

PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF



Limbah radioaktif yang dikelola PTLR-BATAN

Sebagaimana terjadi pada industri lainnya PLTN juga menghasilkan limbah. Penting untuk diketahui bahwa PLTN merupakan industri pertama yang menerapkan sistem pengelolaan limbah sejak perencanaan pembangunannya. Limbah yang paling dominan dari pengoperasian PLTN adalah elemen bakar bekas. Elemen bakar bekas mengandung unsur-unsur radioaktif dari hasil pembelahan inti atom uranium yang masih bersifat radioaktif. Sifat keradioaktifan unsur hasil pembelahan inilah yang harus dikelola dengan sebaik-baiknya agar tidak membahayakan manusia dan lingkungan di sekitarnya.

Penggantian elemen bakar dilakukan setelah kira-kira 4,5 tahun berada di dalam reaktor. Elemen bakar bekas masih mengandung unsur radioaktif dan memancarkan radiasi dengan aktivitas tinggi. Hal ini merupakan alasan penting mengapa elemen bakar bekas harus diolah dan disimpan di tempat yang aman.

Tahapan pengolahan limbah elemen bakar bekas :

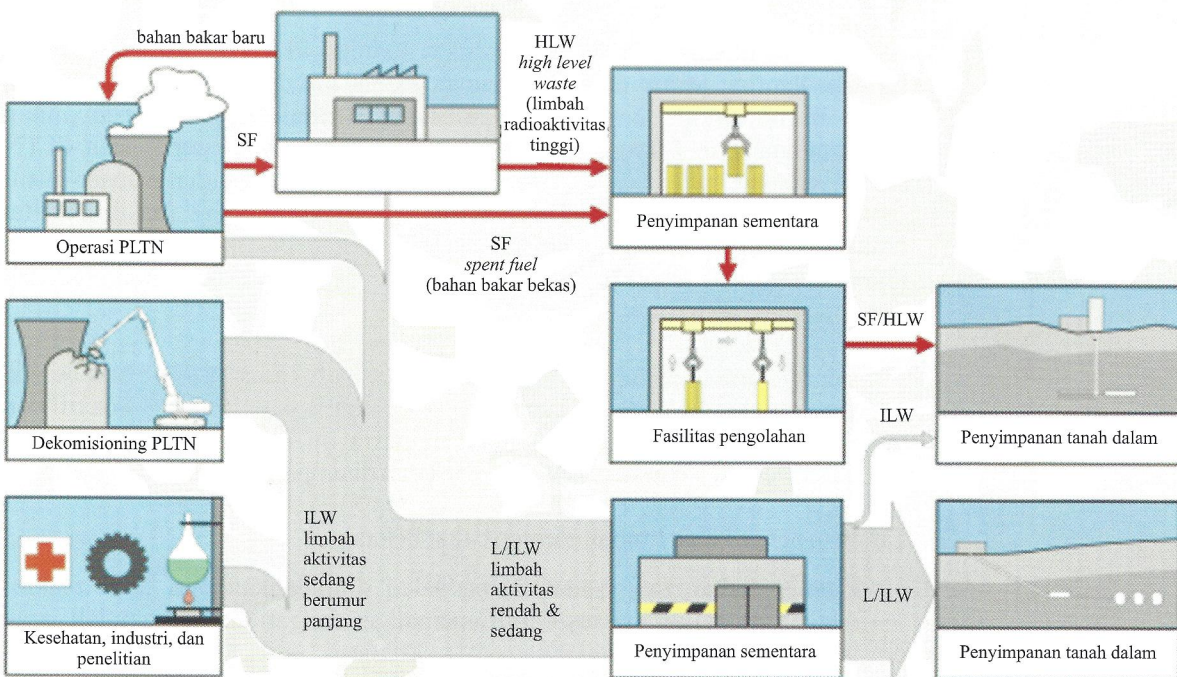
1. Elemen bakar yang sudah habis pakai dipindahkan dari teras reaktor dengan peralatan khusus dan dioperasikan dengan alat pengendali jarak jauh (*remote control*).

