

KLIERENS LIMBAH RADIOAKTIF DITINJAU DARI ASPEK EKONOMI

Moh. Cecep Cepi Hikmat, Moh. Hasroel Thayib, Dadong Iskandar

1 Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir , Gd. 90 Kawasan Puspiptek Serpong

2 Sekolah Ilmu Lingkungan-Universitas Indonesia, Jl. Salemba No 4 Jakarta Pusat

3 Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, Gd. 50 Kawasan Puspiptek Serpong

ceceptea@batan.go.id

ABSTRAK

KLIERENS LIMBAH RADIOAKTIF DITINJAU DARI ASPEK EKONOMI. Limbah radioaktif dihasilkan dari hasil samping pemanfaatan dan pengembangan iptek nuklir. Limbah yang dihasilkan harus dikelola dengan baik dan sesuai dengan peraturan yang berlaku, hal ini untuk mencegah timbulnya efek radiasi pada pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup. Aspek keselamatan, aspek teknis dan aspek ekonomi harus menjadi pertimbangan dalam kegiatan pengelolaan limbah radioaktif. Limbah radioaktif yang dihasilkan dari tahun ke tahun mengalami peningkatan, sehingga lambat laun *interim storage* akan penuh. Penerapan tingkat klierens limbah radioaktif adalah suatu terobosan dalam pengelolaan limbah radioaktif. Tingkat klierens diterapkan untuk meminimisasi limbah radioaktif di *interim storage*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung nilai ekonomi dari penerapan tingkat klierens limbah radioaktif. Metode yang digunakan adalah valuasi ekonomi. Data diperoleh dengan cara mengidentifikasi bahan dan harga yang digunakan. Penerapan tingkat klierens pada limbah radioaktif padat praolah dapat menghemat biaya pengolahan limbah radioaktif secara kompaksi rata-rata sebesar 78%.

Kata Kunci: ekonomi, valuasi, tingkat klierens, limbah radioaktif.

ABSTRACT

ECONOMIC ASPECT ON RADIOACTIVE WASTE CLEARANCE. *The radioactive waste is produced from byproducts of utilization of nuclear science and technology utilization and development. Waste generated must be well managed and in accordance with applicable regulations, this is to prevent the effects of radiation on workers, community, and the environment. Radioactive waste management activities should consider safety aspects, technical aspects and economic aspects. Radioactive waste generated from year to year has increased, so that the interim storage will gradually get full. The implementation of radioactive waste clearance level is a breakthrough in the radioactive waste management. Clearance level is implemented to reduce radioactive waste in interim storage. The purpose of this study is to calculate the economic value of applying radioactive waste clearance level. The method used in this research is economic valuation. The data obtained by identifying the materials and prices used. The implementation of clearance levels to pre-processed solid radioactive waste can reduce the cost of processing radioactive waste by compaction on average by 78%.*

Keywords: economy, valuation, clearance level, radioactive waste

PENDAHULUAN

Limbah radioaktif akan dihasilkan sebagai sisa proses dari pemanfaatan dan pengembangan iptek nuklir. Limbah yang dihasilkan harus dikelola dengan baik dan sesuai dengan peraturan yang berlaku, hal ini untuk mencegah timbulnya efek radiasi pada pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup. Aspek keselamatan, aspek teknis dan aspek ekonomis harus menjadi pertimbangan dalam kegiatan pengelolaan limbah radioaktif [1].

Berdasarkan basis data yang ada di PTLR, bahwa limbah radioaktif yang dihasilkan dari penimbul limbah dari tahun ke tahun mengalami peningkatan [2]. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) sebagai operator dalam hal pengolahan limbah radioaktif akan selalu mengolah limbah radioaktif yang datang ke PTLR.

Namun apabila mempertimbangkan kapasitas interim storage yang cukup terbatas, maka lambat laun interim storage akan penuh pada waktunya nanti. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan suatu terobosan dalam pengelolaan limbah radioaktif untuk mereduksi volume limbah yang dihasilkan.

