

## PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF CAIR SECARA EVAPORASI DI INSTALASI PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF

**Bambang Sugito, Yayat Bernadi, Budiyono, Masudi**

PTLR Batan Gd.50 Kawasan Puspiptek Serpong  
bbsugito@batan.go.id

### ABSTRAK

**PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF CAIR DI INSTALASI PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF.** Pengoperasian reaktor riset GA Siwabessy BATAN menimbulkan limbah radioaktif cair. Limbah radioaktif cair memiliki potensi bahaya radiasi sehingga perlu diolah untuk melindungi pekerja, masyarakat dan lingkungan. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) sebagai badan pelaksana pengelolaan limbah radioaktif memiliki tugas dan fungsi melaksanakan pengelolaan limbah radioaktif. Metode yang digunakan dalam pengelolaan limbah radioaktif cair adalah evaporasi dan penukar ion, proses tersebut memerlukan bahan pendukung. Beberapa tahapan dalam proses pengelolaan limbah cair terdiri dari rapat koordinasi dan evaluasi, *survey*, pengangkutan, preparasi, dan penyimpanan sementara. Disamping itu, dilakukan juga pemeliharaan peralatan proses dan pengadaan APD untuk keselamatan radiasi. Untuk keberhasilan kegiatan tersebut diperlukan pendanaan dan SDM yang memadai. Selama tahun 2017 telah diolah sebanyak 115 m<sup>3</sup> secara evaporasi, disamping diolah secara evaporasi limbah radioaktif cair juga diolah dengan cara penukar ion sebanyak 40 m<sup>3</sup>.

Kata Kunci : limbah radioaktif cair, evaporasi, pengolahan

### ABSTRACT

**LIQUID RADIOACTIVE WASTE TREATMENT IN INSTALATION TREATMENT RADIOACTIVE WASTE.** The operation of GA Siwabessy BATAN research reactor generates radioactive liquid waste. Liquid radioactive waste has a potential radiation hazard so it needs to be processed to protect workers, communities and the environment. The Center for Radioactive Waste Technology (PTLR) as the implementing agency for radioactive waste management has the duty and function of implementing radioactive waste management. The method used in the management of radioactive liquid waste is evaporation and ion exchanger, the process requires a support material. Some stages in the liquid waste management process consist of coordination and evaluation meetings, *survey*, transportation, preparation, and temporary storage. In addition, maintenance of process equipment and PPE procurement for radiation safety is also carried out. For the success of these activities required adequate funding and human resources. During 2017 has been processed as much as 115 m<sup>3</sup> by evaporation, in addition to processed by evaporation of radioactive waste liquid also processed by ion exchange as much as 40 m<sup>3</sup>.

Keywords : liquid radioactive waste, evaporation, treatment

### PENDAHULUAN

Undang-undang Negara Republik Indonesia No. 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran[1], 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[2]

PTLR sebagai satu satunya fasilitas nasional pengelolaan limbah radioaktif harus mampu menjalankan tugas dan fungsinya sepanjang waktu. Tugas tersebut dilaksanakan oleh Subbidang Pengelolaan Limbah Radioaktif. Untuk mendukung keberhasilan tugas tersebut diperlukan fasilitas yang memadai, tersedianya bahan dan peralatan pengelolaan limbah, jumlah dan kompetensi sumber daya manusia yang cukup, dan biaya operasional yang memadai.

Jumlah limbah radioaktif cair yang diterima PTLR dari penghasil limbah (unit kerja di BATAN) semakin meningkat jumlah dan makin beragam karakteristiknya. Agar jumlah limbah

sebelum diolah tidak memenuhi tangki penyimpanan dan akumulasi paparan radiasinya tidak membahayakan pekerja dan lingkungan maka dilakukan pengolahan limbah secara rutin setiap triwulan. Dalam rangkaian pengolahan, dilakukan kegiatan identifikasi untuk menentukan karakterisasi limbah, dilakukan preparasi untuk menentukan metode pengolahan limbah yang sesuai dan pengaturan karakteristik limbah sebelum diolah agar sesuai spesifikasi.

Umur unit evaporasi yang sudah cukup tua senantiasa memerlukan pemeliharaan. Pemeliharaan dalam rangka menjaga kemampuan fasilitas untuk mengolah limbah radioaktif cair dilakukan secara berkala. Kegiatan yang dilakukan pengukuran parameter motor listrik, pelumasan komponen alat yang bergerak, pengecekan penyediaan kelistrikan dan lain sebagainya. Agar terjamin keselamatan peralatan dan penunjukan yang akurat selama pengoperasian maka dilakukan kalibrasi untuk mengetahui layak dan tidaknya suatu indikator parameter ukur.

