

PEMANTAUAN PAPARAN RADIASI DAN KONTAMINASI DI DALAM *HOTCELL* 101 INSTALASI RADIOMETALURGI

Suliyanto, Muradi, Endang Sukei I.

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN

Kawasan puspipstek Gedung 20, Serpong Tangerang Selatan 15310

ABSTRAK

PEMANTAUAN PAPARAN RADIASI DAN KONTAMINASI DI DALAM *HOTCELL* 101 INSTALASI RADIOMETALURGI. Telah dilakukan pemantauan paparan radiasi dan kontaminasi didalam *hotcell* 101 Instalasi Radiometalurgi (IRM). Semua *hotcell* yang ada di IRM telah dioperasikan lebih dari 20 tahun, sehingga memungkinkan beberapa kerusakan peralatan di dalamnya termasuk *hotcell* 101. Pada saat ini di dalam *hotcell* 101 terdapat kerusakan manipulator, namun demikian sebelum pekerja melakukan perbaikan maupun modifikasi peralatan perlu terlebih dahulu diketahui tingkat radiasi dan kontaminasinya. Tujuan dilakukan pemantauan paparan radiasi dan kontaminasi didalam *hotcell* 101, agar dapat didekontaminasi menjadi serendah mungkin sebelum pekerja intervensi kedalamnya. Metoda yang digunakan adalah membandingkan hasil pemantauan tingkat radiasi dan kontaminasi dengan batas yang diizinkan. Alat dan bahan yang digunakan untuk pemantauan antara lain: kertas *filter* pencuplik, surveymeter *Teledetektor* merek *Ludlum*, *air sampler* merek *Staplex* dan alat cacah cuplikan (α β *sample counter* merek *Ludlum* model 3030). Dari hasil pemantauan, diketahui bahwa laju paparan radiasi γ *hotcell* 101 pada posisi 2 sebesar 22 $\mu\text{Sv/jam}$, dan posisi 3 sebesar 25 $\mu\text{Sv/jam}$. Radioaktivitas udara *hotcell* 101 berada dibawah batas yang diizinkan ($< 20 \text{ Bq/m}^3$ untuk radiasi α) dan ($< 200 \text{ Bq/m}^3$ untuk radiasi β). Hasil pantau tersebut dirasakan belum memadai, karena hanya dilakukan di pintu masuk *hotcell* 101. Radioaktivitas α di permukaan *hotcell* 101, dibawah batas yang diizinkan untuk kontaminasi rendah ($< 0,37 \text{ Bq/cm}^2$). Sedangkan radioaktivitas β di permukaan *hotcell* 101, diketahui melebihi batas yang diizinkan baik untuk posisi 1 sebesar 9,261 Bq/cm^2 , posisi 2 sebesar 40,999 Bq/cm^2 , posisi 3 sebesar 53,820 Bq/cm^2 , maupun posisi 4 sebesar 9,580 Bq/cm^2 . Radioaktivitas β di permukaan untuk kategori kontaminasi rendah adalah 3,7 Bq/cm^2 . Dapat disimpulkan bahwa *hotcell* 101 perlu didekontaminasi dari luar menggunakan manipulator. Apabila setelah didekontaminasi beberapa kali tetap melampaui NBD, maka perlu pembatasan waktu kerja untuk perbaikan alat di dalam *hotcell* 101 tersebut. Dekontaminasi perlu dilakukan agar bahaya kontaminasi dapat diminimalisir, hal ini sesuai dengan prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*).

Kata kunci : *hotcell*, radiasi, kontaminasi, permukaan, udara.

