

## KONSEP TEKNOLOGI PENYIMPANAN LESTARI LIMBAH RADIOAKTIF DEKAT PERMUKAAN (NEAR SURFACE DISPOSAL) DI PPTN SERPONG

Sucipta, Untara, Kuat Heriyanto dan Pratomo Budiman S.

P2PLR - BATAN

### ABSTRAK

KONSEP TEKNOLOGI PENYIMPANAN LESTARI LIMBAH RADIOAKTIF DEKAT PERMUKAAN (NEAR SURFACE DISPOSAL) DI PPTN SERPONG. Sebagai antisipasi kebutuhan masa mendatang dan sekaligus untuk menjawab tuntutan Landmark BATAN yaitu penyediaan fasilitas nasional pelayanan pengelolaan limbah radioaktif non PLTN, maka perlu dikembangkan konsep teknologi near surface disposal (NSD) yang mempertimbangkan aspek keselamatan masyarakat dan lingkungan. Penelitian/pengkajian ini dilaksanakan dengan metode deskriptif dengan ruang lingkup studi pustaka, penyusunan kriteria umum dan keselamatan fasilitas NSD, pengumpulan dan analisis data limbah dan tapak, serta penyusunan konsep teknologi. Penyusunan konsep teknologi dilakukan berdasarkan kriteria-kriteria NSD, peraturan perundangan, hasil evaluasi data limbah, data tapak, dan pengalaman dari berbagai negara maju di bidang NSD. Status saat ini (akhir 2003) telah tersimpan limbah olahan sebanyak 550 drum 200 l dan 107 shell beton 950 l. Berat paket limbah dalam drum sekitar 0,486 ton dan paket limbah dalam wadah shell beton sebesar 6,4 ton. Tapak yang dikaji untuk penelitian ini adalah calon tapak potensial di kawasan PPTN Serpong. Konsep teknologi fasilitas NSD untuk limbah radioaktif non PLTN terdiri dari dua vault kompartemen kembar beton bertulang (reinforced concrete vault). Volume ruang masing-masing vault adalah 594 m<sup>3</sup> dengan ukuran panjang 18 m, lebar 6 m dan kedalaman 5,5 m. Vault sisi kiri untuk menampung paket limbah dalam drum 200 l sebanyak 972 drum dengan susunan lajur 27, baris 9 dan tumpukan 4. Vault sisi kanan untuk menampung paket limbah dalam shell beton 950 l sebanyak 144 shell dengan susunan lajur 12, baris 4 dan tumpukan 3. Vault dibangun di bawah permukaan tanah dan minimum 4 m di atas muka air tanah tertinggi. Fasilitas repository didesain dengan beberapa engineered barrier dan natural barrier, yaitu immobilisasi dengan beton, isian beton di antara paket drum/shell, dinding beton bertulang setebal 0,6 m, tuap vault dengan panel-panel beton bertulang, material lempung padat setebal 3 m disekeliling vault kembar dan formasi geologi di sekitarnya. Sistem NSD juga dilengkapi dengan system drainase dalam dan luar repository, untuk mencegah air masuk ke dalam paket limbah.

### ABSTRACT

TECHNOLOGICAL CONCEPT OF NEAR SURFACE DISPOSAL (NSD) AT PPTN SERPONG. To anticipate the future need in preparation of national facility of non NPP radioactive waste management, it is necessary to develop a technological concept of NSD which consider public and environmental safety. This study/assessment is conducted by descriptive method with scope of literatures study, safety criteria formulation, accumulation and analysis of waste and site data, and technological concept formulation. The formulation of technological concept is performed based on NSD criterias, regulations, results of waste and site data evaluation and experiences from the various advance countries in the filed of NSD. The status of the end of year 2003, had been stored about 550 drums (200 l) of treated (embedded) waste and 107 concrete shells 950 l. The weight of the waste packaged in drum about 0.486 ton, and 6.4 ton for waste packaged in concrete shell. The candidate site for this assessment is the PPTN Serpong site. The facility concept of disposal for non NPP radioactive waste consists of two reinforced concrete vaults (twin compartments). The space volume of each vault is 594 m<sup>3</sup>, with the dimension of length 18 m, width 6 m and depth 5.5 m. The left side vault is designed to accommodate the 200 l waste packaged as much as 972 drum, with the orientation of 9 column, 27 line and 4. The right side vault is planned for 144 shells with orientation of 12 column, 4 line and 3. The vaults are constructed under the ground and minimum distance to maximum groundwater level is 4 m.

