

PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF HEPA FILTER MENGUNAKAN METODE REDUKSI VOLUME DAN IMOBILISASI DENGAN MATRIK SEMEN

Bung Tomo

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN
Kawasan Puspipstek Serpong, Tangerang Selatan, Banten 15310
Telepon : 021-7563142, Faks ; 021-7560927, E-mail: bungtomo@batan.go.id

ABSTRAK

PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF PADAT HEPA FILTER MENGGUNAKAN METODE REDUKSI VOLUME DAN IMOBILISASI DENGAN MATRIK SEMEN. Telah dilakukan pengolahan limbah radioaktif padat yang berupa HEPA filter dengan metode reduksi volume dan kondisioning dengan matrik semen. Limbah tersebut berasal dari fasilitas nuklir di lingkungan BATAN. Tujuan dari pengolahan adalah untuk reduksi volume dan pengungkungan unsur radioaktif dalam limbah sehingga lebih aman dan selamat dalam penyimpanannya di Interim Storage. Alat reduksi volume yang digunakan adalah kompaktor hidrolik dengan gaya tekan 600 kN. Proses pengolahan dilakukan dengan cara limbah HEPA filter diletakkan dalam drum 100 liter kemudian dipres dalam drum 200 liter yang bagian dasarnya telah berisi batu koral diameter 5 cm, satu drum 200 liter memuat antara 6 - 9 drum 100 liter. Drum 200 liter yang sudah berisi limbah terkompaksi diberi batu koral berdiameter 2,5 cm kemudian dikondisioning dengan adonan semen. Dosis paparan kontak wadah limbah sebelum diolah antara 0,54 - 110 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ dan setelah diolah menjadi 0,12 - 0,48 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$. *Bulk density* dari drum 200 liter hasil sementasi antara 2140 - 2360 kg/m^3 di atas batas minimal yang diijinkan oleh IAEA (IAEA $\rho = 1700 - 2500 \text{ kg}/\text{m}^3$). Hasil olah limbah radioaktif padat adalah 141 drum 100 L dan direduksi volumenya dalam 16 drum 200 L, besarnya reduksi volume 71,23 %.

Bulk density = rapat massa curah

Keyword: HEPA Filter, Limbah radioaktif, immobilisasi, matrik semen

ABSTRACT

TREATMENT OF HEPA FILTER SOLID RADIOACTIVE WASTE USING VOLUME REDUCTION METHODE AND IMMOBILIZATION WITH CEMENT MATRIX. The treatment of HEPA Filter Solid Radioactive Waste by using volume reduction method and immobilization with cement matrix has been done. The waste was produced by BATAN Nuclear facility. The purpose of the treatment is to reduce the volume and to embed radioactive element in the waste and safe disposal in interim storage. The equipment used to reduce the volume of waste was hydraulic compactor with compressing force of 600 kN. The sequence of treatment was started by charging 100 L drum with the HEPA filter waste and then this HEPA filter waste was compacted in 200 litre drum which had been previously filled with coal of 5 centimeters diameter at the bottom section. A 200 litre drum could contain 6 up to 9 100 liter drum. Furthermore, the 200 litre drum contained compacted waste was filled with coal of 2,5 centimeters diameter and then was filled with cement slurry. The exposure dose at the surface of waste container before treatment was 0,54 - 1,10 $\mu\text{Sv}/\text{hour}$ and after treatment was between 0,12 - 0,48 $\mu\text{Sv}/\text{hour}$. Bulk density of the cemented 200 L drum was between 2140 - 2360 kg/m^3 . This value exceeded the minimum limit permitted by IAEA i.e. $\rho = 1700 - 2500 \text{ kg}/\text{m}^3$. The number of solid waste treated was 141 pieces of 100 litre drum and were reduce into 16 pieces of 200 litre drums. The volume reduction was 71,23 %.

Keyword: HEPA Filter, Radioactive Waste, Immobilization, Cement matrix

PENDAHULUAN

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 terhadap limbah radioaktif padat ini semestinya sudah dimulai dari instansi penimbun limbah dengan pemilahan 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 meluruhkan 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 [1].