PENDAHULUAN

Instalasi Radiometalurgi (IRM) didesain terutama untuk melaksanakan program pengujian dan pengembangan metode uji *Post Irradiation Examination* (PIE) atau Uji Pasca Iradiasi terhadap bahan bakar reaktor riset dan daya beserta komponen pendukungnya. Peralatan utama yang digunakan untuk proses pengujian PIE berada dalam suatu ruang yang terkungkung yaitu *hotcell*. Semua *hotcell* yang ada di IRM telah dioperasikan lebih dari 20 tahun, sehingga terdapat beberapa kerusakan peralatan didalamnya termasuk *hotcell* 101. Pada saat ini di dalam *hotcell* 101 tidak

ada elemen bakar bekas, namun demikian untuk melakukan perbaikan maupun modifikasi peralatan didalamnya perlu terlebih dahulu diketahui tingkat radiasi dan kontaminasinya. Untuk intervensi ke dalam *hotcell* 101, tingkat radiasi dan kontaminasi harus diusahakan serendah mungkin.

Pemantauan didalam *hotcell* 101 perlu dilakukan dengan tujuan agar dapat diketahui tingkat radiasi dan kontaminasinya. Hasil pemantauan tersebut digunakan sebagai data awal untuk dekontaminasi menjadi serendah mungkin sebelum pekerja intervensi kedalamnya. Metoda yang digunakan adalah dengan membandingkan hasil pemantauan tingkat radiasi dan kontaminasi dengan batas yang diizinkan. Pemantauan paparan radiasi dilakukan menggunakan *surveymeter* γ (Teledetektor) yang dimasukkan kedalam *hotcell* 101 pada jarak 1 m, 2 m dan 3 m. Pemantauan radioaktivitas udara dilakukan secara tidak langsung dengan mencuplik udara (*air sampler*). Sedangkan pemantauan radioaktivitas permukaan lantai dilakukan secara tidak langsung dengan mengusap (*smear test*) permukaan alat dan lantai. Hasil cuplikan kontaminan radioaktif udara maupun permukaan, dicacah menggunakan pencacah radiasi α β secara total (*gross counting*).

TEORI

Hotcell merupakan suatu fasilitas yang didesain untuk penanganan bahan radioaktif aktivitas tinggi dengan sistem jarak jauh (*remote*) sehingga tidak ada kontak langsung antara personil dengan bahan uji. Oleh karena itu setiap *hotcell* dilengkapi dengan jendela kaca timbal (*lead glass window*) untuk melihat ke bagian dalam *hotcell* serta alat bantu seperti manipulator, konveyor, *incell crane*, *trolley* dan lain sebagainya yang berfungsi sebagai *handling tools* di dalam *hotcell*. Alat bantu tersebut dikendalikan dari *operation area*. Jumlah maksimum elemen bakar yang dapat disimpan di *hotcell* 101 adalah 6 (enam) *bundle* tipe MTR (termasuk MPR-30) dalam sebuah rak (masing-masing satu bundel dalam satu lubang rak) atau 1 (satu) batang bahan bakar tipe LWR (PWR, BWR) atau 1 (satu) bundel bahan bakar tipe PHWR. Menurut desain, elemen bakar bekas ditempatkan di dalam *hotcell* 101, 102, atau 103. Untuk cuplikan elemen bakar bekas ditempatkan di dalam *hotcell* 104, 105, 107, 108, 110, 111 dan 112. Berdasarkan fungsi dan risiko bahaya radiasinya, IRM didesain dalam 4 daerah kerja atau zona. Klasifikasi daerah kerja untuk pemrosesan

bahan radioaktif berdasarkan tingkat radiasi, kontaminasi udara maupun kontaminasi permukaan secara lengkap disajikan pada Tabel 1 ^[1].

Tabel 1. Klasifikasi daerah kerja untuk pemrosesan bahan radioaktif ^[1].