Klierens adalah suatu terobosan dalam pengelolaan limbah radioaktif yang dapat diterapkan baik dipenghasil limbah maupun oleh badan pelaksana. Klierens sudah dikenalkan oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA) sejak tahun 1996 [3]. Klierens adalah pembebasan sumber radiasi pengion dari skema pengawasan badan pengawas untuk dibuang (*dispose*) atau digunakan kembali (*reuse*) [4].

Penerapan klierens limbah radioaktif akan sangat ekonomis dan dapat mereduksi volume limbah yang dihasilkan, sehingga dapat memberikan ruang yang cukup di interim storage. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung nilai ekonomi dari penerapan tingkat klierens limbah radioaktif.

TINJAUAN PUSTAKA

Limbah yang dihasilkan dari pemanfaatan zat radioaktif adalah timbulnya limbah radioaktif. Limbah radioaktif dapat dihasilkan dari hasil samping reaktor nuklir, fasilitas pengolahan bahan bakar, rumah sakit dan fasilitas penelitian, dekomisioning reaktor nuklir atau fasilitas nuklir lainnya [5].

Klasifikasi limbah radioaktif menurut IAEA terdiri atas: limbah aktivitas tinggi, limbah aktivitas rendah dan sedang dan limbah yang dikecualikan [6]. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 61 tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, limbah radioaktif diklasifikasikan menjadi 3 bagian yaitu:

1. Limbah tingkat rendah yaitu limbah yang berada di atas tingkat aman (tingkat klierens) tetapi di bawah tingkat sedang yang tidak memerlukan penahan radiasi selama penanganan dalam keadaan normal dan pengangkutan,
2. Limbah tingkat sedang yaitu limbah radioaktif dengan aktivitas di atas tingkat rendah tetapi di bawah tingkat tinggi yang tidak memerlukan pendingin, dan memerlukan penahan radiasi selama penanganan dalam keadaan normal dan pengangkutan,
3. Limbah tingkat tinggi yaitu limbah radioaktif dengan aktivitas di atas tingkat sedang, yang memerlukan pendingin dan penahan radiasi dalam penanganan pada keadaan normal dan pengangkutan, termasuk bahan bakar nuklir bekas.

Menurut Peraturan Pemerintah nomor 61 tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif bahwa pengelolaan limbah radioaktif yang bertanggungjawab memerlukan pengawasan dan pengukuran, yang menghasilkan perlindungan kesehatan pada manusia dan lingkungan, karena pengelolaan limbah radioaktif yang salah dapat menimbulkan efek yang merugikan bagi kesehatan manusia atau lingkungan baik sekarang maupun yang akan datang.

Klierens didefinisikan sebagai penghapusan bahan radioaktif atau benda radioaktif dari pengawasan badan pengawas [7], sedangkan tingkat klierens adalah suatu nilai dimana kandungan bahan radioaktif dalam limbah radioaktif atau material yang terkontaminasi sangat rendah, sehingga tidak diperlukan perlakuan khusus karena tidak mempunyai efek yang patut dipertimbangkan pada manusia dan lingkungan [4]. Limbah radioaktif baik sebelum diolah maupun sesudah diolah dapat diterapkan klierens, asalkan telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh yaitu Peraturan Pemerintah Nomor 29 tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber

Radiasi Pention dan Bahan Nuklir dan Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 tahun 2012 tentang Tingkat Klierens.

Pembebasan dari pengawasan badan regulasi diperoleh dengan cara pemegang izin mengajukan permohonan penetapan klierens secara tertulis kepada Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) dengan melampirkan dokumen pendukung yang dibutuhkan yaitu: hasil pengukuran paparan radiasi, dan hasil analisis konsentrasi aktivitas radionuklida yang terkandung dalam material terkontaminasi atau teraktivasi tersebut. Jika hasil klarifikasi BAPETEN menunjukkan bahwa kriteria tingkat klierens terpenuhi, maka Kepala BAPETEN akan menerbitkan izin penetapan klierens [4].

