

KESELAMATAN RADIASI PENANGANAN LIMBAH RADIOAKTIF RADIASI TINGGI DARI *HOTCELL* IRM

Sjafruddin

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN

Email: sjaf2841@gmail.com

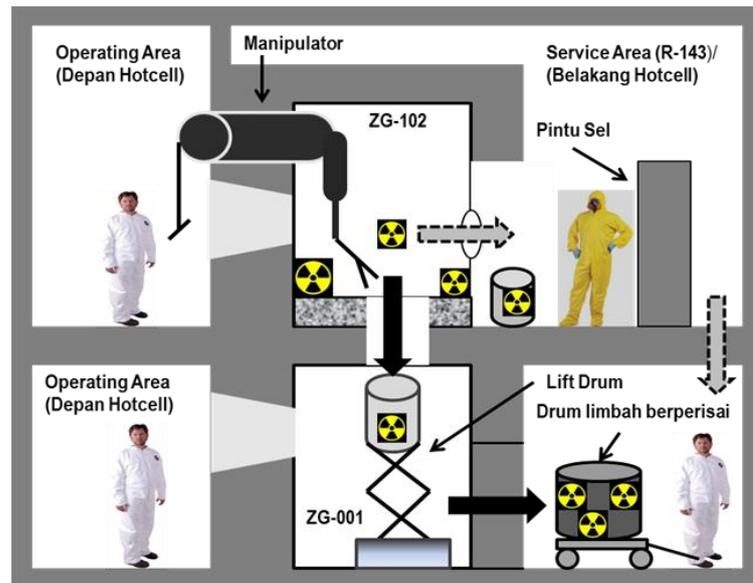
ABSTRAK

KESELAMATAN RADIASI PENANGANAN LIMBAH RADIOAKTIF RADIASI TINGGI DARI *HOTCELL* IRM. Suatu kegiatan keselamatan radiasi dalam penanganan limbah radioaktif radiasi tinggi dari *hotcell* IRM secara tidak biasa telah dilakukan untuk melindungi personil dari bahaya radiasi. Penanganan limbah yang berdasarkan prosedur normal dilakukan secara *remote* menggunakan *waste lift drum*, kali ini dilakukan secara manual melalui *hotcell service area* sehingga berpotensi terhadap bahaya radiasi dan kontaminasi pada personil dan daerah kerja. Untuk tujuan perlindungan personil, maka aturan dan metoda penanganan limbah dilaksanakan secara ketat dengan menerapkan prinsip-prinsip proteksi radiasi berdasarkan pada kondisi daerah kerja, potensi bahaya yang ada dan teknik penanganan limbah. Dari kegiatan ini telah berhasil ditangani 10 item limbah radioaktif, yaitu 7 item berbentuk kemasan drum limbah dan 3 item limbah radioaktif kemasan kontainer Pb dengan tingkat paparan radiasi permukaan 0,050 – 4,500 mSv/jam. Dosis radiasi harian tertinggi yang diterima personil saat penanganan limbah sebesar 38,52 μ Sv. Waktu yang diperbolehkan menerima paparan radiasi secara langsung sekitar 6 menit. Tidak ada personil yang terkontaminasi eksterna maupun interna, tetapi kontaminasi pada lantai *green house* sekitar area penanganan limbah mencapai 86,50 Bq/cm² yang melampaui batas keselamatan 37 Bq/cm² untuk radiasi- α dan dapat diatasi dengan mengganti alas lantai plastik *green house*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penanganan limbah radiasi tinggi dari *hotcell* yang berisiko tinggi dapat terlaksana dengan sukses tanpa ada risiko bahaya radiasi pada personil dan daerah kerja.

Kata kunci: keselamatan radiasi, limbah radiasi tinggi, *hotcell*.