*Repository is designed with some engineered and natural barrier, in this case are immobilization waste by concrete, backfilling by concrete, reinforced concrete wall with thickness 0.6 m, vault closing by reinforced concrete panels, compacted clay layer as thick as 3 m cover the surround of the vault and geological formation as a natural barrier. The NSD system also be completed by inner and outer drainage system to avoid infiltration of water into the waste packaged.*

## PENDAHULUAN

Sehubungan dengan meningkatnya kegiatan aplikasi iptek nuklir dalam bidang industri dan medis, maka jumlah limbah (khususnya aktivitas rendah dan sedang) yang perlu dikelola akan bertambah banyak. Sebagai antisipasi kebutuhan jangka panjang maka selain adanya instalasi pengolahan limbah, dan tempat penyimpanan sementara (*interim storage*), maka harus mulai disediakan tempat penyimpanan lestari limbah radioaktif aktivitas rendah dan sedang (*near surface disposal = NSD*). Hal itu juga sekaligus untuk menjawab tuntutan Landmark BATAN yaitu penyediaan fasilitas nasional pelayanan pengelolaan limbah radioaktif non PLTN [1]. Untuk itu perlu dikembangkan konsep teknologi NSD yang harus mempertimbangkan aspek keselamatan masyarakat dan lingkungan.

Aspek teknologi penyimpanan lestari limbah radioaktif pernah dikaji dengan mengacu pengalaman negara-negara yang pernah merancang, membangun dan mengoperasikan NSD [2]. P2PLR pada tahun 1995/1996 pernah membuat rancangan sistem NSD sebagai *demonstration plan* untuk tapak SP-4 di dalam kawasan PPTN Serpong [3] yang masih perlu dikembangkan. Terkait dengan hal tersebut, topik-topik yang belum dikaji dari aspek teknologi meliputi: pengembangan konsep repositori, pengembangan konsep desain repositori untuk batuan potensial, pengembangan desain repositori awal dan pengembangan desain repositori detail.

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 keseluruhan yang terdiri dari tiga komponen atau *barrier* utama yaitu: tapak, fasilitas disposal dan kemasan limbah. Konsep teknologi yang akan dikembangkan dalam hal ini adalah menyangkut fasilitas disposal tersebut. Konsep teknologi akan dikembangkan dengan mempertimbangkan

beberapa hal sebagai berikut : 1) karakteristik, jumlah/laju keluaran dan kemasan limbah; dan 2) kondisi tapak terseleksi yang ada di Indonesia, khususnya di kawasan PPTN Serpong.

Dengan konsep teknologi tersebut diharapkan akan lebih memfokuskan perhatian litbang penyimpanan limbah radioaktif yang berkaitan dengan segitiga keselamatan penyimpanan limbah yaitu antara tapak, disain repositori dan limbah. Pada akhirnya setelah ditemukan konsep yang optimal akan bisa diterapkan di masa mendatang, untuk mendukung program nuklir nasional yang dapat diterima masyarakat. Tujuan akhir dari penelitian/pengkajian ini adalah untuk mendapatkan system penyimpanan lestari limbah radioaktif yang aman bagi masyarakat dan lingkungan.

## METODE

Penelitian/pengkajian ini dilaksanakan dengan metode deskriptif dengan ruang lingkup studi pustaka, penyusunan kriteria umum dan keselamatan fasilitas NSD, pengumpulan dan analisis data limbah dan tapak, serta penyusunan konsep teknologi.

