

EVALUASI KESELAMATAN TERHADAP KEGIATAN OPERASI INSTALASI PTBBN TAHUN 2018

Nur Tri Harjanto

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

ABSTRAK

Evaluasi keselamatan terhadap kegiatan operasi di Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) dan Instalasi Radiometalurgi (IRM) PTBBN tahun 2018 telah dilakukan. Tujuan dari kegiatan evaluasi ini adalah untuk mengetahui apakah kinerja keselamatan yang dilakukan telah memenuhi peraturan/standard yang berlaku dan juga untuk mendapatkan masukan guna peningkatan sistem keselamatan ditahun-tahun mendatang. Kegiatan penelitian dan pengembangan elemen bakar untuk reaktor daya/riset yang dilakukan di Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) dan Uji paska iradiasi di Instalasi Radiometalurgi akan terus mengalami dinamika seiring dengan perkembangan teknologi PLTN dan kebijakan pemerintah dalam mempersiapkan adanya PLTN di Indonesia. Hal ini harus diikuti dengan peningkatan kinerja sistem keselamatan di IEBE dan IRM. Evaluasi ini dilakukan secara rutin tiap tahun karena adanya potensi bahaya radiasi maupun non radiasi dalam kegiatan operasi IEBE dan IRM. Potensi ini harus dicegah agar tidak terjadi insiden karena peralatan yang semakin tua, kondisi personil, juga adanya perubahan peraturan serta dinamika kegiatan itu sendiri. Metode yang dilakukan adalah dengan mengumpulkan data keselamatan yang meliputi perijinan instalasi dan personil, proteksi radiasi daerah kerja dan personil, serta lingkungan, peraturan/standard yang berlaku, kemudian mengevaluasi apakah data tersebut sesuai dengan peraturan dan standar keselamatan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa laju paparan radiasi- γ tertinggi 6,420 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ (IEBE) di bawah batas yang diijinkan (25 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$). Sementara itu, untuk IRM 300 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ masih berada dalam batas yang diijinkan yaitu yaitu 25 $\mu\text{Sv}/\text{jam} \leq D \leq 3000 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ (IRM zona III) Tingkat kontaminasi permukaan tertinggi di IEBE 0,181 Bq/cm^2 (α), dan di IRM 0,030 Bq/cm^2 (α) 3,620 Bq/cm^2 (β) berada dibawah (MPC Radioaktivitas α 0,37 Bq/cm^2 dan β 3,7 Bq/cm^2). Tingkat keradioaktifan udara di daerah kerja IEBE tertinggi 2,570 Bq/cm^3 α (gross), dan di IRM sebesar 10,224 Bq/m^3 . α (gross), keduanya masih di bawah batas yang diizinkan (20 Bq/cm^3), sedangkan Radioaktivitas β (gross) tertinggi IRM sebesar 13,381 Bq/m^3 , masih jauh di bawah batas yang diizinkan (200 Bq/m^3). Lepas keradioaktifan udara α (gross) ke lingkungan dari cerobong (*stack*) IEBE (α) 0,20 Bq/m^3 dan IRM 0,33 Bq/m^3 (α), 18,10 Bq/m^3 (β), masih di bawah batas yang diizinkan yakni 2 Bq/m^3 (α) dan 20 Bq/m^3 (β). Nilai batas Dosis (NBD) untuk pengendalian personil menunjukkan bahwa Dosis Ekuivalen Kulit (DEK) sebesar: 0,14 mSv dan DEST sebesar 0,62 mSv. jauh di bawah ambang batas DEK/DEST: 500 mSv /20 mSv. Hasil dari pemantauan WBC th 2018 menunjukkan bahwa tidak terdetek (tt) adanya radionuklida. Hasil analisa urine dosis terikat (H_E) terpantau sebesar 0,01-0,03 mSv masih di bawah NBD H_E (20 mSv). Untuk melatih dan menguji infra struktur dan peralatan kedaruratan telah dilakukan latihan penanggulangan kedaruratan baik di IRM maupun di IEBE. Selama tahun 2018 di IEBE maupun di IRM tidak terjadi kecelakaan yang berarti dan dengan demikian tercapai sasaran kinerja keselamatan IEBE dan IRM dengan *Zero Accident*

Kata Kunci : Evaluasi, Keselamatan, IEBE

PENDAHULUAN

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) memiliki dua instalasi penting yakni Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) dan Instalasi Radiometalurgi (IRM). Instalasi radiometalurgi adalah instalasi yang digunakan untuk uji pascairadiasi bahan bakar nuklir bekas dan bahan lainnya setelah keluar dari reaktor. Sementara itu, IEBE adalah instalasi

yang digunakan untuk melaksanakan pengembangan teknologi produksi bahan bakar reaktor daya, pengembangan teknologi bahan bakar reaktor riset, pengembangan bahan struktur dan dukung elemen bakar nuklir dan pengembangan teknologi daur ulang bahan bakar nuklir serta pemungutan gagal. Kedua instalasi tersebut didesain sedemikian rupa agar pengoperasian dapat berjalan dengan aman dan selamat dari bahaya radiasi dan kontaminasi bahan radioaktif serta bahan kimia dan bahan berbahaya lainnya yang digunakan dalam proses operasi.^[1]

Latar belakang Masalah

Evaluasi keselamatan dilakukan terhadap pengoperasian IEBE dan IRM. Dalam pengoperasiannya selain menggunakan bahan yang bersifat radioaktif (Isotop-isotop U dan juga hasil fisi merupakan bahan radioaktif), juga menggunakan bahan-bahan lain yang berbahaya dan beracun (B3). Dengan digunakannya bahan-bahan tersebut akan berpotensi mencederai (langsung maupun tidak langsung) personil bilamana tidak ditangani secara hati-hati dan tidak sesuai prosedur. Demikian juga halnya tempat/daerah kerja dan lingkungan dapat tercemar (terkontaminasi) oleh bahan-bahan tersebut sehingga dapat membahayakan personil yang berada di sekitarnya. Untuk pencegahan dari bahaya kontaminasi dan radiasi maka diperlukan sistem proteksinya, baik secara teknis maupun administratif. Secara teknis misalnya dengan desain fasilitas saat pembangunan yang mempertimbangkan segi keselamatan, pelaksanaan program pemantauan potensi bahaya, pengawasan (inspeksi/audit), penanggulangan bahaya dan lainnya. Secara administratif misalnya dari segi pemberlakuan peraturan/ketentuan keselamatan serta standar-standar yang relevan, organisasi pelaksana, prosedur-prosedur kerja yang harus dilaksanakan dan sebagainya. Dalam hal penggunaan bahan nuklir U yang bersifat radioaktif, potensi bahaya terhadap keselamatan radiasi merupakan sesuatu yang tidak dapat dihilangkan. Agar personil, daerah kerja dan lingkungan terhindar dari bahaya radiasi maka diperlukan sistem proteksi radiasi, baik yang didesain saat pembangunan fasilitas kerja (instalasi) maupun kegiatan yang harus dilaksanakan dalam operasi instalasi.

Tujuan Evaluasi Sistem Keselamatan

Kegiatan evaluasi sistem keselamatan ini dilakukan untuk mengetahui kinerja keselamatan yang telah dilakukan tahun 2018. Untuk mengetahui pencapaian kinerja keselamatan dan untuk mengetahui terpenuhinya peraturan/standard yang berlaku. Selain itu juga untuk mendapatkan masukan guna peningkatan sistem keselamatan ditahun-tahun mendatang. Evaluasi harus dilakukan secara periodik karena dengan berjalannya waktu maka tentu banyak perubahan yang terjadi baik dalam operasi/proses, perubahan

peraturan, dan juga standard keselamatan yang selalu berubah dan ditingkatkan serta peralatan yang semakin menua.

