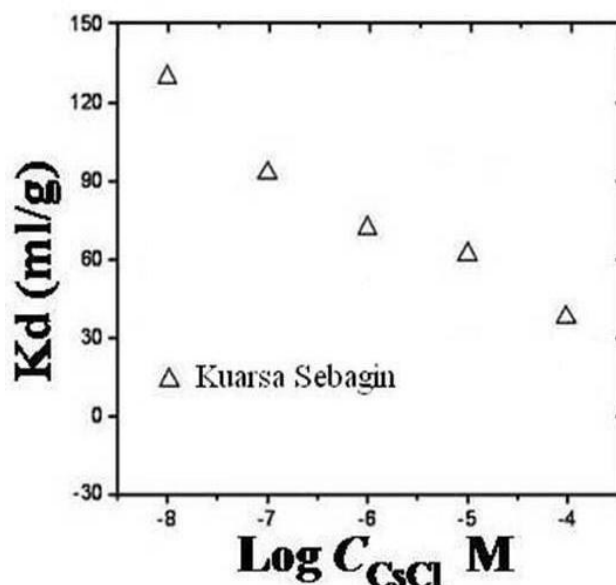
Gambar 6. Tipikal kinetika sorpsi –desorpsi radiocesium



Gambar 7. Pengaruh kekuatan ionik larutan terhadap sorpsi Cs-137 oleh sampel

Pengaruh kekuatan ionik di larutan dapat pula mempengaruhi nilai  $K_d$  Cs-137 oleh sampel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Meningkatnya kekuatan ionik dalam larutan yang diindikasikan dengan meningkatnya konsentrasi NaCl dalam larutan (0,1; 0,5 dan 1,0 M NaCl) telah menyebabkan menurunnya nilai  $K_d$ . Di sini telah diperlihatkan bahwa salah satu mekanisme pengontrol sorpsi Cs-137 ke sampel adalah kompetisi antara ion-ion logam garam latar dengan ion Cs terhadap sampel [15].





**Gambar 8.** Pengaruh variasi konsentrasi CsCl terhadap sorpsi Cs-137 oleh sampel

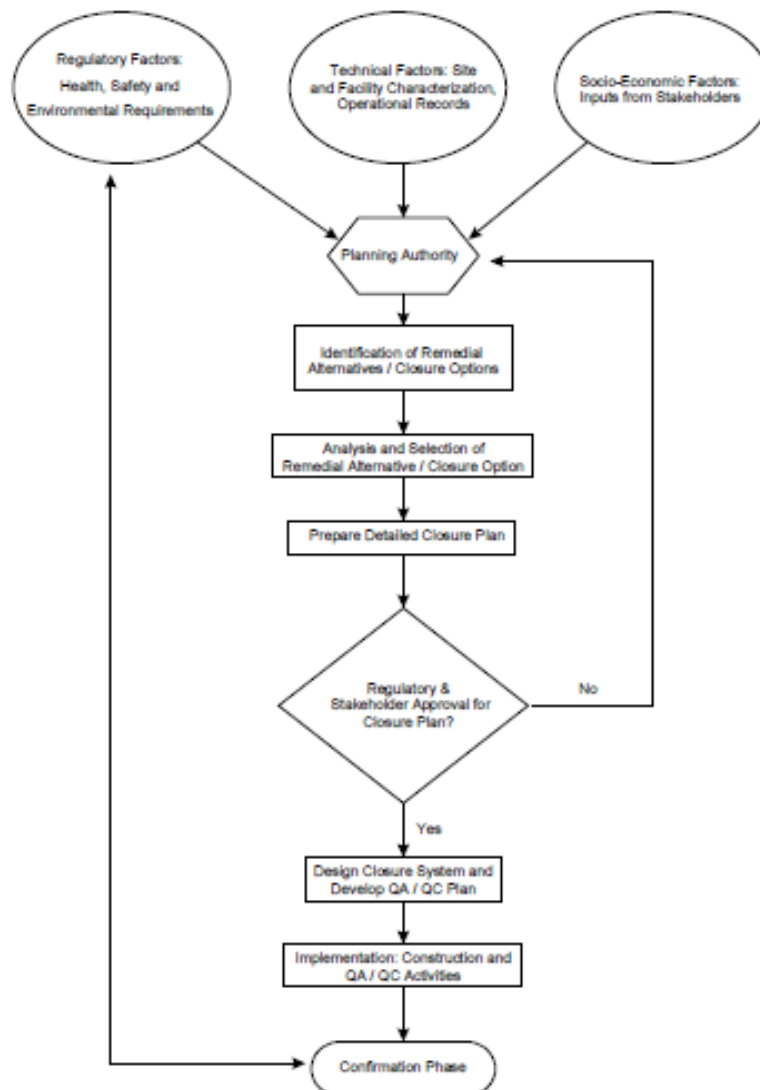
Pengontakkan dengan cara memberikan larutan CsCl dengan konsentrasi awal yang bervariasi ke sampel telah menurunkan nilai  $K_d$  bersamaan dengan meningkatnya konsentrasi CsCl di larutan, Gambar 8. Hal ini terjadi karena adanya keterbatasan kapasitas serap dari sampel sehingga hal ini akan menyebabkan menurunnya nilai  $K_d$  Cs-137 oleh sampel [16]. Pasir kuarsa umumnya terbentuk dari Kristal  $SiO_2$  yang cukup stabil dengan *site* pertukaran yang minimal sehingga hasil sorpsi yang ditunjukkan juga memberikan hasil yang minimal pula.

Tahap akhir pengoperasian fasilitas disposal ketika seluruh kompartemen telah terisi penuh dengan paket limbah dan diisi dengan bahan isian berupa pasir kuarsa untuk menjaga kestabilan paket limbah. Proses penutupan suatu fasilitas disposal limbah radioaktif merupakan bagian dari proses perencanaan ketika suatu fasilitas disposal sudah terisi penuh oleh paket limbah atau sudah tidak beroperasi lagi. Namun begitu, penutupan dini (*premature closure*) dapat saja terjadi dikarenakan kecelakaan (seperti gempa, banjir atau kebakaran) atau disebabkan perubahan sikap publik, status demografi atau perijinan. Dalam hal kejadian tersebut, tindakan korektif mungkin perlu dilakukan. Proses penutupan dapat dilakukan jika badan regulator memberi ijin setelah mereview dokumen perijinan fasilitas disposal dan atau dokumen yang terkait. Secara umum proses yang berlangsung untuk melakukan penutupan *near surface disposal* limbah radioaktif digambarkan pada Gambar 9 [17]. Pada diagram tersebut, kegiatan analisis alternatif remedial diperlukan jika fasilitas disposal tidak didesain atau dioperasikan sesuai standar keselamatan yang berlaku.

Pada fasilitas Disposal Demo, proses perijinan untuk penutupan fasilitas Disposal hanya dilakukan setelah semua kompartemen terisi penuh oleh paket limbah dan *backfill material*. Penutupan slab beton untuk tiap modul sub kompartemen tidak diperlukan ijin karena merupakan bagian dari operasional

Fasilitas Disposal Demo. Proses perijinan ini merupakan langkah pertama dari tahap penutupan fasilitas disposal.

Proses penutupan fasilitas disposal dilakukan dengan menempatkan beberapa lapisan *cover* pada disposal dan pembangunan fasilitas *monitoring* dan perawatan untuk menjamin keselamatan dan kehandalan disposal. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh sistem penutupan fasilitas disposal yaitu tidak mudah tembus air (*impermeability*); limbah, *cover* dan struktur bangunan penghalang didesain untuk menjadi kesatuan bangunan yang kokoh, *solid* dan tahan cuaca ekstrim, longsor maupun kejadian alam seperti gempa (*integrity and resistance to degradation*), dan disain fasilitas disposal harus memiliki fitur untuk memudahkan perawatan dan tindakan perbaikan (*repairability*) [17].



Gambar 9. Diagram proses penutupan untuk fasilitas *near surface disposal*

Pengawasan pasca penutupan (*post closure monitoring*) dilakukan secara berkala dan dapat menjadi alasan yang cukup jika sewaktu-waktu diperlukan tindakan korektif. Pengawasan secara berkala (*institutional control*) diperlukan selama periode tertentu pasca-penutupan fasilitas disposal untuk [17]:

1. menghindari terjadinya intrusi pada fasilitas disposal
2. menghindari lepasan atau bagian dari limbah radioaktif
3. menjamin performa keselamatan
4. melakukan tindakan korektif jika diperlukan

Pada fasilitas Disposal Demo, akses untuk *post closure monitoring* dibuat dalam bentuk sumpit monitoring sebanyak empat buah dan berada di sudut kompartemen [13]. Sumpit monitoring ini merupakan tempat keluarnya air yang masuk pada fasilitas disposal. Air yang keluar pada bak penampung sumpit akan dianalisa kualitas dan kandungannya apakah mengandung lepasan radionuklida atau tidak. Hal ini akan menjadi dasar untuk dilakukannya tindakan korektif jika terjadi lepasan radionuklida. Pada proses penutupan *final cover* fasilitas Disposal Demo, maka dibuatkan juga jalur akses berupa lorong untuk dapat masuk ke dalam sumpit monitoring. Selain sumpit monitoring, fasilitas untuk *institutional control* juga berupa empat sumur pantau yang terletak di tiap sisi disposal.

## KESIMPULAN

Fasilitas NSD diasumsikan sebagai tempat isolasi yang paling aman untuk limbah radioaktif tingkat rendah sampai sedang, maka dalam mempersiapkan konsep desain NSD sangat penting ketepatan menentukan tata letak sebuah fasilitas NSD, sehingga keberadaan NSD dapat dipertanggung jawabkan secara pasti untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya kecelakaan yang disebabkan kelebihan beban sehingga menyebabkan fondasi ambles atau adanya infiltrasi air kedalam vault sehingga menghilangkan kemampuan NSD dalam mengungkung limbah radioaktif. Fasilitas NSD harus didesain sedemikian rupa sehingga memudahkan akses selama operasi disposal berlangsung.

Sistem drainase yang dibuat pada fasilitas disposal demo mempertimbangkan pola aliran air tanah di daerah tapak. Sistem drainase pada fasilitas disposal demo terbagi menjadi 3 bagian, yaitu saluran drainase yang terdapat dalam sistim *cover*, saluran drainase yang terdapat dalam bangunan fasilitas disposal dan saluran drainase yang terdapat di luar bangunan fasilitas disposal.

Untuk hasil penelitian karakterisasi Sorpsi Radiocesium oleh Pasir Kuarsa dari Sebagian-Bangka Selatan Sebagai Bahan Isian (*backfill*) Disposal Limbah Radioaktif dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Waktu kontak yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan didapat setelah 24 jam dengan nilai Kd 125 ml.
2. Waktu kesetimbangan desorpsi dicapai setelah sekitar 4 hari pengocokan dengan nilai Kd yang baru 100 ml/g.

3. Peningkatan konsentrasi NaCl di larutan membuat nilai Kd menurun karena adanya kompetisi antara ion Na dan Cs-137 berinteraksi dengan sampel.
4. Rendahnya konsentrasi CsCl dilarutan menghasilkan nilai Kd yang tinggi, demikian pula sebaliknya. Hal ini disebabkan terbatasnya kapasitas serap sampel terhadap Cs-137.

Komponen desain penutupan untuk fasilitas Disposal Demo yaitu *multi-layer cover*, sistem drainase, fasilitas monitoring dan perawatan disposal. *Multi-layer cover* adalah *final cover* yang akan menutupi seluruh kompartemen disposal yaitu kompartemen 1S, 2S, 1D, dan 2D. Sistem drainase pada fasilitas Disposal Demo terdiri dari dua bagian, yaitu sistem drainase dalam dan sistem drainase luar. Fasilitas monitoring berupa empat sumpit monitoring dan empat sumur pantau. Fasilitas perawatan disediakan pada gedung utilitas, perawatan dan laboratorium.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. IAEA, "Technical Considerations in the Design of Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste", IAEA-TECDOC-1256, IAEA-Vienna-2001.
- [2]. Suripin, Drainase Perkotaan yang berkelanjutan, ANDI OFFSET, Yogyakarta. 2004
- [3]. Japan Nuclear Cycle Development Institute, *H-12, Repository Design and Engineering Technology*, JNC, Japan (2000).
- [4]. Nuclear Energy Agency, *Geological Disposal of Radioactive Waste : Review of Developments in The Last Decade*, (1999).
- [5]. *Informasi Mineral dan batubara* : Pasir Kuarsa, tek mira.esdm.go.id, diunduh 30 Januari 2013.
- [6]. Um, WY, and Papelis, C., Sorption Mechanisms of Sr and Pb on Zeolitized Tuffs From The Nevada Test Site as a Function of pH and Ionic Strength, *American Mineralogist*, Vol. 88, 2028–2039 (2003).
- [7]. Di Toro, DM., et.al., Effect of Nonreversibility, Particle Concentration and Ion Heavy Metal Sorption, *Env. Scie. Technol.* **20**, 55-61 (1986).
- [8]. Bangash, MA., *Adsorption of Fission Products and Other Radionuclides on Inorganic Exchangers*, Ph.D Thesis, University of The Punjab Lahore (1991).
- [9]. IAEA Tecdoc 1199. Characterization of Groundwater Flow for Near Surface Disposal Facilities. (2001).
- [10]. IAEA Tecdoc 1256. Technical Consideration in the Design of Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste. (2001).
- [11]. Sucipta, "Optimasi Penempatan Disposal Demo Dalam Lingkungan Geologi KNS". Makalah Peneliti Utama, Serpong 2011
- [12]. Sriwahyuni, H, dan Adhi Pratama, H, "Penyiapan Desain Konsep Cover

- Fasilitas Disposal Demo Di Kawasan Nuklir Serpong”, Prosiding Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR Tahun 2012 (2013).
- [13]. PT. Bahana Nusantara. Laporan Akhir Perencanaan Pembangunan Fasilitas Disposal Demo Limbah Radioaktif. (2013)
- [14]. Ohnuki, T. and Tanaka, T., Migration of Radionuclides Controlled by Several Different Migration Mechanisms Through a Sandy Soil Layer, *Health Physic* **56**, 47-53 (1989).
- [15]. Kirishima, A., Tanaka, K., Niibori, Tochiyama, O.: Complex Formation of Ca(II) with Humic Acid and Polyacrylic Acid. *Radiochim. Acta* **90**, 555-561 (2002).
- [16]. Staunton, S and Roubaud, M., Adsorption  $^{137}\text{Cs}$  on Montmorillonite and Illite, *Clay & Clay Minerals* Vol.45, No.2, 251-260 (1997).
- [17]. IAEA Tecdoc 1260. Procedures and Techniques for Closure of Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste. (2001).



## PENYIAPAN KONSEP DESAIN DRAINASE FASILITAS DISPOSAL DEMO DI KAWASAN NUKLIR SERPONG

**Heru Sriwahyuni, Dewi Susilowati, Sucipta, Hendra Adhi Pratama**  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**PENYIAPAN KONSEP DESAIN DRAINASE FASILITAS DISPOSAL DEMO DI KAWASAN NUKLIR SERPONG (KNS).** Telah dilakukan penyiapan konsep desain drainase fasilitas disposal demo di KNS. Kegiatan ini dilakukan dengan metode deskripsi yang mempunyai lingkup kegiatan berupa pengumpulan data dan informasi sekunder, pengolahan dan analisis data, serta evaluasi hasil. Tujuan dari kegiatan ini adalah memperoleh desain dasar dan desain detail sistem drainase untuk fasilitas disposal demo. Pada desain cover ada dua lapisan drainase yang dapat ditemui pada lapisan ketiga dan kelima. Saluran drainase pada desain cover mengalir menuju saluran drainase utama. Dalam kompartemen terdapat saluran drainase berupa gutter dengan kemiringan 1 % , mengarah menuju ke sumpit. Dari sumpit aliran menuju ke bak kontrol, bak kontrol dilengkapi dengan pompa yang berfungsi untuk menyedot air jika terjadi luapan air. Untuk memonitor bak kontrol, di buat man hole yang dilengkapi dengan tangga. Saluran drainase utama terdapat di luar bangunan fasilitas disposal. Drainase utama menggunakan beton bertulang dengan kedalaman 40 cm dan kemiringan 1 % , yang dilengkapi dengan bak resapan. Diameter drainase adalah 20 cm (lingkar dalam) yang akan digunakan untuk menampung tapisan air hujan dari atap (talang) dan mengalir menuju kolam penampung air KNS.

Kata kunci : Drainase, Disposal Demo, Konsep Desain

### ABSTRACT

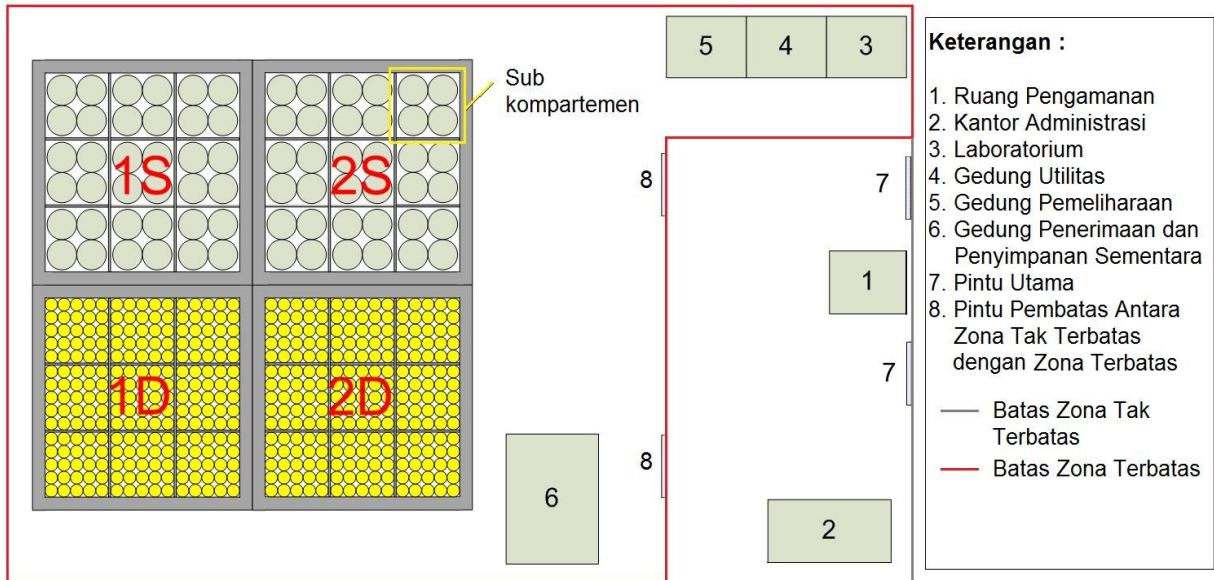
**PREPARATION OF DRAINAGE DESIGN CONCEPT OF RADIOACTIVE WASTE DEMONSTRATION DISPOSAL FACILITY AT SERPONG NUCLEAR AREA.** The preparation of drainage concept design for demo disposal facilities in Serpong Nuclear Area (KNS) have been done. The description method has been implemented with the scope of activities such as data collection and secondary information, processing and data analysis, and results evaluation. The objective of the activity is to obtain the basic design and detailed design of the drainage system for demonstration disposal facility. In the design of the cover there are two drainage layers that can be found on the third and fifth layers. Drainage channels on the cover design flows toward the main drainage channel. In the compartment there is a gutter drainage with a slope of 1%, leading to a chopstick. Of chopsticks flow toward control basin, tub is equipped with a pump control that serves to suck the water in case of flood water. To monitor the control tanks, man holes created equipped with a ladder. The main drainage disposal facilities are outside the building. The main drainage using reinforced concrete to a depth of 40 cm and a slope of 1%, which is equipped with a catchment basin. Drainage is 20 cm diameter (inside diameter) which will be used to accommodate filtrate rainwater from the roof (gutters) and flows to the water storage in KNS.

Keywords: Drainage, Disposal Demo, Design Concepts

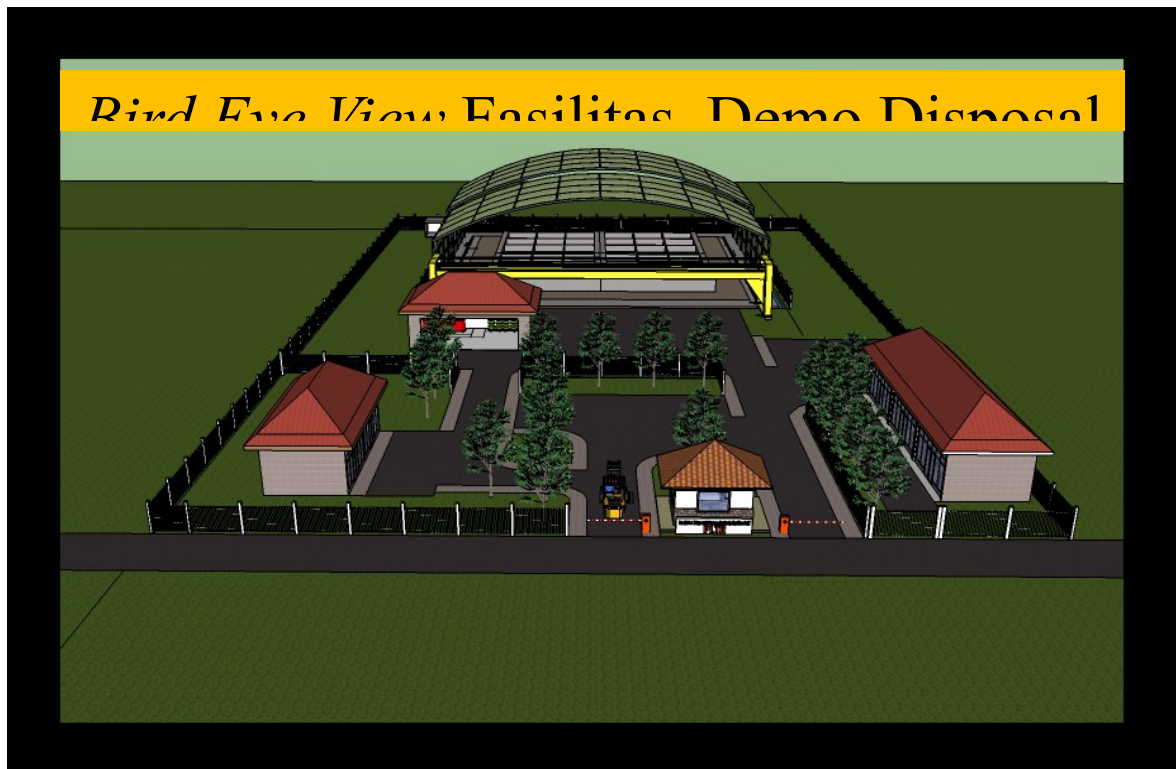
### PENDAHULUAN

Fasilitas Disposal demo adalah fasilitas yang digunakan untuk menyimpan limbah radioaktif secara lestari yang rencananya akan dibangun di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) pada tahun 2015. Fasilitas ini bertujuan sebagai wahana ekspreminen, demo dan fasilitas penyimpanan akhir limbah radioaktif yang sesungguhnya di Indonesia bahkan di Asia Tenggara dalam dekade ini.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, fasilitas disposal demo akan dibangun pada lahan seluas 85 x 50 m dengan koordinat lokasi : 6°20'56,01" LS/ 106°39'41,70" BT. Secara topografis lokasi penelitian tapak disposal demo terletak pada ketinggian antara 50 m hingga 57 m di atas muka air laut [1]. Konsep desain disposal demo yang telah dirancang dapat dilihat pada Gambar 1. Sedangkan *bird eye view* fasilitas disposal demo dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Konsep desain fasilitas disposal demo di KNS [1]



Gambar 2. *Bird eye view* fasilitas disposal demo di KNS



Prinsip dasar dari disposal adalah bahwa fasilitas tersebut ditempatkan, dirancang, dibangun, dioperasikan, ditutup dan didekomisioning sedemikian rupa sehingga pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup terlindung dari bahaya lepasnya zat radioaktif. Lahan untuk tapak disposal dipilih yang memenuhi kriteria keselamatan sehingga dapat mengungkung radionuklida dalam limbah, mampu menahan lepasan radionuklida tersebut ke biosfer dan mampu menyangga beban repositori beserta limbahnya [3].

Untuk tujuan keselamatan, fasilitas disposal perlu dilengkapi dengan penahan untuk menghalangi air agar tidak masuk ke dalam repositori (*preventive barrier*) dan atau untuk menahan pelepasan radionuklida ke biosfer (*remedial barrier*) [3].

Air merupakan media transport utama bagi radionuklida, sehingga kontrol terhadap air permukaan dan air tanah merupakan hal yang sangat penting. Rekayasa sipil atau struktur dapat digunakan untuk menahan kemungkinan infiltrasi air hujan dan air permukaan menjadi minimum.. Sistem tersebut harus bisa menjamin efisiensi dan pergerakan cepat air hujan serta mencegah banjir dan erosi. Salah satu cara untuk mencapai tujuan tersebut maka harus disediakan sistem drainase yang memadai, sistem drainase dibuat sedemikian rupa sehingga limbah radioaktif aman tersimpan didalam fasilitas disposal demo dan tidak membahayakan manusia dan lingkungan [4].

Secara umum drainase dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air irigasi suatu kawasan sehingga fungsi kawasan tidak terganggu [5]. Sedangkan drainase yang ada dalam fasilitas disposal berfungsi untuk mencegah air hujan dan atau air rembesan masuk kedalam fasilitas disposal, sehingga limbah radioaktif yang tersimpan didalamnya tidak *release* ke lingkungan.

Sistem jaringan drainase umumnya dibagi atas 2 bagian, yaitu [5]:

1. Sistem Drainase Mayor Sistem drainase mayor yaitu sistem saluran/badan air yang menampung dan mengalirkan air dari suatu daerah tangkapan air hujan. Pada umumnya sistem drainase mayor ini disebut juga sebagai sistem saluran pembuangan utama atau drainase primer. Perencanaan drainase makro ini umumnya dipakai dengan periode ulang antara 5 sampai 10 tahun dan pengukuran topografi yang detail mutlak diperlukan dalam perencanaan sistem drainase ini.
2. Sistem Drainase Mikro Sistem drainase mikro yaitu sistem saluran dan bangunan pelengkap drainase yang menampung dan mengalirkan air dari daerah tangkapan hujan. Pada umumnya drainase mikro ini direncanakan untuk hujan dengan masa ulang 2, 5 atau 10 tahun tergantung pada tata guna lahan yang ada.

Ada beberapa jenis yang biasa digunakan pada sistem jaringan drainase [5] :

1. Menurut sejarah terbentuknya
  - a. Drainase alamiah (*natural drainage*), yaitu sistem drainase yang terbentuk secara alami dan tidak ada unsur campur tangan manusia.

b. Drainase buatan, yaitu sistem drainase yang dibentuk berdasarkan analisis ilmu drainase, untuk menentukan debit akibat hujan, dan dimensi saluran.

## 2. Menurut letak saluran

a. Drainase permukaan tanah (*Surface Drainage*), yaitu saluran drainase yang berada di atas permukaan tanah yang berfungsi mengalirkan air limpasan permukaan. Analisa alirannya merupakan analisa *open channel flow*.

b. Drainase bawah tanah (*Sub Surface Drainage*), yaitu saluran drainase yang bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media di bawah permukaan tanah.

## 3. Menurut konstruksi

a. Saluran terbuka, yaitu sistem saluran yang biasanya direncanakan hanya untuk menampung dan mengalirkan air hujan (sistem terpisah), namun kebanyakan sistem saluran ini berfungsi sebagai saluran campuran.

b. Saluran tertutup, yaitu saluran yang ditutup baik berada diatas permukaan tanah maupun dibawah permukaan tanah.

Macam saluran untuk pembuangan air, menurut De Chaira dan Koppelman [5] dapat dibedakan menjadi :

### 1. Saluran Air Tertutup

a. Drainase Bawah Tanah Tertutup, yaitu saluran yang menerima air limpasan dari daerah yang diperkeras maupun yang tidak diperkeras dan membawanya ke sebuah pipa keluar di sisi tapak ke sistem drainase utama.

b. Drainase Bawah Tanah Tertutup dengan tempat penampungan pada tapak, dimana drainase ini mampu menampung air limpasan dengan volume dan kecepatan yang meningkat tanpa menyebabkan erosi dan kerusakan pada tapak.

2. Saluran Air Terbuka Merupakan saluran yang mengalirkan air dengan suatu permukaan bebas. Pada saluran air terbuka ini jika ada yang menyumbat dapat dengan mudah untuk dibersihkan [6].

3. Saluran Air Kombinasi, dimana limpasan air terbuka dikumpulkan pada saluran drainase permukaan, sementara limpasan dari daerah yang diperkeras dikumpulkan pada saluran drainase tertutup.

Pola jaringan drainase menurut Sidharta Karmawan terdiri dari enam macam, antara lain [7]:

1. Siku, digunakan pada daerah yang mempunyai topografi sedikit lebih tinggi daripada sungai..

2. Paralel, saluran utama terletak sejajar dengan saluran cabang. Apabila terjadi perkembangan, saluran-saluran akan dapat menyesuaikan diri.

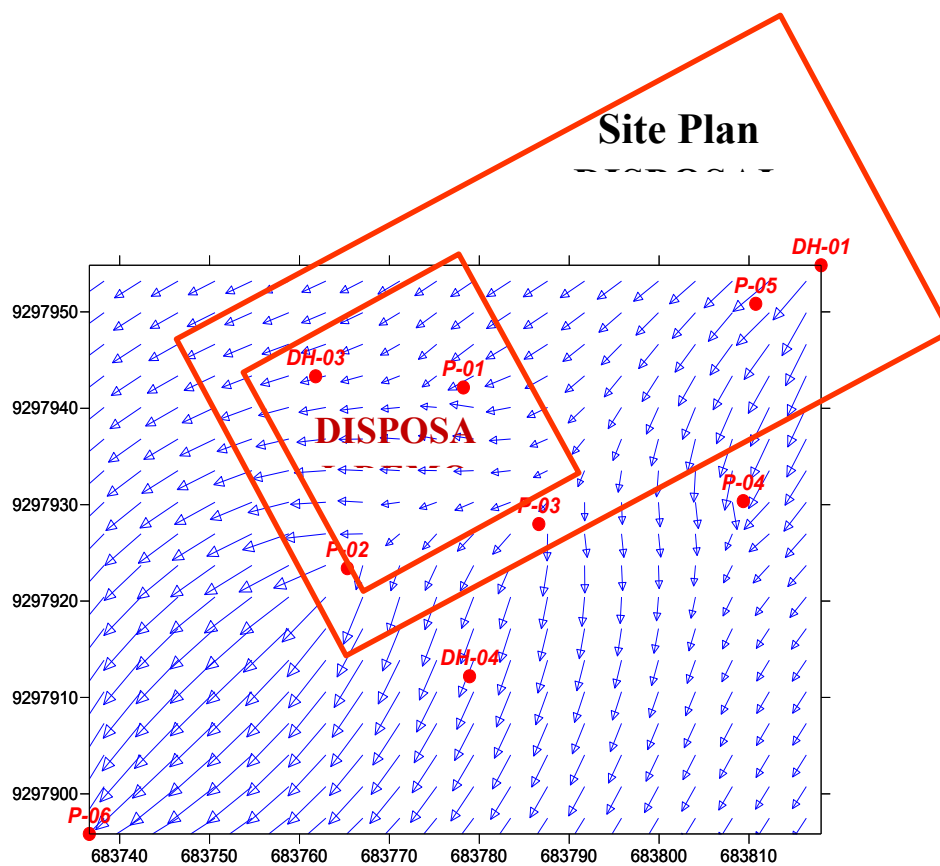
3. *Grid iron*, digunakan untuk tapak yang dekat dengan sungai, sehingga saluran-saluran cabang dikumpulkan dahulu pada saluran pengumpul.

4. Alamiah, sama seperti pola siku, hanya beban sungai pada pola alamiah lebih besar.

5. Radial, digunakan untuk daerah berbukit, sehingga pola saluran memencar ke segala arah.
6. Jaring-jaring mempunyai saluran-saluran pembuangan yang mengikuti arah jalan raya dan cocok untuk daerah dengan topografi datar.

Sistem drainase yang dibuat pada fasilitas disposal demo mempertimbangkan pola aliran air tanah di daerah tapak. Pola aliran air tanah pada tapak fasilitas disposal demo dapat dilihat pada gambar 3. Sistem drainase pada fasilitas disposal demo terbagi menjadi 3 bagian :

1. Saluran drainase yang terdapat pada *cover* fasilitas disposal
2. Saluran drainase yang terdapat pada bangunan fasilitas disposal
3. Saluran drainase yang terdapat diluar bangunan fasilitas disposal



Gambar 3. Pola aliran air tanah dalam tapak fasilitas disposal demo [1]

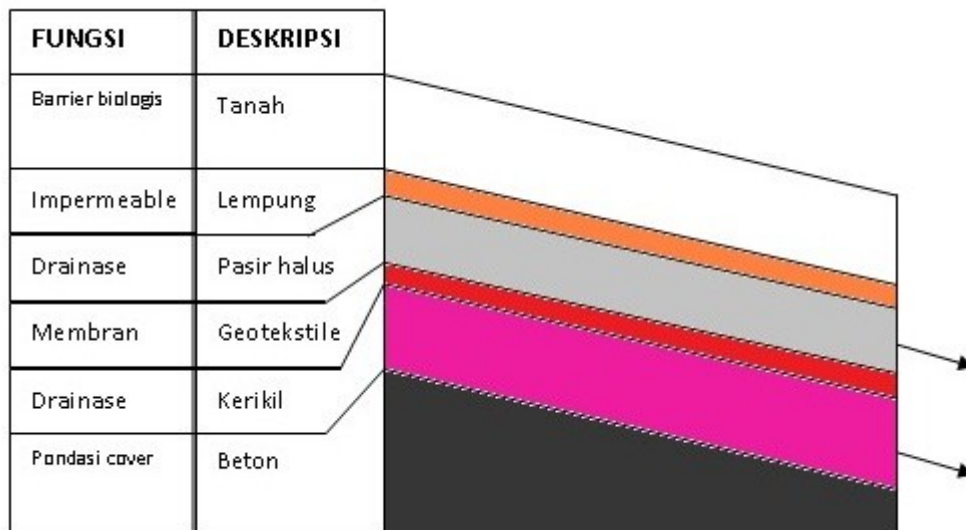
## METODE

Penyusunan makalah ini menggunakan metode deskripsi yang mempunyai lingkup kegiatan berupa pengumpulan data dan informasi sekunder, pengolahan dan analisis data, serta evaluasi hasil. Pengumpulan data dan informasi sekunder dari beberapa pustaka dilakukan guna mendapatkan konsep desain drainase untuk fasilitas disposal demo di Kawasan Nuklir Serpong.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Sistem drainase pada fasilitas disposal demo terbagi menjadi 3 bagian, yaitu :

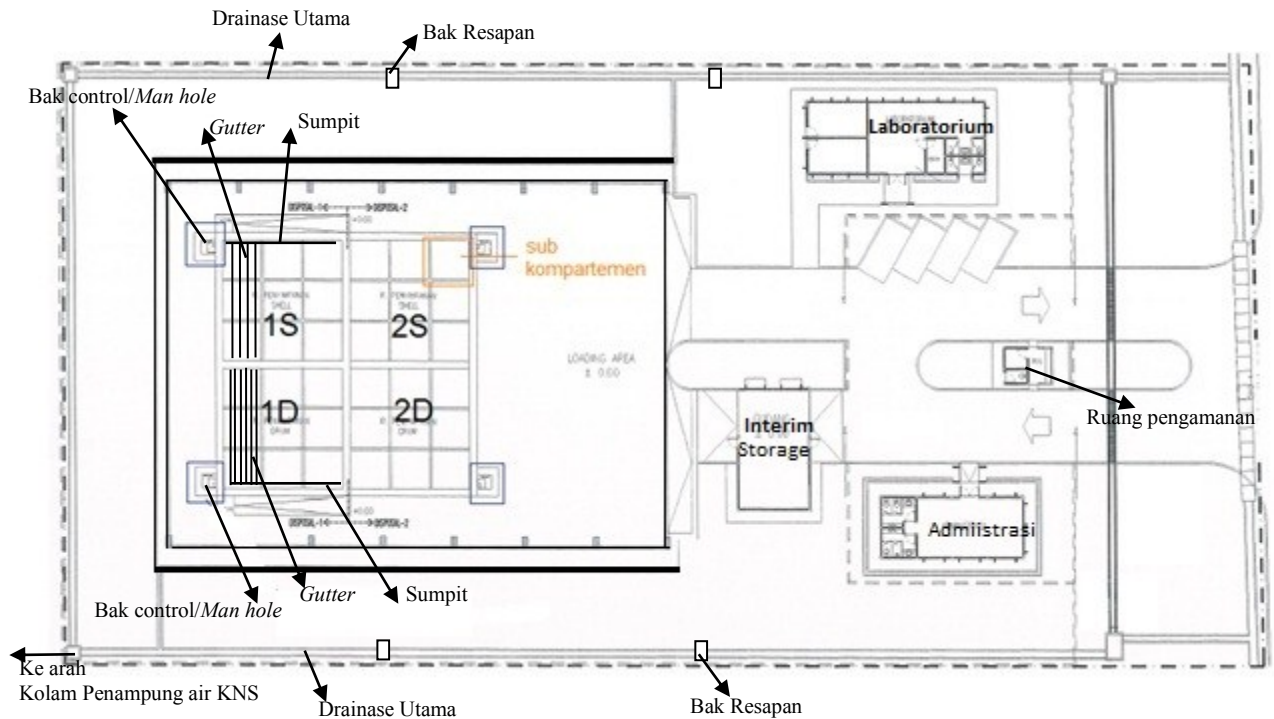
1. Saluran drainase yang terdapat pada *cover* fasilitas disposal : terdapat dua saluran drainase pada *cover* yang berada pada lapisan ketiga dan lapisan kelima. Pada lapisan ketiga merupakan lapisan drainase sekunder yang berupa pasir halus dan dialasi lapisan semi impermeable yang berfungsi untuk mengalirkan air yang lolos dari lapisan di atasnya. Pada lapisan kelima adalah lapisan drainase primer berupa kerikil yang berfungsi untuk mengalirkan air ke sisi luar dan mencegah masuknya air ke dalam fasilitas disposal. Kedua lapisan drainase tersebut mengalirkan air menuju ke drainase utama. Sketsa *cover* untuk disposal demo dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sketsa cover untuk disposal demo di KNS [8]

2. Saluran drainase yang terdapat di dalam bangunan fasilitas disposal : berupa *gutter* yang terdapat dalam kompartemen dengan kemiringan 1 % dan mengarah ke sumpit. Dari sumpit aliran menuju ke bak kontrol, bak kontrol dilengkapi dengan pompa yang berfungsi untuk menyedot air jika terjadi luapan air. Jarak antar *gutter* pada kompartemen penyimpanan paket limbah drum 20 cm, jarak antar *gutter* pada kompartemen penyimpanan paket limbah shell beton 50 cm. Untuk memonitor bak kontrol, di buat *man hole* yang dilengkapi dengan tangga.
3. Saluran drainase utama terdapat di luar bangunan fasilitas disposal. Drainase utama menggunakan beton bertulang dengan kedalaman 40 cm dan kemiringan 1 %, yang dilengkapi dengan bak resapan. Diameter drainase adalah 20 cm (lingkar dalam) yang akan digunakan untuk

menampung tapisan air hujan dari atap (talang) dan mengalir menuju kolam penampung air KNS. Sketsa Saluran drainase fasilitas Disposal demo disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Sketsa saluran drainase fasilitas disposal demo [9]

Sistem drainase yang terdapat dalam fasilitas disposal demo merupakan saluran drainase tertutup dan terbuka. Saluran tertutup terdapat pada saluran drainase pada *cover*, sedangkan untuk saluran terbuka terdapat di luar dan di dalam bangunan fasilitas disposal. Sistem jaringan drainase mengikuti pola gerakan air tanah, dimana pola aliran air mengikuti gaya gravitasi dan kontur dari tapak.

## KESIMPULAN

Sistem drainase yang dibuat pada fasilitas disposal demo mempertimbangkan pola aliran air tanah di daerah tapak. Sistem drainase pada fasilitas disposal demo terbagi menjadi 3 bagian :

1. Saluran drainase yang terdapat pada *cover* fasilitas disposal : terdapat dua saluran drainase pada *cover* yang berada pada lapisan ketiga dan lapisan kelima. Pada lapisan ketiga merupakan lapisan drainase sekunder yang berupa pasir halus dan dialasi lapisan semi impermeable yang berfungsi untuk mengalirkan air yang lolos dari lapisan di atasnya. Pada lapisan kelima adalah lapisan drainase primer berupa kerikil yang berfungsi untuk mengalirkan air kesisi luar dan mencegah masuknya air kedalam fasilitas

- disposal. Kedua lapisan drainase tersebut mengalirkan air menuju ke drainase utama.
2. Saluran drainase yang terdapat pada bangunan fasilitas disposal : : berupa *gutter* yang terdapat dalam kompartemen dengan kemiringan 1 % dan mengarah ke sumpit. Dari sumpit aliran menuju ke bak kontrol, bak kontrol dilengkapi dengan pompa yang berfungsi untuk menyedot air jika terjadi luapan air. Jarak antar *gutter* pada kompartemen penyimpanan paket limbah drum 20 cm, jarak antar *gutter* pada kompartemen penyimpanan paket limbah shell beton 50cm. Untuk memonitor bak kontrol, di buat *man hole* yang dilengkapi dengan tangga.
  3. Saluran drainase utama terdapat diluar bangunan fasilitas disposal. Drainase utama menggunakan beton bertulang dengan kedalaman 40 cm dan kemiringan 1 %, yang dilengkapi dengan bak resapan. Diameter drainase adalah 20 cm (lingkar dalam) yang akan digunakan untuk menampung tapisan air hujan dari atap (talang) dan mengalir menuju kolam penampung air KNS.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1].Sucipta, “Optimasi Penempatan Disposal Demo Dalam Lingkungan Geologi KNS”. Makalah Peneliti Utama,Serpong 2011.
- [2].Suripin, Drainase Perkotaan yang berkelanjutan, ANDI OFFSET, Yogyakarta. 2004
- [3].Sucipta dkk, Prosiding PPI – PDIPTN 2005 Puslitbang Teknologi Maju – BATAN Jogjakarta, 12 Juli 2005
- [4].suciptaProsiding PPI - PDIPTN 2006Pustek Akselerator dan Proses Bahan - BATAN Yogyakarta, 10 Juli 200
- [5].De Chiara, J & Koppelman, Lee E., Standar Perancangan Tapak, Erlangga, Jakarta. 1994
- [6].Chow V, Hidrolika Saluran Terbuka, ERLANGGA, Jakarta , 1989
- [7].Sidharta S. Karmawan, Mekanika Bahan. Cetakan Pertama. Universitas Indonesia-Press, Jakarta, 1998.
- [8].Heru Sriwahyuni, Hendra Adhi Pratama, “Penyiapan Desain Konsep Cover Fasilitas Disposal Demo Di Kawasan Nuklir Serpong”, Prosiding Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR Tahun 2012 (2013).
- [9].PT. BAHANA NUSANTARA. Laporan Akhir Perencanaan Pembangunan Fasilitas Disposal Demo Limbah Radioaktif. (2013)

## **PENGUKURAN DEBIT DAN KUALITAS AIR SUNGAI CISALAK PADA TAHUN 2013**

**Teddy Sumantry**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

### **ABSTRAK.**

PENGUKURAN DEBIT DAN KUALITAS AIR SUNGAI CISALAK PADA TAHUN 2013. Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan data debit aliran dan kualitas air sungai Cisalak. Data ini merupakan masukan pada pengkajian keselamatan fasilitas disposal demo di Kawasan Nuklir Serpong. Hal ini untuk melengkapi kajian keselamatan yang diperlukan dalam perancangan, pembangunan, pengoperasian hingga penutupan fasilitas disposal demo. Kegiatan ini dilakukan dengan metode survey yaitu dengan melakukan kegiatan peninjauan, pengamatan dan pengukuran serta pengambilan data melalui pengamatan langsung di lapangan yang dilakukan setiap bulan selama tahun 2013. Pengukuran debit sungai Cisalak dilakukan dengan metoda apung. Debit sungai yang tertinggi 1300 L/detik pada bulan Januari 2013 dan yang terendah 41 L/detik pada bulan Oktober 2013. Kualitas air sungai Cisalak dapat dikategorikan sebagai air baku untuk pertanian dan perikanan.

**Kata kunci :** Debit air sungai, demo disposal, kualitas air.

### **ABSTRACT.**

DEBIT AND WATER QUALITY MEASUREMENT OF CISALAK RIVER IN 2013. Measurements were performed to obtain debit data of Cisalak river and the water quality. This data is an input on the safety assessment of demonstration disposal facility at Serpong Nuclear Area. It is also to complete the safety assessment that will be required for design, construction, operation and post closure. The activity is conducted by survey method, by making observation, measurement and data retrieval is performed directly in the field every month during the year 2013. The Cisalak river measurements have done by using Float Method. The highest debit of Cisalak river is 1300 L/s in Januari 2013 and the lowest is 41 L/s in October 2013. Water quality of Cisalak river is categorized as agriculture and fisheries.

**Keyword :** River discharge, demo disposal, water quality.

## PENDAHULUAN

Kegiatan penyiapan fasilitas disposal demo limbah radioaktif di Kawasan Nuklir Serpong harus aman untuk masa kini dan masa mendatang. Kegiatan ini dilakukan untuk mendapatkan data debit sungai Cisalak bulanan sepanjang tahun.

Kualitas air sungai Cisalak perlu diketahui pada masa sebelum dan sesudah fasilitas disposal demo beroperasi. Keberadaan sungai Cisalak ini terletak di sebelah barat calon lokasi pembangunan fasilitas disposal dengan jarak kurang lebih 200 meter.

Hulu sungai Cisalak berada di daerah kabupaten Bogor dan selanjutnya melintasi kawasan PUSPIPTEK sampai ke lembah yang berlokasi di sebelah barat Pusat Teknologi Limbah Radioaktif dan bermuara atau masuk ke sungai Cisadane. Sungai Cisalak ini mempunyai lebar antara 1.5- 2 meter.

Tujuan pengukuran debit dan kualitas air sungai Cisalak ini adalah untuk mendapatkan data debit sungai Cisalak dan sebagai data awal kualitas air sungai Cisalak sebelum fasilitas disposal beroperasi terutama pada titik pengamatan hilir. Adapun manfaat dari pengukuran debit dan kualitas air sungai ini sebagai bahan masukan pada kajian keselamatan fasilitas disposal demo yang akan dibangun di Kawasan Nuklir Serpong.

## TEORI

Debit air sungai adalah jumlah air yang mengalir dari suatu penampang tertentu (sungai, saluran, mata air) persatuan waktu (L/s). Dalam kegiatan pengukuran debit air sungai Cisalak ini digunakan metoda apung. Metode ini adalah metode tidak langsung dalam pengukuran debit air, karena hanya kecepatan aliran yang di ukur, yaitu dengan mengukur waktu yang dibutuhkan benda apung untuk melewati jarak yang telah ditentukan pada suatu aliran sungai. Metode ini juga tidak membutuhkan peralatan yang khusus, tetapi dapat memperoleh hasil yang layak [ 1 ].

Sungai adalah massa air yang secara alami mengalir melalui suatu lembah. Kebanyakan mengalir di permukaan bumi ke tempat yang lebih rendah, sebagian meresap di bawah permukaan tanah. Alirannya tidak tetap; kadang deras, kadang lambat, tergantung kemiringan sungai. Alirannya mengikuti saluran tertentu yang di kanan kirinya dibatasi tebing yang curam [ 2 ].

Air merupakan sumber daya alam yang memegang peranan penting di dalam kehidupan umat manusia. Air dimanfaatkan dalam berbagai bidang kehidupan seperti pertanian, peternakan, perikanan, industri, pariwisata, dan sebagainya. Fungsi-fungsi strategis tersebut telah menempatkan air sebagai sarana yang vital dalam kehidupan manusia.

Klasifikasi mutu air menurut Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001, tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, dibagi menjadi empat kelas :

1. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mensyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;



2. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan peruntukan lain yang syarat mutu air sama dengan kegunaan tersebut;
3. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air yang sama dengan kegunaan tersebut;
4. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mensyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut [ 3 ] ;

## TATA KERJA

### Bahan, Peralatan, dan Waktu Penelitian

Alat yang digunakan pada pengukuran debit air sungai Cisalak ini adalah : penggaris panjang, tali senar satu gulung, alat pancing, patok besi 5 batang, pelampung, stopwatch, buku dan alat tulis.

Waktu pelaksanaan pengukuran debit dan kualitas air sungai Cisalak ini dilaksanakan pada tahun 2013 setiap bulan. Pada bagian **hulu** ( S 06° 21' 02.7" dan E 106° 39' 38.4" El 69 m ) dan bagian **hilir** ( S 06° 20' 57.6" dan E 106° 39' 34.5" El 61 m ).

### Metoda

#### Prosedur pengukuran debit air di sungai Cisalak ( Metoda Apung).

- a. Ditentukan panjang sungai Cisalak yang akan diukur kecepatan arusnya
- b. Diukur lebar dan dalam sungai Cisalak sehingga diperoleh luas penampang basah ( A )
- c. Diukur waktu yang digunakan untuk menempuh jarak yang telah ditentukan dengan menggunakan pelampung (  $a/c \text{ rata}2 = V$  )
- d. Dihitung debit air sungai Cisalak dengan rumus :  $Q = V \times A$

### Keterangan

Q = debit aliran (L/dtk)                      a = panjang sungai Cisalak yang diukur  
 A = luas penampang basah (m<sup>2</sup>)            c = waktu jarak tempuh rata-rata.  
 V = rerata kecepatan aliran (m/dtk).

### Pengukuran kualitas air sungai Cisalak.

Air sungai Cisalak disampling di dua titik pengamatan yaitu di titik pengamatan hulu dan di titik pengamatan hilir. Pengambilan contoh air sungai Cisalak pada lokasi titik pengamatan menggunakan botol plastik berukuran 1 liter. Kemudian sampel air sungai Cisalak diukur dengan alat pH meter, Tester dan Fotometer di laboratorium.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Posisi sungai Cisalak mengalir di sebelah barat Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) yang membentang dari selatan ke utara pada lembah diantara jalan LIPI dan Fasilitas PTLR. Sungai Cisalak di lokasi ini mempunyai lebar antara 1.5 meter sampai dengan 2 meter dengan kedalaman kurang lebih 40 cm. Sungai Cisalak ini berhulu di daerah kabupaten bogor dan bermuara atau bergabung dengan sungai Cisadane di daerah Koceak Kecamatan Setu Tangerang Selatan.

Berdasarkan pengamatan selama 3 tahun ( 2011, 2012 dan 2013) sungai Cisalak tidak mempengaruhi lokasi tapak disposal demo di Kawasan Nuklir Serpong walaupun dalam keadaan banjir. Kondisi banjir sungai Cisalak hanya akan meluap dan menggenangi persawahan yang ada di sekitar daerah pengamatan dan tidak mencapai lokasi tapak disposal demo Kawasan Nuklir Serpong walaupun sungai Cisalak hanya berjarak kurang lebih 200 meter dari lokasi tapak disposal demo Kawasan Nuklir Serpong.

Debit sungai Cisalak pada bulan Januari tahun 2013 merupakan debit yang tertinggi yaitu 1300 Lt/detik dan dianggap sebagai puncak musim penghujan. Bulan Oktober 2013 merupakan debit sungai Cisalak yang terendah yaitu 41 Lt/detik dan dianggap sebagai puncak musim kemarau tahun 2013 berdasarkan pengamatan debit sungai Cisalak. Debit sungai Cisalak berdasarkan pengamatan tahun sebelumnya adalah :

1. Hasil pengukuran debit sungai Cisalak tahun 2011, dimana bulan Mei tahun 2011 merupakan debit sungai Cisalak yang tertinggi yaitu 176 Lt/detik dan dianggap sebagai puncak musim penghujan. Pengukuran ditahun 2011 di mulai di bulan Maret tahun 2011 sehingga data di januari dan pebruari tahun 2011 yang biasanya sebagai bulan banyak hujan tidak tercatat. Bulan Oktober 2011 merupakan debit sungai Cisalak yang terendah yaitu 23 Lt//detik dan dianggap sebagai puncak musim kemarau tahun 2011.
2. Hasil pengukuran debit sungai Cisalak tahun 2012, dimana bulan April tahun 2012 merupakan debit sungai Cisalak yang tertinggi yaitu 1217 Lt/detik dan dianggap sebagai puncak musim penghujan. Bulan Oktober 2012 merupakan debit sungai Cisalak yang terendah yaitu 67 Lt/detik dan dianggap sebagai puncak musim kemarau tahun 2012.

Yang menarik dari data selama 3 tahun pengamatan adalah bulan oktober sama-sama merupakan data debit air sungai Cisalak yang terendah. Dimana debit air sungai Cisalak tahun 2011 ( 23 Lt/detik ) lebih kecil dari debit sungai Cisalak tahun 2013 ( 41 Lt/detik ) dan lebih kecil dari debit sungai Cisalak tahun 2012 ( 67 Lt/detik) dan ini dianggap sebagai bulan kemarau berdasarkan pengamatan debit sungai Cisalak. Debit air sungai Cisalak terendah tahun 2011<2013 < 2012.

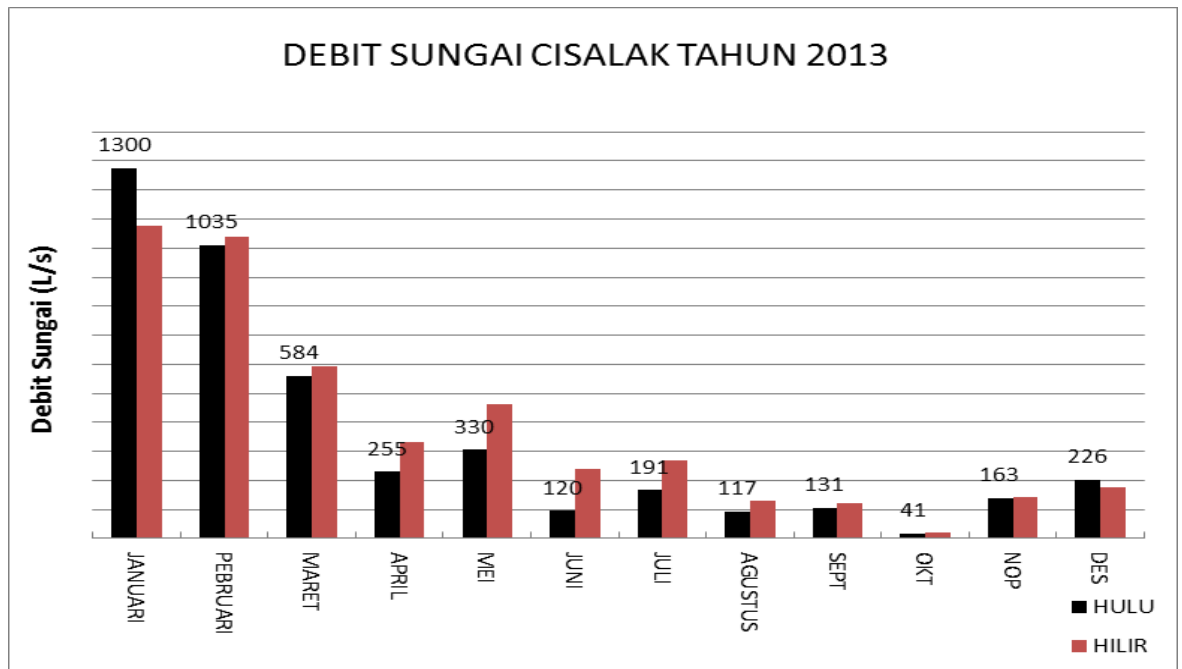
Debit air Cisalak yang tertinggi berbeda-beda mulai dari tahun 2011 jatuh pada bulan Mei ( 176 Lt/detik ) , tahun 2012 jatuh pada bulan April ( 1217 Lt/detik ) dan tahun 2013 jatuh pada bulan Januari ( 1300 Lt/detik ). Debit air sungai Cisalak tertinggi tahun 2011<2012 < 2013.

Hal ini disebabkan kuantitas curah hujan dan pengisian daerah penyangga di daerah reservoir di daerah PUSPIPTEK :

1. Pengamatan tahun 2011 debit sungai tertinggi jatuh di bulan Mei padahal di bulan April 2011 curah hujan 0 mm namun 3 bulan sebelumnya ( Jan, Feb dan

Maret tahun 2011 ) telah mengisi penuh daerah penyangga PUSPIPTEK dan ditambah curah hujan dibulan Mei tahun 2011 cukup tinggi [ 4 ].

2. Pengamatan tahun 2012 debit sungai tertinggi di bulan April 2012 , hal ini disebabkan curah hujan di bulan April/260 mm cukup tinggi disamping bulan sebelumnya ( Jan = 272 mm, Peb = 237 mm dan Mar= 98 mm cukup tinggi untuk mengisi daerah penyangga PUSPIPTEK sehingga dapat terpantau dengan debit tertinggi [ 5 ].



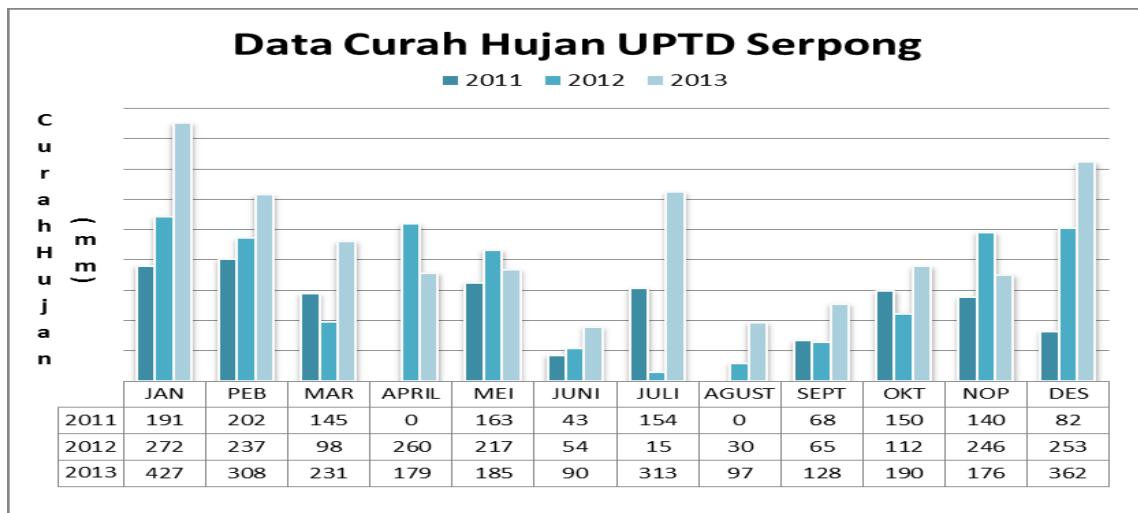
**Gambar 1.** Hasil pengukuran debit sungai Cisalak Tahun 2013.

Pengamatan tahun 2013 dikorelasikan dengan data curah hujan stasiun Meterologi UPTD Serpong tahun 2013 pada Gambar 3 [ 6 ], bulan Juni tahun 2013 mempunyai curah hujan terendah 90 mm tetapi tidak terpantau debit air sungai Cisalak yang terendah. Debit sungai Cisalak terpantau terendah di bulan Oktober tahun 2013. Hal ini dapat terjadi karena sungai Cisalak mempunyai daerah penyangga atau reservoir di daerah PUSPIPTEK sehingga debit yang terpantau merupakan air yang berasal dari reservoir.

Bulan Januari 2013 merupakan bulan dengan curah hujan tertinggi yaitu 427 mm yang didukung dengan curah hujan bulan Nopember 2012 sebanyak 246 mm dan curah hujan bulan desember tahun 2012 sebanyak 253 mm yang cukup tinggi dan mengisi daerah penyangga atau reservoir didaerah PUSPIPTEK cukup banyak sehingga terpantau bulan Januari 2013 merupakan debit air sungai Cisalak yang tertinggi/1300 L/detik sampai meluap keluar dari badan sungai dan menggenangi persawahan di sekitarnya.



**Gambar 2.** Menunjukkan sungai Cisalak dalam keadaan banjir sehingga melimpah ke persawahan di sekitarnya.



**Gambar 3.** Data Curah Hujan Stasiun UPTD Serpong.

Pada pengamatan kualitas air sungai Cisalak, oksigen merupakan salah satu gas yang terlarut dalam perairan. Sumber oksigen terlarut dapat berasal dari difusi oksigen yang terdapat di atmosfer (sekitar 35%) dan aktivitas fotosintesis oleh tumbuhan air dan fito plankton. Berdasarkan hasil pengukuran pada tahun 2013 kadar oksigen yang terlarut sungai Cisalak adalah 5.32 mg/L untuk titik pengamatan Hulu dan 4.38 mg/L untuk titik pengamatan hilir dan ini lebih besar dari 4 mg/L. Kadar oksigen kurang dari 4 mg/L akan menimbulkan efek yang kurang menguntungkan bagi hampir semua mikro organisme akuatik dan kadar oksigen kurang dari 2 mg/L dapat mengakibatkan kematian ikan [ 7 ]. Berdasarkan kadar oksigen yang terpantau, sungai Cisalak dapat dikategorikan sebagai air sungai untuk pertanian dan perikanan. Yang diperkuat pengamatan di lapangan bahwa sungai Cisalak ini dipergunakan untuk pertanian dan perikanan yaitu untuk mengairi sawah dan pada bagian hilir dipergunakan untuk pemeliharaan ikan.

