

PENGOLAHAN DATA PEMANTAUAN DI DAERAH RADIASI DAN KONTAMINASI IRM TAHUN 2018 BERBASIS KOMPUTER

Endang Sukesi I¹, Nur Yulianto Darojad²

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir
Badan Tenaga Nuklir Nasional, Setu, Banten, Indonesia, 15314
Kesi1969@gmail.com, antoni@batan.go.id

ABSTRAK

Kegiatan Pengolahan data pemantauan di daerah radiasi dan kontaminasi IRM tahun 2018 berbasis komputer TELAH dilakukan untuk memberikan informasi dan cara pengolahan data keselamatan yang lebih cepat, efisien dan efektif tentang besaran paparan, radioaktivitas alpha dan beta untuk daerah kerja kepada pekerja radiasi. Metoda yang dilakukan antara lain: pengambilan sampel di tempat yang sudah ditentukan sesuai SOP Pemantauan Daerah Kerja dan LAK, pencacahan sampel serta pengolahan data menggunakan perangkat lunak yang ada di antarmuka pada perangkat Alpha-beta Model 3030. Data pemantauan radiasi dan kontaminasi yang ditransfer ke dalam rekaman Lembar Bantu (LB), Lembar Pemantauan (LP) dan juga data ini bisa ditampilkan pada layar monitor sebelum pintu akses masuk ke dalam Laboratorium IRM. Setiap pekerja radiasi yang akan masuk dan bekerja di dalam laboratorium IRM, hendaknya melihat data hasil pemantauan ini sebagai peringatan dan informasi awal, apakah daerah kerja aman atau tidak. Jika terdapat paparan radiasi tinggi atau radioaktivitas alpha beta yang tinggi/melebihi MPC, maka pekerja radiasi dapat meminta bantuan petugas keselamatan dan PPR untuk memastikan tentang keselamatan radiasi dan kontaminasi di dalam laboratorium. Rekaman LP selanjutnya diverifikasi oleh 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. Radioaktivitas udara tertinggi alpha beta berada di zona III ruang 143 (*service area*) dengan nilai tertinggi untuk alpha sebesar 10,224 Bq/m³ untuk beta sebesar 32,769 Bq/m³. Nilai ini masih di bawah nilai batas yang diijinkan yaitu ≤ 20 Bq/m³ untuk alpha dan ≤ 200 Bq/m³ untuk beta. Radioaktivitas alpha permukaan lantai tertinggi berada di zona II R 135 sebesar 0,022. Radioaktivitas permukaan lantai tertinggi beta berada di zona III ruang 143 (*service area*) sebesar 1,752 Bq/cm². Walau begitu nilai ini juga masih jauh di bawah nilai batas yang diijinkan yaitu 0,37 - 3,7 Bq/cm² untuk alpha dan 3,7 - 37 Bq/cm² untuk beta. Hasil kegiatan pengolahan data pemantauan radioaktif tahun 2018 berbasis komputer disimpulkan bahwa nilai paparan dan radioaktivitas permukaan serta udara di Laboratorium IRM masih berada di bawah Nilai Batas yang diijinkan dan memenuhi Batasan Kondisi Operasi IRM yang tercantum dalam LAK

Kata kunci : sampling, pengolahan data, radioaktif, radiasi, kontaminasi

ABSTRACT

Computer based Monitoring data processing activities in the radiation and contamination area of IRM at 2018 have been carried out to provide information and manner of safety data processing can be faster, more efficient and effective on the amount of exposure, work area radiation of alpha and beta radioactivity to radiation workers. The methods carried out include: sampling the sample at a designated location according to the SOP for Monitoring the Work Area and LAK, sample counting and data processing using software available at the interface on the Alpha-beta Model 3030 device. Radiation and contamination monitoring data transferred