Limbah padat terkontaminasi yang dihasilkan dari penimbul limbah biasanya masuk dalam kategori *low level waste*, sehingga paparan maupun aktivitasnya rendah/sangat rendah. Penerapan tingkat klierens pada limbah radioaktif, khususnya limbah padat terkompaksi dapat memberikan keuntungan secara ekonomi, karena terdapat beberapa biaya pengelolaan limbah radioaktif yang dapat direduksi.

Biaya yang dapat direduksi dari penerapan tingkat klierens limbah radioaktif kurang lebih Rp. 1.300.000,00. Perbandingan biaya pengolahan limbah radioaktif dengan volume 100 liter adalah sebagai berikut [8]:

1. Limbah radioaktif yang diolah biayanya berkisar antara Rp. 900.000,00 hingga Rp. 1.300.000,00
2. Limbah radioaktif yang klierens atau tidak diolah (\leq tingkat klierens), biayanya berkisar antara Rp. 60.000,00 hingga Rp. 100.000,00.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah valuasi ekonomi. Data untuk valuasi ekonomi, diperoleh dengan cara mengidentifikasi bahan yang digunakan pada proses preparasi, pengepresan (kompaksi), dan sementasi, kemudian bahan yang digunakan pada proses tersebut diidentifikasi harganya mengacu pada dokumen pengadaan barang/jasa PTLR.

PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF DI PTLR

Limbah radioaktif yang tersimpan di PTLR akan diolah sesuai dengan jenis dan bentuknya, serta sesuai dengan prosedur operasional standar yang berlaku. Fasilitas pengolahan limbah radioaktif yang dimiliki oleh PTLR cukup lengkap dan sudah menggunakan teknologi modern. Fasilitas pengolahan limbah yang ada diantaranya:

1. Kompaksi, digunakan untuk mengolah limbah radioaktif padat yang dapat dikompaksi atau ditekan/dipress (*compactible waste*),
2. Insenerasi, digunakan untuk mengolah limbah radioaktif padat atau cair (cairan organik) yang dapat dibakar (*burnable/combustible waste*),
3. Evaporasi, digunakan untuk mengolah limbah radioaktif cair tidak korosif yang diproses dengan cara penguapan menggunakan uap panas (*steam*),
4. Immobilisasi/Sementasi, digunakan untuk mengolah limbah radioaktif padat yang tidak terbakar dan tidak terkompaksi (*uncompactible and uncombustible waste*),
5. *Chemical Treatment*, digunakan untuk mengolah limbah radioaktif cair yang sifatnya korosif.

Pada penelitian ini fasilitas pengolahan limbah radioaktif yang menjadi fokus

penelitian adalah kompaksi. Hal ini disebabkan karena limbah yang datang ke PTLR sebagian besar adalah limbah padat terkontaminasi dan dapat dikompaksi, selain itu proses kompaksi hampir setiap triwulan dilakukan di PTLR. Oleh karena itu proses kompaksi menjadi pilihan untuk dijadikan fokus penelitian ini.

Pengolahan limbah radioaktif secara kompaksi dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut, yaitu:

1. Proses preparasi, yaitu proses yang dilakukan untuk menyiapkan limbah padat yang siap untuk dipres. Limbah radioaktif yang sudah dikemas dalam drum 100 liter diangkut dari fasilitas penyimpanan sementara limbah menggunakan forklif menuju ruang pemilahan. Pemilahan dilakukan di dalam *glovebox* yang bertekanan negatif (*negative pressure*) agar tidak terjadi kontaminasi internal maupun eksternal kepada pekerja radiasi yang sedang bekerja memilah-milah limbah. Limbah tersebut dikemas ulang dalam drum 100 liter yang telah dilapisi plastik dibagian dalamnya. Kemudian diukur paparan radiasinya dan ditimbang massanya. Kegiatan preparasi ini dilakukan oleh minimal 4 (empat) orang, seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kegiatan Preparasi Limbah Radioaktif

Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa kegiatan preparasi dilakukan oleh tiga orang pekerja radiasi dan seorang petugas proteksi radiasi (PPR).



