

SISTEM SAMPLING DAN PENGUKURAN PAPARAN RADIOAKTIF DI DAERAH RADIASI DAN KONTAMINASI IRM.

Endang Sukesi I, Rinaldo
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

ABSTRAK

Sistem sampling dan pengukuran paparan radiasi radioaktivitas di daerah radiasi dan kontaminasi IRM telah dilakukan. Tujuan kegiatan ini adalah untuk memperoleh data pantau radioaktivitas di daerah radiasi dan kontaminasi laboratorium Instalasi Radiometalurgi (IRM). Peralatan dan bahan yang digunakan antara lain adalah surveymeter γ , alat $\alpha\beta$ sample counter, air sampler, filter udara, dan filter usap. Metoda yang dilakukan meliputi persiapan sampling, pelaksanaan pengukuran dan pencacahan, serta pengolahan data. Data pengukuran dan pencacahan unsur radioaktif di daerah radiasi dan kontaminasi IRM didokumentasikan sesuai dengan Program Jaminan Mutu PTBBN. Rekaman yang terkait dengan data tersebut disimpan di Bidang Keselamatan Kerja dan Akuntansi Bahan Nuklir, yang terdiri dari Lembar Bantu (LB) pemantauan paparan radiasi, LB pemantauan radioaktivitas udara, dan LB pemantauan radioaktivitas permukaan lantai. Data dari LB tersebut dilakukan perhitungan dan disalin pada Lembar Pemantauan (LP) daerah kerja IRM, diverifikasi oleh Petugas Proteksi Radiasi (PPR), kemudian disetujui oleh Kepala Sub Bidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi. LP tersebut diserahkan kepada Kepala BKKABN untuk digunakan sebagai bahan laporan pengoperasian IRM dan kebutuhan inspeksi BAPETEN dalam rangka perizinan IRM. Hasil pemantauan paparan radiasi dan kontaminasi udara serta permukaan di laboratorium IRM berada dibawah batas yang diizinkan (MPC) sehingga dapat disimpulkan bahwa daerah kerja IRM memenuhi persyaratan BKO yang tercantum dalam LAK. Hal ini sesuai dengan pasal 6 PP Nomor 33 tahun 2007 dan PP Nomor 54 tahun 2012

Kata kunci: pengukuran radioaktivitas, kontaminasi, paparan radiasi, udara dan permukaan, IRM

PENDAHULUAN

Keselamatan Radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi. Setiap orang atau badan yang akan memanfaatkan Tenaga Nuklir wajib memiliki izin pemanfaatan dan memenuhi persyaratan keselamatan radiasi sesuai dengan PP 33 tahun 2007. Penanggung jawab keselamatan radiasi terdiri dari^[1]: Pemegang Izin; dan Pihak lain yang terkait dengan pelaksanaan pemanfaatan Tenaga Nuklir. Pemegang izin harus memenuhi kewajiban diantaranya: mematuhi dan melaksanakan peraturan perundang-undangan; memenuhi batasan dan kondisi operasi; menyampaikan laporan operasi secara berkala setiap enam bulan; memastikan bahwa fasilitas dioperasikan oleh operator dan dengan pengawasan supervisor INNR yang telah memiliki SIB. 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).

Dalam kegiatan yang dilakukan pada tahun 2016 ini, hanya pada daerah kerja aktif IRM (zona II dan III). 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^[1]. 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^[2].

Oleh karena itu untuk memenuhi persyaratan keselamatan radiasi, perlu dibuat sistem sampling pengukuran dan pencacahan unsur radioaktif yang didokumentasikan sesuai dengan Program Jaminan Mutu. Sistem sampling, pengukuran dan pencacahan unsur radioaktif bertujuan untuk memperoleh data pantau di daerah radiasi dan kontaminasi Instalasi Radiometalurgi (IRM). 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.

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) mempunyai tugas di bidang pengembangan teknologi fabrikasi bahan bakar nuklir dan teknik uji radiometalurgi. Dalam melaksanakan tugas tersebut, 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. 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. Pemantauan paparan radiasi γ , dan radioaktivitas (gross α dan β) 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^[3].

Berdasarkan Perka Bapeten Nomor 4 tahun 2013, personil yang terkait dengan pelaksanaan pemanfaatan tenaga nuklir antara lain^[4]: 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 eksternal, 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^[4].

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 γ dan pemantau kontaminasi harus sensitif terhadap kontaminasi α β . Instrumen pemantau radiasi tersebut dikalibrasi di PTKMR-BATAN. Surveimeter kontaminasi α β digunakan untuk mengukur tingkat kontaminasi α atau β pada permukaan lantai atau meja kerja secara langsung (in-situ). Pencacah cuplikan berguna untuk mencacah radioaktivitas α atau β 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^[5].