Studi pustaka dilakukan untuk mendapatkan informasi tentang NSD yang meliputi kebijakan pemerintah, peraturan perundangan, kriteria-kriteria, limbah, tapak dan teknologi NSD yang telah tersedia. Kriteria umum dan kriteria keselamatan NSD diadopsi dan disusun berdasarkan ketentuan IAEA, Peraturan Pemerintah dan pendapat para pakar [4-8]. Kriteria tapak NSD dapat dirumuskan sebagai berikut, dan secara lebih rinci dapat ditampilkan dalam bentuk **Tabel 1** :

### 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 migrasi 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 merupakan 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 dalam memenuhi standar/persyaratan keselamatan.
  6. Meteorologi  
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  
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.
- Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 27 tahun 2002 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, tempat penyimpanan limbah radioaktif (fasilitas NSD) tersebut harus memenuhi persyaratan sekurang-kurangnya adalah sebagai berikut :
- a) lokasi bebas banjir dan terhindar dari erosi;
  - b) lokasi tahan terhadap gempa dan memenuhi karakteristik materi bumi dan sifat kimia air;
  - c) dilengkapi dengan sistem pemantau radiasi dan radioaktivitas lingkungan;
  - d) dilengkapi dengan sistem pendingin;
  - e) dilengkapi dengan sistem penahan radiasi;
  - f) dilengkapi dengan sistem proteksi fisik;
  - g) memenuhi distribusi populasi penduduk dan tata wilayah sekitar lokasi penyimpanan; memperhitungkan laju paparan radiasi eksternal.
- International Commission on Radiation Protection (ICRP) dalam Publikasi No. 77 tahun 1998 [9] merekomendasikan batas dosis paparan maksimum terhadap penduduk *critical group* dari lingkungan disposal sebesar 1 mSv/tahun.
- Informasi tentang limbah dan tapak ditelusuri dan dikumpulkan dari berbagai laporan hasil penelitian, pengkajian dan survey/observasi di lapangan [10,11]. Penyusunan konsep teknologi dilakukan berdasarkan kriteria-kriteria NSD, peraturan perundangan, hasil evaluasi data limbah, data tapak, dan pengalaman dari berbagai negara maju di bidang NSD.

Tabel 1. Deskripsi kriteria lingkungan tapak penyimpanan limbah radioaktif

No.	Parameter	Keterangan
1.	Letak dan aksesibilitas	1). Dekat dengan instalasi penghasil limbah 2). Jangkauan mudah
2.	Geomorfologi	1). Bentuk lahan tidak berbukit dan bukan lembah 2). Kelerengan kecil (<5°) 3). Intensitas proses geomorfologi kecil
3.	Litologi	1). Permeabilitas rendah 2). Sifat adsorpsi baik 3). Kompak, keras dan homogen
4.	Stratigrafi	Peralihan relatif sederhana
5.	Struktur geologi	Struktur geologi relatif sederhana
6.	Kegempaan	Tidak ada (kecil) ancaman bahaya gempa bumi
7.	Hidrologi	1). Aliran permukaan kecil 2). Jauh dari tubuh air permukaan
8.	Hidrogeologi	1). Muka air tanah >4 m 2). Laju aliran rendah 3). Pola aliran air tanah sederhana
9.	Volkanisme	Tidak ada aktivitas dan ancaman bahaya gunungapi
10.	Iklim	1). Curah hujan rendah 2). Kelembaban rendah-sedang
11.	Sumberdaya alam	1). Tidak ada sumberdaya alam yang bernilai tinggi 2). Dekat dengan potensi cadangan bahan konstruksi, bahan urug dan bahan pengisi repositori
12.	Nilai dan tata guna lahan	Penggunaan lahan bernilai rendah
13.	Persebaran penduduk	1). Kerapatan penduduk relatif rendah 2). Perkembangan jumlah penduduk relatif kecil
14.	Hak atas tanah	Potensi pengalihan hak dan fungsi lahan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Limbah Radioaktif Non PLTN

#### 1. Sumber limbah

Limbah radioaktif non PLTN di Indonesia berasal dari reaktor riset, aplikasi isotop untuk bidang kesehatan dan industri, serta sumber lain seperti dari fasilitas produksi radioisotop, fasilitas elemen bakar dan instalasi radiometalurgi. Sumber lain tersebut meliputi pula *technologically enhanced naturally-occurring radioactive materials (TENORM)* yang ditimbulkan oleh proses ekstraksi dan pengilangan minyak dan gas bumi, tambang emas, timah dan logam lainnya.

