

PEMANTAUAN RADIOAKTIVITAS UDARA RUANGAN KERJA IEBE SAAT SISTEM VENTILASI UDARA TIDAK BEROPERASI

MURADI, SRI WAHYUNINGSIH, SJAFRUDDIN

PUSAT TEKNOLOGI BAHAN BAKAR NUKLIR-BATAN
Serpong

Abstrak

PEMANTAUAN RADIOAKTIVITAS UDARA RUANGAN KERJA IEBE SAAT SISTEM VENTILASI UDARA TIDAK BEROPERASI. Telah dilakukan pemantauan radioaktivitas udara di ruangan kerja HR-05 dan HR-04 IEBE pada saat lebih dua hari (± 63 jam) setelah sistem ventilasi udara tidak beroperasi untuk mengetahui tingkat keradioaktifan udara. Pemantauan dilakukan dengan cara mencuplik udara melalui kertas filter udara Whatman-41 pada alat pencuplik udara. Cuplikan udara dicacah setiap 30 menit dengan alat cacah radiasi sintilasi ZnS(Ag) untuk mendapatkan hasil cacahan α -total (gross- α) dan pola peluruhan radioaktivitas udara. Ekstrapolasi grafik pola peluruhan radioaktivitas udara ke sumbu-y untuk mendapatkan aktivitas udara saat umur cuplikan udara 0 menit digunakan untuk menentukan tingkat radioaktivitas udara di ruangan kerja. Hasil pemantauan menunjukkan bahwa radioaktivitas udara didominasi oleh radioaktifan alamiah yang dibuktikan dengan penurunan aktivitas cuplikan udara yang cepat pada jam pertama sampai umur cuplikan 4 jam. Adapun konsentrasi radioaktivitas udara setelah terakumulasi selama lebih dari dua hari adalah kira-kira 15 Bq/m^3 dan 11 Bq/m^3 berturut-turut untuk ruangan kerja HR-05 dan HR-04. Hasil pemantauan tersebut masih dibawah batas konsentrasi radioaktivitas udara yang diizinkan di IEBE sebesar 20 Bq/m^3 sehingga dari segi keselamatan radiasi ruangan kerja dapat dimasuki walaupun sistem ventilasi udara mati.

Kata kunci :Radioaktivitas udara, radioaktivitas alamiah, radioaktivitas kontaminan, sistem ventilasi, konsentrasi radioaktivitas udara

Abstract

AIRBORNE RADIOACTIVITY MONITORING IN WORKPLACE OF IEBE WHEN VENTILATION SYSTEM OFF. Airborne radioactivity monitoring in workplace HR-05 and HR-04 of IEBE after around 63 hours ventilation system off has been done. The monitoring method was air sampling by using air sampler and filter paper of Whatman-41. Air sample on the filter was counted by ZnS(Ag) scintillation detector every 30 minutes of sample age to obtain α -gross counting and airborne radioactivity decay curve. Extrapolation of airborne radioactivity decay curve to y-axis was used to obtain airborne radioactivity concentration. Monitoring result shows that most airborne radioactivity is dominated by natural radioactivity. It is showed by decay curve of airborne radioactivity that activity of air sample decrease rapidly in first hour until sample age 4 hours. Airborne radioactive concentrations after 2 days accumulation were 15 Bq/m^3 and 11 Bq/m^3 respectively for HR-05 and HR-04. These radioactive concentrations are less than MPC of IEBE 20 Bq/m^3 , so, from view point of radiation safety the workplace can be entered although the ventilation system is off.

Keywords : Airborne radioactivity, natural radioactivity, contamination radioactivity, ventilation system, airborne radioactivity concentration

PENDAHULUAN

Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) adalah salah satu instalasi nuklir Pusat

Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN) yang digunakan untuk penelitian dan pengembangan bahan bakar nuklir reaktor tipe air berat (PHWR). Dengan demikian dalam operasional

IEBE digunakan bahan nuklir Uranium (U-alam dan U-depleksi) khususnya dalam bentuk serbuk *Yellow Cake* dan UO_2 yang dalam pemrosesannya dapat menyebabkan dispersi aerosol radioaktif ke udara ruangan kerja atau disebut kontaminasi udara^[1]. Di samping kontaminasi udara, radioaktivitas udara juga dipengaruhi oleh adanya zat-zat radioaktif alamiah yang terdapat di dalam dinding-dinding bangunan ruangan dan masuk ke udara ruangan kerja melalui emanasi unsur-unsur Radon dan Thoron yang merupakan gas mulia. Radon dan Thoron kemudian meluruh di udara menghasilkan anak luruhannya yang juga unsur-unsur radioaktif.