into Record of Support Sheet (LB), Monitoring Sheet (LP) and also this data can be displayed on the monitor screen before the access door enters the IRM Laboratory. Every radiation worker who will enter and work in the IRM laboratory, should look at the monitoring data as a warning and preliminary information, whether the work area is safe or not. If there is a high radiation exposure or high alpha beta radioactivity / exceeds the MPC, the radiation worker can ask the help of safety officers and the PPR to ensure radiation safety and contamination in the laboratory. The LP record is then verified by the PPR, then approved by the Head of the Sub-Division of Work Safety and Radiation Protection. LP records are submitted to the Head of BKKABN to be used as material for IRM operations reports and BAPETEN inspection needs for IRM licensing. The highest air radioactivity of alpha beta is in zone III of room 143 (service area) with the highest value of alpha is 10.224 Bq / m³, for beta of 32.769 Bq / m³. This value is still below the allowable limit value of ≤ 20 Bq / m³ for alpha and ≤ 200 Bq / m³ for beta. The highest alpha radioactivity of floor surface was in zone II , Room 135 is 0.022 Bq / cm². The highest beta radioactivity of floor surface was in zone III room 143 (service area) is 1.752 Bq / cm². Even so, this value is still far below the allowable limit value of 0.37 - 3.7 Bq / cm² for alpha and 3.7 - 37 Bq / cm² for beta. The results of computer-based radioactive monitoring data processing activities in 2018 concluded that the exposure value and surface and air radioactivity in the IRM Laboratory are still below the allowable Limit Value and meet the IRM Operating Conditions Limits listed in the LAK

Key Words : : *sampling, data processing, radioactive, radiation, contamination*

I. PENDAHULUAN

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 ^[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]. 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 ^[3]: Petugas Proteksi Radiasi; Pekerja Radiasi; dan/atau Pihak yang mendapat tanggung jawab khusus dari Pemegang Izin. 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 untuk melakukan pemantauan. 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^[3].

Pemantauan radioaktivitas di Instalasi Radiometalurgi meliputi 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^[4].

Dalam kegiatan ini yang dilakukan adalah pengelolaan data radioaktivitas alpha dan beta di udara dan permukaan daerah Zona II dan Zona III Instalasi Radiometalurgi dengan berbasis komputer. Pengelolaan data pemantauan radioaktivitas IRM di tahun-tahun sebelumnya dilaksanakan secara manual dan di tahun 2018 dilakukan dengan menggunakan software yang ada di interface pada perangkat Alpha-beta Model 3030. Kegiatan ini bertujuan agar pengolahan data dari pengambilan sample dan data radioaktivitas gross alpha dan gross beta di Instalasi Radiometalurgi (IRM) untuk keperluan pengukuran keselamatan dapat dilakukan cepat, akurat dan efisien dan data dapat diambil sewaktu-waktu karena data tersebut tersimpan di data logger komputer. Pengelolaan data berbasis komputer ini adalah untuk dapat mengatasi berkurangnya jumlah pegawai keselamatan dan hasil yang didapat lebih cepat untuk ditampilkan di layar monitor sebelum pintu akses masuk ke dalam Laboratorium IRM. Setiap pekerja radiasi yang akan masuk dan bekerja di dalam instalasi dan laboratorium IRM hendaknya melihat data hasil pemantauan ini sebagai peringatan dan informasi awal apakah daerah kerja yang akan dimasukinya aman atau tidak Sehingga tujuan dari pemantauan daerah kerja untuk menjamin keselamatan pegawai radiasi dari bahaya radiasi dan kontaminasi dapat tercapai. Pengelolaan data secara cepat ini juga untuk memberikan informasi dini kepada petugas keselamatan dan PPR untuk bertindak mengamankan daerah kerja apabila hasil yang didapatkan melebihi MPC (Tabel-1). Selain itu rekaman 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.

II. METODOLOGI

Peralatan dan bahan yang digunakan untuk sampling dan pencacahan unsur radioaktif di daerah kerja aktif IRM, antara lain: alat α β *sample counter*, ATOMTEX AT 1117 A, *air sampler*, filter udara, filter usap, dan sebagainya.

Sebelum dilakukan pengambilan sampel, terlebih dahulu disiapkan bahan atau alat yang dibutuhkan seperti: Alpha Beta Sample Counter Ludlum 3030 dan ATOMTEX AT 1117 A (ATOMTEX 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.

Pelaksanaan pengambilan sampel 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 hisapan manusia (*breathing zone*) manusia. Cuplikan radioaktivitas di permukaan lantai diambil menggunakan filter pencuplik, dengan luas usapan $\pm 100 \text{ cm}^2$. Cacah cuplikan udara daerah kerja IRM, radioaktivitasnya dihitung menggunakan persamaan:

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

Dimana A adalah Radioaktivitas di udara, C adalah laju cacahan, FK adalah Faktor Kalibrasi, d adalah debit hisap udara dan t adalah waktu hisap udara

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

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

Dimana A adalah Radioaktivitas di permukaan, L adalah luas permukaan yang diusap dan F adalah fraksi yang terambil

Di tahun 2018 pengolahan data tidak lagi dilakukan secara manual tetapi menggunakan program software yang ada di interface pada perangkat Alpha-beta Model 3030. Perangkat software Model 3030 Interface dihubungkan dengan alat cacah Ludlum 3030 (Gambar 2).