METODOLOGI

Metode yang dilakukan dalam evaluasi ini adalah :

1. Pengumpulan data perizinan yang meliputi Izin operasi, Izin personil PPR, Izin personil Bahan Nuklir, dan Izin Bekerja bagi Supervisor dan Operator.
2. Pengumpulan data Pemantauan yang meliputi Pemantauan daerah kerja, Pemantauan Personil Internal maupun Eksternal, dan Pemantauan Cerobong.
3. Pengumpulan Referensi dan Peraturan terkait batasan keselamatan dan operasi
4. Dilakukan evaluasi keselamatan baik secara administrasi maupun secara teknis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam evaluasi ini akan dilakukan baik yang bersifat administrasi maupun teknis terhadap sistem keselamatan instalasi, personil/pekerja, masyarakat maupun lingkungan hidup disekitar kegiatan operasi IEBE dan IRM

Evaluasi Administrasi Sistem keselamatan IEBE dan IRM

Agar IEBE-IRM dapat beroperasi secara legal maka harus mendapatkan ijin dari Bapeten Ijin tersebut meliputi ijin operasi instalasi dan bahan nuklir yang digunakan. Hasil evaluasi diketahui bahwa Status perizinan instalasi dan bahan nuklir yang dikeluarkan oleh BAPETEN di lingkungan IEBE dan IRM adalah sebagai berikut :

1. Izin Operasi Instalasi Nuklir untuk IEBE No. 477/IO/Ka-BAPETEN/25-X/2012 berlaku sampai dengan tanggal 24 Oktober 2022. Untuk IRM No. 473/IO/Ka-BAPETEN/29-XI/2011 berlaku sampai dengan 28 Nopember 2021.
2. IZIN PEMANFAATAN BAHAN NUKLIR (IPBN) untuk tujuan Penelitian dan Pengembangan (Litbang) sebagai berikut
 - a. IPBN No. 505/IB/DPIBN /12-I/2016 untuk Uranium alam berlaku terhitung mulai tanggal 15 Januari 2016 sampai dengan 11 Januari 2019 dan telah diperpanjang dengan IPBN No. 571/IB/DPIBN /4-II/2019 dari BAPETEN berlaku sampai dengan 3 Februari 2022. (IEBE)
 - b. IPBN No. 506/IB/DPIBN/12-I/2016 untuk Uranium deplesi berlaku terhitung mulai tanggal 12 Januari 2016 sampai dengan 11 Januari 2019 dan telah diperpanjang dengan IPBN No. 572/IB/DPIBN/4-II/2016 dari BAPETEN berlaku sampai dengan 3 Februari 2022. (IEBE)

- c. IPBN No. 563/IB/DPIBN/21-X/2018 dari BAPETEN untuk Thorium berlaku terhitung mulai tanggal 21 Oktober 2018 sampai dengan 20 Oktober 2021 (IEBE).
- d. IPBN No. 520/IB/DPIBN/21-X/2016 untuk Uranium diperkaya (< 20%) berlaku sampai dengan 20 Oktober 2019. (IEBE)
- e. IPBN No. 252/IB/DPIBN/29-XI/2016 untuk *Yellow cake* milik PTBBN (hibah dari PT. Petro Kimia Gresik) yang disimpan di IPLR-PTLR berlaku terhitung mulai 29 Nopember 2016 sampai dengan 28 Nopember 2021 (IEBE).
- f. IPBN di IRM telah diterbitkan oleh BAPETEN terdiri atas :
 - No. 513/IB/DPIBN/27-V/2016 untuk Uranium Diperkaya, berlaku sampai dengan tanggal 26 Mei 2019
 - No. 514/IB/DPIBN/27-V/2016 untuk Uranium Alam, berlaku sampai dengan tanggal 26 Mei 2019.
 - No. 515/IB/DPIBN/27-V/2016 untuk Uranium Deplesi, berlaku sampai dengan tanggal 26 Mei 2019.
 - No. 511/IB/DPIBN/27-V/2016 untuk Thorium berlaku sampai dengan tanggal 22 April 2019.

Selain tersebut diatas sesuai Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN No. 4 Tahun 2011 dan No. 6 Tahun 2016 bahwa setiap Pengurus maupun Pengawas Inventori Bahan Nuklir (PPIBN) diwajibkan memiliki Surat Izin Bekerja (SIB) yang dikeluarkan oleh BAPETEN^[2]. Saat ini personil PTBBN yang bertugas sebagai PPIBN pada MBA RI-E (IEBE) telah secara resmi memiliki SIB sebagai PPIBN sebanyak 9 personil dan MBA RI-F (IRM) memiliki SIB sebagai PPIBN sebanyak 5 personil dengan masa berlaku 28 Agustus 2021.

Evaluasi Teknis Sistem Keselamatan di IEBE dan IRM

a. Pemantauan Daerah Kerja

a.1. Laju Paparan Radiasi Daerah Kerja

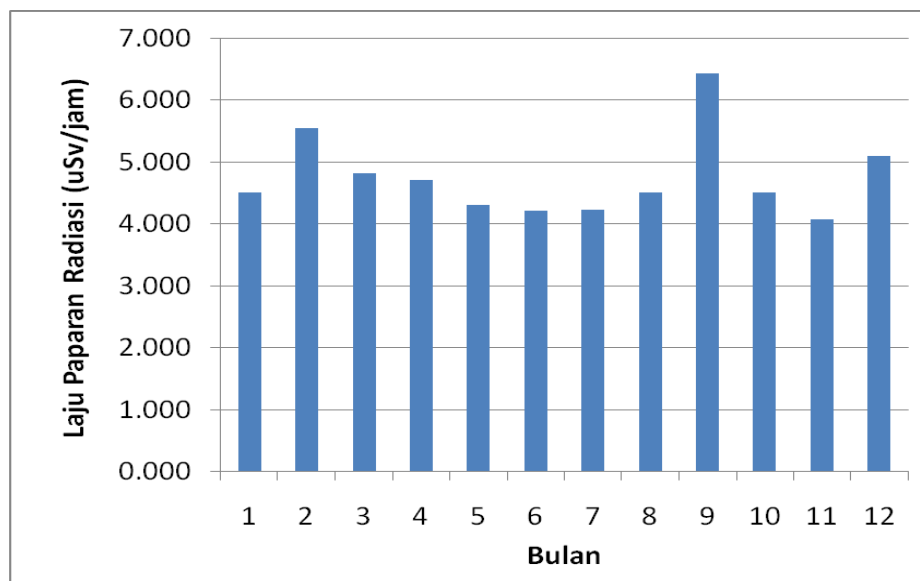
Pemantauan paparan radiasi- γ dilakukan di daerah kerja yang berpotensi terhadap bahaya radiasi baik di IRM maupun di IEBE, yaitu daerah kerja yang terdapat sumber radiasi (zat radioaktif dan bahan nuklir).

Hasil pemantauan paparan radiasi daerah kerja IEBE tertinggi perbulan pada tahun 2018 ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 1. Sedangkan IRM ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 2.

Tabel 1. Laju Paparan Radiasi- γ Tertinggi ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$) Daerah Kerja IEBE
Tahun 2018