I. PENDAHULUAN

Instalasi Radiometalurgi (IRM) merupakan salah satu fasilitas nuklir yang dioperasikan oleh Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) – BATAN sebagai sarana untuk melakukan penelitian dan pengembangan (litbang) bahan bakar nuklir dengan cara uji pasca iradiasi (bahan bakar nuklir bekas) dan uji bahan pasca iradiasi lainnya [1]. Sejak IRM beroperasi tahun 1990, telah masuk ke dalam *hotcell* dua bundel bahan bakar nuklir bekas tipe MPR-30 untuk kegiatan litbang dan pernah juga digunakan untuk kegiatan *foil target*. Semua kegiatan tersebut dilakukan dengan cara membongkar dan memotong bundel bahan bakar atau kemasan (kelongsong) *foil target* sampai pada inti bahan bakar nuklir bekas atau bagian yang sangat radioaktif (uji merusak) sehingga menyebabkan kontaminasi di dalam *hotcell*. Pengerjaan pembongkaran dan pemotongan tersebut dilakukan di dalam *hotcell* ZG-102 IRM melalui tangan manipulator dari *operating area* agar tidak ada potensi bahaya radiasi terhadap personil yang menanganinya karena dinding *hotcell* merupakan perisai radiasi yang efektif. Demikian juga pada saat dekontaminasi *hotcell*, berdasarkan desain IRM dan prosedur yang benar, zat-zat radioaktif kontaminan di dalam *hotcell* yang merupakan limbah radioaktif radiasi tinggi, ditangani secara *remote* dengan tangan manipulator. Menurut supervisor *hotcell* (Antonio Gogo), limbah dimasukkan ke dalam drum limbah pada sistem *lift drum* yang terdapat di dalam sel limbah (*hotcell* ZG-001) melalui lubang yang terdapat di dasar lantai *hotcell* ZG-102, selanjutnya dipindahkan ke dalam wadah (drum) berperisai radiasi (*concrete cell drum*) dan dikeluarkan dari *hotcell* ZG-001 untuk disimpan sementara di ruangan penampungan limbah padat (R-013). Dalam proses penanganan limbah radiasi tinggi yang sesuai desain dan prosedur tersebut, tidak ada potensi bahaya radiasi/ kontaminasi terhadap personil karena di dalam *hotcell* dan saat dikeluarkan dari *hotcell* ZG-001 limbah radiasi (paparan) tinggi sudah termuat di dalam wadah limbah berperisai. Gambar 1 memperlihatkan ilustrasi penanganan limbah radiasi tinggi yang sesuai dengan desain dan prosedur.



Gambar 1: Ilustrasi penanganan limbah radiasi tinggi *hotcell* ZG-102. Panah hitam merupakan jalur proses penanganan limbah yang sesuai desain dan prosedur, sedangkan panah abu-abu jalur yang tidak sesuai.

Kendala dalam penanganan limbah radiasi tinggi dari dalam *hotcell* saat ini adalah rusaknya alat sistem *lift drum* penampung limbah yang ada di dalam *hotcell* ZG-001 sehingga pengeluaran limbah tidak dapat dilakukan sesuai dengan desain dan prosedur seperti yang dijelaskan di atas. Untuk mengatasi kendala tersebut ada satu cara, yaitu dengan mengeluarkan limbah radiasi tinggi melalui lubang *wall plug* sisi belakang *hotcell* ZG-102 (*man hole*) ke ruang *service area* (R-143). Cara ini tentunya berpotensi bahaya radiasi dan kontaminasi terhadap personil (operator) dan daerah kerja (R-143) karena tidak ada lagi perisai radiasi yang signifikan antara limbah (sumber bahaya radiasi) dengan operator di R-143 dan limbah yang dikeluarkan dari *hotcell* selain memancarkan radiasi- γ tinggi tentu juga terkontaminasi. Oleh sebab itu maka perlu dilakukan upaya keselamatan (proteksi) terhadap bahaya radiasi dalam penanganan limbah tersebut sehingga personil yang menangani limbah tidak menerima dosis radiasi yang membahayakan dan daerah kerja (R-143) dapat dilindungi dari bahaya kontaminasi. Pada Gambar 1 diperlihatkan juga ilustrasi penanganan limbah radiasi tinggi dengan cara tidak biasa (tidak sesuai desain dan prosedur) seperti yang ditunjukkan pada tanda panah abu-abu.