2. Elemen bakar bekas selanjutnya ditempatkan di kolam penyimpanan sementara yang berisi air bebas mineral untuk proses pendinginan dan penurunan aktivitas radiasinya. Air selain berfungsi untuk pendinginan juga berfungsi sebagai perisai radiasi untuk mencegah agar radiasi tidak keluar dari sistem pengungkungan kolam.
3. Setelah berada di kolam penyimpanan selama kurang lebih 5 tahun dan aktivitas radiasinya sudah relatif rendah, elemen bakar bekas dapat dipindahkan ke tempat penyimpanan lestari. Tempat penyimpanan lestari dapat berupa kompartemen beton yang berada di bawah permukaan tanah dengan kedalaman kira-kira 1.000 meter. Selain penyimpanan lestari, dewasa ini telah dikembangkan pula proses daur ulang elemen bakar bekas di beberapa negara. Daur ulang ditujukan untuk mengambil kembali unsur-unsur dapat belah (uranium, plutonium, amerisium, curium, neptunium) untuk dijadikan sebagai bahan baku elemen bakar baru atau untuk industri lain.

Hampir 99% limbah PLTN berasal dari elemen bakar bekas yang masih mempunyai radioaktivitas tinggi, sedangkan sisanya berasal dari baju pelindung (*protective clothing*), kain pembersih, peralatan laboratorium dan sarung tangan yang sudah tidak terpakai. Meskipun limbah tersebut tingkat radioaktivitasnya rendah namun tetap harus diolah dan kemudian disimpan di bawah permukaan tanah.

Selain dari pengoperasian PLTN, limbah radioaktif juga bisa dihasilkan dari aktivitas lain seperti penambangan mineral uranium dan thorium dan proses pengolahannya hingga menjadi elemen bakar; daur ulang bahan bakar bekas, dekontaminasi dan dekomisioning fasilitas nuklir, serta penggunaan zat radioaktif dalam bidang penelitian, pertanian, industri dan kedokteran.

Secara garis besar pengelolaan limbah radioaktif mengikuti tiga prinsip utama yaitu memperkecil volume, mengubah menjadi bentuk stabil secara fisik maupun kimia. Selanjutnya limbah radioaktif dipindahkan ke tempat yang terisolasi dari lingkungan hidup dan dimonitor secara terus menerus.



Bagan pengelolaan limbah radioaktif (sumber : www.nagra.ch)

Limbah radioaktif berdasarkan tingkat aktivitasnya diklasifikasikan menjadi 3, yaitu limbah tingkat rendah, limbah tingkat sedang dan limbah tingkat tinggi, sedangkan berdasarkan bentuk fisiknya, limbah radioaktif dibedakan atas fasa gas, cair dan padat. Masing-masing fasa limbah tersebut mempunyai perlakuan yang berbeda pada setiap proses pengolahannya. Pengolahan limbah radioaktif fasa gas, cair dan padat berturut-turut adalah melalui proses filtrasi (penyaringan), evaporasi (penguapan) dan pemampatan. Tahap selanjutnya adalah sementasi untuk imobilisasi material limbah dalam padatan untuk memudahkan dalam transportasi, penyimpanan dan *monitoring*.

Tingkat radioaktivitas limbah radioaktif akan menurun sesuai dengan umur paronya. Selama satu tahun berada di dalam tempat penyimpanan maka tingkat keradioaktifannya akan menjadi 100 kali lebih kecil dibandingkan pada saat keluar dari reaktor. Setelah 5 tahun akan menjadi 1.000 kali lebih kecil, dan dalam waktu 500 tahun tingkat radiasinya sudah dianggap mendekati tingkat radiasi alam.

Jumlah limbah aktivitas rendah dan sedang yang ditimbulkan dari operasi PLTN 1.000 mwe

Berdasarkan kajian yang dilakukan oleh NEWJECT dan laporan dari beberapa negara yang memiliki PLTN, jumlah limbah aktivitas rendah dan sedang yang dihasilkan dari kegiatan operasional PLTN 1.000 MWe jenis PWR adalah sebesar 200 hingga 600 m³. Limbah tersebut berasal dari kegiatan rutin operasional, kegiatan dekontaminasi serta kegiatan pada saat *refueling*.

