

## SAMPLING DAN PENCACAHAN UNSUR RADIOAKTIF DI DAERAH RADIASI DAN KONTAMINASI IRM TAHUN 2017

Endang Sukesi I, Nur Tri Harjanto  
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN

### ABSTRAK

Sampling dan pencacahan unsur radioaktif di daerah radiasi dan kontaminasi IRM tahun 2017 telah dilakukan. Kegiatan ini bertujuan untuk pengambilan sample dan pengolahan data radioaktivitas gross alpha dan gross beta di Instalasi Radiometalurgi (IRM) untuk mengetahui tingkat keselamatan daerah kerja IRM. Metoda yang dilakukan antara lain: pengambilan sampling di tempat yang sudah ditentukan sesuai LAK dan SOP Pemantauan Daerah Kerja, pencacahan sample serta pengolahan data. Data pencacahan tertuang dalam rekaman yang disebut Lembar Bantu (LB), LB pemantauan radioaktivitas udara, dan LB pemantauan radioaktivitas permukaan lantai. Hasil pengolahan data diverifikasi oleh Petugas Proteksi Radiasi (PPR), kemudian disetujui oleh Kepala Sub Bidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi. Rekaman LP tersebut diserahkan kepada Kepala BKKABN untuk digunakan sebagai bahan laporan pengoperasian IRM dan kebutuhan inspeksi BAPETEN dalam rangka perizinan IRM. Rata-rata radioaktivitas udara tertinggi alpha beta berada di zona III ruang 143 (*service area*) dan nilai tertinggi untuk alpha sebesar  $8,527 \text{ Bq/m}^3$  untuk beta sebesar  $8,363 \text{ Bq/m}^3$ . Nilai ini masih jauh di bawah nilai batas yang diijinkan yaitu  $\leq 20 \text{ Bq/m}^3$  untuk alpha dan  $\leq 200 \text{ Bq/m}^3$  untuk beta. Radioaktivitas alpha permukaan lantai tertinggi berada di zona II R 140 (*operating area*) sebesar 0,044. Radioaktivitas permukaan lantai tertinggi beta berada di zona III ruang 143 (*service area*) sebesar  $0,410 \text{ Bq/cm}^2$ . Walau begitu nilai ini juga masih jauh di bawah nilai batas yang diijinkan yaitu 0,37 -  $3,7 \text{ Bq/cm}^2$  untuk alpha dan 3,7 -  $37 \text{ Bq/cm}^2$  untuk beta. Hasil kegiatan sampling dan pencacahan unsur radioaktif tahun 2017 disimpulkan masih berada di bawah Nilai Batas yang diijinkan dan memenuhi Batasan Kondisi Operasi IRM yang tercantum dalam LAK.

**Kata kunci** : sampling, cacah, radioaktif, radiasi, kontaminasi

### PENDAHULUAN

Berdasarkan undang-undang Republik Indonesia nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Pasal 16 ayat 1: Setiap kegiatan yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga nuklir wajib memperhatikan keselamatan, keamanan dan ketentraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup. Penjelasan lebih lanjut dari pasal ini ditetapkan dengan peraturan pemerintah dan peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir.

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) mempunyai tugas di bidang pengembangan teknologi fabrikasi bahan bakar nuklir dan teknik uji radiometalurgi. Selama berlangsungnya kegiatan Instalasi Radiometalurgi (IRM), tentu tidak terhindar dari risiko paparan radiasi, dan kemungkinan kontaminasi zat radioaktif (radioaktivitas) di udara maupun di permukaan lantai. Oleh karenanya PTBBN menyelenggarakan pemantauan keselamatan kerja dan akuntansi bahan nuklir yang dilaksanakan oleh Bidang Keselamatan Kerja dan Akuntansi Bahan Nuklir (BKKABN) - PTBBN. Pemantauan

keselamatan kerja, proteksi radiasi dilakukan oleh Subbidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi (SB-KKPR) - BKKABN.