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



Gambar 2. Alat cacah Ludlum
3030

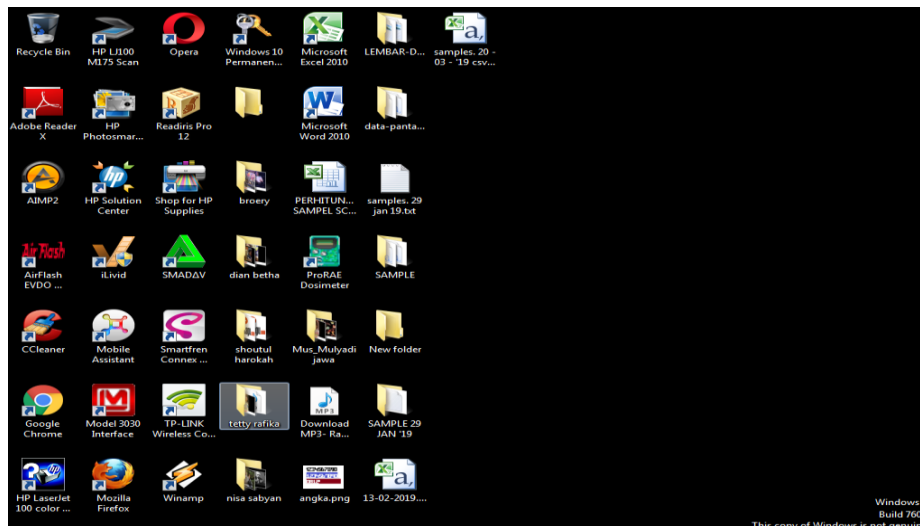
Kemudian dilakukan evaluasi dari hasil pemantauan daerah kerja IRM tersebut, sesuai dengan batasan (MPC) keselamatan radiasi

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):	α di alat /lantai: $< 0,37\text{Bq/cm}^2$	$\alpha : < 20 \text{ Bq/m}^3$
	$7,5 \mu\text{Sv/jam} \leq D \leq 25 \mu\text{Sv/jam}$	β di alat /lantai: $< 3,7\text{Bq/cm}^2$	$\beta : < 200 \text{ Bq/m}^3$
Daerah radiasi sedang (zona-III)	Laju dosis (D):	α di alat /lantai: $0,37 - 3,7 \text{ Bq/cm}^2$	$\alpha : \leq 20 \text{ Bq/m}^3$
	$25 \mu\text{Sv/jam} \leq D \leq 3000 \mu\text{Sv/h}$	β di alat /lantai: $3,7 - 37 \text{ Bq/cm}^2$	$\beta : \leq 200 \text{ Bq/m}^3$

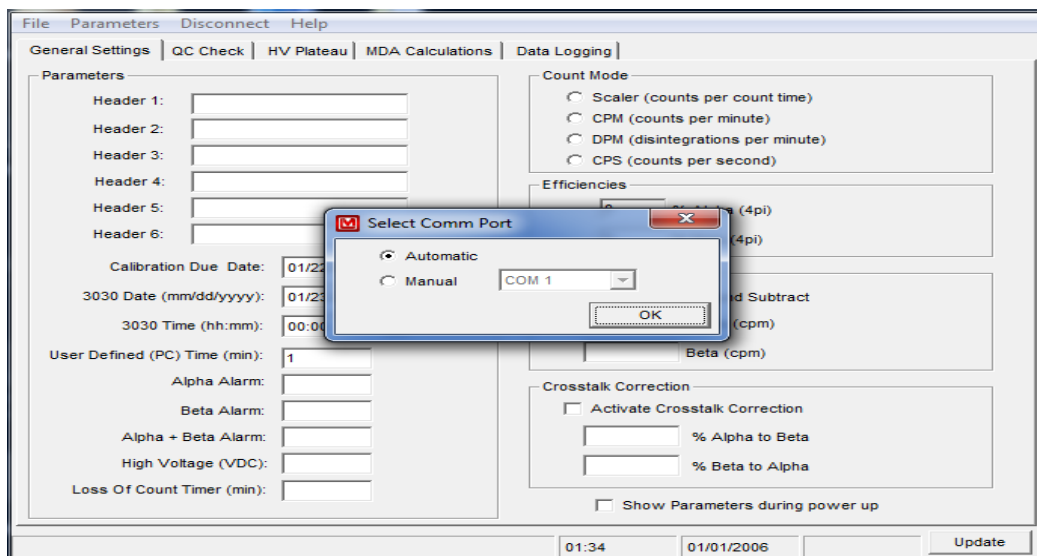
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemantauan paparan dan radioaktivitas di udara serta permukaan daerah kerja IRM dilakukan oleh petugas keselamatan dengan mengukur paparan dan mengambil cuplikan udara serta permukaan sesuai dengan lokasi yang telah ditentukan. Setelah cuplikan didapatkan maka pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yang ada di antarmuka pada perangkat *Alpha-beta sample counter Model 3030*.