Hasil pengukuran parameter fisika dan parameter kimia tahun 2013 seperti yang tercantum pada Tabel 1 selanjutnya dibandingkan dengan standar kualitas air minum kelas satu. Parameter warna air dan ion besi hasil pengukuran lebih tinggi dari standar kualitas air kelas satu. Sumber air untuk kepentingan air minum memiliki nilai warna antara 5 – 50 PtCo. Sedangkan warna air sungai Cisalak mempunyai nilai warna 288 Pt-Co dan secara visual warna air sungai Cisalak terlihat kuning. Warna dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air. Warna pada air disebabkan oleh adanya partikel hasil pembusukan bahan organik, ion-ion metal. Berdasarkan zat penyebabnya, warna air dapat dibedakan menjadi warna sejati dan warna semu dan sejauh ini belum ditindak lanjuti warna dari Sungai Cisalak ini termasuk yang mana [ 8 ] .

Pengukuran ion-ion seperti copper, zinc, calsium, besi, chromium, potassium, magnesium dan lain-lainnya juga telah dilakukan untuk mengetahui kadar ion-ion yang ada pada air sungai Cisalak sebagai inventarisasi awal ion-ion yang ada di sungai Cisalak sebelum fasilitas disposal demo dibangun dan beroperasi terutama pada lokasi pengamatan hilir. Pada posisi pengamatan hilir ( S 06° 20' 57.6" dan E 106° 39' 34.5" El 61 m ) ada penambahan air sungai Cisalak dari air bawah tanah tapak disposal demo Kawasan Nuklir Serpong seperti yang dilaporkan pada hasil pengukuran debit sungai Cisalak tahun 2011 [ 4 ] .

**Tabel 1. Hasil pengukuran kualitas air sungai Cisalak tahun 2013.**

No	Parameter	Sungai Cisalak		Standard Kualitas Air ( 9 )	
		Hulu	Hilir	Minum	Pertanian
I	<b>Fisika</b>				
	<b>Do ( mg/L)</b>	<b>5.32</b>	<b>4.38</b>		<b>&gt; 3</b>
	TDS ( ppm)	77	76	500-1500	1000
	Conductivity	159	158	400	1750-2250
	Temperature	29.6	29.4		
	<b>Warna ( pt-co)</b>	<b>288</b>	<b>284</b>	<b>5 s/d 50</b>	
	Bau	tak	tak		
	Rasa	tak	tak		
II	<b>Kimia</b>				
	PH	5.9	5.8	6.5-8.5	5 - 9
	Copper( mg/L)	0	0	nil	0.2
	Zinc ( mg/L)	0	0	1 - 15	5
	Calcium ( mg/L)	60	60	75-200	
	<b>Besi ( mg/L)</b>	<b>1.83</b>	<b>1.52</b>	<b>0.1-1</b>	
	Mn/MnO4 (µ g/L)	0	0		
	Fluoride	0	0		
	Chromium ( mg/L)	0	0	0-0.05	0.05
	Kalium ( mg/L)	20	20		
	Magnesium ( mg/L)	5	5	30-150	

	Ca Hard ( mg/L)	0.45	0.61		
	Mg Hrd ( mg/L)	0.42	1.44		
	Alkalinity ( mg/L)	30	30		
	Aluminium ( mg/L)	0	0		
	Silica /Si ( mg/L)	>2	>2		

Suhu suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang (*latitude*), ketinggian dari permukaan laut (*altitude*), waktu, sirkulasi udara, penutupan awan, aliran, serta kedalaman. Perubahan suhu mempengaruhi proses fisika, kimia, dan biologi badan air. Suhu berperan dalam mengendalikan kondisi ekosistem perairan. Kisaran suhu optimum bagi pertumbuhan fitoplankton di perairan adalah 20 °C – 30 °C. Hasil pengukuran suhu diantara 20 °C – 30 °C yaitu 29,6 C untuk titik pengamatan hulu dan 29.4 C untuk titik pengamatan hilir. Sehingga suhu air sungai Cisalak cukup baik sehingga proses penyediaan makanan untuk ikan tidak terganggu.

#### KESIMPULAN.

Debit sungai Cisalak pada bulan Januari tahun 2013 merupakan debit sungai yang tertinggi yaitu 1300 L/detik. Keadaan ini dianggap sebagai puncak musim hujan dan sungai Cisalak dalam keadaan banjir. Sedangkan debit sungai Cisalak yang terendah jatuh pada bulan Oktober tahun 2013. yaitu 41 L/detik

Kualitas air sungai Cisalak dikategorikan sebagai air untuk pertanian dan perikanan dengan kadar oksigen terlarut ( Do) pada titik pengamatan hulu = 5.32 mg/L dan pada titik pengamatan hilir 4,38 mg/L dengan suhu air yang optimal untuk pertumbuhan plankton yang merupakan sumber makanan ikan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1].Hehanussa, P.E. 2001. *Kamus Limnologi (Perairan Darat)*. IHP-UNESCO Panitia Nasional Program Hidrologi Lembaga Penelitian Ilmu Pengetahuan Indonesia.Jakarta. 2009.
- [2].Sihotang,C. Asmika dan Efawani. 2006. Penuntun Praktikum Limnologi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan UNRI : Pekanbaru.
- [3].Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001, tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- [4].TEDDY SUMANTRY, Pengukuran Debit Sungai Cisalak Tahun 2011, Prosiding Hasil Penelitian Kegiatan tahun 2011, PTLR – BATAN Serpong, 2012.
- [5].TEDDY SUMANTRY, Pengukuran Debit dan Kualitas air Sungai Cisalak Tahun 2012, Prosiding Hasil Penelitian Kegiatan tahun 2012, PTLR – BATAN Serpong, 2012.
- [6].Data Curah Hujan Bulanan Tahun 2013, Stasiun UPTD Serpong - Stasiun Klimatologi Pondok Betung - Tangerang. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

- [7].RATNA DIAN SUMINAR, Identifikasi Pencemaran Air, Fak.Teknik Kimia UGM,2010
- [8].<http://jujubandung.com/2012/06/08/parameter-fisika-kimia-biologi-penentu-kualitas-air-2>, diunduh pada tanggal 11- 4 – 2012.
- [9].G.ALAERT dan SRI SUMESTRI S. Metoda Penelitian Air, Usaha Nasional, Surabaya. 1984.





## PEMANTAUAN KEDALAMAN DAN KUALITAS AIR TANAH PADA TAPAK DISPOSAL DEMO TAHUN 2013

**Teddy Sumantry**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

PEMANTAUAN KEDALAMAN DAN KUALITAS AIR TANAH TAPAK DEMO PLANT PADA TAHUN 2013. Kegiatan ini dilakukan untuk mendapatkan data kedalaman muka air tanah dan kualitas air tanah sepanjang tahun 2013. Metodologi yang dilakukan dengan metode survey yaitu dengan melakukan pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan yang dilakukan setiap minggu selama tahun 2013 serta pengambilan sampel air untuk dianalisa di laboratorium. Pengamatan dilakukan melalui sumur pantau ( P1-P6 ) dan lubang sumur bor ( DH1-DH5 ) yang ada di tapak disposal demo Kawasan Nuklir Serpong. Muka air tanah yang terdangkal 5.06 meter diperoleh pada lubang sumur pantau P4 di bulan Pebruairil 2013 dan yang terdalam 11,4 meter diperoleh pada lubang sumur bor DH 5 di bulan Oktober 2013. Kualitas air tanah pada sumur bor cukup baik jika dibandingkan dengan standar kualitas air minum yang ada.

**Kata Kunci** : kedalaman muka air tanah, kualitas air tanah, disposal demo

### ABSTRACT.

MONITORING OF GROUNDWATER LEVEL AND QUALITY AT DEMO PLANT DISPOSAL SITE IN THE YEAR OF 2013. This activity is carried out to obtain the groundwater depth data and water quality in a long year of 2013. The methodology was conducted by survey, by making observations and measurements made directly in the field each week for the year 2013 and taking the water samples to be analyzed in the laboratory. Observations were made through monitoring wells (P1-P6) and bore hole (DH1-DH5) in the disposal demo site of Serpong Nuclear Area. The shallowest groundwater depth is 5.06 meter obtained is monitor wells P4 on February 2013 and the deepest groundwater is 11.4 meter obtained at bore hole DH 5 wells on October 2013. The quality of groundwater in bore holes quite well when compared with the water quality standards for drinking water.

**Keyword** : *depth, ground water quality, demonstration disposal*

### PENDAHULUAN

Dasar dari kegiatan ini adalah adanya rencana kegiatan penyiapan pembangunan Fasilitas Disposal Demo untuk limbah radioaktif di Kawasan Nuklir Serpong ( KNS ). Fasilitas tersebut merupakan fasilitas yang direncanakan untuk eksperimen, demo dan disposal bagi limbah radoaktif aktivitas sangat rendah. Pada dasarnya tujuan disposal limbah radioaktif adalah mengisolasi limbah radioaktif sedemikian rupa sehingga tidak mengakibatkan paparan radiasi yang membahayakan kepada manusia atau lingkungan untuk masa sekarang dan di masa yang akan datang. Tujuan ini dapat dicapai dengan mengisolasi limbah radioaktif dalam sistem disposal yang ditempatkan, didisain, dibangun,

dioperasikan dan ditutup sehingga tidak membahayakan terhadap manusia dan lingkungan.

Air merupakan media utama terangkutnya radionuklida dalam limbah. Maka dari itu keberadaan air dalam suatu sistem disposal harus diketahui dan diidentifikasi dinamikanya untuk bahan kajian keselamatan fasilitas disposal tersebut.

Untuk mendukung keselamatan pembangunan fasilitas disposal ini, maka muka air tanah tapak disposal perlu diukur secara rutin mingguan melalui lubang sumur pantau ( P1-P6) dan lubang bor ( DH1-DH5).

Tujuan pengukuran ini adalah untuk mendapatkan informasi kedalaman muka air tanah. Dan dengan pengukuran kualitas air tanah diharapkan diperoleh informasi awal kualitas air tanah sebelum adanya kegiatan disposal, sehingga dapat memberi masukan untuk pengkajian keselamatan pembangunan fasilitas disposal demo di Kawasan Nuklir Serpong.

## TEORI

Air tanah adalah air yang menempati rongga-rongga atau porositas tanah/batuan dalam lapisan geologi. Lapisan tanah yang terletak di bawah permukaan air tanah dinamakan *zona jenuh (saturated zone)*, sedangkan *zona tidak jenuh* terletak di atas daerah jenuh sampai ke permukaan tanah. Antara zona jenuh dan zona tidak jenuh tidak ada garis batas yang tegas, karena keduanya mempunyai batas interdependen, di mana air dari kedua daerah tersebut dapat bergerak ke daerah yang lain atau sebaliknya [1].

Air hujan yang jatuh di atas tanah, sebagian akan meresap ke dalam tanah dan sebagian akan mengalir di atas permukaan yang disebut aliran permukaan. Hal ini bisa terjadi apabila batas kemampuan tanah menampung air hujan telah jenuh, atau kapasitas infiltrasi lebih kecil dari pada intensitas hujan. Kemampuan tanah untuk menampung air hujan atau meresapkan air tergantung pada sifat permeabilitas tanah. Pada tanah-tanah gembur mempunyai sifat permeabilitas tinggi, sehingga air hujan yang jatuh akan banyak terserap ke dalam tanah, sehingga aliran permukaan menjadi kecil. Permeabilitas tanah sangat dipengaruhi oleh sifat fisik tanah yaitu tekstur dan struktur tanah. Pengaruh tekstur dan struktur tanah terhadap kemampuan infiltrasi terutama ditentukan oleh keadaan pori tanah yaitu jumlah, ukuran dan kemantapan pori. Makin banyak pori-pori, makin besar pula infiltrasi.

Peresapan air pada tanah-tanah berpasir akan lebih besar dan lebih cepat dibandingkan dengan tanah yang mengandung tanah liat. Dengan demikian kapasitas infiltrasi pada tanah-tanah berpasir akan lebih besar dan lebih cepat dibandingkan tanah yang bertekstur halus.

Akuifer didefinisikan sebagai suatu lapisan batuan yang mengandung cukup bahan-bahan yang lulus dan mampu melepaskan air dalam jumlah berarti ke sumur-sumur atau mataair. Ini berarti, lapisan tersebut mempunyai kemampuan menyimpan dan melalukan air. Pasir dan kerikil merupakan contoh jenis suatu akuifer. Akuifer terdiri atas akuifer tidak tertekan atau populer di masyarakat sebagai air tanah dangkal (*shallow groundwater*) dan akuifer tertekan. Air tanah dangkal umumnya berada pada kedalaman kurang dari 40 m dari permukaan tanah. Air tanah dangkal sangat mudah dipengaruhi oleh kondisi lingkungan

setempat, karena antara air tanah dangkal dan air yang ada di permukaan tanah tidak dipisahkan oleh lapisan batuan yang kedap. Jika terjadi hujan, air yang meresap ke dalam tanah akan langsung menambah air tanah ini [ 2,3].

## **TATA KERJA.**

### **Waktu dan Tempat.**

Pengukuran kedalaman muka air tanah dan kualitas air tanah dilakukan pada tapak disposal demo di Kawasan Nuklir Serpong, dalam waktu seminggu sekali selama tahun 2013.

### **Metode**

- Prosedur pemantauan kedalaman muka air tanah.

Melalui lubang sumur pantau dan lubang bor diturunkan kabel yang ujungnya berbandul, kabel disambungkan dengan alat kontaktor sederhana, bila kabel telah mencapai permukaan air tanah maka akan terlihat pada layar kontaktor jarum pointer akan bergerak. Dengan mengukur panjang kabel yang diturunkan dikurangi faktor koreksi maka akan diperoleh kedalaman muka air pada sumur pantau atau sumur bor tersebut.

- Prosedur pengukuran kualitas Air.

Air sumur bor DH1- DH5 disampling dengan menggunakan alat sampler yang terdiri pipa paralon yang di bagian bawahnya ditutup dan disambung dengan tambang plastik. Air disampling pada kedalaman rata-rata kedalaman muka air tanah antara 8 meter s/d 12 meter dari masing-masing sumur bor ( DH1-DH5) dan ditampung dalam botol plastik 1000cc. Di laboratorium air diukur dengan alat-alat pH meter, Tester dan Fotometer.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada tahun 2011 kedalaman muka air tanah sumur bor DH5 berkisar dari 10.61 meter s/d 11.63 meter dengan perbedaan kedalaman antara musim hujan dan musim kemarau 1.02 meter. Sumur pantau ( P4 ) berkisar dari 8.58 meter s/d 9.78 meter dengan perbedaan kedalaman antara musim hujan dan musim kemarau 1.20 meter. Berdasarkan kedalaman muka air tanah yang terpantau, maka pengamatan tahun 2011 terlihat puncak musim penghujan jatuh pada bulan Juni tahun 2011 sedangkan puncak musim kemarau jatuh pada bulan September tahun 2011. [ 4 ].

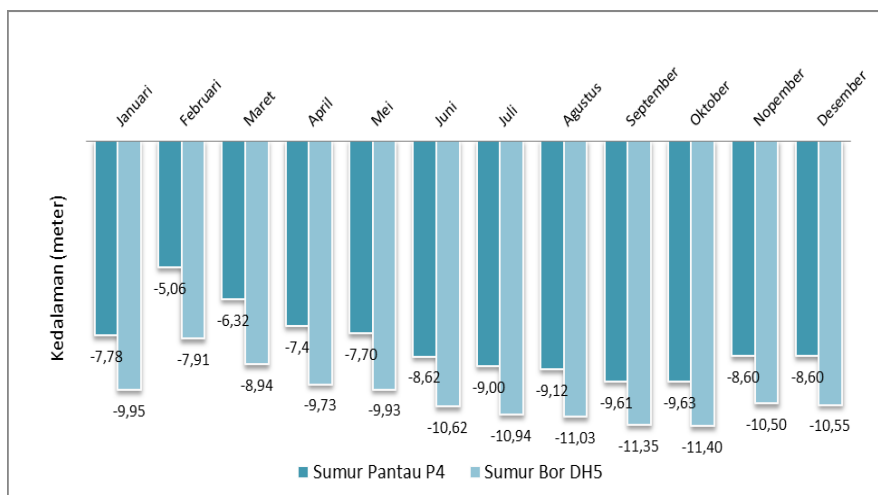
Pada tahun 2012 kedalaman muka air tanah sumur bor DH5 berkisar dari 9.8 meter s/d 11.9 meter dengan perbedaan kedalaman antara musim hujan dan musim kemarau 2.1 meter. Sumur pantau ( P4 ) berkisar dari 7.5 meter s/d 10.2 meter dengan perbedaan kedalaman antara musim hujan dan musim kemarau 2.7 meter. Berdasarkan kedalaman muka air tanah yang terpantau, maka pengamatan tahun 2012 terlihat puncak musim penghujan jatuh pada bulan April 2012 sedangkan puncak musim kemarau jatuh pada bulan Oktober 2012. [ 5 ].

Pada tahun 2013 kedalaman muka air tanah sumur bor DH5 berkisar dari 7.91 meter s/d 11.4 meter dengan perbedaan kedalaman antara musim hujan dan

musim kemarau 3.49 meter. Sumur pantau ( P4 ) berkisar dari 5.06 meter s/d 9.63 meter dengan perbedaan kedalaman antara musim hujan dan musim kemarau 4.57 meter. Berdasarkan kedalaman muka air tanah yang terpantau, maka pengamatan tahun 2013 terlihat puncak musim penghujan jatuh pada bulan Pebruari 2013 sedangkan puncak musim kemarau jatuh pada bulan Oktober 2013.

Fluktuasi muka air tanah Tahun 2013 > Tahun 2012 > Tahun 2011 ( DH5 = 3.49 meter > 2.1 meter > 1.02 meter, P4 = 4.57 meter > 2.7 meter > 1.20 meter ). Ini berarti curah hujan yang masuk kedalam tanah lokasi tapak disposal demo Tahun 2013 > Tahun 2012 > tahun 2011. Muka air terdalam 11.90 meter pada tahun 2012 > 11.63 meter pada tahun 2011 > 11,40 meter pada tahun 2013 dan berarti musim kemarau tahun 2012 > tahun 2011 > tahun 2013 atau air hujan yang masuk kedalam tanah pada tahun 2012 < tahun 2011 < tahun 2013.

Dari data-data di atas menunjukkan adanya air di bawah permukaan tanah tapak disposal demo Kawasan Nuklir Serpong berada pada level 5 meter sampai dengan 12 meter berfluktuasi antara 1.02 meter sampai dengan 4.57 meter tergantung curah hujan dan musim yang bergerak dari arah timur ke barat dan kemudian ke barat daya ke arah lembah yang berupa kebun dan persawahan [ 4 ] .



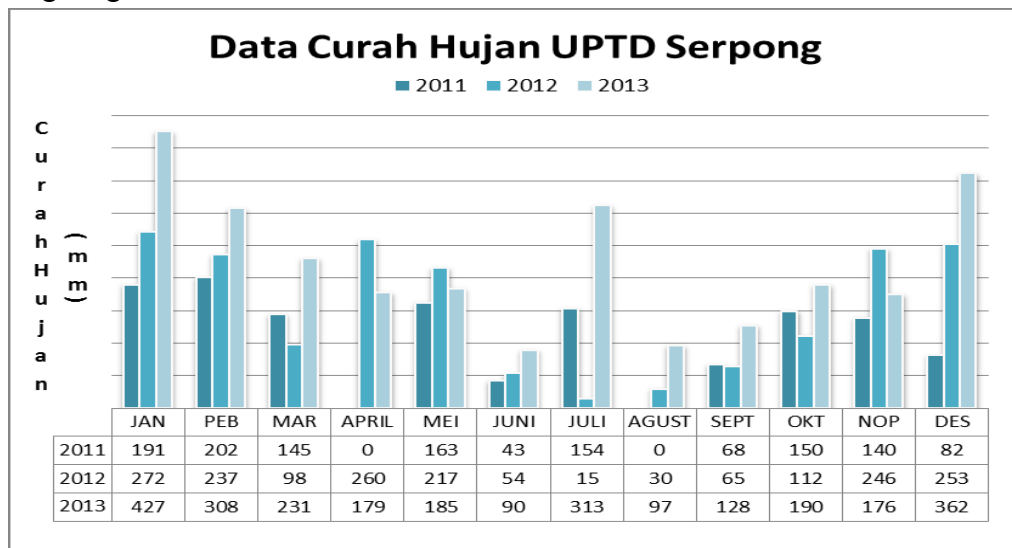
**Gambar 1. Hasil pengamatan muka air tanah di lokasi tapak disposal demo tahun 2013**

Pada Gambar 1 terlihat kedalaman muka air tanah di tapak fasilitas disposal demo terus menurun ( bertambah dalam) mulai dari bulan Mei 2013 dan maksimal pada Oktober 2013. Ini menunjukkan level kedalaman muka air tanah di lokasi tapak fasilitas disposal demo terus menurun karena kurang penambahan dari air hujan yang masuk ke dalam air tanah di tapak tersebut.

Salah satu aspek penting dalam rancangan fasilitas disposal di tapak ini adalah kedalaman muka air tanah. Paket limbah radioaktif yang akan disimpan di dalam fasilitas disposal demo dirancang tidak dalam posisi di bawah permukaan air tanah. Hal tersebut untuk mengurangi terjadinya degradasi dari paket limbah yang disimpan di dalamnya yang menyebabkan radionuklida yang ada di dalam paket limbah itu akan terlindi dari fasilitas disposal demo sehingga akan membahayakan lingkungan.

Lokasi tapak disposal demo ini terletak di bagian belakang (utara) fasilitas Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif di Kawasan Nuklir Serpong, yang di sebelah utara dibatasi gudang limbah B3, sebelah timur dibatasi fasilitas produksi elemen bahan bakar, sebelah selatan dibatasi fasilitas tempat penyimpanan sementara limbah radioaktif ( IS2) dan sebelah baratnya adalah lembah berupa kebun dan sawah yang telah dibatasi pagar pengaman. Luas tapak fasilitas disposal demo yang dimonitor kurang lebih 1200 m<sup>2</sup> ( 30 x 40 m<sup>2</sup>).

Keberadaan tapak disposal demo yang berada berdekatan dengan fasilitas nuklir mempunyai pertimbangan khusus yang pantas sebab mempunyai potensi keuntungan sebagai lokasi bersama, terutama dalam hubungan untuk mengurangi kebutuhan transportasi limbah radioaktifnya. Dan juga melengkapi sistem disposal yang dapat meyakinkan dalam memenuhi ketentuan keselamatan lingkungan.



Gambar 2. Data curah hujan pos hujan UPTD Serpong [6]

Data curah hujan tahun 2013 dari stasiun UPTD Serpong [ 6 ] pada Gambar 2 terlihat bahwa bulan Januari 2013 merupakan curah hujan yang tertinggi tahun 2013 sehingga dapat terpantau pada bulan Pebruari tahun 2013 merupakan kedalaman muka air tanah terdangkal di tapak disposal demo Kawasan Nuklir Serpong yaitu pada sumur bor ( DH5 ) = 7.91 meter dan pada sumur pantau ( P4 ) = 5.06 meter. Dengan curah hujan yang tinggi di bulan Januari tahun 2013 memungkinkan air hujan masuk ke dalam tanah lebih banyak sehingga menaikkan permukaan air tanah maksimum di bulan Pebruari tahun 2013.

Namun bulan Juni tahun 2013 merupakan curah hujan terendah tahun 2013 tetapi bulan Juli 2013 masih banyak hujan yang terus menurun pada bulan Agustus dan September 2013 sehingga dengan kondisi seperti ini terpantau di bulan Oktober 2013 merupakan muka air tanah terdalam di tapak disposal demo Kawasan Nuklir Serpong yaitu pada sumur bor DH5 = 11.40 meter dan pada sumur pantau P4 = 9.63 meter. Selama 3 tahun pengamatan kedalaman ini adalah terdangkal dibandingkan dengan tahun 2012 (11.90 meter) dan tahun 2011 (

11.63 meter) hal ini disebabkan di bulan Juli tahun 2013 masih cukup banyak hujan yang dapat dianggap sebagai cadangan air tanah di tapak disposal demo Kawasan Nuklir Serpong.

Hasil pengukuran kualitas air bawah tanah tapak disposal demo seperti yang terlihat pada Tabel 1 menunjukkan bahwa : Kualitas air tanah tapak disposal demo masih cukup baik walaupun dengan kadar pH lebih rendah. pH merupakan ukuran keberadaan ion hydrogen dalam air. Konsentrasi ion hydrogen dalam air murni yang netral adalah  $1 \times 10^{-7}$  g/liter ( pH=7). pH berkaitan erat dengan karbonoksida dan alkalinitas. Semakin tinggi nilai pH, semakin tinggi pula nilai alkalinitas dan semakin rendah kadar karbondioksida bebas. Larutan yang bersifat asam ( pH rendah ) bersifat korosif. Nilai baku mutu pH adalah 6 - 9 untuk air kelas I – III dan 5 - 9 untuk air kelas IV [ 7 ] .

Warna air yang berasal dari air sumur pada lubang sumur bor DH4 terlihat melampaui warna standard air minum. Warna air yang tidak berubah walaupun mengalami penyaringan dan sentrifugasi disebut warna sejati, dimana warna sejati tidak dipengaruhi oleh adanya kekeruhan. Warna semu disebabkan oleh adanya partikel-partikel tersuspensi dalam air. Warna ini akan mengalami perubahan setelah disaring atau disentrifugasi serta dapat mengalami pengendapan. Warna semu akan semakin pekat bila kekeruhan air meningkat. Untuk kasus warna air dari air sumur bor DH4 ini belum ditindaklanjuti untuk disaring sehingga belum dapat ditentukan warna sejati atau warna air yang semu.

Pengukuran daya hantar listrik ( conductivity ) bertujuan mengukur kemampuan ion-ion dalam air untuk menghantarkan listrik serta memprediksi kandungan mineral dalam air. Pengukuran yang dilakukan berdasarkan kemampuan kation dan anion untuk menghantarkan arus listrik yang dialirkan dalam contoh air dapat dijadikan indikator, dimana semakin besar nilai daya hantar listrik yang ditunjukkan pada *konduktivimeter* berarti semakin besar kemampuan kation dan anion yang terdapat dalam contoh air untuk menghantarkan arus listrik [8]. Pada Table 1 terlihat hasil pengukuran conductivity dari lubang bor dan dibandingkan dengan standar air minum masih relatif lebih kecil, variasi nilai tersebut menandakan kandungan mineral dalam air tiap lubang bor bervariasi.

Padatan terlarut/*Total Dissolved Solid* ( TDS ) adalah padatan dalam air yang dapat melewati filter ( biasanya dengan ukuran pori 0.45 mikro meter). TDS ini digunakan untuk menentukan kualitas air minum, karena TDS mempresentasikan jumlah ion dalam air. Air minum dengan nilai TDS yang tinggi mempunyai rasa tidak enak [8]. Hasil pengukuran TDS dari air sumur bor tapak disposal demo mempunyai nilai yang lebih kecil dari standar air minum yang ada seperti yang terlihat pada hasil pengukuran pada Table 1.

Pengukuran ion-ion seperti copper, zinc, calcium, besi, chromium, dan lain-lain juga telah dilakukan untuk mengetahui kadar ion-ion yang ada pada air sumur bor di lokasi tapak disposal demo sebelum fasilitas disposal demo beroperasi. Pengukuran kualitas air ini tentu belumlah sempurna/lengkap karena masih banyak parameter fisika air dan kimia air yang belum diukur.

**Tabel 1. Hasil pengukuran kualitas air sumur bor di calon tapak fasilitas disposal demo tahun 2013**

Parameter	DH1	DH2	DH3	DH4	DH5	Standar Air minum [ 9 ]	Metoda/ Alat
<b>Fisika</b>							
TDS ( ppm)	20	18	64	107	15	500-1500	Tester
Conductivity	43	41	139	207	34	400	Tester
Warna (Pt-co)	6	3	14	197	7	5 s/d 50	Fotometer
Bau	Tak	tak	tak	tak	tak	tak	fisik
Rasa	Tak	tak	tak	tak	tak	tak	fisik
<b>Kimia</b>							
PH	3,5	4.3	4.8	5.4	3.6	6.5-8.5	pH Meter
Copper( mg/L)	0	0	0	0	0	nil	Fotometer
Zinc ( mg/L)	0.1	0.1	0	0	0	1 - 15	Fotometer
Calcium ( mg/L)	0	0	80	94	9	75-200	Fotometer
Besi ( mg/L)	0	0.01	0.01	0.05	0.09	0.1-1	Fotometer
Chromium ( mg/L)	0	0	0	0	0	0-0.05	Fotometer
K <sub>2</sub> O( mg/L)	15	15	15	15	10	-	Fotometer
Mg ( mg/L)	5	5	5	5	5	30-150	Fotometer
Alkalinity ( mg/L)	5	30	35	25	30	-	Fotometer
Aluminium ( mg/L)	0.03	0.01	0.02	0.03	0.02	-	Fotometer

## KESIMPULAN.

Selama pengamatan yang dilakukan dari bulan Januari s/d bulan Desember tahun 2013, diperoleh kedalaman muka air tanah pada lokasi tapak fasilitas disposal demo Kawasan Nuklir Serpong yang terdalam pada sumur bor DH 5 yaitu 11.4 meter dan yang terdangkal adalah 5.06 meter pada sumur pantau P4. Bulan Pebruari tahun 2013 merupakan bulan dengan air bawah tanah paling banyak (dangkal). Sedangkan bulan Oktober tahun 2013 merupakan bulan dengan air bawah tanah paling dalam dengan fluktuasi kedalaman permukaan air antara musim hujan dan musim kemarau ( 3.49 - 4.57 ) meter.

Kualitas air dari sumur bor di tapak fasilitas disposal demo masih cukup baik jika dibandingkan dengan standar kualitas air minum, walaupun pH air lebih rendah dan larutan yang bersifat asam, bersifat korosif.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada : Soegeng Waluyo, ST; Heru Sri Wahyuni, S.ST; Nurul Efri E, S.ST; Hendra Adhi Pratama, M.Si; Marwoto dan Arif Effendi yang telah terlibat dalam pengumpulan data ini sehingga dapat terpantau selama tahun 2013

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. <http://achmadinblog.wordpress.com/2010/09/23/penurunan-muka-air-tanah-terhadap-faktor-tektonik>, diunduh pada tanggal 20-4-2012.
- [2]. [http://www.reocities.com/Eureka/Gold/1577/hg\\_dasar.html](http://www.reocities.com/Eureka/Gold/1577/hg_dasar.html). Fri, 6 Aug 2010 @17:44, Tags : [air tanah resapan lingkungan](#), diunduh pada tanggal 27-7-2012
- [3]. [www.lablink.or.id/Env/Hidro/Siklus/Sik\\_Hidro\\_-Vgt.jpg](http://www.lablink.or.id/Env/Hidro/Siklus/Sik_Hidro_-Vgt.jpg), diunduh pada tanggal 13-4-2012
- [4]. TEDDY SUMANTRY, Pemantauan Kedalaman Muka Air Tanah Tapak Demo Plant pada Tahun 2011, Prosiding Hasil Penelitian Kegiatan tahun 2011, PTLR – BATAN Serpong, 2012.
- [5]. TEDDY SUMANTRY, Pemantauan Kedalaman dan Kualitas Air Tanah Tapak Demo Plant pada Tahun 2012, Prosiding Hasil Penelitian Kegiatan tahun 2012, PTLR – BATAN Serpong, 2013.
- [6]. Data Curah Hujan Bulanan Tahun 2013, Stasiun UPTD Serpong - Stasiun Klimatologi Pondok Betung - Tangerang. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- [7]. Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001, tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- [8]. <http://jujubandung.com/2012/06/08/parameter-fisika-kimia-biologi-penentu-kualitas-air-2>, diunduh pada tanggal 11-4 – 2012.
- [9]. G.ALAERT dan SRI SUMESTRI S., Metoda Penelitian Air, Usaha Nasional, Surabaya.1984.



## PENYIAPAN KOMPONEN DESAIN TATA LETAK FASILITAS *DEMONSTRATION-PLANT OF DISPOSAL* DI KAWASAN NUKLIR SERPONG

Dewi Susilowati

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif -BATAN

### ABSTRAK

**PENYIAPAN KOMPONEN DESAIN TATA LETAK FASILITAS *DEMONSTRATION PLANT* DI KAWASAN NUKLIR SERPONG.** Telah dilakukan pengkajian tata letak fasilitas *demonstration plant near surface disposal*(NSD) limbah radioaktif. Metoda desktop dilakukan dengan pengkajian berbagai pustaka sebagai data sekunder dan pengambilan data lapangan. Pengkajian ini bertujuan melengkapi data-data dalam mempersiapkan konsep desain fasilitas *demonstration plant*.. Beberapa tahun belakangan ini telah dipersiapkan calon tapak *demonstration plant* di sekitar SP4. Tipe *engineered vault* dengan luas 1197,16 m<sup>2</sup>, vault dibangun dengan kedalaman 2 m, fondasi *vault* dibangun 4 m di atas permukaan air tanah tertinggi, dengan tinggi bangunan 4,5 m. *Vault* direncanakan terdiri dari dinding beton bertulang (*reinforced concrete vault*) dengan tebal 0,6 m. Vault terbagi dua kompartemen, kompartemen kiri untuk disposal limbah shell 950 l, dengan tinggi 1,3 m, diameter 1,4 m dan tebal 20cm, kompartemen kanan untuk disposal limbah bentuk drum 200 l dengan tinggi drum 85 cm, diameter 66 cm . Area fasilitas disposal diberi pagar, area dibagi menjadi 2 zona. Zona I adalah zona terbuka ,yang didalamnya terdapat gedung administrasi dan ruang pengamanan. Zona II adalah zona tertutup/terbatas, zona dimana kegiatan disposal berlangsung seperti; fasilitas penyimpanan sementara, gedung laboratorium, fasilitas dekontaminasi dan fasilitas utilitas penunjang operasional disposal. Vault ditutup dengan panel-panel beton bertulang sebagai perisai biologi bagi operator. Beberapa *engineered barrier* dan *natural barrie* dipergunakan sebagai penyempurna fasilitas *repository*.

Kata kunci : Desain konsep, penyimpanan limbah lestari dan Demonstrasi plant

### ABSTRACT

**Preparation of Layout Concept Design of Demonstrational Plant Disposal's Facility at Serpong Nuclear Territory.**An assessment about the lay-out of near surface disposal (NSD) for radioactive waste demonstration-plant facility has been conducted. Desktop method has been implemented using widely varied literatures assessment, which acts as secondary data source, and field data retrieval.This assessment is conducted to complement data in order to prepare the design concept of demonstration plant facility. A demonstration plant site-to-be has been recently prepared around SP4. Engineered vault type with approximately 1197,16 m<sup>2</sup> has been built within 2 m in depth. Vault's foundation is built at 4 m above ground-water surface, with 4,5 m in height.The vault is made from reinforced concrete vaults with 0.6 m in thickness. The vault will be divided into two sides; the right side will be used for waste disposal of 200 liters drums. The drum is 85 cm in height and 66 cm in diameter. The left side of the vault will be used for waste disposal of 950 liters concrete shell; the shell is 1.3 m in height, 1.4 m in diameter and 20 cm in thickness. The disposal facility area should be fenced. The area should also be divided into 2 zones; the first zone is an unrestricted one, wherein it should administration building and security office. The second one is a restricted zone, where the disposal activities mostly take place, consisting of: utility facility, waste receival facility, temporary storage facility, waste conditioning facility and decontamination facility.The vaults will be closed by using reinforced concrete panels that act as biological shield for the operator. Some engineered barriers and natural barriers will also be used for complementing the repository facility.

Keyword : Conceptual design, waste disposal facility and Demonstration plant

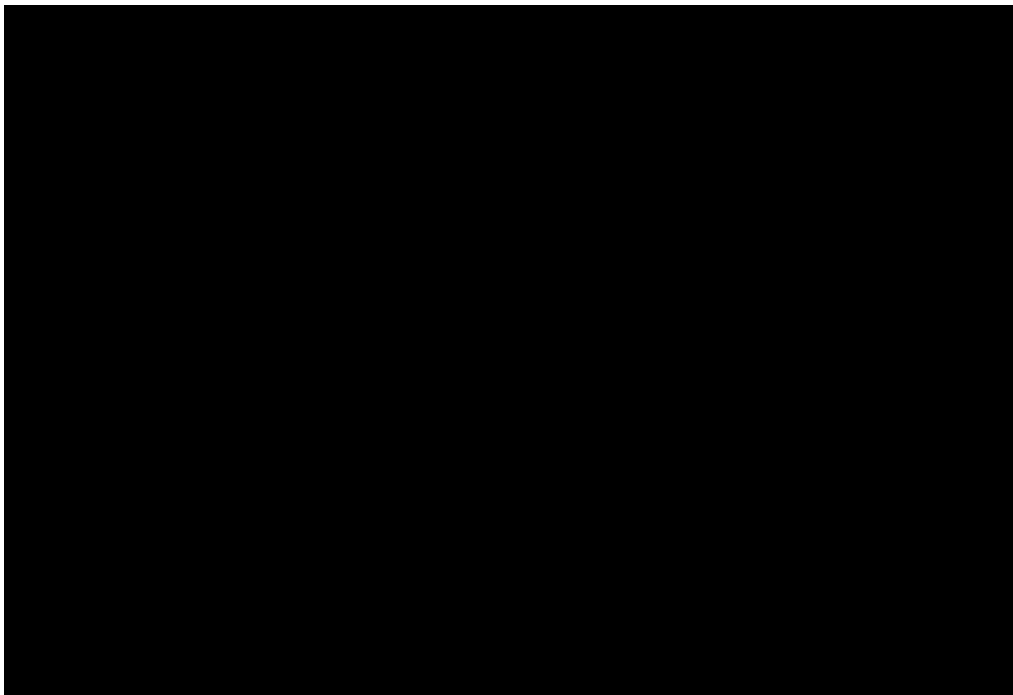
## PENDAHULUAN

Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif yang dikelola oleh Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) telah beroperasi dalam pengelolaan limbah radioaktif sejak tahun 1988 sampai sekarang. Selama kurun waktu tersebut PTLR telah menghasilkan limbah olahan dalam bentuk paket limbah aktivitas rendah dan sedang yang tersimpan di dalam Interm Storage (IS) 1 dan 2. Sedangkan untuk limbah dengan aktivitas tinggi masih tersimpan di dalam Penyimpanan Sementara Limbah Aktivitas Tinggi (PSLAT). Sehubungan dengan hal tersebut PTLR sebagai Instansi yang bertanggung jawab dalam pengelolaan limbah radioaktif berencana membangun fasilitas *Near Surface Disposal* (NSD) dengan skala *demo plant*. Prinsip yang sangat mendasar dari disposal adalah bahwa fasilitas disposal ditempatkan, dirancang, dibangun, dioperasikan, ditutup dan didekomisioningkan sedemikian rupa sehingga pekerja, masyarakat dan lingkungan hidupnya terlindungi dari bahaya radiologi. Sistem NSD telah diaplikasikan dalam beberapa dekade, dengan tipe yang sangat beragam dalam hal tapak, jenis dan jumlah limbah serta disain repositori. Pengalaman menunjukkan bahwa pengungkungan yang efektif dan aman terhadap limbah tergantung pada unjuk kerja sistem disposal secara menyeluruh yang terdiri dari tiga komponen atau barrier utama yaitu kemasan limbah, tapak dan fasilitas disposal [1]. Fasilitas NSD merupakan fasilitas yang harus dibangun dan dioperasikan secara sungguh-sungguh untuk menjamin bahwa semua persyaratan keselamatan terpenuhi. Fasilitas NSD harus di disain sesempurna mungkin sehingga dapat menutup atau meminimalkan kemungkinan terjadinya kecelakaan karena kesalahan disain. Sistem NSD juga memerlukan kendali institusional secara aktif seperti *monitoring* (pemantauan) dan *maintenance* (pemeliharaan). Pembangunan fasilitas NSD ini akan menjadi pengalaman pertama PTLR dalam membuat sebuah fasilitas disposal, yang tentunya dapat digunakan sebagai uji coba sekaligus unjuk kerja sebuah disposal walaupun sifatnya *demonstration plant*. Hal ini juga dapat dilakukan sebagai unjuk kemampuan PTLR dalam mempersiapkan fasilitas disposal yang sesungguhnya.

Dalam mempersiapkan sebuah disain NSD, dimensi limbah hasil olahan maupun dimensi bangunan fasilitas NSD nya sendiri sudah harus disiapkan dan menjadi *basic data* yang harus diperhitungkan agar fasilitas NSD yang akan dibangun tidak mengalami kesalahan yang fatal. Ukuran, berat dan jumlah limbah yang akan ditempatkan dalam NSD hendaknya telah diperhitungkan, perlu dijaga kondisi kemasan dan penempatan limbah di dalam modul, untuk mengurangi amblesan, fondasi bangunan NSD harus mampu menyangga beban secara keseluruhan [4].

Tapak disposal tidak hanya digunakan sebagai tempat pembuangan limbah semata, tetapi perlu dilengkapi untuk berbagai hal, seperti penambahan bangunan-bangunan untuk melengkapi operasional disposal. Tata letak dan penambahan bangunan/gedung sangat bervariasi dari fasilitas satu ke fasilitas disposal yang lain. Fasilitas penunjang di dalam area disposal harus di disain sedemikian rupa sehingga memudahkan dalam pendekontaminasian apabila terjadi kecelakaan yang mengakibatkan kontaminasi di dalam area fasilitas disposal. Jalan yang menghubungkan area penerimaan limbah dan area penunjang lainnya dengan area disposal harus di disain terpisah agar lalu-lintas kegiatan disposal tidak

mempengaruhi struktur bangunan disposal yang telah terisi limbah, sebaliknya adanya fasilitas penunjang tidak mengganggu lalu-lintas kegiatan disposal.



**Gambar 1.** Contoh Tata-letak Fasilitas Disposal di el Cabril- Spanyol [1]

Tata-letak area fasilitas NSD dibagi menjadi dua zona yaitu zona tak terbatas/terbuka (*unrestricted zone*) dan zona terbatas/tertutup (*restricted zone*). Zona tak terbatas/terbuka biasanya merupakan area dengan akses bebas, area ini biasanya berisi bangunan/gedung administrasi dan kantor pengamanan. Gedung administrasi didisain untuk mengakomodasi semua personil administrasi dan menyediakan ruang untuk inventaris paket limbah yang akan di disposal. Untuk zona terbatas/tertutup keberadaannya sangat terjaga dan untuk personil yang akan memasuki area tersebut harus melewati prosedur pemeriksaan yang ketat. Di antara zona tak terbatas dan terbatas terdapat area kontrol dimana terdapat gedung yang di dalamnya terdapat ruang ganti baju untuk operator, kamar mandi, ruang monitoring, ruang pemeriksaan kesehatan, laboratorium lingkungan, ruang dekontaminasi personil dan ruangan pengamanan. Untuk zona terbatas mencakup gedung MES, gedung fasilitas pembongkaran (*unloading*) dan penyortiran, gedung tempat pengkondisian limbah dan fasilitas dekontaminasi peralatan maupun kendaraan angkut juga fasilitas monitoring kontaminasi.

#### **METODA/ TATA KERJA**

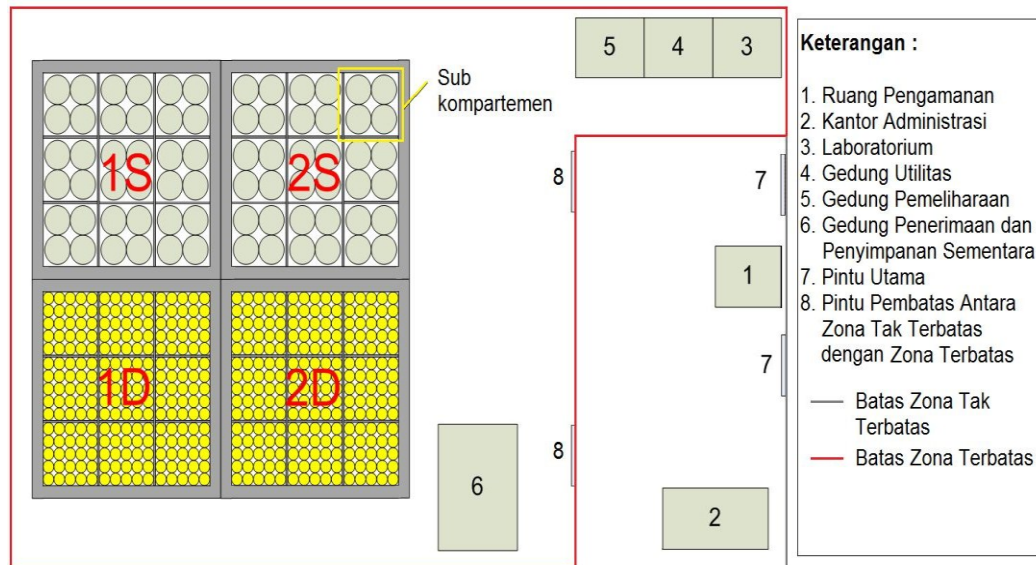
Pengkajian dilaksanakan dengan metode deskripsif dengan ruang lingkup studi pustaka, pengambilan data limbah dan tapak, mengumpulkan informasi tentang berbagai tipe disposal dengan tujuan mendapatkan data untuk mendukung pembangunan *Demo Plant NSD* di KNS yang meliputi teknologi NSD, berbagai dimensi paket limbah dan tata letak fasilitas NSD secara standar internasional,

yang dapat diadopsi dan disusun berdasarkan ketentuan Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA).

## PEMBAHASAN

Rencana pembangunan *demonstration plant NSD* DI PTLR-KNS akan dilaksanakan pada tahun 2015. Di dalam konsep disain *demonstration plant* dibatasi hanya untuk disposal limbah dengan aktivitas rendah dengan umur paro radionuklida tidak boleh lebih dari 5,3 tahun, tidak mengandung pemancar alpha berumur paro panjang. Sejak beroperasi dari tahun 1988 sampai sekarang PTLR telah mengimmobilisasi limbah aktivitas rendah dan sedang dengan menggunakan matrik semen di dalam drum 200 l dan shell beton 950 l. Paket limbah tersebut tersimpan di dalam interm storage (IS). Kondisi sampai tahun 2013 jumlah limbah dalam drum 200 l yang tersimpan sebanyak 959 buah, untuk limbah dalam shell tersimpan 124 buah. Sesuai dengan kajian dan evaluasi dilapangan *Demonstration plant NSD* akan dibangun di area SP4 sebelah utara IS-2. Tapak *demonstration plant* masih di dalam area pagar kuning artinya masih di dalam Kawasan Nuklir Serpong (KNS), sehingga konsep *co-location* cocok diterapkan karena kedekatan lokasi tapak NSD dengan fasilitas penghasil limbah. Hal ini menguntungkan dari segi biaya transportasi, biaya pembebasan lahan, resiko lingkungan dan biaya sosial dalam hal penerimaan masyarakat dan lebih mudah dalam monitoringnya.

Kondisi tapak saat ini berkurang luasnya dikarenakan sebagian lahan digunakan untuk membangun fasilitas lain. Sehingga luas lahan dari 0,8 ha tersisa  $\pm 6.300 \text{ m}^2$ . Mempertimbangkan luas lahan yang terbatas maka pembangunan *demonstration plant NSD* direncanakan tidak terlalu besar yaitu  $34,6 \times 34,6 = 1197,16 \text{ m}^2$ , bentuk *engineered vault* dengan dinding dari beton bertulang (reinforce concrete vault) dengan tebal dinding 0,6 m. Vault dibangun dengan kedalaman 2 m dan pondasi bangunan terletak 4 m diatas permukaan air tanah tertinggi. Vault dibagi menjadi dua kompartemen kembar yang dipisahkan dengan dinding beton bertulang tebal 0,6 m. Kompartemen sebelah kanan untuk disposal drum 200 l dengan dimensi drum; tinggi 85 cm dan diameter 60 cm dengan berat 0,486 ton. Kompartemen sebelah kiri untuk shell sebanyak 72 buah, setiap modul akan disusun paket limbah drum 200 l dengan susunan : lajur, 15 baris 15 dan tumpukan 3, sehingga dalam satu modul dapat menampung 675 drum 200 l. dan kompartemen sebelah kiri merupakan modul bujur sangkar untuk disposal shell 950 l dengan dimensi shell setinggi 1,4m, diameter 1,3m dan berat shell 6,4 ton. Modul tunggal bervolume ruang akan disusun shell beton 950 l dengan susunan : 6 lajur, 6 baris dan tumpukan 2, sehingga modul dapat menampung 72 buah shell beton 950 l [2].



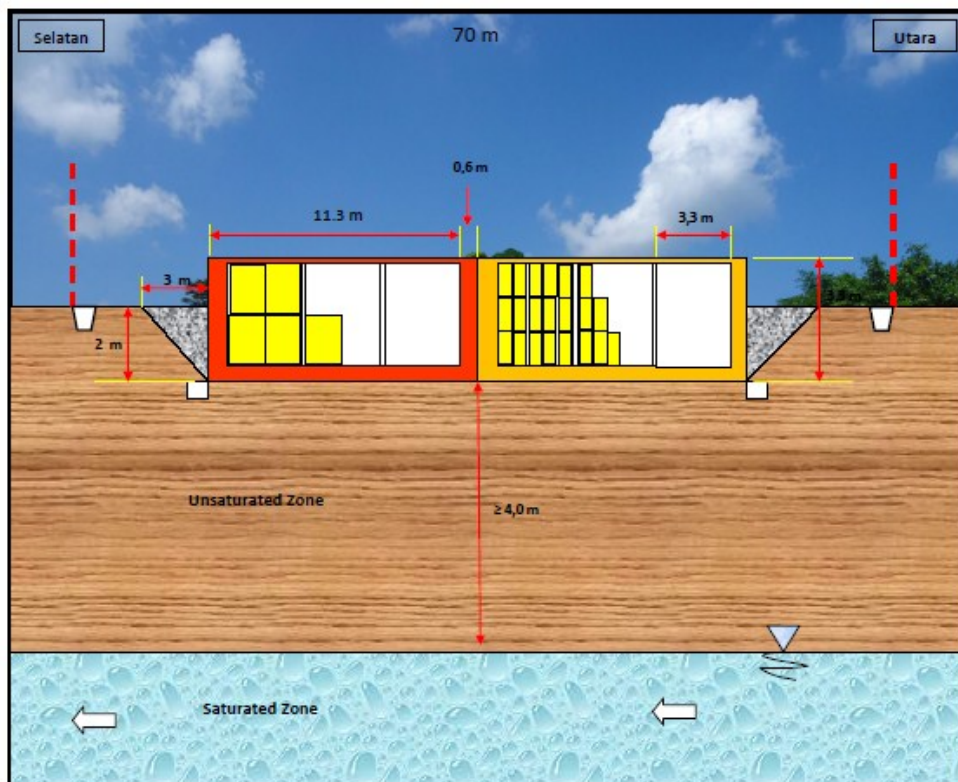
**Gambar 2 . Tata-letak Fasilitas Disposal Demo di KNS [2]**

Dalam perencanaan desain tata letak NSD- KNS, area tapak disposal diberi pagar di sekelilingnya, bangunan kantor pengamanan berada di depan pintu masuk (1), gedung administrasi (2) merupakan gedung yang dibangun didalam pagar dalam, terletak bersama bangunan kantor pengamanan. keduanya terletak dalam zona tidak terbatas. Di dalam gedung administrasi juga dilengkapi ruang ganti, ruang monitoring, ruang pengecekan limbah dan dokumen limbah . Di area ini dilakukan pemeriksaan kontaminasi permukaan dan keadaan kemasan limbah juga diperiksa dan dicatat untuk diteruskan kemudian bila sudah sampai di area penerimaan disposal. Begitu pula pemeriksaan untuk kendaraan pengangkut paket limbah perlu dilakukan pemeriksaan awal walau tidak secara detail sebelum kendaraan masuk ke dalam zona tertutup/terbatas. Laboratorium (3) untuk kegiatan analisis rutin, seperti analisis air, tanah, udara dan tumbuhan di sekitar disposal. Parameter yang diukur minimal adalah aktivitas total alpha, beta, gamma dan tritium. Bila ada indikasi kontaminasi yang tidak normal maka segera ditentukan jenis radionuklida yang terlepas kelingkungan. Gedung utilitas (4), merupakan fasilitas penunjang selama operasional disposal berlangsung seperti kebutuhan air dan listrik. Gedung pemeliharaan (5) tempat melakukan pengecekan dan perbaikan peralatan monitoring dan *handling* yang mengalami kerusakan karena kegiatan disposal. Gedung penerimaan dan penyimpanan sementara (6), pemeriksaan/pengecekan terhadap kendaraan dan paket limbah dilakukan ( seperti cek laju dosis, kontaminasi permukaan, kerusakan paket, akurasi dan kelengkapan dokumen). Pembongkaran dan penyortiran paket limbah dilakukan satu persatu setelah itu baru penanganan paket limbah dengan mempergunakan peralatan yang ada. Fasilitas penyimpanan sementara perlu disediakan didalam area disposal untuk mengantisipasi adanya limbah yang tidak bisa langsung di simpan, atau menunggu kesiapan fasilitas. Paket limbah di simpan didalam fasilitas NSD yang terdiri dari 2 kompartemen kembar, kompartemen kiri untuk disposal shell 950 l, kompartemen kanan untuk disposal drum 200l. Pintu utama dan pintu pembatas antara zona tak terbatas dan zona terbatas dibuat untuk menjaga ketertiban maupun membatasi akses bagi personil yang tidak memiliki ijin akses

ke zona terbatas (7,8). Pagar pembatas dengan kawasan luar dibuat untuk pengamanan dan mencegah adanya pengrusakan maupun pencurian oleh pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab.

Dalam mempersiapkan desain NSD, bentuk vault sebaiknya dirancang dengan penutup yang dapat diletakkan secara pas pada badan vault dengan tujuan menjaga keamanan paket limbah yang ada di dalam juga disiapkan saluran pembuangan air untuk mencegah adanya akumulasi air di sekitar vault. Struktur vault sebaiknya di disain sedemikian rupa untuk mendukung keseluruhan beban tanpa adanya kelemahan struktur yang mengarah pada penanganan masalah. Struktur vault yang nantinya akan terisi penuh dengan paket limbah dan kemudian ditutup *backfill material* , perlu diperhitungkan desainnya dengan adanya *beban* statik, benturan dan kemungkinan gempa [4].

Kemudahan akses diperlukan untuk memindahkan paket limbah ke atau dari vault dalam keadaan operasi normal atau pasca kondisi tak terduga atau kondisi antisipatik operasional. Disain NSD harus mampu menunjang stabilitas bila terjadi kecelakaan atau kondisi abnormal. Fondasi vault sebaiknya di disain tahan terhadap beban modul yang telah terisi penuh dengan paket limbah tanpa khawatir memicu instabilitas modul [4]. Fasilitas NSD hendaknya di disain sedemikian rupa sehingga pengawasan terhadap masuknya paket limbah dapat dilakukan dengan mudah dan lancar. Apabila fasilitas NSD tidak dapat dipantau secara berkelanjutan maka seharusnya disediakan verifikasi periodik dengan cara observasi sehingga sistem pengisian fasilitas dapat terwujud dengan baik.



**Gambar 3 .** Penampang melintang Penempatan Disposol Demo pada tapak SP4 di KNS[2]

### Konsep Disposasi Yang Direkomendasikan [2]

1. Konsep teknologi fasilitas *NSD* untuk limbah radioaktif non PLTN mempertimbangkan aspek limbah baik dari kemasan/pewadahan maupun kuantitasnya, serta mempertimbangkan aspek calon tapak yang ada seperti yang telah diuraikan di depan.
2. Oleh karena itu konsep teknologi *NSD* untuk limbah radioaktif non PLTN terdiri dari dua *vault* kompartemen kembar beton bertulang (*reinforced concrete vault*).
3. Volume ruang masing-masing *vault* adalah 28,314 m<sup>3</sup> dengan ukuran sisi dalam : panjang 3,3 m, lebar 3,3 m dan kedalaman 2,6 m (Gambar 2).
4. *Vault* sisi kiri untuk menampung paket limbah dalam *shell* beton 950 l sebanyak 72 *shell* beton dengan susunan lajur 6, baris 6 dan tumpukan 2.
5. *Vault* sisi kanan untuk menampung paket limbah dalam drum 200 l sebanyak 675 drum dengan susunan lajur 15, baris 15 dan tumpukan 3.
6. *Vault* dibangun di bawah permukaan tanah dan minimum 4 m di atas muka air tanah tertinggi.
7. Setiap dua kompartemen kembar dirancang untuk menampung limbah radioaktif non PLTN aktivitas rendah dan menengah yang timbul dalam waktu paling tidak satu dekade (25 tahun), jadi bila dirancang sesuai Gambar 2, maka bisa dioperasikan dalam waktu paling tidak 50 tahun.
8. Pembangunan bisa bertahap dengan setiap dua kompartemen kembar dibangun dalam setiap 25 tahun, dimulai dari kompartemen paling kiri (Gambar 2).
9. Limbah yang dapat disimpan dalam sistem *NSD* tersebut adalah limbah pemancar  $\beta/\gamma$  dan kandungan unsur pemancar  $\alpha$  sangat rendah.
10. Fasilitas *repository* didesain dengan beberapa *engineered barrier* dan *natural barrier*.
11. *Barrier* pertama adalah immobilisasi dengan beton semen.
12. Ruang di antara paket drum/*shell* diisi dengan *backfill* campuran bentonit dan pasir.
13. Dinding beton bertulang setebal 0,6 m.
14. *Vault* ditutup dengan panel-panel beton bertulang untuk perisai biologi bagi operator.
15. Material lempung (bentonit) padat setebal 3 m (sebagai *buffer materials*) ditempatkan mengelilingi *vault* kembar untuk mencegah air masuk ke dalam atau keluar dari *vault*.
16. Air hujan yang jatuh pada tapak dialirkan ke dalam suatu sistem parit terbuka dan diarahkan masuk ke dalam tangki penampung air.
17. Air dalam tangki tersebut dimonitor secara rutin radioaktivitasnya.
18. Sistem parit luar dibangun mengelilingi *vault* untuk melindungi terhadap ancaman “banjir” dan mengarahkan aliran ke suatu kanal yang selanjutnya dialirkan ke saluran air atau aliran sungai terdekat.

### KESIMPULAN

Fasilitas *NSD* diasumsikan sebagai tempat isolasi yang paling aman untuk limbah radioaktif tingkat rendah sampai sedang, maka dalam mempersiapkan konsep desain *NSD* sangat penting ketepatan menentukan tata letak sebuah

fasilitas NSD, sehingga keberadaan NSD dapat dipertanggung jawabkan secara pasti untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya kecelakaan. Fasilitas NSD harus di disain sedemikian rupa sehingga memudahkan akses selama operasi disposal berlangsung.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. **IAEA**, “Technical Considerations in the Design of Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste”, IAEA-TECDOC-1256, IAEA-Vienna-2001
- [2]. **SUCIPTA**, “Optimasi Penempatan Disposal Demo Dalam Lingkungan Geologi KNS”. Makalah Peneliti Utama, Serpong 2011
- [3]. **IAEA**, “Near Surface Disposal of Radioactive Waste”, RADWASS Safety Standards Series No. 111-S-3, IAEA-Vienna, 1995
- [4]. **SUCIPTA**, “Konsep Teknologi Penyimpanan Lestari Limbah Radioaktif Dekat Permukaan (Near Surface Disposal) di PPTN Serpong”, Hasil Penelitian dan Kegiatan Pengelolaan Limbah Radioaktif, Tahun 2003
- [5]. **HEINONEN. J**, “Near Surface Disposal of Low and Intermediate Level Waste”, Devision of Nuclear Power Waste Technology Section, IAEA, Cumbria-UK, 1996
- [6]. **LAS, T., SUCIPTA, ERIENDI**, Evaluasi Keselamatan Rancang Bangun Penyimpanan Limbah Tanah Dangkal di PPTA Serpong, Hasil Penelitian PTPLR 1994/1995, PTPLR, Serpong, 1995.
- [7]. **IAEA**, “Siting of Near Surface Disposal Facilities”, Safety Series No. 111-G-3.1, IAEA, Vienna-1994
- [8]. **IAEA**, Site Investigations for Repositories for solid radioactive Wastes in Shallow ground, Technica Reports Series No. 216, IAEA, Vienna-1982



## **KARAKTERISTIK GEOTEK TAPAK PULAU JAWA EROSI TERHADAP KEPEKAAN TANAH**

**Ari Pudy**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif -BATAN

### **ABSTRAK**

**KARAKTERISTIK GEOTEK TAPAK PULAU JAWA EROSI TERHADAP KEPEKAAN TANAH.** Telah dilakukan kegiatan karakterisasi geoteknik pada calon tapak terpilih untuk pembuangan limbah radioaktif di Pulau Jawa. Calon tapak terpilih tersebut meliputi wilayah Karawang, Sumedang dan Serang. Aspek kegiatan yang dilakukan adalah studi tentang sifat erosi terhadap kepekaan tanah pada formasi subang. Penelitian dilakukan menggunakan metode perbandingan dengan menggunakan data primer yang diperoleh dari kegiatan lapangan dan data sekunder yang diperoleh dari literatur mencakup aspek infiltrasi tanah, agregat tanah dan kapasitas tanah. Dari hasil evaluasi diperoleh informasi tentang sifat erosi pada formasi Subang disekitar calon tapak terpilih pembuangan limbah radioaktif.