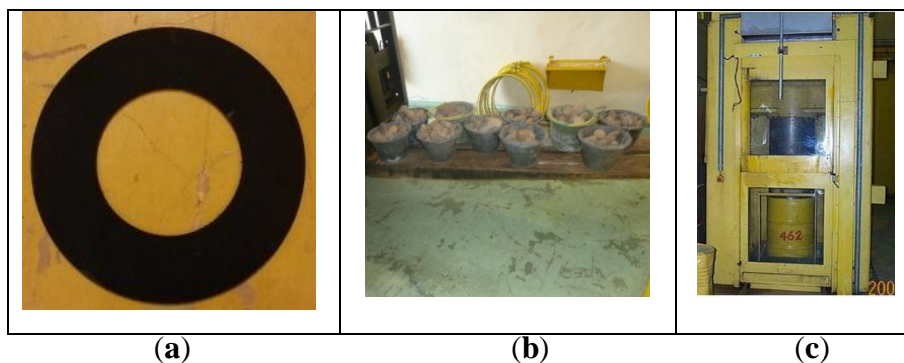
Gambar 2. Limbah Radioaktif Padat Pascapreparasi

Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa limbah yang sudah dipreparasi dan sudah dikemas ulang dalam drum 100 liter. Kemudian diukur paparan radiasinya seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengukuran Paparan Radiasi Limbah Pascapreparasi

2. Proses pengepresan/kompaksi, yaitu proses reduksi volume limbah menggunakan kompaktor, di ruang kompaktor telah tersedia drum 200 liter, bagian alasnya ditambahkan ring fleksibel dan batu koral berdiameter 5 cm, seperti yang terlihat pada
3. Gambar 4.



Gambar 4. Ring Fleksibel (a), Batu Koral (b), dan Fasilitas Kompaktor (c)

Berdasarkan Gambar 4 terlihat ring fleksibel (a) dan batu koral diameter 5 cm (b) digunakan sebagai bantalan pada proses pengepresan. Proses pengepresan dilakukan di dalam kompaktor (c).

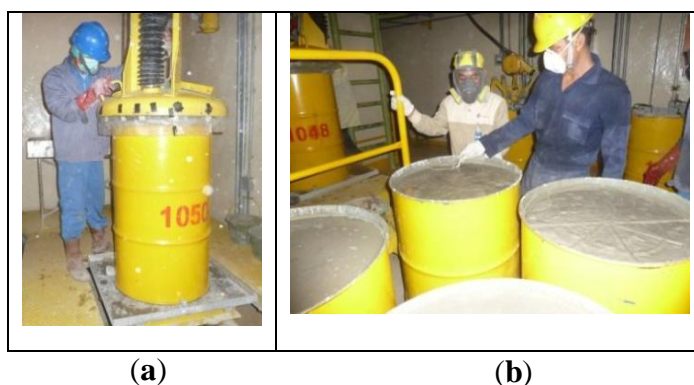
Proses pengepresan dilakukan dengan tekanan kompaktor sebesar 600 kN [9]. Kapasitas satu drum 200 liter mampu menampung 4-9 drum 100 liter [9], dengan rata-rata 5 drum 100 liter [10]. Setelah pengepresan selesai kemudian tambahkan batu koral berdiameter 2,5 cm di antara drum 100 liter dan 200 liter. Agar limbah tidak bergeser, maka dipasang palang anti dispersal. Pemasangan palang anti dispersal dan penguncian palang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pemasangan Palang Antidispersal dan Penguncinya

Berdasarkan Gambar 5 terlihat palang anti dispersal dan proses pemasangannya pada drum 200 liter. Setelah palang anti dispersal terpasang kemudian dipasang pengunci palang agar saat proses sementasi drum 100 liter tidak berubah posisinya.