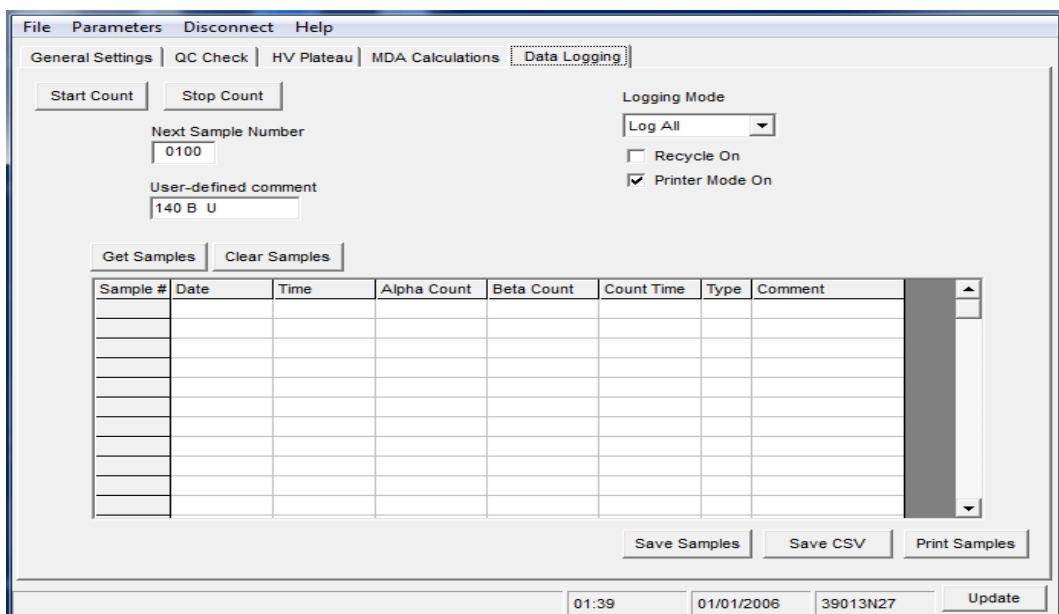
Gambar 3. Tampilan M 3030

Kemudian dipilih dan tekan icon Model 3030 Interface yang ada di display komputer (Gambar 3) maka akan ditampilkan layar yang memuat data logging (Gambar 4).