Salah satu material limbah radioaktif yang ditimbulkan dari fasilitas nuklir adalah material limbah padat HEPA filter. Limbah HEPA filter yang tersimpan di PTLR adalah limbah dengan ukuran (60 × 30 × 30) cm dan ukuran (60 × 60 × 30) cm. Limbah padat HEPA filter tersebut mempunyai kandungan radionuklida yang berbeda – beda tergantung dari asal fasilitas nuklir yang menggunakannya. Terdapat kemungkinan limbah padat HEPA filter tersebut terkontaminasi oleh radionuklida pemancar alpha. Hal ini sangat membahayakan bagi pekerja radiasi (operator) jika radionuklida sampai masuk dalam tubuh manusia, sehingga perlu dibuat langkah – langkah untuk menanggulangi penyebaran kontaminasi tersebut. Pengolahan material HEPA filter bekas dengan metode reduksi volume dan dikondisioning dengan matrik

semen diharapkan limbah akan lebih aman dalam penyimpanannya dan lebih ekonomis dalam pengolahannya [2].

Dari hasil analisis, limbah HEPA filter dapat diolah dengan proses kompaksi untuk mereduksi volume dan kemudian di kondisioning dengan matrik semen. Untuk mencegah hamburan radioaktif limbah HEPA filter sebelum diolah dilakukan preparasi terlebih dahulu. Limbah HEPA filter dimasukkan ke dalam plastik, diikat dan dimasukkan ke dalam drum 100 Liter kemudian dikunci. Limbah HEPA filter dalam drum 100 Liter kemudian dikompaksi dalam drum 200 Liter menggunakan kompaktor dengan gaya tekan 600 kN. Satu drum 200 Liter mampu menampung 6 – 9 drum 100 Liter. Hasil kompaksi drum 200 Liter pada sela – selanya diberi batu koral dengan diameter 2,5 cm sampai penuh kemudian di imobilisasi dengan adonan semen dan selanjutnya dikeringkan. Setelah disementasi, limbah dalam drum 200 Liter 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 Δx 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 panahan (cm)

μ = Koefisien *atenuasi* linier (cm^{-1})

Hasil imobilisasi limbah dalam drum 200 L dapat dihitung densitas *bulk*nya, dengan densitas *bulk* adalah berat persatuan volume produk secara keseluruhan dan dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg} / \text{m}^3) \quad (2)$$

keterangan :

ρ = Densitas *Bulk* (kg/m^3)

m = Massa (kg)

V = Volume (m^3)

Pengolahan limbah radioaktif aktivitas

rendah dengan cara reduksi volume dan pemadatan 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.

METODE

Proses pengolahan limbah HEPA filter dengan metode reduksi volume dan kondisioning dengan matrik semen merupakan rangkaian beberapa kegiatan, meliputi penyortiran limbah dan pewadahan limbah dalam drum 100 Liter, preparasi drum 200 Liter, proses kompaksi, pembuatan adonan semen (*cement slurry*), proses imobilisasi, pengukuran paparan limbah, penguncian, penimbangan dan penyimpanan ke *interim storage*.

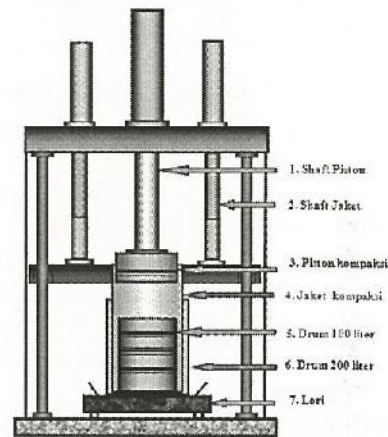
1. Preparasi Drum 200 Liter

Drum 200 Liter berwarna kuning disiapkan dan diberi nomor identifikasi, pada bagian dasar drum 200 Liter diberi batu koral berdiameter 5 cm yang berfungsi untuk memberi rongga agar adonan semen bisa masuk ke bawah drum 100 liter.

2. Proses Kompaksi Limbah Radioaktif HEPA Filter

Drum 100 Liter disiapkan untuk wadah HEPA filter, lalu filter tersebut dimasukkan dalam plastik dan dibungkus rapat pada kedua sisinya kemudian dimasukkan dalam drum 100 Liter. Drum 100 Liter kemudian dikunci dan siap untuk dikompaksi. Drum 200 Liter diletakkan pada lori dan dimasukkan ke dalam alat kompaksi. Alat kompaksi dihidupkan dan dikontrol dari meja kontrol I 32003. Jaket kompaksi diturunkan secara perlahan dan masuk ke dalam drum 200 Liter, drum ini berfungsi sebagai wadah limbah. Limbah HEPA filter dalam drum 100 Liter dimasukkan ke dalam alat kompaksi dengan mendorongnya dan jatuh dalam jaket pada drum 200 Liter. Proses kompaksi dilakukan dengan menekan tombol *jack down* pada panel. Piston kompaksi akan turun dan menekan drum 100 Liter yang