Proses pengelolaan data dimulai dari tugas yang diberikan oleh Kepala BKKABN kepada Kepala SB-KKPR untuk mengumpulkan data hasil pantau paparan radiasi dan kontaminasi di IRM untuk pembuatan laporan kepada BAPETEN. Kepala SB-KKPR memberikan tugas kepada Operator Petugas Keselamatan (PK) untuk melakukan pemantauan paparan radiasi dan radioaktivitas daerah kerja IRM. PK kemudian melakukan kegiatan persiapan alat dan perlengkapan untuk pemantauan paparan radiasi dan radioaktivitas di daerah kerja IRM. Selanjutnya PK mengukur paparan radiasi menggunakan surveymeter γ yang terkalibrasi pada posisi yang telah ditentukan. PK mencatat hasil baca setelah dikalikan FK kedalam Lembar Bantu Pemantauan Paparan Radiasi IRM. Evaluasi dari hasil pemantauan daerah kerja IRM tersebut disesuaikan dengan batasan (MPC) keselamatan radiasi seperti yang tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Batasan (MPC) keselamatan radiasi [1]

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. α</u> di alat /lantai: $< 0,37\text{Bq/cm}^2$ <u>Rad. β</u> di alat /lantai: $< 3,7\text{Bq/cm}^2$	<u>Rad. α</u> : $< 20 \text{Bq/m}^3$ <u>Rad. β</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. α</u> di alat /lantai: $0,37 - 3,7 \text{Bq/cm}^2$ <u>Rad. β</u> di alat /lantai: $3,7 - 37 \text{Bq/cm}^2$	<u>Rad. α</u> : $\leq 20 \text{Bq/m}^3$ <u>Rad. β</u> : $\leq 200 \text{Bq/m}^3$

METODOLOGI

Peralatan dan bahan yang digunakan untuk pemantauan radiasi dan kontaminasi daerah kerja aktif IRM adalah surveymeter γ , alat $\alpha \beta$ *sample counter*, *air sampler*, filter udara, filter usap.

Sebelum dilakukan sampling, terlebih dahulu disiapkan bahan atau alat yang dibutuhkan seperti:

1. surveymeter γ (pemeriksaan tanggal kalibrasi ulang, kekuatan batere, skala atau satuan pengukuran dan faktor kalibrasi)
2. perlengkapan pendukung untuk *sampling* (cuplikan) permukaan lantai dan udara (*filter*, pinset, *petri disk*, sarung tangan dan sebagainya).
3. Lembar Bantu (LB) pemantauan paparan radiasi, dan LB pemantauan radioaktivitas permukaan, dan LB pemantauan radioaktivitas udara.

Pelaksanaan sampling pengukuran paparan radiasi γ dilaksanakan di daerah kerja aktif IRM, zona II dan III. Cuplikan radioaktivitas udara diambil menggunakan filter pencuplik dan alat penghisap udara selama 30 menit seperti yang terlihat pada Gambar 1. Sedangkan cuplikan radioaktivitas di permukaan lantai diambil menggunakan filter pencuplik, dengan luas usapan $\pm 100 \text{ cm}^2$. Sampling udara dan permukaan lantai selanjutnya dicacah selama 2 menit dengan 3 kali pengulangan menggunakan *sample counter* seperti yang tercantum pada Gambar 2. Hasil pemantauan paparan radiasi, 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

Selanjutnya dilakukan pengolahan data hasil cacah cuplikan daerah kerja aktif IRM tersebut. Data hasil cacah cuplikan udara kemudian radioaktivitasnya dihitung menggunakan persamaan 1.

$$A = C \times FK \times 1/d \times 1/t \quad (1)$$

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 2.

$$A = C \times FK \times 1/L \times 1/F \quad (2)$$

dengan :

A = Radioaktivitas di permukaan (Bq/cm^2);

C = laju cacahan (cps);

FK = Faktor Kalibrasi;

L = Luas permukaan yang diusap (100 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 evaluasi hasil pemantauan daerah kerja IRM tersebut dilakukan 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*. Contoh Perhitungan Radioaktivitas udara daerah kerja aktif IRM, dapat dilihat pada Tabel 2. 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*^[6].

