

PENGELOLAAN LIMBAH ZAT RADIOAKTIF : SUATU ANTISIPASI BAHAYA RADIASI

oleh

Supahar

Abstrak

Tujuan utama pengelolaan limbah zat radioaktif ialah membuat dosis radioaktif yang diterima manusia dan lingkungannya dari limbah tersebut serendah mungkin, sehingga dalam setiap keadaan dosis maksimum tahunan yang diperkenankan.

Semua zat radioaktif dan radiasi mengandung bahaya luar dan dalam. Yang dimaksud radiasi disini ialah radiasi peng-ion seperti sinar-X, radiasi γ , dan partikel bermuatan. Akibat radiasi neutron timbul radiasi peng-ion. Bahaya luar diakibatkan oleh pemaparan luar (external exposure), sedang bahaya dalam diakibatkan oleh pemaparan dari dalam (internal exposure).

Ada empat prinsip/teknik yang dapat diterapkan dalam pengelolaan limbah zat radioaktif, yaitu : dengan pengenceran dan dispersi untuk limbah dengan aktivitas rendah, penundaan dan peluruhan untuk limbah berumur pendek, pemampatan untuk limbah dengan aktivitas sedang dan tinggi, dan pewardahan (countainment). Sistem pengelolaan kadang-kadang juga terdiri dari kombinasi dari keempat prinsip/teknik tersebut. Untuk menetapkan beberapa besar konsentrasi dari berbagai radionuklida yang dapat dibuang dengan aman dan tidak membahayakan umat manusia dan lingkungannya, maka harus dievaluasi kapasitas penampungan dari lingkungan tersebut untuk menerima radioaktivitas dengan menggunakan pendekatan 'jalur kritis' yakni jalan yang paling efektif bagi radionuklida kepada manusia dalam situasi dan kondisi tertentu yang menyebabkan kerusakan akibat radiasi. Ini memberikan suatu penentuan konsep tentang dosis radiasi dan pemaparan maksimum yang diperkenankan (maximum permissible radition dose).

Pendahuluan

Perkembangan teknologi dewasa ini kemajuan luar biasa, terutama di bidang bioteknologi, antariksa, mikro elektronika, dan nuklir. Tetapi diantara keempat bidang itu, hanya teknonuklirlah yang mengalami hambatan cukup besar. Hal ini disebabkan oleh adanya ketakutan

dikalangan masyarakat. Timbulnya ketakutan ini antara lain disebabkan hanya dikenal sebagai pemusnah dalam perang. Disamping juga oleh berita-berita tentang bahaya kebocoran nuklir terjadi yang pernah terjadi seperti di Three Mile Island AS. Dan di Chernobyl bekas Uni Sovyet beberapa tahun yang lalu, sehingga membuat orang kembali bertanya : seberapa besar manfaat reaktor nuklir, dan seberapa pula ancamannya. Ketika kesimpulan belum tercapai perkembangan instalasi nuklir dan reaktor pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) terus melaju.

Kini, terdapat 400 lebih PLTN yang tersebar di 26 negara di dunia. Jumlah terbesar diduga berada di bekas Uni Soviet dan Amerika Serikat. Yang cukup mencemaskan, tidak semua PLTN itu didaftarkan pada IAEA (Perhimpunan Tenaga Atom Internasional, yang merupakan organ PBB), sehingga untuk mengawasi semua penggunaan nuklir buat maksud damai, tak, bisa dikontrol. Selain tak bisa memperhitungkan sistem keamanan reaktor-reaktor itu, juga tak dapat memastikan apakah reaktor-reaktor itu sungguh-sungguh untuk maksud damai.

Salah satu perdebatan yang santer dalam reaktor nuklir dan instalasi nuklir adalah pembuangan limbah nuklir. Biasanya limbah nuklir ini dibuang dengan jalan ditanamkan ditanah. Namun sejumlah ahli lingkungan (Tempo, 17, Mei 1986) menilai pengamanan itu sama sekali tak memperhitungkan faktor kestabilan tanah. Misalnya suatu kali terjadi gempa zat-zat radioaktif yaitu akan lepas ke permukaan. Hal ini sangat berbahaya, khususnya di negara-negara yang rawan gempa.