Tulisan ini memberikan penjelasan tentang upaya keselamatan terhadap bahaya radiasi yang dilakukan dalam kegiatan penanganan limbah radiasi tinggi dari *hotcell* yang tidak sesuai dengan desain dan prosedur. Upaya keselamatan radiasi ini bertujuan agar personil pelaksana penanganan limbah dan daerah kerja tidak berpotensi terhadap

bahaya radiasi seperti yang sudah diatur dalam ketentuan keselamatan bekerja dengan sumber radiasi operasional IRM [1].

II METODE PENANGANAN LIMBAH

Kegiatan penanganan limbah paparan (radiasi) tinggi dari dalam *hotcell* beton, khususnya *hotcell* ZG-102 dan ZG-103 untuk keperluan dekontaminasi *hotcell* dalam rangka revitalisasi fasilitas *hotcell* IRM merupakan kegiatan yang pertama kali dilakukan sejak IRM beroperasi. Kegiatan memindahkan limbah radiasi tinggi yang terbentuk akibat pekerjaan yang lalu di dalam *hotcell* merupakan langkah awal untuk proses dekontaminasi sehingga dengan demikian personil dapat masuk ke dalam *hotcell* untuk memperbaiki dan / atau mengganti sarana kerja di dalam *hotcell* tanpa ada rasa kekhawatiran terhadap bahaya radiasi, terutama dari paparan radiasi- α . Namun proses dekontaminasi ini terkendala dengan adanya kerusakan pada sistem penanganan limbah *hotcell* sehingga dilakukan metode yang tidak sesuai dengan desain dan prosedur penanganan limbah *hotcell*. Dengan pertimbangan bahwa metode penanganan limbah tersebut baru pertama kali dilakukan dan adanya potensi bahaya radiasi yang menyertai proses penanganan limbah, maka kegiatan ini harus direncanakan dengan baik serta memperhatikan faktor-faktor keselamatan radiasi. Berikut ini adalah metode penanganan limbah yang dilakukan sebagai upaya keselamatan terhadap bahaya radiasi dalam kegiatan tersebut.

1. Pembuatan dokumen Prosedur Kerja.

Untuk meyakinkan bahwa metode baru (cara yang tidak sesuai dengan desain dan prosedur normal) penanganan limbah radiasi tinggi *hotcell* dapat dilaksanakan secara aman dan selamat maka dibuatkan suatu dokumen prosedur pelaksanaan pekerjaan (SOP = *Standard Operational Procedure*). Dalam dokumen ini dianalisis dan dijelaskan uraian segala persoalan yang diduga dapat terjadi selama proses pemindahan limbah dan ditentukan solusinya untuk proteksi dari bahaya radiasi / kontaminasi. Urutan langkah pekerjaan dan potensi bahaya apa saja yang mungkin terjadi selama proses penanganan limbah dibahas secara detail mulai penanganan awal limbah di dalam *hotcell* sampai limbah tersebut dipindahkan ke tempat penyimpanan sementara di ruangan penampungan limbah padat IRM (R-013), atau dikirim ke Instalasi Pengelolaan Limbah Radioaktif (IPLR), PTLR – BATAN. Bahan, perlengkapan dan peralatan yang diperlukan untuk kemudahan proses pemindahan limbah didata dalam daftar (*check list*) agar dapat dipersiapkan menjelang

pelaksanaan kegiatan. Dokumen SOP juga mensyaratkan agar langkah-langkah proses pekerjaan diperagakan (dilakukan simulasi pekerjaan) kepada personil yang akan melaksanakan tugas penanganan limbah. Suatu tim kerja yang anggotanya terdiri dari personil yang dianggap mampu untuk melaksanakan tugas tersebut dibentuk dan dikuatkan legalitasnya dalam suatu Surat Tugas oleh Kepala Satuan Kerja PTBBN.

Dokumen SOP sebelum digunakan, diuji kelayakan dan kebenarannya dihadapan anggota Panitia Keselamatan PTBBN yang dianggap memiliki kepakaran keselamatan. Segala masukan atau rekomendasi yang diperoleh dari Panitia Keselamatan digunakan untuk menyempurnakan dokumen tersebut sebelum disahkan sebagai dokumen acuan untuk melaksanakan kegiatan penanganan limbah radiasi tinggi.

