

PENGUKURAN KONSENTRASI RADIOAKTIVITAS UDARA-LINGKUNGAN DI KAWASAN PUSAT PENELITIAN TENAGA NUKLIR PASARJUMAT, JAKARTA

Ekō Budi Jumpeno¹
Leny Darlem²
Sugito³

Abstrak

PENGUKURAN KONSENTRASI RADIOAKTIVITAS UDARA-LINGKUNGAN DI KAWASAN PUSAT PENELITIAN TENAGA NUKLIR (PPTN) PASAR JUMAT, JAKARTA. Pengukuran tingkat radioaktivitas udara lingkungan di kawasan PPTN Pasar Jumat telah dilakukan dengan mengambil sampel di 11 titik dalam kawasan yaitu 3 titik di kawasan Pusat Pendidikan dan Pelatihan (PUSDIKLAT), 3 titik di kawasan Pusat Pengembangan Bahan Galian dan Geologi Nuklir (P2BGGN), 2 titik di kawasan Pusat Penelitian dan Pengembangan Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir (P3KRBiN) dan 3 titik di kawasan Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi (P3TIR). Dalam perhitungan konsentrasi radioaktivitas udara (KRU) ini dipertimbangkan parameter waktu paro radionuklida dan koreksi faktor geometri pencacahan sampel terhadap sumber standard Ra.D.E.F Partikulat udara dikumpulkan dengan kertas filter menggunakan air sampler dan dicacah menggunakan alat pencacah Geiger Mueller. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan diperoleh tingkat KRU tertinggi di ruang limbah (P3KRBiN) yaitu sebesar 1,56502 Bq/liter, sedangkan KRU terendah di halaman belakang SDAL (P3TIR) yaitu sebesar $4,52441 \times 10^{-3}$ Bq/liter. Tingkat KRU yang lain berturut-turut adalah $9,7231 \times 10^{-3}$ Bq/liter (ruang kelas A-Pusdiklat), $9,2174 \times 10^{-2}$ Bq/liter (bunker penyimpanan sumber-Pusdiklat), $7,19356 \times 10^{-2}$ Bq/liter (di atas bunker penyimpanan sumber-Pusdiklat), $6,01847 \times 10^{-3}$ Bq/liter (depanpintu masukgedung Pusdiklat), $4,89352 \times 10^{-3}$ Bq/liter (tempat penyimpanan limbah cair-P2BGGN), $5,85681 \times 10^{-3}$ Bq/liter (pembuangan udara Lab Geokimia-P2BGGN), $2,7457 \times 10^{-1}$ Bq/liter (ruang pengerusan Lab. Geokimia-P2BGGN), $1,58613 \times 10^{-2}$ Bq/liter (taman-P3KRBiN), $5,36863 \times 10^{-3}$ Bq/liter (depan pintu penyimpanan limbah-P3TIR) dan $4,93260 \times 10^{-3}$ Bq/liter (menara air-P3TIR)

Abstract

MEASUREMENT OF THE ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY LEVEL IN THE AIR AT PASAR JUMAT NUCLEAR RESEARCH CENTRE AREA. Level of radioactivity in the air was measured from samples at 11 locations in the Nuclear Research Centre Area; namely 3 locations at Centre for Education and Training (CET) area, 3 locations at Centre for Development of Nuclear Ore and Geology (CDNOG) area, 2 points at Centre for Development of Isotopes and Radiation Technology (CDIRT) area and 3 locations at Centre for Development of Radiation Safety and Nuclear Bio-medicine (CDRSNB) area. In the calculation of radioactivity concentration in the air (derived air concentrations - DAC), it is considered radionuclide half life and geometric factor on the counting. Air particulates are collected in the filter by using air sampler. Then its activity is measured by GM counter. Based on the measurement, the location at waste room (CDRSNB) has the highest DAC, as 1.56502 Bq/liter. Meanwhile, the location at backyard SDAL (CDIRT) has the lowest DAC, as 4.52441×10^{-3} Bq/liter. The other DACs subsequently are 9.7231×10^{-3} Bq/liter (class room A-CET), 9.2174×10^{-2} Bq/liter (bunker CET), 7.19356×10^{-2} Bq/liter (above bunker-CET), 6.01847×10^{-3} Bq/liter front of entry door-CET, 4.89352×10^{-3} Bq/liter (liquid waste room-CDNOG), 5.85681×10^{-3} Bq/liter (air outlet Geochemicallab-CDNOG), 2.7457×10^{-1} Bq/liter (Geochemicallab-CDNOG), 1.58613×10^{-2} Bq/liter (park-CDRSNB), 5.36863×10^{-3} Bq/liter (front of radioactive waste storage-CDIRT) and 4.9326×10^{-3} Bq/liter (water tower-CDIRT).