Ruang / Posisi	Bulan Ke :											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
HR 05 GB A	0,31	0,35	0,29	0,29	0,187	0,28	0,235	0,305	0,348	0,252	0,291	0,350
GB B	0,35	0,59	0,35	0,30	0,210	0,31	0,250	0,324	0,485	0,292	0,378	0,378
GB C	0,49	0,35	0,25	0,27	0,38	0,28	0,236	0,273	0,439	0,300	0,354	0,253
MK A	0,38	0,34	0,32	0,24	0,35	0,23	0,239	0,389	0,356	0,346	0,354	0,426
MK B	3,70	4,44	3,70	3,84	3,75	3,43	2,910	3,170	2,790	2,580	2,590	2,900
MK C	0,17	0,11	0,13	0,14	0,18	0,18	0,115	0,129	0,513	0,190	0,117	0,166
TS 1	0,15	0,12	0,14	0,18	0,17	0,13	0,105	0,224	0,262	0,154	0,156	0,163
TS 2	0,14	0,14	0,13	0,13	0,18	0,14	0,107	0,194	0,172	0,170	0,184	0,169
TR	0,15	0,15	0,14	0,14	0,17	0,10	0,115	0,124	0,237	0,114	0,221	0,143
HR 04 X	3,33	2,90	3,95	2,30	3,10	2,30	2,900	2,700	2,129	3,280	3,330	2,900
HR 22 A	0,17	0,13	0,12	3,10	0,14	0,13	0,118	0,157	0,176	0,130	0,117	0,133
HR 23 B	0,18	0,16	0,20	0,15	0,17	0,18	0,146	0,290	0,167	0,238	0,161	0,258
HR 24 C	0,25	0,36	0,44	0,25	0,33	0,25	0,250	0,301	0,234	0,315	0,233	0,289
HR 25 D	0,20	0,16	0,21	0,15	0,16	0,12	0,144	0,155	0,185	0,170	0,153	0,140
HR 36 R1	0,25	0,16	0,17	0,18	0,17	0,14	0,171	0,301	0,301	0,162	0,145	0,163
HR 36 R2	0,18	0,21	0,19	0,19	0,18	0,16	0,150	0,223	0,311	0,230	0,183	0,181
HR 40 R3	0,49	0,38	0,48	0,31	0,41	0,44	0,501	0,540	0,521	0,526	0,350	0,501
HR 39R4	4,50	5,55	4,81	4,71	4,31	4,22	4,232	4,510	6,420	4,500	4,070	5,101
HR 37 R5	0,19	0,17	0,26	0,15	0,18	0,17	0,141	0,250	0,208	0,450	0,178	0,220
HR 37 R6	0,15	0,16	0,17	0,16	0,17	0,14	0,201	0,327	0,210	0,378	0,145	0,211

GB: Glovebox FH: Fumehood MK: Meja Kerja A/B/C : Lokasi Pantau A/B/C

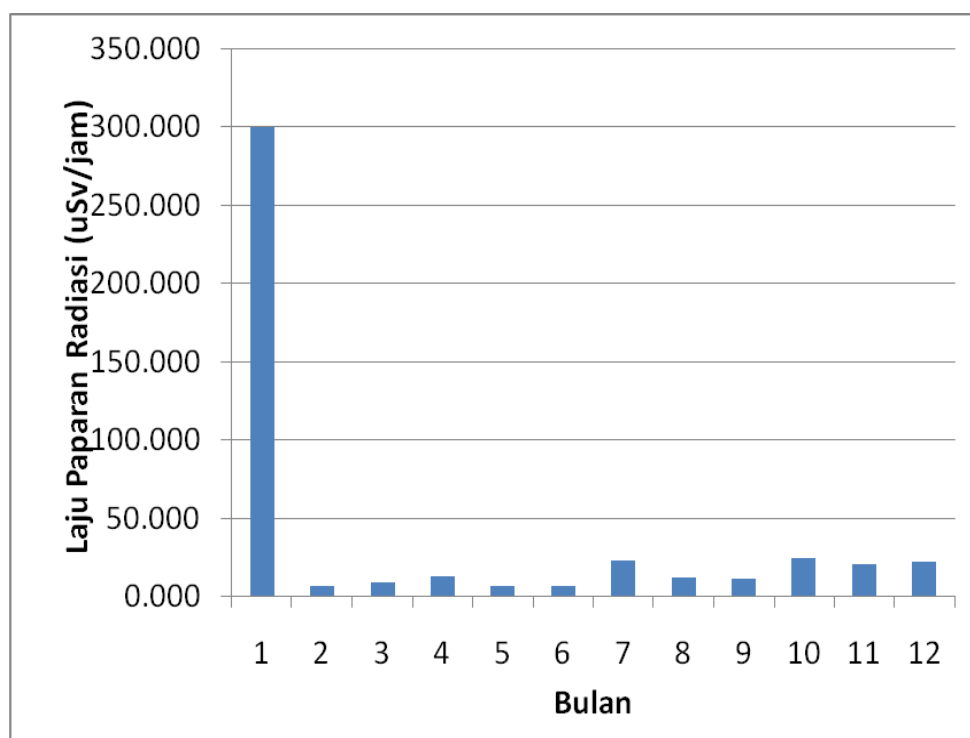


Gambar 1. Laju paparan tertinggi daerah kerja IEBE Tahun 2018

Hasil pemantauan mingguan selama tahun 2018 menunjukkan bahwa laju paparan radiasi- γ tertinggi di daerah kerja IEBE sebesar $6,420\mu\text{Sv/jam}$ pada bulan September di ruang HR 39 R4. Pantauan ini masih jauh di bawah batas yang diijinkan, yaitu dibawah $25\mu\text{Sv/jam}$ ^[2]. Hal ini menunjukkan bahwa pada bulan September aktivitas proses mengalami puncaknya. Beberapa lokasi seperti HR-04 (gudang Uranium) dan HR-05 (Ruang Peletisasi) memang menonjol paparan radiasinya dibanding lokasi lain. Hal ini disebabkan di lokasi tersebut tersimpan atau terdapat tumpukan Uranium yang menjadi sumber radiasi. Tingginya tingkat paparan- γ di HR-05 (di daerah meja kerja) karena terdapat tumpukan pelet-pelet UO_2 yang dalam proses pengerjaan. Adapun di ruangan lainnya hampir mendekati *background*.

Tabel 2. Laju Paparan Radiasi- γ Tertinggi ($\mu\text{Sv/jam}$) Daerah Kerja IRM Tahun 2018

Ruang / Zona	Bulan Ke :											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
121 A (II)	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,062	0,050	0,040	0,053	0,113	0,116
121 B (II)	0,04	0,05	0,06	0,05	0,07	0,45	0,067	0,050	0,040	0,053	0,131	0,121
134 FH (II)	3,00	0,20	0,70	0,80	2,00	1,4	1,172	0,650	8,38	1,617	0,462	1,628
135 FH (II)	7,10	7,00	9,00	12,80	6,80	7,00	23,47	12,70	10,24	24,885	20,559	22,575
135 M (II)	7,00	0,18	1,00	1,00	1,01	0,95	1,720	2,73	11,50	3,308	2,195	3,623
136 FH (II)	0,20	0,17	0,19	0,22	0,19	0,13	0,241	0,130	0,25	0,284	0,158	0,315
136 M (II)	0,05	0,50	0,20	0,18	0,11	0,95	0,112	0,060	0,050	0,063	0,127	0,128
140 A (II)	0,05	0,07	0,08	0,25	0,09	0,09	0,084	0,050	0,040	0,053	0,103	0,105
140 B (II)	0,05	0,07	0,08	0,10	0,09	0,08	0,090	0,040	0,050	0,053	0,105	0,105
140 C (II)	0,05	0,07	0,08	0,09	0,091	0,08	2,650	0,050	0,040	0,042	0,110	0,116
140 GB (II)	0,42	0,15	0,13	0,63	0,27	0,11	1,087	0,080	0,070	0,315	0,158	0,110
143 A (III)	0,19	0,19	0,15	0,75	0,11	0,13	0,125	0,120	0,190	0,158	0,147	0,179
143 B(III)	300	4,70	50	9,80	4,80	5,10	2,350	1,540	2,10	1,470	1,785	1,974
143 C(III)	30	0,40	2,50	1,20	1,20	1,10	1,135	0,330	0,320	0,945	0,525	0,788
Batasan (MPC)	Daerah tidak aktif (zona I)			Daerah Radiasi rendah (zona II)				Daerah radiasi tinggi (zona IV)				
Tingkat radiasi (D)	Background			$7,5 \leq D \leq 25 (\mu\text{Sv/jam})$				$D \geq 3000\mu\text{Sv/jam}$				