Kata kunci : tapak terpilih, disposal, limbah, radioaktif

### **ABSTRAC**

**GEOTEK SITE CHARACTERISTICS OF JAVA THE SENSITIVITY OF SOIL EROSION.** *Geotechnical characterization activities have been carried tread candidate elected for radioactive waste disposal in Java. Candidates selected covers an area of Krawang, Sumedang and Serang. Aspects of activities undertaken is the study of the nature of the sensitivity of soil erosion in the Subang formation.*

*The study was conducted using the method of comparison with less use of primary data obtained from fieldwork and secondary data from the literature include aspects of soil infiltration, soil aggregates and soil capacity. From the evaluation results obtained information about the nature of erosion in Subang formation around the selected candidate sites for radioactive waste disposal.*

### **PENDAHULUAN**

Erosi terhadap kepekaan tanah atau yang disebut dengan erodibilitas didefinisikan sebagai mudah tidaknya suatu lapisan tanah tererosi [1]. Secara spesifik erodibilitas didefinisikan sebagai kuatnya suatu lapisan tanah menerima butiran-butiran air hujan, dan/atau kekuatan aliran permukaan [2]. Menurut Wischmeier dan Mannering (1969), erodibilitas tanah merupakan sifat kompleks yang tergantung pada sifat infiltrasi tanah dan kapasitas tanah untuk bertahan terhadap penghancuran agregat serta pengangkutan oleh hujan dan aliran permukaan.

Di negara tropis seperti Indonesia kekuatan alir permukaan dan kekuatan jatuhnya air hujan ke permukaan tanah adalah merupakan faktor utama penggerus agregat tanah. Agregat yang sudah hancur kemudian diangkut oleh aliran permukaan, mengikuti gaya gravitasi bumi sampai ke suatu tempat dimana pengendapan terjadi [3].

Keseluruhan proses penghancuran oleh butir air hujan, pengangkutan oleh aliran permukaan dan pengendapan disebut sebagai erosi tanah.

Ada tiga bentuk erosi yang dikenal dalam geotek, yaitu erosi lembar, erosi alur dan erosi parit [4]. *Erosi lembar* merupakan pengangkutan lapisan tanah yang merata ketebalannya pada suatu perlapisan tanah. Kejadian ini disebabkan oleh kekuatan jatuhnya butiran-butiran hujan dan kekuatan aliran air permukaan. *Erosi alur* dapat terjadi jika kandungan air terkonsentrasi dan mengalir pada tempat-tempat tertentu di suatu permukaan sehingga proses penggerusan tanah banyak terjadi pada tempat tersebut dan kemudian membentuk alur-alur. Alur-alur tersebut akan hilang saat dilakukan pengolahan tanah. *Erosi parit* terjadi akibat adanya aliran permukaan dengan volume yang besar dan terkonsentrasi pada suatu cekungan yang menyebabkan kemampuan gerus yang tinggi. Dari beberapa hasil penelitian ditunjukkan bahwa erosi lembar merupakan bentuk erosi yang menyumbang sedimen paling besar dibandingkan dengan bentuk erosi lainnya [5]. Hal ini dimungkinkan karena erosi lembar terjadi pada areal yang relatif luas, sedangkan erosi alur atau parit hanya terjadi pada tempat-tempat tertentu dimana aliran air terkonsentrasi.

## **Tujuan**

Mengetahui sifat erodibilitas pada formasi subang di tapak terpilih penyimpanan limbah lestari khususnya di Pulau Jawa. Erodibilitas dipengaruhi oleh banyak sifat-sifat tanah, yakni sifat fisik, mekanik, hidrologi, kimia, litologi, mineralogi, termasuk karakteristik profil tanah seperti kedalaman tanah dan sifat-sifat dari lapisan tanah.

## **METODOLOGI**

### **Bahan**

Daerah penelitian meliputi daerah Karawang, Subang, Purwakarta dan Sumedang yang secara umum dikategorikan dengan Formasi Subang. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari studi literature.

### **Metode**

Penelitian dilakukan dengan langkah-langkah : pengumpulan bahan literature, pengumpulan data sekunder sifat-sifat erodibilitas tanah, analisis data sekunder, membuat kesimpulan dan saran.

### **Teori**

Erodibilitas dipengaruhi oleh banyak sifat-sifat tanah, yakni sifat fisik, mekanik, hidrologi, kimia, litologi, mineralogi, termasuk karakteristik profil tanah seperti kedalaman tanah dan sifat-sifat dari lapisan tanah [6]. Sementara Undang Kurna dan H. Suwardjo [2], menyatakan bahwa erodibilitas bukan hanya disebabkan oleh sifat-sifat tanah, akan tetapi juga disebabkan oleh faktor erosi lainnya seperti topografi, erosititas, vegetasi, fauna dan aktifitas manusia. Suatu lapisan tanah yang mempunyai erodibilitas rendah mungkin mengalami erosi yang berat jika tanah tersebut terdapat pada lereng yang curam dan panjang, serta curah hujan dengan intensitas tinggi. Sebaliknya suatu lapisan tanah yang mempunyai erodibilitas tinggi, mungkin memperlihatkan tingkat erosi rendah atau ringan jika terdapat pada lereng yang landai dengan penutupan vegetasi yang baik serta intensitas yang relatif rendah. Selain sifat fisik tanah, faktor pengelolaan terhadap tanah sangat berpengaruh terhadap erodibilitas suatu lapisan tanah. Hal ini berhubungan dengan adanya pengaruh dari faktor pengelolaan tanah terhadap sifat-sifat tanah. Pengelolaan tanah dan tanaman yang mengakumulasi sisa-sisa tanaman berpengaruh baik terhadap kualitas tanah, yaitu terjadinya perbaikan stabilitas agregat tanah, ketahanan tanah (shear strength) dan resistensi/daya tanah terhadap daya hancur curah hujan.

Meskipun erodibilitas tanah tidak hanya ditentukan oleh sifat-sifat tanah, namun untuk membuat konsep erodibilitas tanah menjadi tidak terlalu kompleks, maka beberapa peneliti menggambarkan erodibilitas tanah sebagai pernyataan keseluruhan pengaruh sifat-sifat tanah dan bebas dari faktor-faktor penyebab erosi lainnya [4].

Pada perinsipnya sifat-sifat tanah yang mempengaruhi erodibilitas tanah adalah: (1) sifat-sifat tanah yang mempengaruhi infiltrasi, permeabilitas dan kapasitas tanah menahan air, dan (2) sifat-sifat tanah yang mempengaruhi ketahanan struktur tanah terhadap dipresi, dan pengikisan oleh butir-butir air hujan dan aliran permukaan. Sifat-sifat tanah tersebut mencakup tekstur, struktur bahan organik, kedalaman tanah dan tingkat kesuburan tanah. Secara umum, tanah dengan kandungan debu tinggi, liat rendah, dan bahan organik rendah adalah merupakan jenis tanah yang mudah tererosi. Jenis mineral liat, kandungan besi dan aluminium oksida, serta ikatan elektro-kimia didalam tanah juga merupakan sifat tanah yang berpengaruh terhadap erodibilitas tanah.

Erodibilitas tanah sangat penting untuk diketahui agar tindakan konservasi dan pengolahan tanah dapat dilaksanakan secara lebih tepat dan terarah. Konsep erodibilitas tanah dan cara menilainya merupakan hal yang bersifat kompleks karena erodibilitas dipengaruhi oleh banyak sifat-sifat tanah [3]. Erodibilitas menurut Wischmeier dan Smith, (1978) [5], faktor erodibilitas tanah dipengaruhi oleh besarnya erosi persatuan indeks erosi hujan untuk suatu tanah dalam keadaan standar. Dalam hal ini faktor erodibilitas tanah (K) didefinisikan sebagai besarnya erosi persatuan indeks erosi hujan untuk suatu tanah dalam keadaan standar. Dari hasil percobaan sistem petak kecil/standar tersebut, nilai erodibilitas tanah dapat dihitung dengan persamaan :

$$K = A/R,$$

dimana :

K = faktor erodibilitas tanah

A = erosi tanah (t ha-1 tahun-1)

R = faktor erosivitas curah hujan

Tinggi rendahnya tingkat erodibilitas tanah berdasarkan rekomendasi USDA-SCS (1973, dalam Dangler dan El-Swaify, 1976) dibagi kedalam enam kelas (Tabel 1) sebagai berikut :

Tabel 1. Kelas Erodibilitas Tanah  
USDA-SCS (1973 dalam Dangler dan El-Swaify, 1976)

Kelas USDA-SCS	Nilai K	Uraian Kelas
1	0 – 0,10	Sangat rendah
2	0,11 – 0,20	Rendah
3	0,21 – 0,32	Sedang
4	0,33 – 0,43	Agak tinggi
5	0,44 – 0,55	Tinggi
6	0,56 – 0,64	Sangat tinggi

Selanjutnya El-Swaify dan Dangler (1976) melakukan korelasi nilai K dengan beberapa sifat tanah. Hasil uji korelasi menunjukkan bahwa kejenuhan basa parameter ukuran butir/tekstur, kandungan mineral amorf dan stabilitas agregat tanah sangat berkorelasi dengan nilai K. Undang Kurnia dan Suwardjo (1984) melaporkan erodibilitas tanah pada berbagai jenis tanah di beberapa lokasi di Pulau Jawa (Tabel 2). Hasil percobaan erosi dengan menggunakan petak standar pada berbagai jenis tersebut menunjukkan adanya variasi erodibilitas untuk jenis tanah berbeda. Bila dihubungkan dengan sifat-sifat tanah, yakni sifat fisik dan kandungan bahan organik tanah (Tabel 3). Bila dihubungkan dengan sifat-sifat tanah, yakni sifat fisik tanah dan kandungan organik tanah, rendahnya nilai erodibilitas tanah pada Oxisol Darmaga dan Oxisol Citayam disebabkan oleh agregat tanah yang stabil, struktur tanah remah dan permeabilitas tanah sedang sampai agak cepat sehingga dapat menyebabkan tingginya kapasitas infiltrasi.

Entisol Tanjung Harjo dan Ultisol Jonggol, mempunyai erodibilitas tanah lebih tinggi, disebabkan oleh kandungan debu cuup tinggi dan C-organik sangat rendah. Nilai erodibilitas tanah pada Alfisol Punung dan Putat serta Vertisol Jegu yang relative tinggi disebabkan oleh tingginya fraksi debu. Penelitian Wischmeier dan Mannering (1969) [7], menunjukkan bahwa pasir debu merupakan partikel tanah yang berpengaruh pada kepekaan tanah terhadap erosi. Tanah akan lebih mudah tererosi apabila mempunyai kandungan debu sekitar 40-60% sangat peka terhadap erosi. Selain itu,

stabilitas agregat yang rendah, permeabilitas lambat dan relatif rendahnya kandungan bahan organik tanah diperkirakan merupakan penyebab tingginya tingkat erodibilitas tana pada ketiga tanah tersebut.

Tabel 2. Erodibilitas tanah beberapa jenis tanah di Jawa

Jenis Tanah		Lokasi	Bahan Induk	Faktor kepekaan erosi (K)		
Ordo	Great Group			Kisaran	Rata-Rata	Kelas
Oxisol	Haplorthox	Darmaga, Bogor	Tufa volkan	0,02–0,04	0,03	sr
	Haplorthox	Citayam, Bogor	Tufa volkan	0,08–0,09	0,09	sr
Ultisol	Tropohumult	Citaman, Bandung	Tufa volkan	0,09–0,11	0,10	sr
	Tropudult	Jonggol, Bogor	Batuliat	0,12–0,19	0,16	r
Entisol	Troporthent	Tanjung Harjo	Batuliat	0,11–0,16	0,14	r
Alfisol	Tropaqualf	Punung, Pacitan	Breksi	0,18–0,25	0,22	sd
	Tropudalf	Putat, Gn. Kidul	Breksi	0,16–0,29	0,23	sd
Vertisol	Chromudert	Jegu, Blitar	Napal	0,24–0,30	0,27	sd

Sumber: Undang Kurnia dan Suwardjo (1984).

Keterangan: sd=sedang, r=rendah, sr=sangat rendah

Perbedaan erodibilitas pada beberapa jenis tanah di Jawa (table 3), selain disebabkan perbedaan fisik, juga diakibatkan oleh jenis liat yang dominn pada masing-masing tanah. Kandungan sesquioxida yang tinggi pada tanah Oxisol Darmaga dan Citayam, Bogor merupakan salah satu sebab rendahnya erodibilitas tanah di kedua lokasi tersebut. Sedangkan dominasi kandungan liat smektit yang mudah mengembang, seperti pada Vertisol Jegu, Blitar berkontribusi terhadap tingginya nilai erodibiitas tanah di kedua lokasi.

Tabel 3. Sifat fisik tanah beberapa jenis tanah di Pulau Jawa

Tanah		Lokasi	Tekstur (%)			C-org	Struktur	Permeabilitas
Ordo	Great Group		Pasir	Pasir Halus	Debu			
Oxisol	Haplrthox (Latosol)	Darmaga, Bogor	0,2	19,7	77,0	1,01	Remah halus	Agak Cepat
	Haplrthox (Latosol)	Citayam, Bogor	1,0	18,7	79,9	2,00	Remah halus Butir	Sedang
Ultisol	Tropohumult (Mediteran)	Citaman, Bandung	0,1	26,5	68,0	2,51	Gumpal	Sedang
	Tropdult (Podosik)	Jonggol, Bogor	5,4	29,5	42,2	1,42	Gumpal	Lambat
Ultisol	Troporthent (Regosol)	Tanjungharjo, Kulon Progo	0,6	26,1	71,2	0,73	Remah	Lambat

Entisol	Tropaqualf (Mediteran)	Punun, Pacitan	0,1	28,3	65,7	1,72	Gumpal	Lambat
Alfisol	Tropudalf (Mediteran)	Putan, Gn Kidul	0,1	20,5	76,4	0,63	Gumpal	Lambat
Vertisol	Chromudert (Grumusol)	Jegu, Blitar	0,6	17,4	63,3	0,81	Gumpal	Lambat

Sumber: Undang Kurnia dan Suwardjo (1984).

## HASIL DAN PEMBAHAAN

### Umum

Tekstur tanah ditentukan oleh besar kecilnya perbandingan fraksi pasir (sand), debu (silt) dan liat (clay). Tingkat erodibilitas rendah akan terjadi apabila kapasitas infiltrasi dan permeabilitas tinggi dan ukuran butir yang relatif besar hal ini disebabkan karena tanah akan didominasi oleh pasir.

### Tekstur

Formasi Subang pada umumnya terdiri dari campuran antara pasir, debu dan clay dengan ukuran butir relatif halus hingga sedang. Fraksi clay atau lempung yang mendominasi pada Formasi Subang memiliki sub-ordo Tropudalf dengan tingkat permeabilitas dan infiltrasi yang rendah. Fraksi lempung atau clay mempunyai ikatan butir yang kuat sehingga tekstur ini tidak mudah dihancurkan. Walaupun demikian, bila kekuatan hujan atau aliran permukaan mampu menghancurkan ikatan antar partikel, maka akan timbul bahan sedimen tersuspensi yang mudah untuk terangkut atau terbawa aliran permukaan. Fraksi inipun akan menyumbat pori-pori tanah pada lapisan permukaan yang menyebabkan tingkat infiltrasi menurun dan aliran permukaan meningkat. Kondisi ini menyebabkan tanah tidak muah terdispersi sehingga erosi menjadi relatif tidak berbahaya.

### Bahan Organik

Formasi Subang pada daerah penelitian memiliki tingkat kandungan bahan organik yang tinggi sehingga membantu dalam penstabilan tingkat agregat tanah. Bahan organik yang terdapat pada daerah ini umumnya terdiri dari akar-akar halus tanaman. Bahan organik yang masih berbentuk serasah, seperti daun, ranting dan sebagainya yang belum hancur yang menutupi permukaan tanah merupakan pelindung tanah terhadap kekuatan perusak butir-butir hujan yang jatuh. Bahan organik tersebut juga menghambat laju aliran permukaan, sehingga kecepatan alirannya lebih lambat dan relatif tidak merusak. Sedangkan bahan organik yang telah hancur akan mampu menyerap air dan menahan air. Pengaruh utama bahan organik yang terdapat pada laisan Formasi Subang ini adalah dapat memperlambat aliran permukaan, meningkatkan infiltrasi dan meningkatkan tingkat agregat tanah.

### **Struktur Agregat Tanah**

Bentuk dan stabilitas agregat serta persentase tanah yang teragregasi sangat berperan dalam penentuan tingkat kepekaan tanah terhadap erosi. Formasi Subang yang merupakan formasi penelitian memiliki struktur halus, tingkat penyerapan air rendah dan susunan butir-butir primernya rapat. Sehingga memiliki tingkat stabilitas agregat tanah yang relatif tinggi. Kandungan besi dan aluminium oksida yang terdapat pada lapisan formasi ini akan mengikat gugus negatif dari mineral clay atau lempung oleh gugus positif oksida-oksida tersebut. Tanah pada lapisan formasi ini memiliki tingkat infiltrasi yang rendah dan tidak mudah terdepresi.

### **Jenis Mineral dan Sifat Lapisan Tanah**

Formasi Subang yang dijumpai banyak mengandung mineral smektit yang mempunyai nisbah silika bersifat mengembang dan plastis jika basah, sehingga agregatnya tidak begitu stabil dalam air, oleh karenanya mudah tererosi.

Umumnya lapisan pada Formasi Subang adalah Ultisol dimana lapisan ini bersifat kedap sehingga dapat menghambat proses peresapan air ke dalam tanah.

### **Erodibilitas**

Formasi subang secara umum tergolong kedalam lapisan tanah Ultisol dan Vertisol dimana kestabilan tanah dikategorikan sebagai lapisan yang relatif stabil. Ultisol pada Formasi Subang memiliki agregat bertekstur liat disertai dengan lapisan Argilik yang dapat menghambat peresapan air ke dalam tanah dan kondisi ini yang membuat tingkat Erodibilitas menjadi tinggi. Pada daerah tertentu dengan curah hujan rendah lapisan tanah jenis Ultisol pada Formasi Subang akan mengandung mineral liat smektit dan felsik yang mengandung basa. Sedangkan pada daerah yang bercurah hujan tinggi maka lapisan tanah jenis Ultisol pada Formasi ini akan lebih banyak mengandung mineral ilit dan koalinit yang juga mengandung basa.

Pada sebagian daerah penelitian, dijumpai juga lapisan tanah berjenis Vertisol pada Formasi Subang yang didominasi oleh mineral smektit yang mudah mengembang atau mengkerut (*shrink-swell potensial*) sehingga mempunyai tingkat erodibilitas tanah yang tinggi dibanding dengan jenis tanah lainnya.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

### **Kesimpulan**

Dari pembahasan diperoleh hasil bahwa tingkat erodibilitas tanah sangat dipengaruhi oleh tekstur lapisan, bahan organik yang terkandung pada lapisan, jenis mineral serta sifat lapisan tanah. Formasi Subang pada umumnya didominasi oleh mineral lempung atau clay dengan ukuran butir sangat halus memiliki tingkat infiltrasi dan permeabilitas yang sangat rendah. Bila ditinjau dari kandungan bahan organik pada

formasi tersebut diperoleh bahwa lapisan ini didominasi oleh bahan organik yang berasal dari akar-akar halus yang dapat meningkatkan tingkat agregat tanah. Bila ditinjau dari strukturnya maka diperoleh hasil bahwa struktur halus yang terdapat pada lapisan farmasi ini akan meningkatkan tingkat agregat tanah. Sedangkan kandungan besi dan aluminium oksida yang mendominasi pada lapisan tanah tersebut akan mengikat gugus negatif mineral lempung atau clay. Pada Formasi Subang dijumpai mineral jenis smektit yang mempunyai sifat mengembang dan plastis bila basah. Keadaan ini yang menyebabkan agregat tanah pada Formasi Subang tidak begitu stabil. Jika ditinjau dari sisi erodibilitas, Formasi Subang dikategorikan sebagai daerah yang relatif stabil karena di beberapa daerah dijumpai mineral smektit. Seperti diketahui bahwa mineral smektit mempunyai sifat yang mudah mengembang atau mengkerut (*shrink-swell potensial*).

### Saran

Selain menggunakan metode studi literature, untuk mengetahui sifat erodibilitas tanah secara lebih baik, banyak metoda bisa dilakukan. Suatu diantaranya adalah pendekatan menggunakan model prediksi, dengan input data sifat-sifat tanah yang mudah diukur dilapangan (data primer), dan mempunyai korelasi kuat dengan erodibilitas tanah.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Subagyono, K., S. Marwanto, C. Tafakresnanto, T. Budyastoro, dan A. Dariah. 2004. Delineation of Erosion Areas in Sumberjaya, West Lampung. In Refinement of Soil Conservation/Agroforestry Measures Coffee Base Farming Systems. Soil Research Institute. ICRAF (ASB Phase 3 Project).
- [2]. Undang Kurnia dan H. Suwardjo. 1984. Kepekaan erosi beberapa jenis tanah di Jawa menurut metode USLE. Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk 3: 17-20.
- [3]. Undang Kurnia, A. Abdurachman, dan S. Sukmana. 1986. Comparison of two methods in assessing the soil erodibility factor of selected soils in Indonesia. Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk 5: 33-37
- [4]. Veiche, A. 2002. The spatial variability of erodibility and its relation to soil types: A study from Northern Ghana. Geoderma 106:110-120. NTB, Mataram, 27-28 Mei 2002.
- [5]. Wischmeier, W. H., and J. V. Mannering. 1969. Relation of soil properties to its erodibility. Soil Sci. Am. Proc. 33: 131-137.
- [6]. Wischmeier, W. H., C. B. Johnson, and B.V. Cross. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Jour. Soil and Water Conserv. 26: 189-193.
- [7]. Wischmeier, W. H., and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Sci. and Educ. Adm. USDA in cooperation with Purdue Agric. Exp. Sta.



## **PENGKAJIAN KOMPONEN DESAIN PENUTUPAN FASILITAS DEMONSTRATION PLANT OF DISPOSAL DI KAWASAN NUKLIR SERPONG**

**Hendra Adhi Pratama**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

### **ABSTRAK**

*PENGKAJIAN KOMPONEN DESAIN PENUTUPAN FASILITAS DEMONSTRATION PLANT OF DISPOSAL DI KAWASAN NUKLIR SERPONG. Pengkajian Komponen Desain Penutupan Fasilitas Demonstration Plant of Disposal (disposal demo) di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) dilakukan untuk mendukung penyusunan desain konsep fasilitas demonstration plant of disposal limbah radioaktif di Kawasan Nuklir Serpong. Metode yang dilakukan adalah pengumpulan data sekunder dan analisis komponen penting berdasarkan data desain konsep Fasilitas Disposal Demo Limbah Radioaktif - Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR). Tujuan penelitian ini untuk memperoleh seperangkat data desain untuk komponen penutupan near surface disposal dalam rangka mendukung penyiapan Fasilitas Disposal Demo di KNS Serpong. Penutupan Fasilitas Disposal Demo dilakukan setelah seluruh kompartemen disposal terisi penuh dan diberi backfill material. Proses penutupan fasilitas disposal dilakukan dengan menempatkan beberapa lapisan cover pada disposal dan pembangunan fasilitas monitoring dan perawatan untuk menjamin keselamatan dan kehandalan disposal. Pengawasan pasca penutupan (post closure monitoring) dilakukan secara berkala dan dapat menjadi alasan yang cukup jika sewaktu-waktu diperlukan tindakan korektif. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh sistem penutupan fasilitas disposal yaitu tidak mudah tembus air (impermeability); limbah, cover dan struktur bangunan penghalang didesain untuk menjadi kesatuan bangunan yang kokoh, solid dan tahan cuaca ekstrim, longsor maupun kejadian alam seperti gempa (integrity and resistance to degradation), dan disain fasilitas disposal harus memiliki fitur untuk memudahkan perawatan dan tindakan perbaikan (repairability). Komponen penting sistem penutupan yaitu multi-layer cover, sistem drainase, fasilitas monitoring dan perawatan disposal.*

**Kata kunci :** *Disposal Demo, penutupan, cover, monitoring.*

### **ABSTRACT**

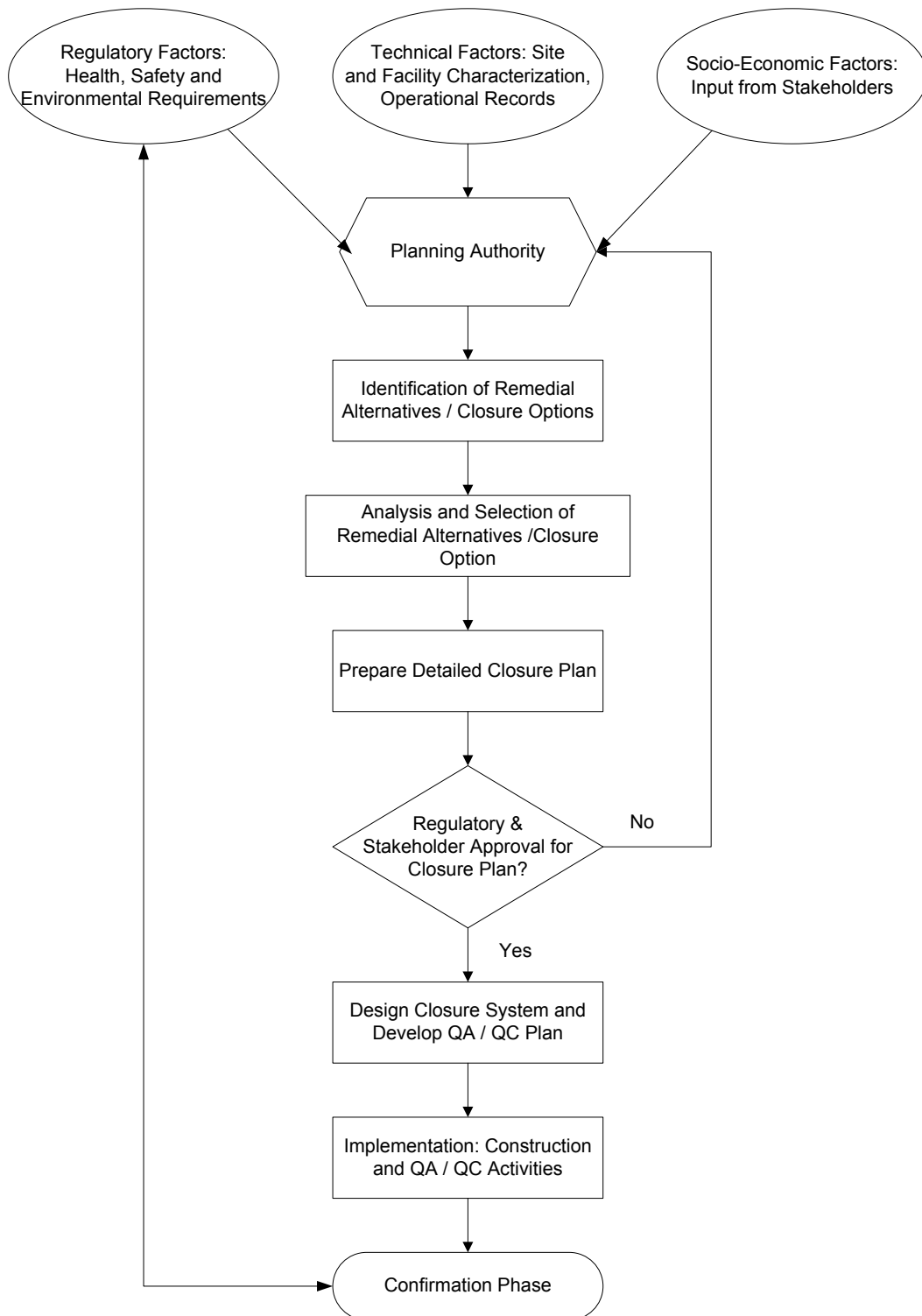
*STUDY OF CLOSURE DESIGN COMPONENT OF DISPOSAL DEMONSTRATION PLANT IN SERPONG NUCLEAR AREA. This study has been conducted to support development of disposal demonstration plant (demoplant) design project in nuclear Serpong area. The method of works is collecting secondary data and analysis key component based on demoplant design data. The objective of this activity is to obtain design data for closure of near surface disposal in line with preparation of demoplant in nuclear Serpong area. Closure of demoplant is begin when all compartments are filled by radioactive waste and backfill materials. The process of closure is done by covering disposal with some layer and setting of monitoring facility and maintenance to ensure the safety and performance of disposal. Post closure monitoring have to be carried out periodically and can be reason enough if corrective action are needed. Requirements of disposal facility closure system are impermeability, integrity and resistance to degradation, and repairability. The key component of closure system are multi-layer cover, drainage system, monitoring and maintenance facility.*

**Keywords:** *demonstration plant of disposal, demoplant, closure, cover, monitoring.*

## PENDAHULUAN

Ada tiga tahap dalam pembangunan, operasional dan penutupan fasilitas yaitu tahap pra-operasional, tahap operasional dan tahap pasca operasional. Proses penutupan pada fasilitas disposal merupakan bagian akhir dari kegiatan pada tahap operasional fasilitas disposal. Kegiatan pada akhir tahap operasional lainnya yaitu kegiatan dekontaminasi, penyimpanan limbah hasil dekontaminasi dalam disposal, menghilangkan atau menutup sistem struktur atau peralatan yang berlebihan, pemutakhiran arsip disposal, dan penerapan/melanjutkan proses monitoring yang diperlukan <sup>[1]</sup>.

Proses ini sudah masuk dalam perencanaan (desain dasar) ketika suatu fasilitas disposal sudah terisi penuh oleh paket limbah atau sudah tidak beroperasi lagi. Namun begitu, penutupan dini (*premature closure*) dapat saja terjadi dikarenakan kecelakaan (seperti gempa, banjir atau kebakaran) atau disebabkan perubahan sikap publik, status demografi atau perijinan. Dalam hal kejadian tersebut, tindakan korektif mungkin perlu dilakukan. Proses penutupan dapat dilakukan jika badan regulator memberi ijin setelah mereview dokumen perijinan fasilitas disposal dan atau dokumen yang terkait. Secara umum proses yang berlangsung untuk melakukan penutupan *near surface disposal* limbah radioaktif digambarkan pada Gambar 1 <sup>[2]</sup>.



Gambar 1. Diagram proses penutupan untuk fasilitas *near surface disposal* <sup>[2]</sup>

Pada diagram tersebut, kegiatan analisis alternatif *remedial* diperlukan jika fasilitas disposal tidak didesain atau dioperasikan sesuai standar keselamatan yang

berlaku. Secara umum fungsi *cover* pada disposal adalah untuk membatasi air hujan yang masuk dan mengalirkannya keluar disposal, mengontrol lepasan gas yang keluar dari dalam sistem disposal dan bertindak sebagai penghalang (*intrusion barrier*). Untuk dapat berfungsi optimal, pemilihan material *cover* harus memperhatikan parameter kunci seperti permeabilitas, kapasitas atau daya tampung air, elastisitas, dan umur efektif (*time to failure*)<sup>[3]</sup>.

Proses penutupan fasilitas disposal dilakukan dengan menempatkan beberapa lapisan *cover* pada disposal dan pembangunan fasilitas *monitoring* dan perawatan untuk menjamin keselamatan dan kehandalan disposal. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh sistem penutupan fasilitas disposal yaitu tidak mudah tembus air (*impermeability*); limbah, *cover* dan struktur bangunan penghalang didesain untuk menjadi kesatuan bangunan yang kokoh, *solid* dan tahan cuaca ekstrim, longsor maupun kejadian alam seperti gempa (*integrity and resistance to degradation*), dan disain fasilitas disposal harus memiliki fitur untuk memudahkan perawatan dan tindakan perbaikan (*repairability*)<sup>[2]</sup>.

Sejalan dengan prinsip keselamatan dalam panduan keselamatan IAEA maka komponen desain penutupan fasilitas disposal harus dapat memenuhi persyaratan berikut<sup>[4]</sup>:

1. Isolasi limbah
2. Kontrol lepasan
3. Reduksi pengaruh yang dihasilkan oleh lepasan
4. Hindari atau minimasi perawatan fasilitas

Hal ini untuk menjamin keselamatan fasilitas Disposal Demo dalam jangka panjang baik selama masa operasi maupun masa *monitoring* setelah pasca penutupan.

## **METODE**

Metode yang diterapkan adalah metode deskripsi dengan cara penelusuran pustaka, mengumpulkan informasi tentang berbagai tipe *near surface disposal* (NSD) dari negara lain dengan tujuan mendapatkan data untuk mendukung pembangunan Fasilitas Disposal Demo di IPLR Kawasan Nuklir Serpong. Analisis komponen penting berdasarkan data desain konsep Fasilitas Disposal Demo Limbah Radioaktif PTLR.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada fasilitas disposal demo, karena merupakan tipe *near surface disposal* proses penutupan merupakan pemasangan *final cover* untuk kedua pasang kompartemen kembar 1S, 2S, 1D dan 2D. Untuk proses penutupan fasilitas disposal demo dilakukan setelah pengembangan pembangunan kompartemen kembar tahap II selesai dan terisi penuh oleh paket limbah. Dengan asumsi waktu

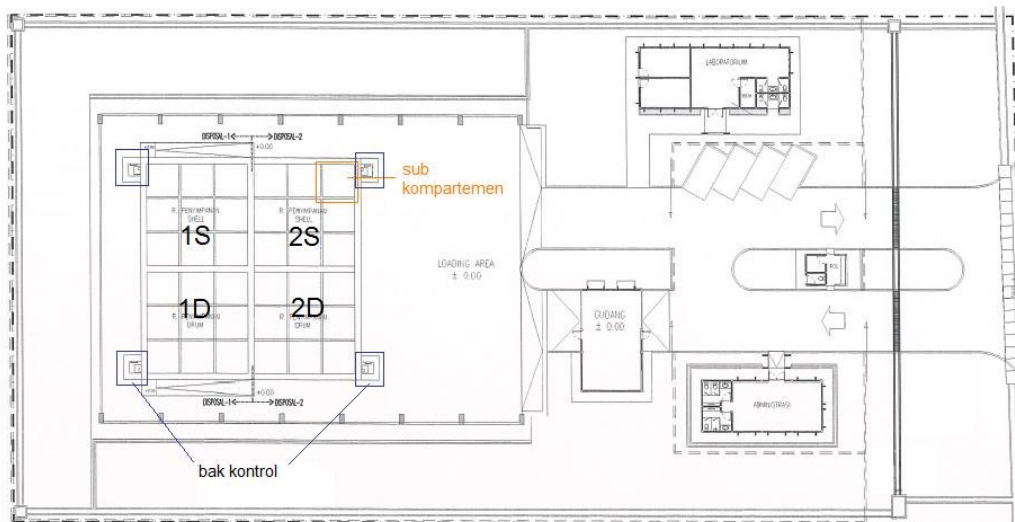
operasi kompartemen kembar tahap I selesai selama 25 tahun, maka proses penutupan baru dimulai dalam jangka waktu yang sama. Selama periode ini tetap dilakukan pengawasan. Pemasangan *multi-layer cover* mulai dari lapisan paling bawah yaitu lapisan drainase sekunder dan geomembran (geotekstil). Bagian tengah merupakan layer proteksi yang memiliki impermeabilitas rendah seperti lempung atau bentonit. Lapisan paling atas *cover* berupa vegetasi dengan lapisan tanah, lapisan batuan kerikil atau batuan dan lapisan drainase primer *cover* yaitu pasir. Untuk dapat mengalirkan air hujan dalam lapisan drainase *cover* (baik primer maupun sekunder), pemasangan dibuat dengan sudut kemiringan (slope) 2-3 %. Sistem drainase *cover* ini terintegrasi dengan sistem drainase luar fasilitas disposal demo<sup>[5]</sup>.

Pada fasilitas Disposal Demo, proses perijinan untuk penutupan fasilitas Disposal hanya dilakukan setelah semua kompartemen terisi penuh oleh paket limbah dan *backfill material*. Penutupan *slab* beton untuk tiap modul sub kompartemen tidak diperlukan ijin karena merupakan bagian dari operasional Fasilitas Disposal Demo. Proses perijinan ini merupakan langkah pertama dari tahap penutupan fasilitas disposal. Proses perijinan harus sejalan dengan peraturan yang berlaku yang ditetapkan oleh Badan Pengawas yaitu BAPETEN. Saat ini peraturan perijinan untuk fasilitas disposal demo mengacu pada Perka BAPETEN No. 3 Tahun 2006 tentang Perizinan Instalasi Nuklir Non Reaktor seperti pada instalasi pengolahan limbah radioaktif (IPLR).

Pengawasan pasca penutupan (*post closure monitoring*) juga dilakukan secara berkala dan dapat menjadi alasan yang cukup jika sewaktu-waktu diperlukan tindakan korektif. Pengawasan secara berkala (*institutional control*) diperlukan selama periode tertentu pasca-penutupan fasilitas disposal untuk<sup>[2]</sup>:

1. menghindari terjadinya intrusi pada fasilitas disposal
2. menghindari lepasan atau bagian dari limbah radioaktif
3. menjamin performa keselamatan
4. melakukan tindakan korektif jika diperlukan

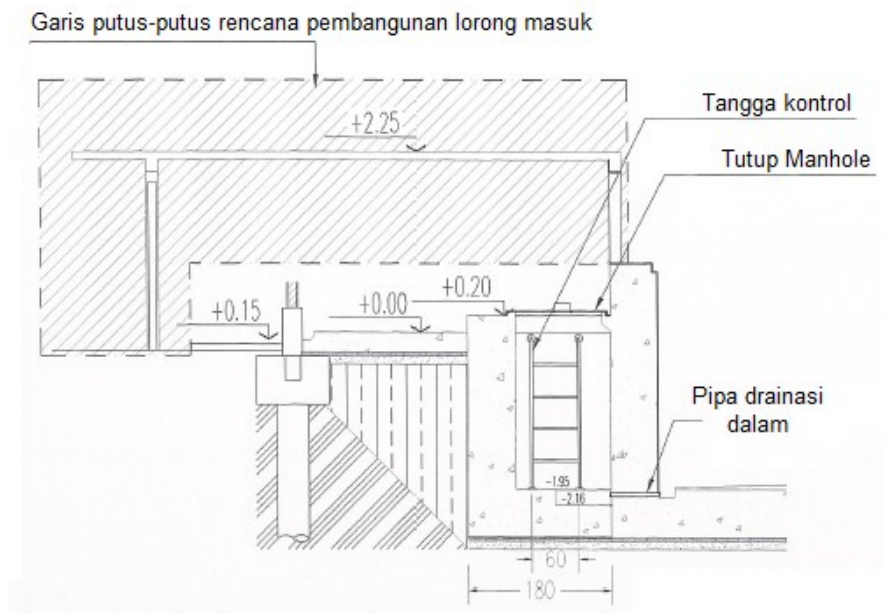
Pada fasilitas Disposal Demo, akses untuk *post closure monitoring* dibuat dalam bentuk bak kontrol sebanyak empat buah dan berada di sudut kompartemen sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2<sup>[6]</sup>. Bak kontrol ini merupakan tempat penampungan air yang masuk pada fasilitas disposal sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3<sup>[6]</sup>. Air yang keluar pada bak penampung (sumpit) dalam masing-masing bak kontrol akan dianalisa kualitas dan kandungannya apakah mengandung lepasan radionuklida atau tidak. Hal ini akan menjadi dasar untuk dilakukannya tindakan korektif jika terjadi lepasan radionuklida. Selain bak kontrol, fasilitas untuk *institutional control* juga berupa empat sumur pantau yang terletak di tiap sisi disposal.



Gambar 2. Layout Fasilitas Disposasi Demo Limbah Radioaktif [6]

Salah satu tahap penting pada pembangunan fasilitas disposasi adalah tahap pasca-penutupan (*post closure phase*). Tahap ini merupakan tahap akhir setelah fasilitas disposasi terisi penuh oleh paket limbah, diberi *backfill material* dan ditutup oleh *cover*. Kegiatan pada tahap pasca penutupan yaitu kegiatan pemantauan (*monitoring*) secara aktif atau pasif fasilitas disposasi selama periode tertentu sehingga perlu dibuatkan jalur akses masuk untuk *monitoring* disposasi. Kegiatan pemantauan ini dilakukan secara berkala dan menjadi program rutin nantinya yang meliputi pemantauan bak kontrol, pemantauan sumbu pantau, dan pemantauan hidrologi di sekitar lokasi disposasi. Untuk pemantauan pada bak kontrol setelah proses penutupan dibuatkan jalur akses berupa lorong. Jalur akses untuk fasilitas Disposasi Demo ini direncanakan dibuat pada setiap bak kontrol. Rencana jalur akses ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Untuk keperluan tindakan korektif dan pemeliharaan, pada fasilitas disposasi demo disediakan ruang perawatan pada gedung laboratorium yang masuk dalam zona terbatas. Dalam gedung tersebut juga terdapat ruang utilitas dan juga ruang dekontaminasi personel. Untuk keperluan pengecekan kualitas material *cover* seperti pemeriksaan kebocoran geomembran atau perbaikan *cover* dilakukan pada *loading area*.



Gambar 3. Bak Kontrol Fasilitas Disposal Demo Limbah Radioaktif<sup>[6]</sup>

## KESIMPULAN

Komponen desain penutupan untuk fasilitas Disposal Demo yaitu *multi-layer cover*, sistem drainase *cover*, fasilitas monitoring dan perawatan disposal. *Multi-layer cover* adalah *final cover* yang akan menutupi seluruh kompartemen disposal yaitu kompartemen 1S, 2S, 1D, dan 2D. Sistem drainase *cover* pada fasilitas Disposal Demo terintegrasi dengan sistem drainase luar. Fasilitas monitoring berupa empat bak kontrol dan empat sumur pantau. Fasilitas perawatan disediakan pada ruang perawatan dalam gedung laboratorium.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. IAEA SSR-5. Disposal of Radioactive Waste. (2011)
- [2]. IAEA Tecdoc 1260. Procedures and Techniques for Closure of Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste. (2001).
- [3]. IAEA Tecdoc 1255. Performance of Engineered Barrier Materials in Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste. (2001).
- [4]. IAEA Tecdoc 1256. Technical Consideration in the Design of Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste. (2001).
- [5]. Hendra Adhi Pratama, Pengkajian Unjuk Kerja Komponen Near Surface

Disposal : Cover Untuk Demoplant Disposal. Prosiding Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR Tahun 2011.

- [6]. PT. BAHANA NUSANTARA. Laporan Akhir Perencanaan Pembangunan Fasilitas Disposal Demo Limbah Radioaktif. (2013)



## **PENGAJIAN UNJUK KERJA WADAH LIMBAH RADIOAKTIF DALAM FASILITAS DISPOSAL SAAT TERKENA DAMPAK KECELAKAAN DAN KEBAKARAN**

**Nurul Efri Ekaningrum**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### **ABSTRAK**

**PENGAJIAN UNJUK KERJA WADAH LIMBAH RADIOAKTIF DALAM FASILITAS DISPOSAL SAAT TERKENA DAMPAK KECELAKAAN DAN KEBAKARAN.** Sistem manajemen limbah dikembangkan menggunakan pendekatan yang ditujukan untuk keselamatan pada semua langkah dan pengoperasian secara keseluruhan. Untuk meminimalkan konsekuensi dari kecelakaan ini, dibuat sejumlah skenario dan telah memasukkan fitur desain untuk mengatasinya. Kemungkinan yang ada pada kondisi kecelakaan dapat difokuskan pada : 1) Dampak setelah kecelakaan, 2) Kecelakaan kebakaran. Tujuan pengkajian ini adalah untuk meninjau pendekatan pemodelan untuk kinerja paket limbah. Laporan ini menunjukkan bagaimana kita mengembangkan kepercayaan dalam konsep unjuk kerja wadah limbah. Kinerja paket limbah dalam simulasi kecelakaan dan efektivitas fitur desain telah ditinjau efektivitas fitur desain dalam memberikan fungsi keselamatannya. Dalam menilai kinerja paket limbah, terutama untuk kecelakaan yang melibatkan dampak kecelakaan atau kebakaran, sejumlah nilai RFs telah disajikan dan dapat digunakan dalam melakukan penilaian konsep keselamatan.

**Kata kunci :** unjuk kerja, wadah limbah, keselamatan, limbah radioaktif, fraksi pelepasan.

### **ABSTRACT**

**PERFORMANCE ASSESSMENT OF RADIOACTIVE WASTE CONTAINERS IN DISPOSAL FACILITY AFFECTED DURING ACCIDENT AND FIRE.** Waste management system is developed using an approach that is aimed at safety on all measures and overall operation . To minimize the consequences of this accident , made a number of scenarios and incorporate design features to overcome . Chances are there on accident conditions can be focused on : 1 ) Impact after the accident , 2 ) fire accident . The purpose of this study is to review the modeling approach for the performance of the waste package . This report shows how we developed the concept of confidence in the performance of the waste container . Waste package performance in the simulation of the accident and the effectiveness of the design features have reviewed the effectiveness of the design features provide safety functions. In assessing the performance of the waste package , especially for accidents involving the impact of an accident or fire , RFS has presented a number of value and can be used in assessing the safety concept.

**Keywords:** performance, waste container, safety, radioactive waste, release fractions.

### **PENDAHULUAN**

Sebuah fasilitas disposal akan menerima dan menempatkan puluhan ribu paket limbah. Hal ini harus diakui bahwa kecelakaan dapat terjadi walaupun semua fungsi keselamatan telah diterapkan. Untuk meminimalkan konsekuensi dari kecelakaan ini, dibuat sejumlah skenario dan telah memasukkan fitur desain untuk mengatasinya. Kemungkinan yang ada pada kondisi kecelakaan dapat difokuskan pada : 1) Dampak setelah kecelakaan, 2) Kecelakaan kebakaran [1].

Telah ditinjau kinerja paket limbah dalam kondisi simulasi kecelakaan dan mengukur efektivitas fitur desain dalam memberikan fungsi keamanan. Hal ini didasarkan pada sejumlah besar tes fisik berbagai wadah limbah dan paket limbah dilengkapi dengan analisi numerik yang rinci menggunakan model validasi dikomputer. Lebih dari 50 tes telah dilakukan pada drum 500 L. Pengujian kebakaran berskala penuh telah dilakukan pada sejumlah kecil paket limbah yang mengandung limbah simulasi yang tidak aktif [1]. Pemahaman unjuk kerja kecelakaan kebakaran wadah limbah dan dampaknya telah ditingkatkan dengan pemodelan simulasi komputer dan data uji skala kecil.

Dalam menilai kinerja paket limbah, terutama untuk dampak kecelakaan dan kecelakaan kebakaran, akan terdapat sejumlah pelepasan fraksi limbah. Sejumlah pelepasan fraksi limbah ini cocok digunakan dalam melakukan penilaian konsep keselamatan.

Laporan ini menunjukkan bagaimana kita mengembangkan kepercayaan dalam konsep unjuk kerja wadah limbah. Pengujian eksperimental dan pemodelan matematika akan terus memperluas pengetahuan dan pemahaman kita. Hal ini pada gilirannya akan membantu untuk mengembangkan konsep desain disposal.

## METODOLOGI

Pengkajian yang dilaksanakan merupakan studi lanjutan dari pengkajian kinerja wadah limbah pada tahun sebelumnya melalui studi literatur yang diperoleh dari berbagai hasil penelitian terkait yang pernah dilaksanakan oleh peneliti Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) maupun peneliti lainnya, melalui tulisan ilmiah yang dipublikasikan di internet, dan dari dokumen IAEA.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Fungsi keamanan untuk unjuk kerja paket limbah saat terjadi kecelakaan adalah untuk mencegah atau meminimalkan pelepasan aktivitas dari wadah limbah dalam dampak kecelakaan atau kecelakaan kebakaran.

### **Kondisi Kecelakaan**

Untuk menjamin keselamatan pekerja dan masyarakat, prinsip pengkajian keselamatan menggambarkan dua pendekatan yang dapat kita gunakan untuk mengembangkan pemahaman dan keselamatan sistem disposal secara umum [1] :

1. *Design Basis Assessment (DBA)* / Pengkajian Dasar Desain  
Pengkajian ini akan menunjukkan bahwa desain akan menahan pelepasan radionuklida, karena kesalahan dalam suatu sistem atau bahaya eksternal. DBA menyediakan sebuah toleransi untuk suatu kesalahan dalam suatu sistem.
2. *Probabilistic Safety Assessment (PSA)* / Pengkajian Probabilitas Keselamatan  
Secara konvensional, PSA didasarkan pada perkiraan terbaik, bukan pada asumsi konservatif.

### **Unjuk Kerja Wadah Limbah terhadap Dampak Kecelakaan dan Kebakaran saat Pengangkutan [1].**

Pengangkutan wadah limbah melalui pemukiman warga atau jalan umum harus mematuhi Peraturan Keamanan Transportasi Zat Radioaktif dari IAEA dan

BAPETEN. Peraturan ini ditujukan untuk meminimalkan paparan radiasi ke pekerja dan anggota masyarakat baik dalam kondisi transportasi normal ataupun saat terjadi kecelakaan. Untuk keselamatan transportasi aktivitas limbah yang lebih tinggi harus digunakan bahan – bahan wadah limbah yang cocok untuk limbah aktivitas tinggi.

Hal terpenting dari peraturan pengangkutan limbah radioaktif adalah penerapan paket atau desain wadah limbah disesuaikan dengan tingkat bahaya pada isi limbah radioaktifnya. Standar unjuk kerja wadah limbah dalam pengangkutan limbah radioaktif dikelompokkan menjadi dua : 1) Pengangkutan limbah pada kondisi normal dan pengangkutan limbah secara rutin (terdapat kecelakaan ringan seperti penyok atau sedikit goresan), 2) Pengangkutan limbah pada kondisi terjadi kecelakaan.

Berbagai tes yang menunjukkan kondisi wadah limbah saat terjadi kecelakaan pengangkutan limbah dapat menahan kerusakan sampai pada tingkat yang diijinkan, tingkat yang diijinkan tergantung dari tingkat bahaya yang ditimbulkan yang tertera pada identitas tiap wadah limbah. Berikut ini tiga tipe uji wadah limbah :

- 1) Uji mekanik, terdiri dari tiga uji jatuh, a) menjatuhkan wadah limbah secara horisontal dari ketinggian 9 meter, b) menjatuhkan wadah limbah pada sebuah palang keras dari ketinggian 1 meter, c) menjatuhkan secara horisontal beban seberat 500 kg dari ketinggian 9 meter ke arah wadah limbah.
- 2) Uji Panas, memberi paparan panas selama 30 menit ke sekeliling wadah limbah dengan suhu rata – rata 800<sup>0</sup> C.
- 3) Uji Perendaman, wadah limbah harus direndam di kedalaman air 15 meter untuk jangka waktu kurang lebih 8 jam.

Setelah melalui tes ini, persyaratan IAEA yang harus dipenuhi adalah bahwa wadah limbah harus dapat mengungkung limbah radioaktif.

### **Unjuk Kerja Wadah Limbah terhadap Dampak Kecelakaan dan Kebakaran dalam Fasilitas Geologi Disposal [1].**

Setelah wadah limbah diterima di Fasilitas Disposal, wadah limbah akan mendapatkan berbagai penanganan sebelum disusun dalam fasilitas disposal. Beberapa diantaranya memiliki potensi untuk menghasilkan kecelakaan yang dapat mengakibatkan wadah limbah terkena dampak kecelakaan atau kebakaran. Pelepasan limbah radioaktif karena kecelakaan tersebut memiliki potensi yang menimbulkan paparan radiasi ke pekerja di fasilitas disposal dan dampaknya dapat meluas ke anggota masyarakat.

Konsekuensi radiologis dari potensi kecelakaan harus memenuhi batas yang ditetapkan dalam HSE (*Health, Safety, Environment*) dan ditetapkan dalam Prinsip Pengkajian Keselamatan Nuklir. Prinsip Pengkajian Keselamatan meletakkan Tujuan Dasar Keselamatan dan Tingkat Dasar Keselamatan untuk paparan radiasi di luar dan di dalam fasilitas baik dalam operasi normal dan dalam potensi kecelakaan dimana limbah radioaktif lepas dari wadah limbah. Desain Fasilitas Disposal harus menyediakan keseimbangan antara keamanan dari paket limbah dan yang disediakan oleh penahan buatan (*engineer barrier*) untuk meminimalkan pelepasan radioaktivitas. Peninjauan dari *safety case* saat operasi mengidentifikasi alur pengaruh dari bagian fasilitas disposal yaitu sistem

penyaringan ventilasi diperkirakan berpotensi adanya pelepasan ke pekerja dan masyarakat. Tabel 1 berikut ini menjelaskan perbandingan parameter Peraturan Pengangkutan dari IAEA dan Kebakaran Fasilitas Geologi Disposal.

**Tabel 1.** Perbandingan Parameter Peraturan Pengangkutan dari IAEA dan Parameter Kebakaran Fasilitas Geologi Disposal [1].

Parameter	Peraturan Pengangkutan dari IAEA	Fasilitas Geologi Disposal	Keterangan
Durasi Kebakaran	30 menit	60 menit	Diasumsikan durasi kebakaran lebih lama karena akses ke bawah tanah ( <i>underground</i> ) dibatasi sehingga lebih sulit untuk diatasi. Kondisi di bawah tanah, bahan-bahannya berpotensi cukup mudah terbakar dan dapat bertahan dalam durasi waktu 1 jam, tetapi hal ini bisa diminimalkan melalui desain fasilitas geologi disposal yang baik.
Suhu Kebakaran	800 °C	1000 °C	Suhu dalam fasilitas geologi disposal diasumsikan lebih tinggi karena pada kondisi luar, logam besar dapat menyerap panas cukup signifikan, sedikit panas yang diserap oleh limbah, dan panas merambat ke bagian terowongan. Api dengan suhu 1000 °C mudah menyebar hingga ke terowongan.

**Pengalaman di Internasional tentang kondisi kecelakaan wadah limbah [1].**

Finlandia dan Swedia lebih maju daripada Inggris dalam hal program disposal geologi untuk *spent fuel*. *Spent fuel* dari Reaktor Nuklir Finlandia rencananya akan ditempatkan dalam fasilitas disposal geologi yang akan dibangun pada kedalaman antara 400 m dan 600 m di batuan kristalin di tapak Olkiluoto. Perusahaan bahan bakar nuklir dan pengelolaan limbah radioaktif Swedia (SKB, Svensk Kambranslehantering AB) dan Posiva Finlandia sedang mengembangkan program bersama desain *canister*.

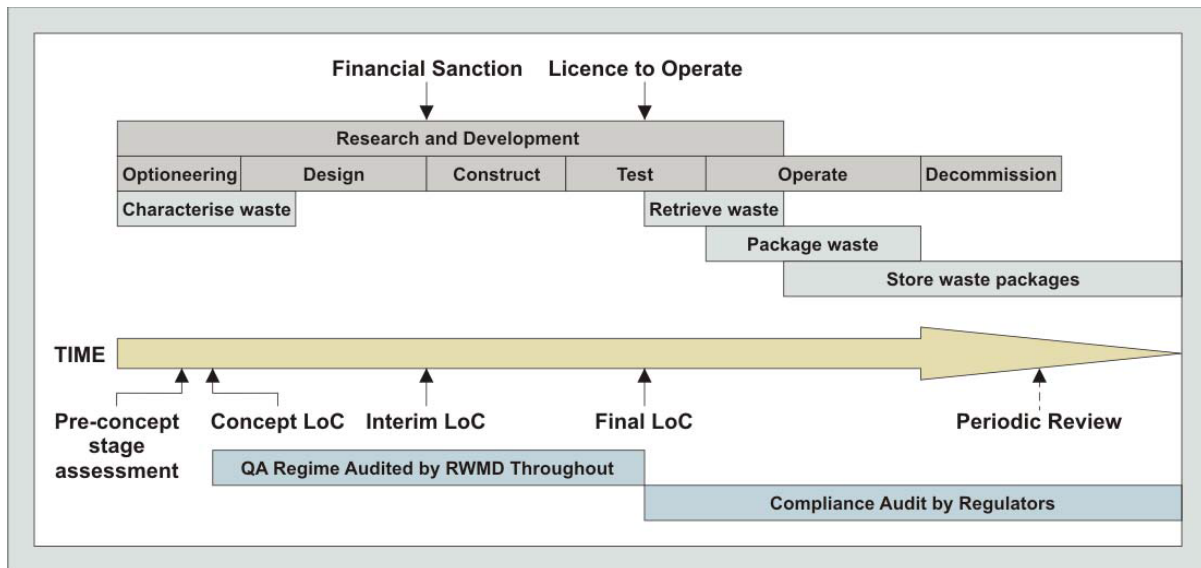
Laporan dari Posiva tentang dampak setelah terjadi kecelakaan mengidentifikasi tiga penanganan dampak kecelakaan : 1) menjatuhkan wadah limbah secara horisontal ke target yang kokoh dari ketinggian 1,5 meter, 2) menggulingkan ditempat yang datar, 3) menggulingkan ke arah sebuah tiang kokoh. Dari ketiga kecelakaan menunjukkan dampak kecelakaan yang tidak parah, kerusakan secara umum hanya sedikit yaitu pada sampel wadah limbah yang digulingkan ke sebuah tiang kokoh. Skenario menjatuhkan wadah limbah

secara vertikal ke target yang kokoh mengasumsikan wadah limbah / *canister* nantinya akan diletakkan di kedalaman 6 meter ke sebuah lubang deposisi (*deposition hole*) selama ditempatkan di bawah tanah. Dalam konsep disposal Posiva untuk wadah limbah yang ditempatkan dalam lubang deposisi akan dilapisi dengan bentonit yang akan bertindak sebagai penyerap/penyangga alami. Oleh karena itu, skenario ini dimodelkan dengan menjatuhkan wadah limbah dengan ketinggian 1,5 meter secara vertikal ke target yang kokoh dengan sebuah perhitungan matematis akan memberikan energi dengan dampak yang sama dengan keadaan yang sesungguhnya.

Posiva Finlandia menjelaskan pemodelan wadah limbah untuk kejadian kebakaran saat pengangkutan. Wadah limbah yang disertai perisai radiasi dapat menahan api secara signifikan lebih dari 30 menit seperti dalam persyaratan dalam Peraturan Pengangkutan dari IAEA. Laporan kejadian kebakaran di Posiva mengidentifikasi semua bahan yang mudah terbakar untuk penanganan wadah limbah dan kendaraan, termasuk diesel, ban, dan perisai neutron. Semua bahan diasumsikan terbakar secara terus-menerus selama 1 jam. Sistem penempatan wadah limbah di Posiva yang belum dikembangkan secara rinci, maka skenarionya diidentifikasi sebagai kecelakaan dengan batasan sebagai api bersuhu  $1000^{\circ}\text{C}$  berdurasi selama 1 jam untuk wadah limbah disposal dan ILW/LLW paket limbah.

#### **Unjuk Kerja Paket Limbah terhadap Dampak Kecelakaan [1]**

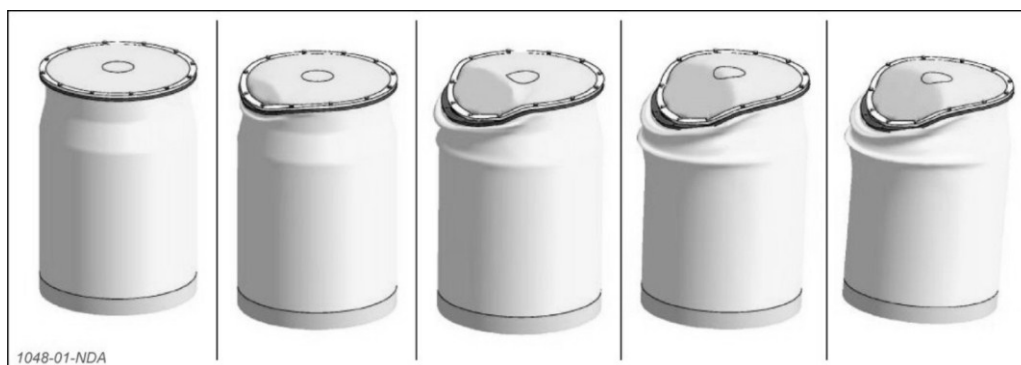
Bagian ini pemahaman kita tentang bagaimana paket limbah menjalankan fungsinya selama terkena dampak kecelakaan. Diambil kesimpulan dari hasil pengujian eksperimental dan pemodelan computer. Berdasarkan pemahaman ini dan penggunaan asumsi sederhana, kami menyajikan perkiraan RFs (Release Fractions) pada paket limbah setelah terkena dampak kecelakaan. RFs ini disajikan untuk digunakan dalam penilaian keamanan repositori. Paket limbah yang saat ini terdapat dalam penyimpanan sementara memiliki LoC (*Letter of Compliance*) yang masih berlaku. LoC ini berguna untuk memberikan keyakinan pada semua pemangku kepentingan bahwa manajemen paket limbah pada masa yang akan datang telah diperhitungkan sebagai bagian integral dari pembuatan dan pengembangan repositori. Gambar 1 menjelaskan Bagan Proses Penilaian LoC (*Letter of Compliance*) [2].



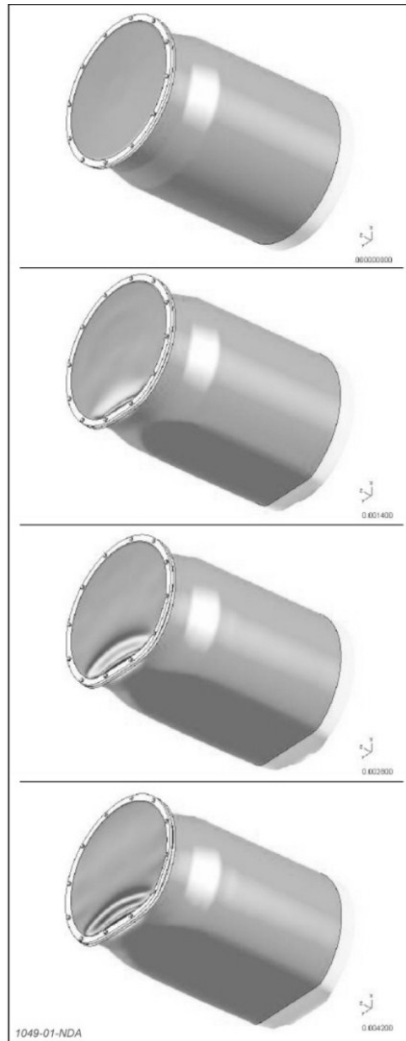
**Gambar 1.** Bagan Proses Penilaian LoC (*Letter of Compliance*) [2]

Ketika paket limbah terkena dampak kecelakaan, paket limbah tersebut menyerap energi kinetik. Dalam percobaan seperti penjelasan di atas, paket limbah dijatuhkan secara vertikal dari ketinggian tertentu ke arah sebuah target yang kokoh, karena target diasumsikan sebagai bidang yang tidak menyerap energi kinetik, maka energi kinetik akan diserap oleh wadah limbah dan bentuk limbah.