Pengolahan limbah radioaktif cair secara umum untuk mengurangi volume limbah dan mengungkung limbah sehingga tidak mudah lepas ke lingkungan. Reduksi volume bisa dilakukan dengan penguapan pelarut menggunakan evaporator, atau proses kimia dengan penukar ion atau pengendapan. Konsentrat hasil evaporasi kemudian diolah lebih lanjut menggunakan unit Sementasi. Konsentrat diwadahkan dalam *shell* beton 950 liter kemudian dicampur dengan semen, pasir, air dan aditif. Limbah olahan dicuplik untuk monitoring kualitas hasil limbah olahan.

Limbah radioaktif olahan disimpan dalam gudang *Interim Storage 1* sampai waktu dilakukan perhitungan atau pengukuran untuk menentukan sudah klieren atau belum. Limbah radioaktif olahan yang sudah mencapai tingkat *klierens* dapat disimpan pada fasilitas demo disposal. Selama penyimpanan dilakukan pemantauan kondisi wadah limbah dan pengukuran laju dosis.

## METODOLOGI

Limbah radioaktif cair dari PRSG diangkut ke ruang penyimpanan limbah mentah di Unit Evaporasi menggunakan mobil pengangkut limbah cair. Pada saat pengangkutan limbah cair, dilakukan juga pengambilan sampel untuk keperluan analisis. Kapasitas mobil pengangkut adalah lebih kurang 2,5 m<sup>3</sup>. Pengaturan konfigurasi *valve* dilakukan untuk penempatan limbah ke salah satu tangki dari empat tangki R2201A, R2201B, R2201C atau R201D. Limbah cair dipompa dari mobil pengangkut ke dalam tangki penyimpanan limbah mentah. Volume limbah yang ada di tangki penampungan dapat dipantau melalui panel kontrol Evaporasi I22001 dengan melihat Level Indikator tangki LI 2201A, LI 2201B, LL 2201C atau LI 2201D.



Gambar 1 Panel Kontrol Evaporasi I-22001

Sebelum proses evaporasi dilakukan, limbah radioaktif cair disampling dan di analisis untuk mengetahui tingkat keasaman (pH), aktivitas, ekstrak kering dan konduktivitas. Penetralkan dilakukan dengan menambah bahan kimia asam nitrat atau soda tergantung tingkat keasamannya. Pengambilan sampel limbah radioaktif cair dilakukan melalui *Glove Box* B22001. Sampel

diserahkan ke petugas laboratorium untuk dianalisis. Disamping di lakukan analisis juga dilakukan evaporasi skala lab untuk mengetahui apakah limbah bisa diproses secara evaporasi dengan aman.



Gambar 2. *Glove Box B.22001*

Proses evaporasi adalah pemekatan larutan dengan mengubah pelarutnya saja menjadi uap dan mengambilnya sebagai kondensat atau destilat. Pada umumnya suatu larutan terdiri dari zat yang volatil (mudah menguap) dan zat yang non volatil (tidak mudah menguap). Jadi evaporasi adalah menghilangkan zat-zat volatil untuk mendapatkan larutan yang lebih pekat.

Unit evaporasi IPLR dapat memproses limbah radioaktif  $0.75 \text{ m}^3/\text{j}$  dengan aktivitas  $\leq 2 \times 10^{-2} \text{ Ci/m}^3$  dan destilat yang memenuhi syarat dibuang dengan aktivitas  $\leq 1 \times 10^{-6} \text{ Ci/m}^3$ . Faktor reduksi volume evaporator IPLR adalah 50 kali dan mempunyai faktor dekontaminasi 104-105. Evaporator tersebut terdiri dari pemanas evaporasi bentuk tabung satu pelaluan (*single pass tubular evaporation exchanger*) yang tersusun dari 43 buah tabung (*tube*) dan masing-masing berdiameter ID 35,05 mm dan OD 42,40 mm dan diameter jaket (*shell*) 0.6 m dimana limbah cair melewati sisi tabung (*tube side*) dan uap air pemanas melewati sisi jaket (*shell side*). Evaporator dilengkapi sebuah kolom penenang dengan diameter 0.9 m dan tinggi 3.5 m yang memisahkan fase uap dari cairannya (cairan anti buih disemprotkan dari bagian atas kolom), sebuah kolom pemisah berisi lima tingkat (*stage*) mangkok gelembung (*bubble cap*) tempat terjadinya pencucian uap air dengan air demin, sebuah pendingin (*coller*) dan pengembun (*condensor*), dan sebuah pipa diameter 80 mm untuk resirkulasi konsentrat dari kolom penenang ke *evaporation exchanger* [3]