Gambar 2. Laju paparan tertinggi daerah kerja IRM Tahun 2018

Hasil pemantauan laju paparan radiasi daerah kerja IRM periode Tahun 2018 dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil pemantauan menunjukkan bahwa laju paparan radiasi- γ tertinggi di daerah kerja IRM pada bulan Oktober yaitu sebesar $300\mu\text{Sv/jam}$ berada di R 143B masih berada dalam batas yang diijinkan yaitu $25\mu\text{Sv/jam} \leq D \leq 3000\mu\text{Sv/jam}$. Laju Paparan radiasi yang tinggi tersebut disebabkan karena di daerah tersebut terdapat drum limbah hasil dekontaminasi dan kegiatan perbaikan. Pada minggu ke- IV Januari 2018 limbah tersebut telah dipindahkan ke ruang penyimpanan sementara limbah padat/ R-013 sebelum dikirimkan ke PTLR

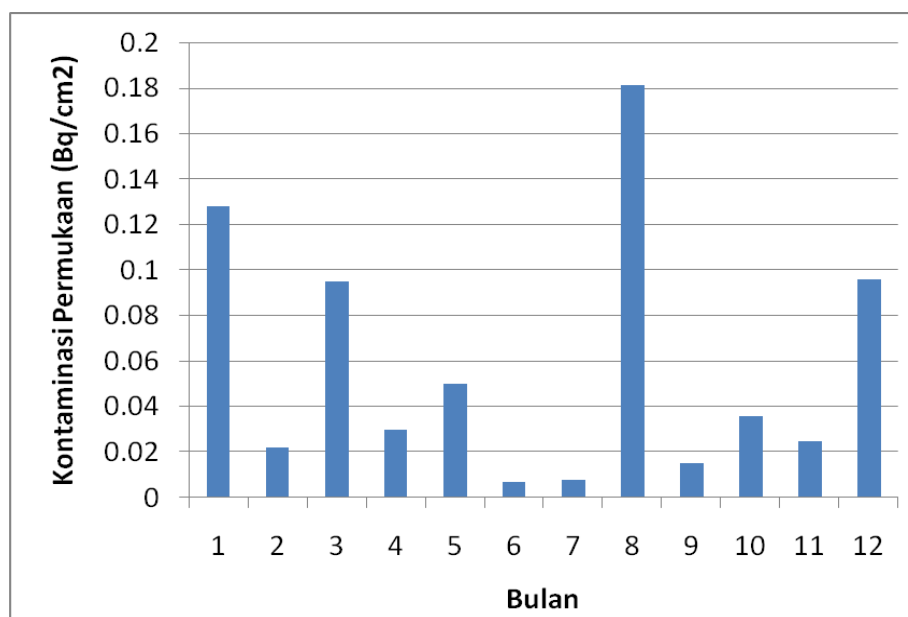
a.2. Kontaminasi Permukaan Daerah Kerja

Pemantauan kontaminasi permukaan dilakukan di daerah kerja yang berpotensi terjadinya kontaminasi. Pemantauan di IEBE dilakukan di ruang yang berpotensi terjadinya kontaminasi Uranium, yaitu Ruang Peletisasi (HR-05), Gudang Uranium (HR-04), PCP (HR-36), Ruang Uji Metalografi (HR-22), Ruang Uji Fisika Kimia (HR-23), dan Ruang Kimia Analisis (HR-24) yang kemungkinan terkontaminasi dari percikan larutan.

Hasil pemantauan kontaminasi permukaan daerah kerja IEBE tertinggi Tahun 2018 ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 3.

Tabel 3. Tingkat Kontaminasi Permukaan (Bq/cm²) Daerah Kerja Tertinggi IEBE Tahun 2018

Ruang/ Posisi	Bulan ke :											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	α	α	α	α	α	α	α	α	α	α	α	α
HR 05 GB A	0,003	0,005	0,003	0,004	0,021	0,005	0,004	0,004	0,007	0,005	0,009	0,007
GB B	0,003	0,005	0,019	0,003	0,006	0,003	0,003	0,003	0,008	0,002	0,011	0,007
GB C	0,005	0,006	0,004	0,002	0,012	0,004	0,005	0,003	0,007	0,009	0,011	0,006
MK A	0,128	0,008	0,013	0,030	0,050	0,007	0,008	0,007	0,006	0,065	0,019	0,096
MK B	0,003	0,003	0,028	0,004	0,009	0,003	0,001	0,002	0,003	0,003	0,001	0,010
MK C	0,001	0,002	0,011	0,003	0,010	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,003	0,011
TS 1	0,003	0,001	0,004	0,003	0,006	0,002	0,001	0,003	0,002	0,002	0,005	0,008
TS 2	0,002	0,001	0,003	0,003	0,007	0,002	0,001	0,002	0,005	0,003	0,003	0,009
TR	0,004	0,004	0,010	0,004	0,004	0,002	0,003	0,003	0,005	0,005	0,003	0,009
HR 04 X	0,004	0,006	0,095	0,002	0,005	0,006	0,005	0,005	0,004	0,005	0,007	0,016
HR 22 A	0,001	0,001	0,015	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,011
HR 23 B	0,002	0,005	0,015	0,002	0,002	0,001	0,003	0,003	0,001	0,002	0,003	0,015
HR 24 C	0,003	0,007	0,006	0,003	0,005	0,003	0,004	0,005	0,003	0,005	0,005	0,011
HR 25 D	0,001	0,004	0,003	0,001	0,007	0,002	0,002	0,002	0,004	0,002	0,006	0,004
HR 36 S1	0,021	0,022	0,012	0,013	0,013	0,006	0,005	0,142	0,015	0,016	0,025	0,014
HR 36 S2	0,016	0,020	0,012	0,008	0,018	0,006	0,008	0,181	0,013	0,035	0,022	0,012
Batasan (MPC)	Daerah tidak aktif (zona I)				Daerah Radiasi rendah (zona II)				Daerah radiasi sedang (zona III)			
Radioaktivitas permukaan	Background				$\leq 0.37 \text{ Bq/cm}^2(\alpha)$				$\leq 3.7 \text{ Bq/cm}^2 (\alpha)$			
GB: Glovebox FH: Fumehood MK: Meja Kerja A/B/C : Lokasi Pantau A/B/C												



Gambar 3. Tingkat Kontaminasi Permukaan (Bq/cm²) Daerah Kerja Tertinggi IEBE Tahun 2018

Berdasarkan data pantau mingguan, diperoleh hasil bahwa tingkat kontaminasi tertinggi terdapat di lokasi meja kerja A HR-36 sebesar $0,181 \text{ Bq/cm}^2$ (α) dan terjadi pada bulan Agustus. Secara umum masih jauh di bawah batas yang diijinkan yakni $3,7 \text{ Bq/cm}^2$ (α)^[3].