Tabel 1. Jumlah limbah aktivitas rendah dan sedang dari operasional PLTN PWR 1.000 MWe per tahun

| PWR 1.000 MWe | |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Volume limbah mentah per tahun | <ul style="list-style-type: none"> • 50 m³ limbah cair, • 375 m³ limbah padat terbakar, • 30 m³ resin bekas, • 35 m³ filter udara, • 12 m³ karet dan karbon aktif, • 10 m³ filter air, • 4 m³ material isolasi tak terbakar |
| Volume limbah per tahun setelah dilakukan proses pengolahan dan kondisioning | 300 - 400 drum 200 L atau volume total (limbah dan matriks pengungkungnya) sekitar 60 - 80 m ³ |

Ada dua tahapan pengelolaan limbah radioaktif yaitu :

1. Pengolahan (*Treatment*) yang bertujuan untuk mereduksi volume dengan cara evaporasi, kompaksi, insinerasi atau *radionuclide removal* menggunakan *chemical treatment*, filtrasi dan penukar ion.
2. Kondisioning yang bertujuan untuk memudahkan *handling* dan transportasi limbah serta meminimalkan bahaya radiasi (faktor *shielding*).

Pengolahan limbah cair

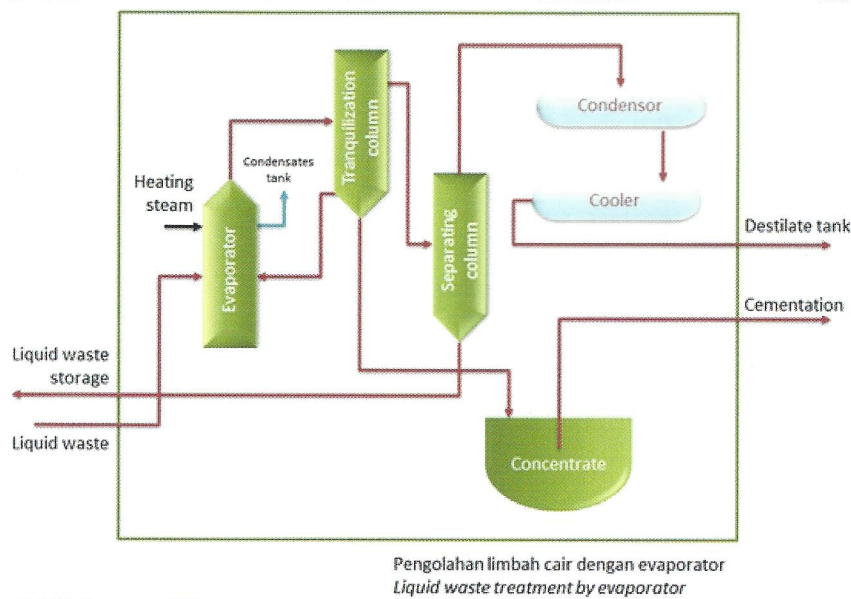
Limbah cair yang dihasilkan pada saat operasi maupun *refueling* ditampung ke dalam tangki penampungan limbah mentah untuk kemudian diolah dengan proses evaporator, filtrasi yang dilengkapi proses penukaran ion, dan pengolahan secara kimia. Pemilihan metode pengolahan limbah cair disesuaikan dengan karakteristik limbah tersebut.

Tabel 2. Aktivitas limbah radioaktif cair dari PLTN PWR 1.000 MWe

| Limbah Cair | Aktivitas (Bq/Tahun) |
|-------------------|----------------------|
| Tritium | $3,7 \times 10^{12}$ |
| Radionuklida lain | $3,7 \times 10^9$ |

Pengolahan awal tersebut akan menghasilkan konsentrat atau *sludge* atau resin bekas yang kemudian dikondisioning di dalam wadah limbah yang sesuai. Ada banyak metode kondisioning, tetapi yang paling umum untuk dilakukan adalah dengan metode immobilisasi menggunakan semen. Di Korea, kondisioning hanya dilakukan dengan mengeringkan konsentrat dan resin tanpa mencampurkannya dengan semen. Tujuan dari pengeringan dan pewadahan langsung di dalam HIC (*High Integrated Container*) adalah untuk memaksimalkan reduksi volumenya.

Setelah proses kondisioning paket limbah tersebut kemudian diangkut dan disimpan di dalam fasilitas penyimpanan sementara.