Berdasarkan pasal 6 Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 33 tahun 2007, Pemegang Izin bertanggung jawab menyusun, mengembangkan, melaksanakan, dan mendokumentasikan program Proteksi dan Keselamatan Radiasi, yang dibuat berdasarkan sifat dan resiko untuk setiap pelaksanaan Pemanfaatan Tenaga Nuklir <sup>[1]</sup>. Dalam PP terbaru tentang Keselamatan dan Keamanan INNR, PP Nomor 54 tahun 2012 pasal 20 menyebutkan, dalam pelaksanaan operasi instalasi nuklir, pemegang izin wajib menetapkan: batasan dan kondisi operasi; prosedur operasi; program perawatan, surveilan, dan inspeksi; dan program manajemen penuaan<sup>[2]</sup>. Kondisi Batas untuk Operasi Normal (KBO) pada izin operasi IRM, diberlakukan untuk: *hotcell*, sistem pemantau radiasi dan efluen, sistem ventilasi dan pengkondisian udara, sistem catu daya listrik, dan peralatan pemindah (*crane*).

Berdasarkan Perka Bapeten Nomor 4 tahun 2013, personil yang terkait dengan pelaksanaan pemanfaatan tenaga nuklir antara lain<sup>[4]</sup>: Petugas Proteksi Radiasi; Pekerja Radiasi; dan/atau Pihak yang mendapat tanggung jawab khusus dari Pemegang Izin. Pemantauan paparan radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif di daerah kerja meliputi pemantauan terhadap; Paparan Radiasi eksterna, Kontaminasi permukaan, dan/atau Kontaminasi udara. Rekaman hasil pemantauan tingkat radiasi dan/atau kontaminasi di daerah kerja harus dibuat dan disimpan oleh Pemegang Izin paling kurang 5 (lima) tahun. Rekaman tersebut harus ditunjukkan oleh Pemegang Izin pada saat dilakukan Inspeksi oleh BAPETEN. Laporan hasil pemantauan tingkat radiasi dan/atau kontaminasi di daerah kerja; harus disampaikan oleh Pemegang Izin secara tertulis kepada Kepala BAPETEN paling lama 60 (enam puluh) hari kerja terhitung sejak pemantauan<sup>[3]</sup>.

Pemantauan radioaktivitas di Instalasi Radiometalurgi meliputi Pemantauan paparan radiasi  $\gamma$ , dan radioaktivitas (gross  $\alpha$  dan  $\beta$ ) di udara maupun di permukaan lantai daerah kerja *operating area Hotcell* (R-140), *service area Hotcell* (R-143), serta laboratorium lain di luar *Hotcell* seperti ruang R-134, R-135, R136 dan lain-lain<sup>[4]</sup>.

Dalam kegiatan ini yang dilakukan adalah sampling radioaktivitas alpha dan beta di udara dan permukaan daerah Zona II dan Zona III Instalasi Radiometalurgi. Kegiatan ini bertujuan pengambilan sample dan pengolahan data radioaktivitas gross alpha dan gross beta di Instalasi Radiometalurgi (IRM) untuk keperluan pengukuran keselamatan. Data yang dihasilkan digunakan untuk menyusun laporan pengoperasian IRM dan kebutuhan inspeksi BAPETEN dalam rangka perizinan IRM. Rekaman tersebut merupakan dokumen

yang menyatakan hasil yang dicapai atau memberi bukti pelaksanaan kegiatan dalam pemanfaatan tenaga nuklir tersebut.

Untuk mendukung Program Proteksi Radiasi di IRM agar tujuan keselamatan radiasi dapat tercapai, diperlukan peralatan (instrumen) pemantau radiasi dan kontaminasi. Sesuai dengan sumber radiasi yang ada di IRM, instrumen pemantau radiasi yang digunakan harus sensitif terhadap radiasi  $\gamma$  dan pemantau kontaminasi harus sensitif terhadap kontaminasi  $\alpha$   $\beta$ . Instrumen pemantau radiasi tersebut dikalibrasi di PTKMR-BATAN satu tahun sekali. Surveimeter kontaminasi  $\alpha$   $\beta$  digunakan untuk mengukur tingkat kontaminasi  $\alpha$  atau  $\beta$  pada permukaan lantai atau meja kerja secara langsung (in-situ). Pencacah cuplikan berguna untuk mencacah radioaktivitas  $\alpha$  atau  $\beta$  pada kertas/ filter pencuplik seperti hasil pencuplikan udara dan uji usap. Pencuplik udara merupakan instrumen penunjang untuk melakukan pemantauan tingkat radioaktivitas udara di ruangan kerja. Cuplikan udara yang tertangkap pada kertas filter diukur dengan pencacah cuplikan. Besarnya hasil cacahan per volume udara yang tercuplik merupakan tingkat konsentrasi radioaktivitas udara<sup>[5]</sup>.