#### 2. Pengolahan dan karakteristik limbah

Limbah cair (tingkat rendah dan menengah) ditampung dalam tangki silinder dengan kapasitas 200 m<sup>3</sup>. IPLR memiliki

evaporator dengan kapasitas 0,75 m<sup>3</sup>/jam, dengan faktor reduksi volume 50. Konsentrat hasil proses evaporasi diimobilisasi dengan matriks semen (campuran semen, pasir, aditif dan air) dalam wadah shell beton 950 l.

Dari data limbah yang ada di P2PLR, densitas embedded waste dalam wadah shell beton antara 2,38 s/d 2,43 g/cm<sup>3</sup>; kuat tekan antara 28,80 s/d 30,03 N/mm<sup>2</sup>; laju lindi antara 1,9x10<sup>-4</sup> s/d 1,89 g/cm<sup>2</sup>/jam dan paparan kontak antara 0,014 s/d 0,026 mrem/jam. Komposisi radionuklida yang terkandung Cd-109, Ra-225, Co-60, Zn-65, Cs-137 dan Ce-144.

Pengolahan limbah cair korosif yang mengandung fluor dilakukan dengan teknik pengolahan kimiawi dengan pengaturan pH dan penambahan bahan kimia tertentu. Fasilitas pengolahan dapat memproses 0,5



m<sup>3</sup>/hari limbah cair yang ditimbulkan oleh fabrikasi bahan bakar nuklir. Limbah semi cair seperti resin penukar ion diimobilisasi langsung dengan semen dalam wadah shell beton 950 l yang sekaligus sebagai perisai radiasi.

Berdasarkan data limbah terolah dan tersolidifikasi dalam shell beton yang ada di P2PLR, densitas limbah antara 1,71-1,75 g/cm<sup>3</sup>; kuat tekan 20,02-20,2 N/mm<sup>2</sup>; laju lindi  $1,2 \times 10^{-3}$  s/d  $2,5 \times 10^{-2}$  g/cm<sup>2</sup>/jam dan paparan kontak 0,03-0,79 mrem/jam. Kandungan radionuklida dalam limbah adalah Co-60, Sr-85, Cs-137, Mn-56, Te-123, La-176, Tc-127, Mn-54, Sr-89, Sr-90, dan Zn-65.

Limbah cair organik diolah secara insinerasi untuk mereduksi volumenya.

Limbah padat terkompaksi ditampung dalam drum 100 l dan dikompaksi dengan tekanan 600 kN dalam wadah drum 200 l. Proses kompaksi tersebut menghasilkan faktor reduksi volume sebesar 4-5. Hasil kompaksi dalam drum 200 l tersebut kemudian diimobilisasi dengan matriks semen. Radionuklida yang terkandung adalah P-32, Zn-65, I-131, I-125, Se-75, Ca-46, Ca-45, Tc, Te, Br-82, Mn-45, S-35, Cr-51, Mo, Cs-137, Sr-90, Th, Fe-56, dan Co-60, dengan paparan kontak antara 0,012-100 mrem/jam

Limbah yang tidak dapat dikompaksi dan tidak dapat dibakar ditempatkan dalam shell beton 950 l dan disolidifikasi dengan matriks semen.

Limbah yang terbakar dikemas dalam kotak kardus berukuran 300x300x600 mm, kemudian diinsinerasi pada suhu 950°C. Kapasitas incinerator limbah adalah 50 kg/jam. Gas buangan dari proses insinerasi diperangkap dalam *bag filter*, filter HEPA dan *washing column*. Abu hasil insinerasi ditampung dalam drum 100 l dan kemudian disolidifikasi dengan semen. Paparan kontak limbah hasil sementasi antara 0,001-98,7 mrem/jam. Kandungan radionuklida dalam limbah tersebut meliputi P-32, Zn-65, I-131, I-125, Se-75, Ca-45, Tc, Te, Nb, Sn, Pm, Sm, Ra-226, Am-241, Kr-85, Ir-192, Pu-239, Fe-56, Mo, Cs-137, Sr-90, Th, dan Co-60.