Bahaya zat-zat radioaktif memang tidak berakhir dengan sekali tanam. Walau di dalam tanah, zat radioaktif tetap bekerja. Dalam ilmu Fisika atom-inti unsur-unsur radiaktif adalah zat yang tidak stabil, senantiasa berusaha menjadi stabil. Ikhtiar menjadi stabil itu dengan peluruhan. dalam hal peluruhan itu, unsur radioaktif melepaskan radiasi sinar α , β , dan sinar γ , juga energi panas. Uranium tambang (U_{238}) zat radioaktif yang paling sederhana membutuhkan waktu $4,49 \cdot 10^9$ tahun untuk menjadi stabil. Selama masa itu walau di tanam dimanapun, unsur radioaktif itu tetap berbahaya dan segera aktif bila dilepas.

Dalam pembangunan suatu instalasi yang pertama harus mendapat perhatian ialah faktor-faktor teknis, ekonomis, dan keselamatan. Dari ketiga faktor tersebut justru faktor keselamatan mendapat perhatian yang amat mendalam dan serius, baik keselamatan manusia dan lingkungannya. Baru setelah faktor keselamatan dapat dipertanggung

jawabkan giliran berikutnya jatuh pada faktor ekonomis dan teknis.

Dengan adanya instalasi nuklir dan PLTN, serta sumber radiasi radioaktif yang lain, maka secara sadar di ketahui pula bahwa nantinya akan menimbulkan masalah bagaimana cara mengelola mempengaruhi dan membahayakan umat manusia dan lingkungannya.

Jenis Radiasi Nuklir dan Interaksinya terhadap Materi

Secara umum jenis radiasi nuklir meliputi Radiasi elektromagnetik (sinar γ dan sinar-X), radiasi partikel berat bermuatan (partikel alpha, deuteron, proton, meson), radiasi elektron dan positron, dan radiasi neutron.

Radiasi sinar γ dan sinar-X

Sinar gamma dan sinar -X ialah dua bentuk radiasi gelombang elektromagnetik yang hanya berbeda energi dan sumbernya. Sinar γ pada umumnya berasal dari de-eksitasi inti, sedang sinar -X berasal dari de-eksitasi elektron orbital, dan kadang-kadang dari de-ekselerasi elektron bebas. Jadi sinar gamma pada umumnya berasal dari reaksi inti, sedang sinar -X berasal dari materi yang ditembak elektron. Interaksi sinar γ dengan materi dapat menimbulkan kejadian efek foto listrik, efek Compton, dan produksi pasangan. Pada efek fotolistrik, interaksi sinar γ langsung menimbulkan elektron lepas dari materi. Umpama suatu sinar γ memiliki energi sebesar $E = hv$ menembus materi, jika pada asalnya elektron itu terkait dengan energi ikat E_o , maka efek fotolistrik ini dikuasai aturan bahwa $E_k = E - E_o$. Elektron fotolistrik yang berasal dari elektron orbital akan lepas dengan energi kinetik sebesar E_k .

Efek Compton ialah tumbukan elastis antara sinar γ sebagai partikel foton dan tumbukan elektron dalam materi. Sinar γ sebagai partikel foton memiliki massa dan momentum. Peristiwa tumbukan sinar γ dengan elektron dikuasai oleh hukum kekekalan momentum. Disamping itu, peristiwa ketiga yang mungkinginterjadi ialah produksi pasangan, yaitu hilangnya sama sekali sinar γ yang berenergi tinggi. Energi γ tersebut menjadi massa positron dan elektron.

Radiasi Partikel berat bermuatan

Kelompok ini biasanya disebut partikel jenis proton (protonlike particles). Partikel α lebih banyak dibahas dari pada partikel-partikel berat bermuatan lainnya, karena data eksperimennya lebih lengkap. Akan tetapi pada umumnya, partikel-partikel itu mempunyai sifat-sifat yang sama dalam interaksinya dengan materi. Interaksi radiasi dengan materi menyebabkan materi yang ditembus mengalami eksitasi dan ionisasi, sedang partikel yang menembus kehilangan sebagian energinya. Mekanisme interaksi dapat dijelaskan karena interaksi medan coulomb partikel dengan elektron materi. Jika elektron hanya pindah ke tingkat yang lebih tinggi dalam atom, maka yang terjadi hanya eksitasi. Tetapi jika elektron sampai dapat lepas sama sekali dari atom, maka yang terjadi ionisasi. Terjadinya eksitasi dan / atau ionisasi inilah yang dimanfaatkan untuk mendeteksi radiasi partikel tsb.

Radiasi Elektron dan Positron

Elektron jauh lebih ringan dari proton, walaupun jumlah muatannya tak berbeda. Akibat ringannya elektron, maka pada umumnya gerakan jauh lebih cepat dari proton, dan mudah dipengaruhi tumbukan dan medan coulomb luar. Akibat tumbukan itu, maka jejak elektron mudah terpatah-patah. Oleh karena itu elektron mudah mengalami hamburan.