| Daerah Kerja (Zona) | Paparan radiasi yang diizinkan | Kontaminasi permukaan yang diizinkan (Bq/cm ²) | Kontaminasi udara yang diizinkan (Bq/m ³) |
|----------------------------------|---|--|---|
| Daerah tidak aktif (zona I) | Bebas radiasi | Bebas kontaminasi | Bebas kontaminasi |
| Daerah radiasi rendah (zona II) | Laju dosis (D): 0,3 mSv/minggu \leq D \leq 1 mSv/minggu. 7,5 μ Sv/jam \leq D \leq 25 μ Sv/jam | Radiasi- α : Peralatan: \leq 0,37 Pakaian: \leq 0,37 Kulit: \leq 0,18 Radiasi β/γ : Peralatan: \leq 3,7 Pakaian: \leq 3,7 Kulit: \leq 1,8 | < 20 (α) < 200 (β) |
| Daerah radiasi medium (zona III) | D \geq 1 mSv/minggu D \geq 50 mSv/tahun 25 μ Sv/jam \leq D \leq 3000 μ Sv/h | 0,37 – 3,7 (α) 3,7 – 37 (β) | \leq 20 (α) \leq 200 (β) |
| High radiation area (zona IV) | D > 50 mSv/tahun D > 3000 μ Sv/jam | \geq 3,7 (α) \geq 37 (β) | > 20 (α) > 200 (β) |

Berdasarkan Peraturan Pemerintah R.I Nomor 33 Tahun 2007 tentang keselamatan radiasi pengion dan keamanan sumber radioaktif, pasal 6 ayat 1, Pemegang Izin merupakan penanggung jawab utama Keselamatan Radiasi. Selain Pemegang Izin, terdapat juga pihak lain yang terkait yang dapat dimintai pertanggungjawaban dalam hal Keselamatan Radiasi berdasarkan tugas dan fungsinya di fasilitas atau instalasi. Yang dimaksud dengan “pihak lain yang terkait dengan Pemanfaatan Tenaga Nuklir” adalah ^[2]:

1. Petugas Proteksi Radiasi
2. Pekerja Radiasi
3. Petugas Keamanan Sumber Radioaktif
4. Pihak yang terkait dengan desain, pabrikasi, konstruksi Sumber, dan/atau pihak yang mendapat tanggung jawab khusus dari Pemegang Izin.

Pemegang Izin dalam memanfaatkan Tenaga Nuklir, wajib memenuhi persyaratan Proteksi Radiasi, yang meliputi ^[2]:

- a. Justifikasi Pemanfaatan Tenaga Nuklir
- b. Limitasi Dosis
- c. Optimisasi Proteksi dan Keselamatan Radiasi.

Pemegang Izin, untuk memastikan Nilai Batas Dosis bagi pekerja dan masyarakat tidak terlampaui, wajib melakukan :

- a. Pembagian daerah kerja
- b. Pemantauan Paparan Radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif di daerah kerja
- c. Pemantauan radioaktivitas lingkungan di luar fasilitas atau instalasi
- d. Pemantauan Dosis yang diterima pekerja.

Keselamatan radiasi dimaksudkan sebagai usaha untuk melindungi seseorang, keturunannya, dan juga anggota masyarakat secara keseluruhan terhadap kemungkinan terjadinya akibat biologi yang merugikan dari radiasi. Nilai Batas Dosis (NBD) yang ditetapkan dalam Keputusan Kepala Bapeten nomor 01/Ka-BAPETEN/V-99, bukan batas tertinggi yang apabila dilampaui, seseorang akan mengalami akibat merugikan yang nyata. Meskipun demikian, karena setiap penyinaran yang tidak perlu harus dihindari dan penerimaan dosis harus diusahakan serendah-rendahnya. NBD yang ditetapkan dalam ketentuan ini adalah penerimaan dosis yang tidak boleh dilampaui oleh seseorang pekerja radiasi selama jangka waktu setahun, tidak bergantung pada laju dosis, baik dari penyinaran eksterna maupun interna, tetapi tidak termasuk penerimaan dosis dari penyinaran medis dan penyinaran alam. NBD untuk pekerja radiasi yang memperoleh penyinaran seluruh tubuh ditetapkan 50 mSv (5000 mrem) per tahun atau 25 μ Sv/jam. Dalam melaksanakan kegiatan yang melibatkan radiasi atau sumber radiasi harus diikuti sertakan Petugas Proteksi Radiasi. Petugas Proteksi Radiasi berkewajiban membantu Pengusaha Instalasi dalam melaksanakan tanggung jawabnya di bidang proteksi radiasi. Petugas Proteksi Radiasi diberi wewenang antara lain untuk ^[3]:

1. Memberikan instruksi teknis dan administratif secara lisan atau tertulis kepada pekerja radiasi tentang keselamatan kerja radiasi yang baik. Instruksi ini harus mudah dimengerti, dan dapat dilaksanakan.
2. Mengambil tindakan untuk menjamin agar tingkat penyinaran serendah mungkin dan tidak akan pernah mencapai batas tertinggi yang berlaku serta menjamin agar pelaksanaan pengelolaan limbah radioaktif sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Pembagian daerah kerja untuk pembatasan penyinaran meliputi : Daerah Pengawasan dan Daerah Pengendalian. Daerah Pengendalian dapat dibedakan lebih lanjut menjadi: Daerah Radiasi dan Daerah kontaminasi. Daerah Kontaminasi, yang terdiri atas ^[3]:

1. Daerah Kontaminasi Rendah, yaitu daerah kerja dengan tingkat kontaminasi yang besarnya lebih kecil dari $0,37 \text{ Bq/cm}^2$ ($10^{-5} \mu\text{Ci per cm}^2$) untuk radiasi alfa dan lebih kecil dari $3,7 \text{ Bq/cm}^2$ ($10^{-4} \mu\text{Ci per cm}^2$) untuk radiasi beta.
2. Daerah Kontaminasi Sedang, yaitu daerah kerja dengan tingkat kontaminasi radioaktif $0,37 \text{ Bq/cm}^2$ ($10^{-5} \mu\text{Ci per cm}^2$) atau lebih tetapi kurang dari $3,7 \text{ Bq/cm}^2$ ($10^{-4} \mu\text{Ci per cm}^2$) untuk radiasi alfa dan $3,7 \text{ Bq/cm}^2$ ($10^{-4} \mu\text{Ci per cm}^2$) atau lebih tetapi kurang dari 37 Bq/cm^2 ($10^{-3} \mu\text{Ci per cm}^2$) untuk radiasi beta, sedangkan kontaminasi udara tidak melebihi sepersepuluh Batas Turunan Kadar zat radioaktif di udara.
3. Daerah Kontaminasi Tinggi, yaitu daerah kerja dengan tingkat kontaminasi $3,7 \text{ Bq/cm}^2$ ($10^{-4} \mu\text{Ci per cm}^2$) atau lebih untuk radiasi alfa, dan 37 Bq/cm^2 ($10^{-3} \mu\text{Ci per cm}^2$) atau lebih untuk radiasi beta, sedangkan kontaminasi udara kadang-kadang lebih besar dari Batas Turunan Kadar zat radioaktif di udara.

METODA

Bahan dan peralatan:

Filter pencuplik berfungsi untuk menangkap kontaminan zat-zat radioaktif terbuat dari kertas serat kaca (*glass fiber paper*) tipe GF-8 berdiameter 52 mm. Pemantauan paparan radiasi γ menggunakan *Teledetektor* merek *Ludlum* yang telah terkalibrasi (Gambar 1). Alat pencuplik udara yang digunakan adalah *Air sampler* merek *Staplex* (Gambar 2). Alat bantu *smear test* yang telah dipasang filter pencuplik untuk pemantauan kontaminasi permukaan *hotcell* 101 (Gambar 3). Alat cacah cuplikan ($\alpha \beta$ *sample counter* merek *Ludlum* model 3030) digunakan untuk mencacah radiasi α (*gross α*) maupun β (*gross*) pada kertas *filter* pencuplik udara maupun *smear test* (Gambar 4).

Cara kerja:

Pemantauan radiasi dan kontaminasi IRM sesuai dengan lokasi pantau yang telah ditentukan (Gambar 5). Pemantauan paparan radiasi γ dilakukan dengan memasukan teledetektor pada jarak 1 m, 2 m dan 3 m melalui pintu *hotcell* 101 dari ruang R-113. Hasil pantau paparan radiasi dikonversikan dari satuan mR/jam ke $\mu\text{Sv/jam}$, kemudian dikalikan dengan Faktor kalibrasi alat Teledetektor tersebut^[4].