¹ Ka.Sub.Bag. Keselamatan. Instalasi Radiasi - BHOP - BATAN

² Sarjana Fisika - IPB

³ Staf. Lab. Proteksi Radiasi - Pusdiklat - BATAN

PENDAHULUAN

Setiap hari manusia menerima paparan radiasi yang berasal dari alam atau lingkungan baik yang bersifat eksternal (sumber radiasi berada di luar tubuh) dan yang bersifat internal (sumber radiasi berada di dalam tubuh). Sebelum suatu lokasi tertentu digunakan untuk area kegiatan, pemanfaatan, radiasi pengan, daerah tersebut harus diukur tingkat radioaktivitasnya. Data ini adalah data awal (*baseline data*) yang akan digunakan sebagai acuan dalam pemantauan tingkat radioaktivitas lingkungan setelah kegiatan pemanfaatan radiasi pengan dimulai. Dengan membandingkan data hasil pemantauan dan data awal, dapat dinilai seberapa tingkat keselamatan fasilitas nuklir yang dioperasikan di lokasi tersebut.

Pusat Penelitian Tenaga Nuklir Pasar Jumat, Jakarta (PPTN-Ps. Jumat) adalah salah satu pusat riset tentang tenaga nuklir yang memanfaatkan sumber radiasi pengan baik eksterna maupun interna. Oleh karena itu untuk mengetahui dampak kegiatan, ini perlu dilakukan pemantauan radioaktivitas lingkungan secara berkala. Salah satu komponen yang perlu dipantau adalah komponen udara. Penelitian tentang tingkat radioaktivitas udara di PPTN-Ps. Jumat juga pernah dilakukan dan hasilnya diterbitkan dengan judul "*Keradioaktifan Udara dan Air di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi dan Sekitarnya*" oleh Francisca A.E.T, Yunus Hasan dan Teddy, 1986(8). Identifikasi radionuklida secara spektrometri gamma juga pernah dilakukan oleh Widodo dkk, 1999. Hasil yang diperoleh dalam pengukuran tersebut adalah Plumbum-214 dan Bismuth-214 (anak turun Radon) serta Plumbum-212 dan Thallium-208 (anak turun Thoron).

Mengingat banyak radionuklida lingkungan yang memiliki waktu paro pendek, maka dalam pengukuran tingkat konsentrasi radioaktivitas udara (KRU) dipertimbangkan parameter waktu paro radionuklida. Radionuklida anak turun Radon berumur paro pendek adalah Polonium-210, Astatine-218, Plumbum-214, Bismuth-214, Polonium-214 dan Thallium-210. Sedang radionuklida anak

turun Thoron berumur paro pendek adalah Polonium-216, Plumbum-212, Bismuth-212, Polonium-212 dan Thallium-208. Nilai KRU yang diperoleh dapat menjadi bahan penilaian dalam pemantauan radiasi di Kawasan PPTN-Ps. Jumat. Di samping itu ada tidaknya ventilasi ruangan akan memberikan pengaruh pada nilai KRU.

Tujuan

Tulisan ini disusun dengan tujuan:

1. Memaparkan nilai KRU lingkungan hasil pengukuran di kawasan PPTN-Ps. Jumat
2. Membandingkan nilai KRU dalam ruangan berventilasi dan tak berventilasi

RADIOAKTIVITAS LINGKUNGAN

Menurut asalnya, radioaktivitas lingkungan diklasifikasikan menjadi 2 (dua) yaitu radioaktivitas alam dan radioaktivitas buatan.

1. Radioaktivitas Alam

Radioaktivitas alam atau radiasi alam sendiri dibedakan menjadi radiasi primordial dan radiasi sinar kosmis.