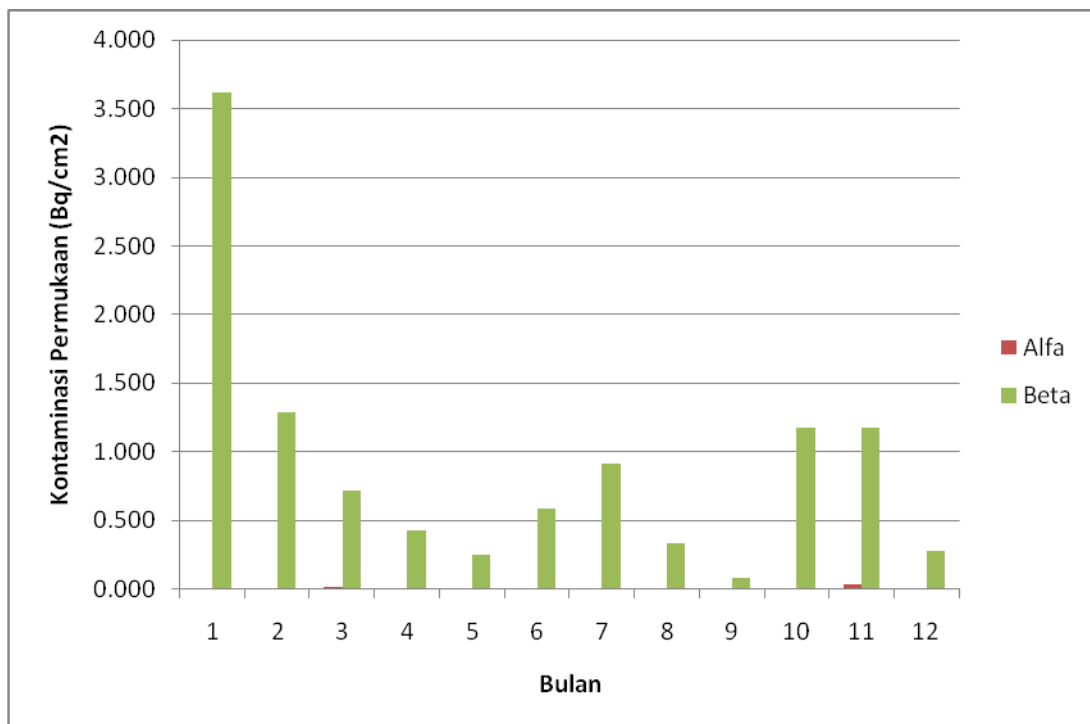
Pemantauan kontaminasi permukaan di IRM dilakukan di daerah kerja yang berpotensi terjadinya kontaminasi. Pemantauan kontaminasi permukaan daerah kerja IRM dilakukan di R-143 maupun lantai sekitar *fumehood* seperti di R-135 dan R-136. Pemantauan kontaminasi juga dilaksanakan di R-140. Hasil pemantauan kontaminasi tertinggi permukaan daerah kerja IRM setiap minggu selama tahun 2018 ditunjukkan pada Gambar 5 untuk radioaktivitas α (gross) dan radioaktivitas β (gross). Sementara itu untuk radioaktivitas α (gross) permukaan daerah kerjadan pada Tabel 4, dan untuk radioaktivitas β (gross) permukaan daerah kerja pada Tabel 5.

Tabel 4. Tingkat Kontaminasi Permukaan α (Bq/cm²) Daerah Kerja Tertinggi IRM Tahun 2018

Ruang/ Posisi	Bulan ke :											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	α	α	α	α	α	α	α	α	α	α	α	α
135 FH(II)	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	Ttd	0,001	0,001	0,001	0,001	0,022	0,003
136 FH(II)	0,001	0,001	0,008	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,006	Ttd
140 A(II)	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	Ttd	0,001	0,002	0,001	Ttd	0,017	Ttd
140 B(II)	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	Ttd	0,001	0,002	0,001	Ttd	0,005	Ttd
140 C(II)	Ttd	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	Ttd	0,014	0,002
143A(III)	0,002	0,001	0,003	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,014	0,003
143 B(III)	0,002	0,001	0,002	0,001	0,003	0,002	0,003	0,001	0,001	0,002	0,030	0,005
143 C(III)	0,001	Ttd	0,001	0,001	0,001	ttd	0,002	0,001	0,001	0,001	0,010	0,003
Batasan (MPC)	Daerah tidak aktif (zona I)		Daerah Radiasi rendah (zona II) (zona II)			Daerah radiasi sedang (zona III)			Daerah radiasi Tinggi (zona IV)			
Radioaktivitas permukaan	Background		< 0,37 Bq/cm ² (α) < 3,7 Bq/cm ² (β/γ)			< 0,37 Bq/cm ² (α) < 3,7 Bq/cm ² (β/γ)			< 0,37 Bq/cm ² (α) < 3,7 Bq/cm ² (β/γ)			
	GB: Glovebox FH: Fumehood MK: Meja Kerja A/B/C : Lokasi Pantau A/B/C											

Tabel 5. Tingkat Kontaminasi Permukaan β (Bq/cm²) Daerah Kerja Tertinggi IRM Tahun 2018

Ruang/ Posisi	Bulan ke :											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β
135 FH(II)	0,009	0,043	0,008	0,011	0,012	0,004	0,015	0,037	0,027	0,010	0,132	0,019
136 FH(II)	0,013	0,022	0,007	0,009	0,010	0,020	0,005	0,047	0,012	0,007	0,039	0,064
140 A(II)	0,143	0,012	0,013	0,018	0,187	0,005	0,028	0,341	0,018	0,011	0,262	0,163
140 B(II)	0,014	0,037	0,016	0,012	0,012	0,004	0,010	0,075	0,015	0,014	0,028	0,149
140 C(II)	0,077	0,055	0,093	0,026	0,003	0,004	0,010	0,130	0,007	0,008	0,031	0,154
143A(III)	0,074	0,093	0,063	0,032	0,063	0,075	0,216	0,079	0,049	0,046	0,118	0,284
143 B(III)	3,620	1,286	0,715	0,427	0,255	0,586	0,914	0,339	0,080	1,175	1,810	0,280
143 C(III)	0,116	0,189	0,089	0,157	0,025	0,057	0,015	0,037	0,027	0,846	0,386	0,246
Batasan (MPC)	Daerah tidak aktif (zona I)			Daerah Radiasi rendah (zona II)			Daerah radiasi sedang (zona III)			Daerah radiasi Tinggi (zona IV)		
Radioaktivitas permukaan	Background			< 0,37 Bq/cm ² (α) < 3,7 Bq/cm ² (β/γ)			< 0,37 Bq/cm ² (α) < 3,7 Bq/cm ² (β/γ)			< 0,37 Bq/cm ² (α) < 3,7 Bq/cm ² (β/γ)		
	GB: Glovebox FH: Fumehood MK: Meja Kerja A/B/C : Lokasi Pantau A/B/C											



Gambar 4. Tingkat Kontaminasi Permukaan (Bq/cm²) Daerah Kerja Tertinggi IRM Tahun 2018

Dari hasil pemantauan radioaktivitas α (gross) permukaan daerah kerja IRM selama Tahun 2018 terdapat di R 143 posisi B pada bulan November sebesar $0,030\text{Bq/cm}^2$, berada jauh dibawah $0,37\text{ Bq/cm}^2$ (MPC Radioaktivitas α di permukaan daerah kerja zona III IRM), sedangkan Radioaktivitas β (gross) di permukaan tertinggi IRM selama Tahun 2018 terdapat di ruang 143 posisi B pada bulan Januari sebesar $3,620\text{Bq/cm}^2$, namun demikian berada dibawah $3,7\text{ Bq/cm}^2$ (MPC Radioaktivitas β di permukaan daerah kerja zona III IRM). Tingginya kontaminasi permukaan (β) tersebut dikarenakan hingga awal Januari 2018 masih ada kegiatan dekontaminasi *hot cell*.

Tingkat Keradioaktifan Udara Daerah Kerja

Pemantauan keradioaktifan udara di ruangan kerja dilakukan di daerah yang berpotensi terhadap bahaya kontaminasi (daerah kerja yang menangani Uranium dalam bentuk serbuk).

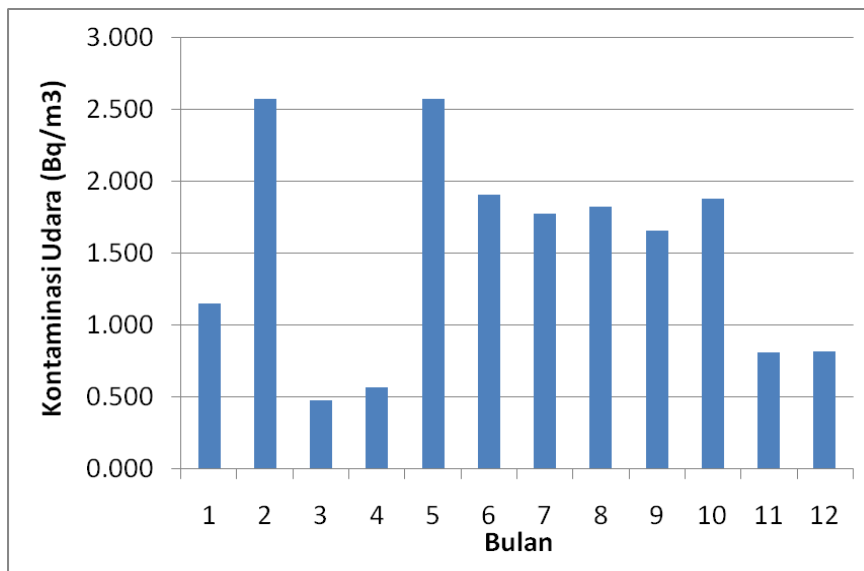
Pemantauan di IEBE dilakukan di HR-05 tempat kegiatan peletisasi yang menangani serbuk Uranium dan udara di gudang Uranium (HR 04). Ruangan di HR-05 yang cukup luas dipantau dengan empat buah pencuplik udara pada setiap sisi dinding. Hasil pemantauan tingkat keradioaktifan udara tertinggi daerah kerja IEBE tahun 2018 ditunjukkan pada Tabel 6 dan gambar 5.