Beberapa contoh perubahan bentuk dari unjuk kerja paket limbah saat terkena dampak kecelakaan dengan pemodelan di komputer, ditunjukkan dengan gambar berikut. Gambar 2 menunjukkan prediksi perubahan *knockback* dari drum 500 L yang dijatuhkan secara vertikal dari ketinggian 25 m ke target kokoh yang datar. Gambar 3 menunjukkan prediksi perubahan *knockback* dari drum 500 L terkena dampak dijatuhkan dari sisi samping. Dari pemodelan menggunakan komputer, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 menunjukkan prediksi perubahan setelah terkena dampak kecelakaan dari tipe *disposal canister* (suatu tabung disposal HLW), paket limbah UILW (*Unshielded ILW*) (kotak 3 m<sup>3</sup>), dan paket limbah SILW (*Solidified ILW*) (kotak 4 m<sup>3</sup>).



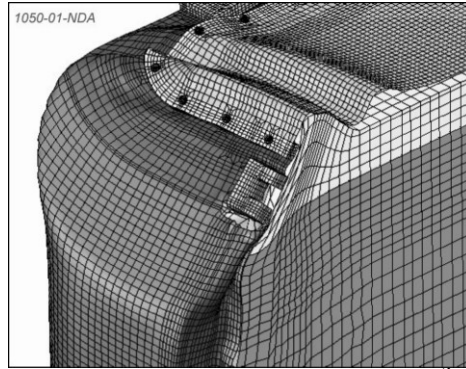
**Gambar 2.** Prediksi perubahan *knockback* dari drum 500 L yang dijatuhkan secara vertikal dari ketinggian 25 m ke target kokoh yang datar [1].



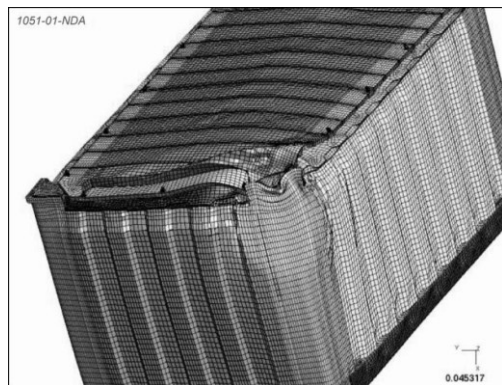
**Gambar 3.** Prediksi perubahan *knockback* dari drum 500 L terkena dampak dijatuhkan dari sisi samping [1].



**Gambar 4.** Prediksi perubahan setelah terkena dampak kecelakaan dari penampang melintang tipe tabung disposal (suatu tabung disposal HLW) dijatuhkan dari ketinggian 8 meter [1].



**Gambar 5.** Prediksi perubahan paket limbah kotak 3 m<sup>3</sup> UILW (*Unshielded ILW*) dijatuhkan dari ketinggian 25 meter [1].



**Gambar 6.** Prediksi perubahan paket limbah kotak 4 m SILW (*Solidified ILW*) dijatuhkan dari ketinggian 15 meter [1].

**Tabel 2.** RFs untuk menilai konsekuensi dampak kecelakaan [1].

Paket limbah		RFs tertinggi	RFs yang direkomendasikan
<i>Disposal Canister</i>		-	0
<b>Drum 500 L dijatuhkan dari 25 m</b>	Limbahnya homogen	$3,77 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
	Limbahnya heterogen	$7,80 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$
	Drum dengan nat gelang	$1,74 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
<b>Kotak 3 m<sup>3</sup> dijatuhkan dari 25 m</b>	-	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
<b>Drum 3 m<sup>3</sup> dijatuhkan dari 25 m</b>	-	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
<b>Kotak MBGWS (<i>Miscellaneous Beta Gamma Waste Store</i>)</b>	-	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
<b>Kotak 2 m dijatuhkan dari 10 m</b>	-	$4,58 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
<b>Kotak 4 m dijatuhkan dari 10 m</b>	-	$1,69 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$



<b>Kotak WAGR</b> (Windscale Advanced Gas-cooled Reactor) dijatuhkan dari 10 m	-	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
--	---	-------------------	-------------------

**Unjuk Kerja Paket Limbah terhadap Dampak Kebakaran [1]**

Bagian ini pemahaman kita tentang bagaimana paket limbah menjalankan fungsinya selama terjadi kebakaran atau di bawah kondisi panas yang ekstrim. RFs untuk paket limbah yang dihasilkan dari kecelakaan kebakaran didefinisikan sebagai jumlah bahan radioaktif melewati pembatas dalam wadah limbah yang dinyatakan sebagai bagian dari aktivitas bentuk limbah. Pelepasan tersebut merupakan kombinasi dari 2 komponen : energi panas yang diserap oleh bentuk limbah (*wasteform*) dalam kebakaran dan perubahan bentuk limbah tersebut yang menimbulkan aktivitas pergerakan. Untuk menghitung pelepasan dari paket limbah yang terkena kecelakaan kebakaran, NDA UK (*Nuclear Decommissioning Authority, UK*) telah menetapkan enam kelompok volatilitas, ditunjukkan pada Tabel 3. Unsur-unsur yang akan diukur sebagai data RFs diberi garis bawah seperti pada Tabel 8.

Tabel 3. Elemen-elemen dalam Golongan Volatil [1]

Gol Volatil	Elemen
I	Ar, As, At, Br, C, Cl, F, H, He, Hg, I, Kr, N, Ne, O, P, Rn, S, Se, Xe
II	B, Bi, Cd, <u>Cs</u> , Fr, Ge, In, K, Li, Na, Os, Po, Rb, Re, Sb, Sn, Tc, Te, Tl
III	Ag, Ba, Be, Ga, Mo, Pb, Ra, <u>Ru</u> , W, Zn
IV	Al, Au, Ca, <u>Co</u> , Cr, Cu, <u>Eu</u> , Fe, La, Mg, Mn, Ni, Pd, <u>Sr</u> , <u>U</u> , V
V	Ac, <u>Am</u> , Bk, Ce, Cf, Cm, Es, Fm, Lr, Md, Nd, No, Np, <u>Pu</u> , Rh, Si, Y, Zr
VI	Db, Dy, Er, Gd, Hf, Ho, Ir, Lu, Nb, Pa, Pm, Pr, Pt, Rf, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, Ti, Tm, Yb

RFs dari radionuklida pada masing-masing golongan volatil diukur dengan menggunakan sebuah post-prosesor pada suhu kebakaran 1000 °C selama 1 jam. Perkiraan RFs untuk tipe-tipe paket limbah berikut terjadi pada suhu 1000 °C selama 1 jam, ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Perkiraan RFs untuk tipe-tipe paket limbah pada suhu 1000 °C selama 1 Jam [1].

Gol. Volatil	Tipe-tipe Paket Limbah								
	<i>Disposal Canister</i>	Drum 500 L Limbahnya homogen	Drum 500 L Limbahnya heterogen	Drum 500 L dengan nat	Kotak 3 m <sup>3</sup>	Drum 3 m <sup>3</sup>	Kotak MBGWS	Kotak 2 m dan 4 m	Kotak WAGR
I	0	1	1	1	1	1	1	1	1
II	0	$3 \times 10^{-2}$	$9 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^2$	$7 \times 10^{-4}$	$7 \times 10^{-4}$	$7 \times 10^{-4}$
III	0	$4 \times 10^{-3}$	$9 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^3$	$7 \times 10^{-4}$	$7 \times 10^{-4}$	$7 \times 10^{-4}$
IV	0	$1 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$	$6 \times 10^{-5}$	$6 \times 10^{-4}$	$6 \times 10^{-5}$	$6 \times 10^{-5}$	$6 \times 10^{-5}$
V	0	$1 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$
VI	0	$1 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$

RFs radionuklida telah ditentukan untuk masing-masing golongan volatil. Hasil RFs secara umum nilainya kecil, kecuali pada golongan volatil I, dimana semua radionuklida diasumsikan akan terlepas.

## KESIMPULAN

Kajian keselamatan wadah limbah untuk limbah tingkat rendah dan sedang adalah suatu proses yang rumit yang melibatkan asumsi tentang konseptual pemodelan yang cocok digunakan dan data yang diperlukan untuk mendukung pemodelan tersebut. Berdasarkan informasi di atas dan analisis rinci yang disajikan dalam data RFs tersebut dianjurkan untuk digunakan dalam penilaian fasilitas disposal secara umum.

Kinerja paket limbah dalam simulasi kecelakaan telah ditinjau dan telah mengkonfirmasi efektivitas fitur desain dalam memberikan fungsi keselamatan. Dalam menilai kinerja paket limbah, terutama untuk kecelakaan yang melibatkan dampak kecelakaan atau kebakaran, sejumlah nilai RFs telah disajikan dan dapat digunakan dalam melakukan penilaian konsep keselamatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] NUCLEAR DECOMMISSIONING AUTHORITY (NDA) Report no. NDA/RWMD/032, *Geological Disposal Waste Package Accident Performance Status Report*, UK, 2010.
- [2] W&NM/PP/011, *NDA Waste & Nuclear Materials Unit – Position Paper*, NDA, Januari 2008, UK.
- [3] SULLIVAN, T., *Overview of the Waste Container and Waste Package Performance as it relates to Safety Assessment of Low and Intermediate-Level Radioactive Waste Disposal*. IAEA Co-ordinated Research Programme, June, 2004, New York, USA.
- [4] IAEA-Safety Standards Series No. WS-G-6.1, *Storage of Radioactive Waste*, IAEA in Austria, November 2006, STI/PUB/1254.
- [5] IAEA-TRS No. 412, *Scientific And Technical Basis For The Near Surface Disposal Of Low And Intermediate Level Waste*, IAEA, December 2002, Austria, STI/DOC/010/412.
- [6] SULLIVAN, T., De LEMOS, F., *Distributed Container Failure Models for The DUST-MS Computer Code*, United States Departement of Energy, New York, USA, 1998.

## PENGAJIAN KESELAMATAN PENYIMPANAN LIMBAH *TENORM* DARI PERTAMBANGAN TIMAH DENGAN PERANGKAT LUNAK *PRESTO*

Sucipta, Dadang S, Arimuladi SP, Hendra AP, Nurul Efri E.

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

### ABSTRAK

**PENGAJIAN KESELAMATAN PENYIMPANAN LIMBAH *TENORM* DARI PERTAMBANGAN TIMAH DENGAN PERANGKAT LUNAK *PRESTO*.** Limbah *Technically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM)* dari industri/pertambangan mineral (khususnya timah), wajib dikelola untuk menjaga kualitas lingkungan hidup dan keselamatan/kesehatan masyarakat. Langkah-langkah pengelolaan yang wajib dilakukan meliputi identifikasi, inventarisasi, pengangkutan, *on-site* dan atau *off-site treatment*, pewadahan, penyimpanan sementara dan disposal. Limbah *TENORM* perlu dikelola dengan baik karena volumenya cukup besar dan akumulasi aktivitasnya cukup besar sehingga berpotensi mencemari lingkungan hidup. Diperlukan pengembangan sistem pengelolaan yang memadai untuk pemecahan masalah tersebut khususnya mengenai disposal dan keselamatannya. Pengkajian keselamatan ini dilakukan dalam rangka penyusunan konsep disposal yang tepat sehingga masalah limbah *TENORM* dapat ditangani dengan baik. Kecenderungan konsentrasi Cs-137, K-40, Ra-226 dan Th-228 dalam *slag* di lokasi timbunan *slag* relatif jauh di atas ambang batas yang harus dilakukan intervensi. Berdasarkan perhitungan dengan perangkat lunak *PRESTO* 4.2, hanya radionuklida K-40 dan Ra-226 dengan konsentrasi  $1,0 \times 10^{-4}$  Bq/m<sup>3</sup> muncul pada air sumur berjarak terjauh 30 m. Dengan mempertimbangkan batas ambang keselamatan dosis individual pertahun sebesar 5 mSv per individu (5.000  $\mu$ Sv), dosis yang diterima populasi di sekitar tapak tercemar masih berada di bawah batas ambang keselamatan sampai yang maksimum besarnya hanya 0,01  $\mu$ Sv/tahun (0,001%).

**Kata kunci :** pengkajian keselamatan, disposal, limbah *TENORM*, pertambangan timah.

### ABSTRACT

**SAFETY ASSESSMENT OF DISPOSAL FOR *TENORM* WASTE FROM TIN MINING USING *PRESTO* SOFTWARE.** *Technically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM)* waste, mainly originated from mineral mining (especially tin), must be managed to maintain the environment quality and safety/health of the public. Many steps of the management must be done includes inventory, identification, transportation, *on-site* and or *off-site treatment*, packaging, storage and disposal. *TENORM* waste shall be managed well because the volume and the activity of the waste are significant to contaminate the environment. It need developing an appropriate management system as an effort to solve the problem especially regarding the disposal and safety. The safety assessment was conducted to obtain a proper concept of disposal, so that the problem of *TENORM* waste could be solved well. The concentration of Cs-137, K-40, Ra-226 and Th-228 in the slag tends to be relatively higher than maximum permissible concentration that must be conducted for intervention. Based on the calculation using *PRESTO* 4.2 software, there were only two type of radionuclides exist as K-40 and Ra-226, with the concentration  $1,0 \times 10^{-4}$  Bq/m<sup>3</sup> in the water well on 30 m distance. Taking into account the safety threshold dose of 5 mSv per individual per year (5,000  $\mu$ Sv), the dose received by the population around the site contamination is still below the safety threshold up to 50 years of only 0.01  $\mu$ Sv / year (0.001% of the limit safety margin).

**Keywords :** safety assessment, disposal, *TENORM* waste, mining.

### PENDAHULUAN

Menurut Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 33 Tahun 2007<sup>[1]</sup> dan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2009<sup>[2]</sup>, *Technologically Enhanced*

*Naturally Occurring Radioactive Material* selanjutnya disingkat *TENORM* adalah zat radioaktif alam yang dikarenakan kegiatan manusia atau proses teknologi terjadi peningkatan paparan potensial jika dibandingkan dengan keadaan awal. Setiap orang atau badan yang karena kegiatannya dapat menghasilkan mineral ikutan berupa *TENORM* harus melaksanakan intervensi terhadap terjadinya paparan yang berasal dari *TENORM* melalui tindakan remedial. Intervensi adalah setiap tindakan untuk mengurangi atau menghindari paparan atau kemungkinan terjadinya paparan kronik dan paparan darurat. Pelaksanaan intervensi dimaksud hanya diberlakukan untuk *TENORM* dan *NORM* dengan konsentrasi radioaktif melebihi tingkat intervensi. Tingkat Intervensi adalah tingkat dosis yang dapat dihindari dengan melakukan tindakan protektif atau remedial untuk situasi paparan kronik atau paparan darurat.

Pada umumnya konsentrasi *NORM* dalam bahan alamiah adalah rendah, namun demikian konsentrasi yang relatif tinggi bisa ditemukan akibat dari aktivitas manusia, sebagai contohnya adalah *TENORM* dalam pertambangan mineral. Proses pengolahan bahan mentah dalam tambang mineral dapat meningkatkan konsentrasi radionuklida sehingga mencapai tingkat radiasi yang perlu diperhatikan dalam penanganan, penyimpanan, pengangkutan dan peralatan proses. *NORM/TENORM* meliputi unsur uranium, thorium, radium, radon dan produk anak luruhnya<sup>[3]</sup>.

*TENORM* memiliki potensi sebagai penyebab paparan secara eksternal dan internal terhadap pekerja. Selama operasi produksi tambang normal, bahaya radiasi hanya berasal dari emisi gamma *TENORM* yang terkumpul di dalam lokasi penambangan. Lokasi tambang tersebut biasanya terbuka selama operasi, maupun dalam masa pemeliharaan, maka personil akan dapat bersentuhan langsung dengan *TENORM*. Kondisi demikian akan menyebabkan paparan eksternal dan internal. Paparan internal oleh *TENORM* dapat terjadi secara injeksi atau inhalasi ketika ada pengerjaan pada atau di dalam fasilitas dan peralatan, penanganan limbah dan benda-benda terkontaminasi permukaan, serta selama pembersihan peralatan terkontaminasi. Paparan internal juga dapat terjadi akibat inhalasi debu udara yang mengandung radionuklida alam dan inhalasi gas radon dan thoron.

Berdasarkan rekomendasi yang ditetapkan dalam *Basic Safety Standard* yang dikeluarkan oleh Badan Tenaga Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency = IAEA*)<sup>[3]</sup>, apabila konsentrasi radionuklida dalam material lebih dari atau sama dengan 1 Bq/g dan laju paparan gamma dari material tersebut lebih dari atau sama dengan 50  $\mu$ R/jam, maka material tersebut dinyatakan radioaktif. Menurut Perka BAPETEN Nomor 9 Tahun 2009<sup>[2]</sup>, tingkat intervensi diberlakukan dengan ketentuan berikut, yaitu jumlah atau kuantitas *TENORM* paling sedikit 2 (dua) ton, dan tingkat kontaminasi sama dengan atau lebih tinggi dari 1 Bq/cm<sup>2</sup> (satu becquerel persentimeter persegi) dan/atau konsentrasi aktivitas sebesar 1 Bq/gr (satu becquerel pergram) untuk tiap radionuklida anggota deret uranium dan thorium; atau 10 Bq/gr (sepuluh becquerel pergram) untuk kalium.

Pengelolaan limbah *TENORM* dilaksanakan agar tidak mencemari lingkungan dan membahayakan masyarakat. Beberapa langkah pengelolaan yang harus dilakukan meliputi inventarisasi, identifikasi, pengangkutan, *on-site* atau *off-site treatment*, pewadahan, penyimpanan sementara dan penyimpanan lestari

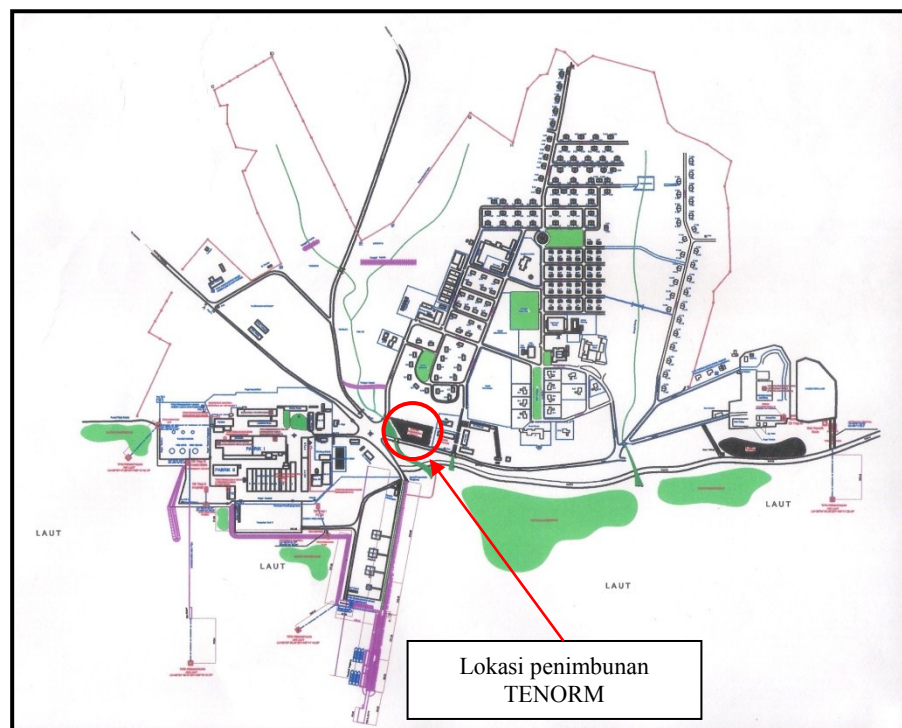
(*landfill/disposal*). Beberapa negara maju telah berpengalaman dalam melakukan pengelolaan limbah *TENORM*, mulai dari inventarisasi hingga pengoperasian *landfill*<sup>[4-14]</sup>. Pengalaman dari negara-negara maju tersebut bisa dikaji untuk dikembangkan dan diterapkan di Indonesia.

Dengan konsep pengelolaan limbah *NORM* tersebut maka diharapkan masalah limbah *NORM* dapat ditangani dengan baik, dan akhirnya setelah ditemukan konsep yang optimal akan bisa diterapkan di masa mendatang untuk mendukung program industri nasional yang dapat menyejahterakan masyarakat.

## METODE

Pengkajian keselamatan penyimpanan limbah *TENORM* dilaksanakan melalui studi pustaka dan studi lapangan (kasus). Untuk itu pada kesempatan ini studi lapangan dilakukan pada salah satu perusahaan tambang timah yang beroperasi di P. Bangka.

Lokasi penimbunan *TENORM* milik PT. Timah Bangka berada di daerah Muntok, Bangka Barat, pada koordinat sekitar 02° 04' 20,8" LS dan 105° 10' 48,9" BT (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi penimbunan *TENORM* dalam kawasan PT. Timah Bangka di Muntok<sup>[15]</sup>.

Pengkajian keselamatan penyimpanan limbah *TENORM* ini dilaksanakan secara deskriptif dengan ruang lingkup dan langkah-langkah meliputi identifikasi dan inventarisasi lokasi yang tercemar *TENORM*, identifikasi sumber *TENORM*, pengukuran konsentrasi *TENORM* dan pengkajian keselamatan penyimpanan dengan perangkat lunak PRESTO.

Perlengkapan yang digunakan dalam pengkajian keselamatan penyimpanan limbah TENORM adalah sebagai berikut : *Surveymeter model 19 Micro R meter with NaI(Tl) detector* Ludlum-USA, *Gamma Spectrometer Portable* (Atomtec), *stopwatch, pinched and SS disc*, kamera digital untuk dokumentasi, *soil sampler, PRESTO Software USA, Personal Computer, plastic bag* dengan kapasitas 2 liter, peralatan pelindung diri (*half face respirator, ear plug, goggles*), *chemical protective clothing (latex/rubber glove, rubber work boots with steel toe and shank, coverall)*, *hand-tools (e.g. spade, hoe, pail and wheellbarrow)*, *Global Positioning System (GPS)*, peta geologi and peta rupa bumi.

Beberapa data primer dan sekunder tentang limbah TENORM dan data tapak/lingkungan industri/tambang timah ditelusuri sebagai bahan masukan untuk pengkajian keselamatan. Beberapa data asumsi juga digunakan dalam pengkajian ini untuk melengkapi data yang belum tersedia, dengan pendekatan kesesuaian terhadap kondisi limbah, disain, tapak dan lingkungan. Seluruh data yang digunakan telah disusun secara sistematis seperti disajikan dalam Lampiran 1. Pengkajian keselamatan penyimpanan limbah TENORM ini dilaksanakan dengan sistematis yang mengacu metode ISAM [16].

Rancangan dan langkah-langkah yang dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut: 1). Penelusuran dan pengumpulan metode pengkajian keselamatan penyimpanan limbah TENORM. 2). Data dan informasi tentang limbah TENORM, tapak dan disain ditelusuri dan dikumpulkan dari berbagai dokumen, laporan hasil penelitian/survey dan kajian lapangan. 3). Data limbah TENORM, data tapak/lingkungan dan data desain dievaluasi dan digunakan sebagai dasar pemilihan dan penyusunan konsep pengkajian keselamatan penyimpanan limbah TENORM. 4). Evaluasi hasil dan penyusunan laporan.

Pada penelitian ini digunakan salah satu model pengkajian keselamatan yang sudah tersedia yaitu *Prediction of Radiation Effects from Shallow Trench Operation – Environmental Protection Agency – Critical Population Group/General Population (PRESTO-EPA-CPG/POP)* [17].

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Morfologi asli kawasan penimbunan TENORM berupa dataran yang berbatasan dengan punggung rendah batuan granit (di sebelah timur dan utara) dan dataran pantai di sebelah barat. Secara geologi, lokasi tempat penimbunan TENORM tersusun oleh batulempung-batupasir yang termasuk Formasi Tanjunggending yang berumur Trias awal. Tidak ditemukan singkapan batuan di dalam kawasan penimbunan TENORM. Penggunaan lahan daerah sekitar lokasi penimbunan berupa kawasan industri PT. Timah, semak dan pantai.

Lokasi penimbunan relatif dekat dengan kawasan industri, permukiman, pantai, dan jalan. TENORM ditimbun secara terbuka di atas lahan tanah. Lahan kawasan penimbunan relatif berbentuk segilima (ukuran lebih kurang 150 m x 150 m) yang dibagi dua sehingga masing-masing blok berbentuk persegi panjang yang dipisahkan oleh pagar. Masing-masing blok digunakan untuk timbunan *slag* (Gambar 2 dan 3).



Gambar 2. Timbunan *slag* di kawasan PT. Timah, Muntok, Bangka Barat

Di bagian depan (dekat pintu masuk) kawasan penimbunan diberi papan nama lokasi penimbunan *slag*, kawasan dibatasi secara fisik dengan pagar beton dan dilengkapi dengan pintu dan kunci gembok. Di bagian tepi kawasan dilengkapi dengan saluran air, *sand trap* dan saluran buangan air ke arah saluran sungai di sebelah barat yang mengalir ke laut.



Gambar 3. Lokasi timbunan *slag* yang terdiri dari 2 blok dengan batas pemisah berupa pagar.

Hasil pengukuran konsentrasi TENORM dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Data dari Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan nilai konsentrasi rata-rata Cs-137 di lokasi 1 dan 2 sebesar 9,09 kBq/kg. Rata-rata konsentrasi Ka-40 di lokasi 1 dan 2 sebesar 14,7 kBq/kg. Rata-rata konsentrasi Ra-226 dalam *slag* di lokasi 1 dan 2 sebesar 4,12 kBq/kg. Konsentrasi rata-rata Th-228 di lokasi 1 dan 2 sebesar 9,73 kBq/kg. Berat material *slag* yang ditimbun sampai dengan akhir tahun 2013 adalah sebesar 56.908.604 kg. Jumlah aktivitas masing-masing radionuklida dalam timbunan adalah Cs-137 sebesar 517.299.210.360 Bq ( $5,2 \times 10^{11}$  Bq), K-40 sebesar 836.556.478.800 Bq ( $8,4 \times 10^{11}$  Bq), Ra-226 sebesar 234.463.448.480 Bq ( $2,4 \times 10^{11}$  Bq) dan Th-228 sebesar 553.720.716.920 Bq ( $5,5 \times 10^{11}$  Bq).

Perhitungan dan simulasi menggunakan *software* PRESTO 4.2 ini dilakukan untuk menggambarkan kondisi pada jarak ‘sumur hipotetik’ 30 m. Penentuan jarak antara tapak tercemar dan sumur hipotetik sejauh 30 m didasarkan atas hasil simulasi yang menunjukkan bahwa kemunculan radionuklida dalam air sumur paling jauh terdapat pada jarak 30 m. Adapun hasilnya masing-masing dapat dilihat pada Gambar 4, 5, 6, 7 dan 8.

**Tabel 1. Hasil Pengukuran TENORM di PT. Timah, Muntok (Lokasi 1, tempat penyimpanan *Slag* -1)**

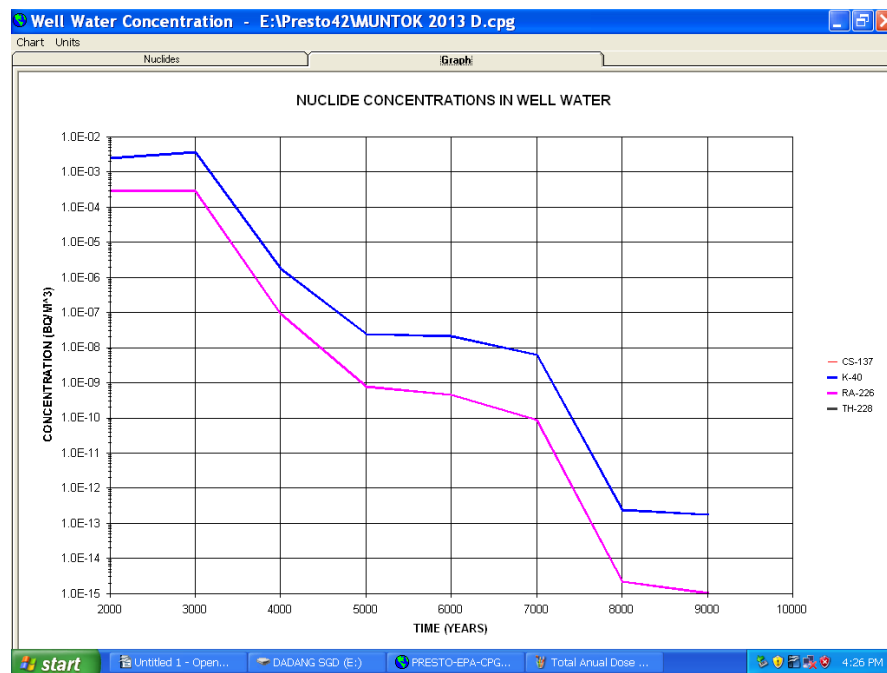
No	Koordinat Lokasi	Elevasi (m)	Laju Dosis ( $\mu\text{Sv/h}$ )		Konsentrasi Aktivitas (kBq/kg)				Aktivitas Efektif NORM (kBq/kg)
			Survey-meter	Austral RAD	Cs-137	K-40	Ra-226	Th-228	
1	S : 02° 04' 20.8" E : 105° 10' 48.8"	32	14	17,38	9,4	15,1	4,2	10,0	18,6 ± 4,1
2	S : 02° 04' 20.3" E : 105° 10' 49.3"	33	14	15,15	7,8	12,4	3,5	8,3	15,5 ± 3,4
3	S : 02° 04' 21.0" E : 105° 10' 49.2"	35	15	15,73	9,7	15,9	4,4	10,3	19,2 ± 4,2
4	S : 02° 04' 21.7" E : 105° 10' 49.2"	27	15	17,38	9,5	15,0	4,3	10,2	18,8 ± 4,1
5	S : 02° 04' 22.3" E : 105° 10' 50.0"	27	16	20,90	10,3	17,0	4,7	11,0	20,5 ± 4,5
6	S : 02° 04' 22.4" E : 105° 10' 50.6"	29	15	16,20	9,4	15,9	4,4	10,2	19,2 ± 4,2
7	S : 02° 04' 21.5" E : 105° 10' 50.7"	29	12	16,00	8,0	12,5	3,5	8,4	15,6 ± 3,4
8	S : 02° 04' 21.3" E : 105° 10' 50.2"	29	14	16,32	8,8	14,2	4,0	9,4	17,5 ± 3,8
9	S : 02° 04' 20.5" E : 105° 10' 50.4"	27	13	15,85	9,1	14,5	4,1	9,8	18,2 ± 4,6

**Tabel 2. Hasil Pengukuran TENORM di PT. Timah, Muntok (Lokasi 2, tempat penyimpanan *Slag* -2)**

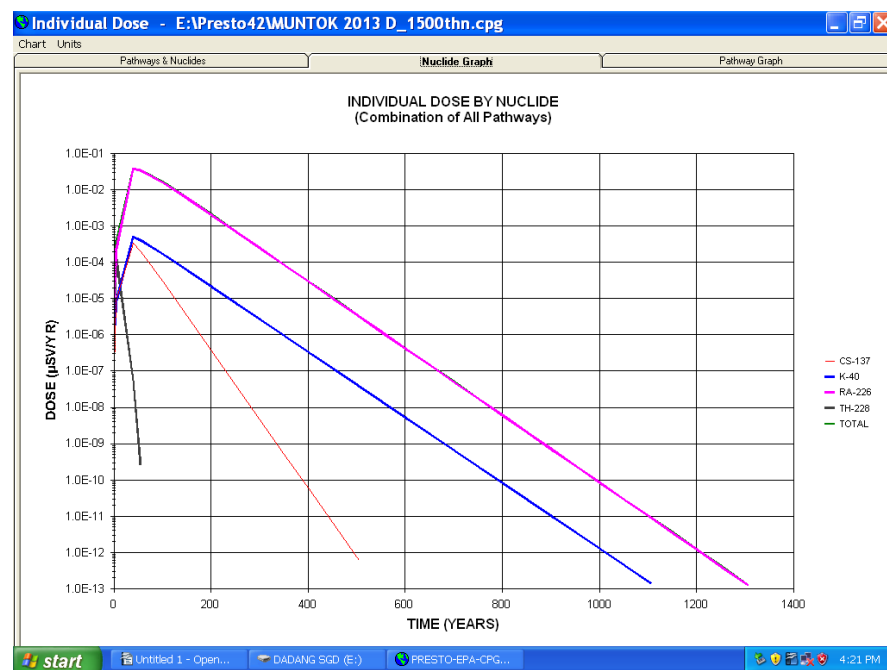
No	Koordinat Lokasi	Elevasi (m)	Laju Dosis ( $\mu\text{Sv/h}$ )		Konsentrasi Aktivitas (kBq/kg)				Aktivitas Efektif of NORM (kBq/kg)
			Survey-meter	Austral RAD	Cs-137	K-40	Ra-226	Th-228	
10	S : 02° 04' 23.3" E : 105° 10' 52.2"	26	10	11,74	6,5	10,9	3,0	6,8	12,9 ± 2,8
11	S : 02° 04' 22.8" E : 105° 10' 52.5"	26	12	12,5	8,2	13,1	3,7	8,6	16,1 ± 3,5
12	S : 02° 04' 22.4" E : 105° 10' 52.1"	24	11	13,97	7,9	12,9	3,6	8,0	15,1 ± 3,3
13	S : 02° 04' 22.0" E : 105° 10' 51.3"	22	12	14,09	7,7	12,6	3,5	8,1	15,2 ± 3,3
14	S : 02° 04' 22.6" E : 105° 10' 51.2"	2	12,5	12,45	8,3	13,8	3,8	8,7	16,4 ± 3,6

Pada Gambar 4 ditunjukkan bahwa pada sumur yang berjarak 30 m, radionuklida yang muncul hanya K-40 dan Ra-226 dengan orde konsentrasi masing-masing  $1,0 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$  dan  $1,0 \times 10^{-4} \text{ Bq/m}^3$  pada tahun ke 3.000, dan menurun hingga orde  $1,0 \times 10^{-13} \text{ Bq/m}^3$  dan  $1,0 \times 10^{-15} \text{ Bq/m}^3$  pada tahun ke 9.000. Berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas di Lingkungan [18], dari 2 jenis radioanuklida tersebut yang nilainya tercantum hanyalah Ra-226 sebesar  $1 \times 10^{-4} \text{ Bq/m}^3$ , sehingga konsentrasi dalam badan air tanah (air sumur) sebesar  $1,0 \times 10^{-4} \text{ Bq/m}^3$  itu masih sangat jauh di bawah nilai batas yang diperbolehkan (sekitar  $1/10^7$  dari batas maksimum yang diperbolehkan).

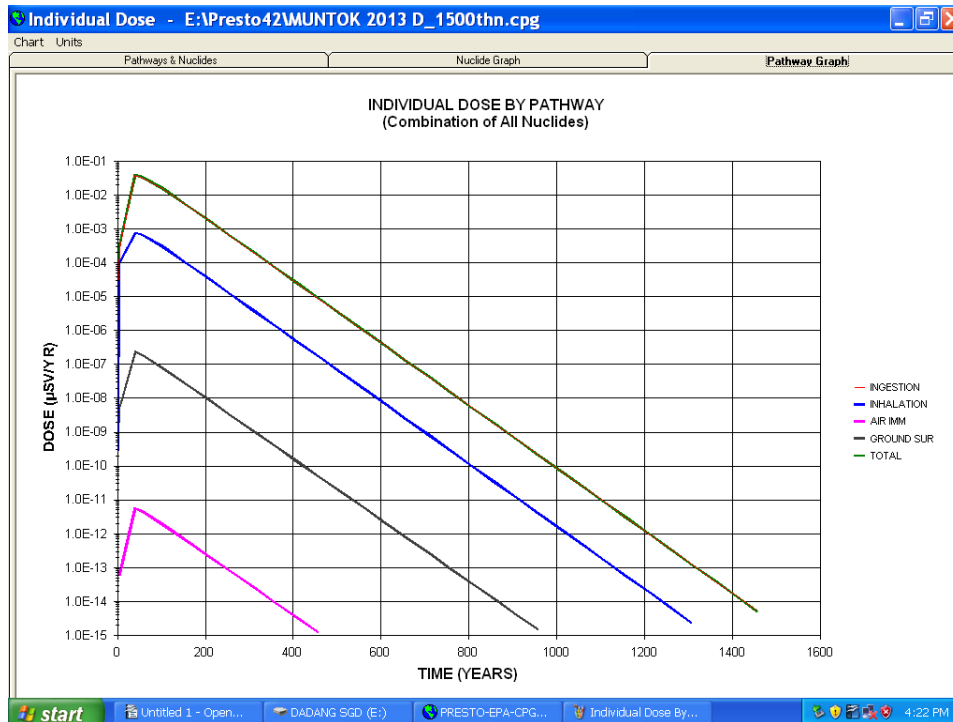




Gambar 4. Konsentrasi radionuklida K-40 dan Ra-226 dalam air sumur yang berjarak 30 m dari tapak



Gambar 5a. Dosis individual berdasarkan radionuklida (kurva Ra-226 berimpit dengan kurva TOTAL)



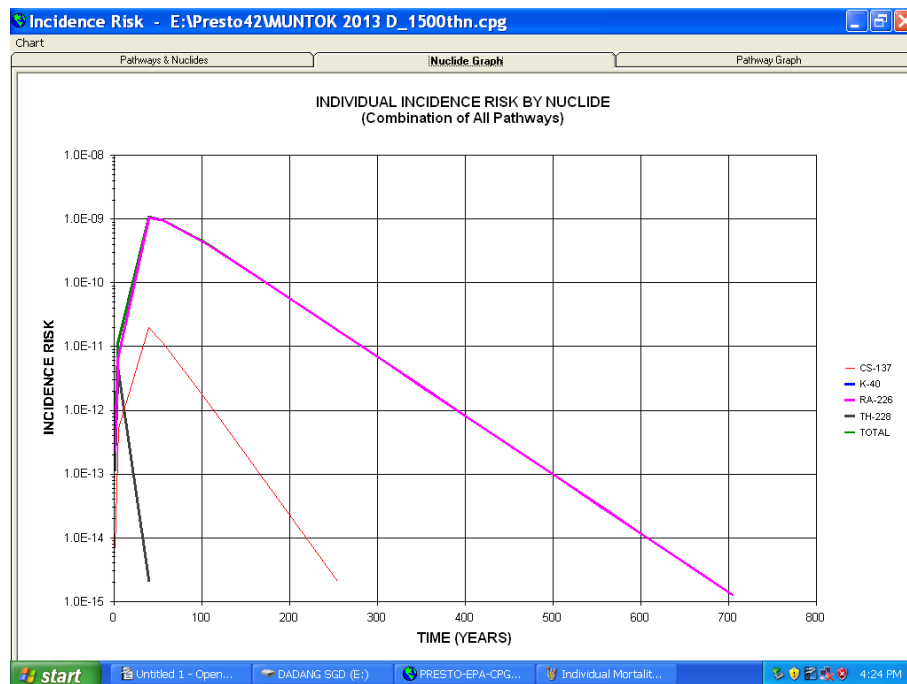
Gambar 5b. Dosis individual berdasarkan *pathway* (kurva INGESTION berimpit dengan kurva TOTAL)

Pada Gambar 5a terlihat bahwa radionuklida yang berkontribusi terhadap dosis individu adalah Cs-137, K-40, Ra-226 dan Th-228. Antara tahun ke 0 hingga 50 terjadi peningkatan drastis terhadap dosis individu yang masing-masing mencapai angka maksimum  $10^{-4}$   $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$  untuk Cs-137,  $10^{-4}$   $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$  untuk K-40, dan  $10^{-2}$   $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$  untuk Ra-226, sedangkan Th-228 langsung mengalami penurunan dari tahun ke 0. Perlu diketahui bahwa batas ambang keselamatan dosis individual pertahun sebesar 5 mSv per individu (5.000  $\mu\text{Sv}$ ) [2]. Setelah mencapai angka konsentrasi maksimum pada tahun ke 50, Cs-137, K-40 dan Ra-226 mengalami penurunan hingga orde konsentrasi  $10^{-13}$   $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$  masing-masing pada tahun ke 550, 1.100 dan 1.300. Gambar 5b menunjukkan bahwa *ingestion pathway* berkontribusi paling dominan, disusul dengan inhalasi, *ground surface* dan sedikit dari *pathway* imersi.

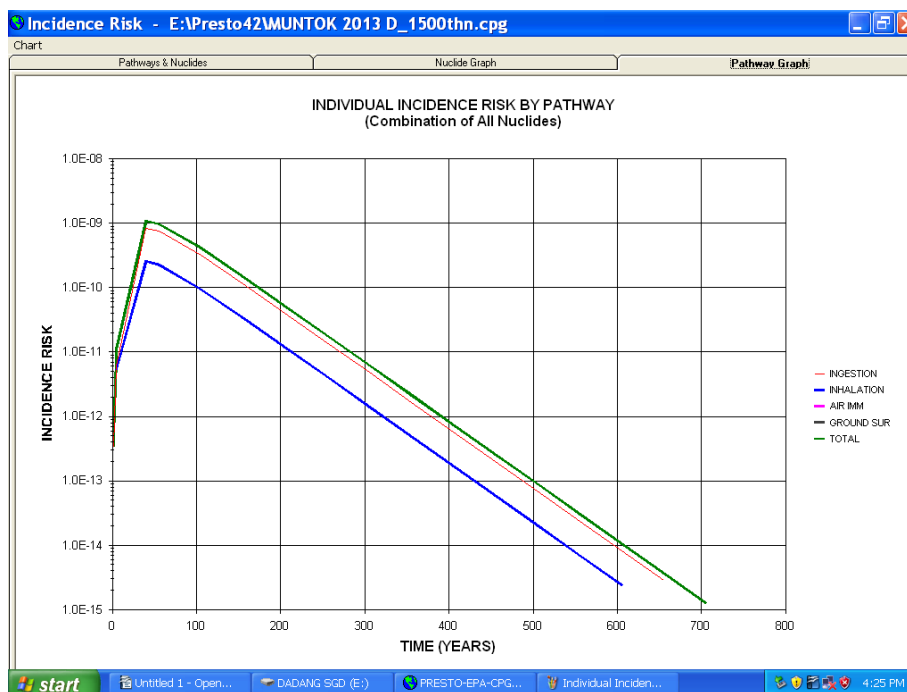
Resiko insiden individu dapat diketahui dari Gambar 6a, yang menunjukkan bahwa dari tahun ke 0 hingga tahun ke 50 ada peningkatan resiko hingga  $1,0 \times 10^{-9}$  untuk Ra-226 dan  $1,0 \times 10^{-11}$  untuk Cs-137. Setelah tahun ke 50 Th-228, Cs-137 dan Ra-226 mengalami penurunan hingga hanya orde konsentrasi  $10^{-15}$   $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$  pada tahun ke 50 (Th-228), tahun ke 250 (Cs-137) dan tahun ke 700 (Ra-226). Pada Gambar 6b dapat dilihat bahwa *pathway* yang berkontribusi terhadap resiko individu adalah injesti dan inhalasi.

Pada Gambar 7a diperlihatkan resiko mortalitas (kematian) individual di daerah kritis sekitar tapak tercemar. Kontribusi utama untuk resiko mortalitas individual diakibatkan oleh radionuklida Cs-137 dan Ra-226. Antara tahun ke 0 hingga tahun ke 50, terjadi peningkatan resiko mortalitas hingga orde  $10^{-11}$  (Cs-137) dan hingga orde  $10^{-9}$  untuk Ra-226. Setelah tahun ke 50 relatif terjadi penurunan resiko mortalitas dari Cs-137 dan Ra-226 menjadi  $10^{-15}$  masing-masing

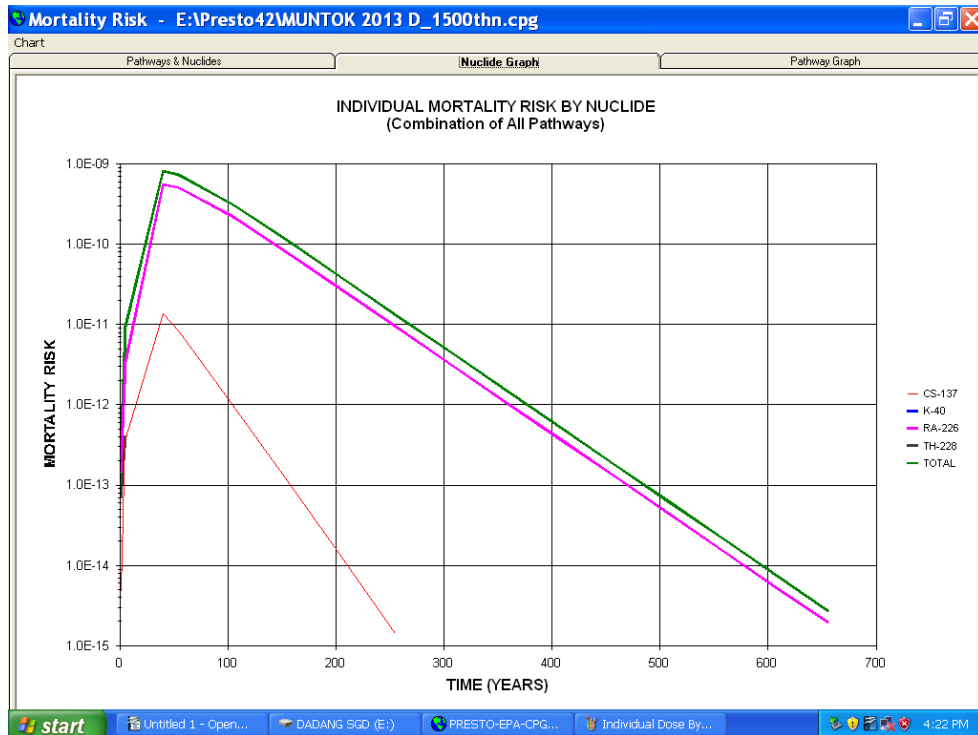
pada tahun ke 250 dan 700. Dari Gambar 7b dapat diketahui bahwa *pathway* yang berkontribusi terhadap resiko mortalitas adalah injesti.



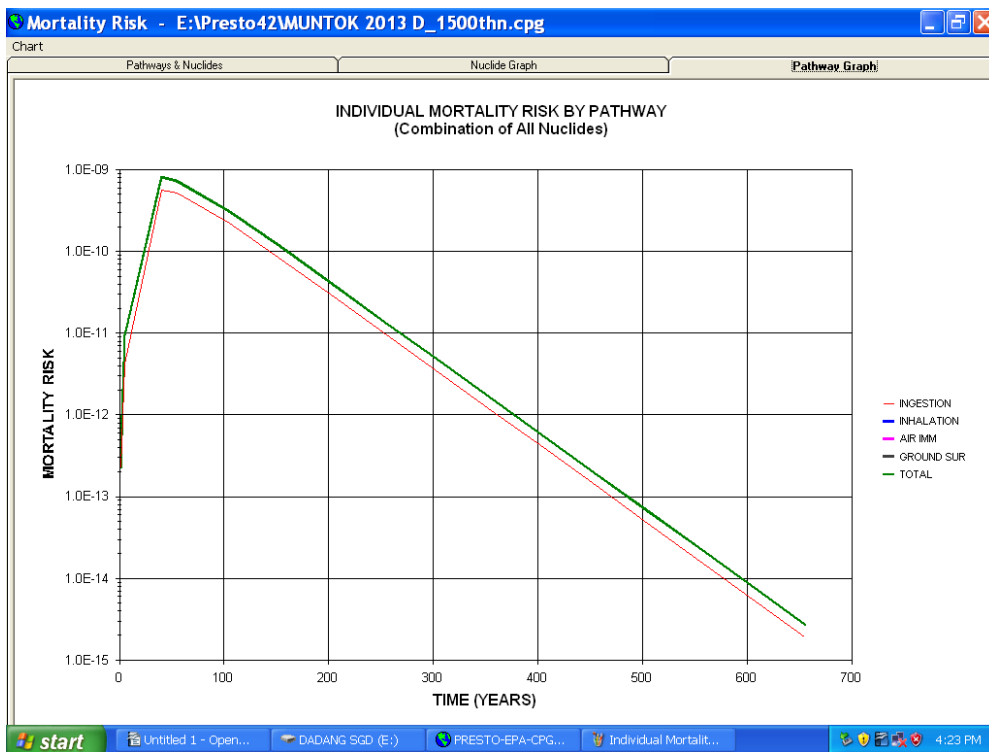
Gambar 6a. Resiko insiden individual berdasarkan radionuklida (kurva Ra-226 dan K-40 berimpit dengan kurva TOTAL)



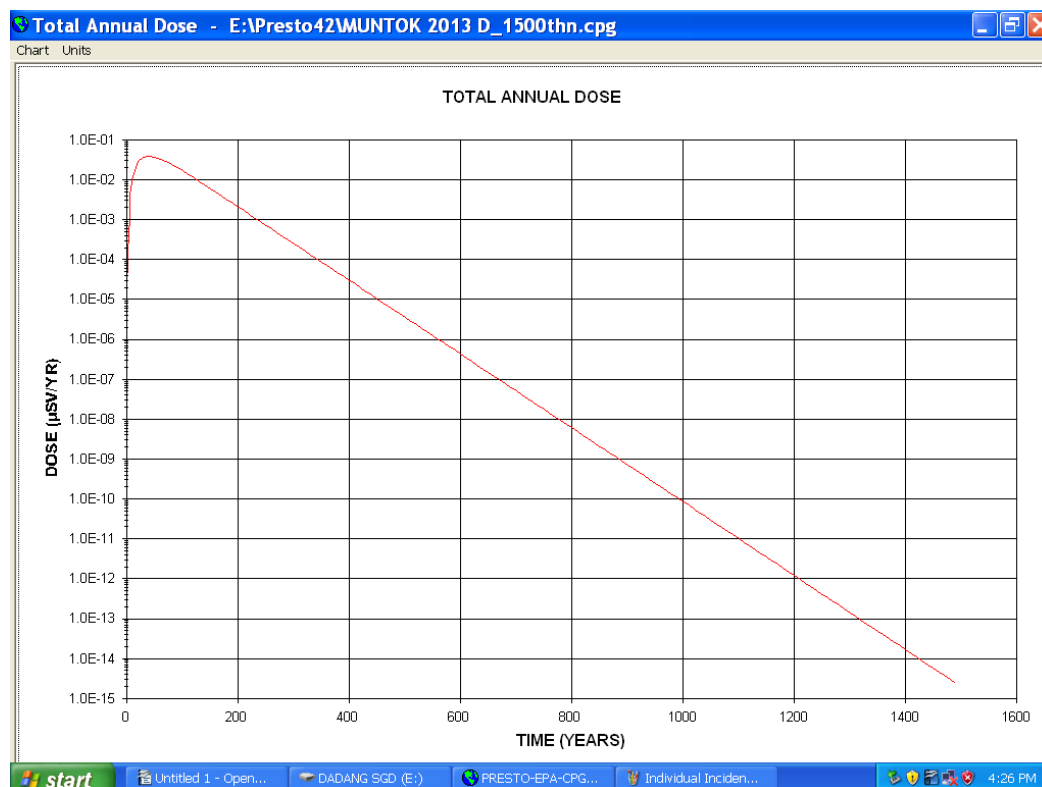
Gambar 6b. Resiko insiden individual berdasarkan *pathway* (hanya kurva INGESTION, INHALATION dan TOTAL yang muncul)



Gambar 7a. Resiko mortalitas individual berdasarkan radionuklida (hanya kurva Cs-137 dan Ra-226 yang muncul)



Gambar 7b. Resiko mortalitas individual berdasarkan *pathway* (hanya kurva INGESTION dan TOTAL yang muncul)



Gambar 8. Dosis tahunan total

Dengan melihat Gambar 8 terlihat bahwa dosis tahunan total mempunyai kecenderungan nilai yang semakin meningkat dari tahun ke 0 hingga tahun ke 50 dengan nilai maksimum kurang dari  $10^{-1}$   $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ . Mulai tahun ke 50 dosis tahunan mengalami penurunan hingga orde  $10^{-15}$  pada tahun ke 1500.

## KESIMPULAN

Identifikasi keberadaan *TENORM* di daerah pertambangan dan industri pengolahan timah khususnya beberapa *site* untuk penimbunan memiliki paparan tinggi, yaitu lokasi timbunan *slag* di Muntok (PT. Timah Bangka). Dilihat dari nilai rata-rata konsentrasi Cs-137, K-40, Ra-226 dan Th-228 menunjukkan nilai konsentrasi yang melebihi batasan *TENORM* yang harus diintervensi yaitu sebesar 1 Bq/g (1 kBq/kg) bagi Cs-137, Ra-226 dan Th-228, dan 10 Bq/g (10 kBq/kg) bagi K-40. Kecenderungan konsentrasi Cs-137, K-40, Ra-226 dan Th-228 dalam *slag* di lokasi timbunan *slag* di Muntok (lokasi 1 dan lokasi 2) relatif sama, dan menurut ketentuan peraturan perundangan masih relatif jauh di atas ambang batas yang harus dilakukan intervensi lebih lanjut. Tingkat kontaminasi *TENORM* di semua lokasi menunjukkan tingkat yang melebihi batas Tingkat Intervensi. Keberadaan *TENORM* yang melebihi Tingkat Intervensi (konsentrasi aktivitas *TENORM* > 1000 Bq/kg) di dalam kawasan kerja dapat menimbulkan potensi paparan radiasi kepada pekerja, terutama yang sering beraktivitas di kawasan tersebut.

Berdasarkan perhitungan dengan perangkat lunak PRESTO 4.2, dapat diambil kesimpulan bahwa hanya radionuklida K-40 dan Ra-226 dengan konsentrasi  $1,0 \times 10^{-4}$  Bq/m<sup>3</sup> muncul pada air sumur berjarak terjauh 30 m. Dosis

individu tahunan total maksimum dari radionuklida Ra-226 dan Th-232 sebesar  $\pm 5 \times 10^{-2}$   $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$  pada tahun ke 50, dan setelah itu mengalami penurunan yang cukup signifikan. Resiko kejadian (*incident*) individu total maksimum sebesar lebih kurang  $1,0 \times 10^{-9}$  pada tahun ke 50, dan setelah itu mengalami penurunan yang cukup drastis. Resiko mortalitas total maksimum sebesar  $1,0 \times 10^{-9}$  pada tahun ke 50 dan kecenderungannya menurun drastis setelah itu. Dosis tahunan total maksimum yang merupakan akumulasi dari semua radionuklida, Cs-137, K-40, Ra-226 dan Th-232 adalah sebesar  $1,0 \times 10^{-2}$   $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$  ( $0,01$   $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ ).

Dengan mempertimbangkan batas ambang keselamatan dosis individual pertahun sebesar  $5$  mSv per individu ( $5.000$   $\mu\text{Sv}$ ) [18], dosis yang diterima populasi di sekitar tapak tercemar masih berada di bawah batas ambang keselamatan sampai yang maksimum besarnya hanya  $0,01$   $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$  ( $0,001\%$  dari batas ambang keselamatan). Dari semua grafik hasil perhitungan menunjukkan adanya kecenderungan untuk terus meningkat sampai dengan tahun ke 50, dan setelah itu mengalami penurunan secara signifikan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada pimpinan dan staf PT. Timah Bangka yang telah memberikan izin dan menyiapkan fasilitas untuk berlangsungnya penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. PERATURAN PEMERINTAH RI No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif.
- [2]. PERATURAN KEPALA BAPETEN No. 9 Tahun 2009 tentang Intervensi terhadap Paparan yang Berasal dari *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*.
- [3]. KATHREN, R.L., NORM Sources and Their Origins, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
- [4]. SOHRABI, M., The State of the Art on Worldwide Studies in Some Environments with Elevated NORM, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
- [5]. PASCHOA, A.S., Potential Environment and Regulatory Implications of NORM, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
- [6]. HEATON, B., Field Survey Instrumentation and Radioanalytical Procedures for NORM, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
- [7]. HIPKIN, J., PAYNTER, R.A. and P.V. SHAW, Exposures at Work to Ionizing Radiation Due to the Use of NORM in Industrial Processes, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
- [8]. SMITH, D.M. and P. KEMBALL, Regulatory Control and NORM, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
- [9]. BHATTACHARYYA, D.K., Issues in the Disposal of Waste Containing NORM, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
- [10]. O'BRIEN, R.S. and M.B. COOPER, TENORM : Pathway Analysis and Radiological Impact, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.

- 
- [11]. CARLYLE, J., etc., Disposal Options and Case –study Analysis, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
- [12]. HUTCHINSON, D.E. and L.F. TOUSSAINT, Near Surface of Concentrated NORM Wastes, *Appl. Radiat. Isot.*, Vol. 49 No. 3, Elsevier Science Limited, 1998.
- [13]. PERATURAN PEMERINTAH RI No. 61 Tahun 2013, tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif (2013).
- [14]. NORM Waste Management Technical Committee, Technical Report on the Management of Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) in Waste (2005).
- [15]. PT. TIMAH BANGKA, *Laporan Tahunan PT. Timah Bangka*, PT. Timah Bangka, Muntok, Bangka Barat (2012).
- [16]. IAEA, *Scenario Generation and Justification for the Safety Assessment of Near Surface Radioactive Waste Disposal Systems*. ISAM Scenario Generation and Justification Working Group Document, Version 1.0, IAEA, Vienna (2000).
- [17]. HUNG, C.Y., *User's Guide for PRESTO-EPA-CPG/POP Operation System*, Version 4.2, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC (2000).
- [18]. PERATURAN KEPALA BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas di Lingkungan.