2. Pembuatan selubung plastik (*green house*).

Green house adalah bangunan tidak permanen (sementara) yang dibangun di *hotcell service area* (R-143) IRM, yaitu daerah kerja di bagian belakang *hotcell*. Bangunan *green house* merupakan selubung yang terbuat dari bahan plastik transparan berukuran kira-kira panjang = 8 m, lebar = 7 m dan tinggi = 4 m yang menutupi daerah belakang *hotcell* ZG-102 dan ZG-103 (sekitar 50% luas daerah kerja R-143). Bangunan ini merupakan tempat pelaksanaan kegiatan yang paling sibuk dalam proses penanganan limbah karena limbah *hotcell* dikeluarkan dari *hotcell* ZG-102 melalui lubang (*man hole*) yang ada pada dinding bagian belakang *hotcell*. *Green house* berfungsi sebagai pembatas atau ruangan isolasi untuk mencegah kontaminasi zat-zat radioaktif lolos ke tempat kerja yang lebih bersih (di luar *green house*). Sebagai tempat kerja yang berpotensi terkontaminasi, di ruangan isolasi ini disediakan ruang ganti untuk melepaskan pakaian kerja dan kelengkapannya seperti kantung limbah untuk perlengkapan bekas pakai, pembatas sepatu (*shoes barrier*) dan sebagainya. Alat monitor kontaminasi juga disediakan di ruang ganti untuk meyakinkan tidak ada kontaminasi yang lolos dari ruang isolasi.

Aturan dan pengawasan terhadap proteksi radiasi yang ketat diberlakukan selama proses kerja di dalam ruangan *green house*. Hanya personil yang berkepentingan melaksanakan tugas dan telah menggunakan perlengkapan pelindung kontaminasi dan monitor radiasi (dosimeter) yang diizinkan memasuki ruangan *green house*. Meninggalkan ruangan ini, personil harus melalui ruang ganti untuk melepas seluruh perlengkapan / pakaian pelindung yang berpotensi terkontaminasi, seperti baju kerja, sepatu kerja dan pembungkusnya (*shoe cover*),

penutup kepala (*head cover*), sarung tangan karet dan *full masker*. Personil tersebut juga dipantau terhadap kemungkinan terkontaminasi menggunakan surveimeter kontaminasi. Personil yang dinyatakan bebas dari kontaminasi dapat meninggalkan ruang ganti. Gambar 2 memperlihatkan bangunan *green house* di R-143 IRM dan perlengkapan pelindung personil terhadap kontaminasi.

3. Penganganan limbah radiasi tinggi dari *hotcell*.

Limbah yang terdapat di dalam *hotcell* ZG-103 berasal dari limbah bahan yang terkontaminasi dan limbah radioaktif berupa serpihan sisa pemotongan bahan bakar nuklir bekas dan bahan pasca iradiasi lainnya (*foil target*). Limbah bahan yang terkontaminasi misalnya bahan / perlengkapan kerja yang digunakan di dalam *hotcell* (gergaji, penghisap debu, wadah-wadah cuplikan bahan uji, perkakas kerja, baut dan mur, sarung lengan manipulator dan sebagainya). Pengumpulan limbah di dalam *hotcell* dilakukan secara *remote* menggunakan tangan manipulator. Benda yang berukuran relatif kecil dikumpulkan ke dalam wadah paralon (tabung), sedangkan serpihan sisa potongan yang paparan radiasinya tinggi dikumpulkan ke dalam kantong-kantong (serat *nylon*) lalu dimasukkan ke dalam tabung paralon. Teknik ini sebagai antisipasi agar dapat melakukan pemisahan kumpulan kantong jika paparan radiasi limbah pada satu item (drum limbah) melampaui batas yang ditentukan. Tabung paralon kemudian dikeluarkan dari *hotcell* ZG-102 menggunakan bantuan manipulator melalui *man hole* dan disambut (diambil) oleh personil untuk kemudian dimasukkan (dikemas) ke dalam drum / wadah limbah (volume 100 liter) berperisai timbal (Pb) atau tidak berperisai berdasarkan besarnya paparan radiasi, atau ke kontainer terbuat dari Pb bervolume ± 1 liter. Ketika proses pengeluaran limbah dan pengemasan ke dalam wadah limbah inilah dapat timbul potensi bahaya radiasi dan kontaminasi terhadap personil dan daerah kerja yang menyertai pekerjaan tersebut.