Tabel 2. Contoh Perhitungan Radioaktivitas udara daerah kerja aktif IRM

UDARA DAERAH KERJA IRM						
Cacah B.G. (latar)		0	0	0	0.00	Akt. Alpha (Bq/m3)
Lokasi/posisi	T hisap (menit)	Debit udara (m ³ /menit)	T. cacah (detik)	FK (Bq/cps)	Cacah Gross (cpm)	
R-135 FH F&J no. seri 11773	30	0.06065	120	2.730	59	
					55	
					60	
				gross rata2	58.00	
				Net. = gross - BG	58.00	

UDARA DAERAH KERJA IRM						
Cacah B.G. (latar)		50	49	49	49.33	Akt. Beta (Bq/m3)
Lokasi/posisi	T hisap (menit)	Debit udara (m ³ /menit)	T. cacah (detik)	FK (Bq/cps)	Cacah Gross (cpm)	
R-135 FH F&J no. seri 11773	30	0.06065	120	1.190	139	
					145	
					140	
				gross rata2	141.33	
				Net.= gross - BG	92.00	

Contoh Perhitungan Radioaktivitas permukaan lantai daerah kerja aktif IRM, dapat dilihat pada Tabel 3. Selanjutnya PK mencatat/masukkan hasil perhitungan tersebut kedalam LB pemantauan radioaktivitas permukaan daerah kerja aktif IRM.

Data Pantau paparan radiasi dan radioaktivitas/kontaminasi daerah aktif IRM dari LB, disalin kedalam LP daerah kerja IRM oleh PK, kemudian dilaporkan Kepada PPR. PPR memeriksa data tersebut dan membandingkannya dengan batas yang diizinkan seperti yang tercantum pada 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 3. Contoh Perhitungan Radioaktivitas permukaan lantai daerah kerja aktif IRM

kontaminasi permukaan IRM					
	LUAS L (cm ²)	Fraksi terambil (P)	FK (Bq/cps)		
	100	0.1	2.730		
	Cacah B.G	0	0	0	0.00
LOKASI/ POSISI	T. cacah (detik)	CACAH (cpm)	Ak. Alpha (Bq/cm ²)		
R-135 FH	120	0			
		1			
		0			
	gross rata ²	0.33			
	Net. = gross - BG	0.33	0.001		

Kontaminasi permukaan IRM					
	LUAS L (cm ²)	Fraksi terambil (P)	FK (Bq/cps)		
	100	0.1	2.730		
	Cacah B.G	48	50	49	49.00
LOKASI/ POSISI	T. Cacah (detik)	Cacah (cpm)	Ak. Beta (Bq/cm ²)		
R-135 FH	120	55			
		52			
		49			
	Gross rerata	52.00			
	Net. = gross - BG	3.00	0.003		

Hasil pemantauan paparan radiasi dan kontaminasi udara dan permukaan di laboratorium IRM pada tahun 2016 tercantum pada Tabel 4, 5 dan 6.

Tabel 4. Data paparan radiasi di IRM

Bulan	Paparan radiasi γ ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)			
	Zona II / R-135	Zona II / R-136	Zonall / R-140	Zona III / R-143
Januari	7,180	0,050	0,450	7,450
Februari	6,300	0,050	0,350	4,180
Maret	6,450	0,050	0,520	4,400
April	6,460	0,050	0,450	200,0
Mei	14,500	0,050	0,350	200,0
Juni	15,700	0,050	0,400	200,0
Juli	15,200	0,050	0,350	200,0
Agustus	14,480	0,050	0,350	314,0
September	14,360	0,050	0,350	100,0
Oktober	14,430	0,050	0,570	220,0
Nopember	14,500	0,050	0,450	900,0
Desember	14,060	0,050	0,350	800,0

Tabel 5. Data hasil pemantauan kontaminasi udara di IRM

Bulan	Radioaktivitas di udara (Bq/m^3)	Zona II / R-135	Zona II / R-136	Zonall / R-140	Zona III / R-143
Januari	α (gross)	1,117	0,490	1,299	2,329
	β (gross)	1,373	0,855	1,751	3,524
Februari	α (gross)	1,104	0,605	0,943	2,174
	β (gross)	1,740	0,629	1,599	2,662
Maret	α (gross)	1,463	0,847	1,171	3,845
	β (gross)	2,028	1,323	1,688	3,677
April	α (gross)	1,188	0,976	1,255	3,031
	β (gross)	1,492	1,176	1,504	3,403
Mei	α (gross)	1,180	1,497	1,764	2,552
	β (gross)	1,315	1,718	1,769	3,202
Juni	α (gross)	1,521	1,617	1,670	3,146
	β (gross)	1,695	1,716	2,138	3,402
Juli	α (gross)	1,671	1,490	1,768	2,997
	β (gross)	1,979	1,514	2,116	3,267
Agustus	α (gross)	1,512	1,692	1,689	3,134
	β (gross)	2,241	2,184	2,118	3,358
September	α (gross)	1,707	1,188	2,085	2,397
	β (gross)	2,115	1,627	2,292	3,340