Interaksi elektron dengan materi menimbulkan eksitasi dan ionisasi atom. Jenis tumbukan ini adalah elektrik (in elastis) yaitu suatu tumbukan yang dikuasai oleh medan listrik coulomb. Karena polah gerakan elektron cepat, masih ada kehilangan energi lain berupa pancaran energi elektromagnetik yang timbul karena muatan listrik yang dibawa bergerak cepat melewati inti dan disebut '*bremstrahlung*'. Proses tersebut terutama terjadi jika elektron dipercepat geraknya oleh medan coulomb luar. Peristiwa interaksi lain yang mungkin dialami elektron ialah peristiwa annihilisasi. Hal ini terjadi jika elektron berhenti bersama dengan positron dan kemudian bergabung satu sama lain. Gabungan ini menjadi bermuatan nol, sedang massa bergabung berubah menjadi energi foton.

Peristiwa annihilasi ini merupakan peristiwa langka, karena positron sangat jarang terdapat. Foton yang terjadi tidak lain ialah sinar γ berenergi tinggi berinteraksi dengan materi. Sinar γ dapat hilang sama sekali dan berubah menjadi elektron dan positron.

Radiasi Neutron

Neutron ialah partikel tak bermuatan, oleh karena itu interaksinya dengan sangat berbeda dengan interaksi partikel bermuatan. Neutron bebas dari pengaruh medan listrik coulumb, akibatnya neutron bebas mendekati bahkan masuk ke inti atom atau menembusnya.

Jika suatu neutron masuk menembus inti dan keluar lagi, maka hanya terjadi peristiwa hamburan '*scattering*'. Hamburan ini dapat berupa hamburan elastis, un-elastis dan oleh transmudasi.

Besar kecilnya energi neutron, sangat menentukan macam interaksi yang terjadi dengan materi. Kaitan energi neutron dan kemungkinan terjadinya interaksi dituangkan dalam pengertian neutron cross section. Atas dasar itu energi neutron digolongkan dalam tiga golongan, yaitu: energi neutron termik, neutron epitermik, dan neutron cepat. Neutron termik memiliki neutron cross section terbesar, artinya paling banyak berinteraksi. Neutron yang tergolong termik ialah neutron yang memiliki energi sekitar 1 eV. Neutron cepat mempunyai neutron cross sectionnya paling kecil artinya hanya sedikit kemungkinan berinteraksi dengan materi.

Adapun interaksi neutron termik dalam garis besar dibagi dalam tiga golongan yaitu:

1. Elastic dan unelastic scattering.
2. Neutron capture reaction, neutron tetap di inti dan mengakibatkan terpencarnya radiasi lain seperti sinar γ , proton, deuteron, partikel α , dan lainnya. Peristiwa ini disebut reaksi inti.
3. Fission, inti yang telah diselundupi neutron terbelah atas fragmen-fragmen. Di samping itu juga dipancarkan neutron baru.

Dosis Radiasi Maksimum Bagi Manusia

Berbicara mengenai radiasi, sebenarnya tidak hanya terdapat dalam reaktor nuklir. Di alam sekeliling kita pun terdapat berbagai

sumber pancaran radiasi yang sehari-hari menimpa tubuh kita tanpa menimbulkan gangguan kesehatan. Manusia mendapatkan pemaparan radiasi secara kontinyu dari sumber ilmiah dan sinar kosmis. Dosis rata-rata yang diterima dari radiasi alamiah ini diperkirakan 100 Rem pertahun, meskipun pada beberapa tempat radiasi alamiahnya (background radiation) ada yang 10 - 30 kali lebih besar.

Segera setelah penemuan sinar γ dan radioaktivitas, diketahui bahwa pemaparan radiasi yang lebih besar dapat menimbulkan berbagai kerusakan dalam tubuh manusia seperti skin erythema, cataract, rambut rontok, kemandulan, dll. Mula-mula muncul konsep tolerance dose yang didefinisikan sebagai dosis radiasi, yang terus menerus dapat diterima oleh manusia tanpa mengalami kerusakan skin erythema maupun kerusakan organ tubuh lainnya.