4. Proses sementasi, yaitu proses penambahan bubur semen (*cement slury*) ke dalam drum 200 liter yang telah berisi drum 100 liter hasil pengepresan. Penambahan bubur semen dilakukan di atas mesin getar (*vibrator machine*), seperti yang terlihat pada
5. Gambar 6



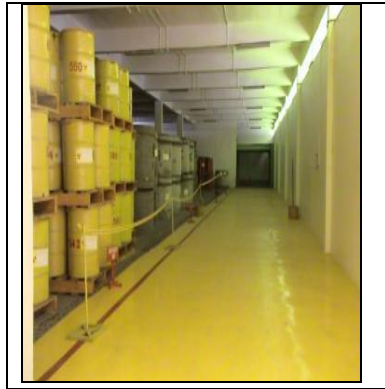
Gambar 6. Proses Sementasi (a) dan Proses Meratakan Bubur Semen (b)

Berdasarkan Gambar 6 (a) terlihat pekerja radiasi sedang melakukan proses sementasi yang dilakukan di atas mesin getar. Setelah proses sementasi selesai kemudian permukaan bagian atas drum 200 liter diratakan sampai palang anti dispersal yang ditanam tertutupi oleh bubur semen seperti terlihat pada Gambar (b), kemudian dibiarkan kering pada suhu kamar seperti pada Gambar 7 (a), kemudian drum ditutup dan dikunci, seperti pada Gambar 7 (b).



Gambar 7. Proses Pengeringan Semen (a) dan Penguncian Drum (b)

Pengukuran paparan radiasi pada kontak dan pada jarak 1 meter dari permukaan drum, kemudian disimpan di atas palet dan diangkut menuju *interim storage*, seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Fasilitas Penyimpanan Sementara (interim storage)

Langkah yang dilakukan untuk mengetahui biaya yang dikeluarkan dalam suatu proses kompaksi adalah dengan melakukan identifikasi bahan yang digunakan pada ketiga tahapan proses pengolahan limbah radioaktif yang telah dijelaskan sebelumnya. Bahan yang digunakan pada ketiga proses tersebut diantaranya:

1. Proses preparasi, bahan yang digunakan antara lain: drum 100 liter, plastik pembungkus, lakban, serokan, sikat/koas, APD diantaranya: penutup kepala, masker 3M, sarung tangan karet, sarung tangan rajut, sarung sepatu. Bahan lain yang tidak masuk dalam lingkup perhitungan penelitian diantaranya: bahan bakar kendaraan forklif, dan penggunaan listrik baik untuk pendingin ruangan, listrik untuk penerangan, listrik untuk tekanan negatif dalam ruang kerja dan *glovebox*,
2. Proses pengepresan, bahan yang digunakan antara lain: drum 200 liter, batu koral berdiameter 5 cm dan batu koral berdiameter 2,5 cm, ring fleksibel, alat pelindung diri diantaranya: penutup kepala, masker 3M, sarung tangan rajut, listrik untuk menggerakkan kompaktor. Komponen lainnya yang tidak masuk lingkup perhitungan penelitian ini adalah listrik untuk pendingin ruangan, listrik untuk penerangan, listrik untuk tekanan negatif dalam ruang kerja dan ruang kompaktor,
3. Proses sementasi, bahan yang digunakan antara lain: semen, pasir, air, palang anti dispersal, alat pelindung diri diantaranya: penutup kepala, sarung tangan rajut, masker 3M, listrik untuk meja getar, sedangkan komponen lainnya yang tidak masuk lingkup perhitungan penelitian ini adalah listrik untuk pendingin ruangan, listrik untuk penerangan, listrik untuk tekanan negatif ruang kerja, air untuk mencuci, dan palet besi/kayu.