Berdasarkan data pantauan di atas, tingkat keradioaktifan udara di daerah kerja IEBE masih jauh di bawah batas yang diijinkan, yaitu dibawah 20 Bq/cm^3 . Tingkat keradioaktifan udara tertinggi terdapat di HR 04 (Gudang) yang terjadi pada bulan Februari dan Mei yakni sebesar 2,570 dan 2,569 Bq/cm^3 . Catatan: Mengingat di IEBE sumber radiasinya berasal dari Uranium maka potensi bahaya radiasi interna adalah keradioaktifan $-\alpha$ sehingga untuk keradioaktifan $-\beta$ tidak diukur.

Tabel 6. Tingkat Keradioaktifan (Bq/m^3) Udara Tertinggi Daerah Kerja IEBE Tahun 2018

Ruang / Posisi	Bulan Ke :											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	α	α	α	α	α	α	α	α	α	α	α	α
HR 05 U1	1,14	1,45	0,48	0,566	2,510	1,735	1,216	1,789	1,583	0,978	0,598	0,668
U2	0,92	1,69	0,41	0,489	1,853	1,510	1,180	1,824	1,387	0,938	0,617	0,697
U3	0,51	1,23	0,40	0,350	2,167	1,775	1,417	1,588	1,412	0,996	0,657	0,715
U4	0,46	2,56	0,41	0,325	2,157	1,412	1,319	1,588	1,181	0,938	0,682	0,897
HR 04 U5	1,15	2,57	0,45	0,544	2,569	1,902	1,774	1,789	1,654	1,876	0,814	0,817
HR 08	0,13	1,20	0,16	0,350	0,420	0,310	0,715	0,815	0,654	0,910	0,710	0,416

HR 36	0,032	0,033	0,032	0,052	0,051	0,051	0,042	0,030	0,031	0,031	0,020	0,030
HR 40	0,064	0,056	0,057	0,051	0,052	0,050	0,053	0,053	0,045	0,041	0,041	0,041
HR 39	0,055	0,057	0,054	0,045	0,062	0,031	0,044	0,042	0,045	0,030	0,024	0,032
HR 37	0,030	0,223	0,033	0,031	0,071	0,021	0,230	0,021	0,025	0,012	0,011	0,021
Batasan (MPC)	Daerah tidak aktif (zona I)			Daerah Radiasi rendah (zona II)				Daerah radiasi sedang (zona III)				
Radioaktivitas udara	Background			$\leq 2 \text{ Bq/m}^3(\alpha)$				$\leq 20 \text{ Bq/m}^3(\alpha)$				



Gambar 5. Tingkat Keradioaktifan Udara Tertinggi Daerah Kerja IEBE Tahun 2018

Berdasarkan data pantauan di atas, tingkat keradioaktifan udara di daerah kerja IEBE masih jauh di bawah batas yang diijinkan, yaitu dibawah 20 Bq/cm^3 . Tingkat keradioaktifan udara tertinggi terdapat di HR 04 (Gudang) yang terjadi pada bulan Februari dan Mei yakni sebesar $2,570$ dan $2,569 \text{ Bq/cm}^3$. Catatan: Mengingat di IEBE sumber radiasinya berasal dari Uranium maka potensi bahaya radiasi interna adalah keradioaktifan $-\alpha$ sehingga untuk keradioaktifan $-\beta$ tidak diukur.

Pemantauan radioaktivitas udara di ruangan kerja IRM dilakukan di daerah yang berpotensi terhadap bahaya kontaminasi. Pemantauan radioaktivitas udara di ruangan kerja IRM dilakukan di R-140, R-136, R-135 dan R-143. Hasil pemantauan tingkat kontaminasi udara tertinggi setiap minggu pada periode Oktober s/d Desember 2018 ditunjukkan pada Tabel-7 untuk Radioaktivitas α (gross) dan Tabel-8 untuk Radioaktivitas β (gross). Selain itu juga dapat ditunjukkan pada gambar 6 di bawah. Dari hasil pemantauan Radioaktivitas α (gross) di udara tertinggi IRM selama Tahun 2018 terdapat di ruang 143 A pada bulan Oktober sebesar $10,224 \text{ Bq/m}^3$, namun demikian tidak melebihi 20 Bq/m^3 (MPC Radioaktivitas α di udara daerah kerja IRM), sedangkan Radioaktivitas β (gross) di udara

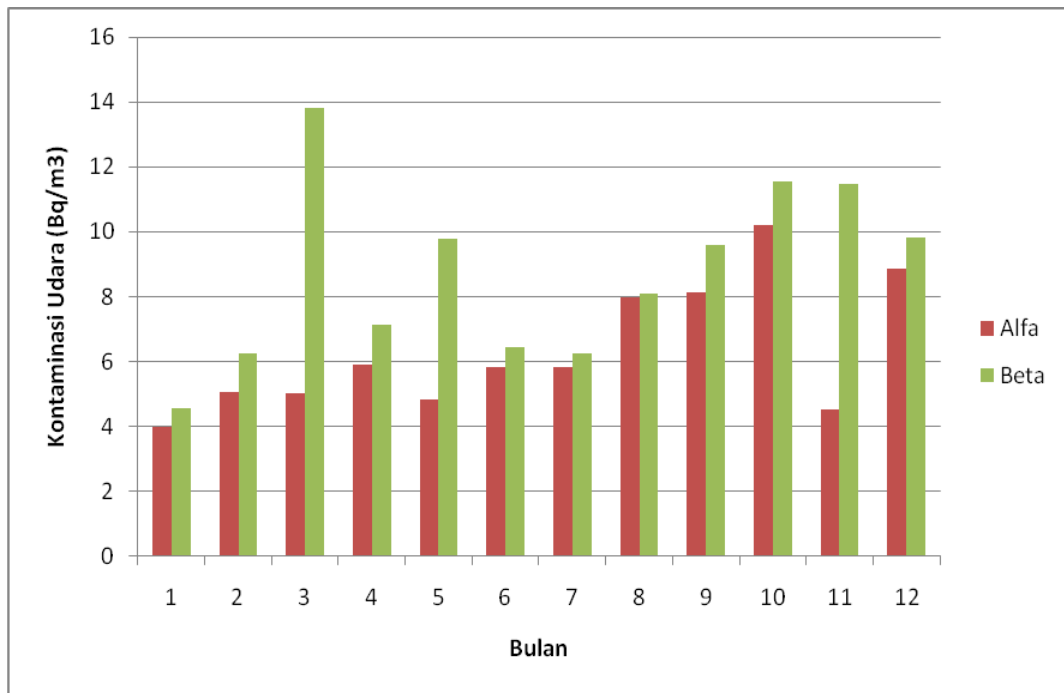
tertinggi IRM selama tahun 2018 terdapat di ruang 143 C pada bulan Maret sebesar $13,381 \text{ Bq/m}^3$, namun demikian tidak melebihi 200 Bq/m^3 (MPC Radioaktivitas β di udara Zona III daerah kerja IRM).