### 3. Penyimpanan sementara

Limbah terolah disimpan dalam gedung penyimpanan sementara (Interim Storage = IS). Gedung IS dibangun dari batu bata dan

beton dengan ketebalan dinding 40 cm sebagai perisai radiasi. Gedung IS dibagi menjadi 2 (dua) bagian. Bagian pertama seluas 500 m<sup>2</sup> digunakan untuk menyimpan limbah aktivitas rendah yang diimobilisasi dalam drum 200 l dengan kapasitas 1500 drum. Bagian yang lain seluas 1000 m<sup>2</sup> digunakan untuk menyimpan limbah aktivitas sedang yang diimobilisasi dalam shell beton 950 l dengan kapasitas 500 shell. Hasil perkiraan laju keluaran limbah tiap tahun adalah 224 m<sup>3</sup> limbah cair, 350 m<sup>3</sup> limbah yang di-*release* ke lingkungan ( $\leq 0,1 \mu\text{Ci}/\text{m}^3$ ), 140 drum 200 l limbah terkondisioning dan 7 shell beton 950 l limbah terkondisioning.

Status saat ini (akhir 2003) telah tersimpan limbah olahan sebanyak 550 drum 200 l dan 107 shell beton 950 l. Berat paket limbah dalam drum sekitar 0,486 ton dan paket limbah dalam wadah shell beton sebesar 6,4 ton. Berdasarkan pengujian mekanis terhadap shell beton diperoleh hasil: densitas 2,35 g/cm<sup>3</sup> dan kuat tekan 4032 kg/cm<sup>2</sup>. dari hasil uji mekanis dengan memperhatikan paparan limbah radioaktif, serta faktor keamanan disain sebesar 3, maka kemasan limbah dalam shell beton 950 l dapat disusun vertikal sebanyak 9 tumpukan.

### B. Calon Tapak NSD

Hasil pengkajian dan penelitian calon tapak NSD di Indonesia mengarahkan adanya 3 (tiga) calon tapak potensial yaitu kawasan PPTN Serpong, Ujung Lemahabang dan Pulau Genting. Pada makalah ini pembahasan akan lebih dititikberatkan untuk calon tapak di kawasan PPTN Serpong, yaitu lahan di sebelah utara IS-2 yang berada di dalam pagar kuning BATAN, dengan luas  $\pm 0,8$  Ha. Nilai lebih lahan tersebut adalah letaknya dekat dengan IPLR dan berada dalam kawasan PPTN sehingga konsep *co-location* cocok diterapkan karena peruntukan lahannya relatif seirama. Dengan demikian akan diperoleh efisiensi pengangkutan dan kemudahan pengelolaan serta pemantauannya. Namun demikian ada kendala serius yang berupa potensi terjadinya gerakan tanah (*longsor*) di bagian lereng barat calon tapak, hal itu bisa dicegah dengan pembuatan bangunan penguat lereng dan penahan *longsor*.



### C. Konsep Teknologi NSD

#### 1. Prinsip-prinsip Dasar

Prinsip dasar dari disposal adalah bahwa fasilitas tersebut ditempatkan, dirancang, dibangun, dioperasikan, ditutup dan didekomisioning sedemikian rupa sehingga pekerja, masyarakat dan lingkungan hidupnya terlindung dari bahaya radiologi. 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 [12].

Perhatian khusus perlu dicurahkan pada rancangan, operasi, *backfilling* dan *sealing* dari modul disposal, baik untuk menjamin keselamatan disposal dalam jangka waktu lama, atau untuk pertimbangan kekuatan dan kapasitas disposal [12]. Untuk tujuan keselamatan, paket 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*).

Beberapa aspek penting untuk menghindari fenomena gangguan karena ketidaksempurnaan rancangan repositori yang perlu diperhatikan [13] adalah :

- a. Rancangan repositori, termasuk penghalang rekayasanya, perlu memperhatikan kondisi tapaknya.
- b. Perlu dijaga kondisi kemasan limbah dan penempatannya dalam modul untuk mengurangi amblesan, fondasi di bawah paket limbah tersebut harus mampu menahan beban secara keseluruhan.
- c. Sistem penyaluran dibuat sedemikian rupa sehingga tidak terjadi akumulasi air tanah dalam modul. Sistem tangkapan air secara gravitasi perlu dibuat untuk mengumpulkan air yang memasuki modul selama waktu kontrol institusional; bila air dapat terkumpul maka volume dan aktivitasnya dapat diukur.
- d. Untuk penginstalasian penghalang rekayasa, seyogyanya modul tersebut tidak terlalu besar, dan integritas disposal dapat dijamin untuk mengantisipasi segala kemungkinan

#### 2. Rekayasa untuk Peningkatan Retensi Radionuklida

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, maka harus disediakan sistem drainase yang memadai. Sistem tersebut harus bisa menjamin efisiensi dan pergerakan cepat air hujan serta mencegah banjir dan erosi.