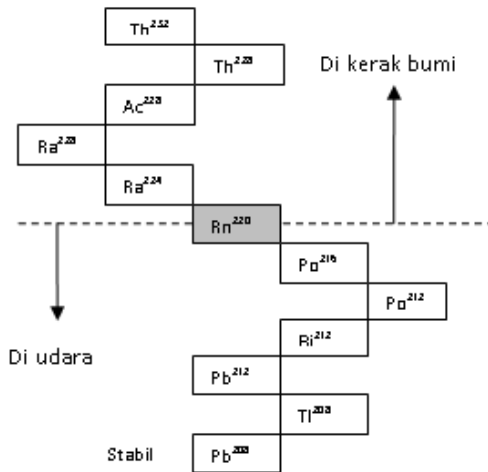
Untuk maksud keselamatan radiasi dalam bekerja dengan bahan radioaktif yang dapat menyebabkan kontaminasi ke udara (keradioaktifan udara), instalasi nuklir IEBE dilengkapi dengan sistem ventilasi udara yang berfungsi untuk membawa radioaktivitas udara tersebut ke cerobong. Namun pada setiap hari Jum'at sore sampai dengan Senin pagi (kira-kira 64 jam), sistem ventilasi udara IEBE dimatikan, dan semua peralatan yang berada ruang HR-05 juga HR-04 tidak beroperasi. Hal ini menyebabkan keradioaktifan udara di ruangan kerja tidak mengalir ke sistem pembuangan udara (cerobong) dan terakumulasi di dalam ruangan kerja. Akumulasi keradioaktifan udara di ruangan kerja diduga dapat menyebabkan bahaya radiasi interna bagi personil yang memasuki ruangan kerja, khususnya jika ada personil yang perlu masuk ke ruangan kerja pada hari Senin pagi sebelum sistem ventilasi udara difungsikan. Untuk maksud perlindungan bahaya radiasi interna bagi personil, maka perlu diketahui tingkat radioaktivitas udara ruangan kerja dengan cara dilakukan pemantauan radioaktivitas udara ruangan kerja pada saat sistem ventilasi tidak atau belum difungsikan. Jadi dari hasil pemantauan ini dapat diketahui apakah dengan terjadinya akumulasi radioaktivitas udara di ruangan kerja selama sistem ventilasi mati sekitar dua hari dapat membahayakan personil, khususnya dari bahaya radiasi interna jika personil tersebut harus masuk ke ruangan kerja untuk suatu keperluan, atau diperlukan proteksi tambahan seperti masker saat memasuki ruangan kerja.

TEORI

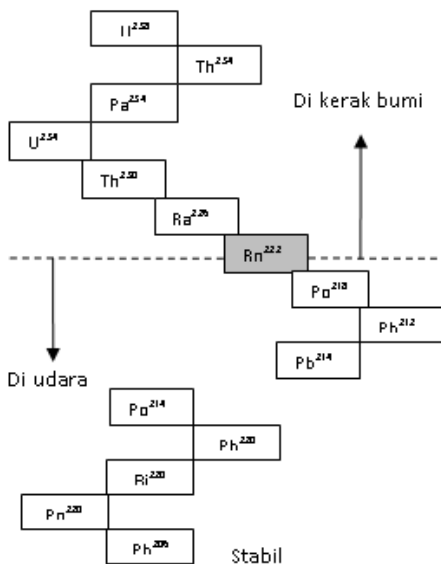
Radioaktivitas udara di dalam ruangan kerja instalasi nuklir IEBE dapat berasal dari kontaminasi zat radioaktif yang ditangani di IEBE, dalam hal ini U, dan berasal dari alam (radioaktivitas alamiah). Kontaminasi U ke udara ruangan kerja dapat terjadi karena adanya proses-proses kerja yang dapat menyebabkan dispersi partikulat-partikulat U ke udara. Di IEBE potensi kontaminasi udara cukup besar terjadi di ruangan HR-05 (ruangan kerja untuk kegiatan peletisasi) karena di ruangan kerja ini dilakukan kegiatan penanganan serbuk U dalam senyawa kimia UO_2 untuk membuat pelet bahan bakar nuklir. Berdasarkan proses kerjanya, di HR-05 dilakukan kegiatan pengayakan serbuk U, pencetakan pelet mentah dengan memberikan tekanan (pengepresan), proses sinter pelet mentah menjadi pelet matang (keramik), penggrindaan pelet untuk mendapatkan dimensi yang diinginkan atau dipersyaratkan, pencucian pelet dan pengeringan pelet.