Tabel 7. Tingkat Keradioaktifan α (Bq/m^3) Udara Tertinggi Daerah Kerja IRM Tahun 2018

Ruang / Posisi	Bulan Ke :											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	α	α	α	α	α	α	α	α	α	α	α	α
135 FH (II)	1,45	2,15	2,32	2,390	4,473	2,809	4,550	5,006	4,331	3,559	3,751	8,858
136 FH (II)	0,96	1,13	1,99	1,875	2,558	2,280	2,978	2,432	3,498	3,030	3,809	3,511
140 A (II)	2,99	2,86	2,99	2,266	2,686	2,211	3,332	4,230	6,294	1,381	2,854	1,813
140 B (II)	1,10	1,40	1,43	1,605	1,057	1,175	3,130	1,200	2,707	0,990	2,120	4,143
140 C (II)	0,88	1,87	0,88	1,567	0,738	0,826	2,201	0,994	2,138	1,497	1,716	1,728
143 A (III)	3,99	3,59	3,90	4,833	4,821	5,823	5,835	7,977	8,149	10,224	3,842	4,083
143 B (III)	3,60	3,98	2,83	4,355	5,022	4,480	4,939	7,369	5,572	8,223	4,534	4,781
143 C (III)	3,16	5,05	5,02	5,910	3,368	4,543	4,418	4,147	6,156	5,906	4,348	4,077
Batasan (MPC)	(zona I)			(zona II)			(zona III)			(zona IV)		
Radioaktivitas Udara	Background			$< 20 \text{ Bq/m}^3 (\alpha)$ $< 200 \text{ Bq/m}^3 (\beta/\gamma)$			$\leq 20 \text{ Bq/m}^3 (\alpha)$ $\leq 200 \text{ Bq/m}^3 (\beta/\gamma)$			$> 20 \text{ Bq/m}^3 (\alpha)$ $> 200 \text{ Bq/m}^3 (\beta/\gamma)$		

Tabel 8. Tingkat Keradioaktifan β (Bq/m^3) Udara Tertinggi Daerah Kerja IRM Tahun 2018

Ruang / Posisi	Bulan Ke :											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β	β
135 FH (II)	1,94	2,60	3,60	3,746	9,784	3,543	5,761	6,062	5,265	4,398	4,818	9,835
136 FH (II)	1,22	1,59	2,44	2,370	5,171	2,530	3,387	3,095	4,016	2,418	3,370	3,816
140 A (II)	3,67	3,06	3,84	2,345	2,963	2,546	3,951	3,119	6,850	3,605	3,550	2,245
140 B (II)	1,39	1,79	4,41	1,749	1,868	1,339	2,072	1,463	3,673	2,593	2,694	4,048
140 C (II)	1,60	2,19	2,53	1,774	2,721	0,992	1,900	1,942	2,445	3,932	3,865	1,068
143 A (III)	4,57	4,48	11,45	5,668	5,228	6,443	6,264	8,095	9,601	10,224	7,204	5,128
143 B (III)	4,03	4,51	9,14	5,710	5,367	5,272	5,774	8,103	6,555	10,082	10,082	4,714
143 C (III)	3,87	6,25	13,81	7,120	3,632	4,849	4,295	5,268	7,527	11,566	11,657	6,869
Batasan (MPC)	(zona I)			(zona II)			(zona III)			(zona IV)		
Radioaktivitas Udara	Background			$< 20 \text{ Bq/m}^3 (\alpha)$ $< 200 \text{ Bq/m}^3 (\beta/\gamma)$			$\leq 20 \text{ Bq/m}^3 (\alpha)$ $\leq 200 \text{ Bq/m}^3 (\beta/\gamma)$			$> 20 \text{ Bq/m}^3 (\alpha)$ $> 200 \text{ Bq/m}^3 (\beta/\gamma)$		



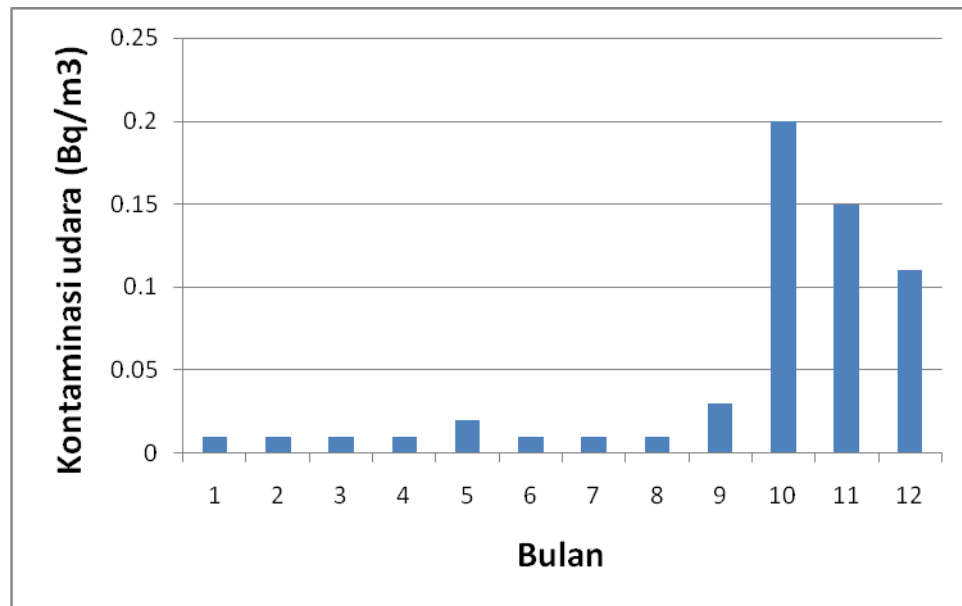
Gambar 6. Tingkat Keradioaktifan Udara Tertinggi Daerah Kerja IRM Tahun 2018

b. Pemantauan Tingkat Keradioaktifan Udara Buang

Pemantauan keradioaktifan udara buang IEBE dan IRM dilakukan di cerobong (*stack*), Hasil pemantauan tingkat keradioaktifan udara buang IEBE periode Januari – Desember 2018 ditunjukkan pada Tabel 9 dan Gambar 7.

Tabel 9 : Tingkat Keradioaktifan Udara Buang (*Stack*)(Bq/m³) IEBE Tahun2018

Keradioaktifan	Bulan ke/ Radioaktivitas (Bq/m ³)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
α	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,20	0,15	0,11
Batasan (MPC)	2 Bq/m ³ (α)											



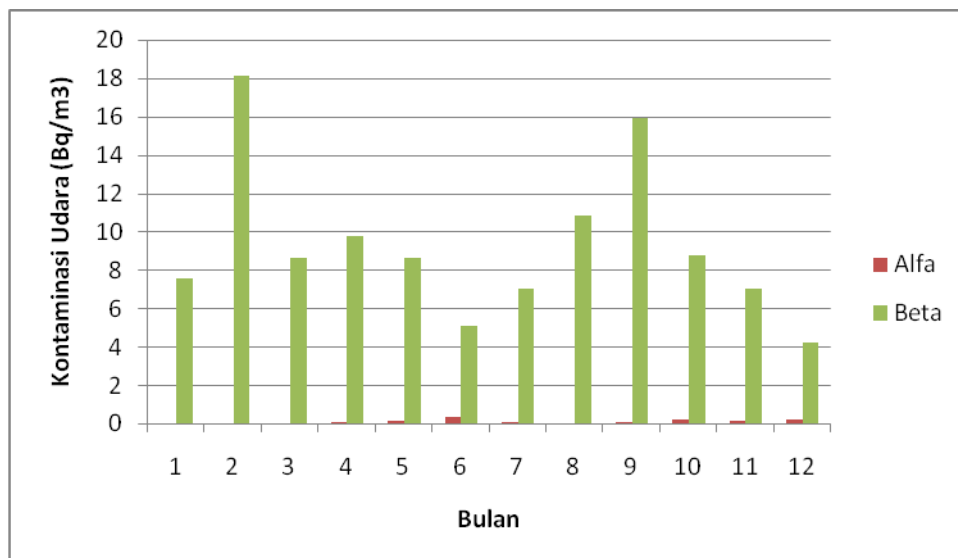
Gambar 7. Radioaktivitas Udara Buang Tertinggi IEBE selama Tahun 2018

Dari data pemantauan terlihat bahwa lepasan keradioaktifan udara ke lingkungan dari cerobong (*stack*) IEBE tertinggi yakni sebesar 0,20 Bq/m³ (α) dan rata rata sepanjang tahun 2018 sebesar 0,05 Bq/m³ (α). Hal ini masih jauh di bawah batas yang diizinkan, yaitu dibawah 2 Bq/m³ (α).^[4]

Hasil pemantauan tingkat keradioaktifan udara buang IRM periode Januari – Desember 2018 ditunjukkan pada Tabel 10 dan Gambar 8.