## LAMPIRAN 1

**DATA TAPAK YANG DIPERLUKAN UNTUK  
PENGKAJIAN KESELAMATAN FASILITAS DISPOSAL LIMBAH  
DENGAN *PRESTO SOFTWARE***

NO	ASPEK	SUB ASPEK	PARAMETER	SATUAN
1	KARAK- TERISTIK TAPAK	Hidrologi	1. Curah hujan tahunan total	2.9 m
			2. Laju aliran sungai tahunan	$4.73 \times 10^5$ m <sup>3</sup> /yr
			3. Jarak ke sumur terdekat	30 m
			4. Jarak antara sisi tapak dan saluran	10 m
		Erosi	5. Faktor curah hujan	250 R/yr
			6. Faktor erodibilitas tanah	0.23 ton/acre
			7. Faktor pengelolaan tanaman	0.3
			8. Faktor penerapan pengendalian erosi	0.3
			9. <i>Sediment delivery ratio factor</i>	1.0
			10. Faktor kecuraman-panjang lereng	0.27
			11. <i>Fraction of residual saturation</i>	0.17
			12. <i>Fraction of total annual precipitation for infiltration calculation</i>	0.00
			13. <i>Top soil layer precipitation run-off fraction</i>	0.005
			14. <i>Bottom soil layer precipitation run-off fraction</i>	0.1
			15. <i>Active depth of soil in surface-contaminated region</i>	0.1
			16. <i>Width of the contaminated site measured perpendicular to groundwater flow</i>	100 m
			17. <i>Length of the contaminated site parallel to groundwater flow</i>	30 m
2	PENUTUP DAN LIMBAH	Penutup	18. Ketebalan	0.05 m
			19. Densitas	2.4 g/cm <sup>3</sup>
			20. Porositas	0.3
			21. Permeabilitas	0.03 m/hr
			22. Kemiringan lereng rata-rata	0.37 m/m
			23. Panjang lereng rata-rata	34.5 m
			24. <i>Pellicular water deficit</i>	0.01 m
			25. <i>Gravity water deficit</i>	3.1 m



NO	ASPEK	SUB ASPEK	PARAMETER	SATUAN
		Komponen porositas	26. <i>Pellicular water</i>	0.47
			27. <i>Gravity water</i>	0.01
		Equivalent upward	28. Difusivitas	$8 \times 10^{-5}$ m/hr
			29. Konduktivitas hidrolik	$9 \times 10^{-5}$ m/hr
			30. Ketebalan	9 m
		Limbah	31. Densitas	2.4 g/cm <sup>3</sup>
			32. Porositas	0.30
			33. Permeabilitas	0.03 m/hr
		Fraksi lepasan	34. <i>Absorbing waste</i>	$1 \times 10^{-1}$
			35. <i>Activated metals</i>	$1 \times 10^{-1}$
			36. <i>Solidified waste</i>	$1 \times 10^{-1}$
			37. <i>Containerized fraction</i>	0.0
		3.	ZONA VERTIKAL DAN AKUIFER	Zona Vertikal
39. Densitas	2.6 g/cm <sup>3</sup>			
40. Porositas	0.30			
41. Permeabilitas	0.9 m/hr			
Akuifer	42. Ketebalan			10 m
	43. Densitas			2.6 g/cm <sup>3</sup>
	44. Porositas			0.3
	45. Permeabilitas			0.03 m/hr
	46. Fraksi kejenuhan air			1.0
	47. Kecepatan air tanah			26.3 m/yr
48. Sudut dispersi	1 radian			
49. <i>Allow aquifer to stream flow</i>	30 m			
4.	ATMOSFER		50. Lingkungan tapak	Humid
			51. Kecepatan deposisi	0.01 m/s
			52. <i>Gravitational settling velocity</i>	0.01 m/s
			53. <i>Onsite dust loading from mechanical disturbance</i>	50 g/m <sup>3</sup>
			54. <i>Fraction of time the wind blows in direction of interest</i>	0.5
			55. <i>Annual average windspeed in direction of interest</i>	1.73 m/s
			56. <i>Resuspension equation parameter</i>	1) $1 \times 10^{-6}$ 2) -0.15 3) $1 \times 10^{-11}$
			57. <i>Stability category indicator</i>	D
			58. <i>Pasquill-Gifford atmospheric stability class formation</i>	1
			59. <i>Height of the inversion layer</i>	2.0 m
			60. <i>Hosker's roughness parameter</i>	0.01m
			61. <i>Atmospheric transport parameter</i>	$5.186 \times 10^{-8}$

NO	ASPEK	SUB ASPEK	PARAMETER	SATUAN
5.	BASEMENT		62. Fraksi emanasi Rn-222 untuk tanah tercemar	0.3
			63. Kedalaman <i>basement</i> bawah permukaan	2.0 m
			64. Ketebalan beton lantai <i>basement</i>	0.10 m
			65. Porositas beton lantai	0.18
			66. Panjang tepi <i>basement</i>	40 m
			67. <i>Negative indoor house pressure</i>	2.4 Pa
			68. <i>Perimeter shrinkage crack width</i>	0.001 m
			69. Laju ventilasi <i>basement</i>	$2.78 \times 10^{-4}$ change/s
			70. Luas lantai <i>basement</i>	100 m <sup>2</sup>
			71. <i>Basement occupancy fraction</i>	0.6
			72. <i>Outdoor, onsite occupancy fraction</i>	0.2
6.	TANAMAN DAN BINATANG	Produktivitas pertanian	73. Rumput	0.5 kg/m
			74. Vegetasi lain	0.5 kg/m
		Konsumsi air harian	75. Sapi perah	30.0 L/d
			76. Kambing perah	4.0 L/d
			77. <i>Beef cattle</i>	25.0 L/d
		Waktu antara panen dan konsumsi	78. Rumput	6.0 hr
			79. <i>Stored feed</i>	720.0 hr
			80. Dedaunan (Ind.)	24.0 hr
			81. Buah/biji-bijian (Ind.)	720.0 hr
		Waktu pemaparan dalam udara tercemar	82. Rumput	1401.6 hr
			83. Hasil panen	1401.6 hr
		Konsumsi makanan	84. Kambing perah	4.0 kg/d
			85. <i>Beef cattle</i>	30.0 kg/d
			86. <i>Transport time from animal feed to human receptor</i>	48.0 hr
87. <i>Time from animal slaughter to human consumption</i>	480.0 hr			
88. <i>Weathering removal decay constant</i>	$0.0021 \text{ hr}^{-1}$			
89. <i>C-14 fractional equilibrium value</i>	1.0			
90. Kelembaban absolut udara	g/m <sup>3</sup> (81,5%)			
91. Kedalaman akar	1.0 m			

NO	ASPEK	SUB ASPEK	PARAMETER	SATUAN
			92. Laju irigasi	0.015 L/m-hr
			93. Fraksi infiltrasi dari presipitasi	0.5
			94. <i>Fraction of year that crops are irrigated</i>	0.5
			95. <i>Fraction of year animals graze on the pasture grass</i>	0.25
			96. <i>Fraction of animal's daily feed that is fresh grass</i>	0.5
7.	HUMAN UPTAKE		97. <i>Human uptake</i> terhadap sayuran	73 kg/yr
			98. <i>Human uptake</i> terhadap hasil panen	100 kg/yr
			99. <i>Human uptake</i> terhadap susu sapi	0 L/yr
			100. <i>Human uptake</i> terhadap susu kambing	0 L/yr
			101. <i>Human uptake</i> terhadap air minum	365 L/yr
			102. <i>Human uptake</i> terhadap daging	36.5 kg/yr
			103. <i>Human uptake</i> terhadap ikan	36.5 kg/yr
			104. <i>Human uptake</i> terhadap tanah	1.1 kg/yr
			105. <i>Human inhalation rate</i>	7300 m <sup>3</sup> /yr
			106. Fraksi air minum yang disuplai dari sumur	0.5
			107. Fraksi air minum yang disuplai dari sungai	0.2
			108. Fraksi air irigasi yang disuplai dari sumur	0.1
			109. Fraksi air irigasi yang disuplai dari sungai	0.9
			110. Fraksi air minum hewan yang disuplai dari sumur	0.5
			111. Fraksi air minum hewan yang disuplai dari sungai	0.5



## STUDI CALON TAPAK DISPOSAL LIMBAH RADIOAKTIF OPERASI PLTN DI BANGKA BELITUNG : PEMILIHAN TAPAK POTENSIAL

Sucipta, Hendra A.P., Arimuladi S.P., Heru Sriwahyuni  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN

### ABSTRAK

**STUDI CALON TAPAK DISPOSAL LIMBAH RADIOAKTIF OPERASI PLTN DI BANGKA BELITUNG : PEMILIHAN TAPAK POTENSIAL.** Dalam Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaga-nukliran dan Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, secara eksplisit disebutkan bahwa limbah radioaktif wajib dikelola hingga penyimpanan akhirnya (disposal) secara memadai sehingga tidak menimbulkan bahaya radiasi bagi manusia dan lingkungan. Dalam Agenda Riset Nasional 2010-2014 sub tema Energi Nuklir disebutkan bahwa penentuan lokasi tapak penyimpanan limbah lestari harus mulai dilakukan. Hal tersebut juga tersurat lebih jelas dalam Rencana Strategis BATAN 2010-2014 dan Rencana Strategis PTLR 2010-2014. Terkait dengan dasar hukum tersebut, dalam rangka mendukung percepatan pembangunan dan pengoperasian PLTN di Bangka Belitung, perlu dilakukan studi calon tapak disposal limbah radioaktif yang ditimbulkan dari operasional PLTN tersebut. Pada tahun 2013 dilakukan pemilihan tapak potensial, yang merupakan kelanjutan dari pemilihan wilayah potensial yang telah dilakukan pada tahun 2012. Pemilihan tapak potensial dilakukan berdasarkan kriteria yang telah disusun dalam studi pendahuluan. Pendekatan studi mengacu pada Safety Series IAEA No. 111-G-3.1, yang merekomendasikan tahapan pemilihan tapak disposal limbah radioaktif menjadi 4 yaitu 1) *Conceptual and Planning Stage*, 2) *Area Survey Stage*, 3) *Site Characterization Stage*, dan 4) *Site Confirmation Stage*. Aspek studi yang dipertimbangkan meliputi topografi, geologi, hidrologi, potensi sumberdaya mineral, dan rencana tata ruang wilayah. Metode yang digunakan dalam pemilihan tapak potensial ini adalah teknik *buffering*, *scoring* dan *overlay*. Untuk konsep disposal yang dapat diterapkan (*near surface disposal* dan *deep geological disposal*) dalam batuan beku seperti granit, granodiorit dan adamelit, maka tapak potensialnya dapat dipilih pada lahan yang relatif dekat dengan calon tapak PLTN baik di Bangka Selatan maupun Bangka Barat.

**Kata Kunci : Tapak potensial, disposal, limbah radioaktif**

### ABSTRACT

**STUDY OF DISPOSAL SITE FOR RADIOACTIVE WASTE GENERATED FROM NPP OPERATION IN BANGKA BELITUNG : POTENTIAL SITE SELECTION.** As mentioned on Act No. 10/1997 about Nuclear Energy, and Government Regulation No. 61/2013 on Radioactive Waste Management, explicitly mentioned that radioactive waste must be managed until the disposal as well as to avoid the radiation hazard to the public and environment. In the National Research Agenda Year 2010-2014 especially on the sub theme of Nuclear Energy was mentioned that determination of disposal sites should be initiated. The statement about radioactive waste disposal program also mentioned clearly on BATAN Strategic Plan and PTLR Strategic Plan Year 2010-2014. Based on the basic laws mentioned above, in supporting the acceleration of nuclear power plants (NPP) development and operation in the Bangka Islands, the study of disposal site candidate for radioactive waste arising from operation of NPP in Bangka Belitung have been done. In the year 2013, selection of potential sites have been conducted. IAEA Safety Series No. 111-G-3.1 have been adopted as a study approach, which recommends the steps of radioactive waste disposal site selection to 4 steps : 1) *Conceptual and Planning Stage*, 2) *Survey Area Stage*, 3) *Site Characterization Stage*, and 4) *Site Confirmation Stage*. Aspects of the study were considered in the selection of potential sites include topography, hydrology, geology, mineral resources, and land use / spatial planning. The method used in the selection of potential sites is *buffering*, *scoring* and *overlay* techniques. For disposal concepts that can be applied (*near surface disposal* and *deep geological disposal*) in igneous rocks such as granite, granodiorite and adamelite, the potential sites for disposal can be selected on a land relatively close to the nuclear power plant site candidates in West Bangka and South Bangka.

**Keywords : selection, potential site, disposal, radioactive waste**

## PENDAHULUAN

Dalam Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaga-nukliran [1] dan Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif [2], secara eksplisit disebutkan bahwa limbah radioaktif wajib dikelola hingga penyimpanan akhirnya (*disposal*) secara memadai sehingga tidak menimbulkan bahaya radiasi bagi manusia dan lingkungan. Program percepatan pembangunan dan pengoperasian PLTN di Bangka Belitung, perlu didukung dengan studi pemilihan calon tapak disposal limbah radioaktif yang akan timbul dari operasional PLTN tersebut. Dasar hukum dilakukannya studi ini merujuk pada Agenda Riset Nasional 2010-2014 [3], Rencana Strategis BATAN 2010-2014 [4], Rencana Strategis PTLR 2010-2014 [5] dan Perka BATAN No. 123/KA/VIII/2007 [6].

Penyimpanan akhir (*disposal*) limbah radioaktif ditujukan untuk mengisolasi limbah agar tidak ada akibat paparan radiasi terhadap manusia dan lingkungan. Berbagai metode penyimpanan dengan tingkat pengisolasian tertentu dapat diperoleh dengan mengimplementasikan pilihan model disposal dekat permukaan (*near surface disposal* = *NSD*) dan disposal geologi dalam (*deep geological disposal* = *DGD*) yang telah digunakan atau dikembangkan di beberapa negara [7].

Pemilihan tapak ditujukan untuk mendapatkan suatu tapak, yang bila dilengkapi dengan rancangan, kemasan limbah, penghalang buatan dan kendali institusional yang memadai, dapat menjamin proteksi radiasi dan memenuhi persyaratan peraturan perundangan yang dikeluarkan oleh badan pengawas. Beberapa standard yang dikeluarkan oleh *International Atomic Energy Agency (IAEA)* [8], dan rekomendasi serta petunjuk internasional yang telah ada dapat digunakan sebagai bahan rujukan dalam studi ini.

Studi calon tapak disposal limbah radioaktif operasional PLTN di Bangka Belitung dilakukan dalam 4 tahapan, yaitu tahap konsep dan rencana disposal, tahap pemilihan wilayah potensial, tahap pemilihan tapak potensial dan tahap penentuan tapak terpilih. Seleksi tapak diawali dengan studi wilayah yang mempertimbangkan banyak aspek. Pada tahun 2011 telah dilaksanakan studi pemilihan calon tapak disposal limbah radioaktif operasi PLTN di Bangka Belitung, khususnya mengenai konsep dan rencana disposal [9], dan pada tahun 2012 dilanjutkan dengan pemilihan wilayah potensial [10].

Berdasarkan hasil studi tahun 2011 [9], prediksi volume limbah radioaktif berdasarkan asumsi 4 PLTN tipe PWR yang masing-masing berdaya 1000 MW dan lama pengoperasian 60 tahun, maka akan ditimbulkan limbah radioaktif tingkat rendah dan sedang (LILW) sebanyak 96.000 drum - 144.000 drum, sehingga kebutuhan lahan untuk disposal antara 11.520 m<sup>2</sup> s/d 17.280 m<sup>2</sup> (belum termasuk *buffer zone*). Konsep disposal yang bisa dikembangkan adalah *near surface disposal* (NSD) dan *deep geological disposal* (DGD). Tipe *near surface disposal* yang bisa diterapkan bisa *shallow land burial (SLB)* ataupun *rock cavern disposal (RCD)*, tergantung pada kesesuaian tapak yang ditemukan.

Berdasarkan petunjuk dari IAEA maupun mengacu pada pengalaman negara-negara maju di bidang disposal limbah radioaktif, telah disusun kriteria tapak penyimpanan limbah radioaktif. Ada 2 macam kriteria yang dikembangkan yaitu kriteria tapak *near surface disposal* untuk limbah radioaktif tingkat rendah dan sedang, serta kriteria tapak *deep geological disposal* untuk limbah radioaktif

tingkat tinggi. Aspek studi calon tapak yang diperlukan meliputi aspek geomorfologi, seismotektonik, litostratigrafi, vulkanologi, hidrologi, hidrogeologi, sumberdaya alam geologi, iklim, kependudukan, dan rencana tata ruang. Wilayah studi untuk calon tapak disposal limbah operasional PLTN di Bangka Belitung meliputi wilayah Kabupaten Bangka Selatan dan wilayah Kabupaten Bangka Barat.

Pada tahun 2013 studi ini ditujukan untuk mendapatkan tapak potensial yang memenuhi kriteria keselamatan disposal limbah radioaktif operasi PLTN di Bangka Belitung.

## TEORI

Pemilihan tapak perlu dilakukan dengan prosedur yang sistematis yaitu dengan sistem penapisan dari wilayah yang luas ke tapak spesifik. Ada empat tahapan pemilihan tapak sistematis untuk fasilitas disposal baik *NSD* maupun *DGD* yaitu : 1) tahap konsep dan perencanaan; 2) tahap survei daerah; 3) tahap karakterisasi tapak; dan 4) tahap konfirmasi tapak [7].

Berbagai faktor penting yang wajib dipertimbangkan dalam pemilihan tapak disposal limbah radioaktif adalah sebagai berikut [11, 12, 13] :

1. Geologi, tata geologi dari tapak harus mampu mengisolasi limbah dan membatasi lepasnya radionuklida ke biosfer. Tata geologi juga harus menunjang stabilitas sistem disposal, dan menjamin volume yang cukup serta sifat-sifat teknis yang memadai untuk implementasi disposal.
2. Hidrogeologi, tata hidrogeologi dari tapak harus dengan aliran air tanah yang rendah dan memiliki jalur pengaliran yang panjang untuk menghambat transportasi radionuklida.
3. Geokimia, aspek kimia air tanah dan media geologi menunjang pembatasan lepasnya radionuklida dari fasilitas disposal dan tidak mengurangi keawetan penghalang rekayasa (*engineered barrier*) secara nyata.
4. Tektonik dan kegempaan, tapak seharusnya ditempatkan dalam suatu daerah dengan aktivitas tektonik dan kegempaan yang rendah sehingga kemampuan mengisolasi sistem disposal tidak akan terancam bahaya.
5. Proses-proses permukaan, proses-proses permukaan seperti banjir, tanah longsor atau erosi pada daerah tapak seharusnya tidak terdapat dengan frekuensi dan intensitas yang dapat mempengaruhi kemampuan sistem disposal memenuhi standar/persyaratan keselamatan.
6. Meteorologi daerah tapak harus dikarakterisasi secara cukup memadai sehingga adanya pengaruh kondisi meteorologi ekstrim yang tidak diharapkan dapat dipertimbangkan secara seksama dalam desain dan perijinan fasilitas disposal.
7. *Man-induced events*, tapak harus terletak pada daerah dimana aktivitas generasi saat ini maupun yang akan datang, pada atau dekat dengan tapak, tidak akan mempengaruhi kemampuan isolasi sistem disposal.
8. Transportasi limbah, tapak seyogyanya terletak sedemikian rupa sehingga jalur akses akan memudahkan transportasi limbah dengan resiko minimal terhadap masyarakat.
9. Penggunaan lahan dan kepemilikan lahan harus dipertimbangkan terhadap pengembangan masa depan dan perencanaan wilayah.

10. Distribusi penduduk, tapak seharusnya terletak pada lokasi tertentu sehingga potensi bahaya dari sistem disposal terhadap penduduk saat ini dan proyeksi masa depan masih dalam batas yang dapat diterima.
11. Proteksi lingkungan, tapak seyogyanya ditempatkan sedemikian rupa sehingga lingkungan akan terlindungi secara cukup memadai sepanjang umur fasilitas disposal, dan dampak penyebaran secara potensial dapat ditanggulangi ke dalam tingkat yang aman, dengan memperhitungkan aspek teknis, ekonomi dan lingkungan.

Kriteria tapak untuk penyimpanan lestari limbah radioaktif aktifitas tinggi yang berupa fasilitas DGD (*deep geological disposal*), diacu dari hasil rangkuman berbagai referensi internasional sebagai berikut [14] :

1. Kriteria geometri  
Lokasi seharusnya memiliki formasi geologi yang cukup luas dan tebal sehingga mencukupi sebagai ruang sistem *disposal*, zona penyangga bawah permukaan (*buffer zone*) dan daerah eksklusif di permukaan bumi. Menurut estimasi yang didasarkan pada kerapatan penempatan limbah yang diijinkan dan sifat *host geological environment (HGE)*, maka *host geological system (HGS)* harus memiliki luas antara 8-10 km<sup>2</sup> dan ketebalan minimum 200 m (untuk batuan plastis) atau 500 m (untuk batuan padat keras). Kedalaman minimum repositori antara 300-500 m dari permukaan bumi.
2. Kriteria stabilitas jangka panjang  
Lokasi *GD* harus merupakan suatu blok geologi yang stabil, tidak dekat dengan batas tektonik, aktivitas dan intensitas kegempaan rendah, bebas dari aktivitas vulkanisme. Sifat mekanik dan geofisik batuan pengungkung harus memadai untuk menjamin stabilitas *disposal*. Lokasi repositori harus memperhitungkan keberadaan *features* alamiah dan buatan untuk prediksi kemungkinan ketidakstabilan struktur. Lokasi repositori harus ditempatkan pada daerah yang bebas atau kecil pengaruh proses-proses alamiah denudasi dan pengangkatan (*up-lift*).
3. Kriteria hidrologi  
Karakteristik hidrologi dari lingkungan geologi harus mampu membatasi aliran air tanah dalam sistem repositori. Arah dan kecepatan aliran air tanah dalam *host environment (HE)*, sifat sorpsi dari *HE* bersamaan dengan dimensi dan kedalaman *HGS* harus mampu menahan lepasnya radionuklida ke biosfer sampai dengan 100.000 tahun. Lingkungan geologi harus memiliki permeabilitas dan gradien hidrolis sangat rendah (antara  $1 \times 10^{-9}$  s/d  $1 \times 10^{-11}$  m/detik).
4. Kriteria geokimia  
Karakteristik fisiko-kimia dan geokimia dari lingkungan geologi (batuan dan air) harus mampu menahan mobilitas dan migrasi radionuklida ke biosfer.
5. Kriteria geo-ekonomi  
Daerah dengan potensi sumberdaya mineral, geotermal, air mineral dan air tanah perlu dihindari. Lokasi repositori juga harus memenuhi kriteria distribusi penduduk dan tata guna lahan masa kini dan yang akan datang.



**METODE**

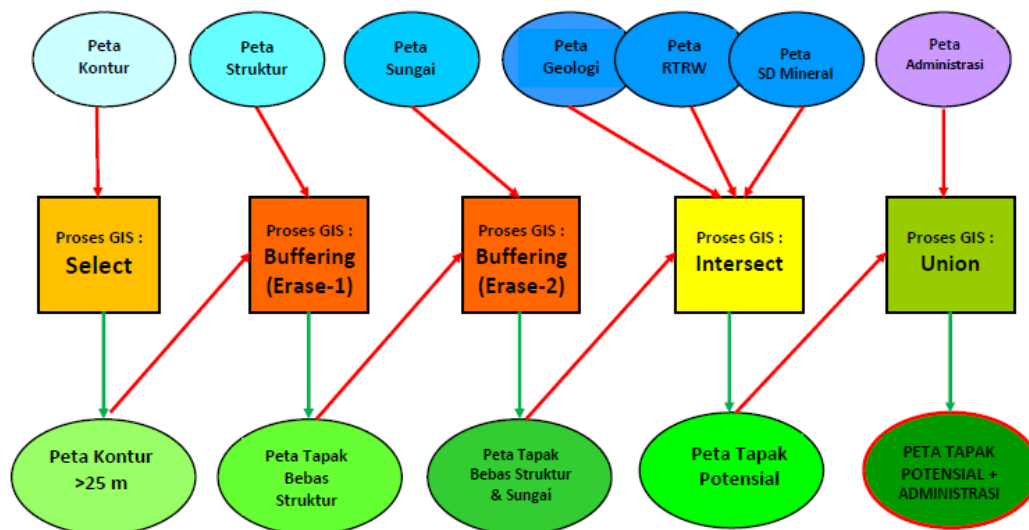
Penelitian ini dilakukan pada tahun 2013 di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif BATAN. Daerah penelitian meliputi wilayah kabupaten Bangka Selatan dan kabupaten Bangka Barat. Bahan penelitian berupa peta wilayah potensial, peta rupa bumi, peta geologi, peta sungai, peta kontur, peta potensi bahan galian dan peta rencana tata ruang wilayah.

Tahapan kerja yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1**. Penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut : tahap pra lapangan, tahap kerja lapangan, dan tahap pasca lapangan. Evaluasi data wilayah potensial untuk mendapatkan tapak potensial dilakukan secara deskriptif, *overlay*, *scoring* dan *buffering* (analisis spasial) menggunakan *ArcGIS-10* (**Gambar 2**).

LANGKAH KERJA	DATA MASUKAN (INPUT)			HASIL YANG DIHARAPKAN
	DATA NON LAPANGAN	DATA LAPANGAN	DATA LABORATORIUM	
TAHAP PRA LAPANGAN • Penetapan kriteria • Informasi narasumber • Studi data sekunder • Interpretasi peta • Rencana kerja lap.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peta wilayah potensial</li> <li>• Peta rupa bumi</li> <li>• Peta geologi</li> <li>• Peta kontur</li> <li>• Peta sungai</li> <li>• Peta rencana tata ruang wilayah</li> <li>• Peta potensi bahan galian</li> </ul>			Gambaran awal kondisi wilayah potensial, topografi, sungai, geologi (batuan, struktur), penggunaan lahan, bahan galian dan rencana tata ruang  Penentuan lintasan dan lokasi sampel
TAHAP KERJA LAPANGAN • Pengenalan medan • Pengumpulan data lapangan • Pengecekan hasil		Data lapangan parameter topografi, batuan, struktur geologi, sungai, penggunaan lahan, bahan tambang		Kondisi topografi, batuan, struktur, sungai, penggunaan lahan, bahan tambang
TAHAP PASCA LAPANGAN • Analisis lab. • Pembuatan peta-peta • Analisis data dan peta • <b>Evaluasi</b> • Pelaporan			Peta kontur, Peta sungai, Peta geologi, Peta potensi bahan galian, Peta RTRW, Peta hasil analisis dan evaluasi, Data hasil analisis petrografi, XRD dan XRF.	<b>Tapak Potensial untuk Disposal Limbah Radioaktif</b>

Gambar 1. Diagram alir kegiatan penelitian

Kriteria dan metodologi yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan arahan IAEA dalam *Safety Series* No. 111-G-3.1 [7]. Peta yang dianalisis dan dievaluasi sesuai dengan kebutuhan dan ketersediaan data adalah data geomorfologi (peta kontur, peta sungai), data geologi (peta geologi, peta struktur geologi), data rencana tata ruang wilayah (peta RTRW) dan peta sumberdaya mineral (peta potensi bahan galian). Pemilihan tapak potensial dilakukan dengan metode deskriptif, *scoring*, *overlay* dan *buffering*. Pemilihan tapak potensial didasarkan pada kriteria tapak yang telah ditetapkan pada tahap penyusunan konsep dan rencana [9]. Langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai sasaran meliputi 1. Persiapan (studi pustaka, persiapan alat dan bahan, penentuan lintasan observasi dan titik sampling); 2. Survei lapangan dalam aspek topografi, geologi, hidrologi, sumberdaya alam, penggunaan lahan, tata ruang dan aspek lingkungan lain; 3. Analisis laboratorium, untuk sampel tanah dan batuan untuk karakterisasi fisik dan kimia; 4. Pengolahan data, 5. Evaluasi dan interpretasi, 6. Penulisan laporan.



Gambar 2. Diagram alir evaluasi tapak potensial dengan ArcGIS 10

## HASIL DAN PEMBAHASAN

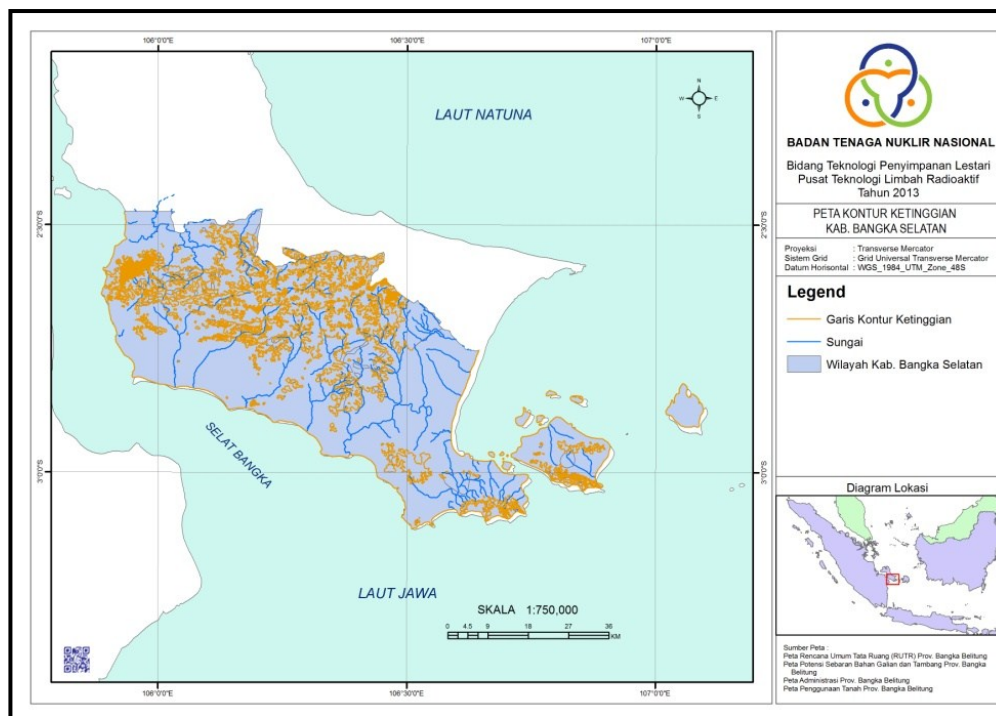
### A. Bangka Selatan

#### 1. Geomorfologi

Aspek geomorfologi yang dibahas meliputi topografi dan pola pengaliran sungai. Berdasarkan peta kontur yang dibuat berdasarkan peta rupa bumi lembar Bangka Selatan dapat diuraikan sebagai berikut (Gambar 3).

Keadaan alam Kabupaten Bangka Selatan sebagian besar merupakan dataran rendah, lembah dan sebagian kecil pegunungan serta perbukitan, memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi lahan agroindustri (pertanian dan perkebunan). Sebagai daerah kepulauan, Kabupaten Bangka Selatan dihubungkan oleh perairan laut dan pulau-pulau kecil, memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi daerah wisata bahari dan perikanan laut.

Sungai-sungai di Bangka Selatan berhulu pada daerah perbukitan dan pegunungan dan bermuara di Selat Bangka dan Laut Jawa. Sungai-sungai tersebut berfungsi sebagai sistem drainase dengan pola pengaliran antara dendritik dan paralel.



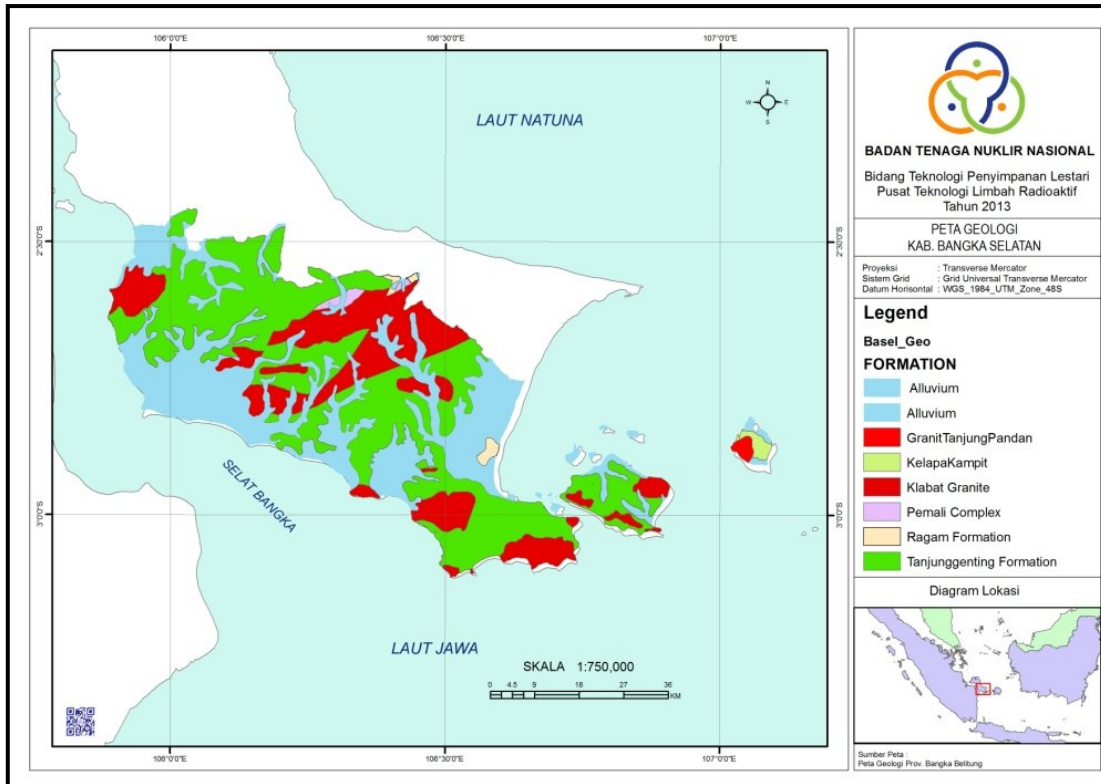
Gambar 3. Peta kontur ketinggian dan pola sungai wilayah Kabupaten Bangka Selatan

Di Bangka Selatan tidak terdapat danau alami, tetapi banyak dijumpai lubang bekas penambangan bijih timah yang luas dan menjadikannya seperti danau buatan yang disebut *kolong* [15]. Danau-danau buatan ini bermanfaat bagi penyimpanan cadangan air tawar, di samping itu juga terdapat rawa-rawa terutama di bagian wilayah timur dan selatan.

## 2. Geologi

Berdasarkan keadaan geologisnya Pulau Bangka dan wilayah sekitarnya berada pada Paparan Sunda atau bagian tepi dari kerak benua (*craton*) Asia. Oleh karena itu, batuan dasar penyusun daerah ini selain batuan malihan adalah batuan inti benua yang berupa batuan beku asam atau bersifat granitik.

Dilihat dari posisi waktu terbentuknya batuan beku granitik tersebut merupakan bagian dari busur magmatik yang terbentuk pada umur *Trias* hingga *Jura* (230 s/d 135 juta tahun lalu). Kondisi geologi Kabupaten Bangka Selatan telah digambarkan oleh U. Margono, dkk (1995) [16] dalam Peta Geologi Lembar Bangka Selatan, Sumatra, skala 1 : 250.000 yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (Gambar 4).



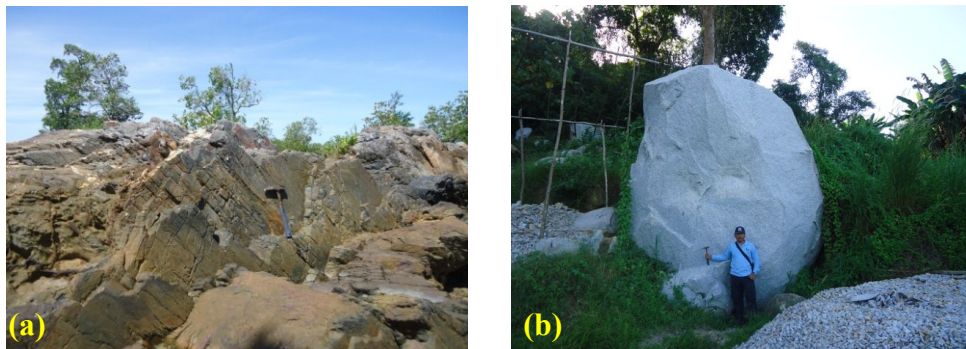
Gambar 4. Peta geologi Kabupaten Bangka Selatan

Batuan tertua yang tersingkap di Kabupaten Bangka Selatan adalah batuan yang termasuk dalam Komplek Malihan Pemali yang memiliki umur *Karbon-Perem*. Komplek ini terdiri dari filit, sekis, dan kuarsit. Filit berwarna abu-abu kecoklatan, struktur mendaun dan berurat kuarsa. Sekis berwarna abu-abu kehijauan, struktur mendaun, terkekarkan, setempat rekahannya terisi kuarsa atau oksida besi, berselingan dengan kuarsit. Kuarsit berwarna putih kecoklatan, keras, tersusun oleh kuarsa dan feldspar berukuran halus hingga sedang. Komplek Malihan Pemali tersebar di bagian baratdaya Airbara dan sebelah timur Ranggung.

Tidak selaras di atas Komplek Malihan Pemali diendapkan Formasi Tanjunggenting yang terdiri dari perselingan batupasir malihan, batupasir dan batulempung dengan lensa batugamping, setempat dijumpai oksida besi (Gambar 5a). Batuan-batuan pada formasi ini umumnya berlapis baik, terlipat kuat, terkekarkan dan tersesarkan. Di dalam batugamping dijumpai fosil *Montlivaultia Molukkana* J. Wanner, *Peronidella* G. Wilkens, *Entrochus sp.*, dan *Enricrinus sp.*, yang menunjukkan umur *Trias* dengan lingkungan pengendapan laut dangkal. Formasi Tanjunggenting tersebar luas mulai dari bagian utara, tengah dan selatan Kabupaten Bangka Selatan.

Granit Klabat menerobos batuan/formasi yang lebih tua yaitu Formasi Tanjunggenting dan Kompleks Malihan Pemali, terdiri dari granit biotit, granodiorit dan granit genesan (Gambar 5b). Granit biotit mempunyai tekstur porfiritik dengan ukuran kristal sedang-kasar, fenokris feldspar, memperlihatkan struktur foliasi. Granit genesan berwarna abu-abu dan berstruktur mendaun. Umur Granit Klabat berdasarkan pentarikhan dengan metoda K-Ar dan Rb-Sr adalah

*Trias Akhir-Jura Awal*, tersebar cukup banyak meliputi seluruh kecamatan yang ada di Kabupaten Bangka Selatan.



Gambar 5. Singkapan batuan di Bangka Selatan : a) batupasir di pantai Batubetumpang, b) granit di G. Permis.

Di atas formasi batuan yang telah disebutkan terdahulu diendapkan secara tidak selaras Formasi Ranggam yang terdiri dari perselingan batupasir, batulempung dan konglomerat. Batupasir berwarna putih kekuningan sampai dengan kecoklatan, berbutir halus-kasar, menyudut-membundar tanggung, berlapis baik, memiliki struktur sedimen silang siur, perlapisan sejajar dan perlapisan bersusun, mengandung lensa tipis batubara dan pasir timah sekunder. Batulempung mengandung bahan organik dan lensa gambut. Konglomerat mengandung fragmen granit, kuarsa dan batuan malihan.

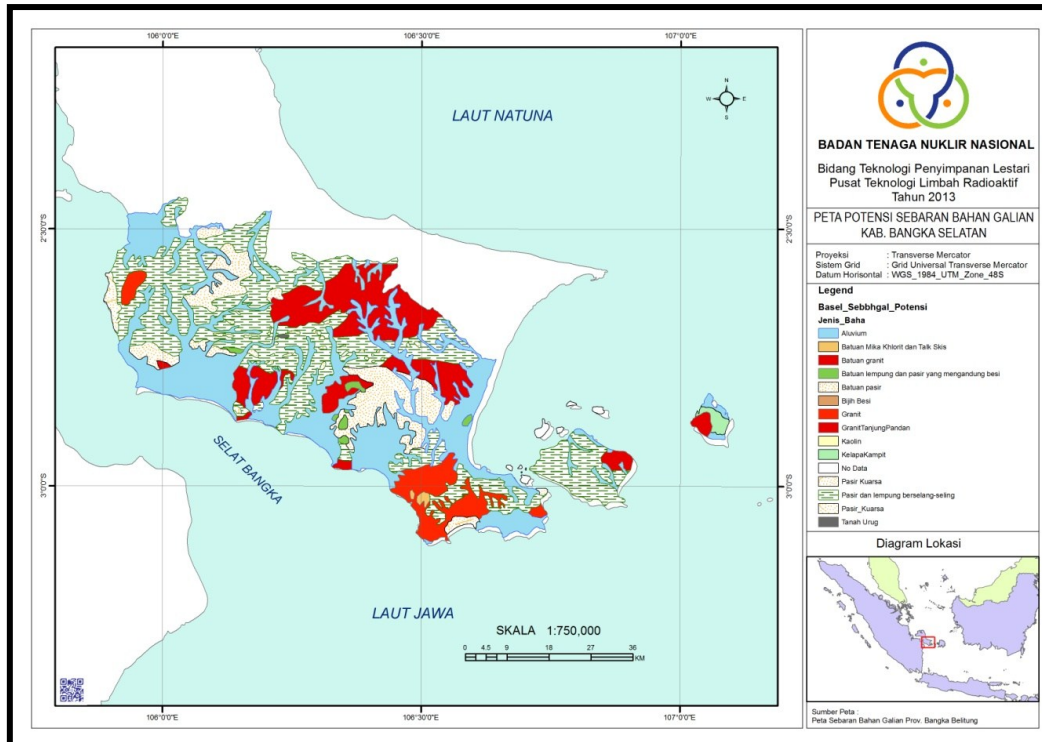
Fosil yang ditemukan pada formasi ini adalah *Turritella terebra*, *Amonia sp*, *Triloculina sp*, yang menunjukkan umur pengendapan *Miosen Akhir-Plistosen Awal* di lingkungan fluvial. Formasi Ranggam terdapat di Lesat (selatan Kepoh) dan Mangkapas.

Di atas Formasi Ranggam diendapkan endapan kuartar berupa pasir kuarsa, berwarna putih, berbutir kasar – sedang, membundar tanggung – membundar. Endapan rawa berupa lumpur, lanau dan pasir. Aluvium berupa lumpur, lempung, pasir, kerikil dan kerakal, yang keterdapatannya sebagai endapan sungai, rawa dan pantai.

### 3. Sumberdaya mineral

Kabupaten Bangka Selatan mempunyai sumberdaya mineral yang banyak dan beragam, mulai dari bahan galian seperti timah serta bahan galian industri antara lain kasiterit, monosit/*xenotime*, oksida besi, pirit, granit, diabas, kaolin, batupasir dan pasir kuarsa, pasir bangunan, tanah liat (Gambar 6).

Sumberdaya bahan galian di Kabupaten Bangka Selatan terdiri dari 7 (tujuh) jenis mineral/ bahan galian, yaitu granit, pasir kuarsa, kaolin, bijih timah, bijih besi, zircon, dan monasit [15].



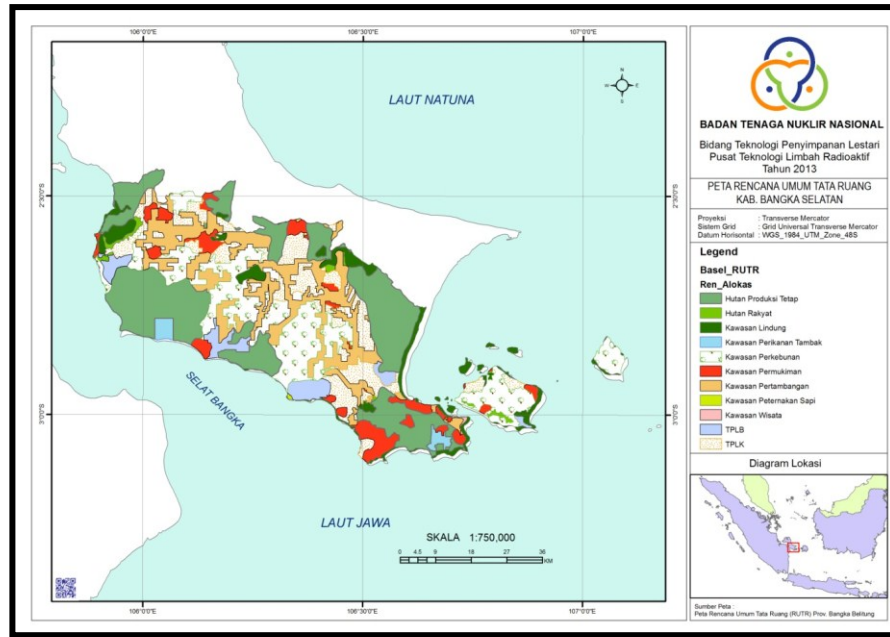
Gambar 6. Peta sebaran potensi bahan galian wilayah Kabupaten Bangka Selatan

Berdasarkan data geologi, hampir di semua wilayah baik di darat maupun di laut mempunyai cadangan bijih timah yang dikenal dengan istilah *World's tin belt* (sabuk timah dunia). Dengan struktur tanah yang mempunyai pH rata-rata di bawah 5, di dalamnya mengandung mineral bijih timah dan bahan galian lainnya seperti pasir kuarsa, kaolin, batu granit dan lain sebagainya.

#### 4. Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW)

Pemerintah Kabupaten Bangka Selatan telah menetapkan kebijakan pemanfaatan ruang yang dituangkan dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW), lihat **Gambar 7**. Pada hakekatnya RTRW menetapkan Rencana Pemanfaatan Ruang yaitu kawasan lindung dan budidaya [15].

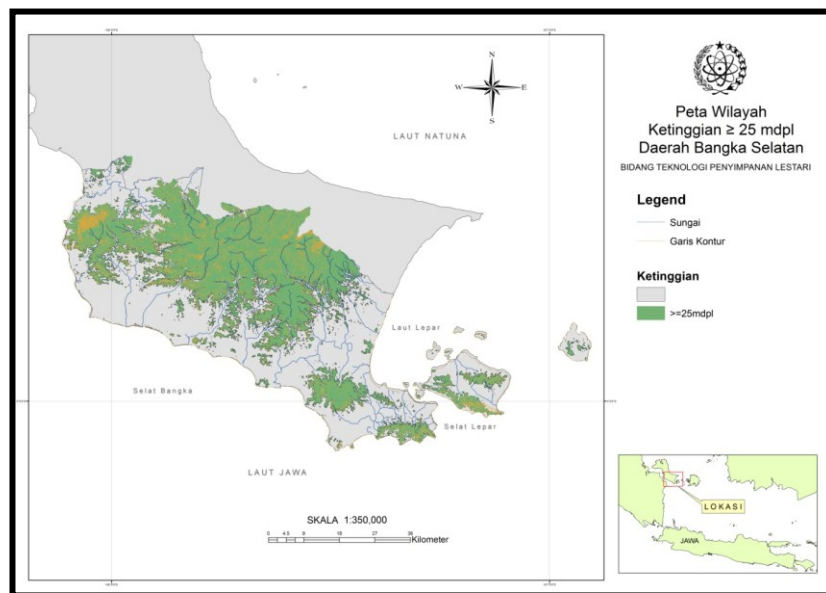
Kawasan lindung merupakan kawasan yang ditetapkan untuk fungsi utama budaya kelestarian Lingkungan Hidup yang mencakup Sumber Daya Alam dan Sumber Daya Buatan (UU 24 Th 1992) [17]. Sedangkan kawasan dikembangkan untuk kegiatan budidaya yaitu antara lain, pertanian, pemukiman, pariwisata, pertambangan, industri dan sebagainya.



Gambar 7. Peta rencana umum tata ruang wilayah Kabupaten Bangka Selatan

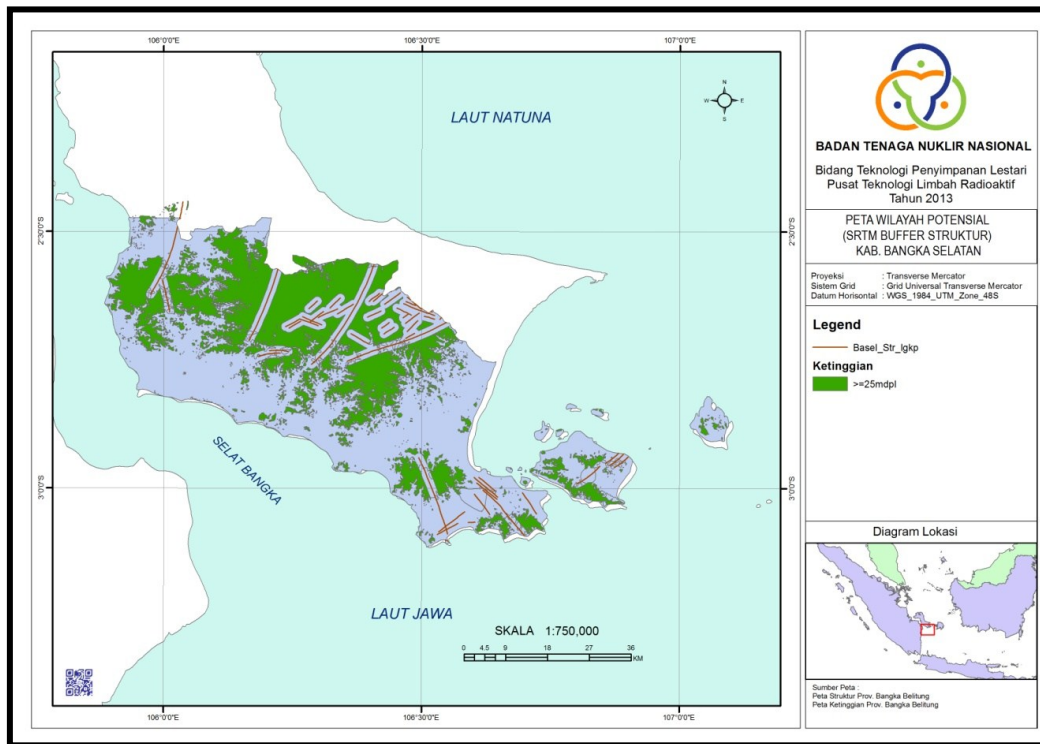
### Evaluasi Wilayah Potensial Bangka Selatan

Berdasarkan kriteria topografi yang telah ditentukan yaitu wilayah yang dipilih adalah yang memiliki ketinggian di atas 25 m dpal diperoleh wilayah hasil proses *select* seperti disajikan dalam Gambar 8. Sebagian besar wilayah berada di bagian tengah dan sedikit ada di bagian tenggara wilayah Kabupaten Bangka Selatan.



Gambar 8. Peta wilayah dengan ketinggian  $> 25$  m wilayah Kabupaten Bangka Selatan

Sesuai dengan kriteria bahwa struktur geologi sampai dengan jarak 1000 m harus dikecualikan sebagai wilayah yang menarik untuk tapak disposal, maka untuk memproses pemilihannya dengan proses GIS (*Geographical Information System*) cara *buffering (erase-1)* terhadap peta ketinggian (Gambar 8). Dengan langkah *erase-1* tadi diperoleh gambaran wilayahnya seperti ditunjukkan dalam Gambar 9.

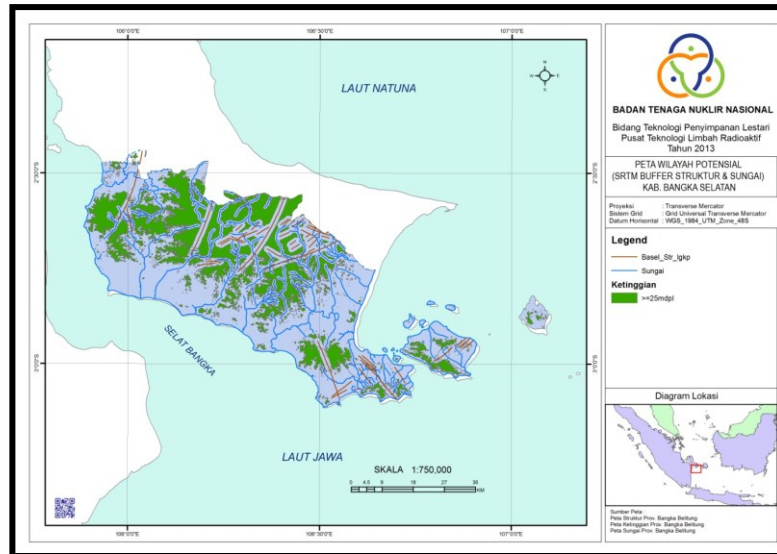


Gambar 9. Peta wilayah *buffering* struktur geologi wilayah Kabupaten Bangka Selatan

Kriteria jarak dengan tubuh air permukaan (sungai, danau dan laut) adalah sejauh 500 m harus dikecualikan sebagai wilayah menarik untuk tapak disposal, maka proses pemilihannya dengan proses GIS cara *buffering (erase-2)* terhadap peta pada Gambar 9. Dengan langkah *erase-2* tersebut dapat diperoleh gambaran wilayahnya seperti ditunjukkan pada Gambar 10.

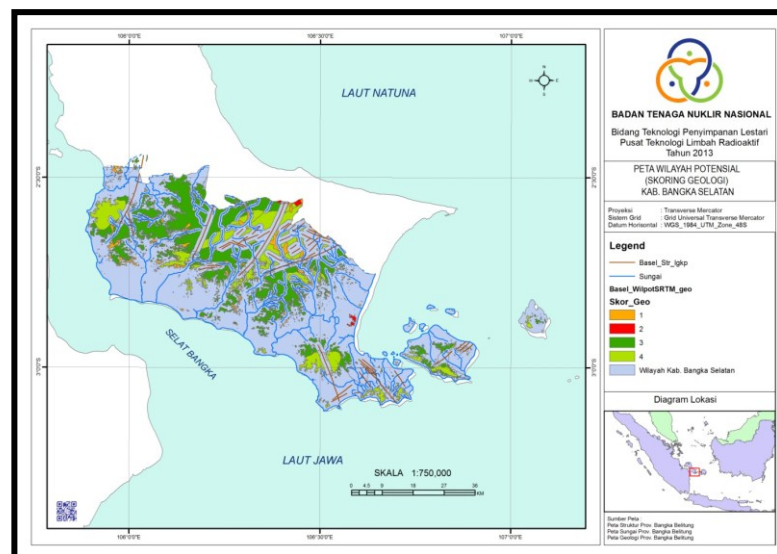
Dari peta yang ditunjukkan pada Gambar 10 kemudian dilakukan proses GIS berikutnya yaitu *intersect* dengan peta geologi, peta RTRW dan peta potensi sumberdaya mineral (bahan galian).





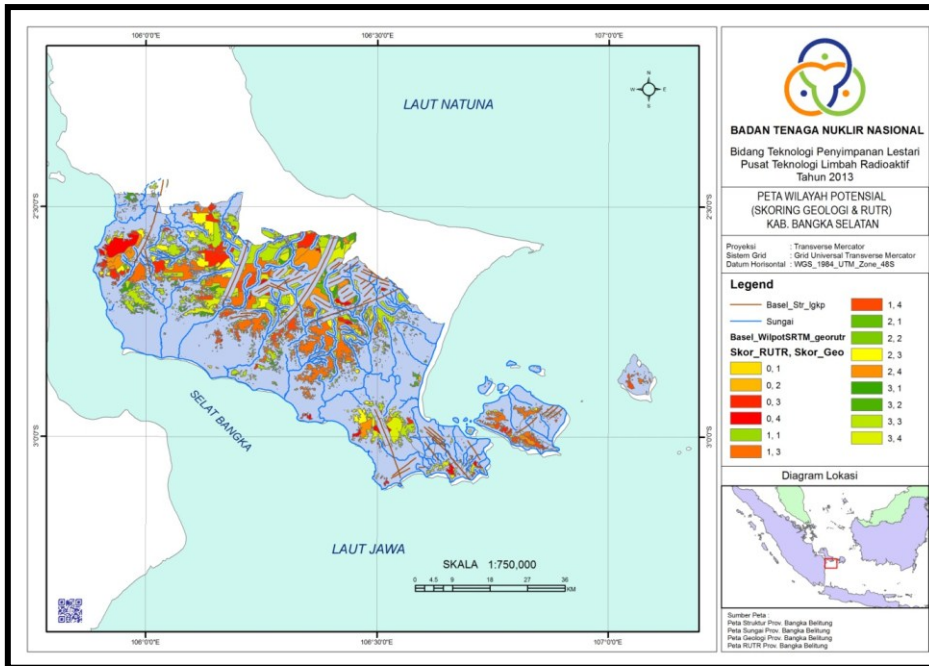
Gambar 10. Peta wilayah *buffering* struktur geologi dan sungai wilayah Kabupaten Bangka Selatan

Hasil dari proses *intersect* tersebut diperoleh peta tapak potensial yang dapat dilihat pada Gambar 11, 12 dan 13. Gambar 11 menunjukkan hasil *intersect* dengan *scoring* geologi sehingga didapat peta tapak potensial berbasis *scoring* geologi.

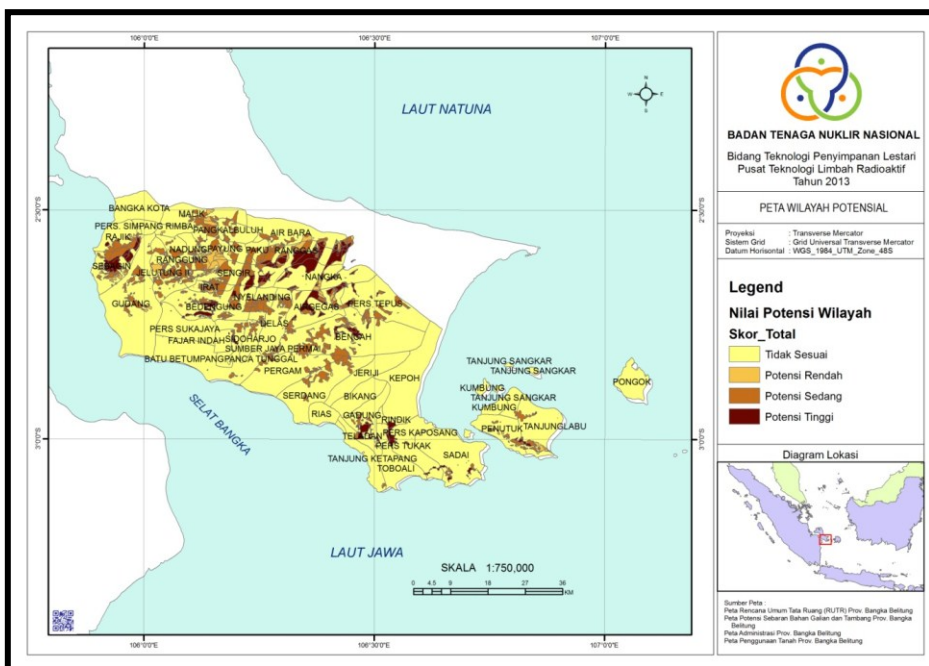


Gambar 11. Peta wilayah potensial berdasarkan *scoring* geologi Kabupaten Bangka Selatan

Gambar 12 memperlihatkan hasil *intersect* dengan *scoring* geologi dan RTRW sehingga diperoleh peta tapak potensial berbasis *scoring* geologi dan RTRW. Pada Gambar 13 dapat diketahui hasil *intersect* dengan *scoring* geologi, RTRW dan potensi sumberdaya mineral (bahan tambang) sehingga diperoleh peta tapak potensial berbasis *scoring* geologi, RTRW dan potensi sumberdaya mineral.



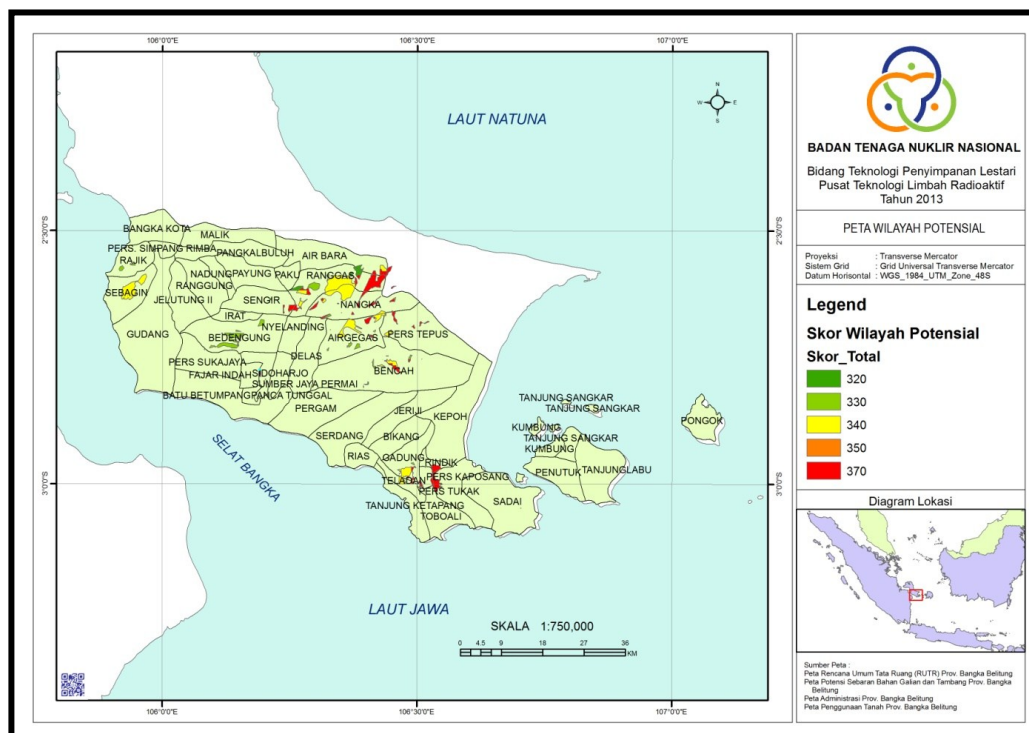
Gambar 12. Peta wilayah potensial berdasarkan *scoring* geologi dan rencana tata ruang wilayah Kabupaten Bangka Selatan



Gambar 13. Peta wilayah potensial Kabupaten Bangka Selatan

Setelah didapatkan peta tapak potensial kemudian dilakukan proses GIS *union* dengan peta administrasi untuk mengetahui letak tapak potensial tersebut berada pada daerah yang masuk wilayah administrasi kecamatan dan atau desa tertentu (Gambar 14). Dari hasil semua proses geologi tersebut akhirnya dapat

diperoleh tapak potensial yang nilainya  $\geq 340$ , yaitu daerah Nangka, Ranggas, Sebagin dan Kaposang.



Gambar 14. Peta wilayah potensial dan administrasi Kabupaten Bangka Selatan

## B. Bangka Barat

### 1. Geomorfologi

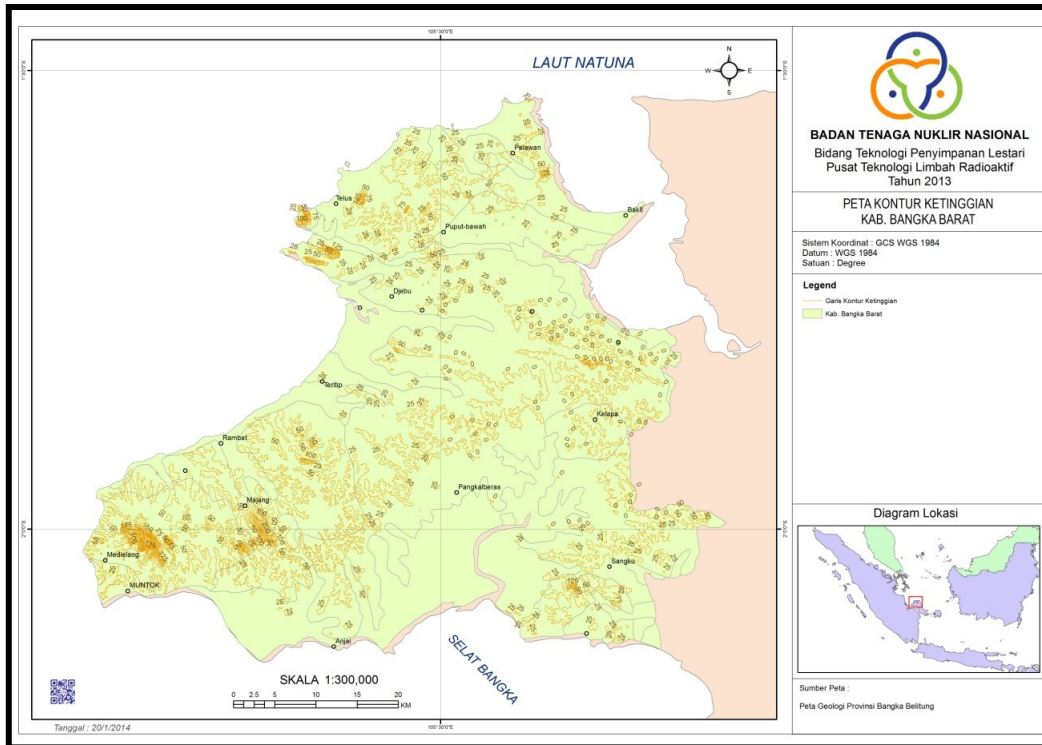
Aspek geomorfologi yang dibahas meliputi topografi dan pola pengaliran sungai. Berdasarkan peta kontur yang dibuat berdasarkan peta rupa bumi lembar daerah Bangka Barat dapat diuraikan sebagai berikut (**Gambar 15**).