Selain dari kontaminasi udara, radioaktivitas udara ruangan kerja juga berasal dari zat-zat radioaktif alamiah yang terkandung di dalam dinding-dinding bangunan ruangan. Sudah diketahui umum bahwa kerak bumi (misal tanah, semen dan pasir) mengandung bahan-bahan radioaktif alamiah, diantaranya yang dominan adalah U^{238} dan Thorium (Th^{232}). U dan Th yang sudah ada dalam kerak bumi sejak bumi ini terbentuk meluruh di dalam kerak bumi menjadi anak-anak luruhannya yang radioaktif hingga terbentuk unsur-unsur Radium (Ra^{226} dan Ra^{224}). Ra^{226} dan Ra^{224} inilah yang terkandung di dalam bahan bangunan atau dinding-dinding ruangan. Ra^{226} kemudian meluruh menjadi Rn^{222} (Radon) dan Ra^{224} meluruh menjadi Rn^{220} (Thoron) yang keduanya merupakan unsur radioaktif gas mulia dan dapat beremanasi ke udara melalui pori-pori dinding bangunan^[2]. Di udara Radon dan Thoron meluruh membentuk anak-anak luruhannya yang juga radioaktif dan pada umumnya mempunyai waktu paruh $T_{1/2}$ (*half-life*) yang relatif pendek, misalnya yang dominan di udara adalah Ra-B (Pb^{214} ; $T_{1/2}$: 26,8 menit) dan Ra-C (Bi^{214} ; $T_{1/2}$: 19,7 menit) dari turunan Radon serta Th-B (Pb^{212} ; $T_{1/2}$: 10,6 jam) dan Th-C (Bi^{212} ; $T_{1/2}$: 60,6 menit) dari turunan Thoron. Pada gambar-1 (a, b dan c)^[6] yang dicuplik dari www.ead.anl.gov/pub/doc/natural-decay-

series.pdf memperlihatkan peluruhan unsur radioaktif alamiah U dan Th sampai menjadi unsur-unsur stabil.



Gambar 1a: Peluruhan unsur radioaktif alamiah Th^{232} .

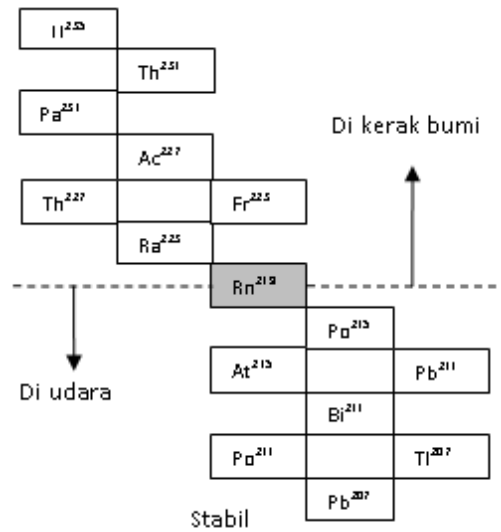


Gambar 1b: Peluruhan unsur radioaktif alamiah U^{238} .

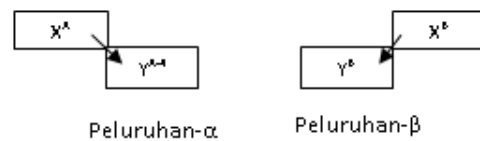
Dari ketiga unsur radioaktif alamiah tersebut (U^{235} , U^{236} dan Th^{232}) U^{236} dan Th^{232} yang dominan terkandung di alam (kerak bumi). U^{235} hanya 0,72% dari campuran isotop U yang ada di alam sedangkan U^{236} lebih dari 99%. Dengan demikian anak-anak peluruhan dari U^{236} dan Th^{232} yang dominan terkandung di udara.