Tabel 10: Tingkat Keradioaktifan Udara Buang (*Stack*)(Bq/m³) IRM Tahun 2018

Keradioaktifan	Bulan ke/ Radioaktivitas (Bq/m ³)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
α	0,04	0,04	0,04	0,08	0,18	0,33	0,10	0,02	0,07	0,24	0,16	0,20
β	7,55	18,10	8,65	9,74	8,62	5,08	7,03	10,81	15,9	8,78	7,02	4,22
Batasan (MPC)	2 Bq/m ³ (α), 20 Bq/m ³ (β)											



Gambar 8. Radioaktivitas Udara Buang Tertinggi IRM selama Tahun 2018

Dari data pemantauan terlihat bahwa lepasan keradioaktifan udara ke lingkungan dari cerobong (*stack*) IRM tertinggi yakni sebesar 0,33 Bq/m³ (α) pada bulan Juni dan 18,10 Bq/m³ (β) pada bulan Februari. Hal ini masih di bawah batas yang diizinkan, yaitu dibawah 2 Bq/m³ (α) dan 20 Bq/m³ (β)^[4]

Dari hasil pemantauan kontaminasi dan paparan secara keseluruhan menunjukkan bahwa kegiatan operasi IEBE dan IRM selama tahun 2018 tidak memiliki dampak radiologi yang signifikan (dalam batas aman).

c. Data dosis Pekerja Radiasi

Pemantauan dosis radiasi untuk pekerja radiasi dilakukan terhadap dosis radiasi eksternal dan internal. Pemantauan dosis eksternal dari paparan radiasi di daerah kerja dilakukan juga terhadap pengunjung yang memasuki instalasi nuklir (IEBE dan IRM). Hasil pemantauan didokumentasikan ke dalam Kartu Dosis untuk setiap pekerja radiasi.

Pada periode pemantauan 2018 telah digunakan TLD personil pekerja radiasi di PTBBN sebanyak 158. TLD ini diberi kode warna berupa TLD seri-B untuk pemakaian Januari s/d Maret 2018, dan TLD seri-A untuk periode April s/d Juni 2018 dan digunakan secara bergantian pada setiap triwulan berikutnya.

Hasil pemantauan dosis radiasi eksternal dalam bentuk Dosis Ekuivalen Kulit (DEK) atau Hp(0,07) dan dosis Ekuivalen Seluruh Tubuh (DEST) atau Hp(10) dapat dilihat pada Tabel 11. Hasil pembacaan TLD seri B dan seri A untuk seluruh pekerja radiasi di PTBBN menunjukkan bahwa nilai tertinggi untuk DEK sebesar 0,14 mSv dan terjadi pada Triwulan III dan nilai tertinggi untuk DEST sebesar 0,62 dan juga pada Triwulan III. Hal ini

menunjukkan bahwa tidak ada personil yang menerima dosis eksterna melebihi NBD yang diperkenankan yakni $DEK = 500 \text{ mSv/tahun}$ dan untuk $DEST = 20 \text{ mSv/tahun}$.

Tabel11. Hasil pembacaan TLD

TW	TLD TERDETEKSI	Dosis Ekivalen Seluruh Tubuh DEST [Hp-10] (mSv)	Dosis Ekivalen Kulit DEK [Hp-0,07] (mSv)
I	15	0 - 0,05	0,03 - 0,12
II	5	ttd	0,03 - 0,05
III	18	0,04 - 0,62	0,03 - 0,14
IV	17	0,04 - 0,07	0,03 - 0,06
Nilai Batas Dosis (NBD) DEST [Hp-10]per tahun: 20 mSv NBD DEK[Hp-0,07] per tahun: 500 mSv			

Pemantauan dosis radiasi interna dilakukan secara in-vivo dan in-vitro, khususnya dilakukan terhadap pekerja radiasi yang berpotensi menerima dosis interna atau yang bekerja di daerah kontaminasi. Pemantauan dosis radiasi secara in-vivo dilakukan melalui pengukuran cacah radiasi menggunakan alat *Whole Body Counter* (WBC), sedangkan secara in-vitro dengan menganalisis urine pekerja radiasi. Kedua metoda pemantauan dosis interna tersebut dilaksanakan di PPIKSN dengan mengirim pekerja radiasi ke fasilitas WBC dan cuplikan urine. Hasil dari pemantauan WBC th 2018 menunjukkan bahwa tidak terdeteksi adanya radionuklida, sedangkan hasil analisa urine pada tahun 2018 dosis terikat (H_E) terpantau sebesar 0,01-0,03 mSv dan ini masih dibawah NBD H_E sebesar 20 mSv.

d. Latihan Kedaruratan Nuklir

Pada tahun 2018PTBBN telah melakukan latihan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir baik di IEBE maupun IRM masing masing 1 kali yang mengacu kepada Program Kesiapsiagaan Nuklir IEBE/ IRM. Untuk penanggulangan kedaruratan tingkat Kawasan Nuklir Serpong digunakan Buku Pedoman Umum Kesiapsiagaan Nuklir Tingkat PPTN - Serpong di KawasanPuspiptek, Revisi 2, Maret 2003.

KESIMPULAN

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa laju paparan radiasi- γ baik di IEBE maupun IRM masih dibawah ambang batas yang diijinkan. Tingkat kontaminasi permukaan tertinggi di IEBE maupun di IRM berada dibawah MPC. Tingkat keradioaktifan udara di daerah kerja IEBE dan IRM keduanya masih di bawah batas yang diizinkan baik untuk $\alpha(20 \text{ Bq/cm}^3)$ dan $\beta(200 \text{ Bq/m}^3)$. Lepas keradioaktifan udara α (gross) ke lingkungan dari cerobong (*stack*)

IEBE dan IRM masih dibawah batas yang diizinkan yakni 2 Bq/m^3 (α) dan 20 Bq/m^3 (β). Dosis Ekuivalen Kulit (DEK) dibawah ambang batas DEK/DEST: $500 \text{ mSv} / 20 \text{ mSv}$. Hasil dari pemantauan WBC th2018 menunjukkan bahwa tidak terdetek (tt) adanya radionuklida. Secara keseluruhan menunjukkan bahwa kegiatan operasi IEBE dan IRM selama tahun 2018 tidak memiliki dampak radiologi yang signifikan (dalam batas aman). Sasaran Kinerja Keselamatan PTBBN telah tercapai dengan 365 tanpa ada kecelakaan baik kecelakaan radiasi maupun non radiasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. PTBBN, Laporan Analisis Keselamatan IEBE, No. Dok. KK32 J09 002 Rev. 7, 2012.
2. PTBBN, Laporan Analisis Keselamatan IRM, No.Dok.: KK32 J09 001, Rev.1, 2012.
3. BATAN, Pedoman Keselamatan dan Proteksi Radiasi KNS, Rev.1, 2011.
4. Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013, tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir.
5. Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2014, tentang Batasan dan Kondisi Operasi Instalasi Nuklir Non Reaktor.
6. Peraturan Kepala BAPETEN No. 6 Tahun 2016 tentang Keamanan Sumber radioaktif.
7. Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2013, tentang Nilai batas radioaktivitas Lingkungan.
8. PTBBN, Program Jaminan Mutu Terintegrasi No. Dok. JM 01 002.