Limbah cair yang dievaporasi dipilih dilewatkan melalui *tube side* karena memberikan resiko terbentuknya kerak yang menyebabkan tahanan transfer panas. Pembersihan kerak pada dinding bagian dalam *tube* lebih mudah dilakukan dari pada kerak pada bagian luar *tube*. Uap air (*steam*) dipilih dialirkan melewati *shell side*, oleh karena itu untuk menghindari kerugian panas yang lepas ke atmosfer maka dipasang isolator panas dibagian *shell*. Operasi rutin evaporasi limbah cair secara kontinyu 24 jam per hari dilakukan dari hari Senin s/d Jum'at. Pada akhir operasi limbah cair dikosongkan dari sirkuit evaporasi dan kemudian sirkuit tersebut diisi dengan asam nitrat 10 % untuk menghilangkan kerak. Asam nitrat penghilang kerak tersebut digunakan 8 sampai 10 kali perendaman, selanjutnya dapat dipakai untuk mengatur pH pada proses pengolahan limbah sebagai langkah meminimasi limbah[4]

Untuk menghindari timbulnya kerak yang terjadi selama evaporasi, dapat digunakan inhibitor kimia Ethylene Diamine Tetraacetic Acid (EDTA) yang akan membentuk senyawa kompleks terlarut dengan kalsium dan magnesium pembentuk kerak. Cairan anti buih yang berupa minyak silicon disemprotkan dari bagian atas kolom penenang evaporator bila limbah yang dievaporasi mengandung zat yang menimbulkan buih seperti detergen persil (senyawa alkil aril sulfonat  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{10}-\text{CH}_2\text{OSO}_3\text{Na}$ ) yang berasal dari pencucian pakaian pekerja.

Limbah cair dipompa menggunakan Pompa P 22004 atau pompa P 22005 ke alat penukar panas Evaporator E 22001 dengan cara pengaliran melalui pipa yang dilewatkan dalam tangki penampung untuk mengambil panas dari kosentrat R 22004. Pengaturan *steam* dan laju alir air limbah dikendalikan dari panel I 22001, termasuk pemantauan parameter ukur unit evaporasi dilihat dan di catat melalui penunjukan di panel evaporasi I 22001. Limbah cair masuk pada bagian *tube side* pada suhu 28°C, sedang *steam* yang bertekanan 4,5 - 5 bar masuk pada bagian *shell side*. Dengan demikian limbah cair akan menjadi panas, mendidih dan mengalir ke kolom penenang R 22010 arah tangensial, sehingga uap limbah cair yang terkonsentrasi akan terpisah, konsentrat (pekatan) masuk ke tangki penampung konsentrat R 22004, sedangkan uapnya sebelum mengalir ke tangki pemisah D 22001 akan melewati *buffle* pada bagian puncak kolom yang memungkinkan terjadi penahanan sebagian cairan yang terbawa oleh uap tersebut. Uap air selanjutnya akan mengalir ke bagian bawah kolom pemisah D 22001, didalam kolom pemisah uap air akan dicuci menggunakan air bebas mineral. Kontak muka antar fase terjadi pada 5 *stage bubble cap* yang terakhir, sedang air bebas mineral masuk melalui kolom bagian atas tangki pemisah D 22001 akhirnya uap melewati sebuah *mist eliminator* pada bagian puncak kolom, disitu terjadi penahanan kandungan cairan yang masih terbawa dalam *bubble cap* yang terakhir, sedang air bekas cucian mengalir secara gravitasi ke tangki penampung *active effluent* R 22002.

Uap yang lolos melalui *mist eliminator* akan masuk ke kondensor E 22002 pada bagian *shell side* sehingga uap akan mengembun karena pendingin yang mengalir melalui *tube side*. Gas yang tidak terkondensi yang keluar dari *condenser* E 22002 akan menuju sirkuit *offgas*. Destilat yang terbentuk dari uap yang didinginkan pada *condenser* E 22002 bergerak menuju bagian *tube side* dari *cooler* E 22003, kemudian destilat yang terjadi bergerak menuju ke tangki destilat R 22006A atau R 22006B. Destilat yang dapat dilepas ke lingkungan mempunyai kadar garam kering < 2,50 gram.liter<sup>-1</sup>. [4]

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik limbah radioaktif cair dari PRSG mengandung Co-60 dengan aktivitas 1,05 x 10<sup>-4</sup> Ci/m<sup>3</sup> dan Cs-137 dengan aktivitas 3.96 x 10<sup>-5</sup> Ci/m<sup>3</sup>, pH : 5,7, ekstrak kering 5,8 gr/m<sup>3</sup> dan beberapa logam terlarut seperti Fe, Cu, Cr dan lain lain. Limbah dari PRSG ini memenuhi syarat untuk diolah secara evaporasi. Bahan untuk *pre treatment* sebelum proses adalah asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) dan soda (NaOH)

Tabel 1. Data pengangkutan selama 2017

No.	Periode Pengangkutan	Jumlah (m <sup>3</sup> )
1.	Triwulan I	36,04
2.	Triwulan II	19,33
3.	Triwulan III	16,78
4.	Triwulan IV	26,22
	Jumlah :	<b>98,37</b>

Selama tahun 2017 telah diangkut limbah radioaktif cair dari PRSG sebanyak 99 m<sup>3</sup>. Jumlah pengangkutan disesuaikan dengan permintaan dari PRSG, PTLR berusaha 100% melayani permohonan pelimbahan dari penimbul limbah. Waktu pengangkutan disesuaikan dengan situasi dan kondisi pengangkut artinya jika jadwal yang telah disepakati tiba-tiba ada halangan maka akan disepakati pada waktu yang lain sesuai kesepakatan.