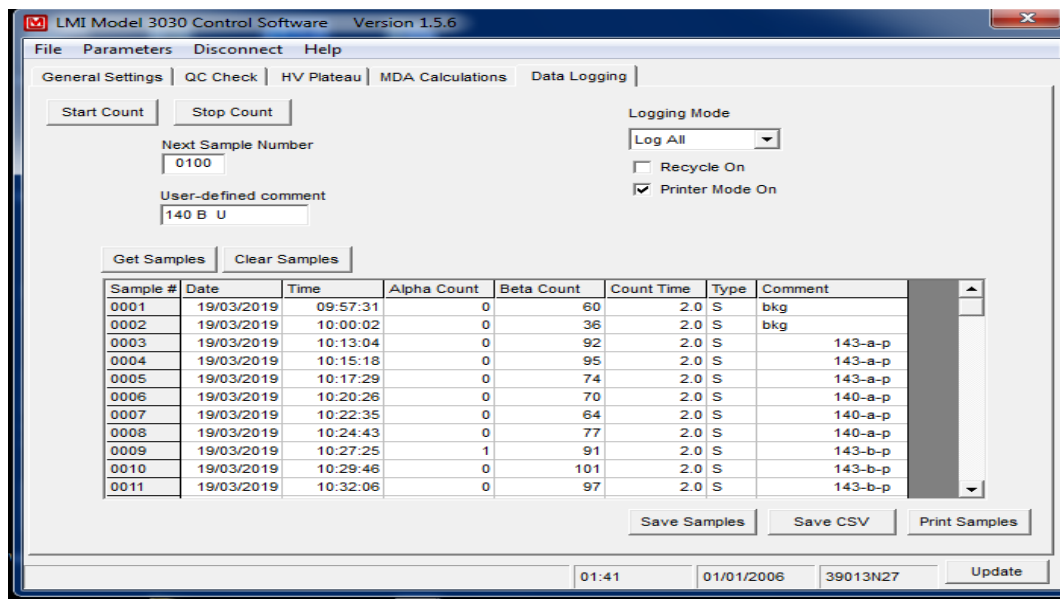
Gambar 4. Data logging

Tekan menu *automatic* (ok) kemudian tekan menu *data logging* sehingga tampil di layar seperti pada gambar - 5



Gambar 5. Tampilan siap cacah

Setelah tampilan seperti gambar -5 tampil maka masukkan sampel udara atau sampel permukaan ke dalam *sample holder*. Input nama sampel, update dan start count sebanyak 3 kali pengulangan.



Sample #	Date	Time	Alpha Count	Beta Count	Count Time	Type	Comment
0001	19/03/2019	09:57:31	0	60	2.0	S	bkg
0002	19/03/2019	10:00:02	0	36	2.0	S	bkg
0003	19/03/2019	10:13:04	0	92	2.0	S	143-a-p
0004	19/03/2019	10:15:18	0	95	2.0	S	143-a-p
0005	19/03/2019	10:17:29	0	74	2.0	S	143-a-p
0006	19/03/2019	10:20:26	0	70	2.0	S	140-a-p
0007	19/03/2019	10:22:35	0	64	2.0	S	140-a-p
0008	19/03/2019	10:24:43	0	77	2.0	S	140-a-p
0009	19/03/2019	10:27:25	1	91	2.0	S	143-b-p
0010	19/03/2019	10:29:46	0	101	2.0	S	143-b-p
0011	19/03/2019	10:32:06	0	97	2.0	S	143-b-p

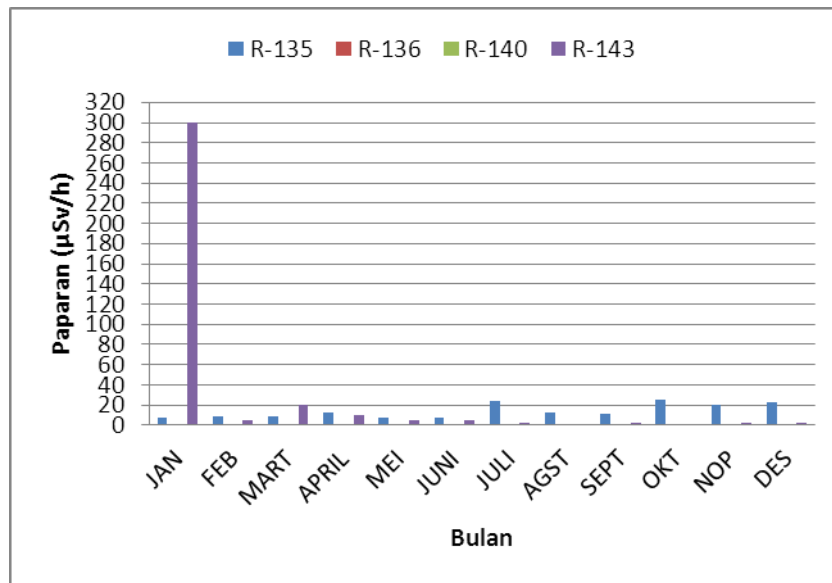
Gambar 6. Data

Semua data yang diperoleh diambil dengan *Get samples* dan simpan dalam dengan menekan icon “save CSV” untuk selanjutnya dilakukan perhitungan dengan rumus dari persamaan 1) dan 2) yang sudah di buat di program MS excel.