Proses pengelolaan data dimulai dari tugas yang diberikan oleh Kepala BKKABN kepada Kepala SB-KKPR untuk mengumpulkan data hasil pantau radioaktivitas udara dan permukaan di IRM untuk pembuatan laporan kepada BAPETEN. Kepala SB-KKPR memberikan tugas kepada operator Petugas Keselamatan (PK) untuk melakukan pemantauan, PK kemudian melakukan kegiatan penyiapan alat dan perlengkapan. Selanjutnya PK melakukan sampling dan pencacahan, melakukan perhitungan data pantau, dan mendokumentasikan dalam Lembar Bantu dan lembar Pantau. Evaluasi dari hasil pemantauan daerah kerja IRM tersebut disesuaikan dengan batasan (MPC) keselamatan radiasi (Tabel 1).

Tabel 1. Batasan (MPC) keselamatan radiasi (Sumber: LAK IRM)

Daerah Kerja (Zona)	Tingkat Radiasi	Kontaminasi permukaan yang diizinkan	Kontaminasi udara daerah kerja yang diizinkan
Daerah radiasi rendah (zona-II)	Laju dosis (D): $7,5 \mu\text{Sv/jam} \leq D \leq 25 \mu\text{Sv/jam}$	<u>Rad. <math>\alpha</math></u> di alat /lantai: $< 0,37\text{Bq/cm}^2$ <u>Rad. <math>\beta</math></u> di alat /lantai: $< 3,7\text{Bq/cm}^2$	<u>Rad. <math>\alpha</math></u> : $< 20 \text{Bq/m}^3$ <u>Rad. <math>\beta</math></u> : $< 200 \text{Bq/m}^3$
Daerah radiasi sedang (zona-III)	Laju dosis (D): $25 \mu\text{Sv/jam} \leq D \leq 3000 \mu\text{Sv/h}$	<u>Rad. <math>\alpha</math></u> di alat /lantai: $0,37 - 3,7 \text{Bq/cm}^2$ <u>Rad. <math>\beta</math></u> di alat /lantai: $3,7 - 37 \text{Bq/cm}^2$	<u>Rad. <math>\alpha</math></u> : $\leq 20 \text{Bq/m}^3$ <u>Rad. <math>\beta</math></u> : $\leq 200 \text{Bq/m}^3$

## METODOLOGI

Peralatan dan bahan yang digunakan untuk sampling dan pencacahan unsur radioaktif di daerah kerja aktif IRM, antara lain: alat  $\alpha$   $\beta$  *sample counter*, COMO, *air sampler*, filter udara, filter usap, dan sebagainya.

Sebelum dilakukan sampling, terlebih dahulu disiapkan bahan atau alat yang dibutuhkan seperti: Alpha Beta Sample Counter Ludlum 3030 dan COMO (COMO dipakai apabila Ludlum 3030 dikalibrasi di PTKMR), Air Sampler untuk menghisap udara. Peralatan diperiksa tanggal kalibrasi ulang, cek respon alat dengan sumber Am-241 dan Sr-90, kekuatan batere, waktu cacah dan faktor kalibrasi, flowrate dan waktu hisap. Disiapkan pula perlengkapan pendukung untuk *sampling* (cuplikan) permukaan lantai dan udara seperti *filter*, pinset, *petri disk*, sarung tangan, Lembar Bantu (LB) pemantauan paparan radiasi, dan LB pemantauan radioaktivitas permukaan, dan LB pemantauan radioaktivitas udara.