Kondisi topografi dan morfologi di Kabupaten Bangka Barat sangat bervariasi. Puncak tertinggi di Bangka Barat adalah Gunung Menumbing di Kec. Muntok dengan ketinggian sekitar 445 meter di atas permukaan laut (dpl). Bukit-bukit lainnya yang relatif lebih rendah dari Gunung Menumbing tersebut, antara lain adalah Bukit Kelumpang, Bukit Kukus (Kec.Muntok), Bukit Mayang, Bukit Penyabung (Kecamatan Simpangteritip), Bukit Kebon Kapit, Bukit Pasukan, Bukit Penyabung, Sinar Kelabat (Kecamatan Jebus), Bukit Galang (Kecamatan Kelapa), dan Bukit Telimpuk (Kecamatan Tempilang), yang ketinggiannya bervariasi antara 150 m sampai 200 meter.

Lahan dengan ketinggian 0 - 25 meter dpl adalah yang paling dominan, sehingga menunjukkan “seolah” ada lahan rendah yang memisahkan antara wilayah Kecamatan Jebus dengan wilayah lainnya di Bangka Barat. Bagian lahan rendah tersebut adalah persambungan antara kompleks Sungai Kampak dan kompleks Sungai Antan. Pada bagian wilayah yang menghadap ke Laut Natuna cenderung lebih curam/melandai, seperti di bagian utara Kec. Muntok, Kec. Simpangteritip, dan di bagian barat hingga utara Kecamatan Paritiga, yang

ditandai oleh lebih dekatnya garis kontur 25 meter ke pesisir. Sementara pada bagian wilayah yang menghadap ke Selat Bangka dan Teluk Kelabat cenderung lebih datar, dengan posisi garis kontur 25 meter relatif lebih jauh dari garis pantai.

Kabupaten Bangka Barat memiliki kurang lebih 87 Daerah Aliran Sungai (DAS), dengan DAS terluas adalah DAS Mancung sebesar 59.844 ha (21 %) yang melewati dua kecamatan dan 11 desa. Dua Kecamatan yaitu Kecamatan Kelapa dan Simpangteritip, sedangkan desa yang dilewati adalah Desa Tanjungniur, Penyampak, Kayuarang, Simpangyul, Mancung, Pangkalberas, Sinarsari, Kelapa, Tebing, Airbulin, dan Dendang.



Gambar 15. Peta kontur ketinggian dan pola sungai wilayah Kabupaten Bangka Barat

Pola hidrologi yang diidentifikasi terdiri dari Daerah Aliran Sungai (DAS), kolong, dan rawa. Beberapa diantaranya merupakan potensi air baku di Kabupaten Bangka Barat. Selain sungai, badan air yang merupakan air permukaan yang banyak terdapat di Kabupaten Bangka Barat adalah air kolong, yaitu air yang tertampung dalam lubang bekas galian tambang timah. Sejumlah kolong yang ada, antara lain adalah Kolong Terabek, Kolong Berang, Kolong Sekar Biru, Kolong Parit III, Kolong Ketap, Kolong Hijau/Alang, Kolong Panca. Selain itu juga terdapat rawa-rawa yang merupakan tampungan air permukaan.

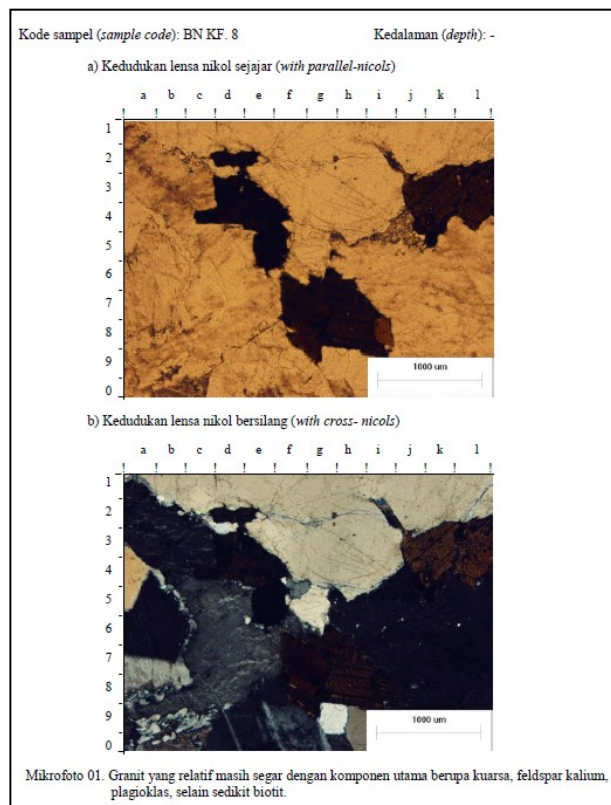
## 2. Geologi

Berdasarkan hasil digitasi peta geologi yang bersumber dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung tahun 1995 [18], jenis batuan utama di Kabupaten Bangka Barat terdiri dari bongkah, kerakal, kerikil, aluvial,

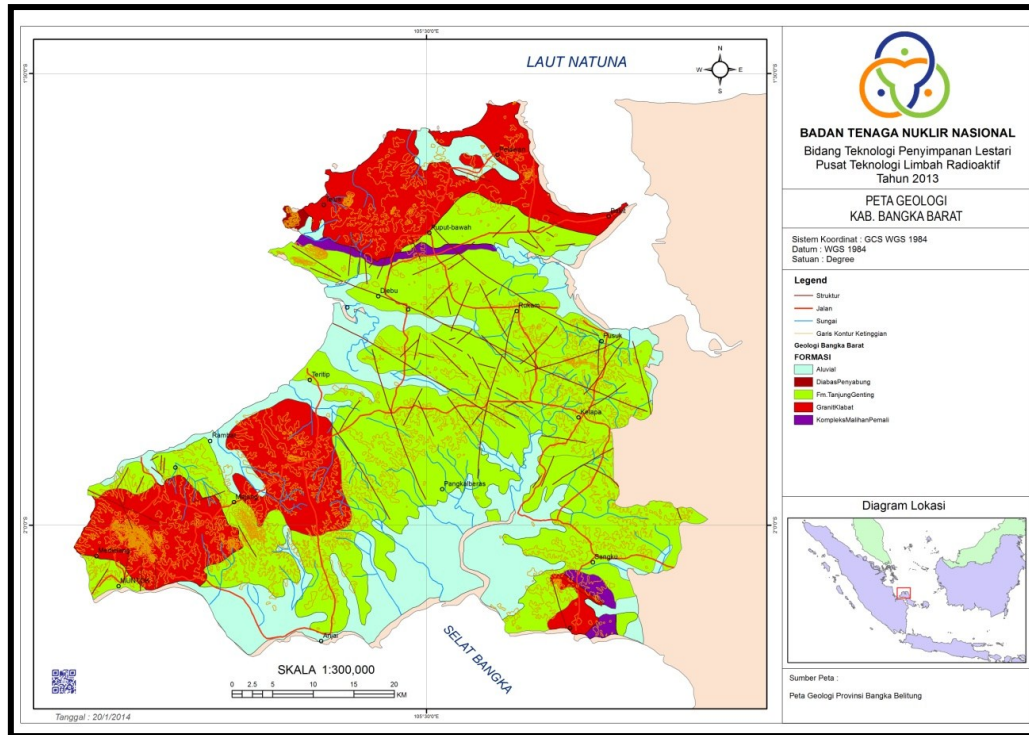
granit, perselingan batupasir, serta filit dan sekis yang tersebar di seluruh kecamatan di Kabupaten Bangka Barat. Perselingan batu pasir merupakan jenis batuan utama yang memiliki luas terbesar yaitu 135.115,5 ha atau sebesar 47 % dari total luas daratan di Pulau Utama Kabupaten Bangka Barat, sedangkan jenis batuan filit dan sekis memiliki luas terkecil yaitu sebesar 426, 89 ha atau sebesar 0,1 %.



Gambar 16. Singkapan batuan potensial granit di bukit daerah Simpangtritip, Bangka Barat



Gambar 17. Kenampakan granit dalam bentuk sayatan tipis yang dilihat secara mikroskop petrografi (contoh granit dari calon tapak PLTN Bangka Barat)



Gambar 18. Peta geologi wilayah Kabupaten Bangka Barat

### 3. Sumberdaya mineral

Kawasan pertambangan terdiri dari tambang logam dan non logam, untuk kawasan non logam hanya terdapat di wilayah daratan sedangkan untuk kawasan pertambangan berada di wilayah laut dan darat. Izin usaha pertambangan (IUP) untuk kawasan pertambangan di wilayah laut seluas ± 5.4515 ha sedangkan untuk kawasan pertambangan di wilayah darat seluas ± 74.437 ha.

### 4. Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW)

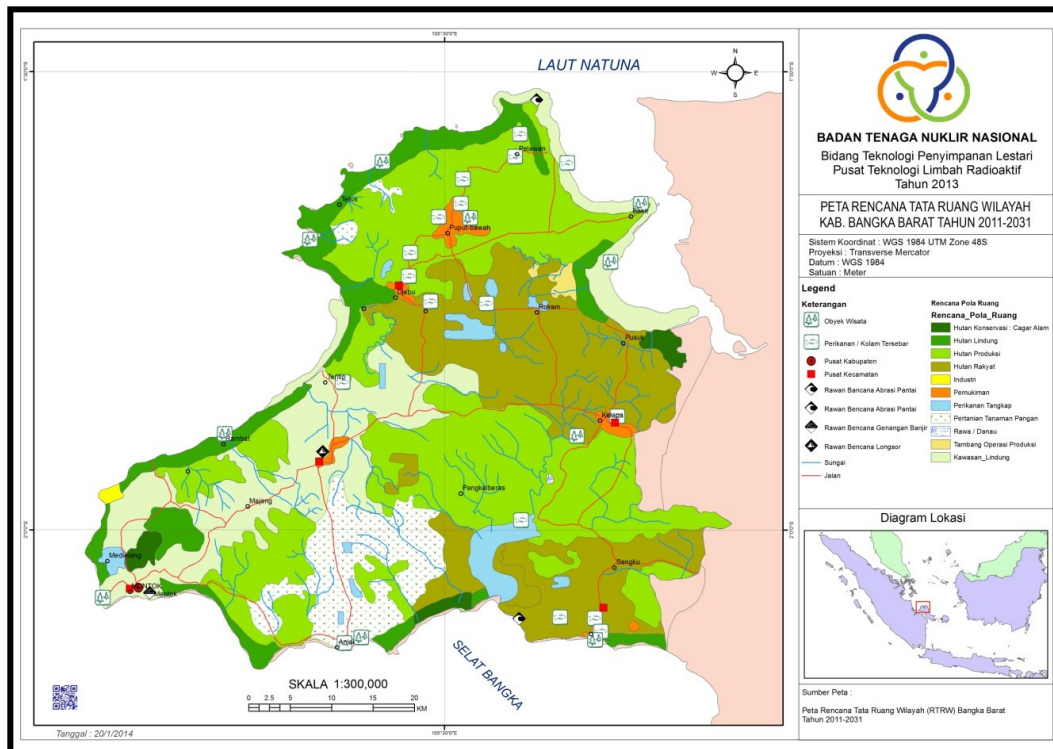
Penentuan pola ruang Kabupaten Bangka Barat dirumuskan dengan pertimbangan-pertimbangan antara lain potensi kegiatan aktual, potensi sumber daya alam, daya dukung dan daya tampung ruang aspek lingkungan hidup, kesesuaian lahan, *existing* penggunaan lahan (*landuse*) dan arahan RTRW Provinsi [19].

Secara garis besar RTRW Kabupaten Bangka Barat terdiri dari Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung dan Rencana Pola Ruang Kawasan Budidaya. Adapun masing-masing rencana pola ruang tersebut dibagi lagi menjadi beberapa kawasan yang terdistribusi seperti berikut dan ditampilkan dalam Gambar 19.

Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung terdiri dari Kawasan Hutan Lindung (HL), Kawasan yang Memberi Perlindungan Terhadap Kawasan Bawahannya, Kawasan Perlindungan Setempat (sempadan pantai, sempadan sungai, sempadan mata air, sempadan kolong atau waduk, ruang terbuka hijau kota), Kawasan Suaka Alam, Pelestarian Alam dan Cagar Budaya (Kawasan Hutan Konservasi dan Cagar Alam, Kawasan pantai berhutan bakau, Kawasan

cagar budaya dan ilmu pengetahuan), Kawasan Rawan Bencana Alam dan Kawasan Lindung Geologi [19].

Rencana Pola Ruang Kawasan Budidaya terdiri atas Kawasan Peruntukan Hutan Produksi (HP), Kawasan Hutan Rakyat (HR), Kawasan Peruntukan Pertanian (Peruntukan pertanian lahan pangan, Peruntukan pertanian hortikultura, Kawasan peruntukan perkebunan besar dan perkebunan rakyat, Kawasan peruntukan peternakan, Kawasan Peruntukan Perikanan- tangkap dan budidaya perikanan), Kawasan Peruntukan Pertambangan, Kawasan Peruntukan Industri, Kawasan Peruntukan Pariwisata (Wisata Alam, Wisata Budaya) dan Kawasan Peruntukan Permukiman (permukiman perkotaan dan permukiman perdesaan) [19].



Gambar 19. Peta rencana tata ruang wilayah Kabupaten Bangka Barat

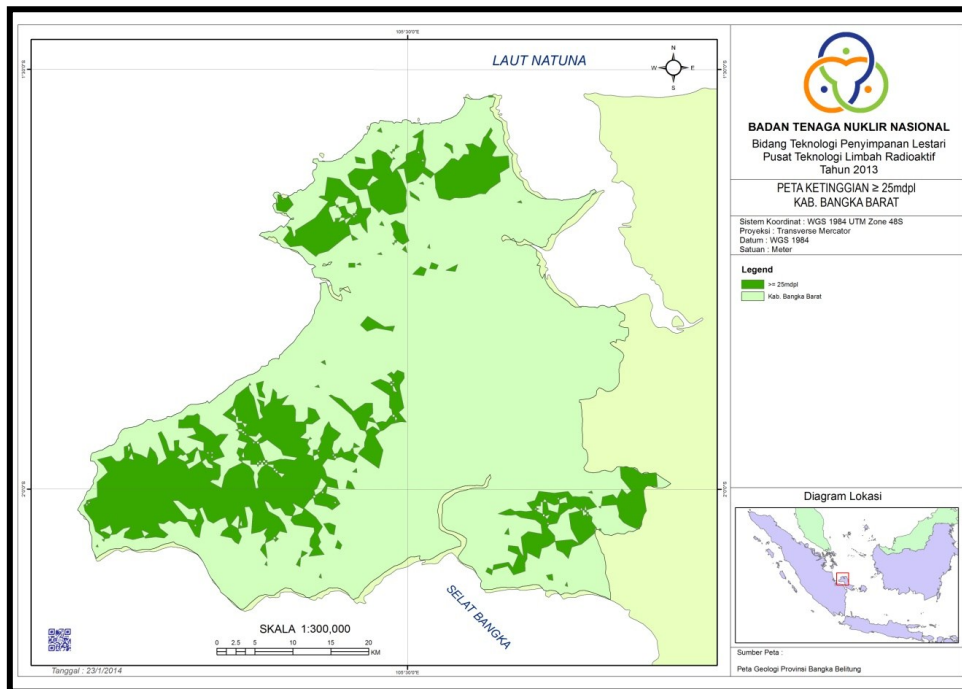
### Evaluasi Wilayah Potensial Bangka Barat

Berdasarkan kriteria topografi yang telah ditentukan yaitu wilayah yang dipilih adalah yang memiliki ketinggian di atas 25 m dpal diperoleh wilayah hasil proses *select* seperti disajikan dalam Gambar 20. Sebagian besar wilayah berada di bagian barat, utara dan tenggara wilayah Kabupaten Bangka Barat.

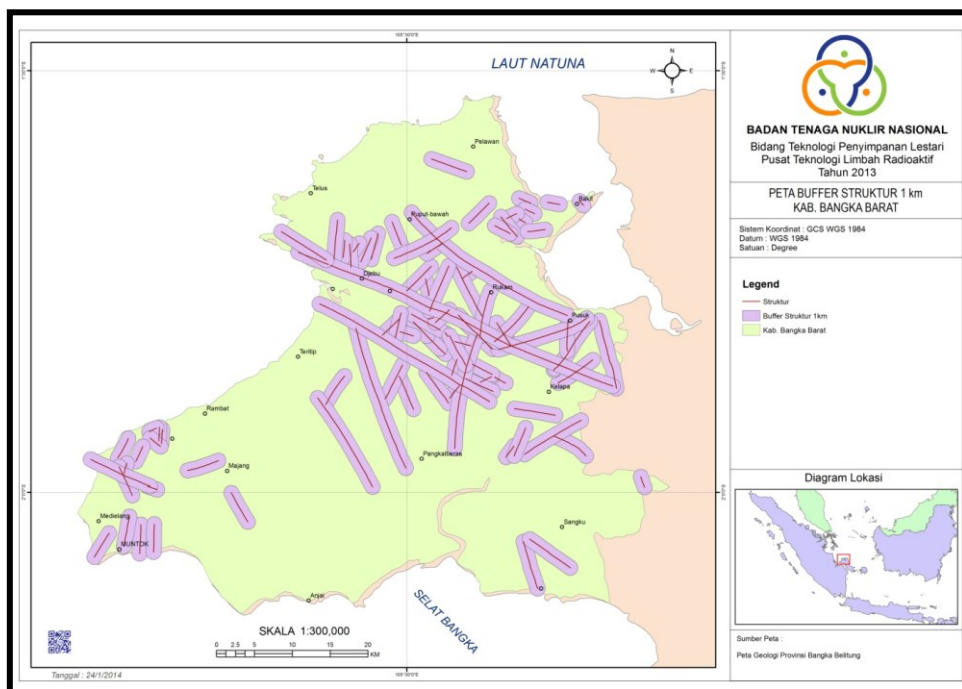
Sesuai dengan kriteria bahwa struktur geologi sampai dengan jarak 1000 m harus dikecualikan sebagai wilayah yang menarik untuk tapak disposal, maka untuk memproses pemilihannya dengan proses GIS cara *buffering (erase-1)* terhadap peta ketinggian (Gambar 20). Dengan langkah *erase-1* tadi diperoleh gambaran wilayahnya seperti ditunjukkan dalam Gambar 21.

Kriteria jarak dengan tubuh air permukaan (sungai, danau dan laut) adalah sejauh 500 m harus dikecualikan sebagai wilayah menarik untuk tapak disposal,

maka proses pemilihannya dengan proses GIS cara *buffering* (*erase-2*) terhadap peta pada Gambar 18. Dengan langkah *erase-2* tersebut dapat diperoleh gambaran wilayahnya seperti ditunjukkan pada Gambar 22.

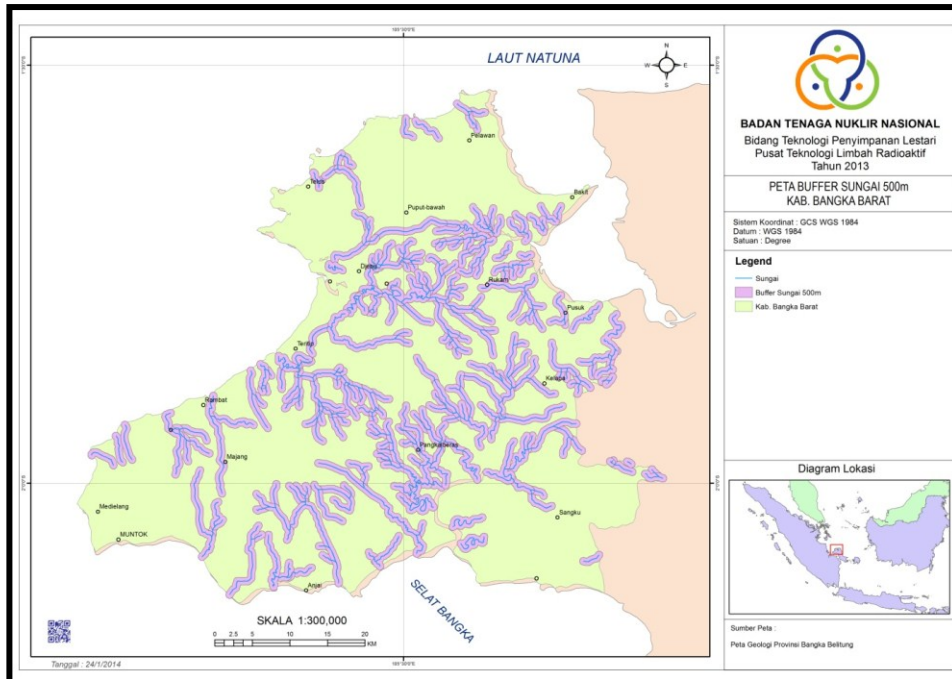


Gambar 20. Peta wilayah dengan ketinggian  $>25$  m wilayah Kabupaten Bangka Barat



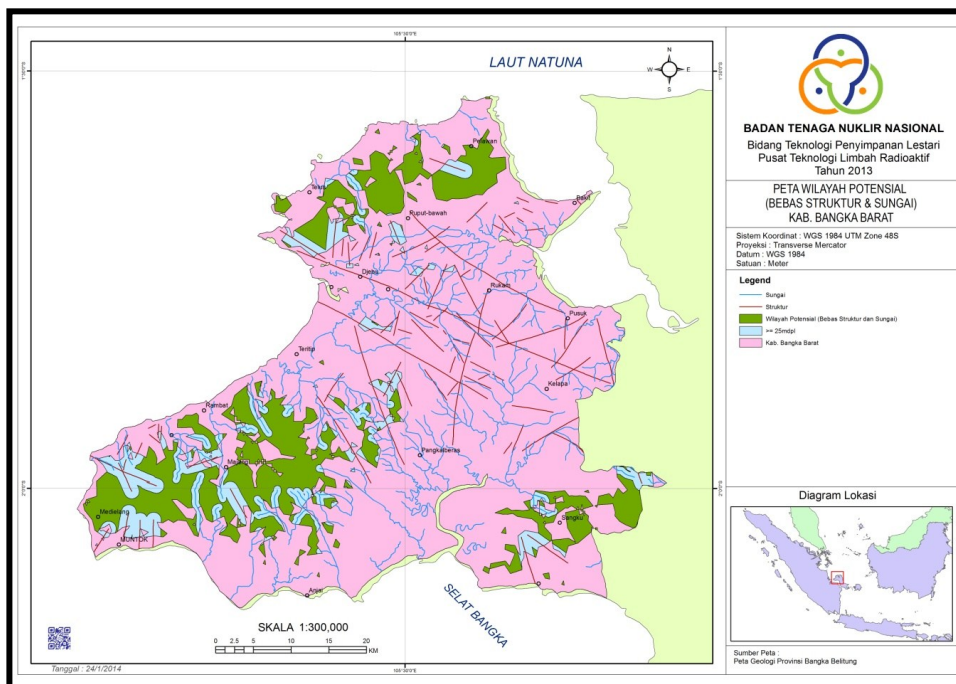
Gambar 21. Peta wilayah *buffering* struktur geologi 1 km wilayah Kabupaten Bangka Barat





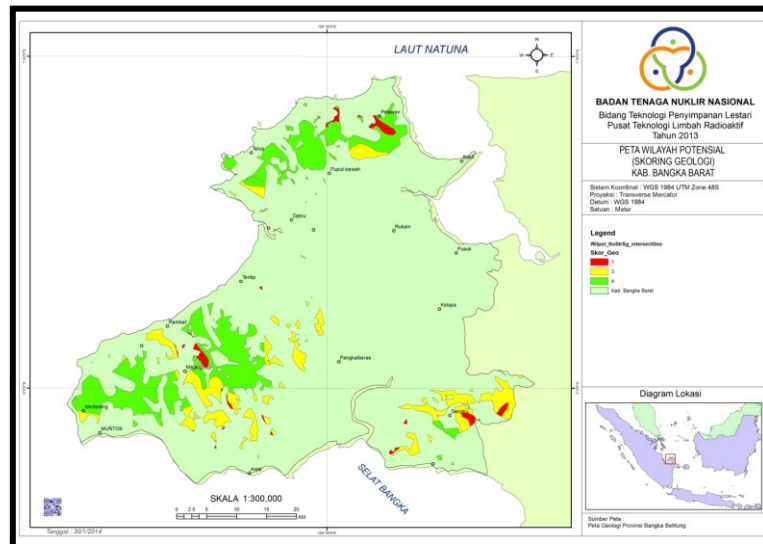
Gambar 22. Peta wilayah *buffering* sungai 500m wilayah Kabupaten Bangka Barat

Gabungan dari hasil dua kali buffering struktur geologi dan sungai diperoleh peta tapak potensial yang bebas struktur dan bebas sungai Kabupaten Bangka Barat (Gambar 23).



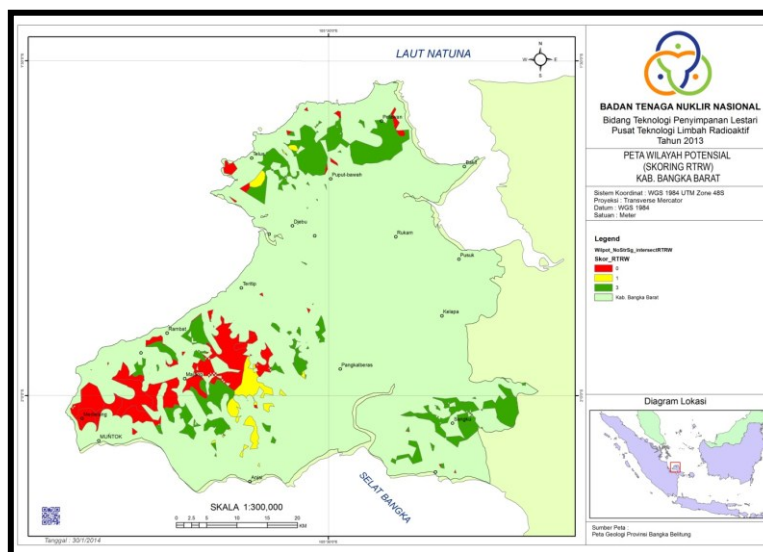
Gambar 23. Peta tapak potensial bebas struktur dan sungai Kabupaten Bangka Barat

Hasil bersih dari peta yang ditunjukkan pada Gambar 23 kemudian dilakukan proses GIS berikutnya yaitu *intersect* dengan peta geologi dan peta RTRW. Hasil dari proses *intersect* tersebut diperoleh peta tapak potensial yang dapat dilihat pada Gambar 24, 25 dan 26. Gambar 24 menunjukkan hasil *intersect* dengan *scoring* geologi sehingga didapat peta tapak potensial berbasis *scoring* geologi.

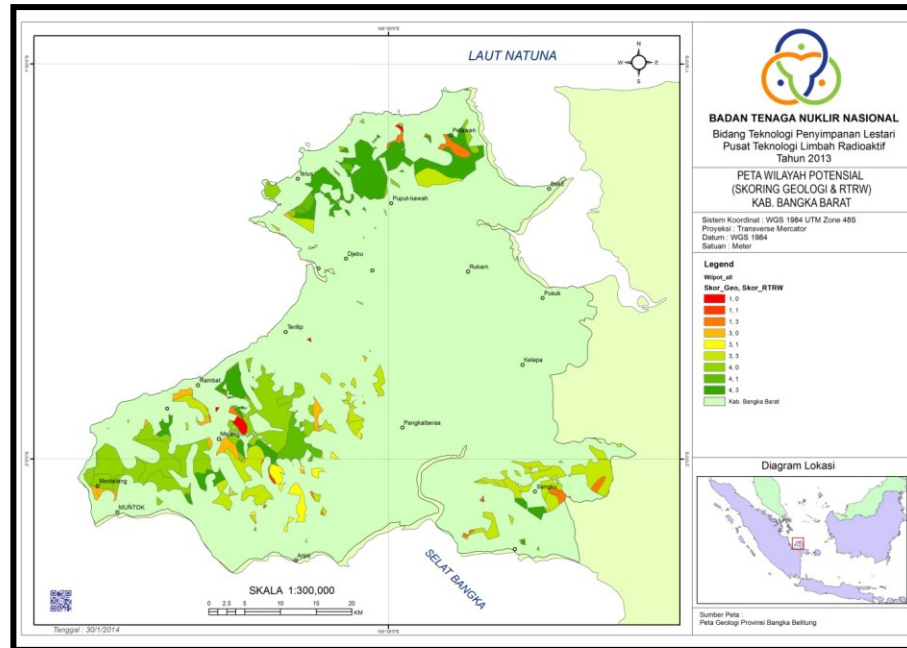


Gambar 24. Peta tapak potensial berbasis *scoring* geologi Kabupaten Bangka Barat

Gambar 25 memperlihatkan hasil *intersect* dengan *scoring* RTRW sehingga diperoleh peta tapak potensial berbasis *scoring* RTRW. Pada Gambar 26 dapat diketahui hasil *intersect* dengan *scoring* geologi dan RTRW sehingga diperoleh peta tapak potensial berbasis *scoring* geologi dan RTRW.

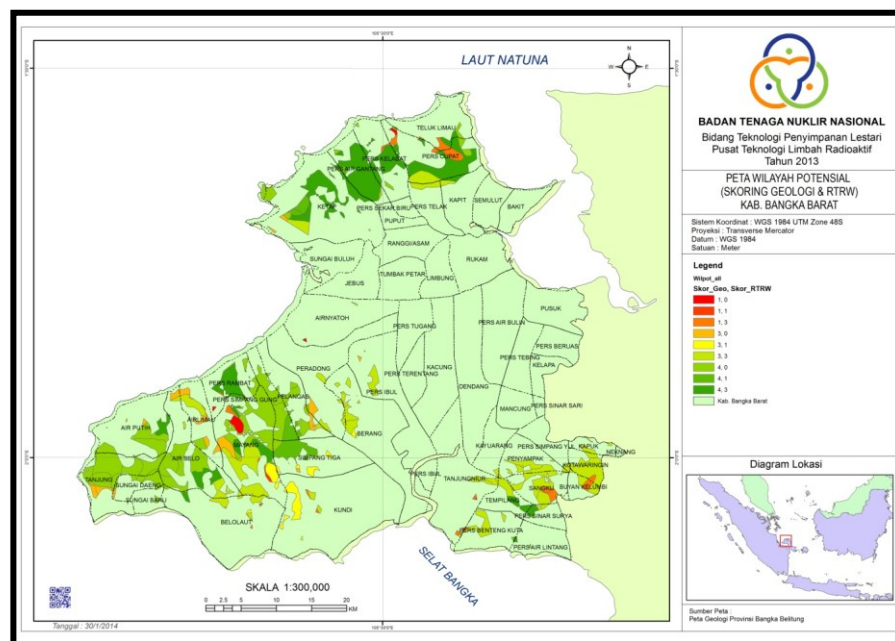


Gambar 25. Peta tapak potensial berbasis *scoring* RTRW Kab. Bangka Barat



Gambar 26. Peta tapak potensial berbasis *scoring* geologi dan RTRW Kabupaten Bangka Barat

Setelah didapatkan peta tapak potensial kemudian dilakukan proses GIS *union* dengan peta administrasi untuk mengetahui letak tapak potensial tersebut berada pada daerah yang masuk wilayah administrasi kecamatan dan atau desa tertentu (Gambar 27). Dari hasil semua proses GIS tersebut akhirnya dapat diperoleh tapak potensial yang nilainya tertinggi, yaitu daerah Air Gantang, Kelabat, Cupat, Ketap dan Rambat.



Gambar 27. Peta wilayah potensial dan administrasi Kabupaten Bangka Barat

Dari hasil evaluasi wilayah potensial di Bangka Selatan dan Bangka Barat diperoleh beberapa tapak potensial untuk disposal limbah radioaktif yaitu Nangka, Ranggas, Sebagin dan Rindik-Kaposang (Bangka Selatan), serta Air Gantang, Kelabat, Cupat, Ketap dan Rambat (Bangka Barat).

## KESIMPULAN

Hasil evaluasi wilayah potensial untuk mendapatkan beberapa tapak potensial dengan metode gabungan antara *buffering*, *scoring* dan *overlay* dengan menggunakan *ArcGIS-10* melalui proses *Select*, *Erase-1*, *Erase-2*, *Intersect* dan *Union* diperoleh beberapa tapak potensial untuk disposal limbah radioaktif.

Di Bangka Selatan dan Bangka Barat diperoleh beberapa tapak potensial yaitu Nangka, Ranggas, Sebagin dan Rindik-Kaposang (Bangka Selatan), serta Air Gantang, Kelabat, Cupat, Ketap dan Rambat (Bangka Barat).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan bantuan berbagai pihak antara lain seluruh staf BTPL, pimpinan dan staf PTLR, pemerintah daerah setempat dan semua pihak yang membantu penelitian baik dalam bentuk fasilitas, tenaga, pikiran maupun perijinan, maka tersusunlah makalah ini. Untuk itu saya sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang membantu tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA :

- [1]. Undang-undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaga-nukliran.
- [2]. Peraturan Pemerintah No. 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif.
- [3]. Keputusan Menteri Riset dan Teknologi Nomor 193/M/Kp/IV/2010 tentang *Agenda Riset Nasional Tahun 2010-2014*, Kementerian Ristek, Jakarta, 2010.
- [4]. Peraturan Kepala BATAN Nomor 013/KA/I/2010 tentang *Rencana Strategis BATAN Tahun 2010-2014*, BATAN, Jakarta, 2010.
- [5]. PTLR, *Rencana Strategis PTLR 2010-2014*, PTLR BATAN, Serpong, 2010
- [6]. Peraturan Kepala BATAN Nomor 123/KA/VIII/2007 tentang *Rincian Tugas Unit Kerja di Lingkungan BATAN*, BATAN, Jakarta, 2007.
- [7]. IAEA, (1994), *Siting of Near Surface Disposal Facilities*, Safety Series No. 111 G-3.1, IAEA, Vienna.
- [8]. IAEA, (1994), *Near Surface Disposal of Radioactive Wastes*, Safety Series No. 111-S.3, IAEA, Vienna.
- [9]. SUCIPTA, S. WALUYO, B. SETIAWAN, D. SUGANDA, A.S. PURNOMO, dan H. SRIWAHYUNI, Studi Pemilihan Calon Tapak Disposal Limbah Radioaktif Operasi PLTN di Bangka Belitung : Penyusunan Konsep dan Rencana Disposal, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PTAPB BATAN, Yogyakarta, 2012.
- [10]. SUCIPTA, HENDRA A.P., ARIMULADI S.P., HERU SRIWAHYUNI, dan BUDI S., Studi Pemilihan Calon Tapak Disposal Limbah Radioaktif Operasi PLTN di Bangka Belitung : Pemilihan Wilayah Potensial, Prosiding Seminar Teknologi Pengelolaan Limbah XI, PTLR BATAN, Serpong, 2013.
- [11]. IAEA, (1982), *Site Investigations for Repositories for Solid radioactive Wastes in Shallow Ground*, Technical Reports Series No. 216, IAEA, Vienna .

- 
- [12]. IAEA, (1983), *Criteria for Underground Disposal of Solid Radioactive Wastes*, Safety Series No. 60, IAEA, Vienna.
- [13]. D.J. SQUIRES, (1991), *Siting of Shallow Land Repositories*, Regional Training Course on National Infrastructure for Radioactive Waste Management, Jakarta, Indonesia.
- [14]. SUCIPTA dan PRATOMO, B.S., Kriteria Lokasi Penyimpanan Lestari Limbah Radioaktif Tanah Dalam (*Deep Geological Disposal*) di Indonesia, Prosiding PPI PDIPTN P3TM BATAN, Yogyakarta, 2003.
- [15]. BAPPEDA Kabupaten Bangka Selatan, *Peta Struktur dan Pola Pemanfaatan Ruang Kabupaten Bangka Selatan Tahun 2000-2015*, Toboali, 2000.
- [16]. MARGONO, U., SUPANDJONO, RJB. dan E. PARTOYO, *Peta Geologi Lembar Bangka Selatan*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1995.
- [17]. Undang-undang No. 24 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang
- [18]. S. ANDI MANGGA dan B. DJAMAL, *Peta Geologi Lembar Bangka Utara*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1994.
- [19]. BAPPEDA Kabupaten Bangka Barat, *Peta Struktur dan Pola Pemanfaatan Ruang Kabupaten Bangka Barat Tahun 2000-2015*, Muntok, 2000.



## PERKIRAAN BIAYA DISMANTLING REAKTOR TRIGA MARK II, BANDUNG DALAM AREA TERKONTROL

Mulyono Daryoko, Yuli Purwanto, Dwi Luhur Ibnu S.  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN

### ABSTRAK

**PERKIRAAN BIAYA DISMANTLING REAKTOR TRIGA MARK II, BANDUNG DALAM AREA TERKONTROL** Telah dilakukan studi perkiraan biaya dismantling reaktor Triga Mark II, Bandung dalam daerah terkontrol. Studi ini adalah salah satu item dari ISDC. Hirarki ISDC dibagi menjadi 3 level, dimana level 1 merupakan pokok kegiatan, yang ditulis dalam 2 digit, level kedua merupakan grup kegiatan yang ditulis dalam 6 digit dan level ketiga merupakan jenis kegiatan yang ditulis dalam 6 digit pula. Dari keseluruhan jenis kegiatan tersebut akan didapatkan biaya yang masing-masing bisa dirinci dalam 4 katagori: yaitu biaya tenaga, biaya investasi, pengeluaran umum dan pengeluaran tak terduga. Perkiraan biaya dismantling dimulai dari komponen inti reaktor dan sekitarnya, kemudian diperluas dengan komponen-komponen berikutnya. Dari studi ini bisa disimpulkan bahwa perkiraan biaya dismantling pada daerah terkontrol yang wajar disediakan adalah Rp. 24.000.000.000,- Biaya tersebut didistribusikan pada ISDC.

Kata kunci : biaya dismantling, reaktor Triga Mark II, ISDC, perkiraan biaya.

### ABSTRACT

**ESTIMATED COST OF DISMANTLING FOR REACTOR TRIGA MARK II, BANDUNG IN CONTROLLED AREA.** Cost estimate study for dismantling Triga Mark II reactor, Bandung in the controlled area was conducted. This study is one of the items of the ISDC. ISDC hierarchy is divided into 3 levels, where level 1 is the principal activity, which is written in 2 digits, the second level is a group activity that is written in 6 digits, and the third level is the type of activity that is written in 6 digits anyway. Of the overall types of activities will be available, each of which costs can be broken down into 4 categories: namely labor costs, investment costs, general expenses and unexpected expenses. The estimated cost of dismantling began of the reactor core and surrounding components, and then expanded with the following components. From this study it can be concluded that the estimated cost of dismantling the reasonable control area provided is Rp.24,000,000,000, - be distributed at ISDC.

Keywords : cost of dismantling, Triga Mark II reactor, ISDC, the estimated cost.

### PENDAHULUAN

Reaktor Triga Mark II Bandung (irisian vertikal dan horizontalnya dapat dilihat pada Gambar 1) mulai dioperasikan pada tahun 1965 pada daya 250 kW. Pada tahun 1971 daya reaktor ditingkatkan menjadi 1000 kW dan dioperasikan dari tahun 1971 sampai dengan tahun 1996. Pada tahun 1996 operasi reaktor diberhentikan, dan ditingkatkan kembali dayanya menjadi 2000 kW pada tahun 2000[1,2]. Komisioning reaktor Triga Mark II dilakukan pada tahun 2001 dengan perpanjangan izin operasi hingga tahun 2016. Reaktor tersebut cepat atau lambat pasti akan di dekomisioning. Oleh karena itu Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) harus menyiapkan perencanaan dekomisioningnya.

Secara umum dekomisioning didefinisikan sebagai rangkaian tindakan yang dilakukan pada akhir usia pemanfaatan suatu fasilitas nuklir, atau suatu rangkaian proses yang dilakukan untuk penghentian beroperasinya suatu instalasi nuklir secara tetap. Dekomisioning dilakukan dalam rangka penghentian dari pelayanannya dengan mempertimbangkan kesehatan dan keselamatan para pekerja, masyarakat umum dan lingkungan hidup baik masa sekarang maupun masa yang akan datang. Kegiatan dekomisioning reaktor nuklir antara lain pemindahan bahan bakar nuklir dari teras reaktor, dekontaminasi dan dismantling komponen reaktor, pembongkaran (*demolition*) struktur bangunan reaktor, pengelolaan limbah dan disposal, serta pengamanan akhir tapak[3].

Salah satu hal yang sangat berpengaruh pada biaya dekomisioning adalah strategi dekomisioning, yaitu apakah *immediate dismantling*, *long term storage* atau *entombment*. Dengan gambaran perbandingannya sebagai berikut [3]:

#### *Immediate dismantling*

- Segera dilakukan dismantling seluruh komponen reaktor dan penunjangnya hingga menjadi green field (lebih kurang 5 tahun)
- Segera bisa digunakan kembali
- Untuk fasilitas nuklir/reaktor yang kecil, lebih menguntungkan
- Segera bebas dari biaya *maintenance* dan *surveillance*
- Biaya pengelolaan limbah dan disposal lebih besar.

#### *Long term storage*

- Disimpan untuk menunggu peluruhan, fasilitas didiamkan hingga 150 tahun
- Paparan radiasi sudah sangat kecil, para pekerja sangat aman
- Jumlah dan aktivitas radionuklida lebih kecil, biaya pengelolaan limbah lebih kecil
- Diperlukan biaya *maintenance* dan *surveillance*
- Selalu diperlukan *liability*
- Para ahli mantan operator sudah tidak aktif
- Tidak bisa segera digunakan untuk fasilitas nuklir yang lain
- Biasanya untuk fasilitas nuklir yang besar.

#### *Entombment*

- Struktur reaktor disungkup dalam material yang stabil (misalnya *concrete*)
- Dibiarkan hingga tingkat aman
- Disposal in situ, tidak diperlukan biaya pengelolaan limbah dan disposal
- Tidak bisa digunakan kembali
- Biaya *maintenance* dan *liability* yang sangat panjang, bisa menjadi persoalan.

Berdasarkan pertimbangan biaya tersebut, maka strategi dekomisioning yang dipilih adalah dekomisioning segera, karena untuk reaktor kecil seperti reaktor Triga Mark II Bandung secara keseluruhan biaya dekomisioning akan jauh lebih murah. Disamping itu para ilmuwan serta operator yang berkecimpung dalam bidang Reaktor Triga Mark II masih aktif bekerja atau belum pensiun sehingga tidak membebani generasi yang akan datang.

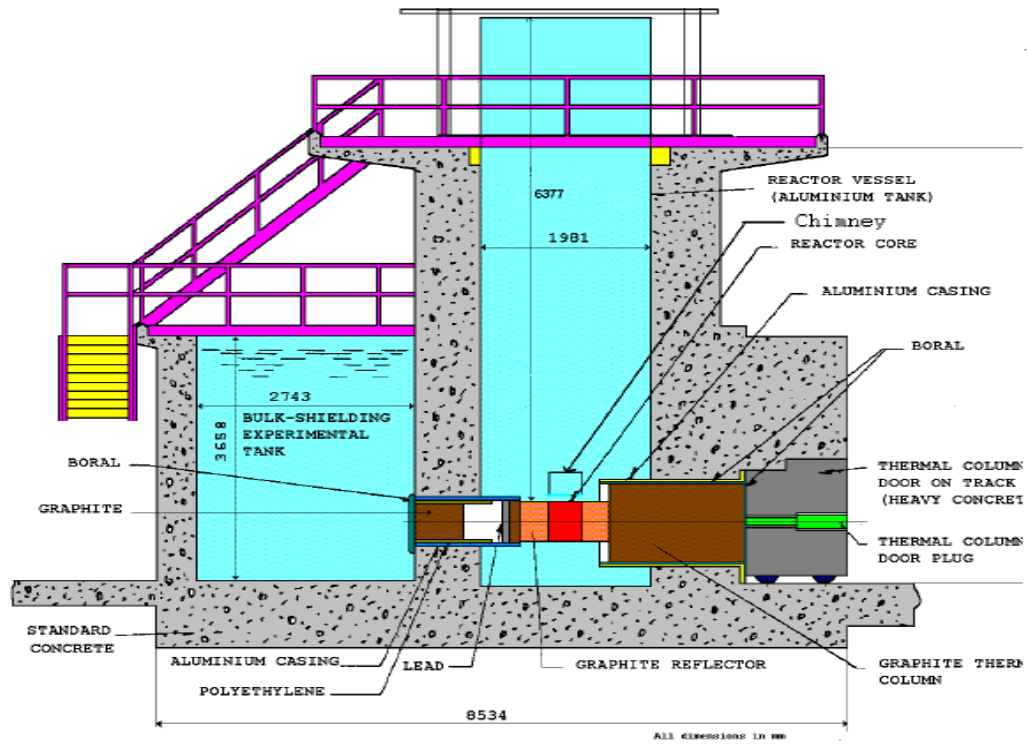
Sebelum dilakukan dekomisioning pada tahap awal perlu dilakukan perencanaan biayanya. Ini diperlukan agar pelaksanaan dekomisioning bisa berjalan



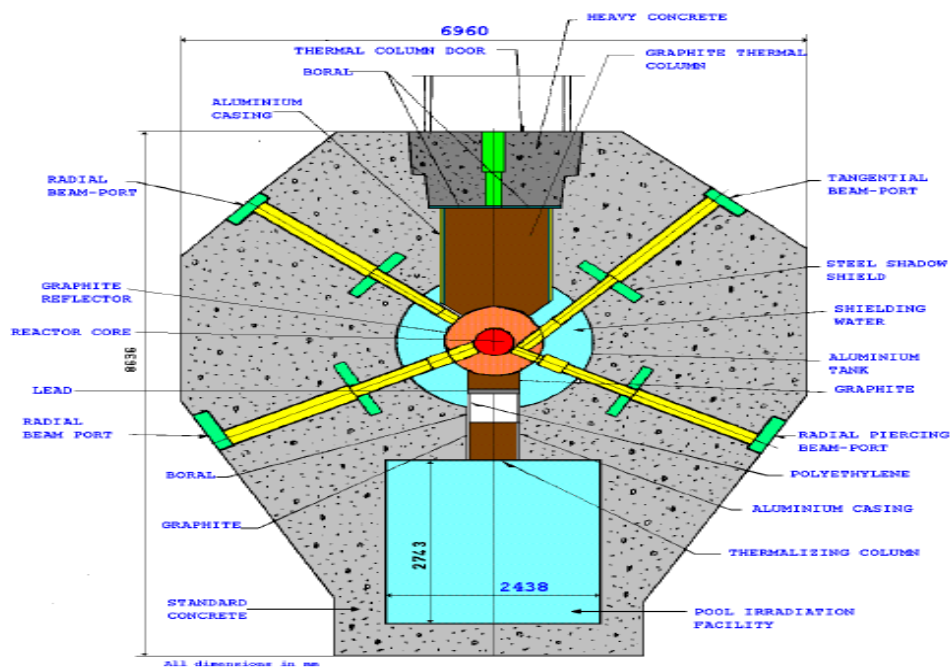
dengan lancar. Pada makalah ini dibahas perkiraan biaya dismantling pada area terkontrol

Dismantling reaktor Triga Mark II adalah pembongkaran atau pelepasan struktur dari suatu sistem atau bagian-bagiannya pada proses dekomisioning reaktor Triga Mark II. Untuk maksud tersebut diperlukan inventarisasi radionuklida yang terkandung pada material-material utama, yang terletak pada inti reaktor dan sekitarnya (*reflektor, thermal column, thermalizing column, biological shielding, Control Rod Column, Detector Column, Grid Plate, Supporting Core, Supporting Leg Thermal Column Core, Tangki Reaktor, Lazy Susan, Beam Port*).

Sebelum dilakukan dekomisioning pada tahap awal perlu dilakukan perencanaan biayanya. Ini diperlukan agar pelaksanaan dekomisioning bisa berjalan dengan lancar. Pada makalah ini dibahas perkiraan biaya dismantling pada area terkontrol. Biaya ini kemudian disajikan dalam bentuk ISDC. Hirarki ISDC dibagi menjadi 3 level, dimana level 1 merupakan pokok kegiatan, yang ditulis dalam 2 digit, level kedua merupakan grup kegiatan yang ditulis dalam 6 digit dan level ketiga merupakan jenis kegiatan yang ditulis dalam 6 digit pula. Dari keseluruhan jenis kegiatan tersebut akan didapatkan biaya yang masing-masing bisa dirinci dalam 4 katagori: yaitu biaya tenaga, biaya investasi, pengeluaran umum dan pengeluaran tak terduga. Perkiraan biaya dismantling dimulai dari komponen inti reaktor dan sekitarnya, kemudian diperluas dengan komponen-komponen berikutnya[4].



VERTICAL SECTION REACTOR TRIGA-MARK-II



Gambar 1. Reaktor Triga Mark II, Bandung, irisan vertikal dan horizontal[1,2]

## METODOLOGI

Untuk mengetahui biaya dismantling komponen-komponen pada daerah terkontrol perlu dilakukan inventarisasi radionuklidanya. Dari inventarisasi itu bisa diketahui peta aktivitas komponen-komponen tersebut, dan ini sangat berpengaruh pada biaya dismantlingnya.

Struktur biaya dekomisioning akan mengacu pada standar IAEA, yaitu ISDC (International Structure for Decommissioning Costing). Hirarki ISDC tersebut dibagi menjadi 3 level, dimana level 1 merupakan pokok kegiatan, yang ditulis dalam 2 digit, level kedua merupakan grup kegiatan yang ditulis dalam 6 digit dan level ketiga merupakan jenis kegiatan yang ditulis dalam 6 digit pula. Dari keseluruhan jenis kegiatan tersebut akan didapatkan biaya yang masing-masing bisa dirinci dalam 4 kategori: yaitu biaya tenaga, biaya investasi, pengeluaran umum dan pengeluaran tak terduga. Dalam struktur ISDC ini ada 11 pokok kegiatan, yaitu tindakan pra dekomisioning, kegiatan pada saat fasilitas shut down, kegiatan tambahan pada pengamanan terbatas atau penguburan, kegiatan dismantling di dalam daerah yang terkontrol, pengolahan limbah storage dan disposal, dismantling demolition dan restorasi, project management, engineering dan support, penelitian dan pengembangan, elemen bakar dan elemen nuklir yang lain serta pengeluaran lain. Perkiraan biaya dismantling dimulai dari komponen utama ini, kemudian diperluas dengan komponen-komponen berikutnya. Kegiatan dismantling ini termasuk dalam pokok kegiatan 04 yang meliputi kegiatan-kegiatan seperti terlihat pada Tabel 1.

### **Tabel 1. Pokok kegiatan 04**

#### **04,0100 Pengadaan peralatan untuk dekontaminasi dan dismantling**

- 04,0101 Pengadaan umum peralatan dismantling in situ
- 04,0102 Pengadaan peralatan untuk dekontaminasi personil dan alat .
- 04,0103 Pengadaan alat khusus untuk dismantling sistem reaktor .
- 04,0104 Pengadaan alat khusus dismsntling komponen lain atau struktur .

#### **04,0200 Persiapan dan dukungan untuk dismantling**

- 04,0201 Rekonfigurasi servis fasilitas dan lokasi untuk mendukung dismantling
- 04,0202 Persiapan infrastruktur dan logistik untuk dismanling
- 04,0203 Ongoing karakterisasi radiology selama dismantling

#### **04,0300 Dekontaminasi pra dismantling**

- 04,0301 Drainase sistem yang tersisa .
- 04,0302 Penghapusan lumpur dan produk dari sistem yang tersisa .
- 04,0303 Dekontaminasi sistem yang tersisa .
- 04,0304 Dekontaminasi daerah dalam bangunan.

#### **04,0400 Penghapusan bahan yang memerlukan prosedur khusus .**

- 04,0401 Penghapusan isolasi termal .
- 04,0402 Penghapusan asbes .
- 04,0403 Penghapusan bahan berbahaya lainnya .

**04,0500 Dismantling proses utama sistem struktur dan komponen .**

- 04,0501 Dismantling dari inti reaktor .
- 04,0502 Dismantling tangki reaktor dan komponen inti lainnya.
- 04,0503 Dismantling komponen loop primer lainnya .
- 04,0504 Dismantling proses utama sistem
- 04,0505 Dismantling dari eksternal ermal / perisai biologis .

**04,0600 Dismantling sistem dan komponen lainnya.**

- 04,0601 Dismantling sistem tambahan.
- 04,0602 Dismantling komponen yang tersisa.

**04,0700 Penghapusan kontaminasi dari struktur bangunan.**

- 04,0701 Penghapusan elemen tertanam dalam bangunan.
- 04,0702 Penghapusan struktur terkontaminasi.
- 04,0703 Dekontaminasi bangunan.

**04,0800 Penghapusan kontaminasi dari daerah di luar bangunan.**

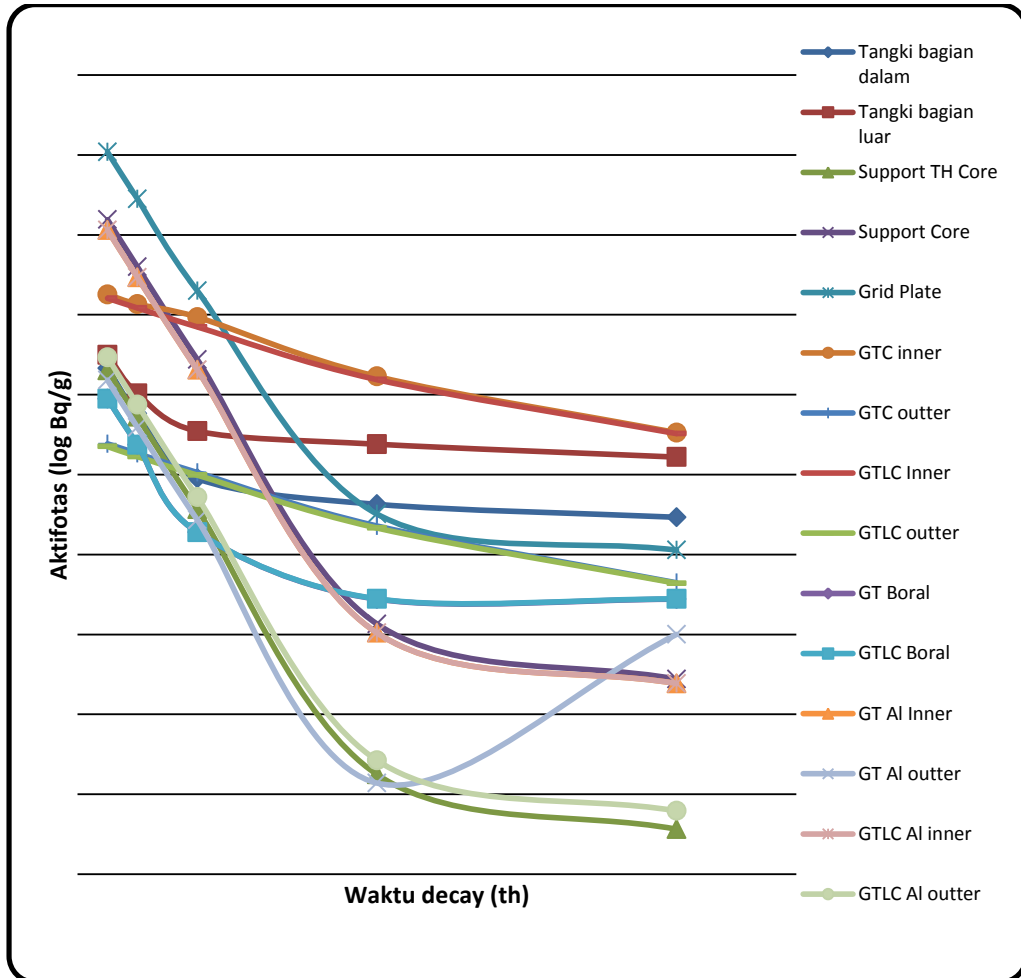
- 04,0801 Penghapusan pipa dan struktur terkontaminasi bawah tanah
- 04,0802 Penghapusan tanah yang terkontaminasi dan barang-barang lain yang terkontaminasi.

**04,0900 Survey radioaktivitas akhir untuk rilis bangunan.**

- 04,0901 Survei radioaktivitas final bangunan.
- 04,0902 Deklasifikasi bangunan

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Inventarisasi radionuklida pada komponen-komponen utama bisa dilihat pada Gambar 2[5]. Berdasarkan hasil inventarisasi radionuklida yang terkandung dalam material-material tersebut, pada Tabel 2 diperlihatkan jumlah radionuklida pada setiap bahan pada inti reaktor, sedangkan pada Tabel 3 ditunjukkan jumlah radionuklida pada masing-masing komponennya.



Gambar 2. Inventarisasi radionuklida pada komponen-komponen utama

Tabel 2. Jumlah radionuklida pada setiap bahan pada inti reaktor

komponen	Free release		Akt. rendah		Akt. sedang		jumlah	
	Kg	Vol. L	Kg	l	Kg	l	Kg	l
Grafit		4074	2796					
			3.259			3.259		
Aluminum		90	3036					
			1645		882			
Boral		54	472					
Baja								
Baja thn krt			91					

			355				
Beton		44.443 533600	<b>100050</b>		33350		

**Tabel 3. Jumlah radionuklida dalam komponen pada inti reaktor**

No	Komponen	Berat kg	Volume l	Aktivitas	Sat. biaya	Biaya
1	Reflector Grafit	2140 275	1070 l 76 l	5,46 Ci 4,8 Ci	185.000	3.00
2	Thermal Column Grafit Aluminium Boral	5300 567 450	2304 l 210 l 50 l	0,38 Ci 0,3 Ci 2,8.10 <sup>-3</sup> Ci	185.000	7.00
3	Thermalizing Column Grafit Aluminium Boral	61 189 12	700 l 70 l 4 l	0,3 Ci 0,38 Ci 1,88.10 <sup>-5</sup> Ci	185.000	1.00
4	Biological Shielding	106.000	44.443 l	1.47.10 <sup>3</sup> Bq/g	185.000	3.00
		212.000		1.48.10 <sup>-1</sup>		4.00
5	Tangki Reaktor	2280	473.82 l	2,32 x10 <sup>-2</sup> Ci	185.000	2.00
6	Lazy Susan	65	24,089 l	1,26 Ci	185.000	2.8
7	Biemport	19	7,124 l	1,26 E-6 Ci	185.000	0.04
8	Detector column	35	13,20 l	0,66 Ci	185.000	0.07
9	Controlle rod	12	0,95 l	0,14 Ci	185.000	0.024
10	Grid plate	25	9.212 l	0.347 Ci	185.000	0.05
		117.430 212.000	52415l			24.000.000.0 00

Pembagian distribusinya dalam struktur ISDC adalah:

1. Biaya-biaya tenaga: biaya modal: biaya umum: biaya tak terduga adalah 68: 8: 15: 9 [6]. Karena biaya modal udah dikeluarkan tersendiri, maka biaya-biaya tenaga: biaya modal: biaya umum: biaya tak terduga adalah 70: 18: 12.

2. Kegiatan dismantling proses utama sistem struktur dan komponen adalah yang paling dominan [7,8]

**Tabel 4. Biaya dismantling dengan struktur ISDC.**

Lvl 1	2	3	Aktivitas	b. tenaga	b. modal	b. umum	b. tak terduga	Biaya total	Ket.
04			Kegiatan dismantling dalam area terkontrol						
	040100		Pengadaan peralatan dekontaminasi dan dismantling		6.500			6.500	
		040101	Pengadaan umum peralatan dismantling in situ						
		040102	Pengadaan peralatan untuk dekontaminasi personil						
		040103	Pengadaan alat khusus utk dismantling sistem reaktor						
		040104	Pengadaan alat khusus dismantling komponen lain atau struktur						
	040200		Persiapan dan dukungan untuk dismantling	0.350		0.090	0.060	0.500	
		040201	Dekonfigurasi servis fasilitas dan lokasi utk mendukung dismantling						
		040202	Persiapan infrastruktur dan logistik utk dismantling						
		040203	Karakteristik radiologi selama dismantling						
	040300		Dekontaminasi pra dismantling	1.400		0.360	0.240	2.000	
		040301	Drainase sistem yg tersisa						
		040302	Penghapusan lumpur dan produk dari sistem yg tersisa						
		040303	Dekontaminasi dari sistem yg tersisa						
		040304	Dekontaminasi daerah dlm bangunan						
	040400		Penghapusan bahan yg memerlukan prosedur khusus	0.350		0.090	0.060	0.500	
		040401	Penghapusan isolasi thermal						
		040402	Penghapusan asbes						
		040403	Penghapusan bahan berbahaya lainnya						
	040500		Dismantling proses utama sistem struktur dan komponen	7.700		2.000	1.300	11.000	
		040501	Dismantling inti reaktor	0.500					
		040502	Dismantling tangki reaktor dan komponen inti lainnya						
		040503	Dismantling loop primer lainnya	0.500					
		040504	Dismantling proses utama sistem	6.200					
		040505	Dismantling dr eksternal /perisai biologis	0.500					
	040600		Dismantling sistem dan komponen lainnya	1.400		0.360	0.240	2.000	
		040601	Dismantling sistem						

			tambahan						
		040502	Dismantling komponen yg tersisa						
	040700		Penghapusan kontaminasi dari struktur bangunan	0.350		0.090	0.060	0.500	
		040701	Penghapusan elemen tertanam dan bangunan						
		040702	Penghapusan srtuktur terkontaminasi						
		040703	Dekontaminasi bangunan						
	040800		Penghapusan kontaminasi dari luar bangunan	0.350		0.090	0.060	0.500	
		040801	Penghapusan pipa dan struktur terkontaminasi bawah tanah						
		040802	Penghapusan tanah yg terkontaminasi dan barang2 lain yg terkontaminasi						
	040900		Survy radioaktivitas akhir untuk rilis bangunan	0.350		0.090	0.060	0.500	
		040901	Survai radioaktivitas final bangunan						
		040902	Deklarasi bangunan						
								24.000	

## KESIMPULAN

Perkiraan biaya dismantling pada area terkontrol reaktor Triga Mark II didapat dari jumlah radionuklida yang ada di dalamnya. Perkiraan ini kemudian didistribusikan pada struktur ISDC. Biaya yang dibutuhkan dalam dismantling reactor Triga Mark II pada daerah terkontrol ini adalah Rp. 24.000.000.000,-

## DAFTAR PUSTAKA

- [1].International Atomic Energy Agency (2009), *Research Reactor Modernization and Refurbishment, Upgrade of the Bandung Triga 2000 Reactor*, IAEA-TECDOC-1625, Vienna (2009).
- [2].Anonymous, *Reaktor Triga 2000 Bandung*, Available: <http://airamadhan.wordpress.com/2008/05/27/reaktor-triga-2000-bandung/> diakses pada 7 November 2011.
- [3].International Atomic Energy Agency (2002), *Decommissioning Techniques for Research Reactor*, Final Report of a Coordinated Research Project, 1997-2001, IAEA-TECDOC-1273, Vienna.
- [4].International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations (2012), ISBN 978-92-64-99173-6, OECD 2012 NEA No. 7088, Nuclear Energy Agency Organisation Economic Co-operation and Development.