Selain untuk peringatan dini kepada pekerja radiasi , rekaman pengolahan data yang sudah diverifikasi oleh PPR akan digunakan untuk tindakan agar paparan dan radioaktivitas permukaan serta udara di Laboratorium IRM masih berada di bawah Nilai Batas yang diijinkan dan memenuhi Batasan Kondisi Operasi IRM yang tercantum dalam LAK. Apabila data pantau tersebut melebihi batasan (Tabel-1), PPR perlu untuk mendampingi pekerjaan tersebut dan akan memberikan langkah langkah yang diperlukan agar pekerja radiasi tersebut terhindar dari dosis melebihi nilai pembatas dosis. Langkah yang dilakukan bisa berupa pembatasan waktu kerja, jarak diatur sejauh yang bisa dilakukan dan memakai penahan radiasi (baju timbal). Langkah untuk menghindari bahaya kontaminasi adalah dengan memakai Alat Pelindung Diri (APD) yang sesuai, yaitu menghalangi jalan masuk lewat pernafasan, pencernaan dan permukaan kulit. Untuk Instalasi Radiometalurgi pembatas dosis nya adalah sebesar $17,5 \mu\text{Sv}$.^[7]

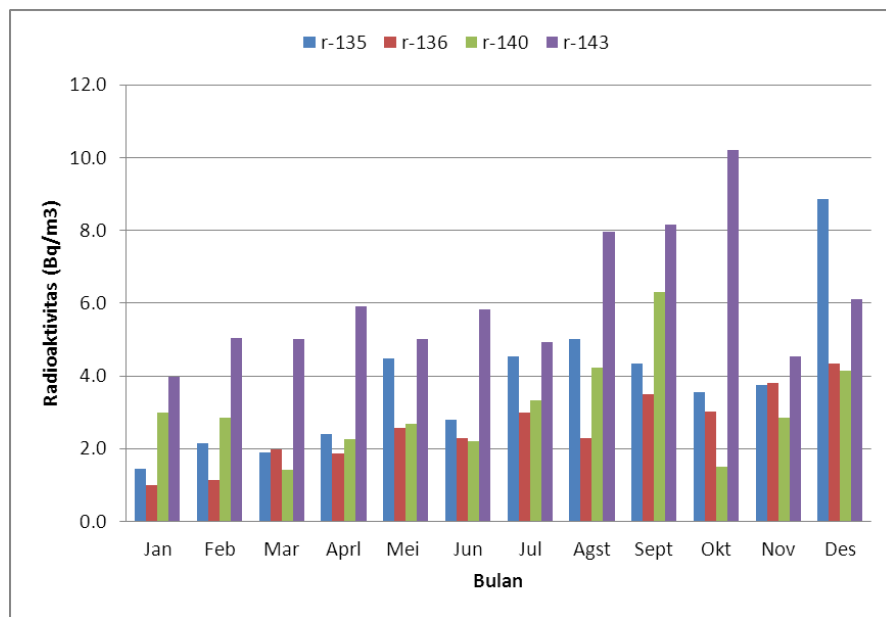
PPR juga meminta petugas keselamatan untuk memagar daerah tersebut dengan rantai kuning dan memberi rambu radiasi untuk diambil tindakan lebih lanjut. Rekaman yang sudah disetujui oleh Kepala Sub Bidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi diserahkan kepada Kepala BKKABN untuk digunakan sebagai bahan laporan pengoperasian IRM dan kebutuhan inspeksi BAPETEN dalam rangka perizinan IRM.

Hasil pengolahan data dari kegiatan pemantauan radiasi dan kontaminasi di IRM tahun 2018 dapat dilihat dari Gambar 1. Paparan tertinggi tahun 2018 adalah sebesar 300 Sv/jam pada bulan Januari di lokasi R-143 (*service area*), masih memenuhi MPC daerah kerja $25 \mu\text{Sv/jam} \leq D \leq 3000 \mu\text{Sv/h}$. Tetapi pekerja radiasi bekerja di daerah ini harus dengan pengawasan PPR. Bulan Februari sudah mengalami penurunan karena limbah yang berasal dari Hotcell sudah dipindahkan ke R-013.