*Waterproofing* tidak diperlukan bila tapak berada pada daerah beriklim *arid*. Pada daerah *humid*-pun *waterproofing* tidak diperlukan bila sifat sorpsi dari media batuan dapat menghambat pergerakan radionuklida sehingga pada waktunya mencapai zona air aktivitasnya sudah aman.

Bila perlu *waterproofing*, maka material yang digunakan bisa alami atau sintesis harus memiliki permeabilitas rendah dan kapasitas sorpsi yang tinggi. Lebih baik diusahakan agar air hujan dan air permukaan tidak masuk ke dalam disposal dari pada mencegah air yang terlanjur ada dalam repositori keluar menuju ke zona air tanah.

Desain repositori seperti halnya *waterproofing* seharusnya mengacu pada pengalaman sistem disposal yang telah ada, yaitu meliputi [12,13] : 1) *Backfilling and compacting*; 2) *Effective thickness and type(s) of cover*; 3) *Surface treatment* untuk menahan erosi dan mencegah lepasnya partikulat melalui gas atau evapotranspirasi; 4) Pencegahan akumulasi air dalam repositori; dan 5) Menghindarkan air permukaan.

#### 3. Fasilitas

Diharapkan ada inventori awal limbah yang akan diterima, sehingga dapat digunakan sebagai informasi dasar dalam merancang fasilitas pada tapak repositori. Rancangan repositori secara khusus harus memperhitungkan paparan radiasi dan bahaya kontaminasi.

Selama operasi, bahaya utama terhadap personil biasanya berupa paparan radiasi eksternal, walaupun dalam kondisi kecelakaan mungkin saja terjadi inhalasi yang membahayakan. Oleh karena itu diperlukan adaptasi konstan terhadap macam-macam tipe limbah yang diterima.

Kelengkapan peralatan handling juga harus disediakan untuk menangani berbagai macam limbah. Pada tahap perancangan awal perlu pula disediakan jalan untuk kemudahan akses dan pergerakan personil dan peralatan. Fasilitas pemadam kebakaran dan air perlu disediakan secara cukup memadai. Sistem drainase (termasuk penampungan air sementara) perlu diadakan untuk mengatasi masalah air tersebut.

**a. Penerimaan limbah**

Tapak repositori sebaiknya dibagi menjadi dua zona, yaitu a) zona bebas kontaminasi yang bebas akses bagi personil, dan b) zona handling dan disposal dengan akses yang terkontrol.

Daerah penerimaan limbah dan storage sebaiknya ditempatkan pada batas antara dua zona tersebut di atas. Pada daerah ini, kendaraan transport dan paket limbah harus dicek (laju dosis, kontaminasi permukaan, akurasi dan kelengkapan dokumen dll.) serta bongkar muatan limbah, kemudian diverifikasi satu persatu. Setelah itu baru penanganan limbah oleh peralatan yang ada di tapak (tanpa melewati batas zona akses terbatas) untuk memindahkan paket limbah ke penyimpanan sementara, kondisioning, operasional lain atau langsung ke disposal.

Daerah penerimaan limbah seyogyanya meliputi pula :

- *warning system* yang menandakan keadaan abnormal atau laju dosis tinggi;
- persiapan wadah untuk menerima kontainers yang membahayakan untuk *di-repackaging*;
- fasilitas untuk dekontaminasi peralatan transport dan *handling* cairan.

**b. Disposal**

Repositori atau struktur untuk disposal dapat terdiri dari dua tipe, yaitu

a) yang berada di atas tanah asli, sebagai gundukan tanah tertutup (*earth-covered mounds*), dan/atau b) yang berada di bawah permukaan tanah, bisa berupa galian, paritan, atau sumuran.