Di udara kedua sumber radioaktifitas tersebut (kontaminan berupa partikulat U serta anak-anak peluruhan Radon dan Thoron) bercampur berupa partikulat-partikulat radioaktif udara dan pada saat udara dicuplik keduanya terkumpul pada kertas filter. Untuk

analisis cuplikan udara secara kuantitatif (pengukuran secara total atau gross)



Gambar 1c: Peluruhan unsur radioaktif alamiah U^{235} .
Keterangan gambar 1 (a,b dan c):
 Rn^{220} disebut juga sebagai Thoron (Tn^{220}).



Gambar 2

seperti yang dilakukan dalam pemantauan ini, diskriminasi keduanya dapat dilakukan dengan memanfaatkan perbedaan $T_{1/2}$ ^[5]. Cara diskriminasi ini tepat diterapkan dalam analisis cuplikan udara di IEBE karena $T_{1/2}$ unsur-unsur radioaktif alamiah sangat pendek jika dibandingkan unsur-unsur radioaktivitas kontaminan yang sangat panjang, yaitu U (U^{235} ; $T_{1/2}$: $7,1 \times 10^8$ tahun dan U^{238} ; $T_{1/2}$: $4,5 \times 10^9$ tahun). Dengan cara melihat pola peluruhan radioaktifitas udara dapat diketahui asal radioaktifitas udara yang dominan. Kurva peluruhan yang menurun tajam atau cepat menunjukkan peluruhan zat-zat radioaktif alamiah, sedangkan peluruhan kontaminan (U) sulit terlihat (kurva akan rata/datar) karena umur cuplikan sangat pendek dibandingkan $T_{1/2}$ dari U.

METODA

Bahan dan Peralatan:

Bahan yang digunakan untuk kegiatan ini adalah:

1. Kertas filter *cellulose* Whatman-41 berdiameter 5,8 cm dengan efisiensi 97% untuk debu industri (0,3 μm).
2. Gelas patri untuk melindungi cuplikan udara dari kontaminasi lain.
3. Pinset untuk mengambil filter dan gunting untuk preparasi cuplikan.

Peralatan yang digunakan untuk kegiatan ini adalah:

1. Alat pencacah radiasi α pada filter dengan detektor sintilasi ZnS(Ag) dengan nama produk PSR-8. Efisiensi alat pencacah adalah 41%.
2. Alat pencuplik udara dilengkapi dengan pengukur debit udara yang terhisap.
3. Alat pengukur waktu untuk mengetahui lama atau waktu pencuplikan udara.

Tata Kerja:

Cuplikan udara di ruang HR-05 IEBE diambil dengan menggunakan empat unit pencuplik udara berupa pompa hisap (*air sampler*). Alat ini dapat menunjukkan laju (debit) pencuplikan udara dalam satuan liter/menit. Pada kepala *air sampler* terdapat *filter holder* untuk memasang kertas filter. Kertas filter yang dipakai untuk pencuplikan adalah jenis kertas filter *cellulose* merek dagang Whatman-41 dengan efisiensi penyaringan lebih dari 97% untuk debu-debu industri. Pompa hisap udara berfungsi untuk mengalirkan udara dari ruang HR-05 ke kertas filter sehingga aerosol/partikulat radioaktif terkumpul atau terperangkap di kertas filter^[4]. Pencuplikan udara dilakukan selama 30 menit dengan laju pencuplikan antara 115 sampai 125 liter/menit. Selain di HR-05 juga dilakukan pencuplikan udara di HR-04 atau gudang U. Dari segi dimensi ruangan, HR-05 lebih luas daripada HR-04 atau dengan perkataan lain luas permukaan dinding dan lantai lebih besar di HR-05. Pengambilan cuplikan dilakukan pada hari Senin, setelah kira-kira 63 jam sistem ventilasi udara IEBE dimatikan (sistem ventilasi udara dimatikan hari Jum'at kira-kira pukul 16.00).

Segera setelah udara dicuplik, kertas filter dicacah dengan pencacah ZnS(Ag) untuk mengukur besarnya radioaktivitas- α pada filter. Pencacahan pertama dilakukan setelah umur cuplikan 30 menit untuk keperluan preparasi cuplikan. Pencacahan dilanjutkan kemudian setiap 30 menit sampai umur cuplikan 4 jam

untuk mengetahui pola peluruhan zat-zat radioaktif alamiah yang berwaktu paruh pendek. Penetapan umur cuplikan 4 jam didasari pada kenyataan bahwa radioaktivitas alamiah sebagian besar telah meluruh dan dapat diabaikan. Dengan demikian tingkat radioaktivitas setelah umur cuplikan 4 jam adalah radioaktivitas yang berasal dari kontaminan. Efisiensi pencacahan detektor sintilasi ZnS(Ag) adalah sebesar 41% sedangkan lama pencacahan adalah 5 menit.