Gambar 2: *Green house* yang dibangun di sisi belakang *hotcell* ZG-102 dan ZG-103 (kiri) dan perlengkapan pelindung personil terhadap kontaminasi (kanan).

4. Penerapan keselamatan radiasi.

Untuk melindungi personil dari bahaya radiasi dan kontaminasi, prinsip-prinsip proteksi radiasi diterapkan dalam kegiatan penanganan limbah radiasi tinggi dari *hotcell*. Hal ini karena berdasarkan cara penanganan limbah yang akan dilakukan, memang terdapat potensi bahaya radiasi dan kontaminasi, terutama pada saat personil menyambut (mengambil) limbah yang dikeluarkan dari *hotcell* dan mengemasnya ke dalam drum / wadah limbah. Pada kondisi tersebut, paparan radiasi- α dari sumber limbah akan menyinari tubuh personil pada laju dosis yang tinggi karena jarak yang cukup dekat (menggunakan penjepit bertangkai 2 m) dan tanpa ada perisai radiasi yang signifikan antara sumber radiasi (limbah) dengan tubuh personil. Limbah yang dikeluarkan dari *hotcell* tersebut tentu juga telah terkontaminasi karena ruangan bagian dalam *hotcell* memang digunakan untuk menangani sumber terbuka.

Upaya proteksi radiasi yang dapat dilakukan pada kondisi pekerjaan seperti tersebut di atas adalah dengan cara menerapkan pengaturan waktu / lama terpapar radiasi untuk proteksi radiasi eksternal. Proteksi radiasi eksternal dengan cara menggunakan perisai radiasi antara limbah (sumber radiasi) dan personil dianggap tidak efisien dan tidak ekonomis untuk mengerjakan penanganan limbah radiasi tinggi seperti yang telah direncanakan. Proteksi radiasi eksternal dengan cara mengatur jarak antara limbah (sumber radiasi) dan personil juga tidak dapat diterapkan karena daerah kerja selubung plastik (ruangan *green house*) cukup sempit dan tidak bebas bergerak. Jadi hanya pengaturan waktu / lama (durasi)

terpapar radiasi yang lebih efektif, mudah dan sederhana untuk metoda pekerjaan tersebut. Durasi terpapar radiasi ditentukan oleh tingkat laju paparan radiasi saat limbah dikeluarkan dari *hotcell* dan batasan dosis radiasi yang diperkenankan untuk waktu kerja satu minggu (5 hari kerja) personil pekerja radiasi sebesar 1 mSv. Jadi dengan diketahuinya laju paparan radiasi limbah yang diukur saat limbah tersebut akan dikeluarkan dari *hotcell*, maka durasi terpapar radiasi yang diperbolehkan dapat ditentukan. Dua jenis dosimeter radiasi, yaitu TLD (*Thermoluminescence Dosimeter*) dan EPD (*Electronic Personal Dosimeter*) digunakan untuk mengukur besarnya dosis radiasi eksternal yang diterima oleh personil.

Proteksi radiasi terhadap bahaya radiasi internal dilakukan dengan cara menggunakan dua lapis pakaian kerja yang dapat menutupi seluruh tubuh personil seperti diperlihatkan pada gambar 2. Untuk melindungi bagian muka dan pernafasan personil digunakan *full-mask* yang dilengkapi dengan filter. Bagian kepala ditutup dengan *head-cover*, bagian tangan dilindungi dengan dua lapis sarung tangan karet dan bagian kaki menggunakan sepatu kerja yang dibungkus dengan *shoes-cover*.