Pemantauan radioaktivitas udara dilakukan di pintu masuk elemen bakar bekas *hotcell* 101 dengan menggunakan *air sampler* yang dilengkapi dengan kertas filter pencuplik. Selanjutnya kertas filternya dicacah dengan menggunakan pencacah cuplikan α dan β . Radioaktivitas α dan β udara *hotcell* 101, dihitung dengan rumus sebagai berikut ^[5, 7]:

$$A_k = C \times FK \times 1/d \times 1/t \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

A_k = Aktivitas zat radioaktif di udara dalam satuan Bq/m³.

C = Laju cacahan (cps).

FK = Faktor Kalibrasi alat cacah.

d = Debit hisap udara (m³/menit).

t = Waktu hisap udara (menit).

Pemantauan radioaktivitas α dan β di permukaan *hotcell* 101, dimulai dengan memasukkan alat bantu *smear test* yang telah dipasang filter pencuplik melalui pintu masuk elemen bakar bekas *hotcell* 101. Operator *hotcell* melakukan pengusapan (*smear test*) permukaan alat dan lantai *hotcell* 101 memutar dari titik awal ke luar membentuk lingkaran (dengan jari-jari 5 - 6 cm). Luas usapan sebesar ± 100 cm² dengan fraksi yang tecuplik/terambil oleh filter pencuplik sebesar 10 %. Radioaktivitas α dan β di permukaan alat dan lantai di dalam *hotcell* 101, dihitung dengan rumus sebagai berikut ^[6, 7]:

$$A_k = C \times FK \times 1/A \times 1/P \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

A_k = Aktivitas zat radioaktif di permukaan dalam satuan Bq/Cm²

C = Laju cacahan (cps).

A = Luas permukaan yang di usap dalam satuan 100 cm²

FK = Faktor Kalibrasi alat cacah.

P = Fraksi yang diambil dalam tes usap (10%).