Baru setelah konsep satuan rontgen dikeluarkan dan pada waktu itu diketahui bahwa dosis yang menyebabkan skin erythema diperkirakan sebesar 600 R hingga tolerance dose diperkirakan 200mR/hari. ICRP (International Commission on Radiological Protection) mendefinisikan maximum permissible dose (MPD) untuk perorangan sebagai dosis radiasi akumulasi selama jangka waktu yang lama atau hasil dari pemaparan satu kali, yang menurut tingkat pengetahuan pada dewasa ini, tidak mungkin memberi kerusakan somatik maupun genetik. Selanjutnya konsep MPD (maximum Permissible Dose) diperluas untuk umum yang bukan pekerja radiasi.

Berdasarkan penelitian irradiasi dengan tingkat radiasi rendah selama waktu tertentu (Rustam Roekmantara, 1978:130) ICRP mereduksi MPD mingguan rata-rata menjadi 100mRem, dengan dasar bahwa kerusakan genetik yang irreversible dapat ditimbulkan oleh pemaparan yang bagaimanapun kecilnya pada organ reproduksi. Dengan alasan yang oraktis, ICRP menentukan dosis akumulasi max kwartalan (periode 13 minggu) sebesar 3 Rem dan tahunan sebesar 5Rem, dan menentukan dosis akumulasi maksimum untuk orang dengan umur N tahun sebesar:

$$5 (N-18) \text{ Rem}$$

bila umur pekerja radiasi di bawah 18 tahun, dosis akumulasi maksimum tetap mengikuti dosis akumulasi tahunan dan harus dijaga kalau sudah mencapai umur 30 tahun, dosis akumulasi tidak melebihi 60 rem. Berdasarkan rekomendasi ICRP (Rustam Roekmantoro, 1978:131) limit dosis radiasi yang boleh diterima oleh dua kategori orang, yaitu pekerja radia-

si dan umum adalah sebagai berikut :

organ/jaringan	MPD pekerja radiasi	Limit Dosis untuk umum
- Gonan, sumsum tulang merah, seluruh tubuh	5 Rem/th	0,5 Rem/th.
- Kulit, tulang dan thy royd	30 Rem/th	3 Rem/th.
- Tangan, kaki, lengan	75 Rem/th	7,5 Rem/th.
- Organ lain	15 Rem/th	1,5 Rem/th.
- Thiroid anak samapi		1,5 Rem/th.

Pengelolaan Limbah Radioaktif

Pengelolaan terhadap limbah radioaktif harus dilakukan secara rutin dengan maksud untuk menurunkan aktivitas jenis limbah tersebut, disamping juga mendukung limbah tersebut manjadi 'inert' baik dari segi fisik maupun kimiawi.

Ada empat prinsip/teknik yang diterapkan dalam pengelolaan limbah radioaktif, dan sistem pengelolaan kadang-kadang juga terdiri dari kombinasi keempat prinsip/teknik tersebut, yakni :

a. Pengenceran dan dispersi

Prinsip pengenceran dan dispersi didasarkan pada anggapan bahwa lingkungan mempunyai kapasitas terbatas untuk mengencerkan nuklida sampai tingkat tidak membahayakan. Penerapan prinsip ini membutuhkan pengertian tentang sifat materi radioktif di dalam lingkungan dan cara memberikan paparan pada manusia yang ditempuh oleh radionuklida yang dibuang. Teristimewa harus diperhatikan proses-proses lingkungan yang menyebabkan rekonsentrasi radionuklida. Penerapan prinsip ini harus sedikit mungkin dan dalam tiap keadaan, lingkungan dapat menerimanya. Pembuangan limbah pada tingkat rendah dengan tingkat ini, dilakukan dengan menanam di dalam tanah, maka kebocoran radioaktivitas ke dalam air tanah dapat dianggap sebagai suatu

pengenceran dan akan menyebar kesekelilingnya. Penerapan prinsip ini pada pembuangan limbah cairan lebih dibatasi, dan pada umumnya hanya untuk sampah cair yang mempunyai tingkat radioaktivitas sangat rendah yang dibuang ke sungai / laut atau danau. Untuk limbah yang berupa gas pada teknik ini dilakukan dengan sistem filtrasi udara dan pembuangan limbahnya melalui cerobong yang sangat tinggi. Tinggi cerobong ditentukan berdasarkan meteorologi setempat untuk menjamin pengenceran yang baik/ cukup sebelum limbah mengenai tanah. Jadi secara praktis pengenceran limbah (bentuk cairan) dapat dilaksanakan dengan : (1) penambahan cairan yang tidak terkontaminasi untuk mengurangi konsentrasi sebelum pembuangan, (2) pembuangan limbah cairan dilakukan sedikit demi sedikit dalam periode waktu yang panjang, dan (3) pembuangan limbah ke dalam air yang sangat banyak.