berisi limbah dengan kekuatan 600 kN. Pada tekanan maksimum 600 kN secara otomatis piston akan berhenti menekan. Piston kompaksi dinaikkan lagi untuk kompaksi drum yang lain. Operasi kompaksi dilakukan sampai drum 200 Liter penuh. Hal ini dikontrol pada mistar penunjuk pada alat. Setelah drum 200 Liter penuh, piston tetap pada posisi bawah menekan limbah, baru kemudian jaket kompaksi dinaikkan dan drum 200 Liter dikeluarkan dari alat kompaksi. Drum 200 Liter yang sudah berisi limbah diberi koral dengan diameter 2,5 cm pada sela-sela antara drum 200 Liter dan drum 100 Liter. Palang anti dispersal dipasang pada drum 200 L dan dikunci [3]. Gambar unit kompaksi dapat dilihat pada Gambar 1.

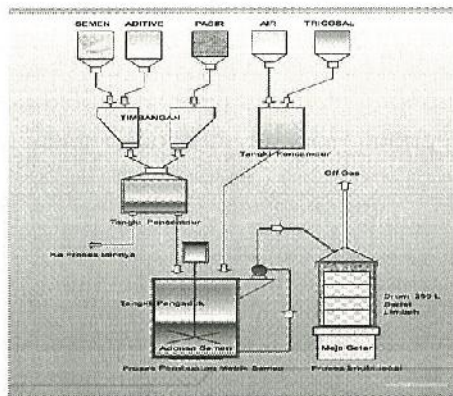


Gambar 1. Sket Alat Kompaksi 600 kN

3. Proses Pembuatan Matrik Semen

Slurry semen dibuat di dalam sebuah "mixer" M 32001 terbuat dari baja karbon dengan kapasitas 200 liter dan dilengkapi dengan sebuah motor pengaduk dengan daya 11 kW, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Bahan – bahan yang digunakan meliputi: pasir, semen, air dan aditif. Penimbangan dan pencampuran antara semen dan pasir dilakukan dalam unit pembuatan campuran beton kering. Untuk imobilisasi satu drum 200 Liter dibutuhkan kurang lebih 60 Liter *slurry* semen, komposisi 1 Liter *slurry* semen terdiri dari 1,313 kg semen; 0,328 kg pasir; 0,437 Liter air; dan 0,029 Liter aditif. Air dan aditif dimasukkan dalam tangki pencampur sesuai dengan ukuran, campuran semen kering dan pasir ditimbang sesuai dengan kebutuhan kemudian dimasukkan ke dalam tangki pencampur secara bertahap sambil diaduk sampai homogen dan

siap untuk imobilisasi^[4]



Gambar 2. Proses Imobilisasi dengan Matrik Semen

4. Proses Imobilisasi Dengan Matrik Semen

Campuran semen kering dibuat di ruang silo, semen kering dan pasir ditimbang sesuai dengan permintaan, kemudian diturunkan ke tangki pencampur dan diaduk dalam tangki pencampur sehingga homogen. Setelah tercampur dengan baik kemudian siap dituangkan ke tangki pengaduk untuk membuat semen slurry. Motor pengaduk dihidupkan, air dimasukkan dalam tangki pengaduk sesuai dengan ukuran, secara perlahan semen diturunkan dengan membuka katup. Campuran semen, pasir dan aditif diaduk sampai rata dan siap untuk imobilisasi. Drum 200 Liter yang telah berisi limbah dan dikunci ditempatkan di atas meja getar, sungkup R 32001 yang dilengkapi dengan sistem ventilasi off-gas diletakkan di atas drum 200 Liter. Meja getar dioperasikan seiring dengan pengisian adonan *slurry* semen ke dalam drum 200 Liter. *Slurry* semen didorong melalui pompa peristaltik P 32021 ke dalam drum 200 Liter dengan debit 0,8 m³/h. Pompa terus bekerja memindahkan *slurry* semen ke dalam drum 200 Liter dan digetarkan sehingga adonan semen masuk ke dalam dasar drum. Setelah drum hampir penuh debit aliran pompa dipindahkan ke 0,4 m³/h untuk mencegah pengisian yang berlebihan. Setelah drum penuh, operasi meja getar dan pompa *slurry* dihentikan, kemudian drum diangkat dengan menggunakan *crane* dan pindahkan ke atas palet. Operasi dilanjutkan untuk sementasi drum 200 Liter yang lain. Drum yang telah di sementasi dibiarkan selama 16 jam, pengunci dibuka dan kemudian

dilakukan pengecoran lagi untuk penutupan sampai pada permukaan drum dan dibiarkan lagi selama 8 jam. Setelah adonan semen kering kemudian dilakukan penutupan dan penguncian drum serta dilanjutkan dengan pengukuran dosis paparan. Drum yang telah diukur paparannya ditimbang dan ditulis pada label yang ditempel permukaan drum kemudian drum ditempatkan pada palet dan siap untuk disimpan di *interim storage*^[5].