PRAKIRAAN BIAYA PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF

Bahan yang sudah teridentifikasi penggunaannya, kemudian dilakukan estimasi harga dari masing-masing bahan tersebut. Harga bahan tersebut diperoleh dari dokumen pengadaan barang PTLR. Rincian harga yang digunakan pada proses pengolahan limbah radioaktif dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Harga Bahan Proses Pengolahan Limbah Radioaktif [11], [12], [13]

No	Komponen	Satuan	Harga (Rp.)	Harga Satuan (Rp.)
1	Drum 100 liter	1 buah	255.000,00	
2	Drum 200 liter	1 buah	437.500,00	
3	Plastik pembungkus (60x100)	1 buah	2.500,00	
4	Lakban	1 buah	15.500,00	
5	Tutup kepala (<i>head cover</i>)	1 buah	8.600,00	
6	Masker 3M	1 box: 20 buah	225.000,00	11.250,00/buah
7	Sarung tangan karet	1 lusin	218.750,00	18.250,00/ psg
8	Sarung tangan rajut	1 lusin	35.000,00	2.900,00/psg
9	Sarung sepatu (<i>shoes cover</i>)	1 pasang	7.000,00	
10	Serokan+sikat	1 paket	19.200,00	
11	Batu koral d=2,5 cm	1 m ³	950.000,00	
12	Batu koral d=5 cm	1 m ³	1.000.000,00	
13	Ring fleksibel	1 buah	25.000,00	
14	Semen 3 roda	1 zak:50 kg	61.500,00	1.230,00/kg
15	Pasir	1 m ³	250.000,00	
16	Air (instansi pemerintah)	1 m ³	2.775,00	
17	Palang anti dispersal	1 buah	363.000,00	
18	Palet besi	1 buah	3.000.000,00	
19	Listrik untuk penerangan	1 kwh	1.421,00	

Estimasi biaya yang dibutuhkan pada saat proses preparasi limbah radioaktif padat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2. Estimasi Biaya Pada Proses Preparasi

No	Komponen	Jumlah Penggunaan	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Total (Rp.)
1	Drum 100 liter	1 Buah	255.000,00	255.000,00
2	Plastik pembungkus	4 Buah	2.500,00	10.000,00
3	Lakban	1 Buah	15.500,00	15.500,00
4	Tutup kepala	4 Buah	8.600,00	34.400,00
5	Masker 3M	4 Buah	11.250,00	45.000,00
6	Sarung tangan karet	4 Pasang	18.250,00	73.000,00
7	Sarung tangan rajut	4 Pasang	2.900,00	11.600,00
8	Sarung sepatu (<i>shoes cover</i>)	4 Pasang	7.000,00	28.000,00
9	Serokan+sikat	1 Paket	19.200,00	19.200,00
Total				491.700,00

Berdasarkan data pada Tabel 2 terlihat bahwa biaya yang dibutuhkan untuk melakukan preparasi limbah radioaktif padat sebesar Rp. 491.700,00 untuk satu drum 100 liter. Agar proses ini dapat berlanjut ke proses pengepresan dan sementasi maka dibutuhkan rata-rata 5 buah drum 100 liter [9], sehingga biaya yang dibutuhkan adalah sebesar $5 \times \text{Rp. } 491.700,00 = \text{Rp. } 2.458.500,00$. Estimasi biaya yang dibutuhkan pada proses pengepresan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Estimasi Biaya Pada Proses Pengepresan [8], [9]

No	Komponen	Jumlah Penggunaan	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Total (Rp.)
1	Drum 200 liter	1 Buah	437.500,00	437.500,00
2	Batu koral d=2,5 cm	0,1 m ³	950.000,00	95.000,00
3	Batu koral d=5 cm	0,004375 m ³	1.000.000,00	4.375,00
4	Ring Fleksibel	1 Buah	25.000,00	25.000,00
5	Tutup kepala	4 Buah	8.600,00	34.400,00
6	Masker 3M	4 Buah	11.250,00	45.000,00
7	Sarung tangan rajut	4 Pasang	2.900,00	11.600,00
8	Daya listrik kompaktor	12,5 kW/30 menit	1.421,00	8.800,00
Total				661.675,00