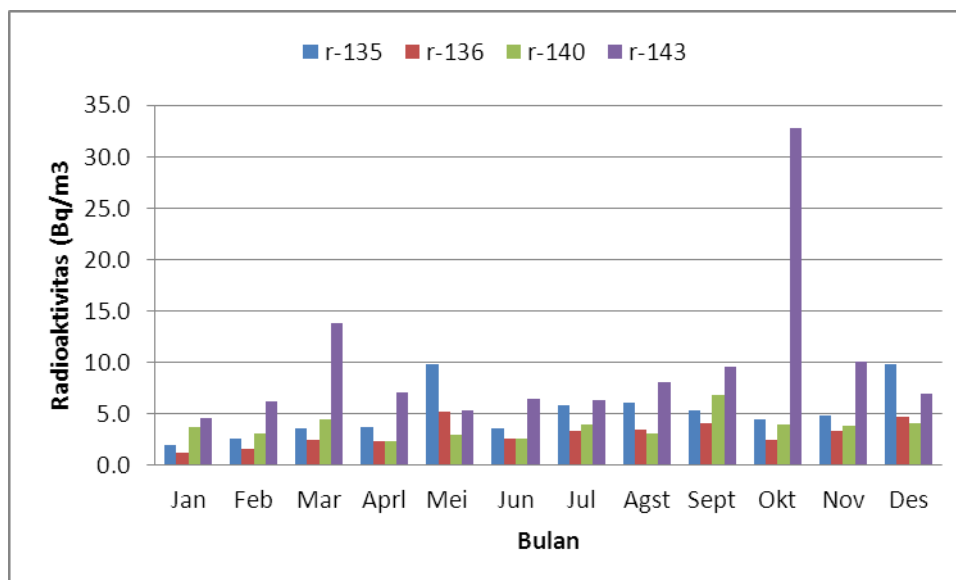


Gambar 1. Paparan radiasi γ laboratorium tertinggi di IRM tahun 2018

Radioaktivitas alpha dan beta tertinggi di udara laboratorium IRM dapat ditunjukkan pada gambar 2 dan gambar 3. Dari gambar tersebut, terlihat rata-rata radioaktivitas tertinggi alpha beta berada di zona III ruang 143 (*service area*) dengan nilai tertinggi untuk alpha sebesar $10,224 \text{ Bq/m}^3$ pada bulan Oktober untuk beta sebesar $32,769 \text{ Bq/m}^3$ pada bulan Oktober. Walau begitu nilai ini masih di bawah nilai batas yang diijinkan yaitu $\leq 20 \text{ Bq/m}^3$ untuk alpha dan $\leq 200 \text{ Bq/m}^3$ untuk beta.



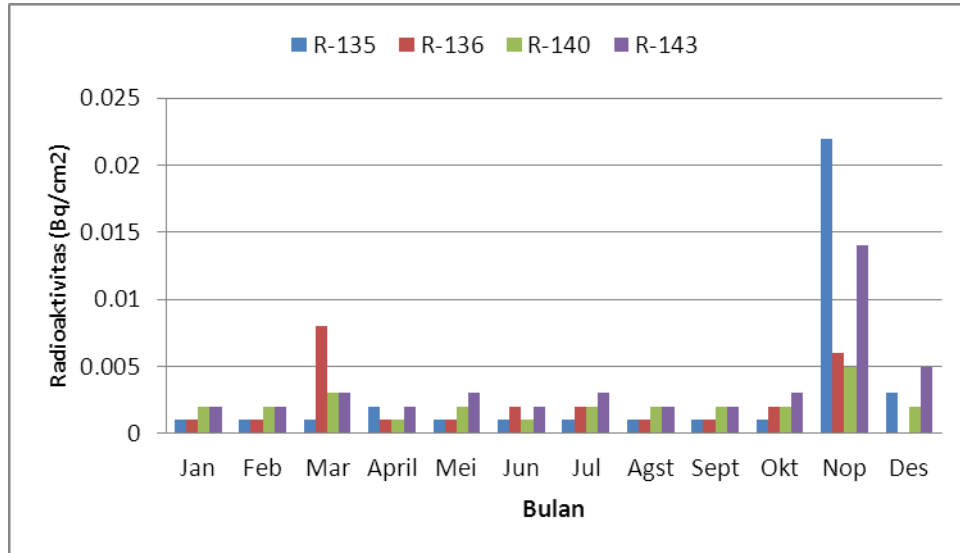
Gambar 2. Radioaktivitas α udara Gedung IRM tahun 2018