Gambar 1. Alat teledetector Ludlum



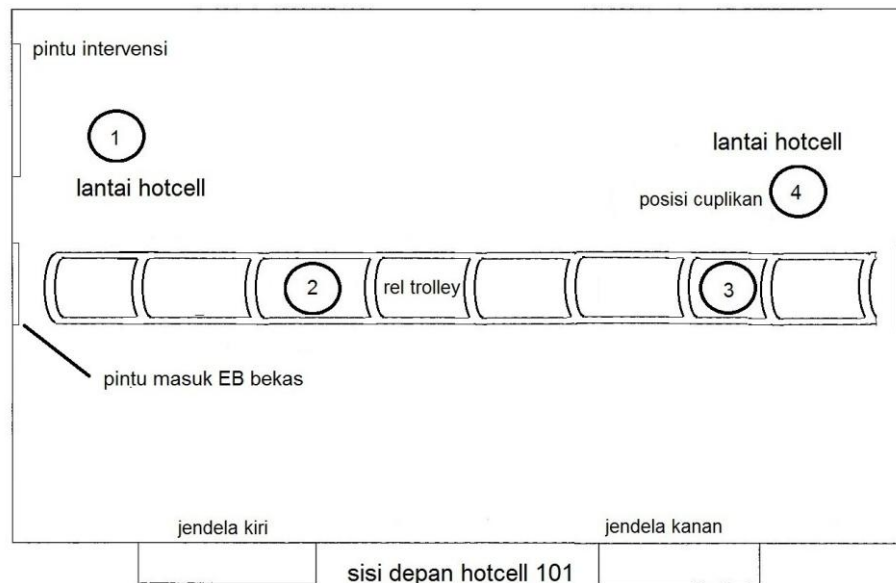
Gambar 2. Air Sampler Staplex



Gambar 3. Alat bantu smear test



Gambar 4. Sample counter Ludlum

Gambar 5. Denah pemantauan kontaminasi *hotcell* 101

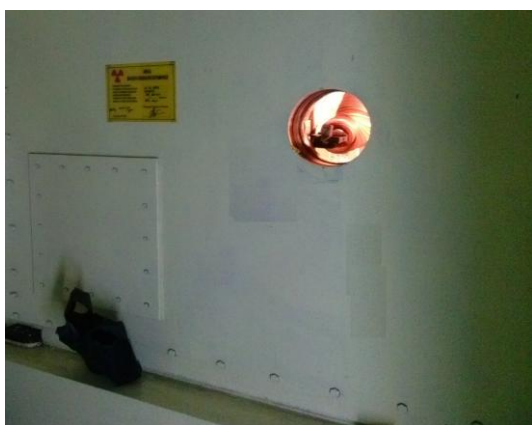
HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk maksud keselamatan, data pengukuran paparan radiasi adalah angka tertinggi yang ditunjuk oleh alat *Teledetektor* merek *Ludlum*. Dengan memasukan teledetektor pada jarak 1 m, 2 m dan 3 m melalui pintu *hotcell* 101 (Gambar 6), diperoleh hasil pemantauan paparan radiasi γ . Posisi pantau paparan radiasi telah disesuaikan dengan perkiraan besarnya dosis yang dapat diterima personil dan NBD untuk tubuh dengan nilai batasan rata-rata laju paparan radiasi γ dengan dosis pembatas sebesar $10 \mu\text{Sv}/\text{jam}$. Hasil pemantauan paparan radiasi γ tersebut kemudian dibandingkan dengan batasan yang diizinkan (Tabel 2). Laju paparan radiasi γ *hotcell* 101 pada posisi 2 sebesar $22 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ dan posisi 3 sebesar $25 \mu\text{Sv}/\text{jam}$, maka tindakan keselamatan radiasi harus diambil untuk dekontaminasi ruang di dalam *hotcell* 101 tersebut, sebelum melakukan pekerjaan perbaikan. Apabila setelah didekontaminasi beberapa kali tetap melampaui NBD, maka perlu pembatasan waktu kerja untuk perbaikan alat di dalam *hotcell* 101 tersebut.

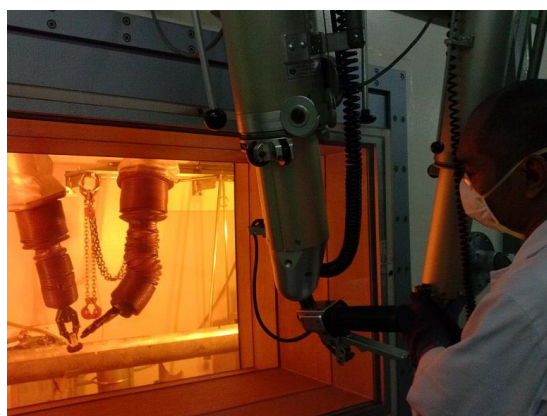
Pemantauan radioaktivitas α atau β di udara *hotcell* 101 dilakukan secara tidak langsung menggunakan alat *Air Sampler*, selanjutnya dicacah menggunakan alat *sample counter*. Alat α β *sample counter* merek *Ludlum* model 3030, yang berfungsi untuk mencacah radiasi α maupun β pada kertas *filter* pencuplik. Radioaktivitas yang terdapat pada cuplikan dicacah secara total (*gross*) baik untuk radiasi α maupun β .

Tujuan pemantauan kontaminasi udara agar dapat diambil tindakan untuk keselamatan radiasi, bilamana tingkat radioaktivitas α atau β dapat membahayakan personil dan/atau membahayakan lingkungan. Hasil pemantauan radioaktivitas udara tersebut kemudian dibandingkan dengan batasan yang diizinkan (Tabel 2). Radioaktivitas udara *hotcell* 101 berada dibawah batas yang diizinkan ($< 20 \text{ Bq/m}^3$ untuk radiasi α) atau ($< 200 \text{ Bq/m}^3$ untuk radiasi β). Hasil pantau tersebut dirasakan belum memadai, karena hanya dilakukan di pintu masuk *hotcell* 101. Hasil pantau tersebut dirasakan belum memadai, karena hanya dilakukan di pintu masuk *hotcell* 101. Pemantauan yang dapat mewakili kontaminasi udara *hotcell* 101 yang lebih baik, akan dilakukan setelah dekontaminasi. Posisi pantau udara yang lebih baik apabila posisi kepala pencuplik udara kira-kira di tengah ruangan *hotcell* 101.