Tabel 2. Data parameter ukur operasi unit evaporasi tahun 2017

No.	Parameter Ukur	Standar	Penunjukkan	Keterangan
1	<i>Flowrate Recorder</i> FR 22001 m <sup>3</sup> /h	0,8-1,5	0.8 - 1.05	Normal
2	<i>Flowrate Recorder</i> FR 62501 t/h	1,18	0.45 – 1.6	Normal
3	<i>Temperature Recorder</i> TR 62501 °C	105	102	Normal
4	<i>Pressure Indicator</i> PI 62501 bar	5	4,7 - 4,8	Normal
5	<i>Flowrate Indicator</i> FI 62201 L/h	100-250	191 - 200	Normal
6	<i>Flowrate Indicator</i> FI 62104 %	100	94 - 95	Normal
7	<i>Temperature Indicator</i> TI 22014 °C	30	27 - 29	Normal
8	<i>Pressure Indicator</i> PI 62104 kg/m <sup>3</sup>	6	4 - 6	Normal
9	<i>Level Recorder</i> LR 22010 %	60	48 – 55	Normal
10	<i>Densitas Recorder</i> DR 22001 kg/m <sup>3</sup>	960-1117	230 - 1020	Normal
11	<i>Pressure Recorder</i> PR 22012 mbar	60	50 - 60	Normal
12	<i>Temperature Recorder</i> TR 22001 °C	104	100 - 104	Normal

Parameter ukur selama proses tahun 2017 masih memenuhi *range* yang diijinkan. Penunjukkan *Densitas Recorder* (DR 22001) kadang kala tidak ada penunjukkan, karena DR 22001 mengalami kerusakan pada motor penggulung kertas. Saat ini komponen sudah dilakukan perbaikan dan sudah berfungsi kembali.

Tabel 3. Data Limbah Radioaktif Cair yang Diolah secara Evaporasi

No.	Periode Pengolahan	Jumlah (m <sup>3</sup> )
1.	Triwulan I	40
2.	Triwulan II	33,5
3.	Triwulan III	29,5
4.	Triwulan IV	12
	Jumlah :	<b>115</b>

Selama tahun 2017 limbah radioaktif cair (LRC) yang bisa diolah sebanyak 115 m<sup>3</sup> hal ini karena sebagian LRC nya diolah menggunakan metode penukar ion yaitu sebanyak 40 m<sup>3</sup>. Kendala lainnya yaitu *Boiler* (pembangkit uap) mengalami kerusakan. Jumlah limbah yang diolah selama tahun 2017 lebih banyak daripada yang diangkut karena jumlah limbah di tangki penampungan masih ada dari tahun sebelumnya.

## KESIMPULAN

Dari kegiatan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Pengangkutan limbah radioaktif cair dari PRSG selama tahun 2017 sebanyak 98,37 m<sup>3</sup>
2. Peralatan proses evaporasi, *valve* manual maupun *valve pneumatic*, pompa, tangki – tangki masih berfungsi dengan baik.
3. Ketersediaan suku cadang sangat mendukung kecepatan proses perbaikan peralatan yang rusak.
4. Unit evaporasi bisa dioperasikan untuk mengolah limbah radioaktif cair dari PRSG ± 115 m<sup>3</sup>
5. Proses evaporasi akan lancar jika didukung oleh ketersediaan Media Energi Suply yang baik ( MES / BPFL)

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada seluruh staf BPL atas dukungan dan kerjasamanya serta staf BPFL atas layanan Media Energy Supply selama proses pengolahan limbah radioaktif cair.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] UU No. 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran
- [2] Peraturan Pemerintah No. 61 Tahun 2013 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif
- [3] *Evaporation System, system Note RWI 220 NJM 0001*
- [4] Bahdir Johan DKK, Pengolahan Limbah Cair Melalui Proses Evaporasi P2PLR- BATAN
- [5] Walman,E (1994). Evaporasi.Serpong : Pusat Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif Badan Tenaga Atom Nasional
- [6] Imam Sasmito,," CHOACHING PENGOPERASIAN DAN PERAWATAN EVAPORASI IPLR,," PTLR, 9 April 2007 s/d 6 Juni 2007