b. Penundaan dan Peluruhan

Radionuklida akan kehilangan/terkurangi keradioaktivannya karena peluruhan. Peristiwa ini dapat diterapkan dalam pengelolaan limbah padat, cair, dan gas dengan tingkat keradioaktifan sedang dan tinggi yang mengandung radionuklida dengan umur paruh (half life) pendek. Tujuannya ialah untuk mempermudah persolan dalam pengelolaan selanjutnya atau untuk memperkecil resiko dalam pembuangan limbah ke sekelilingnya dengan mengambil manfaat dari peluruhan dan waktu. Prinsip ini secara praktis dapat diterapkan pada instalasi yang menimbulkan limbah yang dapat direduksi tingkat keradioaktivannya dalam beberapa hari sebelum dibuang ke lingkungan sekelilingnya.

c. Pemampatan

Prinsip pemampatan diturunkan dari konsep bahwa kebanyakan radioaktivitas yang diproduksi dalam program nuklir harus diisolasi dari manusia dan sekelilingnya. Prinsip ini diterapkan pada teknik-teknik pemBERSIHAN udara dan gas, pengolahan sampah cair dengan cara pengendapan dan defestilasi; penukar ion dan penguapan; pengolahan sampah padat dengan tingkat keradioaktivannya rendah dengan cara dibakar; pengepakan dan penyaringan. Pengolahan sampah padat dan cair dengan tingkat keradioaktifan sedang dengan limbah cair dengan tingkat keradioaktifan tingkat ke dalam fase padat yang tak dapat larut dengan cara pengapuran (*calcination*) pada suhu tinggi atau penyatuan

(*incorporation*) dengan gelas. Hasil pengolahan limbah cair dan gas pada umumnya berbentuk residu yang pekat.

d. Pewadahan

Karena beberapa radionuklida mempunyai waktu paruh yang panjang hingga memakan waktu lama untuk mencapai tingkat keradioaktivitasnya yang tidak berbahaya, maka limbah harus dilindungi dan disimpan dalam waktu yang lama. Prinsip ini diterapkan pada penyimpanan limbah padat dalam ruang di dalam tanah atau gua pada struktur geologi yang dalam.

Dalam penanaman limbah dengan keradoaktifan yang tinggi harus diadakan hambatan tambahan untuk mencegah perpindahan radionuklida. Suatu cara untuk menanggulangi proses perpindahan ialah dengan menyatukan limbah radioaktif dalam fase padat yang mempunyai kebocoran rendah, dan kemudian disimpan dalam ruangan dalam tanah atau gua dibawah daerah aliran air tanah. Struktur tanah padat garam (*rocksalt formation*) merupakan daerah yang baik untuk menyimpan karena garam merupakan *self-sealing*.

Disamping keempat prinsip seperti tersebut diatas, teknik pengelolaan limbah zat radioaktif dat pula dilakukan melalui pendekatan jalur kritis, sebelum nantinya dilakukan penyimpanan lestari.

Jalur Kritis

Upaya menetapkan berapa besar konsentrasi dari berbagai radionuklida yang dapat dibuang dengan aman dan tidak membahayakan umat manusia dan lingkungannya, maka terlebih dahulu harus dievaluasi kapasitas penampungan dari lingkungan tersebut untuk menerima radioaktif dengan menggunakan jalur kritis (*critical path approach*). Oleh karena itu angka batasan (dosis) maksimum yang diperkenankan untuk kecepatan pembuangan setiap radinuklida ditentukan berdasarkan bahwa tidak ada seorangpun dari "kelompok penduduk kritis" yang akan menerima dosis lebih besar dari angka yang dipastikan oleh ICRP. Yang dimaksud kelompok penduduk kritis ialah kelompok penduduk yang karena sifat, tempat tinggal, dan kebiasaanya menyebabkan menerima radiasi yang lebih besar dari pada penduduk lainnya.

Limbah radioaktif timbul, dari suatu instalasi nuklir dan PLTN yang berbentuk gas atau aerosol, pada umumnya bercampur dengan udara ventilasi. Setelah melalui sistem ventilasi dengan filter yang berlapis-lapis, gas radioaktif yang dilepaskan darimcerobong jumlahnya adalah sedemikian kecil, yaitu sekitar 2 m Curie per tahun, sehingga dampaknya terhadap lingkungan tidak begitu berarti (sangat aman).