Pemantauan radioaktivitas α atau β permukaan *hotcell* 101 dilakukan secara tidak langsung melalui uji usap (*smear test*). Pemantauan radioaktivitas α atau β permukaan tersebut dilakukan oleh operator *hotcell* (Gambar 7) menggunakan manipulator. Cuplikan radioaktivitas permukaan tersebut, kemudian dicacah dengan alat cacah cuplikan alat *sample counter*. Alat *sample counter* (Ludlum model 3030) berfungsi untuk mencacah radiasi α maupun β pada kertas *filter* pencuplik. Radioaktivitas yang terdapat pada cuplikan kemudian dicacah secara total (*gross*). Hasil pemantauan radioaktivitas permukaan tersebut kemudian dibandingkan dengan batasan yang diizinkan (Tabel 2). Dari hasil pantau radioaktivitas α di permukaan *hotcell* 101, diketahui dibawah batas yang diizinkan untuk kontaminasi rendah ($< 0,37 \text{ Bq/cm}^2$). Radioaktivitas β di permukaan *hotcell* 101, diketahui melebihi batas yang diizinkan baik untuk posisi 1 sebesar $9,261 \text{ Bq/cm}^2$, posisi 2 sebesar $40,999 \text{ Bq/cm}^2$, posisi 3 sebesar $53,820 \text{ Bq/cm}^2$, maupun posisi 4 sebesar $9,580 \text{ Bq/cm}^2$.



Gambar 6. Pintu masuk E.B bekas

Gambar 7. Kegiatan *smear test*

Tabel 2. Hasil pantau radiasi dan kontaminasi *hotcell* 101

| Tanggal Pantau | Ruang/posisi pantau | Paparan radiasi γ ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$) | Radiaktivitas udara (Bq/m^3) | | Radioaktivitas permukaan (Bq/cm^2) | |
|--|--|--|--|--------------------------|--|--------------------------|
| | | | α (<i>gross</i>) | β (<i>gross</i>) | α (<i>gross</i>) | β (<i>gross</i>) |
| 11-4-2013 | <i>Hotcell</i> 101/ pintu masuk EB bekas | 7,000 | 0,374 | 1,742 | 0,000 | 0,306 |
| | <i>Hotcell</i> 101/2 | 22,000 | - | - | - | - |
| | <i>Hotcell</i> 101/3 | 25,000 | - | - | - | - |
| 15-4-2013 | <i>Hotcell</i> 101/ 1 | - | - | - | 0,006 | 9,261 |
| | <i>Hotcell</i> 101/ 2 | - | - | - | 0,033 | 40,999 |
| | <i>Hotcell</i> 101/ 3 | - | - | - | 0,059 | 53,820 |
| | <i>Hotcell</i> 101/ 4 | - | - | - | 0,000 | 9,580 |
| Batasan (MPC) : Tingkat radiasi (D) : 25 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$, dosis pembatas: 10 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ Radioaktivitas permukaan : kontaminasi rendah: $\alpha = 0,37 \text{ Bq}/\text{cm}^2$; $\beta = 3,7 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ Radioaktivitas udara : $\alpha = 20 \text{ Bq}/\text{m}^3$; $\beta = 200 \text{ Bq}/\text{m}^3$ | | | | | | |