Pengolahan limbah padat

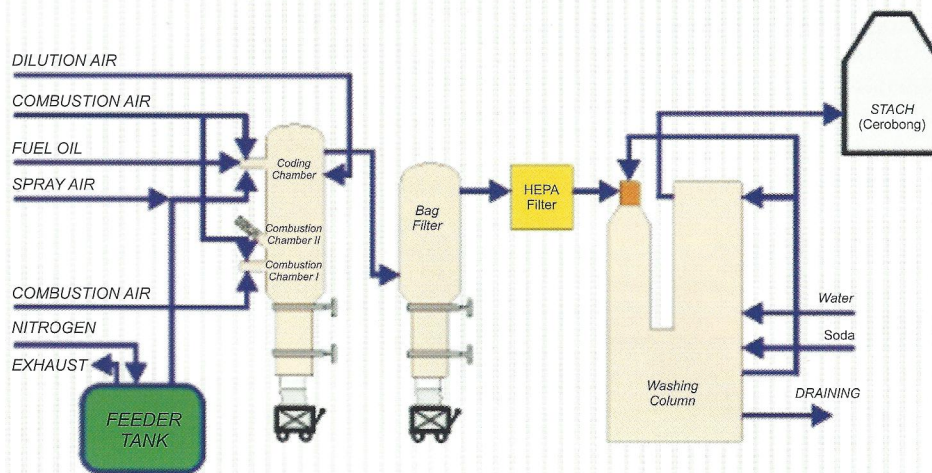
Limbah padat dari operasional PLTN mempunyai karakteristik yang beragam. Untuk keperluan pengolahan, limbah padat dapat diklasifikasikan menjadi 3, yakni limbah padat dapat dibakar, limbah padat dapat dikompaksi tetapi tidak dapat dibakar, dan limbah padat yang tidak dapat bakar dan maupun dikompaksi.

Limbah dapat bakar direduksi volumenya dengan dibakar di dalam tanur insenerasi pada temperatur 700°C - 1.100°C . Gas buang yang ditimbulkan dari reaksi pembakaran dan partikulit ini dilewatkan melalui beberapa filter antara lain *bag house filter* dan *HEPA filter* sehingga hampir 99,9% nya akan terjebak di dalam filter. Selanjutnya gas buang yang berupa sisa-sisa asam dinetralkan dengan soda api. Gas buang yang kemudian keluar dari cerobong telah sepenuhnya bebas dari komponen-komponen yang berbahaya.

Abu sisa pembakaran yang berupa oksida logam di immobilisasi dengan semen dan diwadahkan dalam drum 200 L. Setelah itu limbah yang telah terimmobilisasi tersebut disimpan di tempat penyimpanan sementara.

Pengolahan limbah padat dapat dikompaksi tetapi tidak dapat dibakar dilakukan dengan cara kompaksi. Di banyak negara, limbah tersebut dikumpulkan di dalam drum 100 L, proses kompaksi baru dilakukan setelah limbah telah terkumpul cukup banyak.

Setelah dikompaksi drum 100 L yang berisi limbah padat ditempatkan di dalam wadah drum 200 L. Setelah drum pertama terkompakkan dilanjutkan drum 100 L ke dua dan dikompakkan, demikian seterusnya sehingga tercapai jumlah drum 100 L yang optimum. Setelah proses kompaksi, koral dengan spesifikasi tertentu dituangkan ke dalam anulus yang terbentuk. Berikutnya campuran pasta semen pasir diinjeksikan ke dalam anulus dan digetarkan untuk menjamin infiltrasi dari pasta homogen. Setelah proses ini selesai paket limbah kemudian disimpan di fasilitas penyimpanan sementara. Limbah padat tidak dapat bakar dan tidak dapat dikompaksi biasanya diolah dengan metode immobilisasi langsung.



Pengolahan limbah gas

Limbah gas harus diolah oleh pihak reaktor dengan cara pengambilan radionuklida menggunakan filter dan karbon aktif. Filter dan karbon aktif yang sudah jenuh dikirim ke instalasi pengelolaan limbah radioaktif untuk diolah sebagai limbah padat. Filter bekas diolah dengan cara super kompaksi atau kompaksi 2 arah, sehingga reduksi volume yang didapat maksimal. Sedangkan karbon aktif diolah dengan cara insenerasi, dan abu yang ditimbulkan kemudian diimmobilisasi dengan semen. Pada umumnya PLTN 1.000 MWe akan melepaskan limbah gas dibawah 1.014 Bq/tahun, dengan perkiraan gas yang mungkin dihasilkan adalah gas mulia, gas yodium dan carbon-14.