Untuk limbah radioaktif yang berbentuk cairan ditampung dan dikumpulkan secara terpisah-pisah sesuai dengan tingkat radioaktivitasnya. Limbah zat radiaktif cair yang beraktivitas tinggi ditampung di dalam tangki tahan korosi dengan sistem ventilasi dan pendinginan. Limbah cair yang beraktivitas sedang dapat ditampung dalam tangki tahan korosi biasa, dan khusus limbah cair yang beraktivitas rendah dapat ditampung dalam kolam beton.

Limbah radioaktif yang berbentuk padatan harus dikumpulkan secara terpisah antara yang terbakar dengan yang tidak terbakar. Untuk limbah padatan yang tak dapat terbakar diremuk dahulu dengan "shredder" dan hasil remukan dimampatkan dengan "compactor" yang selanjutnya dimasukkan ke dalam wadah yang aman dan di semen. Sementara itu limbah padatan yang dapat terbakar diumpangkan ke unit "tangki pembakar", sehingga terbakar sempurna dan abu hasil pembakaran tersebut ditempatkan ke unit "sementasi".

Penyimpanan Lestari

Pada dasarnya pembuangan hasil pengolahan limbah radio aktif ke lingkungan harus dicegah dan ditekan serendah mungkin. Oleh karena itu "effluent" dari tangki dispersi tidak dibuang langsung ke sungai atau laut, melainkan didestilasi untuk dapat dipakai lagi sebagai air proses. Sedang hasil pengolahan limbah yang berupa semen dapat ditanam dalam tanah dengan kedalaman yang cukup stabil dipandang dari segi geologi dan cukup aman untuk lingkungan.

Dewasa ini tengah dipelajari teknologi baru cara penyimpanan lestari limbah radioaktif, yaitu suatu usaha untuk mengembalikan zat radioaktif itu ke dalam bumi dalam bentuk mineral. Sebenarnya ketakutan orang terhadap orang terhadap pengamanan limbah radioaktif terlalu berlebihan sekalipun umur radioaktif mencapai ribuan tahun. Tahun Yang Maha Esa telah memberi pelajaran 'reaktor nuklir alamiah' di

Oklo daerah Gabon Afrika, sekitar 1800 juta tahun yang lalu kadar uranium 235 dalam uranium alam di Oklo masih sekitar 3% Atas kehendak-Nya melalui proses geologi terkonsentrasi cukup air yang sepadan sehingga terjadi kepada manusia bahwa mineral-mineral tertentu dapat mangmankan limbah radioaktif.

Kesimpulan

Limbah radioaktif adalah limbah yang mengandung sejumlah radionuklida yang mempungayi sifat berbahaya terhadap kesehatan manusia maupun lingkungan bila tidak dikelola dengan baik.

Pengelolaan limbah radioaktif dapat berupa penampungan atau pengumpulan limbah radioaktif, pengolahan limbah radio aktif, dan pembuangan atau penyimpangan hasil pengolahan limbah radioaktif tersebut. Untuk limbah yang berbentuk gas dikelola melalui sistem ventilasi dengan filter yang berlapis-lapis. gas radioaktif yang dilepaskan dari cerobong jumlahnya relatif sangat kecil sehingga dampaknya terhadap lingkungan boleh dikatakan hampir tak berarti. Sementara untuk limbah yang berbentuk cairan ditampung dan dikumpulkan pada tangki secra terpisah sesuai tingkat radioaktivitasnya, sedang limbah yang berbentuk, padatan disimpan dalam suatu kolam penyimpan elemen bakar bekas, untuk selanjutnya dikirim ke instalasi ulah ulang, guna mengambil kembali bagian yang masih dapat dimanfaatkan untuk disahkan. Sedang yang tak dapat maka dikenakan pemadatan secra sementara (interim storage), dan selanjutnya dilakukan penyimpangan lestari yang berada dijauh permukaan tanah.

Daftar Pustaka

- Hartono. (1978). *Dasar-dasar Deteksi Radiasi*. Jakarta : Batan.
- Mundi Purnomo. (1978). *Hukum dan Perundang-undangan Tenaga Atom di Indonesia*. Jakarta : Batan.
- Roestam Roekmantara. (1978). *Proteksi Radiasi*. Jakarta : Batan.
- Tempo. 17 Mei 1986. *"Ingat Nuklir, Ingat Chernobyl"*.

Tito Sutjipta. KR. 11 Desember 1988 : *Limbah Radioaktif tidak dibuang ke Lingkungan*".