Hasil pantau radioaktivitas β permukaan *hotcell* 101 tersebut melebihi batas yang diizinkan baik untuk posisi 1, 2, 3, maupun 4 ($> 3,7 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ untuk kategori kontaminasi rendah). Sedangkan radioaktivitas α permukaan *hotcell* 101 pada posisi 1, 2, 3, maupun 4 berada dibawah batas yang diizinkan ($\alpha < 0,37 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ untuk kategori kontaminasi rendah). Mengingat tujuan akhir dari pemantauan ini untuk melakukan perbaikan alat yang berada di *hotcell* 101, maka terlebih dahulu harus dilakukan dekontaminasi untuk mengurangi kontaminan radioaktif tersebut. Dekontaminasi dilakukan dari luar oleh operator *hotcell* menggunakan *manipulator*, setelah itu dilakukan pemantauan ulang paparan radiasi, serta kontaminasi udara dan permukaan. Dekontaminasi diulangi lagi apabila kontaminasi permukaan belum mencapai kategori kontaminasi rendah, yakni untuk $\alpha = 0,37 \text{ Bq}/\text{cm}^2$, serta $\beta = 3,7 \text{ Bq}/\text{cm}^2$. Tujuan yang ingin dicapai adalah untuk meminimalisir kontaminasinya, agar pekerja radiasi yang akan melakukan perbaikan di dalam *hotcell* 101 terhindar dari bahaya radiologi hal ini sesuai dengan prinsip *ALARA* (*As Low As Reasonably Achievable*).

KESIMPULAN

Laju paparan radiasi γ di dalam *hotcell* 101 pada posisi 2 sebesar 22 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$, dan 3 sebesar 25 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ melampaui NBD. Radioaktivitas udara *hotcell* 101 berada di

bawah batas yang diizinkan ($< 20 \text{ Bq/m}^3$ untuk radiasi α) atau ($< 200 \text{ Bq/m}^3$ untuk radiasi β). Hasil pantau tersebut dirasakan belum memadai, karena hanya dilakukan di pintu masuk *hotcell* 101. Radioaktivitas α di permukaan *hotcell* 101, diketahui di bawah batas yang diizinkan untuk kategori kontaminasi rendah ($< 0,37 \text{ Bq/cm}^2$). Sedangkan radioaktivitas β di permukaan *hotcell* 101, melebihi batas yang diizinkan baik untuk posisi 1 sebesar $9,261 \text{ Bq/cm}^2$, posisi 2 sebesar $40,999 \text{ Bq/cm}^2$, posisi 3 sebesar $53,820 \text{ Bq/cm}^2$, maupun posisi 4 sebesar $9,580 \text{ Bq/cm}^2$. Radioaktivitas β di permukaan untuk kategori kontaminasi rendah adalah $3,7 \text{ Bq/cm}^2$. Dapat disimpulkan bahwa ruang di dalam *hotcell* 101 tersebut perlu dilakukan dekontaminasi dari luar menggunakan manipulator. Apabila setelah didekontaminasi beberapa kali tetap melampaui NBD, maka perlu pembatasan waktu kerja untuk perbaikan alat di dalam *hotcell* 101 tersebut. Dekontaminasi perlu dilakukan agar bahaya kontaminasi dapat diminimalisir, hal ini sesuai dengan prinsip *ALARA (As Low As Reasonably Achievable)*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada rekan-rekan Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, yang telah membantu mulai dari persiapan, pelaksanaan kegiatan serta penyusunan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] TIM LAK-PTBN, "Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Radiometalurgi (IRM)", Nomor Dok. : KK32 J09 001, revisi 1, tahun 2012.
- [2] ANONIM, "Peraturan Pemerintah Nomor 33/2007 tentang Keselamatan radiasi pengion dan keamanan sumber radioaktif", Tahun 2007.
- [3] BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, "Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi", Keputusan Kepala BAPETEN nomor : 01/Ka-BAPETEN/V-99, BAPETEN, Tahun 1999.
- [4] ANONIM, "Prosedur pemantauan paparan radiasi daerah kerja IRM", Nomor dok.: KK12D11001, Revisi 1, PTBN-BATAN, Tahun 2012.
- [5] ANONIM, "Prosedur pemantauan radioaktivitas udara daerah kerja IRM", Nomor dok.: KK12D11003, Revisi 1, PTBN-BATAN, Tahun 2012.
- [6] ANONIM, "Prosedur pemantauan radioaktivitas permukaan daerah kerja IRM", Nomor dok.: KK12D11004, Revisi 1, PTBN-BATAN, Tahun 2012.
- [7] MARTIN A. and HARBINSON S.A, "*An introduction to radiation protection*", Chapman & Hall, third edition, London, Tahun 1987.