Untuk mengetahui besarnya konsentrasi keradioaktifan udara pada cuplikan digunakan rumus sebagai berikut^[4]:

$$K = C / \epsilon_d \times M \times R$$

K adalah konsentrasi radioaktivitas udara dalam disintegrasi/detik atau Becquerel (Bq) per liter udara, C adalah besarnya cacahan dalam cacah/menit (cpm), ϵ_d adalah efisiensi detektor dalam %, M adalah lama pencuplikan dalam menit dan R adalah laju (debit) pencuplikan dalam liter/menit. Satuan dalam pengukuran tersebut diubah dalam satuan standar tingkat keradioaktifan udara, yaitu Bq/m^3 .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil cacahan yang telah diubah dalam satuan konsentrasi keradioaktifan udara untuk setiap umur cuplikan (mulai dari 30 menit sampai 270 menit). Konsentrasi radioaktivitas udara tersebut dibuat grafik konsentrasi radioaktivitas udara terhadap umur cuplikan seperti yang dapat dilihat pada Gambar-2. Pada gambar tersebut tampak bahwa pada menit-menit pertama (umur cuplikan 0 – 90 menit) radioaktivitas udara menurun tajam, kemudian landai pada umur cuplikan 90 – 240 menit. Umur cuplikan lebih besar dari 240 menit relatif rata. Berdasarkan pola grafik peluruhan tersebut dapat dipastikan bahwa yang dominan meluruh dalam cuplikan udara adalah berasal dari radioaktivitas alamiah yang dibuktikan dengan penurunan radioaktivitas pada cuplikan yang relatif cepat. Pada umur 0 – 90 menit merupakan peluruhan zat radioaktif alamiah berwaktu paruh pendek, sedangkan umur cuplikan menit ke 90 sampai 240 merupakan peluruhan zat radioaktif alamiah berwaktu paruh agak panjang. Dalam waktu umur cuplikan 4 jam, tingkat radioaktivitas udara hampir mendekati 0 dan dapat diabaikan. Ini menunjukkan bahwa tingkat radioaktivitas yang berasal dari alam (radioaktivitas alamiah) dapat

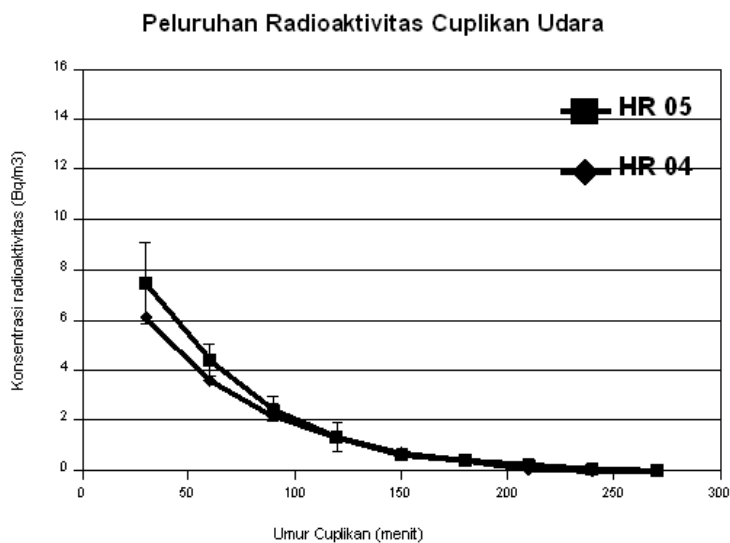
diabaikan. Sedangkan tingkat radioaktivitas udara yang terukur setelah umur cuplikan 4 jam dapat dianggap sebagai radioaktivitas udara yang berasal dari kontaminan. Hal ini ditunjukkan dengan kurva peluruhan yang rata karena waktu paruh dari zat radioaktif kontaminan sangat panjang. Dalam pemantauan ini tingkat radioaktivitas yang berasal dari kontaminan yang diambil dari hasil cacahan umur cuplikan 270 menit adalah antara 0,01 sampai 0,02 Bq/m³ (lihat Tabel-1).