Untuk mencegah kontaminasi melalui udara keluar dari *hotcell* ZG-102 menuju ke *green house* melalui *man hole*, maka sebelum *man hole* dibuka harus dipastikan bahwa sistem ventilasi udara ruangan *hotcell* ZG-102 dalam kondisi bertekanan negatif. Dengan demikian ketika *man hole* dibuka, aliran udara dari ruangan R-143 akan menuju ke *green house* dan selanjutnya menuju ke ruangan *hotcell*. Jadi hanya kontaminasi permukaan yang terbawa oleh pengeluaran limbah saja yang dapat keluar *hotcell*. Adapun untuk mencegah kontaminasi di R-143, maka setiap personil / barang yang keluar dari *green house* dipantau terhadap kontaminasi permukaan. Personil / barang yang bebas kontaminasi dapat meninggalkan *green house*, sedangkan personil yang terkontaminasi harus didekontaminasi atau barang (misal peralatan) yang terkontaminasi dimasukkan ke dalam wadah / kantong plastik sebelum dikeluarkan dari *green house*. Semua upaya proteksi radiasi tersebut diatur dan diawasi oleh Petugas Proteksi Radiasi (PPR).

5. Penanganan limbah di luar *hotcell*.

Tingkat laju paparan radiasi limbah yang diukur saat dikeluarkan dari *hotcell* menentukan drum / wadah limbah yang akan dipakai untuk pengemasan limbah. Untuk limbah bahan yang terkontaminasi dikemas ke dalam drum / wadah limbah tidak berperisai (volume 100 liter), sedangkan limbah radioaktif berupa serpihan sisa pemotongan yang tingkat radiasinya tinggi dikemas ke dalam drum / wadah yang telah diberi perisai lempengan Pb seperti terlihat pada Gambar 3 atau ke wadah

kontainer Pb (volume 1 liter). Pengemasan limbah radiasi tinggi ke dalam drum / wadah diatur agar laju paparan radiasi pada permukaan kemasan drum / wadah limbah tidak lebih dari 2 mSv/jam yang merupakan persyaratan transportasi limbah radioaktif ke IPLR [2]. Bila laju paparan radiasi melampaui 2 mSv/jam maka muatan limbah (khususnya limbah radioaktif berupa serpihan di dalam kantong-kantong *nylon*) harus dikurangi sampai persyaratan tersebut terpenuhi. Pengemasan juga diatur berdasarkan bentuk fisik limbah, yaitu limbah padat dapat terbakar atau tidak dapat terbakar, terkompaksi atau tidak terkompaksi.



Gambar 3: Drum / wadah limbah radiasi tinggi yang bagian dalamnya dilapisi perisai radiasi Pb (kiri) dan pengukuran laju paparan radiasi pada permukaan kemasan drum / wadah limbah (kanan).

Drum / wadah limbah yang telah dikemas diberi label yang memuat data nomor kode limbah, tanggal pengemasan, laju paparan radiasi permukaan wadah limbah, berat bruto limbah, dan lainnya. Kemasan wadah limbah didokumentasikan sebagai data untuk Sistem Akuntansi Limbah Terpadu (SALT) dan kemudian drum / wadah limbah dapat dikirim ke ruangan penampungan limbah padat di IRM atau dikirim ke IPLR untuk limbah yang telah memenuhi persyaratan transportasi.

III HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk pekerjaan yang akan dilakukan pertama kali dan belum ada prosedurnya, maka pembuatan dokumen SOP merupakan suatu keharusan agar kemungkinan bahaya yang menyertai pekerjaan tersebut dapat diantisipasi. Demikian juga halnya dengan kegiatan penanganan limbah radiasi tinggi *hotcell* yang dilakukan saat ini, dokumen dengan judul SOP Pengelolaan Limbah Radioaktif di IRM, No. Dok. : SOP 001.002/BW.04.01/BBN 5.1 telah diuji, diriviu, disahkan dan dijadikan pedoman dalam

pelaksanaan penanganan limbah radiasi tinggi dari *hotcell*. Skenario proses penanganan limbah yang diuraikan dalam dokumen SOP tersebut telah diterapkan sesuai dengan langkah-langkah pekerjaan yang terencana, baik terhadap penanganan limbah maupun terhadap keselamatan pekerjaan dari bahaya radiasi. Dokumen tersebut sangat membantu pelaksanaan pekerjaan penanganan limbah sehingga pekerjaan dapat diselesaikan dengan aman dan selamat tanpa ada potensi bahaya yang signifikan.