HASIL DAN PEMBAHASAN

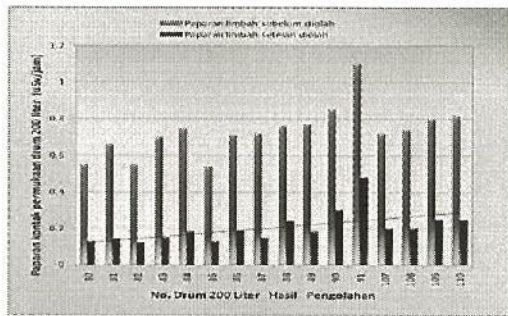
Tabel. 1. Data Hasil Pengolahan LRA HEPA Filter Pada Drum 200 L

No	No. Drum 200 L	Paparan		Densitas Bulk (kg/m ³)
		Sebelum diolah (μ Sv/h)	Setelah diolah (μ Sv/h)	
1	80	0.55	0.13	2170
2	81	0.66	0.14	2220
3	82	0.55	0.12	2140
4	83	0.70	0.15	2090
5	84	0.75	0.18	2360
6	85	0.54	0.13	2320
7	86	0.71	0.19	2300
8	87	0.72	0.15	2230
9	88	0.76	0.18	2140
10	89	0.77	0.24	2170
11	90	0.85	0.30	2425
12	91	1.10	0.48	22185
13	107	0.72	0.20	2190
14	108	0.74	0.20	2245
15	109	0.80	0.25	2190
16	110	0.82	0.25	2180
	<i>StDev</i>	0.135	0.090	

Pengolahan limbah radioaktif padat yang berupa HEPA filter secara kompaksi dan kondisioning dengan matrik semen mempunyai tujuan untuk mereduksi volume limbah dan juga untuk mengungkung radionuklida yang terkandung dalam limbah sehingga lebih aman dan selamat dalam penyimpanannya di *Interim Storage*. Pada penelitian sebelumnya, limbah HEPA filter ini hanya dikondisioning dalam *shell* beton 950 Liter tanpa dilakukan reduksi volume. Satu *shell* 950 Liter hanya mampu menampung limbah HEPA filter maksimum 4

buah HEPA filter yang berukuran besar (60×60×30) cm. Dari perhitungan biaya sangat tidak ekonomis, karena harga 1 shell beton 950 Liter jauh lebih mahal dibandingkan dengan drum 200 Liter. Daya tampung 1 buah drum 200 Liter setelah direduksi volume jauh lebih besar antara 6 – 9 buah HEPA filter dibandingkan dengan shell beton.

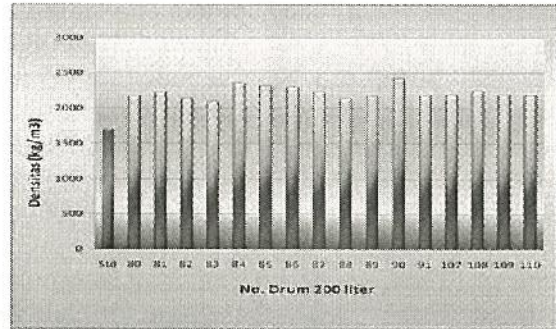
Data hasil pengolahan limbah radioaktif padat HEPA filter dengan cara reduksi volume dan kondisioning dengan matriks semen ditunjukkan pada Tabel 1. Limbah yang diolah sejumlah 114 drum 100 Liter terkompaksi dalam 16 drum 200 liter, sehingga reduksi volume mencapai 71,23 %. Hasil pengolahan dengan cara kompaksi reduksi volumenya cukup besar, Hal ini sangat menguntungkan karena lebih ekonomis dan memudahkan dalam penyimpanannya di tempat penyimpanan sementara.