Untuk mendapatkan tingkat radioaktivitas udara saat udara dicuplik dapat dilakukan dengan cara ekstrapolasi grafik peluruhan keradioaktifan udara ke arah sumbu-

y atau umur cuplikan 0 menit. Untuk mendapatkan data cacahan umur cuplikan 0 menit memang tidak dapat dilakukan dalam pemantauan ini karena selesai pencuplikan dibutuhkan waktu kira-kira 30 menit untuk mempersiapkan pencacahan cuplikan. Jadi dengan cara ekstrapolasi (Gambar 2) dapat diperkirakan besarnya radioaktivitas udara sebesar kira-kira 15 Bq/m³ untuk di HR-05 dan 11 Bq/m³ untuk di HR-04. Konsentrasi radioaktivitas udara masih di bawah nilai konsentrasi maksimum yang diizinkan (*MPC = Maximum Concentration Permissible*) di IEBE sebesar 20 Bq/m³.

Tabel 1: Peluruhan konsentrasi radioaktivitas udara pada cuplikan udara HR-05 dan HR-04 IEBE sekitar dua hari sistem ventilasi mati.

UMUR CUPLIKAN (MENIT)	RADIOAKTIVITAS UDARA RUANGAN KERJA						
	HR-05						HR-04
	CUP-1	CUP-2	CUP-3	CUP-4	RERATA	RERATA ± SD	CUP
30	9,88	6,91	6,47	6,66	7,48	7,48 ± 1,61	6,09
60	5,3	4,49	3,74	4,49	4,51	4,51 ± 0,64	3,59
90	3,17	2,3	2,02	2,26	2,44	2,44 ± 0,50	2,16
120	2,12	1,35	1,01	0,82	1,33	1,33 ± 0,57	1,3
150	0,61	0,86	0,48	0,64	0,65	0,65 ± 0,16	0,67
180	0,49	0,36	0,25	0,5	0,4	0,4 ± 0,12	0,39
210	0,26	0,29	0,13	0,14	0,21	0,21 ± 0,08	0,07
240	0,062	0,02	0,025	0,052	0,04	0,04 ± 0,02	0,013
270	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02 ± 0,01	0,01



Gambar 2. Pola peluruhan radioaktivitas udara di ruangan kerja HR-05 dan HR-04 IEBE. Garis tipis adalah garis ekstrapolasi.

KESIMPULAN

Dari hasil pemantauan ini dapat disimpulkan bahwa keradioaktifan udara ruangan kerja HR-05 dan HR-04 didominasi oleh keradioaktifan alamiah yang ditunjukkan dengan peluruhan yang cepat pada umur cuplikan 0 sampai 4 jam. Adapun keradioaktifan udara yang berasal dari kontaminan sangat kecil atau dapat diabaikan. Berdasarkan ekstrapolasi kurva peluruhan keradioaktifan udara ke sumbu-y dapat diperkirakan bahwa tingkat keradioaktifan udara di ruangan kerja HR-05 dan HR-04 adalah berturut-turut sekitar 15 Bq/m^3 dan 11 Bq/m^3 . Tingkat keradioaktifan udara tersebut masih di bawah MPC di IEBE sebesar 20 Bq/m^3 , sehingga dari segi keselamatan radiasi ruangan kerja tersebut dapat dimasuki walaupun keradioaktifan udara ruangan telah terakumulasi sekitar 63 jam.

DAFTAR PUSTAKA

1. BATAN-PTBN, Laporan Analisis Keselamatan IEBE, Rev.7, No. Dok: KK20J09003.
2. BLATS, H., Radiation Hygiene Handbook, Mc. Graw Hill Book Co. Inc., New York 1959.
3. IAEA, Radiological Surveillance of Airborne Contaminant in the Working Environment, Safety Series No. 49, IAEA, Vienna, 1978.
4. PTBN, Prosedur Pemantauan Radioaktivitas Udara Daerah Kerja IEBE, No. KK 12D11007.
5. SJAFRUDDIN, Penentuan Alarm Trip Point Sistem Pemantau Cerobong IEBE, Proseding Hasil Penelitian PTBN 2007, ISSN 0854-5561, Serpong, 2008.
6. WWW.ead.anl.gov/pub/doc/natural-decay-series.pdf.