Bangunan *green house* sebagai ruangan isolasi untuk mencegah lolosnya kontaminasi ke daerah kerja yang lebih bersih (R-143) berfungsi sesuai yang diharapkan. Dengan adanya ruangan ini, kegiatan personil yang berpotensi bahaya dapat terkendali dan dipantau dari luar ruangan isolasi. Kontaminasi yang terjadi saat proses penanganan limbah di dalam ruangan isolasi dapat dikendalikan sehingga tidak lolos ke R-143. Pakaian kerja yang menutupi seluruh tubuh personil dilepas di ruang ganti *green house* dan dijadikan limbah kontaminasi. Baik personil, perlengkapan kerja maupun drum / wadah limbah yang dikeluarkan dari *green house* telah dipantau terhadap kontaminasi permukaan. Hasil pemantauan menunjukkan tidak ada kontaminasi yang lolos ke R-143 walaupun ada terdeteksi kontaminasi yang melampaui batas keselamatan 37 Bq/cm^2 (radiasi- α) di lantai *green house* tempat pengemasan limbah.

Penerapan aturan proteksi radiasi secara ketat (*strictly*) selama proses penanganan limbah radiasi tinggi telah memberikan manfaat / fungsi keselamatan radiasi terhadap personil dan daerah kerja. Untuk proteksi radiasi eksterna, pengukuran laju paparan radiasi saat limbah dikeluarkan dari *hotcell* (khususnya limbah radioaktif berupa serpihan yang paparan radiasinya tinggi) digunakan untuk menentukan lama personil terpapar radiasi yang diizinkan. Dari sejumlah item limbah yang telah dikeluarkan dari *hotcell* selama kegiatan pada tahun 2016, item yang tertinggi laju paparan radiasinya adalah sebesar $9,5 \text{ mSv/jam}$ (terjadi pada kegiatan tanggal 7 Desember 2016) [3]. Jadi dengan menggunakan batasan dosis radiasi sebesar 1 mSv/minggu , maka personil hanya boleh terpapar radiasi selama 6 menit. Durasi waktu 6 menit tersebut sudah cukup untuk dapat menangani limbah, khususnya saat personil mengambil item limbah yang dikeluarkan dari *hotcell* lalu dimasukkan ke dalam drum limbah yang telah berperisai. Dari hasil pembacaan EPD terhadap personil yang menangani limbah dan bertugas di dalam *green house* pada kegiatan tersebut menunjukkan bahwa penerimaan dosis radiasi eksterna yang tinggi adalah $38,52 \mu\text{Sv}$; $36,08 \mu\text{Sv}$ dan $28,64 \mu\text{Sv}$ (tiga personil), sedangkan personil lainnya menerima dosis lebih kecil dari $25 \mu\text{Sv}$ [3].

Untuk proteksi radiasi interna, penggunaan pakaian kerja dan perlengkapan lainnya yang menutupi seluruh tubuh personil seperti pada Gambar 2 cukup efektif. Pakaian kerja, sarung tangan karet, *shoes cover* dan *head cover* dapat melindungi tubuh personil dari kontaminasi. Dari hasil pemantauan kontaminasi pada tubuh personil yang saat meninggalkan ruang ganti di *green house*, tidak ada terdeteksi kontaminasi permukaan. Adapun dari hasil pemantauan dosis interna menggunakan alat *Whole Body Counter* (WBC), juga tidak ada potensi bahaya radiasi [4].

Penerapan aturan keselamatan radiasi yang ketat terhadap kemungkinan kontaminasi lolos keluar *green house* juga menunjukkan kinerja yang efektif. Hasil pemeriksaan kontaminasi permukaan terhadap barang / perlengkapan kerja dan wadah limbah yang dikeluarkan dari *green house* menunjukkan tidak ada barang atau wadah limbah yang terkontaminasi permukaannya. Adapun hasil pemantauan kontaminasi pada permukaan plastik lantai *green house* di sekitar tempat pengemasan limbah radioaktif adalah sebesar maksimum $86,50 \text{ Bq/cm}^2$ yang mana nilai tersebut melebihi batas keselamatan kontaminasi radiasi- α ($37, \text{ Bq/cm}^2$) [1]. Pada saat selesai proses penanganan limbah, dilakukan tindakan keselamatan mengganti lantai plastik terkontaminasi dengan plastik yang baru agar pekerjaan selanjutnya dapat berlangsung dengan selamat.