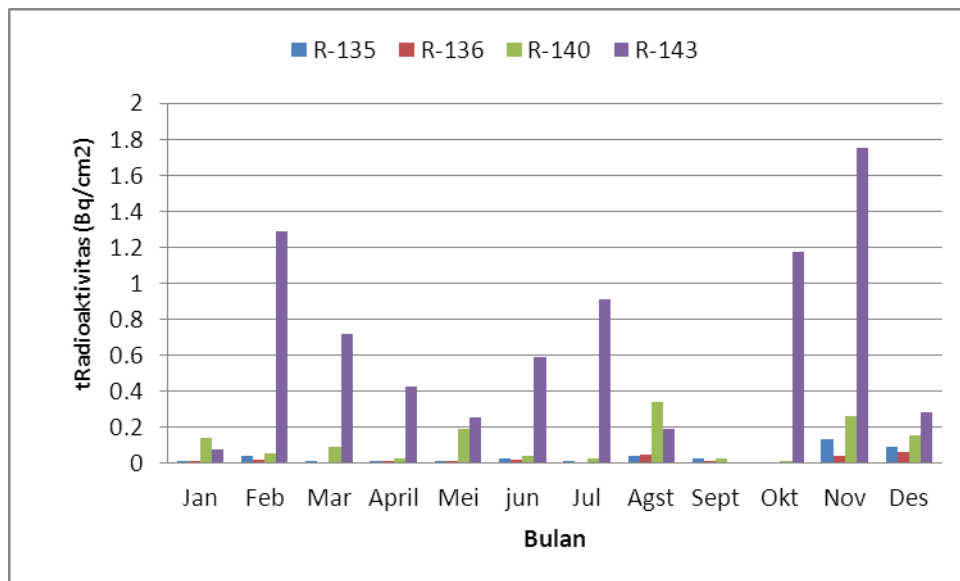
Gambar 3. Radioaktivitas β udara Gedung IRM tahun 2018

Radioaktivitas alpha dan beta tertinggi di permukaan lantai laboratorium IRM ditunjukkan dalam Gambar 4. Dan Gambar 5. Dari gambar tersebut dapat terlihat radioaktivitas alpha tertinggi berada di zona II R 135 pada bulan November sebesar $0,022 \text{ Bq/cm}^2$, Nilai ini masih dibawah nilai batas yang diijinkan yaitu $0,37 - 3,7 \text{ Bq/cm}^2$ untuk alpha. Radioaktivitas tertinggi beta dipermukaan lantai berada di zona III ruang 143 (*service area*) dan nilai tertinggi untuk beta sebesar $1,752 \text{ Bq/cm}^2$ pada bulan April.

Nilai ini masih pun masih jauh di bawah nilai batas yang diijinkan yaitu 3,7 - 37 Bq/cm² untuk beta.



Gambar 4. Radioaktivitas α permukaan lantai Gedung IRM tahun 2018



Gambar 5. Radioaktivitas β permukaan lantai Gedung IRM tahun 2018

IV. KESIMPULAN

Dari kegiatan pengolahan data pemantauan di daerah radiasi dan kontaminasi IRM tahun 2018 berbasis computer didapatkan hasil besaran paparan, radioktifitas alpha dan beta untuk daerah kerja yang lebih cepat dan akurat kepada pekerja radiasi sebagai peringatan dan informasi awal kepada pekerja radiasi. Selain itu hasil rekaman

tersebut dapat digunakan sebagai bahan laporan pengoperasian IRM dan kebutuhan inspeksi BAPETEN dalam rangka perizinan IRM

Paparan tertinggi tahun 2018 adalah sebesar 300 Sv/jam pada bulan Januari di lokasi R-143 (*service area*), masih memenuhi MPC daerah kerja $25 \mu\text{Sv/jam} \leq D \leq 3000 \mu\text{Sv/h}$. Radioaktivitas udara tertinggi alpha beta berada di zona III ruang 143 (*service area*) dan nilai tertinggi untuk alpha sebesar $10,224 \text{ Bq/m}^3$ untuk beta sebesar $32,769 \text{ Bq/m}^3$. Nilai ini masih 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 135 sebesar 0,022. Radioaktivitas permukaan lantai tertinggi beta berada di zona III ruang 143 (*service area*) sebesar $1,752 \text{ Bq/cm}^2$. Walau begitu nilai ini juga masih jauh di bawah nilai batas yang diijinkan yaitu 0,37 - 3,7 Bq/cm^2 untuk alpha dan 3,7 - 37 Bq/cm^2 untuk beta. Hasil kegiatan pengolahan data pemantauan radioaktif tahun 2018 disimpulkan bahwa nilai paparan dan radioaktivitas permukaan serta udara di Laboratorium IRM masih berada di bawah Nilai Batas yang diijinkan dan memenuhi Batasan Kondisi Operasi IRM 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
- [7]. 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.
- [8]. Instruction Manual Ludlum model 3030 Alpha Beta Sample Counter, Ludlum Measurement, Inc, 2011