- [5]. Laporan Teknis Perhitungan Perkiraan Biaya Pengelolaan Limbah pada Perencanaan Dekomisioning Reaktor Triga Mark II, Bandung, Program Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa, 2012, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, Badan Tenaga Atom Nasional.
- [6]. Cost Calculation for Decommissioning and Dismantling of Nuclear Research Facilities Phase 1 (2006) Inga Andersson, Steinar Backe, Klaus Iversen, Staffan Lindkog, Neppo Salmenhaara, Rolf Sjoblem, NKS-146, ISBN 87-7893-2009-2, Nordic Nuclear Safety Research, Denmark.
- [7]. International Atomic Energy Agency (2002), *Decommissioning Cost Of WWER-440 Nuclear Power Plant*, 2002, IAEA-TECDOC-1322, Vienna
- [8]. Plan for Moata Reactor Decommissioning Ansto, Sungjong Kim, Australian Nuclear Science and Technology Organization, Australia



**STUDI PENGOLAHAN LIMBAH YANG DITIMBULKAN DARI DEKONTAMINASI  
ELEKTROPOLISHING STAINLESS STEEL 304 SECARA SINERGI ELEKTRO  
FILTRASI DAN PERTUKARAN ION DALAM RESIN**

**Sutoto**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

**ABSTRAK**

**STUDI PENGOLAHAN LIMBAH YANG DITIMBULKAN DARI DEKONTAMINASI ELEKTROPOLISHING STAINLESS STEEL 304 SECARA SINERGI ELEKTRO FILTRASI DAN PERTUKARAN ION DALAM RESIN.** Telah dilakukan rancangan metode pengolahan limbah dekontaminasi elektropolishing logam stainless steel 304 dengan metode filtrasi dan pertukaran ion dengan resin kation. Tujuannya adalah untuk mendapatkan alternatif sistem pengolahan limbah dengan kandungan kation tinggi dan memudahkan pengelolaan selanjutnya. Sistemika sinergi proses terjadi di kolom membran elektrolit nafion yang diisi serbuk penukar ion dan dibagian luarnya disekat menjadi 2 bagian yang tidak saling berhubungan secara elektrolit terkecuali melalui kolom membran terpasang. Pengikatan kation limbah yang dilewatkan kolom resin terjadi dan dipercepat pelepasannya oleh pengaruh elektroda yang bermuatan. Hasil yang didapatkan adalah sebuah sistem pengolahan limbah elektrolit yang terapkan dari metode pertukaran ion dan filtrasi elektrolit.

**ABSTRACT**

**STUDY OF TREATMENT ELECTROLYT WASTE GENERATED FROM ELECTROPOLISHING DECONTAMINATION OF 304 STAINLESS STEEL BY THE SINERGY OF ELECTRO FILTRATION AND ION EXCHANGE METHODS.** *The preliminary design of treatment method of stainless steel 304 electropolishing decontamination waste was done by synergy of electrofiltration and ion exchange methods. The objective of study to reducing of cation soluted to minimizing concentrate and make simple in treatment conditioning. Sinergy process mechanism occur in the electro membrane column filled of cation resin and it is placed in the PVC tube. The volume space between part of column resin and part of pvc tube was divided and separated to become in 2 compartments as electrode adjusted and possible only for an passing of ionic. The cation contaminants was captured by the resin and will be realeased by leaching mechanism and it was high more impact of the electro diffusion. The result study is a unit protipe of electrolyt waste treatment with mechanism sinergy of ion exchange and electro filtration.*

**PENDAHULUAN**

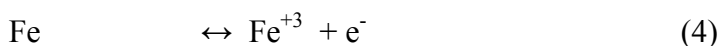
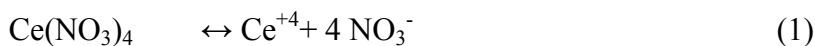
Peralatan proses industri nuklir dirancang berkeselamatan tinggi. Bahan bahan konstruksinya dipilih yang berkualitas dengan spesifikasi tertentu, sehingga menghasilkan sistem/peralatan seperti yang ditentukan. Metal *stainless steel* adalah salah satu bahan yang banyak dipakai sebagai bahan konstruksi peralatan karena nilai ketahanan korosivitas terhadap bahan kimia dan kekuatan mekaniknya relatif tinggi. Pada pemakaiannya setelah diuji fungsi dan mendapatkan ijin beroperasi dari BAPETEN, peralatan/sistem tersebut dapat dioperasikan kinerjanya sesuai PROTAP (prosedur tetap) dan JUKLAK (petunjuk pelaksanaan) yang berlaku. Pengawasan internal dan inspeksi keselamatan dari instansi pemberi ijin operasi dilakukan secara rutin berkala waktunya. Untuk mengoptimalkan kinerja dan keselamatan prosesnya, kegiatan *maintenance* (perawatan-perbaikan) selalu dilakukan secara rutin sesuai penjadwalannya.

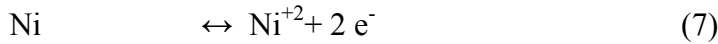
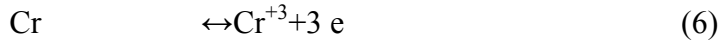
Peralatan yang telah dipakai dan bersinggungan langsung dengan zat radioaktif menjadi bersifat aktif karena permukaannya mengalami proses

terkontaminasi oleh zat radioaktif. Peralatan tersebut pengelolaannya harus mengikuti peraturan keselamatan radiasi, karena berpotensi menyebarkan kontaminan dan berbahaya bagi pekerja dan lingkungan sekitarnya[1]. Untuk menanganinya, maka terlebih dahulu harus dilakukan proses dekontaminasi, yaitu dengan mengambil kontaminan-kontaminan yang menempel dipermukaan bahan tersebut sehingga tingkat radioaktivitasnya rendah dan tidak membahayakan. Metode dekontaminasi yang cepat dengan tidak merusak permukaan bahan peralatan dan tidak menimbulkan limbah sekunder banyak dicari dan dikembangkan untuk mengoptimalkan program keselamatan radiasi dalam melakukan kegiatan *maintenance* peralatan. Lokasi keberadaan kontaminan dalam sistem peralatan yang tidak terjangkau oleh peralatan pendekontaminasi dan berada didalam lobang/pori-pori bahan merupakan kendala yang timbul dan akan dihadapi. Geometri ukuran peralatan yang besar juga merupakan hambatan di pelaksanaan dekontaminasi, sehingga perlu terlebih dahulu dilakukan tindakan *disassembling* terhadap peralatannya. Kemungkinan dampak yang ditimbulkan adalah terjadinya perubahan tingkat presisi peralatan sehingga harus *disetting* dan kalibrasi ulang. Untuk menanggulangi keadaan tersebut, maka diperlukan metode dekontaminasi setempat (*in situ*) dengan efisiensi pengambilan kontaminannya besar.

Dekontaminasi permukaan terjadi karena adanya proses pengikikisan atau pelarutan bahan yang berakibat terlepasnya radio kontaminan yang terkandung didalam bahan. Proses secara basah dengan larutan kimia mempunyai kelebihan dibandingkan secara mekanik, karena dapat diarahkan sebagai fluida sehingga menjangkau tempat/lokasi kontaminan berada. Nilai faktor dekontaminasinya relatif lebih rendah dan membutuhkan waktu lama tetapi tidak merusak permukaan bahan peralatan yang akan dipakai ulang. Berbagai jenis bahan kimia; asam sitrat dan asam oksalat dengan bahan penopang gel dapat dipakai untuk mendekontaminasi bahan *stainless steel* dengan hasil baik [2,3]. Dekontaminasi peralatan proses pemurnian uranium dan TRU (*trans uranium*) dengan solven asam kuat  $\text{HNO}_3$  memerlukan zat pendekontaminasi yang sejenis, yaitu asam kuat. Penggunaan asam sejenis tersebut untuk mengadaptasi tingkat keasaman yang ada sehingga tidak memerlukan tindakan pencucian (*flushing*) terlebih dahulu[4]. Pengembangan metode oksidasi untuk mendekontaminasi peralatan proses pemurnian bahan nuklir terus dilakukan untuk mengoptimalkan program keselamatan pekerja radiasi dan lingkungan.

Laju oksidasi permukaan logam dapat dipercepat dengan memakai senyawa pengoksidasi  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_4$  dilakukan [4-6]. Berikut adalah reaksi oksidasi *stainless steel* dengan bahan pendekontaminasi  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_4$  dalam larutan  $\text{HNO}_3$  :





Dari kegiatan dekontaminasi tersebut dihasilkan limbah sekunder yang mengandung kation penyusun logam SS 304 dan oksidatornya. Limbah tersebut bersifat radioaktif dan harus dikelola secara baik sehingga tidak membayakan lingkungan. Perlakuan reduksi volume perlu dilakukan untuk meminimalisasi hasil akhir pengolahan, diantaranya dengan cara pengendapan, pemisahan dan pemekatan kontaminan dari solvenya menggunakan metode *ion exchange* dengan resin penukar ion. Pada pengolahan reduksi volume limbah dengan metode penukar ion, dibutuhkan jumlah resin yang relatif besar dan prosesnya membutuhkan waktu panjang. Sehubungan dengan kendala tersebut maka perlu dilakukan penelitian peningkatan metode yang diharapkan dapat menghilangkan kendala-kendala diatas. Perpaduan metode elektrofiltrasi dengan penukar ion dikembangkan untuk dapat dipakai sebagai alternatif metode pengolahan limbah sekunder proses dekontaminasi logam secara elektrokimia.

**TEORI**

*Stainless steel 304* adalah salah satu produk *engineering materials* besi yang banyak dipakai di proses industri. Tujuan utama pemakaiannya adalah untuk menanggulangi laju korosifitas permukaan bahan dari berbagai jenis bahan kimia tertentu, pengaruh lingkungan (*environment*) dan produk prosesnya, Karakteristik *Stainless steel 304* terlihat pada Tabel 1. Dengan menggunakan jenis *metal alloy* tersebut, maka diharapkan waktu pemakaiannya panjang dan menurunkan periodik *maintenancenya*. Oleh karena berbagai hal yang terjadi dalam fabrikasi peralatan, seperti pengelasan dan *mechanical attack* yang berlebihan, maka akan didapatkan cacat struktur metalurginya sehingga mengakibatkan sifat ketahanan korosifnya menurun. Berbagai jenis mekanisme korosi yang dapat terjadi pada peralatan proses adalah ; *pitting corrosion, crevice corrosion, intergranular corrosion* dan *stress corrosion*. Proses terkontaminasinya peralatan terjadi karena celah atau pori-pori permukaan yang ditimbulkan dari proses korosi tersebut termasuk zat radioaktif yang mengakibatkan bersifat radioaktif.

**Tabel 1. Karakteristik *stainless steel* jenis 304 [6]**

Jenis alloy	Komposisi  % berat	Tensile Strength	
		ksi	MPa
304	19Cr, 10 Ni	84	580
304L	19Cr, 10 Ni, 0,003C	81	559

Oleh karena keberadaan zat radioaktif (kontaminan) ada didalam lobang atau pori-pori peralatan, maka cara pengambilannya relatif sulit jika tanpa merusak permukaan bahannya. Karena tinjauan nilai ekonomis peralatan mahal dan

spesifik, maka cara dekontaminasinya harus mempertimbangkan tingkat kerusakan yang akan ditimbulkan. Salah satu cara adalah dengan memperbesar diameter lobang/pori-pori hasil korosi. Metode elektrokimia dengan oksidator  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_4$  dimungkinkan dapat memperlebar diameter lobang sehingga zat radioaktif dapat terlepas bersama hasil oksidasi pengikisan bahan peralatannya. Sebagai pertimbangan nilai besarnya potensial standart  $\text{Ce}^{+4} > \text{Fe}^{+3} > \text{Cr}^{+3} > \text{Ni}^{+2}$ , sehingga Ce berperan sebagai katoda yang dapat mengoksidasi logam-logam penyusun metal alloy stainless steel 304. Berbagai nilai potensial elektroda standar terlihat pada Tabel 2.

**Tabel 2. Nilai potensial standar penyusun *alloy stainless steel 304*[6,7]**

Transformasi	Potensial (volt)
$\text{Ce}^{+4} + \text{e}^- \leftrightarrow \text{Ce}^{+3}$	+1,61
$\text{Fe}^{+3} + \text{e}^- \leftrightarrow \text{Fe}^{+2}$	+0,771
$\text{Fe}^{+2} + \text{e}^- \leftrightarrow \text{Fe}$	-0,440
$\text{Ni}^{+2} + 2 \text{e}^- \leftrightarrow \text{Ni}$	-0,24
$\text{Cr}^{+3} + 3 \text{e}^- \leftrightarrow \text{Cr}$	-0,74

## TATA KERJA

### Bahan yang dipakai

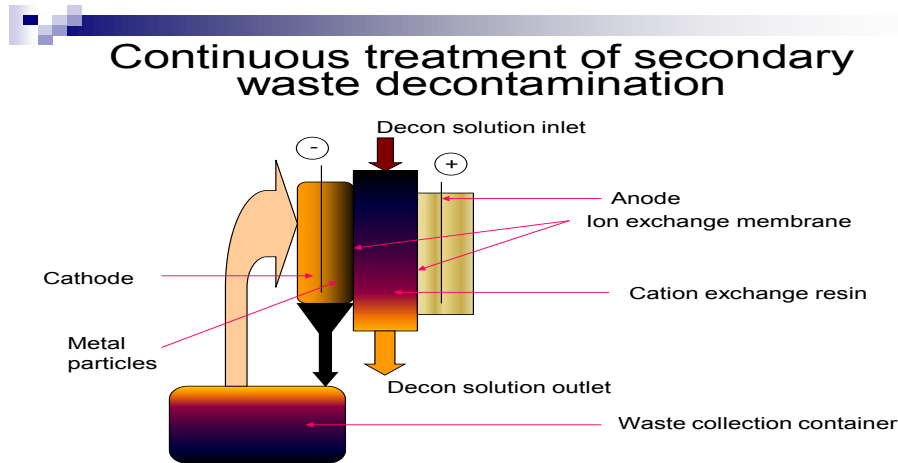
- Elektroda plat *stainless steel* berukuran panjang x lebar x tebal : 12x1x0,4 cm
- Larutan  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  dan  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$  masing-masing berkonsentrasi 0,1 M
- Larutan  $\text{HNO}_3$  berkonsentrasi 0,001 M
- *Glass wool*
- Membran elektrolit nafion
- Pipa PVC berdiameter  $\frac{3}{4}$  inch dan 4 inch
- Lem PVC
- Resin penukar ion

### Peralatan

- Peralatan gelas laboratorium
- Timbangan analitik
- Peralatan bengkel mekanik
- *Shaking machine*
- Pengaduk magnet

## Metode

Penelitian pengembangan metode pengolahan limbah sekunder dekontaminasi peralatan terbuat dari alloy stainless steel 304 dilakukan dengan menggabungkan proses elektrofiltrasi dengan proses penukar ion. Sistematika prosesnya seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistematika pengolahan limbah sekunder proses dekontaminasi elektrokimia

Sistemnya dirancang dengan memperhatikan tingkat keasaman limbah dan bahan elektrodanya dipilih berdasarkan kemudahan didapatkan dipasaran lokal dan juga tahan terhadap tingkat keasaman limbahnya. Sebagai bahan pengujian sistem, nantinya dilakukan dengan mengumpulkan limbah simulasi dari komponen logam penyusun *alloy stainless steel* 304. Tahapan awal dilakukan dengan menyusun peralatan dari bahan terkualifikasi tahan asam dan mudah pengerjaannya dengan peralatan bengkel sederhana.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan kolom dan sel elektrokimia yang dipilih adalah PVC (*poly vinyl chloride*), bahan tersebut mempunyai ketahanan korosif terhadap asam yang tinggi dan mudah dibentuk dengan peralatan bengkel sederhana. Bahan tersebut relatif tahan terhadap panas sampai temperatur  $80^{\circ}$  C, sehingga diperkirakan mampu menanggulangi panas yang timbul dari pengaliran arus listrik di kedua elektrodanya. Disamping juga bukan merupakan bahan bersifat konduktor listrik yang dapat mengganggu terjadinya proses polarisasi muatan listrik. Hasil rangkaian sistem pengolahan limbah sekunder proses dekontaminasi logam terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian sistem pengolahan limbah sekunder dekontaminasi logam

Konfigurasi sistem terdiri dari kolom terbuat dari membran elektrolit nafion yang terstruktur penguat dalam pipa PVC dan berisi resin penukar ion. Dari bagian atas pipa tersebut limbah diumpankan, sehingga akan kontak dan berinteraksi dengan resin. Proses pertukaran kation limbah dengan kation resin akan berjalan dan mengakibatkan terjadinya peningkatan kandungan kation limbah dalam resin. Transfer dan mobilisasi kation limbah ke resin berjalan. Oleh pengaruh polarisasi yang dibangkitkan dari elektroda, maka kation-kation limbah akan bergerak menuju katoda untuk melakukan reaksi reduksi. Pergerakan kation-kation menuju permukaan katode dibatasi oleh pori-pori membran elektrolit nafion, sehingga mengakibatkan hanya kation-kation yang berukuran lebih kecil dari ukuran pori-pori membran yang dapat melakukan reaksi reduksi di permukaan katoda. Proses tersebutlah yang mengakibatkan terjadinya selektifitas dan fraksinasi kandungan limbah. Berbagai ukuran kation logam terlihat pada tabel 3.

Tabel 3. Berbagai ukuran kation limbah[5]

Kation	Radius (nm)
Fe <sup>0</sup>	0,064
Fe <sup>2+</sup>	0,074
Fe <sup>3+</sup>	0,064
Ni <sup>0</sup>	0,115
Ni <sup>2+</sup>	0,069
Cr <sup>0</sup>	0,118
Cr <sup>3+</sup>	0,063
Cr <sup>6+</sup>	0,052
Mn <sup>0</sup>	0,117
Mn <sup>7+</sup>	0,046

Kation	Radius (nm)
Zn <sup>0</sup>	0,125
Zn <sup>2+</sup>	0,074
Au <sup>0</sup>	0,134
Au <sup>+</sup>	0,137
Au <sup>3+</sup>	0,090
Ag <sup>0</sup>	0,134
Ag <sup>+</sup>	0,126
Cu <sup>0</sup>	0,117
Cu <sup>+</sup>	0,096
Cu <sup>2+</sup>	0,072
Zn <sup>0</sup>	0,125



Kemudian intensitas fraksinasi kation limbah dapat juga dilakukan dengan pengaturan potensial tegangan kedua elektroda. Beberapa besaran potensial tegangan  $E^0$  dari logam terlihat pada tabel 4.

Tabel 4. Nilai potensial elektroda berbagai logam[5-7]

Logam	Reaksi Reduksi	Potensial arus $E_0$ (volts)
Emas	$Au^{+} + e^{-} \rightarrow Au_{(padat)}$	+ 1,70
	$Au^{3+} + 3 e^{-} \rightarrow Au_{(padat)}$	+1,50
Perak	$Ag^{2+} + e^{-} \rightarrow Ag^{+}$	+1,98
	$Ag^{+} + e^{-} \rightarrow Ag_{(padat)}$	+0,80
Tembaga	$Cu^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cu_{(padat)}$	+0,34
	$Cu^{2+} + e^{-} \rightarrow Cu^{+}$	+0,15
Nikel	$Ni^{2+} + 2 e^{-} \rightarrow Ni_{(padat)}$	-0,25
Cobalt	$Co^{2+} + 2 e^{-} \rightarrow Co_{(padat)}$	-0,28

## KESIMPULAN

Didapatkan rangkaian sistem pengolahan limbah sekunder dekontaminasi peralatan berbahan stainless steel yang merupakan penggabungan metode elektrofiltrasi dengan metode penukar ion. Pengujian awal terhadap kebocoran dan pengaliran limbah simulasinya berjalan baik dan perlu dioptimalisasi dengan sampel limbah simulasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. BAPETEN “ *Ketentuan Keselamatan Untuk Pengelolaan Limbah Radioaktif*” Perka No. 03/Ka. Bapeten/ V-1999
- [2]. MULYONO DARYOKO “ *Dekontaminasi Permukaan Baja Tahan Karat Dengan Metoda Kimia Berbasis Asam Sitrat*” Proseding Seminar Nasional Pengelolaan Limbah VIII , PTLR-BATAN, 2010
- [3]. SALIMIN ZAINUS “ *Dekontaminasi Glove Box Dengan Asam Oksalat dan Bahan Penopang Gel*” Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Pengolahan Limbah I, Serpong 10-11 Desember 1977
- [4]. IICHI INADA “ *Development of Electropolishing Decontamination Techniques for Surface Contamination TRU Waste*” Annual Meeting of The Energy Society of Japan 1986
- [5]. KHOPKAR S. M. “ *Konsep Dasar Kimia Analitik*” Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta, 1990
- [6]. WILLIAM F. SMITH “ *Principles of Materials Science And Engineering*” McGraw- Hill, Inc, International Edition, USA, 1996
- [7]. TONY BIRD “ *Physical Chemistry For University*” Gramedia Pustaka Utama, 1993



**KARAKTERISTIK SORPSI RADIOCESIUM OLEH PASIR KUARSA  
DARI SEBAGIN-BANGKA SELATAN  
SEBAGAI BAHAN ISIAN (*backfill*) DISPOSAL LIMBAH RADIOAKTIF**

**Budi Setiawan, Heru Sriwahyuni**  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

**ABSTRAK**

**KARAKTERISTIK SORPSI RADIOCESIUM OLEH PASIR KUARSA DARI SEBAGIN-BANGKA SELATAN SEBAGAI BAHAN ISIAN (*backfill*) DISPOSAL LIMBAH RADIOAKTIF.** Untuk memberi rasa aman karena adanya rencana pembangunan fasilitas disposal limbah radioaktif (DLRA) di Indonesia maka keandalan sistim DLRA perlu dikaji, salah satunya adalah karakter sorpsi dari bahan isian yang akan digunakan seperti pasir kuarsa terhadap salah satu radionuklida acuan yaitu Cs-137. Pasir kuarsa dari Sebagian-Propinsi Bangka-Belitung digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini. Data yang akan diambil adalah karakter sorpsi radiocesium sebagai fungsi waktu, konsentrasi CsCl dan kekuatan ion larutan dan percobaan dilakukan secara batch/catu. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan data spesifik karakteristik sorpsi radiocesium oleh bahan isian fasilitas DLRA. Konsentrasi awal CsCl yang digunakan adalah  $10^{-8}$  M, 0,1 atau 1,0 M NaCl serta  $10^{-8}$ - $10^{-4}$  M CsCl masing-masing untuk percobaan sorpsi-desorpsi, pengaruh kekuatan ionik larutan dan pengaruh konsentrasi CsCl terhadap sorpsi Cs-137 oleh sampel. Kuantifikasi serapannya dihitung dengan nilai koefisien distribusinya (Kd). Hasilnya menunjukkan bahwa waktu kontak untuk mencapai kesetimbangan diperoleh setelah 48 jam dengan nilai Kd 125 mL/g. Waktu kesetimbangan desorpsi dicapai lebih panjang setelah pengocokan sekitar 5 hari dengan nilai Kd baru menjadi 100 mL/g. Peningkatan konsentrasi NaCl di larutan membuat nilai Kd menurun karena adanya kompetisi antara ion Na dan Cs-137 berinteraksi dengan sampel. Rendahnya konsentrasi CsCl dilarutkan menghasilkan nilai Kd yang tinggi, demikian pula sebaliknya, hal ini disebabkan terbatasnya kapasitas serap sampel terhadap Cs-137.

**Kata kunci :** Disposal limbah radioaktif, Cs-137, sorpsi, pasir kuarsa

**ABSTRACT**

**SORPTION CHARACTERISTIC OF RADIOCESIUM BY QUARTZ SAND FROM SEBAGIN-SOUTH BANGKA AS BACKFILL RADWASTE DISPOSAL.** To give a safety sense to the public due to plans a radioactive waste disposal facility in Indonesia the reliability of the radwaste disposal system need to be assessed, one of which is the sorption character of backfill material will be used such as quartz sand to one of the reference radionuclide Cs-137. Quartz sand from Sebagian-Bangka-Belitung Provinces was used as sample in this study. Data to be taken out from the experiments was a sorption character of radiocesium as functions of time, concentration of CsCl and ionik strength solution, and the experiments were carried out in batch method. Objective of the experiment is to find out radiocesium sorption characteristic by backfill material of disposal facility. Initial concentration of CsCl used were  $10^{-8}$  M, 0.1 or 1.0 M NaCl and  $10^{-8}$ - $10^{-4}$  M CsCl for sorption-desorption, effect of ionik strength and effect of CsCl concentration experiments to Cs-137 sorption into samples, respectively. Sorption quantification was calculated by their values of distribution coefficient (Kd). Results showed that equilibrium contact times were reached after 48 hours with Kd values 125 mL/g. Desorption times were reached more longer after shaking about 5 days with new Kd values was 100 mL/g. Increasing in NaCl concentration in solution made Kd value decreasing due to competition among Na and Cs ions interacted with sample. Low concentration of CsCl in solution produced a high Kd value, vice a versa due to the limitation of sorption capacity of samples to Cs-137.

**Keywords:** Radioactive waste disposal, Cs-137, sorption, quartz sand.

## PENDAHULUAN

Untuk mengantisipasi adanya rencana pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir di Indonesia di waktu yang akan datang menyebabkan perlu disiapkan fasilitas disposal limbah radioaktif (DLRA) di Indonesia [1], sehingga keandalan sistem DLRA perlu dipelajari dimana salah satunya dapat diperoleh dari sifat serap/sorpsi radionuklida oleh bahan isian. Bahan isian berupa mineral alam lokal dari Kepulauan Bangka-Belitung seperti pasir kuarsa merupakan salah satu bagian penting dalam sistem DLRA yang berperan pada sistem *drainase* bagian *vault* fasilitas DLRA. Pasir kuarsa selain sebagai sistem *drainase* juga digunakan sebagai stabilisator paket limbah pada fasilitas disposal. Bahan ini digunakan karena murah dan mudah untuk diperoleh.

Data karakter sorpsi diperoleh dari serangkaian percobaan sorpsi-desorpsi radionuklida dari sampel sebagai fungsi waktu kontak, pengaruh kekuatan ionik larutan yang diwakilkan oleh adanya perubahan konsentrasi NaCl dan pengaruh konsentrasi CsCl terhadap sorpsi Cs-137 ke sampel [2-4]. Percobaan lama waktu kontak dimaksudkan untuk mendapatkan waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi equilibrium dari Cs-137 ke sampel, dimana selanjutnya diaplikasi sebagai waktu untuk pengontakan antara sampel dengan larutan yang mengandung Cs-137 pada percobaan-percobaan selanjutnya. Kekuatan ionik larutan pada beberapa penelitian diperkirakan dapat mempengaruhi besarnya Cs-137 yang akan terserap ke sampel, demikian pula dengan variasi konsentrasi CsCl terhadap sorpsi Cs-137 oleh sampel [2-4]

Radiocesium digunakan karena sebagai representasi radionuklida yang dominan pada paket limbah radioaktif aktivitas rendah-sedang [5]. Disamping itu data potensi sorpsi radionuklida oleh bahan isian asli Indonesia sampai saat ini masih sangat minim. Untuk alasan itulah maka karakterisasi sorpsi bahan isian perlu untuk dilakukan. Sampel bahan isian/pasir kuarsa berasal dari Kepulauan Bangka-Belitung. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan data spesifik karakteristik sorpsi radiocesium oleh pasir kuarsa dari Kepulauan Bangka-Belitung yang akan memperkaya *databank* karakteristik sorpsi radionuklida terhadap beberapa batuan dan mineral. Karakterisasi sorpsi radiocesium akan dilakukan secara *batch*/catu. Tahap pengerjaan penelitian ini meliputi penyediaan sampel, preparasi sampel dan percobaan sorpsi.

Hasil penelitian ini merupakan data penting yang dapat dipakai sebagai masukan pada kegiatan disain disposal limbah radioaktif di kemudian hari. Diperolehnya informasi teknis terhadap kemampuan sorpsi radiocesium oleh bahan isian/ pasir kuarsa dari Kepulauan Bangka-Belitung dapat memperkaya inventori data sorpsi BATAN.

## TATA KERJA

### Bahan

Sampel pasir kuarsa yang digunakan berasal dari daerah Sebigin-Bangka Selatan. Sampel tersebut terlebih dahulu dibersihkan dan dipisahkan dari kotoran dan dikeringkan dalam oven selama 4 jam pada suhu 100°C, kemudian digerus dan diayak sehingga diperoleh ukuran butir 100 mesh. Butiran sampel tersebut

kemudian disimpan sebagai stok pada wadah plastik dan siap untuk dipergunakan.

Larutan CsCl dan NaCl yang digunakan merupakan produk dari *E.Merck* yang dilarutkan dalam air demineral, sedangkan larutan radioaktifnya berasal dari produk *Eckert & Ziegler* mempunyai aktivitas jenis sebesar 100  $\mu\text{Ci}$  atau 3,7 MBq/5 mL digunakan sebagai pengemban (*carrier*) dalam penelitian ini.

### Peralatan

Untuk menggerus sampel digunakan mortar dari besi, sedangkan untuk mengayak sampel menjadi ukuran butir 100 mesh telah digunakan pengayak buatan *Fritsch GmbH Brd-6580 Idar-Oberstein*. Neraca analitik *Mettler serie AE200* digunakan untuk menimbang sampel dengan berat kering berkisar antara 0,9997 – 0,1003 g. Alat *roller* geologi digunakan untuk mencampur sampel dengan larutan radiocesium. Untuk memisahkan fase padat dan cairan telah dipakai alat pemusing *Heraeus Labofuge 400 centrifuge* dan unit *multichannel analyzer (MCA)-Canberra* yang dilengkapi dengan detektor HPGe digunakan untuk mengukur aktivitas- $\gamma$  dari larutan yang mengandung radioaktif. Alat gelas yang digunakan seperti yang biasa digunakan pada percobaan kimia lainnya.

### Prosedur

Sampel ditimbang dan dimasukkan ke dalam *vial* volume 20 mL dan dicampur dengan larutan  $10^{-8}$  CsCl. Untuk pengembannya (*carrier*) dilabel dengan larutan radioaktif Cs-137 sehingga ratio padat:cairnya menjadi  $10^{-2}$  g/mL. Pengocokan dilakukan secara *rolling* selama 12 hari, dimana setiap harinya dilakukan *sampling* hasil kontak padat-cair. Pemisahan fase padat-cair dilakukan secara pemusingan dengan alat *centrifuge* (2500 rpm, 10 min.). Fase cair yang dihasilkan kemudian dilakukan pengukuran aktivitas- $\gamma$  dengan alat MCA, hasil kuantifikasi serapannya dihitung dengan persamaan koefisien distribusinya ( $K_d$ ) dimana ratio aktivitas radiocesium terserap di padatan dibandingkan dengan jumlah aktivitas radiocesium tersisa di larutan pada kondisi kesetimbangan [6].

$$K_d = \frac{C_{padat}}{C_{cairan}} = \frac{C_0 - C_t}{C_t} \times \frac{V}{m} \quad (1)$$

dimana  $C_0$  dan  $C_t$  masing-masing adalah konsentrasi awal Cs dan konsentrasi akhir Cs di larutan,  $V$  adalah volume total larutan (mL),  $m$  adalah massa sampel (g) dan  $K_d$  adalah distribusi koefisien Cs-137 di sampel dan di larutan saat kesetimbangan. Waktu kesetimbangan yang diperoleh selanjutnya akan digunakan pada percobaan-percobaan lainnya.

Kinetika desorpsi diperoleh dari adanya radiocesium yang terserap di sampel pada percobaan sebelumnya kemudian larutan yang mengandung larutan radioaktif tersebut diganti dengan larutan air demineral yang *fresh*. Pengocokan dilanjutkan lagi dan pencuplikan sampel dilakukan selama percobaan, setelah pemisahan fase padat dan cairnya dilakukan pengukuran aktivitas- $\gamma$  seperti prosedur sebelumnya. Nilai kesetimbangan baru diperoleh dengan persamaan nilai  $K_d$  seperti [6],

$$K_d = \frac{V.C_0 - C_t(V + \Delta V)}{C_t.W} \tag{2}$$

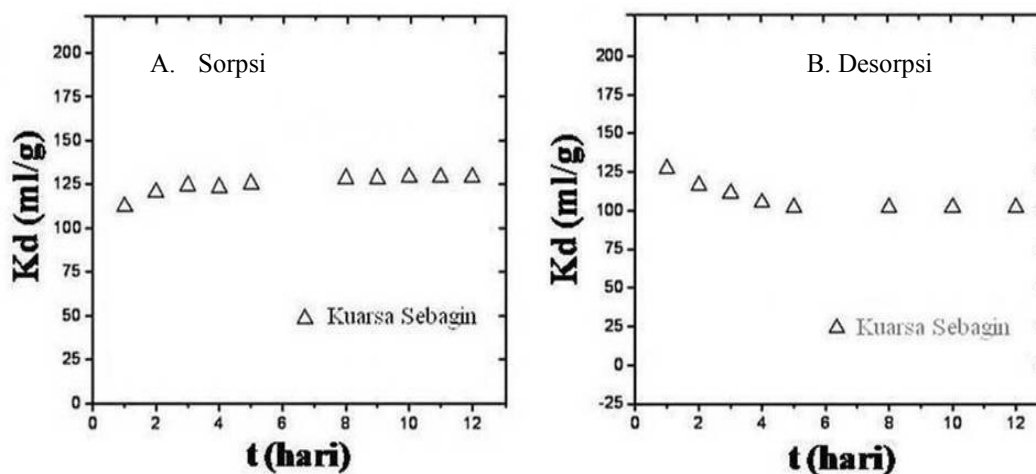
dan  $\Delta V$  adalah volume yang tertinggal setelah dekantasi (*mL*).

Adanya konsentrasi NaCl sebagai representasi kekuatan ionik di air tanah diperkirakan akan mempengaruhi kemampuan serap dari bahan isian dan konstruksi fasilitas DLRA sehingga pengaruh garam latar NaCl terhadap sorpsi Cs-137 perlu dilakukan. Sampel bahan isian dikontakkan dengan larutan yang mengandung 0,1; 0,5; 1,0 M NaCl dan  $10^{-8}$  M CsCl kemudian diberi pengemban Cs-137 dan dikocok dengan alat *roller*. Prosedur pelaksanaan seperti pada prosedur sebelumnya, dan nilai  $K_d$  diperoleh dengan menggunakan persamaan (1).

Pengaruh konsentrasi CsCl terhadap sorpsi Cs-137 oleh sampel dilakukan dengan mengontakkan sampel dengan larutan CsCl yang konsentrasi awalnya di variasi dari  $10^{-8}$  sampai  $10^{-4}$  M CsCl, setelah proses *labeling* campuran tersebut dikocok dengan alat *roller*. Prosedur pelaksanaan seperti pada prosedur sebelumnya, dan nilai  $K_d$  diperoleh dengan menggunakan persamaan (1).

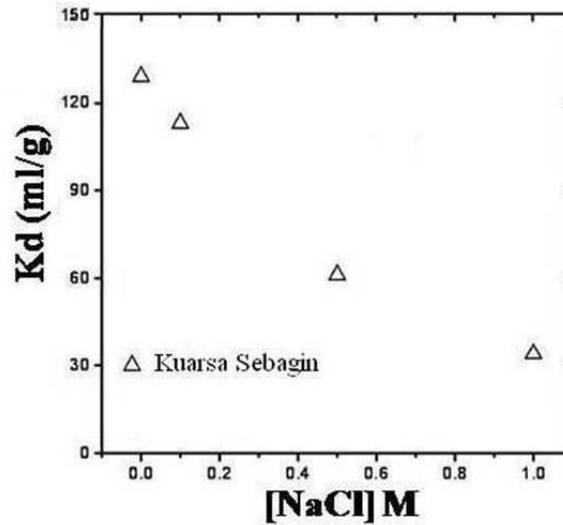
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Tipikal kinetika sorpsi-desorpsi Cs-137 oleh sampel pasir kuarsa dapat ditunjukkan pada Gambar 1, dengan nilai  $K_d$  sekitar 125 mL/g setelah kontak sekitar 24 jam untuk pasir kuarsa sehingga terlihat cukup jelas bahwa kemampuan sorpsi radiocesium oleh sampel pasir kuarsa sangat kecil sekali.



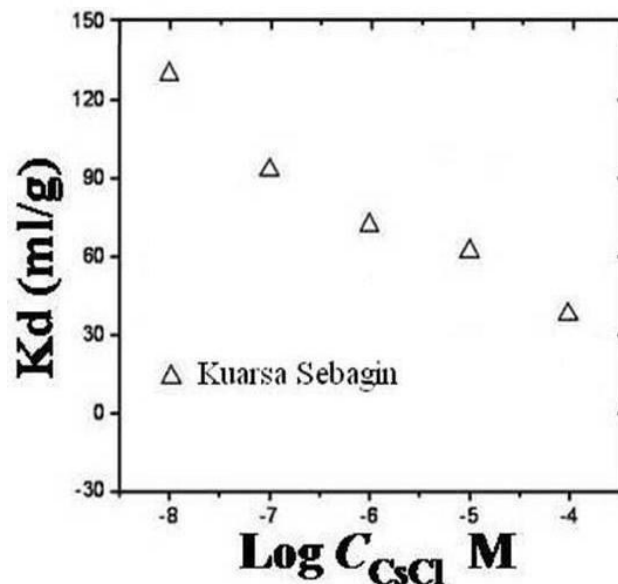
Gambar 1. Tipikal kinetika sorpsi –desorpsi radiocesium

Demikian pula pada saat percobaan desorpsi, dalam waktu yang relatif singkat telah terjadi pelepasan CsCl dari sampel pasir kuarsa akibat terjadinya perubahan konsentrasi di larutan. Hal ini dapat terjadi karena kemungkinan besar bila sorpsi ion logam oleh pasir kuarsa hanya terjadi berupa sorpsi permukaan saja tidak sampai masuk ke dalam butiran sampel [7], sehingga dengan adanya gangguan sedikit saja maka ion logam yang menempel pada permukaan sampel akan segera terlepas dari sampel dan kembali ke larutan. Nilai  $K_d$  yang diperoleh pada kondisi kesetimbangan yang baru 100 mL/g.



Gambar 2. Pengaruh kekuatan ionik larutan terhadap sorpsi Cs-137 oleh sampel

Pengaruh kekuatan ionik di larutan dapat pula mempengaruhi nilai Kd Cs-137 oleh sampel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Meningkatnya kekuatan ionik di larutan yang diindikasikan dengan meningkatnya konsentrasi NaCl di larutan (0,1; 0,5 dan 1,0 M NaCl) telah menyebabkan menurunnya nilai Kd. Disini telah diperlihatkan bahwa salah satu mekanisme pengontrol sorpsi Cs-137 ke sampel adalah kompetisi antara ion-ion logam garam latar dengan ion Cs terhadap sampel [8].



Gambar 3. Pengaruh variasi konsentrasi CsCl terhadap sorpsi Cs-137 oleh sampel

Pengontakan dengan cara memberikan larutan CsCl dengan konsentrasi awal yang bervariasi ke sampel telah menurunkan nilai Kd bersamaan dengan meningkatnya konsentrasi CsCl di larutan, Gambar 3. Hal ini terjadi karena adanya keterbatasan kapasitas serap dari sampel sehingga hal ini akan menyebabkan menurunnya nilai Kd Cs-137 oleh sampel [9]. Pasir kuarsa

umumnya terbentuk dari kristal SiO<sub>2</sub> yang cukup stabil dengan *site* pertukaran yang minimal sehingga hasil sorpsi yang ditunjukkan juga memberikan hasil yang minimal pula. Fungsi pasir kuarsa sebagai stabilisator paket limbah agar stabil selama waktu disposal dan sebagai drainase pengaliran air pada bagian *vault* agar air yang masuk ke dalam fasilitas disposal dapat segera mengalir ke bagian kolektor memang tidak memerlukan nilai Kd yang tinggi.

## KESIMPULAN

Hasil yang diperoleh dari kegiatan ini adalah sebagai berikut,

- Waktu kontak yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan didapat setelah 24 jam dengan nilai Kd 125 mL/g.
- Waktu kesetimbangan desorpsi dicapai setelah sekitar 4 hari pengocokan dengan nilai Kd yang baru 100 mL/g.
- Peningkatan konsentrasi NaCl di larutan membuat nilai Kd menurun karena adanya kompetisi antara ion Na dan Cs-137 berinteraksi dengan sampel.
- Rendahnya konsentrasi CsCl dilarutkan menghasilkan nilai Kd yang tinggi, demikian pula sebaliknya. Hal ini disebabkan terbatasnya kapasitas serap sampel terhadap Cs-137.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Setiawan, B., Sumantry, T., Sriwahyuni, H., Pratama, HA., Ekaningrum, NE., Syarmufni, A., Pratomo, BS., Suganda, D., Waluyo, S., Pudyo, A., Susilowati, D., Marwoto, Penyiapan Tapak Penyimpanan Lestari Limbah Radioaktif di Pulau Jawa dan Sekitarnya, Prosiding Hasil Penelitian PTLR tahun 2007, PTLR-BATAN, (2008).
- [2]. Um, WY, and Papeis, C., Sorption Mechanisms of Sr and Pb on Zeolitized Tuffs From The Nevada Test Site as a Function of pH and Ionik Strength, *American Mineralogist*, Vol. 88, 2028–2039 (2003).
- [3]. Di Toro, DM., et.al., Effect of Nonreversibility, Particle Concentration and Ion Heavy Metal Sorption, *Env. Scie. Technol.* **20**, 55-61 (1986).
- [4]. Bangash, MA., *Adsorption of Fission Products and Other Radionuclides on Inorganic Exchangers*, Ph.D Thesis, University of The Punjab Lahore (1991).
- [5]. Suryanto. Radionuklida Acuan Pada Analisis Keselamatan Penyimpanan Limbah Radioaktif, Prosid. Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, PTPLR-BATAN, Serpong, 138-142. (1997).
- [6]. Erten, HN, et. el. Sorption of Cesium and Stronsium on Montmorillonite and Kaolinite, *Radiochim. acta* 44/45, 147. (1988).
- [7]. Ohnuki, T. and Tanaka, T., Migration of Radionuclides Controlled by Several Different Migration Mechanisms Through a Sandy Soil Layer, *Health Physic* **56**, 47-53 (1989).
- [8]. Kirishima, A., Tanaka, K., Niibori, Tochiyama, O.: Complex Formation of Ca(II) with Humic Acid and Polyacrylic Acid. *Radiochim. Acta* **90**, 555-561 (2002).
- [9]. Staunton, S and Roubaud, M., Adsorption <sup>137</sup>Cs on Montmorillonite and Illite, *Clay & Clay Minerals* Vol.45, No.2, 251-260 (1997).



## KARAKTERISASI SORPSI RADIOCESIUM OLEH BATUAN LEMPUNG DARI KARAWANG SEBAGAI TAPAK TERPILIH UNTUK DISPOSAL LIMBAH RADIOAKTIF

**Budi Setiawan**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

**KARAKTERISASI SORPSI RADIOCESIUM OLEH BATUAN LEMPUNG DARI KARAWANG SEBAGAI TAPAK TERPILIH UNTUK DISPOSAL LIMBAH RADIOAKTIF.** Rencana introduksi PLTN di pulau Jawa meningkatkan perhatian terhadap keselamatan lingkungan. Radiocesium yang berasal dari fasilitas pengolahan limbah sebaiknya secara hati-hati disimpan pada suatu fasilitas disposal, dan Karawang adalah salah satu site yang potensial untuk sebuah fasilitas disposal di masa depan dengan formasi lempungnya sebagai host rock. Radiocesium adalah radionuklida tingkat rendah acuan untuk percobaan interaksi dengan sampel tanah atau batuan karena waktu paronya yang panjang, elemen yang mudah larut serta mudah berasosiasi dengan material di lingkungan akuatik dan terrestrial. Mempelajari aspek kelayakan sebagai salah satu aspek pada penyiapan tapak seperti kemampuan sorpsi, parameter-parameter yang berpengaruh: waktu kontak, kekuatan ionik dan konsentrasi Cs di larutan penting untuk diperoleh melalui serangkaian percobaan dengan cara catu dengan ratio padat:cair  $10^{-2}$  g/ml. Tujuan utama dari percobaan ini adalah menentukan parameter yang berpengaruh pada pengambilan Cs-137 dengan proses sorpsi ke sampel lempung dimana konsentrasi awal CsCl  $10^{-8}$  M untuk percobaan waktu kontak dan kekuatan ion, 0,1 atau 1,0 M NaCl sebagai garam latar pada percobaan kekuatan ion, sedangkan untuk pengaruh konsentrasi CsCl digunakan konsentrasi awal CsCl yang direntang dari  $10^{-8}$  –  $10^{-4}$  M. Hasilnya menunjukkan bahwa kondisi kesetimbangan diperoleh setelah 5 hari pengontakan dengan sampel dengan nilai Kd 5500 mL/g. Cepatnya sorpsi dan dapat lepasnya Cs-137 dari sampel diperkirakan terjadinya mekanisme sorpsi pertukaran ion yang sederhana. Meningkatnya kekuatan ion dan konsentrasi Cs di larutan telah menurunkan nilai Kd karena terjadinya kompetisi dan terbatasnya kapasitas sorpsi di sampel lempung yang dapat mengakomodasi Cs-137 yang tinggal di larutan.

**Kata kunci :** site potensial, fasilitas disposal, Cs-137, batuan lempung, sorpsi.

### ABSTRACT

**SORPTION CHARACTERIZATION OF RADIOCESIUM ONTO CLAY ROCK FROM KARAWANG AS PREFERRED SITE FOR RADWASTE DISPOSAL.** Nuclear power plant introduction plan in Jawa Island raises concern in the environment safety. Radiocesium waste has been came from the waste treatment facility should be disposed carefully in a disposal facility, and Karawang is one of potential site for a disposal facility in the future with clay formation as host rock. Radiocesium is a low-level radionuclide reference for interaction experiment with soil or rock samples due to its long half-lives, high solubility of the element in solution and also easy associated with materials on terrestrial and aquatic environment. To study the feasibility aspect as one aspects on the site preparation such as sorption capability, affected parameters of contact time, ionik strength and Cs concentration in solution were important to be obtained through some series of experiment in batch method with solid-liquid ratio was  $10^{-2}$  g/ml. Main objective of the experiment is to determine the affected parameters on Cs-137 uptake by sorption processes into clay samples where initial concentration of CsCl was  $10^{-8}$ M for effects of contact time and ionik strength, and 0.1 or 1.0 M NaCl as salt background for ionik strength experiment however for the effect of CsCl concentration the initial concentration of CsCl were ranged from  $10^{-8}$  to  $10^{-4}$ M. Results showed that equilibrium state was reached after five days contacted with samples with Kd value was 5500 mL/g. Fast and reversible sorption of Cs-137 into clay sample suggested that a simple ionik exchange sorption mechanism operates. Increased in ionik strength and Cs concentrations in solution has decreased of Kd values due to competition and sorption capacity of clay samples limited to accommodate the Cs-137 remains in solution.

**Keywords:** Potential site, disposal facility, Cs-137, clay, sorption

## PENDAHULUAN

Radiocesium ( $Cs-137$ ) adalah radionuklida yang berasal dari terjadinya kecelakaan nuklir dan proses jatuhnya (*fall out*) ke lingkungan, dan telah menjadi *concern* keselamatan pada program keselamatan proyek-proyek disposal limbah radioaktif karena waktu paro yang panjang, kelarutannya yang tinggi di larutan sehingga mudah berasosiasi dengan materi yang ada di perairan dan permukaan tanah [1,2]. Untuk menghambat mobilitas  $Cs-137$  dengan cara mereaksikannya dengan batuan *host rock* disposal limbah radioaktif, sehingga karakteristik sorpsi  $Cs-137$  oleh batuan sebagai calon *host rock* fasilitas disposal perlu dilakukan [3].

Pulau Jawa dengan alamnya yang mempunyai curah hujan tinggi membuat batuan mudanya mudah retak dan pecah-pecah [4], sehingga lokasi dengan berbasis batuan lempung menjadi ideal untuk digunakan sebagai calon lokasi fasilitas disposal. Karawang adalah salah satu calon lokasi terpilih untuk fasilitas disposal di pulau Jawa dengan batuan lempung sebagai *host rock*nya [5].

Makalah ini akan menerangkan karakter sorpsi  $Cs-137$  oleh sampel batuan lempung dari Karawang, dengan tujuan mendapatkan nilai  $K_d$  dari parameter-parameter yang berpengaruh seperti waktu kontak, kekuatan ionik larutan dan konsentrasi  $CsCl$  di larutan.

## TATA KERJA

**Bahan**, sampel batuan lempung diambil dari daerah Karawang, dibawa ke lab, dikeringkan dengan oven ( $100^{\circ}C$ , 6 jam), digerus, diayak sehingga diperoleh ukuran butir 100 mesh.

Larutan  $CsCl$  dan  $NaCl$  dibuat dengan melarutkan bubuk  $CsCl$  dan  $NaCl$  buatan *E. Merck* sedangkan larutan radioaktif  $Cs-137$  diperoleh dari *Eckert & Ziegler Isotope Prod* dengan *Sp. activity* 3.7 MBq/5 ml.

**Peralatan**, mesh 100 mesh buatan *Fritsch GmbH Brd-6580 Idar-Oberstein*, timbangan analitik *Mettler serie AE200*, roller, pemusing *Heraeus Labofuge 400* dan *Canberra-multi channel analyzer (MCA)* dilengkapi dengan *Genie 2000 software* dan *HPGe detector 20% efficiency*.

**Prosedur**, percobaan sorpsi dilakukan secara dua, dengan kekuatan ionik larutan 0,1 dan 1,0 M  $NaCl$  serta konsentrasi awal  $CsCl$  adalah  $10^{-8}M$  untuk pengaruh waktu kontak. Sedang untuk pengaruh konsentrasi  $CsCl$ , konsentrasi awal  $CsCl$  direntang dari  $10^{-8}$  to  $10^{-4}M$ .

Campuran sampel lempung dan larutan yang mengandung  $10^{-8}M$   $CsCl$  dan  $Cs-137$  ditaruh dalam vial PE 20 mL. Ratio padat:cairnya adalah  $10^{-2}$  g/ml. Setelah waktu tertentu sampel diambil secara periodik. Fase padat dan cairnya dipisahkan secara pemusingan (2500 rpm, 10 min.), dan aktivitas- $\gamma$  beningannya di cacah dengan alat MCA.

Kekuatan ionik larutan diwakilkan oleh 0,1 atau 1,0 M  $NaCl$  yang kemudian dikontakkan dengan sampel lempung,  $10^{-8}M$   $CsCl$  dan  $Cs-137$ . Untuk pengaruh konsentrasi  $Cs$ , sampel lempung dikontakkan dengan larutan yang mengandung  $CsCl$  dengan konsentrasi awal yang divariasikan dari  $10^{-8}$  to  $10^{-4}M$   $CsCl$ ,  $Cs-137$ .

Seluruh prosedur percobaan sama seperti prosedur pada percobaan waktu kontak. Distribusi koefisien ( $K_d$ ) digunakan sebagai indikator terserapnya  $Cs-137$  ke sampel lempung yang dihitung dari adanya perbedaan aktivitas awal dan akhir  $Cs-137$  di larutan, dimana,

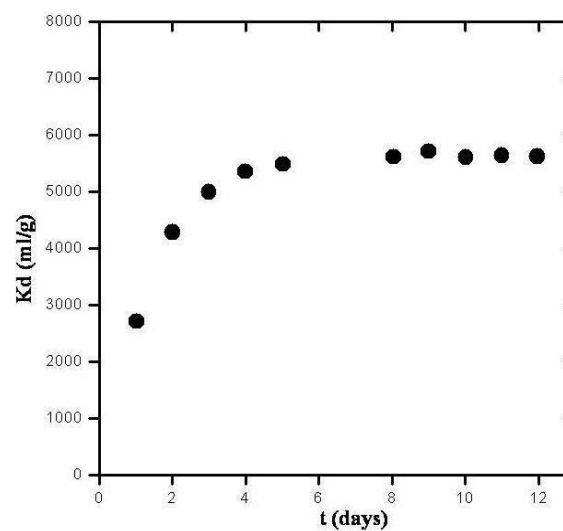
$$K_d = \frac{C_0 - C_t}{C_t} \times \frac{V}{m} \quad (1)$$

$C_0$  dan  $C_t$  adalah aktivitas awal dan akhir Cs-137 di larutan,  $V$  adalah volume total larutan (ml),  $m$  adalah berat kering sampel (g) dan  $K_d$  adalah distribusi koefisien Cs-137 di padatan dan larutan saat kondisi ekuilibrium.

Data desorpsi diperoleh dengan cara mengganti larutan yang mengandung Cs-137 dengan larutan demineral segar setelah dilakukan percobaan sorpsi. Campuran dikontakkan dan nilai  $K_d$  dihitung seperti prosedur sebelumnya.

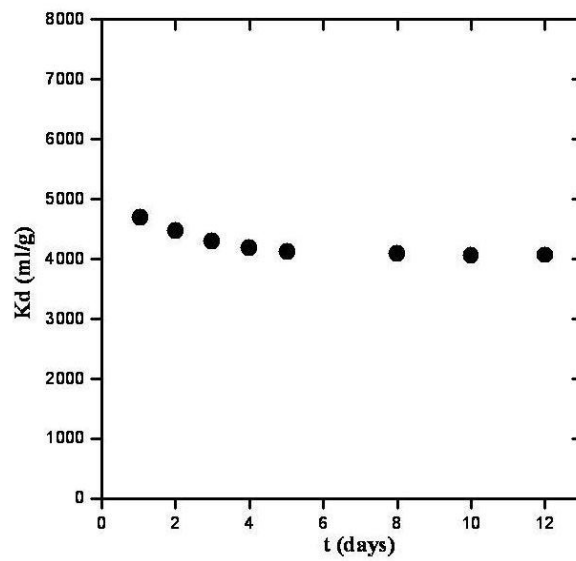
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi ekuilibrium diperoleh setelah pengontakan selama 5 hari dengan nilai  $K_d$  5500 ml/g, ditunjukkan pada Gambar 1.

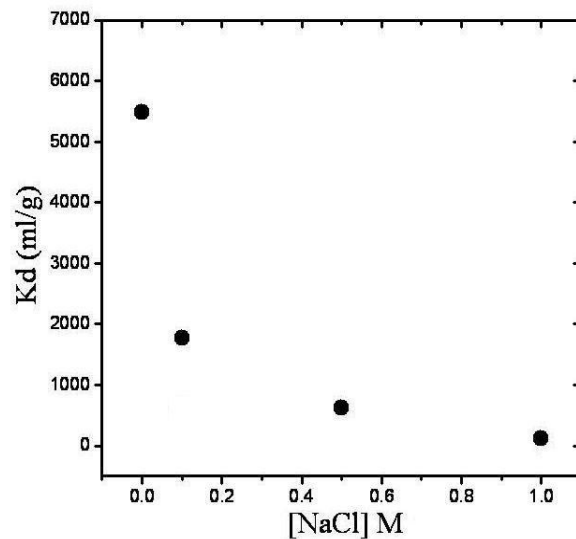


**Gambar 1.** Sorpsi Cs-137 oleh sampel lempung sebagai fungsi waktu kontak.

Desorpsi Cs-137 juga diperoleh ekuilibriumnya setelah 5 hari pengocokan seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Cepat dan dapat baliknya reaksi sorpsi Cs-137 diduga telah terjadinya reaksi sorpsi sederhana dari Cs-137 ke sampel lempung [6].



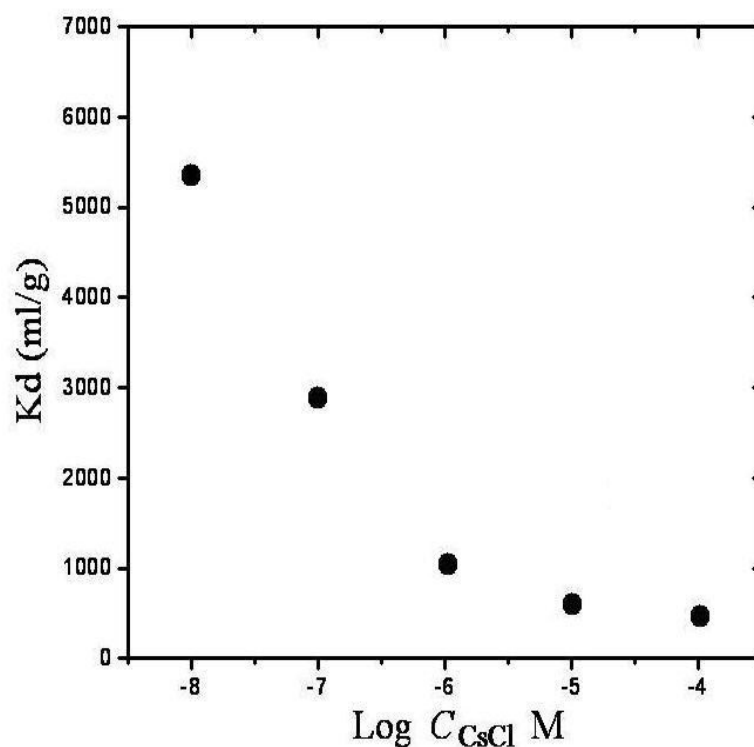
**Gambar 2.** Desorpsi Cs-137 dari sampel lempung sebagai vs waktu kontak.



**Gambar 3.** Pengaruh konsentrasi NaCl terhadap nilai Kd.

Pengaruh kekuatan ionik di tunjukkan pada Gambar 3. Meningkatnya konsentrasi NaCl telah menyebabkan menurunnya nilai Kd, diduga telah terjadi kompetisi antara ion Na dengan Cs untuk bereaksi dengan sampel lempung [7].

Pengaruh penambahan konsentrasi CsCl kelarutan akan menurunkan nilai Kd, hal tersebut diduga karena keterbatasan dari kapasitas sorpsi sampel lempung [8] dibandingkan dengan adanya konsentrasi CsCl di larutan, ditunjukkan pada Gambar 4



**Gambar 4.** Pengaruh variasi konsentrasi CsCl terhadap sorpsi Cs-137 oleh sampel lempung

Hasil yang diperoleh dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan pada pengkajian keselamatan dan disain diposal limbah radioaktif di pulau Jawa.

## KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah,

- Kondisi ekuilibrium diperoleh setelah pengontakkan selama 5 hari dengan nilai  $K_d = 5500$  mL/g.
- Waktu ekuilibrium desorpsi juga diperoleh setelah kontak 5 hari dengan nilai  $K_d$  baru = 4200 mL/g.
- Bertambahnya konsentrasi NaCl dan konsentrasi CsCl telah menyebabkan nilai  $K_d$  menurun karena terjadinya kompetisi antara ion-ion Na dan Cs di larutan dan terbatasnya kapasitas sorpsi dari sampel lempung.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada Bp. Teddy Sumantry dan Ibu Nurul Efrikaningrum dari BTPL atas bantuannya menyiapkan larutan radioaktif dan penggunaan MCA.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. H. Persson, *Migration of Radiocaesium in Six Swedish Pasture Soils After The Chernobyl Accident*, Uppsala, Sveriges Lantbruksuniversitet, 2008, pp.10.
- [2]. C. Poinssot, B. Baeyens, M.H. Bradbury, Experimental and Modeling Studies of Cesium Sorption on Illite, *Geochimica et Cosmochimica Acta* **63**, 3217-3227 (1999).