Desain struktur pada tapak repositori harus mempertimbangkan kondisi geologi, hidrogeologi dan iklim. Desain juga akan lebih baik bila menyediakan berbagai macam model struktur. Desain juga harus mempertimbangkan rencana operasional

untuk membatasi pemaparan personil dan menyediakan ruang untuk tindakan pencegahan dalam kasus kecelakaan (sebagai contoh banjir pada *trench*). Juga akan sangat berguna bila disediakan tempat yang terpisah untuk limbah yang berbeda-beda dalam hal jenis sumber radiasi, tingkat radiasi, limbah campuran dan lain-lain.

Untuk daerah *humid* sangat penting diperhatikan adanya aliran air permukaan, baik di dalam maupun di luar repositori. Untuk repositori di atas permukaan tanah asli, air permukaan yang mungkin mengalir melewati zona limbah harus di arahkan ke instalasi drainase. Hal tersebut untuk menjamin bahwa semua air yang lepas melalui penampungan akan terdeteksi radioaktivitasnya dan membutuhkan tindakan korektif untuk penyempurnaan repositori.

Untuk struktur di bawah permukaan tanah, metode untuk mengontrol aliran air permukaan harus dirancang; misalnya dengan menutup *trench* menggunakan material alam yang permeabilitasnya rendah; dan dibuat kemiringan pada dasar repositori untuk mengarahkan aliran air menjauhi *trench*.

**c. Penyimpanan sementara**

Fasilitas penyimpanan sementara perlu disediakan di dalam kawasan tapak disposal untuk mengantisipasi adanya limbah yang tidak bisa langsung *di-dispose*, atau menunggu kesiapan fasilitas.

**d. Fasilitas Laboratorium**

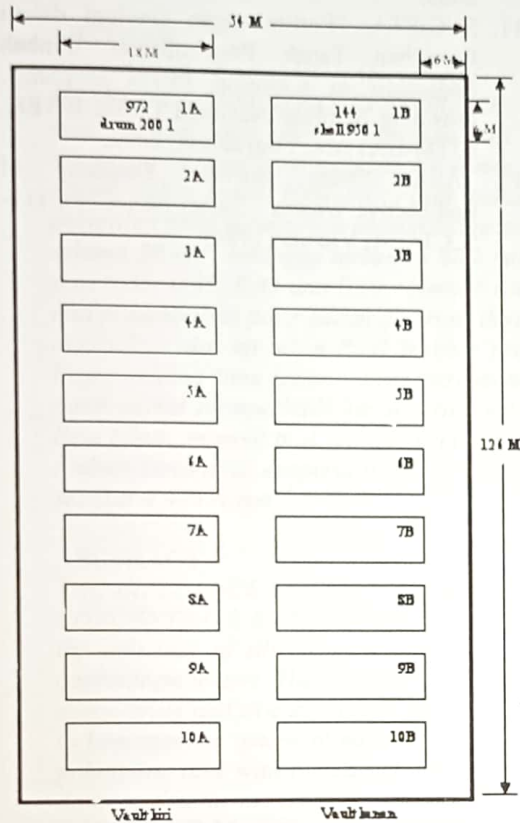
Laboratorium harus disediakan untuk melakukan kegiatan rutin seperti analisis contoh air, tanah, udara dan vegetasi. Normalnya, parameter yang diukur minimal adalah aktivitas total alpha, beta, gamma dan tritium. Bila ada indikasi kontaminasi yang tidak wajar maka segera ditentukan jenis radionuklida yang terlepas ke lingkungan.

**e. Fasilitas lain-lain**

Fasilitas lain yang perlu disediakan dalam tapak repositori mengikuti standard yang telah digunakan dalam fasilitas nuklir umumnya, yaitu : a) kondisioning limbah; b) ruang ganti pakaian, dekontaminasi personil, shelter dll.; c) pemantauan personil dan lingkungan; d) checking dan perbaikan peralatan monitoring dan handling; e)



dekontaminasi peralatan dalam zona terkontrol dan penanganan cairan dari operasi; f) pengamanan fisik, pagar dan kontrol akses; g) deteksi dan pemadam kebakaran; h) penanganan medis darurat; dan i) aktivitas administrasi.