Gambar 3. Perbandingan Paparan Limbah Sebelum dan Sesudah Diolah

Kandungan radionuklida limbah padat HEPA filter bermacam – macam, tergantung dari udara pada fasilitas nuklirnya dan besar paparan radiasi bervariasi. Jenis – jenis radionuklida yang terkandung pada HEPA filter antara lain, U^{236} yang diperkaya 19,75 % U^{235} , I-131, S, Tc, P, dan Mo. Paparan limbah HEPA filter sebelum diolah merupakan kategori limbah aktivitas rendah, (0-250µSv/h) dengan standar deviasi 0,135 tetapi melihat kandungan radionuklida termasuk jenis radionuklida umur paro panjang. Hal ini yang perlu diperhatikan dalam pengungkungannya agar limbah bisa disimpan dalam waktu yang lama dan terkondisi sehingga aman, tidak membahayakan pekerja radiasi lainnya. Gambar 3 menunjukkan grafik antara paparan radiasi permukaan drum limbah sebelum diolah dan setelah diolah, terlihat bahwa setelah limbah terkungkung oleh beton pematatan mengalami penurunan paparan radiasinya. Dosis paparan radiasi

limbah sebelum diolah antara 0,54 – 1,10 µSv/jam, dan setelah diolah dalam drum 200 Liter menjadi 0,12 - 0,48 µSv/jam. Rata – rata limbah HEPA Filter turun paparan radiasinya 79,5%. Batasan untuk daerah kerja adalah 3 µSv/jam, sehingga dengan hasil tersebut sangat aman dalam penyimpanannya di *Interim Storage*.



Gambar 4. Perbandingan Densitas Limbah Setelah Diolah dengan Standar IAEA

Gambar 4 adalah perbandingan antara densitas limbah setelah diimobilisasi dengan matriks semen dengan densitas standar IAEA. Adonan semen yang digunakan untuk sementasi dengan komposisi: untuk satu Liter semen *slurry* adalah 1,313 kg semen, 0,326 kg pasir, 0,437 liter air dan 0,029 aditif. Pengamatan terhadap kebutuhan semen *slurry* pada tiap – tiap drum 200 Liter antara 59 - 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 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 semen *slurry* semakin banyak. Untuk Komposisi jumlah semen diharapkan densitas dari semen berkisar antara 1700 - 2500 kg/m³. Dengan densitas yang tinggi maka akan diperoleh kuat tekan yang baik dan mampu menahan paparan radiasi yang ditimbulkan dari limbah. Hasil densitas limbah setelah direduksi volume dan dikondisioning dengan matriks semen rata – rata 2222,19 kg/m³. Densitas blok beton hasil imobilisasi telah memenuhi standar IAEA, densitasnya lebih dari 1700 kg/m³. Dengan demikian limbah setelah pengolahan dengan reduksi volume dan di imobilisasi dengan matriks semen aman dan selamat untuk disimpan di *Interim Storage* [6].

KESIMPULAN

Telah dilakukan pengolahan limbah padat HEPA filter menggunakan metode reduksi volume dan imobilisasi dengan matrik semen. Limbah HEPA filter yang diolah sejumlah 114 buah dan terkompaksi dalam 16 drum 200 Liter, sehingga reduksi volume mencapai 71,23 %. Dosis paparan radiasi limbah sebelum diolah antara 0,54 – 1,10 $\mu\text{Sv/jam}$ dan setelah diolah dalam drum 200 Liter menjadi 0,12 - 0,48 $\mu\text{Sv/jam}$, penurunan paparan radiasinya rata-rata 79,5%. Densitas limbah secara keseluruhan setelah diolah adalah 2222,19 kg/m^3 . Menurut Standar IAEA ($\rho = 1700 - 2500 \text{ kg/m}^3$), densitas blok beton hasil pengolahan limbah HEPA filter telah memenuhi standar IAEA, sehingga dengan hasil tersebut sangat aman dan selamat dalam penyimpanannya di *Interim Storage*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Suhartono "Preparasi dan Analisis Kandungan Radionuklida Limbah Radioaktif padat" Proseding Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR 2009
2. Anonim "Data Limbah HEPA filter" Bidang Pengolahan Limbah-PTLR 2004
3. ANONIM "Petunjuk Operasional Kompaksi", WSPG 320 USN 0501
4. Anonim "Petunjuk Operasional Pembuatan slurry semen", WSPG320 USN 0502
5. Anonim "Petunjuk Operasioanal Proses imobilsasi", WSPG 320 USN 0503
6. Eldsen, A.D. at all, A process for the Immobilization of a Radioactive Waste in Cement matrix, Proceeding A Symposium Conditioning of Radioactive Waste for Storage and Disposal IAEA, Vienna (1983).