Pelaksanaan sampling di daerah kerja aktif IRM, zona II dan III. Cuplikan radioaktivitas udara diambil menggunakan filter pencuplik dan alat penghisap udara selama 30 menit (Gambar 1) dengan ketinggian alat terpasang rata rata tinggi manusia, sedangkan cuplikan radioaktivitas di permukaan lantai diambil menggunakan filter pencuplik dengan luas usapan  $\pm 100$  cm<sup>2</sup>, sampling udara dan permukaan lantai selanjutnya dicacah selama 2 menit dengan 3 kali pengulangan (Gambar 2 & 3). Hasil pemantauan radioaktivitas udara, dan permukaan lantai daerah kerja aktif IRM dicatat kedalam masing-masing LB.



Gambar 1. Alat pencuplik udara  
(*air sampler*)



Gambar 2. Alat cacah Ludlum  
3030



Gambar 3. COMO

Selanjutnya dilakukan pengolahan data hasil cacah cuplikan daerah kerja aktif IRM tersebut. Dari hasil cacah cuplikan udara daerah kerja IRM, radioaktivitasnya dihitung menggunakan persamaan:

$$A = C \times FK \times 1/d \times 1/t$$

dengan :

- A = Radioaktivitas di udara ( $Bq/m^3$ );
- C = laju cacahan (cps);
- FK = Faktor Kalibrasi;
- d = debit hisap udara ( $m^3/menit$ );
- t = waktu hisap udara (menit).

Sedangkan untuk radioaktivitas dari hasil cacah cuplikan permukaan lantai daerah kerja IRM, dihitung menggunakan persamaan:

$$A = C \times FK \times 1/L \times 1/F$$

dengan :

- A = Radioaktivitas di permukaan ( $Bq/cm^2$ );
- C = laju cacahan (cps);
- FK = Faktor Kalibrasi;
- L = Luas permukaan yang diusap ( $100 \text{ cm}^2$ );
- F = fraksi yang terambil (10 % atau 0,1).

Data Pantau paparan radiasi dan radioaktivitas daerah kerja aktif IRM dari masing-masing LB tersebut disalin kedalam Lembar Pemantauan (LP) daerah kerja aktif IRM. Kemudian dilakukan evaluasi dari hasil pemantauan daerah kerja IRM tersebut, sesuai dengan batasan (MPC) keselamatan radiasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemantauan radioaktivitas di udara daerah kerja IRM dilakukan oleh PK secara tidak langsung, dengan mengambil cuplikan udara menggunakan air sampler pada lokasi yang telah ditentukan. PK mencatat data waktu hisap dan debit udara kedalam Lembar Bantu Pemantauan radioaktivitas udara Daerah Kerja IRM. PK kemudian melakukan pencacah cuplikan udara (sebanyak 3 kali) menggunakan alat  $\alpha \beta$  *sample counter*. PK

kemudian menghitung hasil cacah tersebut menggunakan rumus yang telah ditetapkan menggunakan program *microsoft Excel*. Selanjutnya PK mencatat/masukkan hasil perhitungan tersebut kedalam LB pemantauan radioaktivitas udara daerah kerja aktif IRM. Pemantauan radioaktivitas di permukaan lantai daerah kerja IRM dilakukan oleh PK secara tidak langsung, dengan mengusap permukaan lantai pada lokasi yang telah ditentukan. PK kemudian melakukan pencacah cuplikan permukaan lantai (sebanyak 3 kali) menggunakan alat  $\alpha \beta$  *sample counter*. PK kemudian menghitung hasil cacah tersebut menggunakan rumus yang telah ditetapkan menggunakan program *microsoft Excel* <sup>[6]</sup>. Selanjutnya PK mencatat/masukkan hasil perhitungan tersebut kedalam LB pemantauan radioaktivitas permukaan daerah kerja aktif IRM.

Rekaman hasil sampling dan pencacahan dilaporkan Kepada PPR. PPR memeriksa data tersebut, melakukan perhitungan dan membandingkannya dengan batas yang diizinkan (Tabel 1). Apabila data pantau tersebut melebihi batasan, maka PPR memerintahkan PK untuk memagar daerah tersebut dengan rantai kuning dan memberi rambu radiasi untuk diambil tindakan lebih lanjut. LB pemantauan paparan radiasi, LB pemantauan radioaktivitas udara, dan LB pemantauan radioaktivitas permukaan lantai disimpan oleh PK. Data pada LP daerah kerja IRM tersebut dilaporkan Kepada Petugas Proteksi Radiasi (PPR). PPR menandatangani hasil verifikasi data pantau tersebut, kemudian memberikannya kepada Kepala SB-KKPR untuk diperiksa kembali dan disetujui. LP daerah kerja IRM yang telah diperiksa dan ditandatangani oleh PPR dan Kepala SB-KKPR diserahkan kepada Kepala BKKABN untuk diperiksa kembali dan digunakan sebagai bahan laporan keselamatan kerja IRM.