Berdasarkan Tabel 3, biaya yang dibutuhkan untuk proses pengepresan sebesar Rp. 661.675,00. Adonan semen atau bubur semen yang digunakan untuk proses sementasi drum 200 liter membutuhkan kurang lebih 57 liter adonan semen [14]. Standar pembuatan satu liter adonan semen untuk proses sementasi terdiri atas: 1,313 kg semen, 0,328 kg pasir atau $2,34 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ (massa jenis pasir: 1400 kg/m^3 [15]) dan 0,437 liter air. Estimasi biaya proses sementasi untuk satu drum 200 liter dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Estimasi Biaya Pada Proses Sementasi [8], [9]

No	Komponen	Jumlah Penggunaan	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Total (Rp.)
1	Semen 3 roda	74,841 kg	1.230,00	92.000,00
2	Pasir	0.0134 m ³	250.000,00	3.350,00
3	Air	24,909 liter	2.775,00	69.100,00
4	Palang anti dispersal	1 Buah	363.000,00	363.000,00
5	Kawat benrat	0,5 kg	20.000,00	10.000,00
6	Tutup kepala (<i>head cover</i>)	4 Buah	8.600,00	34.400,00
7	Sarung tangan rajut	4 Pasang	2.900,00	11.600,00
8	Masker 3M	4 Buah	11.250,00	45.000,00
9	Daya listrik mesin penggetar	13,6 kW/30 menit	1.421,00	9.662,00
Total				638.112,00

Berdasarkan Tabel 4, biaya untuk satu kali proses sementasi drum 200 liter adalah sebesar Rp. 638.112,00. Kapasitas satu drum 200 liter mampu menampung 4-9 drum 100 liter [8], dengan rata-rata 5 drum 100 liter [9], sehingga estimasi biaya minimum dan maksimum pada proses kompaksi dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Estimasi Biaya Minimum dan Maksimum Proses Kompaksi

Jumlah Drum 100 liter	Estimasi Biaya (Rp.)			Total	Pembulatan
	Preparasi	Pengepresan	Sementasi		
4 (minimum)	1.966.800,00	661.675,00	638.112,00	3.266.587,00	3.266.000,00
5 (rata-rata)	2.458.500,00	661.675,00	638.112,00	3.758.287,00	3.758.000,00
9 (maksimum)	4.425.300,00	661.675,00	638.112,00	5.725.087,00	5.725.000,00

Berdasarkan Tabel terlihat bahwa biaya minimal (4 drum 100 liter) yang dibutuhkan pada proses kompaksi adalah sebesar Rp. 3.266.000,00 dan biaya maksimum (9 drum 100 liter) yang dibutuhkan pada proses kompaksi adalah sebesar Rp. 5.725.000,00 dan biaya rata-rata yang dibutuhkan (5 drum 100 liter) adalah Rp. 3.758. 000,00. Biaya pengolahan limbah radioaktif padat terkompaksi dengan volume 100 liter adalah sebesar Rp. 1.100.000,00, jika jumlah limbah rata-rata yang dikompaksi sebanyak 5 drum 100 liter, maka biaya yang dibutuhkan sebesar Rp. 5.500.000,00 [7]. Biaya tersebut dapat direduksi dengan cara menerapkan tingkat klierens pada limbah radioaktif, sehingga limbah tersebut tidak perlu diolah secara kompaksi.

Kunci utama dalam menerapkan tingkat klierens adalah pada saat identifikasi limbah yang akan diolah, karena pada kegiatan ini sudah teridentifikasi limbah-limbah yang mempunyai paparan radiasi kurang dari 0,1 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$. Limbah yang mempunyai paparan radiasi $< 0,1 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ dianalisis kandungan radionuklida dan aktivitasnya. Setelah diketahui konsentrasi aktivitas radionuklidanya, kemudian dikomparasikan dengan batasan yang ada di dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 tahun 2012 tentang Tingkat Klierens.