Tabel 3. Perkiraan timbulnya limbah gas dari PLTN 1.000 Mwe

| Limbah Gas | Aktivitas (Bq/Tahun) |
|---------------|----------------------|
| Gas mulia | $3,6 \times 10^8$ |
| Gas Yodium | Tak terdeteksi |
| Gas carbon-14 | Sangat kecil |

Filter bekas diolah dengan cara super kompaksi atau kompaksi 2 arah, sehingga reduksi volume yang didapat maksimal. Sedangkan karbon aktif diolah dengan cara insenerasi, dan abu yang ditimbulkan diimmobilisasi dengan semen.

Disposal limbah radioaktif

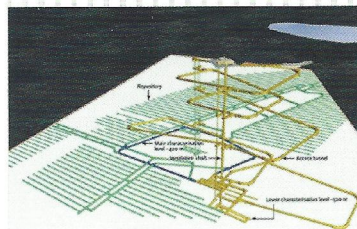
Sesuai dengan prinsip pengelolaan limbah, maka penyimpanan akhir (*disposal*) sebagai bagian ujung belakang dari tahapan pengelolaan limbah radioaktif, bertujuan untuk mengisolasi limbah sehingga tidak terjadi paparan radiasi terhadap manusia dan lingkungan. Tingkat pengisolasian yang diperlukan dapat diperoleh dengan mengimplementasikan berbagai metode penyimpanan akhir, diantaranya dengan model penyimpanan akhir dekat permukaan (*near surface disposal* = NSD) dan penyimpanan akhir geologi (*geological disposal* = GD) sebagai pilihan yang umum untuk diterapkan di banyak negara.

Di dalam NSD, fasilitas penyimpanan diletakkan pada atau di bawah permukaan tanah, dengan ketebalan lapisan pelindung beberapa meter. Dalam beberapa kasus lapisan pelindung tersebut bisa mencapai beberapa puluh meter pada tipe fasilitas *rock cavern*. Fasilitas-fasilitas tersebut dikhususkan untuk limbah aktivitas rendah dan sedang yang tidak mengandung radionuklida berumur panjang.

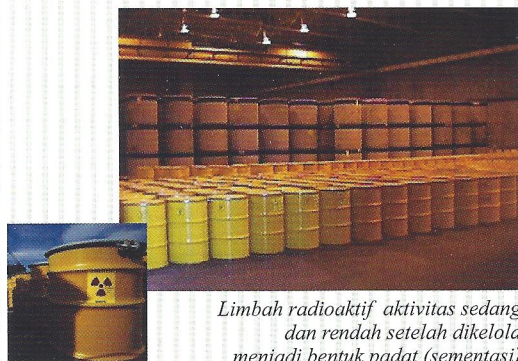
Fasilitas *geological disposal* diletakkan pada kedalaman beberapa ratus meter hingga seribu meter di bawah permukaan tanah, sehingga sering disebut juga dengan istilah *deep geological disposal*. Fasilitas-fasilitas tersebut dikhususkan untuk limbah aktivitas tinggi dan yang mengandung radionuklida berumur panjang



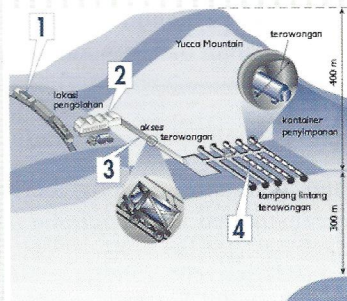
Tempat penyimpanan limbah radioaktif pada tanah dangkal



Desain deep geological disposal untuk limbah aktivitas tinggi



Limbah radioaktif aktivitas sedang dan rendah setelah dikelola menjadi bentuk padat (sementasi)



Fasilitas Penyimpanan Limbah di Yucca Mountain, Amerika



Pusat Diseminasi dan Kemitraan

Gedung Perasten : Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Pasar Jumat, Jakarta 12440
 Kotak Pos : 4390, Jakarta 12043, Indonesia, Telp.: (021) 7659401, 7659402
 Fax.: (021) 75913833, Email : pdk@batan.go.id
 www.batan.go.id