Tabel 2. Radioktivitas alpha di udara laboratorium IRM tahun 2017

BULAN	Zona II (Bq/m <sup>3</sup> )			Zona III (Bq/m <sup>3</sup> )
	R-135	R-136	R-140	R-143
Januari	1,142	1,052	2,002	3,134
Pebruari	1,663	1,191	1,761	3,864
Maret	1,655	1,526	1,765	2,547
April	1,538	1,551	1,971	3,087
Mei	1,976	2,385	1,909	3,524
Juni	3,272	2,267	2,236	3,272
Juli	0,689	1,154	2,031	2,159
Agustus	2,219	1,658	2,228	4,309
September	2,496	2,073	4,146	6,560
Oktober	2,496	2,073	2,872	4,791
November	2,484	1,151	2,606	<b>8,527</b>
Desember	2,499	0,826	2,052	6,011

Tabel 3. Radioktivitas beta di udara laboratorium IRM tahun 2017

BULAN	Zona II (Bq/m <sup>3</sup> )			Zona III (Bq/m <sup>3</sup> )
	R-135	R-136	R-140	R-143
Januari	1,330	1,476	1,504	3,264
Pebruari	1,835	1,467	1,844	3,183
Maret	1,955	1,842	3,131	3,229
April	2,042	2,269	1,955	4,095
Mei	2,284	2,668	1,970	3,414
Juni	4,308	3,192	2,793	3,524
Juli	2,329	3,293	2,919	2,787
Agustus	3,171	2,516	2,784	5,040
September	3,440	2,794	4,286	7,745
Oktober	5,914	5,355	7,232	<b>8,363</b>
November	3,335	1,402	2,870	8,310
Desember	3,389	1,095	2,678	8,014

Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan radioaktivitas alpha dan beta tertinggi di udara laboratorium IRM. Dari table menunjukkan rata-rata radioaktivitas tertinggi alpha beta berada di zona III ruang 143 (*service area*) dan nilai tertinggi untuk alpha sebesar 8,527 Bq/m<sup>3</sup> pada bulan November untuk beta sebesar 8,363 Bq/m<sup>3</sup> pada bulan Oktober. Walau begitu nilai ini masih jauh di bawah nilai batas yang diijinkan yaitu  $\leq 20$  Bq/m<sup>3</sup> untuk alpha dan  $\leq 200$  Bq/m<sup>3</sup> untuk beta.

Tabel 4. Radioktivitas alpha di permukaan laboratorium IRM tahun 2017

BULAN	Zona II (Bq/m <sup>3</sup> )			Zona III (Bq/m <sup>3</sup> )
	R-135	R-136	R-140	R-143
Januari	0,001	0,001	0,001	0,002
Pebruari	0,001	0,001	0,001	0,001
Maret	0,002	0,002	0,001	0,002
April	0,002	0,002	0,002	0,002
Mei	0,001	0,001	0,001	0,002
Juni	0,002	0,002	0,001	0,002
Juli	0,001	0,003	0,005	0,002
Agustus	0,002	0,001	0,002	0,001
September	0,001	0,002	0,001	0,002
Oktober	0,001	0,001	<b>0,044</b>	0,004
November	0,001	0,004	0,004	0,001
Desember	0,001	0,001	0,001	0,001

Tabel 5. Radioktivitas beta di permukaan laboratorium IRM tahun 2017

BULAN	Zona II (Bq/m <sup>3</sup> )			Zona III (Bq/m <sup>3</sup> )
	R-135	R-136	R-140	R-143
Januari	0,052	0,031	0,019	0,136
Pebruari	0,029	0,034	0,030	0,382
Maret	0,025	0,032	0,019	0,305
April	0,147	0,146	0,142	<b>0,410</b>
Mei	0,017	0,176	0,012	0,188
Juni	0,016	0,012	0,009	0,265
Juli	0,016	0,046	0,095	0,077
Agustus	0,028	0,026	0,080	0,303
September	0,039	0,042	0,037	0,212
Oktober	0,024	0,042	0,219	0,229
November	0,029	0,057	0,072	0,305
Desember	0,141	0,012	0,065	0,365