Penerapan tingkat klierens limbah radioaktif juga membutuhkan biaya yaitu biaya analisis, yang meliputi bahan APD minimal untuk dua orang (masker cembung: 2 x Rp. 11.250,00; sarung tangan rajut: 2 x Rp. 2.900,00) dan biaya penetapan klierens limbah radioaktif sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 56 tahun 2014 tentang Jenis dan Tarif Atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku pada Badan Pengawas Tenaga Nuklir sebesar Rp. 800.000,00 per permohonan, sehingga total biaya yang dibutuhkan untuk menetapkan klierens adalah sebesar Rp. 828.300,00. Biaya ini tanpa memperhitungkan biaya listrik yang digunakan untuk alat kontrol naik-turun drum, dan penerangan.

Penerapan tingkat klierens pada limbah radioaktif padat praolah setidaknya memiliki dua keuntungan yaitu menghemat biaya pengolahan limbah radioaktif secara kompaksi rata-rata sebesar Rp. 3.758.000,00 atau hemat 78% dari biaya penetapan klierens sebesar Rp. 828.300,00, dan dapat mereduksi volume limbah yang tersimpan di *interim storage*. Dengan demikian, maka penerapan tingkat klierens adalah suatu terobosan yang dapat memberikan solusi dalam pengelolaan limbah radioaktif, sehingga penerapan tingkat klierens ini secara ekonomi menguntungkan atau *economically profitable*.

KESIMPULAN

Penerapan tingkat klierens limbah radioaktif padat praolah dapat menghemat biaya pengolahan limbah radioaktif sebesar 78%.

DAFTAR PUSTAKA

1. Wiyono dan Bunawas. (2007). Penentuan Aktivitas Limbah Radioaktif Padat Menggunakan Spektrometer Gamma *In-Situ*. Prosiding Seminar Teknologi Pengelolaan Limbah V. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN. Serpong
2. Anonim, Database Limbah Radioaktif, PTLR, BATAN, Serpong, (2016).

3. Anonim, *Practical Use of the Concepts of Klierens and Exemption-Part 1, Guidance on General Klierens Levels for Practices*, European Commission, Radiation Protection 122, (2000).
4. Syahrir. (2006). Aplikasi Tingkat Klierens dalam Pengelolaan Limbah Radioaktif di BATAN. Seminar Keselamatan Nuklir. Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Jakarta.
5. Anonim, US.NRC, *Radioactive Waste*, Office of Public Affairs, (2015).
6. Anonim, *Classification of Radioactive Waste*, IAEA, Safety Series No. 111-G-1.1, Vienna, (1994)
7. Anonim, *Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance*, IAEA, RS-G-1.7, Vienna, (2004).
8. Syahrir. (2005). Perlunya *Clearance Level* dalam Pengelolaan Limbah Padat di P2PLR BATAN. BAPETEN. Jakarta
9. Tomo, B. (2008-a). Catu Daya Listrik Pada Instalasi Kompaksi dan Immobilisasi Pusat Teknologi Limbah Radioaktif. Buletin LIMBAH Vol.12 No.1. PTLR. BATAN. Serpong
10. Tomo, B. (2012). Kondisioning Limbah Radioaktif Padat Tak Terkompaksi Menggunakan Matriks Semen. Seminar Nasional VIII SDM Teknologi Nuklir. STTN. Yogyakarta
11. Anonim, Dokumen Pengadaan Barang Tahun 2016, PTLR, BATAN, Serpong, (2016).
12. <http://www.pdamtirtabenteng.co.id>. Tarif Air. 22 Oktober 2016. Pk. 13.00 WIB
13. Anonim, Informasi Tagihan Listrik PTLR tahun 2014, PKTN, BATAN, Serpong, (2014).
14. Tomo, B. (2008-b). Pengolahan Limbah Radioaktif Padat Aktivitas Rendah Terkontaminasi Aktinida dengan Metode Reduksi Volume. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah VIII.PTLR. BATAN. Serpong
15. <http://www.jasasipil.com/2014/09/macam-macam-berat-jenis-material.html>. 22 Oktober 2016. Pk. 13.00 WIB