Dari kegiatan penanganan limbah radiasi tinggi yang telah dilakukan untuk dekontaminasi *hotcell* tahun 2016, telah terbentuk sebanyak 7 drum limbah dan 3 item limbah radiasi tinggi yang dikemas ke dalam kontainer Pb seperti ditunjukkan pada Tabel-1. Dua drum limbah dengan nomor kode 20-KT-028 dan 20-KT-31 tidak memenuhi persyaratan pengangkutan limbah ke IPLR karena laju paparan radiasi permukaan drum lebih besar dari 2 mSv/jam . Kedua drum tersebut telah dipindahkan ke ruang penampungan limbah padat IRM dan diberi perisai di sekelilingnya untuk keselamatan personil yang bertugas di ruang tersebut. Selanjutnya kedua drum tersebut akan dikemas ulang untuk mengurangi muatan limbahnya hingga persyaratan pengangkutan terpenuhi.

Tabel-1: Limbah yang terbentuk dari kegiatan dekontaminasi *hotcell* IRM tahun 2016.

No.	Kode Limbah	Wadah R (mSv/jam)	Muatan	Keterangan
1	20-KT-025	1,200	<i>vacuum cleaner</i>	
2	20-KT-026	0,500	paralon, sarung manipulator	
3	20-KT-027	0,900	mesin pompa, kabel, dll.	
4	20-KT-028	4,200	paralon, serpihan logam	kemas ulang
5	20-KT-029	2,000	paralon, kawat, kelongsong	
6	20-KT-030	1,700	paralon, wadah <i>specimen</i>	
7	20-KT-031	4,500	paralon, serpihan logam	kemas ulang
8	20-1-Pb	0,050	serpihan logam	
9	20-2-Pb	0,050	serpihan logam	
10	20-3-Pb	1,200	serpihan logam	

R : laju paparan radiasi pada permukaan wadah limbah

IV KESIMPULAN

Program kerja dekontaminasi *hotcell* tahun 2016 dalam rangka revitalisasi *hotcell* IRM melalui kegiatan penanganan limbah radiasi tinggi dari *hotcell* yang tidak sesuai dengan desain dan prosedur telah berhasil dilakukan secara aman dan selamat. Metode penanganan limbah telah diterapkan secara konsisten selama proses kerja, mulai dari pembuatan dokumen SOP, pembuatan *green house*, teknik penanganan limbah, penerapan proteksi radiasi yang ketat sampai dengan pengiriman limbah dari area sekitar *hotcell*. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa tidak ada personil yang menerima dosis radiasi (eksterna dan interna) berbahaya selama kegiatan tersebut dan kontaminasi yang terjadi selama kegiatan dapat dikontrol sehingga tidak ada yang lolos ke R-143. Walaupun ada terpantau kontaminasi yang melampaui batas keselamatan di sekitar area pengemasan limbah di dalam *green house*, namun hal tersebut segera dapat ditangani dengan mengganti alas plastik.

Dari kegiatan penanganan limbah radiasi tinggi ini telah terbentuk 7 kemasan drum limbah dan 3 item limbah kemasan kontainer Pb. 2 dari 7 kemasan drum limbah tidak memenuhi persyaratan pengangkutan limbah ke IPLR sehingga kedua drum harus dikemas ulang agar persyaratan tersebut terpenuhi.

DAFTAR PUSTAKA

1. PTBBN, Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Radiometalurgi, No. Dok. KK32 J09 001, 2012.
2. PTLR, Kriteria Keberterimaan Limbah: Limbah Radioaktif Padat Material Terkontaminasi (LRPMT), Edisi/Rev.:1/0, No. Dok.: P-008/BN 04 03/TLR, 2017.
3. PTBBN, Formulir Kegiatan PPR Instalasi Radiometalurgi, 2016.
4. PPIKSN, Laporan Periodik Pemantauan Dosis Radiasi Internal dengan Analisis In-vivo, No. Dok.: FM-002 SOP 069.002/KN 08 02/ISN 5.1., 2016.
5. PTBBN, SOP Pengelolaan Limbah Radioaktif di IRM, No. Dok.: SOP 001.002/BW.04.01/BBN 5.1, 2014.