Gambar 1. Denah tata letak near surface disposal

#### 4. Konsep disposal yang direkomendasikan

Konsep teknologi fasilitas NSD untuk limbah radioaktif non PLTN terdiri dari dua vault kompartemen kembar beton bertulang (*reinforced concrete vault*). Volume ruang masing-masing vault adalah 594 m<sup>3</sup> dengan ukuran sisi dalam : panjang 18 m, lebar 6 m dan kedalaman 5,5 m (Gambar 1). Vault sisi kiri untuk menampung paket limbah dalam drum 200 l sebanyak 972 drum dengan susunan lajur 27, baris 9 dan tumpukan 4. Vault sisi kanan untuk menampung paket limbah dalam shell beton 950 l sebanyak 144 shell dengan susunan lajur 12, baris 4 dan tumpukan 3. Vault dibangun di bawah permukaan tanah dan minimum 4 m di atas muka air tanah tertinggi.

Setiap dua kompartemen kembar dirancang untuk menampung limbah radioaktif non PLTN aktivitas rendah dan menengah yang timbul dalam waktu paling tidak satu dekade (10 tahun), jadi bila dirancang sesuai Gambar 1, maka bisa dioperasikan dalam waktu paling tidak 100 tahun. Pembangunan bisa bertahap dengan setiap dua kompartemen kembar dibangun dalam setiap 10 tahun, dimulai dari kompartemen paling atas (sesuai nomor dalam Gambar 1). Limbah yang dapat disimpan dalam sistem NSD tersebut adalah limbah pemancar  $\beta/\gamma$  dan kandungan unsur pemancar  $\alpha$  sangat rendah.

Fasilitas repository didesain dengan beberapa *engineered barrier* dan *natural barrier*. Barrier pertama adalah immobilisasi dengan beton semen. Ruang di antara paket drum/shell diisi dengan beton. Dinding beton bertulang setebal 0,6 m. Vault ditutup dengan panel-panel beton bertulang untuk perisai biologi bagi operator. Material lempung padat setebal 3 m ditempatkan mengelilingi vault kembar untuk mencegah air masuk ke dalam atau keluar dari vault.

Air hujan yang jatuh pada tapak dialirkan ke dalam suatu sistem parit terbuka dan diarahkan masuk ke dalam tangki penampung air. Air dalam tangki tersebut dimonitor secara rutin radioaktivitasnya. 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.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. P2PLR, "Fasilitas Nasional Pelayanan Pengelolaan Limbah Radioaktif Non PLTN", Landmark P2PLR 2003-2007, BATAN, Jakarta, 2003.
2. SUCIPTA, "Teknologi Disposal Limbah Radioaktif Tingkat Rendah dan Menengah", Prosiding PPI Tekn. Pengel. Limbah I, PTPLR-BATAN, Serpong, 1997.
3. LAS, T., SUCIPTA & ERIENDI, "Evaluasi Keselamatan Rancang Bangun Penyimpanan Limbah Tanah Dangkal di PPTA Serpong", Hasil Penelitian PTPLR 1994/1995, PTPLR-BATAN, Serpong, 1995.
4. IAEA, "Siting of Near Surface Disposal Facilities", Safety Series No. 111-G-3.1, IAEA, Vienna (1994).



5. IAEA, "Site Investigations for Repositories for Solid radioactive Wastes in Shallow Ground", Technical Reports Series No. 216, IAEA, Vienna (1982).
6. IAEA, "Criteria for Underground Disposal of Solid Radioactive Wastes", Safety Series No. 60, IAEA, Vienna (1983).
7. SQUIRES, D.J., "Siting of Shallow Land Repositories, Regional Training Course on National Infrastructure for Radioactive Waste Management", Jakarta, Indonesia (1991).
8. Peraturan Pemerintah Nomor 27 tahun 2002 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif.
9. ANNALS OF THE ICRP, "Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste", ICRP Publication 77, Pergamon, 1998.
10. SUCIPTA & SUSILOWATI, D., "Overview of Low and Intermediate Level Radioactive Waste Management Practices in East Asia and the Pacific", Working Material, IAEA, 2003.
11. SUCIPTA, "Pertimbangan Geologi dalam Pemilihan Tapak Penyimpanan Limbah Radioaktif di Kawasan PPTN Serpong", Prosiding Seminar Nasional Litdas IPTEK, P3TM-BATAN, Yogyakarta, 2002.
12. IAEA, "Near Surface Disposal of Radioactive Wastes", Safety Series No. 111-S.3, IAEA, Vienna (1994).