Radioaktivitas alpha dan beta tertinggi di permukaan lantai laboratorium IRM ditunjukkan dalam Table 4 dan Table 5. Dari table menunjukkan radioaktivitas alpha tertinggi berada di zona II R 140 (*operating area*) pada bulan Oktober sebesar 0,044 walau nilai inipun masih dibawah nilai batas yang diijinkan yaitu  $< 0,37\text{Bq/cm}^2$  tapi karena nilainya sudah jauh melebihi 3 x nilai latar maka dilakukan dekontaminasi di posisi tersebut. Tabel 7 menunjukkan rata-rata radioaktivitas tertinggi beta dpermukaan lantai juga berada di zona III ruang 143 (*service area*) dan nilai tertinggi untuk beta sebesar  $0,410\text{ Bq/cm}^2$  pada bulan April. Walau begitu nilai ini masih jauh di bawah nilai batas yang diijinkan yaitu  $0,37 - 3,7\text{ Bq/cm}^2$  untuk alpha dan  $3,7 - 37\text{ Bq/cm}^2$  untuk beta.

## KESIMPULAN

Sampling dan pencacahan unsur radioaktif di daerah aktif IRM telah dikelola sesuai SOP Pemantauan Paparan Radiasi & Radioaktivitas Derah Kerja di IRM, dan didokumentasikan sesuai dengan Program Jaminan Mutu PTBBN. Rata-rata radioaktivitas udara tertinggi alpha beta berada di zona III ruang 143 (*service area*) dan nilai tertinggi untuk alpha sebesar  $8,527\text{ Bq/m}^3$  pada bulan November untuk beta sebesar  $8,363\text{ Bq/m}^3$  pada bulan Oktober. Nilai ini masih jauh di bawah nilai batas yang diijinkan yaitu  $\leq 20\text{ Bq/m}^3$  untuk alpha dan  $\leq 200\text{ Bq/m}^3$  untuk beta. Radioaktivitas alpha permukaan lantai

tertinggi berada di zona II R 140 (*operating area*) pada bulan Oktober sebesar 0,044 walau nilai inipun masih dibawah nilai batas yang diijinkan yaitu  $< 0,37\text{Bq/cm}^2$  tapi karena nilainya sudah jauh melebihi 3 x nilai latar maka dilakukan dekontaminasi di posisi tersebut. Rata-rata radioaktivitas tertinggi beta permukaan lantai juga berada di zona III ruang 143 (*service area*) dan nilai tertinggi untuk beta sebesar  $0,410\text{ Bq/cm}^2$  pada bulan April. Nilai ini masih jauh di bawah nilai batas yang diijinkan yaitu  $0,37 - 3,7\text{ Bq/cm}^2$  untuk alpha dan  $3,7 - 37\text{ Bq/cm}^2$  untuk beta. Dapat disimpulkan bahwa hasil pemantauan daerah kerja IRM telah memenuhi persyaratan BKO yang tercantum dalam LAK.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA Nomor 33 tahun 2007, tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, 2007.
2. PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA Nomor 54 tahun 2012, tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, 2012.
3. BAPETEN, PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, Nomor 4, tahun 2013, tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, 2013.
4. PTBBN-BATAN, Laporan Analisis Keselamatan (LAK) Instalasi Radiometalurgi (IRM), Nomor Dok. KK32J009001, revisi 1, 2012.
5. PTBBN-BATAN, Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi Instalasi Radiometalurgi (IRM), Nomor dokumen SOP 002.009/KN 02 01/BBN 5, No. Revisi/terbitan: 0/2, 2014.
6. PTBBN-BATAN, SOP Pemantauan Paparan Radiasi dan Radioaktivitas Daerah Kerja di Instalasi Radiometalurgi, SOP 024.002/KN 04 02/ BBN 5.1.