Oktober	α (gross)	1,224	0,839	1,674	3,220
	β (gross)	1,368	0,944	2,005	4,331
Nopember	α (gross)	1,588	1,170	2,090	2,590
	β (gross)	1,922	1,157	2,158	3,038
Desember	α (gross)	0,829	1,014	1,062	1,912
	β (gross)	1,115	1,266	1,915	3,056

Tabel 6. Hasil pemantauan kontaminasi permukaan di IRM

Bulan	Radioaktivitas di permukaan lantai (Bq/cm ²)	Zona II / R-135	Zona II / R-136	Zona III / R-140	Zona III / R-143
Januari	α (gross)	0,000	0,000	0,000	0,000
	β (gross)	0,017	0,021	0,037	0,221
Februari	α (gross)	0,000	0,000	0,000	0,000
	β (gross)	0,218	0,045	0,036	0,054
Maret	α (gross)	0,000	0,000	0,000	0,000
	β (gross)	0,077	0,045	0,025	0,023
April	α (gross)	0,000	0,000	0,000	0,000
	β (gross)	0,025	0,023	0,025	0,026
Mei	α (gross)	0,000	0,001	0,001	0,002
	β (gross)	0,035	0,018	0,018	0,028
Juni	α (gross)	0,001	0,001	0,003	0,014
	β (gross)	0,014	0,082	0,017	0,154
Juli	α (gross)	0,001	0,002	0,002	0,001
	β (gross)	0,015	0,015	0,013	0,093
Agustus	α (gross)	0,002	0,001	0,002	0,002
	β (gross)	0,056	0,064	0,128	0,473
September	α (gross)	0,002	0,001	0,003	0,002
	β (gross)	0,091	0,064	0,050	0,121
Oktober	α (gross)	0,005	0,002	0,001	0,002
	β (gross)	0,052	0,031	0,018	0,136
Nopember	α (gross)	0,001	0,002	0,001	0,001
	β (gross)	0,029	0,034	0,030	0,382
Desember	α (gross)	0,001	0,002	0,001	0,002
	β (gross)	0,025	0,032	0,019	0,305

Tabel 4,5,6 menunjukkan bahwa paparan radiasi tertinggi di IRM dari bulan Januari sampai dengan Desember 2016 sebesar 900 μ Sv/jam, radioaktivitas udara tertinggi untuk alfa sebesar 3,845 Bq/ m³ dan beta 4,331 Bq/m³. Untuk radioaktivitas permukaan tertinggi alpha sebesar 0,005 Bq/cm² dan beta sebesar 0,473 Bq/cm². Nilai tersebut masih berada dibawah nilai batas yang diizinkan (MPC) seperti yang terlihat pada Tabel1.

KESIMPULAN

Sistem pemantauan paparan radiasi dan kontaminasi daerah aktif IRM telah dikelola sesuai SOP Pemantauan Paparan Radiasi & Radioaktivitas Daerah Kerja di IRM dan di dokumentasikan sesuai dengan Program Jaminan Mutu PTBBN. Rekaman yang terkait dengan data Keselamatan Radiasi tersebut disimpan di Bidang Keselamatan dan Akutansi bahan Nuklir, terdiri dari LB pemantauan paparan radiasi, LB pemantauan radioaktivitas udara, dan LB pemantauan radioaktivitas permukaan lantai. LP ini kemudian digunakan sebagai bahan laporan keselamatan operasi IRM, inspeksi BAPETEN dan perizinan BAPETEN. Hasil pemantauan paparan radiasi dan kontaminasi udara serta permukaan di laboratorium IRM berada dibawah batas yang diizinkan (MPC) sehingga dapat disimpulkan bahwa daerah kerja IRM memenuhi persyaratan BKO yang tercantum dalam LAK. Hal ini sesuai dengan pasal 6 PP Nomor 33 tahun 2007 dan PP Nomor 54 tahun 2012.

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. PTBBN-BATAN, Laporan Analisis Keselamatan (LAK) Instalasi Radiometalurgi (IRM), Nomor Dok. KK32J009001, revisi 1, 2012.
4. BAPETEN, PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, Nomor 4, tahun 2013, tentang proteksi dan keselamatan radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir, 2013.
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.