- 
- [3]. G.D. Arapis and M.G. Karadinos, Migration of  $^{137}\text{Cs}$  in The Soil of Sloping Semi-natural Ecosystems in Northern Greece, *J.Environ.Radioactivity Vol.77*, 133-142 (2004).
- [4]. Depdagri, Peta Curah Hujan Tahunan, skala 1:2.500.000, Dir.Tata Guna Tanah, Dirjen Agraria-Depdagri, September (1981)
- [5]. B. Setiawan, T. Sumantry, H. Sriwahyuni, H.A. Pratama, N.E. Ekaningrum, A. Syarmufni, B.S. Pratomo, D. Suganda, S. Waluyo, A. Pudyono, D. Susilowati, Marwoto, Penyiapan Tapak Penyimpanan Lestari Limbah Radioaktif di Pulau Jawa dan Sekitarnya, Prosid. Seminar Nasional teknologi Pengolahan Limbah VI, PTLR -BATAN, 2008, pp. 181-187.
- [6]. R.M. Cornell, Adsorption Behaviour Of Cesium On Marl, *Clay Minerals* **27**, 363-371 (1992).
- [7]. L. Rao, G.R Choppin, Thermodynamic Study of The Complexation of Neptunium(V) with Humic Acids. *Radiochim. Acta* **69**, 87-95 (1995)
- [8]. S. Staunton, M. Roubaud, Adsorption  $^{137}\text{Cs}$  on Montmorillonite and Illite, *Clay & Clay Minerals* Vol.45, No.2, 251-260 (1997).

## KARAKTERISTIK GEOLOGI TAPAK TERPILIH UNTUK DISPOSAL LIMBAH RADIOAKTIF DI PULAU JAWA

Soegeng Waluyo HS , Sucipta, Budi Setiawan  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN

### ABSTRAK

**KARAKTERISTIK GEOLOGI TAPAK TERPILIH UNTUK DISPOSAL LIMBAH RADIOAKTIF DI PULAU JAWA** . Telah dilakukan kegiatan karakterisasi geologi calon tapak terpilih untuk disposal limbah radioaktif di Pulau Jawa. Adapun calon tapak terpilih yang menjadi obyek kegiatan berada dalam wilayah Sumedang, Karawang dan Serang. Aspek kegiatan meliputi studi literatur, penyelidikan lapangan dan analisis laboratorium dengan mencakup aspek-aspek geomorfologi, litostratigrafi, struktur geologi, geologi sejarah dan geologi lingkungan. Penelitian dilakukan dengan metode evaluasi deskriptif dari hasil kajian data sekunder (literatur dan hasil penelitian terdahulu) dan interpretasi data primer dari penyelidikan lapangan dan analisis laboratorium. Dari penelitian yang telah dilakukan berhasil diperoleh karakteristik tapak terpilih di daerah tersebut yang memiliki kesesuaian sebagai tapak untuk disposal limbah radioaktif.

**Kata kunci** : tapak, terpilih, disposal, limbah, radioaktif

### ABSTRACT

**GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SELECTED FOR DISPOSAL SITE IN RADIOACTIVE WASTE OF JAVA**. Geological characterization activities have been carried out on the candidate site selected for disposal of radioactive waste on the island of Java. The candidate selected site is the object of activities within the territory Sumedang, Karawang and Serang. Aspects activities include the study of literature, field investigations and laboratory analyzes to include aspects of geomorphology, litho, structural geology, geological history and geological environments. The study was conducted using a descriptive evaluation of the results of the study secondary data (literature and the results of previous studies) and interpretation of primary data from field investigations and laboratory analyzes. From the research that has been done successfully acquired the characteristics of the selected site in the area that have suitability as a site for the disposal of radioactive waste.

**Keywords**: site, selected, disposal, waste, radioactive

### PENDAHULUAN

Pada tahun 2010 - 2012 telah dilaksanakan kegiatan seleksi tapak potensial berdasarkan aspek : geomorfologi, litostratigrafi, seismotektonik, vulkanologi, hidrologi, hidrogeologi, cekungan tambang, demografi, kawasan penting dan situs bersejarah. meliputi wilayah Serang, Serpong, Karawang, Subang, Sumedang, Jepara, Rembang dan Tuban

Dari beberapa wilayah potensial tersebut, telah diperoleh 3 ( tiga) tapak terpilih yaitu Ujungjaya (Sumedang), Cigelam (Karawang) dan Puloampel (Serang), dilanjutkan tahun 2012 dilakukan kegiatan karakterisasi geologi pada

tapak terpilih tersebut dengan aspek yang meliputi : geomorfologi, stratigrafi, struktur geologi, sejarah geologi dan geologi lingkungan.

Pada tahun selanjutnya 2013 telah dilakukan karakterisasi geofisika untuk disposal limbah radioaktif di P. Jawa. Kegiatan karakterisasi Geofisika tapak terpilih ini dilakukan dengan survey geolistrik di 2 (dua) kabupaten yaitu kabupaten Karawang dan Sumedang.

Penelitian ini dilakukan secara deskriptif dengan menerapkan metode geologi lapangan dan analisis laboratorium. Hasil yang diperoleh berupa laporan dan peta geologi rinci skala 1 : 25.000 yang bisa digunakan sebagai dasar evaluasi lebih lanjut, dan sebagai dasar penyusunan konseptual disain serta pengkajian keselamatan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mencari dan mengetahui karakteristik geologi ketiga daerah tapak terpilih tersebut yang apabila digunakan sebagai tapak dan dilengkapi dengan desain, bentuk limbah, tipe dan kuantitas kemasan limbah, penghalang rekayasa dan kontrol institusional yang memadai, akan menjamin proteksi radiasi terhadap persyaratan yang telah ditentukan oleh badan pengawas.

## **METODOLOGI**

### **Bahan**

Daerah penelitian meliputi wilayah Ujungjaya (Sumedang), Cigelam dan sekitarnya (Karawang) dan Puloampel (Serang).

Bahan penelitian berupa peta topografi, peta rupa bumi, peta geologi dan peta seismotektonik

### **Metode**

Penelitian dilakukan di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif pada tahun 2013 dengan langkah-langkah meliputi : studi pustaka dan analisis data sekunder, penelitian lapangan dan laboratorium.

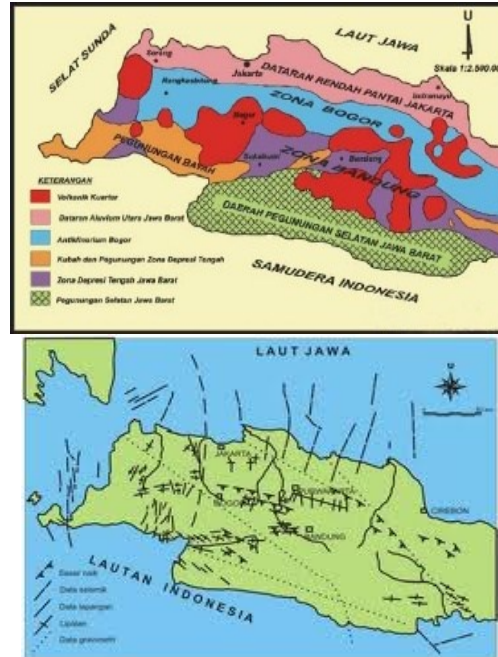
## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Umum**

Berdasarkan pembagian fisiografi Jawa Barat yang dikemukakan Van Bemmelen ( 1949 ), daerah penelitian Ujungjaya Sumedang, Cigelam Karawang Selatan dan Puloampel Serang berada pada jalur zona Antiklinorium Bogor yang termasuk zona utara dari Jawa Barat yang berbatasan langsung dengan Zona Dataran Pantai Utara. Zona ini pada umumnya memiliki morfologi berupa



perbukitan memanjang berarah barat-timur, melalui kota Bogor bagian utara , Kerawang bagian selatan, Purwakarta, menerus hingga Bumiayu di Jawa Tengah, dengan lebar mencapai 40 km.



Gb.1.Fisiografi Jawa Barat Van Bemmelen (1949)

Gb.2. Pola Struktur Jawa Barat

## Ujungjaya Sumedang

### Geomorfologi

Daerah Ujung Jaya dan sekitarnya Sumedang , berada dalam koordinat geografi  $108^{\circ}04'30,00''$ -  $108^{\circ}07'30,00''$  BT,  $06^{\circ}43'30,00''$  -  $06^{\circ}46'30,00''$  LS. Secara morfogenesis daerah ini merupakan daerah yang dipengaruhi oleh struktur geologi berupa lipatan dan patahan. Oleh karena itu daerah penelitian dapat diklasifikasikan sebagai satuan dataran bergelombang struktural berbatuan lempung. Kondisi proses geomorfologi permukaan seperti erosi dan gerakan tanah relatif tidak intensif, karena kondisi topografi yang berupa dataran bergelombang.

Dengan kemiringan lereng antara 0 – 20 % dan beda tinggi antara 0 – 50 m, dapat dikategorikan sebagai satuan dataran bergelombang (ZUIDAM, R.A., et al., 1979). Batuan yang membentuk zona ini tersusun atas seri batuan sedimen Tersier (Neogen) yang telah mengalami perlipatan kuat ( antiklinorium), serta mengalami beberapa intrusi batuan beku basaltik-andesitik dengan relief morfologi yang lebih kasar dan terjal



**Gb.3. Morfologi dataran bergelombang**

Terjadinya perkembangan relief bumi sangat dipengaruhi oleh struktur, proses, dan tahapan erosi. Proses yang berjalan tersebut menghasilkan morfologi daerah penelitian seperti yang tampak sekarang.

Daerah penelitian ini terdiri dari perbukitan bergelombang yang terbentuk oleh gaya endogen yang berjalan secara lambat dan terus-menerus.

Kisaran ketinggian daerah yang terbentang di daerah penelitian adalah  $\pm 42-121$  m. Sedangkan kemiringan lereng diperkirakan  $\pm 0-13\%$ , dengan daerah yang relatif datar berfokus di bagian utara.

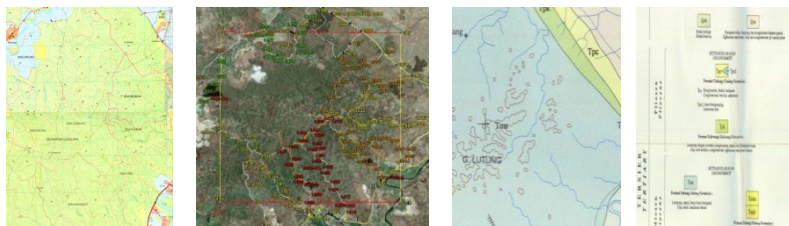
Titik terendah di daerah penelitian ini berada di *barat laut*, sedang tertinggi di *barat daya* daerah penelitian dengan ketinggian 121 m.

### **Lithologi dan Stratigrafi**

Berdasarkan ciri umum sedimen yang terdapat di daerah penelitian dapat disimpulkan bahwa wilayah ini termasuk dalam Mandala Paparan Kontinen (Martodjyo, 1984), yaitu mandala sedimentasi yang dicirikan oleh endapan laut dangkal dari Miosen Awal hingga Plistosen yang umumnya terdiri atas lempung, pasir dan gamping, dengan ketebalan sedimen mencapai 4000 m.

Secara regional, batuan yang tersingkap di daerah penyelidikan terdiri dari batuan sedimen yang berumur *Miosen* Tengah hingga *Pliosen* dan endapan permukaan yang berumur *Plistosen* sampai *Holosen* (ACHDAN dan SUDANA, 1992)

Batuan yang tersingkap di daerah penelitian meliputi (urut dari tua ke muda) anggota batulempung Formasi Subang, anggota batupasir Formasi Subang, Formasi Kaliwungu, Formasi Citalang, batupasir tufan-lempung dan konglomerat, dan endapan sedimen dalam







**Gb.6. Struktur kekar dan perlipatan Formasi Subang Ujungjaya Sumedang**



**Gb.7 Lokasi pengukuran survey geolistrik Ujungjaya Sumedang Jawa Barat**

## **Cigelam dan Sekitarnya, Karawang**

### **Geomorfologi**

Secara morfogenesis daerah ini merupakan daerah yang dipengaruhi oleh struktur geologi berupa lipatan dan patahan. Oleh karena itu daerah penelitian dapat diklasifikasikan sebagai satuan dataran bergelombang struktural berbatuan lempung. Kondisi proses geomorfologi permukaan seperti erosi dan gerakan tanah relatif tidak intensif, karena kondisi topografi yang berupa dataran bergelombang.

Daerah penelitian umumnya dicirikan dengan kemiringan lereng antara 0 – 13% dengan beda tinggi antara 0 – 50 m, yang dapat dikategorikan sebagai satuan dataran bergelombang (ZUIDAM, R.A., et al., 1979)

Kondisi proses geomorfologi permukaan seperti erosi dan gerakan tanah relatif tidak intensif, karena kondisi topografi yang berupa dataran bergelombang. Secara morfogenesis daerah penelitian merupakan daerah yang dipengaruhi oleh struktur geologi berupa lipatan dan patahan. Oleh karena itu daerah penelitian dapat diklasifikasikan sebagai satuan dataran bergelombang struktural berbatuan lempung.

Terjadinya perkembangan relief bumi sangat dipengaruhi oleh struktur, proses, dan tahapan erosi. Proses yang berjalan tersebut menghasilkan morfologi daerah penelitian seperti yang tampak sekarang.



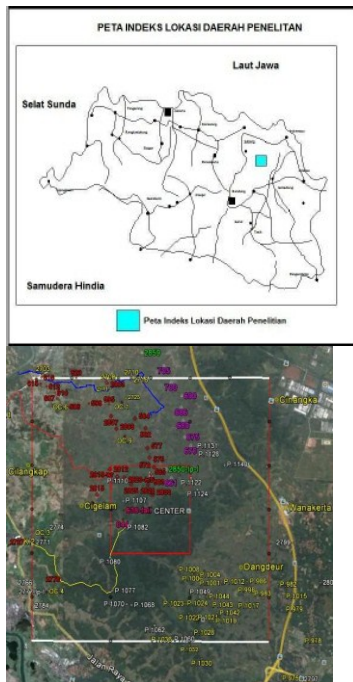
Gb.8. Morfologi / bentang alam dataran bergelombang Cigelam Karawang

Daerah Cigelam dan sekitarnya Karawang, dengan koordinat berada dalam geografi  $107^{\circ}23'30,00''$ -  $107^{\circ}26'30,00''$ BT dan  $06^{\circ}26'30,00''$  -  $06^{\circ}29'30,00''$  LS.

Daerah penelitian ini terdiri dari perbukitan bergelombang yang terbentuk oleh gaya endogen yang berjalan secara lambat dan terus-menerus.

Kisaran ketinggian di daerah penelitian adalah  $\pm 32 - 93$  m. Sedangkan kemiringan lereng diperkirakan  $\pm 0 - 13$  %, dengan daerah yang relatif datar berfokus di bagian utara.

Titik terendah di daerah penelitian ini berada di *barat laut*, sedang tertinggi di *tenggara* daerah penelitian dengan ketinggian 93 m.



Gb.9. Lokasi daerah Penelitian

## Stratigrafi

Berdasarkan ciri umum sedimen yang terdapat di daerah penelitian dapat disimpulkan bahwa wilayah ini termasuk dalam Mandala Paparan Kontinen (Martodjoyo, 1984), yaitu mandala sedimentasi yang dicirikan oleh endapan laut dangkal dari Miosen Awal hingga Plistosen yang umumnya terdiri atas lempung, pasir dan gamping, dengan ketebalan sedimen mencapai 4000 m.

Secara regional, batuan yang tersingkap di daerah penyelidikan terdiri dari batuan sedimen yang berumur *Miosen* Tengah hingga *Pliosen* dan endapan permukaan yang berumur *Plistosen* sampai *Holosen* (ACHDAN dan SUDANA, 1992)

Batuan yang tersingkap di daerah penelitian meliputi (urut dari tua ke muda) Formasi Subang yang terdiri atas batulempung dengan sisipan batupasir dan batugamping pasiran, batulanau berumur Miosen Akhir ( Tersier ) dan Satuan batupasir tufaan dan konglomeratan berumur Plistosen ( Kuartar ).



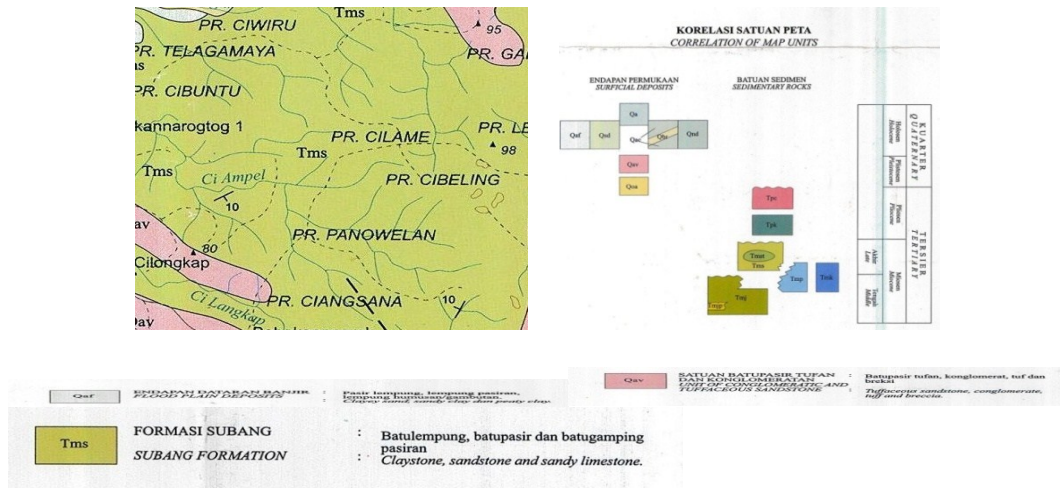
**Qaf** ENDAPAN DATARAN BANJIR : Pasir lempung, lempung pasiran,  
FLOOD PLAIN DEPOSITS : lempung humusan/gambutan.  
: *Clayey sand, sandy clay dan peaty clay.*



**Qav** SATUAN BATUPASIR TUFAN : Batupasir tufan, konglomerat, tuf dan  
DAN KONGLOMERATAN breksi  
UNIT OF CONGLOMERATIC AND : *Tuffaceous sandstone, conglomerate,*  
TUFFACEOUS SANDSTONE : *tuff and breccia.*



**Tms** FORMASI SUBANG : Batulempung, batupasir dan batugamping  
SUBANG FORMATION : pasiran  
: *Claystone, sandstone and sandy limestone.*



Gb.10. Lokasi dan Peta Geologi daerah Penelitian

Di daerah penelitian ini kehadiran batulempung lebih dominan dibandingkan dengan jenis batuan lainnya (batupasir dan batugamping pasiran). Dalam keadaan segar, batuan ini berwarna abu-abu kehijauan hingga abu-abu kehitaman, umumnya non-karbonatan, kedap air (impermeable), pejal /monoton dan kadang berlapis. Kadang-kadang dijumpai adanya sisipan tipis batupasir, serta dijumpai nodul batulanau karbonatan dan konkresi oksida besi. Batulempung Formasi Subang memiliki kekerasan tergolong rendah-sedang, batuan ini umumnya getas dan padat/kompak dalam keadaan segar. Apabila kontak dengan atmosfer batuan ini sering memperlihatkan gejala hancuran retak-retak pipih (*slaking*) dan mengembang (*swelling*) terutama dalam kondisi basah. Penggalan agak sukar dilakukan tanpa menggunakan peralatan mekanik.

Secara umum, batuan pada hampir semua singkapan batulempung yang ada telah mengalami proses pelapukan yang cukup intensif. Sehingga tanah sebagai hasil pelapukan batuan dasar yang telah mengalami pelapukan pada tempatnya ( *insitu* ) dicirikan dengan tekstur halus-sangat halus dan tergolong dalam tanah lempung dengan plastisitas tinggi.

**Stratigrafi**

Batuan yang dapat dipilih sebagai batuan terpoli untuk hostrocks disposal limbah radioaktif adalah batulempung Formasi Subang. Ketebalan batuan tersebut diduga mencapai lebih dari 4000 m.

**Struktur Geologi**

Struktur geologi yang dijumpai di daerah penelitian diperkirakan berupa lipatan dan sesar, struktur lipatan terutama terdapat pada batuan dalam Formasi Subang di bagian Selatan, berupa struktur lipatan sinklin dengan sumbu baratdaya-timur laut. Kemiringan lapisan batuan berkisar antara 16° dan 29° semakin ke utara sudut kemiringan semakin mengecil.

Struktur sesar yang ada diperkirakan berupa sesar mendatar berarah baratlaut-tenggara dan memotong sumbu-sumbu lipatan yang ada.



Gb.11. Struktur kekar dan lithologi Karawang



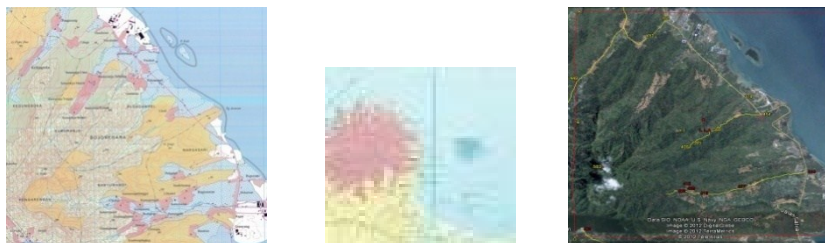
Gb.12. Lokasi pengukuran geolistrik Karawang Jawa Barat

Batulempung berwarna segar abu-abugelap, warna lapuk abu-abukecoklatan-hitam, besar butiran berkisar < 256 mm, kekerasannya dapat diremas dengan tangan, karbonatan, mengandung mineral karbon, dan teksturnya menyerpih  
 Struktur batuan : arah umum kekar N 90°E/ 65° terpotong N 82°E/52° N 20°E/79° N 4°E/ 72° N 304°E/81°

**Puloampel Serang**

**Geomorfologi**

Menurut PANEKOEK, 1949 ,daerah penelitian Serang termasuk dalam wilayah Karang-Merak yang merupakan bekas tubuh gunungapi Karang dan Gede. Daerah Puloampel Serang merupakan daerah dataran bergelombang dan perbukitan rendah-tinggi dengan lereng landai-terjal. dengan koordinat geografi 106°03'30,00" - 106°06'30,00"BT dan 05°53'30,00" – 05°56'30,00" LS.



Gb.13. Lokasi daerah Penelitian

Kondisi proses geomorfologi permukaan seperti erosi dan gerakan tanah relatif tidak intensif, karena kondisi penyusun batuan yang berupa batuan beku andesit dan breksi vulkanik yang relatif kompak dan keras. Secara morfogenesis daerah penelitian merupakan daerah yang terbentuk oleh aktivitas vulkanik. Oleh



karena itu daerah penelitian dapat diklasifikasikan sebagai satuan perbukitan lereng gunungapi.

Secara regional, batuan yang tersingkap di daerah penyelidikan terdiri dari batuan sedimen, gunungapi dan terobosan, berumur mulai dari *Miosen* Akhir hingga *Holosen*. Tebal tiap formasi berkisar 200-800 m, dan tebal secara keseluruhan diperkirakan melebihi 3500 m (RUSMANA dkk, 1991)



Gb.14. Morfologi / bentang alam dataran , perbukitan bergelombang Bojonegara Serang

### Stratigrafi

Batuan yang tersingkap di daerah penelitian meliputi (urut dari tua ke muda) hasil gunungapi Gede, tufa Banten, batugamping koral dan endapan aluvium. Hasil gunungapi Gede berupa lava, lahar dan breksi termampatkan, yang berumur *Plistosen*. Tufa Banten terdiri dari tufa, tufa batupung dan batupasir tufaan, yang berumur sedikit lebih muda daripada hasil gunungapi Gede.

Stratigrafi daerah penelitian yang hanya terdiri dari dua satuan batuan dapat disimpulkan relatif sederhana. Batuan yang dapat dipilih sebagai batuan potensial adalah batuan beku andesit dari hasil gunungapi Gede . Ketebalan batuan tersebut diduga mencapai lebih dari 500 m, dengan luas pelamparan mencapai 6 x 6 km<sup>2</sup> .



Gambar. 15.  
Breksi Andesit      Andesit

### Struktur Geologi



Gb.16. Struktur batuan : kekar pada andesit dan breksi andesit

### KESIMPULAN

Secara administratif lokasi penelitian terletak di daerah Desa Cipelang, desa Ujungjaya Kecamatan Ujungjaya, Kabupaten Sumedang, Provinsi

Jawa Barat. Secara geografis terletak pada koordinat 108°04'30,00" - 108°07'30,00"BT 06°43'30,00" - 06°46'30,00" LS , Desa Cigelam dan sekitarnya Kecamatan Telukjambe Karawang Selatan Provinsi Jawa Barat ,Secara geografis terletak pada koordinat 107°23'30,00" - 107°26'30,00"BT 06°26'30,00" - 06°29'30,00" LS. Desa Puloampel Bojonegara Serang Provinsi Banten, Secara geografis terletak pada koordinat 106°03'30,00" - 106°06'30,00"BT 05°53'30,00" - 05°56'30,00" LS. Luas cakupan lokasi penelitian masing masing 6 x 6 km.

Dari hasil pengolahan data dan pembahasan daerah penelitian didapat tiga satuan geomorfologi morfologi dataran yaitu dataran , dataran bergelombang dan perbukitan, sedang satuan litologi berurutan dari tua ke muda sebagai berikut Satuan Batulempung Serpih, batulempung padu, Breksi vulkanik, dan satuan Tuf. pengamatan struktur geologi di lokasi penelitian tidak menemukan indikasi struktur geologi yang jelas. hanya menemukan satuan Batulempung , Serpih, yang tidak dapat diteliti lebih lanjut karena sudah merupakan zona hancuran.

Geologi sejarah daerah penelitian diperkirakan dimulai pada kala Miosen Bawah sampai Pliosen Tengah. Pada kala Miosen Bawah terjadi pengendapan Satuan Batulempung Serpih. Pada kala Mio-Pliosen diperkirakan terjadi proses tektonik berupa pengangkatan bersamaan dengan proses vulkanisme.

Dengan perlapisan / stratigrafi bawah permukaan di daerah yang didominasi oleh batuan lempung dan sedikit area cekungan air permukaan di kedalaman tertentu. Sampai kedalaman 52 m masih belum diperoleh adanya lapisan akuifer maka berdasarkan karakteristik geologi penelitian tersebut dari aspek geomorfologi yang sederhana , lithologi batulempung dan struktur tidak begitu kompleks, maka termasuk dalam katagori kesesuaian untuk tapak fasilitas PLLR

## DAFTAR PUSTAKA

- [1].IAEA, Near Surface Disposal of Radioactive Wastes, Safety Series No.111-S.3,IAEA, Vienna, 1994.
- [2].IAEA, Siting of Near Surface Disposal Facilities, Safety Series No. 111 G-3.1,IAEA, Vienna, 1994.
- [3].IAEA, Site Investigations for Repositories for Solid radioactive Wastes in Shallow Ground, Technical Reports Series No. 216, IAEA, Vienna, 1982.
- [4].HOWARD, A.D. dan I. REMSON,Geology in Environmental Planning,Mc.Graw-Hill Inc., New York, 1978.
- [5].PANEKOEK,The Outline of Geomorphology, 1949.
- RUSMANA,E.,SUWITODIRDJO,K.dan SUHARSONO, Peta Geologi Lembar Serang, P3G ESDM, Bandung,1991.
- [6].BEMMELEN, R.W. Van, (1949), *The Geology of Indonesia*, Vol. 1A, Martinus Nijhoff, The Hague.
- [7].ZUIDAM, R.A., et al., (1979), *Terrain Analysis and Classification Using Aerial Photographs A Geomorphological Approach*, ITC,Netherland.
- [8].ACHDAN dan SUDANA, Peta Geologi Lembar Karawang, P3G ESDM,Bandung,1992

- [9]. SILITONGA, Peta Geologi Lembar Bandung, P3G ESDM, Bandung, 2003.
- [10]. DJURI, Peta Geologi Lembar Arjawinangun, P3G ESDM, Bandung, 1995

#### **KETERANGAN GAMBAR / FOTO**

1. Fisiografi Jawa Barat Van Bemmelen (1949)
2. Pola Struktur Jawa Barat
3. Morfologi dataran bergelombang Ujungjaya Sumedang
4. Lokasi dan Peta Geologi daerah Penelitian
5. Lithologi Batulempung Formasi Subang di S.Citalang
6. Struktur kekar dan perlipatan Formasi Subang Ujungjaya Sumedang
7. Lokasi pengukuran survey geolistrik Ujungjaya Sumedang Jawa Barat
8. Morfologi / bentang alam dataran bergelombang Cigelam Karawang
9. Lokasi daerah Penelitian
10. Lokasi dan Peta Geologi daerah Penelitian
11. Struktur kekar dan lithologi Kararawang
12. Lokasi pengukuran geolistrik Karawang Jawa Barat
13. Lokasi daerah Penelitian
14. Morfologi / bentang alam dataran , perbukitan bergelombang Serang
15. Lithologi Breksi Andesit dan Andesit
16. Struktur batuan : kekar pada andesit dan breksi andesit



## FENOMENA BIOSORPSI KHROMIUM PADA *EXTRACELLULAR POLYMERIC SUBSTANCE* TERIMOBILISASI DALAM MATRIKS POLIMER EPOKSI

Zainus Salimin, Endang Nuraeni

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

### ABSTRAK

#### FENOMENA BIOSORPSI KHROMIUM PADA *EXTRACELLULAR POLYMERIC SUBSTANCE* TERIMOBILISASI BALAM MATRIKS POLIMER EPOKSI.

*Extracellular Polymeric Substance* (EPS) dihasilkan oleh sel bakteri yang berkomporsi polisakarida 40-95%, protein 1-60%, asam nukleat 1-10%, lipida 1-10%, dan sisanya polimer. EPS dapat mengikat kation dan anion pengotor air karena EPS mengandung gugus fungsional karboksilat, fosfat, sulfat, hidroksil, dan aminokarboksilat. Limbah cair yang mengandung logam khrom ditimbulkan dari kegiatan industri, dalam larutan kromium valensi 3 berbentuk kation ( $\text{Cr}^{3+}$ ) dan kromium valensi 6 berbentuk anoin ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ ). Penelitian penggunaan EPS terimobilisasi pada matriks polimer epoksi untuk penyerapan kromium telah dilakukan. EPS telah diekstraksi dari lumpur aktif hasil pengolahan limbah industri, dan berdasarkan hasil analisisnya mengandung polisakarida 60%, protein 8%, dan asam nukleat 16%. Melalui analisis FTIR (Fourier Transform Infra Red) menunjukkan bahwa EPS hasil ekstraksi mengandung gugus fungsional karboksilat, hidroksil dan aminokarboksilat. EPS diimobilisasi dalam polimer epoksi pada rasio epoksi dan hardener 1:1, dan epoksi polimer dan EPS 5,7:1 menghasilkan butiran biosorben EPS-Epoksi 30-40 mesh atau 0,42-0,59 mm. Larutan kromium 15,9 ppm dialirkan melewati 1 bed kolom tinggi 5 cm yang berisi 2 g biosorben EPS-Epoksi. Variabel percobaan adalah pH larutan 5, 6 dan 7 dan laju alir 3, 5, dan 7 ml/menit. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pH 5 dan laju alir 5 ml/menit memberikan harga terbaik persen penyerapan kromium sebesar 89,2 % atau konsentrasi kromium tertinggal pada beningan sebesar 1,718 ppm. Kapasitas penyerapan kromium oleh biosorben EPS-Epoksi pada kondisi optimum adalah 6,382 mg Cr/g biosorben. Pada pH 5 terdapat pembentukan kutub muatan positif pada biosorben yang menarik anion kromium, sedangkan kation kromium masuk ke biosorben melalui mekanisme pertukaran ion. Laju alir 3 ml/menit memberikan periode kontak maksimum antara biosorben dan kromium. Fenomena biosorpsi kromium pada biosorben EPS-Epoksi sebagai fungsi pH diuraikan dalam makalah ini.

Kata kunci: *Extracellular Polymeric Substance* (EPS), Kromium, Epoksi

### ABSTRACT

#### PHENOMENA OF BIOSORPTION CHROMIUM ON *EXTRACELLULAR POLYMERIC SUBSTANCE* IMMOBILIZED IN A POLYMER EPOXY MATRIX.

*Extracellular Polymeric Substance* (EPS) is resulted by bacterial cells compossing the polysaccharides 40-95 %, protein 1-60 %, nucleic acids 1-10 %, lipid 1-10%, and polymer as the remaining content. The EPS can bind the cations and anions water pollutants supporting by its functional group contents of carboxylates, phosphoric, sulfuric, hydroxyl, and aminocarboxylates. Waste water containing chromium metal generated from industrial activities, 3 valency of chromium in solution form of the cation and 6 valency form of the anoin. The study of utilization of immobilized EPS on epoxy polymer for removing of chromium has been performed. The EPS was extracted from the activated sludge of industrial skin waste treatment, and according to its analysis the resulted EPS contains of polysaccharides 60 %, protein 8 % and nucleid acid 16 %. By Fourier Transform Infra Red Analysis Method (FTIR), it is indicated that the resulted EPS has the functional groups of carboxylates, hydroxyl, and aminocarboxylates. The EPS was immobilized with epoxy polimer on the ratio of epoxy and hardener of 1 : 1 and epoxy polymer and EPS 5,7 : 1, the resulted grain size of EPS Epoxy is about 30-40 mesh or 0,42 – 0,59 mm. The chromium solution of 15,9 ppm was channeled through the adsorbtion buret column of 5 cm bed height containing 2 g of biosoben EPS-Epoxy. The experiment variables are solution pH of 5,6 and 7 and flow rates of 3, 5, and 7 ml/min. On the condition of pH 5 and flow rate 3 ml/min gives the best percentage of chromium absorption 89,2% or the chromium concentration on the water

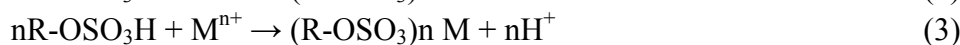
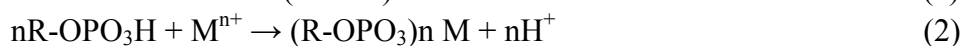
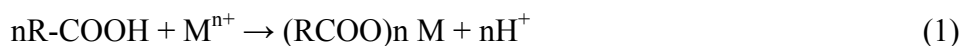
supernatant of 1,718 ppm. On the pH 5 there is formation of positif charge pole attracting the anion of chromium, the cation of chromium attaches into biosorben by ion exchange mechanism. The flow rate of 3 ml/min gives the maximum contact period between biosorben and chromium. The biosorption phenomena of chromium by EPS-Epoxy as the function of pH is described in this paper.

Keyword: Extracellular Polymeric Substance (EPS), Chromium, Epoxy

## PENDAHULUAN

Jenis pengotor air yang terkandung dalam air lingkungan tergantung dari tipe industri yang memberikan pencemaran lingkungan. Air limbah dari industri penyamakan kulit mengandung kation  $\text{Cr}^{+3}$  dan  $\text{NH}_4^+$  dan anion  $\text{S}^{-2}$  dan  $\text{CrO}_4^{-2}$  atau  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$  dan zat organik seperti lemak dan minyak[1]. Produksi radioisotope I-131 menimbulkan air limbah yang mengandung chromium pada pH 1[2]. Bila air lingkungan tercemar oleh bermacam pengotor dapat menimbulkan berbagai macam penyakit. Air limbah dari kegiatan industry harus diolah untuk mengambil pengotornya[3,4]. Pengotor air bentuk ion dapat diambil melalui penyerapan dan pertukaran ion menggunakan penukar ion organik, yang harganya mahal namun tidak dapat digunakan pada operasional suhu tinggi. *Extracellular Polymeric Substance* (EPS) dihasilkan oleh sel bakteri, mempunyai kemampuan biosorpsi dan pertukaran ion karena mengandung gugus fungsional karboksilat, fosfat, sulfat, hidroksil, dan aminokarboksilat. EPS mempunyai komposisi (persen berat) polisakarida (40-95%), protein (1-60%), asam nukleat (1-10%), lipid (1-10%) dan sisanya polimer, dimana gugus-gugus fungsional tersebut berada. EPS dapat berfungsi sebagai biosorben yang mampu mengikat kation dan anion melalui proses adsorpsi, pertukaran ion, pembentukan kompleks dan ikatan hydrogen[5,6,7].

Pengikatan kation oleh EPS dilakukan oleh gugus fungsional karboksilat (-COOH), fosfat (-OPO<sub>3</sub>H), dan sulfat (-OSO<sub>3</sub>H) dimana ion  $\text{H}^+$  diusir dan diganti oleh kation lain yang selektifitasnya lebih besar dari selektifitas ion  $\text{H}^+$  melalui reaksi sebagai berikut[5,8]:

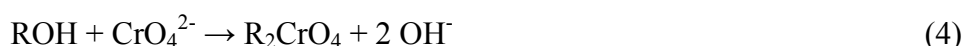


$\text{M}^{n+}$  adalah kation bermuatan positif  $n$  dengan nilai  $n$  satu atau 2. Kation yang telah diikat oleh EPS dapat terusir dan diganti oleh kation lain yang mempunyai selektivitas yang lebih besar. Proses pertukaran ion cenderung lebih memilih terlebih dahulu ion dengan kondisi[8] :

1. Ion dengan valensi lebih tinggi
2. Ion terlarut dengan volume kecil
3. Ion dengan kemampuan berpolarisasi lebih besar
4. Ion yang bereaksi kuat dengan tempat penukar ion dari padatan resin
5. Ion yang paling sedikit bereaksi dengan ion lain untuk membentuk kompleks.

Pada penukar kation, deretan kation yang lebih ditarik adalah mengikuti urutan selektivitas sebagai berikut[8] :  $Ba^{+2} > Pb^{+2} > Sr^{+2} > Ca^{+2} > Ni^{+2} > Cd^{+2} > Cu^{+2} > Co^{+2} > Zn^{+2} > Mg^{+2} > Ag^{+1} > Cs^{+1} > K^{+1} > NH_4^{+1} > Na^{+1} > H^{+1}$  and  $UO^{2+} \gg Cu^{2+} \gg Co^{2+}$ .

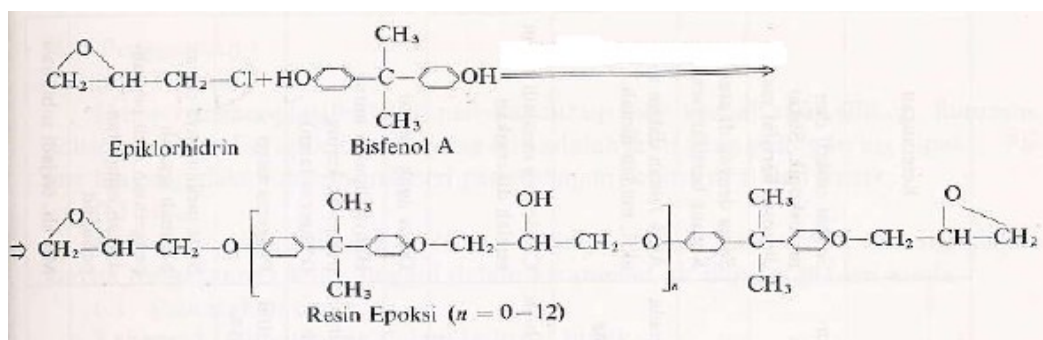
Pengikatan anion oleh EPS dilakukan oleh gugus fungsional hidroksil (-OH) dimana ion  $OH^-$  diusir dan diganti oleh anion lain yang mempunyai selektivitas lebih besar dari selektivitas  $OH^-$ . Pengikatan anion dapat juga dilakukan oleh gugus fungsional aminokarboksilat  $[CH(NH_2)COOH]$  dimana saat resonansi electron akan berubah menjadi  $[-CH(NH_3)^+COO^-]$  sehingga anion masuk di kutub positif dan terjadi pula kation masuk di gugus negatif. Pada pengikatan anion dan kation tersebut mengikuti persamaan reaksi[5,8] :



Jadi melalui reaksi (6) gugus aminokarboksilat dapat mengikat anion sekaligus kation. Pada penukar anion, deretan pilihan anion yang lebih ditarik mengikuti urutan selektivitas sebagai berikut [8] :  $SO_4^{2-} > I^- > NO_3^{-1} > CrO_4^{2-} > Cr^- > Cl^- > OH^-$ . Gugus-gugus fungsional hidroksil, amina, karboksil, fosfat dan sulfat dapat juga mengikat ion logam membentuk kompleks.

Lumpur aktif hasil pengolahan limbah secara biooksidasi dengan bakteri aerob mengandung jutaan koloni bakteri hidup dan mati. EPS dapat diekstraksi dari lumpur aktif tersebut melalui metode sentrifugasi. Lumpur aktif disaring untuk memisahkan cairannya sehingga diperoleh cake. Cake kemudian diresuspensi dengan menggunakan aquades, kemudian dipanasi selama beberapa menit. Larutan tersebut kemudian disentrifugasi pada 9000 rpm dan suhu yang rendah  $4^\circ C$  untuk pemisahan beningan dan partikel padatnya. Beningan tersebut merupakan EPS yang mempunyai kemampuan biosorpsi logam berat dan unsure radioaktif dalam limbah (Yu Tian, 2008). EPS dapat digunakan secara langsung dalam proses biosorpsi logam berat dan atau radionuklida melalui proses EPS terdispersi dalam cair. EPS dapat dicampur dengan suatu matriks untuk membentuk partikel EPS terimobilisasi dalam matriks sebagai padatan biosorben untuk operasi pengolahan secara kolom. Polimer epoksi dapat digunakan secara baik sebagai bahan matriks untuk imobilisasi EPS sehingga diperoleh padatan biosorben Epoksi-EPS. Polimer epoksi mempunyai keunggulan dalam kekuatan mekanik dan ketahanan kimia.

Polimer epoksi adalah campuran monomer bisfenol A dan epiklorhidrin yang mempunyai struktur seperti ditunjukkan pada Gambar 1[9].



Gambar 1. Struktur bisfenol A, epiklorhidrin dan polimer epoksi.

Sesuai Gambar 1, pada struktur molekul polimer epoksi terdapat gugus fungsional hidroksil, sehingga terdapat penguatan pertukaran anion melalui penggunaan matriks polimer epoksi.

Kemampuan biosorben EPS dalam pengikatan logam berat dan radionuklida sangat menarik untuk diteliti guna pemanfaatan lumpur aktif hasil pengolahan limbah dengan proses biooksidasi menggunakan bakteri aerob. Lumpur aktif tersebut biasanya hanya dibuang begitu saja, padahal mengandung EPS yang mempunyai sifat sorpsi, penukar ion, dan pembentuk kompleks yang sangat bagus terhadap kation dan anion sehingga dapat mengikat ion tersebut dengan mudah. Dalam penelitian ini EPS diekstraksi dari lumpur aktif hasil pengolahan limbah industri dengan biooksidasi menggunakan bakteri. EPS kemudian diimobilisasi dalam matriks polimer epoksi dan digunakan untuk biosorpsi khromium dalam limbah melalui operasi kolom.

## TATA KERJA

### Bahan dan Metode Penelitian

#### Bahan

Bahan-bahan yang digunakan terdiri dari kertas saring pori besar Whatman 41, limbah khromium dari industri penyamakan kulit yang mengandung khromium trivalent dan heksavalen masing-masing kadar 15,2 dan 0,7 ppm, asam klorida (HCl), natrium hidroksida (NaOH), dan lumpur aktif hasil pengolahan limbah cair industri.

#### Metode Penelitian

##### Pengambilan EPS dari Lumpur Aktif dengan Sentrifugasi

Lumpur aktif disaring menggunakan kertas saring pori besar. Cake yang diperoleh dicuci dengan akuades untuk menghilangkan kontaminan pengotor. Cake bersih diresuspensi kembali dengan akuades sebanyak lima kali volume cake sehingga diperoleh lumpur baru. Lumpur baru dipanasi pada suhu 80°C selama 10 menit dan didinginkan kembali sampai suhu kamar. Lumpur tersebut kemudian disentrifugasi pada 9000 rpm selama 20 menit pada 4°C. Beningan yang diperoleh dipisahkan dengan dituang, kemudian beningan disaring untuk menghilangkan sisa pengotor yang masih terikat sehingga diperoleh EPS. Larutan EPS tersebut disimpan dalam lemari pendingin agar awet. Larutan EPS dianalisis kadar berat kering, berat kering volatile, kadar polisakarida, protein dan lipida. Larutan EPS kemudian diekstraksi lagi dengan penambahan etanol 96% dalam larutan sampai konsentrasi etanol 70% pada 4°C. Endapan EPS kemudian



disentrifugasi pada 5000 rpm selama 15 menit. Hasil endapan EPS kemudian dianalisis dengan FTIR (Fourier Transform Infra Red) untuk menentukan ada tidaknya gugus fungsional karboksilat, hidroksil, dan aminokarboksilat.

#### Pembentukan Butiran Polimer Epoksi

Campuran polimer epoksi dan pengerasnya pada rasio massa 1:1 dicetak pada cetakan bentuk pipa kecil. Setelah waktu pengeringan 1 hari bahan tersebut dikeluarkan dari cetakannya dan ditumbuk untuk pembentukan butiran polimer epoksi. Hasil butiran tersebut diayak untuk memperoleh ukuran butir 30-40 mesh.

#### Penyerapan Khromium oleh Butiran Polimer Epoksi

Sorpsi khromium oleh butiran polimer epoksi dilakukan pada system kontinyu menggunakan kolom absorpsi buret tinggi 5 cm yang diisi 2 g butiran polimer epoksi. Air limbah yang mengandung chromium trivalent 15,9 ppm dan chromium heksavalen 0,7 ppm pada pH 7 dialirkan dan diresirkulasikan ke buret yang telah berisi butiran polimer epoksi pada laju alir 5 ml/ menit. Konsentrasi chromium dalam larutan dianalisis dengan AAS setiap 1 jam waktu resirkulasi.

#### Pembentukan EPS Terimobilisasi pada Matriks Polimer Epoksi

Hasil endapan EPS dari ekstraksi kedua ditambahkan dan dicampur dengan polimer epoksi dan pengerasnya pada rasio massa epoksi/EPS 5,7:1 (epoksi 1700 g dan EPS 300 g). Campuran bahan tersebut kemudian dicetak pada cetakan bentuk pipa kecil. Setelah waktu pengeringan 1 hari, bahan tersebut dikeluarkan dari cetakannya, dan kemudian ditumbuk untuk pembentukan butiran epoksi-EPS. Hasil butiran tersebut diayak untuk memperoleh ukuran butiran 30-40 mesh, butiran tersebut difungsikan sebagai biosorben EPS-epoksi.

#### Penyerapan Khromium pada Butiran Biosorben EPS-Epoksi

Air limbah yang mengandung chromium trivalent dan heksavalen pada kadar masing-masing 15,2 dan 0,7 mg/l pada pH 7 disirkulasikan pada laju alir 3 ml/menit ke dalam kolom adsorpsi buret tinggi 5 cm yang terisi 2 g biosorben EPS-Epoksi. Cuplikan larutan yang disirkulasikan diambil pada periode 0, 30, 60, 120, 240, dan 360 menit untuk dianalisis kadar khromiumnya. Percobaan pada pH 7 tersebut diulang dengan laju alir berturut-turut 5 dan 7 ml/menit. Percobaan diulangi untuk pH 5 dan 6. Data hubungan waktu pengaliran terhadap kadar chromium dalam larutan dianalisis.

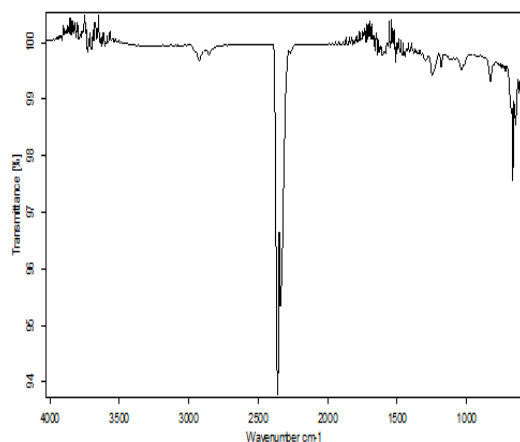
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Larutan EPS hasil ekstraksi lumpur aktif mempunyai berat kering 3,25 g/l dan berat kering volatile 1,46 g/l. Untuk membuktikan hasil ekstraksi adalah EPS, telah dilakukan analisis kadar karbohidrat, protein dan lemak dalam EPS yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 1.

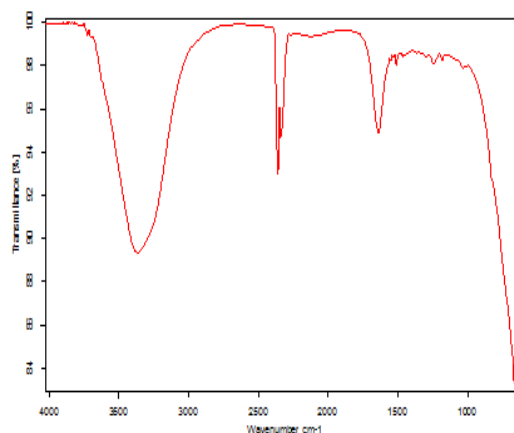
Tabel 1. Hasil analisis komposisi EPS

No	Komponen yang dianalisis	Hasil Analisis (%)	Metode Analisis
1	Karbohidrat	12	Titrasi
2	Protein	8	Distruksi
3	Lemak	16	Gravimetri

Pada Tabel 1. Ditunjukkan bahwa kadar karbohidrat dalam EPS 12%. Polisakarida adalah senyawa organik yang disusun antara lain oleh selulosa, kitin, glikogen, karbohidrat dan lain-lain. Bila dianggap kadar polisakarida sebesar 5 kali kadar karbohidrat maka persen polisakarida dalam hasil EPS adalah 60%, ini masuk dalam nilai batas 40-95%. Kadar protein dalam hasil analisis komposisi EPS adalah 8% sesuai batas kadarnya 1-60%. Kadar lipida yang ekivalen dengan harga kandungan lemak adalah 16%, nilai tersebut lebih tinggi dari batas harga 1-10%. Hal tersebut sesuai dengan asal EPS yang diambil dari lumpur aktif hasil pengolahan limbah cair industri produk perawatan kulit.



Gambar 2. Hasil analisis epoksi dengan metode spektroskopi FTIR



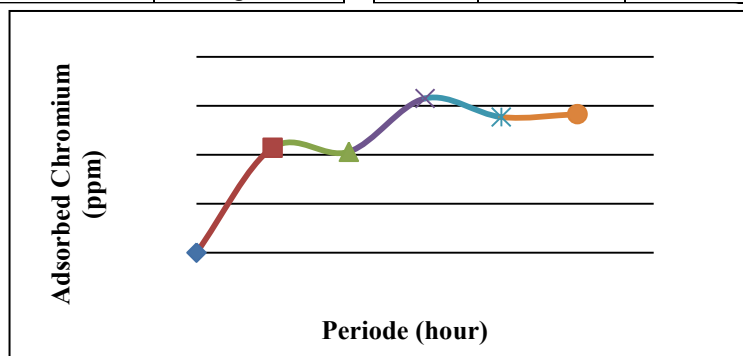
Gambar 3. Hasil analisis EPS dengan metode spektroskopi FTIR

Hasil analisis epoksi yang telah mengadsorpsi khromuim melalui metode spektroskopi FTIR ditunjukkan pada Gambar 2, terlihat bahwa pada epoxy terdapat gugus fungsional alkuna ( $C\equiv C$ ) pada frekwensi  $2100-2400\text{ cm}^{-1}$  dan CH pada frekwensi  $600-900\text{ cm}^{-1}$ . Hasil tersebut sesuai dengan struktur kimia dari polimer epoksi seperti diperlihatkan pada Gambar 1 dimana ekor molekul  $-CH-CHO-CH_2$  pada epoksi yang dipengaruhi  $Cr^{+3}$  berubah bentuk menjadi  $-CH_2-C\equiv CH$  (gugus alkuna) ditambah air. Hasil analisis dari endapan EPS dengan spektroskopi FTIR ditunjukkan pada Gambar 3, terlihat bahwa pada EPS hasil ekstraksi terdapat gugus fungsional karboksil ( $C=O$ ) pada daerah frekwensi  $1600-1900\text{ cm}^{-1}$ , hidrosil dan amina pada daerah frekwensi  $3000-3700\text{ cm}^{-1}$ . Frekwensi spesifik infra merah untuk ikatan kimia gugus fungsional ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai frekwensi spesifik sinar infra merah pada gugus fungsional ikatan kimia[10].

Jenis Ikatan	Daerah Frekwensi ( $\text{cm}^{-1}$ )	Intensitas
C-H	2700-3300	Kuat
	5600-6300	Sedang
	8300-9000	Lemah
	4200-5000	Sedang
	1300-1500	Sedang-Kuat
Jenis Ikatan	Daerah Frekwensi ( $\text{cm}^{-1}$ )	Intensitas
C-C	800-1200	Sedang-Kuat
C-O	900-1300	Sedang-Kuat
C-N	900-1300	Sedang
C=C	1600-1700	Kuat
C=O	1600-1900	Sedang

	800-830	Lemah		3300-3600	Lemah
	600-900	Lemah		5000-5300	Sedang-Kuat
O-H	3000-3700	Kuat	C=N	1600-1700	Sedang-Lemah
	6700-7100	Kuat	C=C	2100-2400	Sedang
	1200-1500	Sedang-Lemah	C≡N	2100-2400	Kuat
N-H	3000-3700	Kuat	C-F	1000-1350	Kuat
	6300-7100	Lemah	C-Cl	710-770	Kuat
	9000-10000	Sedang	C-Br	500-670	Kuat
	4800-5300	Kuat -Sedang	C-I	480-600	Kuat
	1500-1700	Kuat -Sedang			
	700-900	Sedang-Lemah			



Gambar 4. Hubungan waktu sirkulasi larutan terhadap konsentrasi Cr terjerap

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara waktu sirkulasi larutan terhadap konsentrasi chromium terserap pada polimer epoksi, terlihat bahwa kenaikan waktu memberikan peningkatan chromium yang terserap pada epoksi. Peningkatan waktu sirkulasi adalah sama dengan kenaikan waktu kontak chromium dengan epoksi sehingga memberi kesempatan peningkatan penyerapan khromium.

Tabel 3. Pengaruh waktu sirkulasi terhadap kadar chromium dalam larutan pada kondisi variable pH dan laju alir.

Waktu Sirkulasi (jam)	Kadar Khromium dalam larutan (ppm)								
	pH 5			pH 6			pH 7		
	Laju alir (ml/min)			Laju alir (ml/min)			Laju alir (ml/min)		
	3	5	7	3	5	7	3	5	7
0,0	15,900	15,900	15,900	15,900	15,900	15,900	15,900	15,900	15,900
0,5	5,081	13,477	14,109	10,990	14,025	14,489	14,012	15,013	15,213
1,0	2,184	11,266	13,169	9,736	13,415	13,375	13,453	14,726	14,890
2,0	2,126	9,832	12,039	8,114	12,783	12,789	11,399	14,357	14,614
3,0	1,843	9,512	11,693	7,774	12,571	12,755	10,600	14,657	14,176
4,0	1,834	9,397	11,458	7,737	11,972	12,593	10,171	13,471	14,495
5,0	1,718	9,229	11,301	7,932	11,950	12,801	10,096	13,620	14,466

Tabel 3 menunjukkan hubungan antara waktu sirkulasi terhadap kadar chromium dalam larutan yang dilewatkan pada 2 g biosorben EPS-Epoksi yang mengandung 300 mg EPS dan 1700 g epoksi untuk variable pH (5,6 dan 7) dan laju alir larutan (3,5 dan 7 ml/menit). Pada Tabel 2 terlihat bahwa semakin lama

waktunya memberikan penurunan kadar chromium dalam larutan karena chromium yang terikat pada biosorben semakin banyak. Peningkatan waktu sirkulasi memberikan kenaikan kontak muka molekul antara anion chromium heksavalen dengan gugus fungsional muatan positif, dan kation chromium trivalent dengan gugus fungsional muatan negatif sehingga reaksi pada persamaan 1-8 dapat berlangsung. Anion hidroksil pada EPS diganti anion heksavalen chromium dalam larutan, dan kation  $H^+$  pada EPS diganti kation chromium dalam larutan, pertukaran ion tersebut dapat berlangsung karena kekuatan selektivitas ion ion. Pengikatan ion chromium pada gugus fungsional EPS menghasilkan penurunan kadar chromium dalam larutan sehingga efisiensi pemisahan chromium meningkat. Pada Tabel 3 juga ditunjukkan bahwa penyerapan chromium terbaik terjadi pada pH 5 dan laju alir larutan 3 ml/menit yang memberikan konsentrasi chromium pada larutan 1,718 ppm. Pada suasana asam chromium heksavalen berbentuk  $Cr_2O_7^{2-}$ , pertukaran ion mengikuti persamaan reaksi 5 dan 7. Pada suasana asam terdapat kelebihan ion  $H^+$  dalam larutan yang mempengaruhi ion  $OH^-$  pada gugus fungsional karboksil, sulfat dan fosfat membentuk  $H_2O$ . Bila ion  $OH^-$  meninggalkan ikatan awalnya, terdapat formasi baru gugus fungsional bermuatan positif yang menarik ion  $Cr_2O_7^{2-}$ . Nilai pH 5 adalah termasuk dalam keasaman sedang sehingga gugus-gugus fungsional karboksil, fosfat dan sulfat dalam EPS masih tersisa. Kation trivalent chromium menggantikan kedudukan kation  $H^+$  pada EPS yang mengikuti reaksi-reaksi 2,3 dan 4. Berdasarkan kekuatan selektivitasnya. Pada pH 6 dan 7 tidak terdapat pembentukan gugus fungsional baru bermuatan positif. Laju alir 3 ml/menit memberikan biosorpsi chromium yang terbaik karena merupakan kondisi yang memberikan waktu kontak paling lama antara ion chromium dengan gugus fungsional pada EPS disbanding laju alir 5 dan 7 ml/menit.

Pada kondisi terbaik pH 5 dan laju alir 3 ml/menit selama 5 jam waktu sirkulasi larutan menghasilkan kadar chromium dalam larutan 1,718 ppm dengan efisiensi pemisahan 89,20%. Nilai chromium terserap pada biosorben EPS-Epoksi adalah 6,382 mg Cr/g biosorben. Nilai chromium terserap pada EPS adalah 36,597 mg Cr/g EPS.

## KESIMPULAN

EPS yang dihasilkan dari ekstraksi lumpur aktif hasil pengolahan limbah industri produk perawatan kulit mengandung antara lain polisakarida 60%, protein 8% dan lipida 16%. Analisis terhadap EPS yang dihasilkan dengan metode spektroskopi FTIR menunjukkan adanya gugus fungsional karboksil pada frekwensi  $1600-1900\text{ cm}^{-1}$ , hidroksil dan amino pada frekwensi  $3000-3700\text{ cm}^{-1}$ . Kapasitas penyerapan maksimum biosorben EPS-Epoksi pada rasio epoksi dan EPS 1:5,7 adalah 6,382 mg Cr/g biosorben. Pada kondisi operasi terbaik pH 5 dan laju alir 3 ml/menit selama 5 jam waktu sirkulasi larutan memberikan efisiensi pemisahan 89,20% dan konsentrasi akhir chromium dalam larutan 1,718 ppm dimana kadar chromium dalam larutan awal 15,9 ppm. Pada kondisi pH 5 kelebihan ion  $H^+$  dalam larutan akan menarik ion  $OH^-$  dalam gugus fungsional karboksil, sulfat dan fosfat membentuk  $H_2O$ . Lepasnya ion  $OH^-$  membentuk formasi baru gugus fungsional bermuatan positif dimana ion  $Cr_2O_7^{2-}$  akan ditarik. Pada pH 5 yang termasuk keasaman sedang, gugus fungsional karboksil, fosfat

dan sulfat masih tetap ada sehingga pertukaran ion  $H^+$  oleh  $Cr^{3+}$  masih tetap berlangsung.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. ZAINUS SALIMIN (1999), Treatment Processes of Chemical Radioactive Liquid Waste in Serpong Nuclear Facilities, Proceeding of The 7<sup>th</sup> International Conference on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation, Nagoya, Japan.
2. ZAINUS SALIMIN AND ENDANG NURAENI (2011), Removal Phenomena of Cation, Anion, Inorganic and Organic Contents on Water Treatment for Preparation of Row Water for Drinking Water, Preceeding of The Third International Conference on Water Supply Management System and Social Capital, Malang, Indonesia.
3. GORDON MASKEW FAIR, JOHN CHARLES GEYER, DANIEL ALEXANDER OKUN (1966), Water and Waste Water Engineering, Volume 1 water Supply and waste Water Removal, John Wiley and Son, Inc. New York.
4. GORDON MASKEW FAIR, JOHN CHARLES GEYER, BANIEL ALEXANDER OKUN (1968), Water and Waste Water Engineering, Volume 2 water Purification and waste Water Treatment and Disposal, John Wiley and Son, Inc. New York.
5. YU TIAN (2008), Behaviour of Bacterial Extracellular Polymeric Substance from Activated Sludge: a rewiev, International Journal Environment and Pollution, Vol 32, No. I.
6. FRY, J.C ET ALL (1992), Microbial Control of Pollution, Cambridge University Press : Cambridge, United Kingdom.
7. TCHOBANOGLIOUS, G ET ALL (2003), Wastewater Engineering, Treatment and Reuse (Fourth Edition), Mc Graw-Hill Book Company: Singapore.
8. REYNOLDS, T.D (1982), Unit Operation and Processes in Environmental Engineering, PWS Publishing Company, Boston
9. ZAINUS SALIMIN AND WATI, (1998), Solidification of Emitter Alpha Waste Using Epoxy Polymer Matrix, Proceeding od Second National Seminar on Plastic and Environment, Yogyakarta.
10. EWING, G.W (1975), instrumental Methods of Chemical Analysis, Mc Graw Hill Book Company, Tokyo.