a. Radiasi Primordial

Radiasi primordial berasal dari kerak bumi sejak bumi terbentuk. Jenis radionuklida primordial antara lain Kalium-40. Radionuklida ini banyak dijumpai dalam bahan bangunan rumah. Selain itu, dikenal deret Uranium ($4n+2$), deret Thorium ($4n$) dan deret Actinium ($4n+3$). Radionuklida yang banyak dikenal adalah Radon ($Rn-222$) beserta anak luruhnya dalam deret Uranium dan Thoron ($Rn-220$) beserta anak luruhnya dalam deret Thorium. Deret Uranium dimulai dari radionuklida Uranium-238 berakhir pada Plumbum-206 (non radioaktif), sedangkan deret Thorium dimulai dari Thorium-232 dan berakhir pada Plumbum-208 (non radioaktif). Radon dan Thoron beserta anak luruhnya banyak dijumpai dalam ruangan atau rumah dengan ventilasi yang buruk/tanpa ventilasi atau daerah penambangan (terowongan). Di daerah ini konsentrasi Radon dan Thoron relatif tinggi.

b. Radiasi Sinar Kosmis

Radiasi sinar kosmis berasal dari luar atmosfer bumi yaitu gelombang elektromagnetik (sinar gamma) atau partikel berenergi tinggi (proton, muon) dari bintang-bintang yang ada di jagat raya termasuk matahari. Radiasi sinar kosmis dapat berinteraksi dengan nuklida non radioaktif di atmosfer bumi. Radionuklida yang terbentuk dikenal dengan nama radionuklida kosmogenik, misalnya Carbon-14, Tritium-3 dan Beryllium-7.

2. Radioaktivitas Buatan

Radioaktivitas atau radiasi buatan berasal dari radionuklida hasil kegiatan manusia, misalnya berasal dari hasil pembelahan inti (reaksi fisi dalam reaktor nuklir), reaksi inti dan debu radioaktif hasil ledakan bom nuklir di atmosfer bumi (*fall out*). Contoh radionuklida sumber radiasi buatan ialah Cobalt-60, Cesium-137, Iridium-192 dan Strontium-90 serta Iodium-133.

Pemantauan Lingkungan

Setiap kegiatan manusia yang dapat atau mungkin akan dapat menimbulkan dampak terhadap lingkungan harus melakukan analisis dampak lingkungan sebelum kegiatan tersebut dilaksanakan. Menurut Peraturan Pemerintah No. 64/2000 tentang Perizinan Pemanfaatan Tenaga Nuklir, izin pemanfaatan zat radioaktif dan/atau sumber radiasi mensyaratkan adanya juklak (prosedur kerja). Sedang AMDAL (Analisis Mengenai Dampak Lingkungan) dipersyaratkan untuk instalasi yang memiliki dampak radiologi tinggi. Di dalam juklak atau AMDAL tersebut terdapat butir yang berkaitan dengan program pemantauan lingkungan atau rencana pemantauan lingkungan (RPL). Obyek dalam pemantauan tersebut adalah tingkat radioaktivitas dalam udara, air, tanah dan tanaman serta hewan maupun tingkat paparan radiasi lingkungan.

Setiap instalasi nuklir atau fasilitas radiasi yang berpotensi melepaskan zat radioaktif ke lingkungan wajib memiliki program pemantauan lingkungan termasuk program pengukuran tingkat radioaktivitas udara.

Radon, Thoron dan anak turunnya adalah radionuklida yang perlu dipantau tingkat radioaktivitasnya di udara karena keberadaannya di udara tidak dapat dihilangkan. Selain radionuklida yang berada di lingkungan, radionuklida yang mungkin dilepaskan oleh instalasi nuklir atau fasilitas radiasi juga perlu dipantau keberadaannya di udara, misalnya I-131. Program pemantauan tingkat radioaktivitas udara harus dilakukan secara rutin dan berkala. Dengan mengevaluasi hasil pemantauan radioaktivitas udara dan radioaktivitas komponen lain serta paparan radiasinya dapat dinilai tingkat keselamatan instalasi nuklir atau fasilitas radiasi tersebut dipandang dari segi proteksi radiasi.

Pusat Penelitian Tenaga Nuklir (PPTN) Pasar Jumat adalah suatu kawasan litbang (penelitian dan pengembangan) tenaga nuklir. Badan Tenaga Nuklir (BATAN) yang mana terdapat 3 unit puslitbang dan 1 unit puslat yaitu Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi (P3TIR), Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir (P3KRBiN), Pusbang Bahan Galian dan Geologi Nuklir (P2BGGN) dan Pusat Pendidikan dan Pelatihan (PUSDIKLAT). Keempat unit kerja tersebut memanfaatkan zat radioaktif dan sumber radiasi dalam kegiatan litbang atau diklat; misalnya Iridium-192 dan Cobalt-60 untuk kegiatan industri radiografi dan instalasi iradiasi gamma untuk keperluan iradiasi bahan dan makanan serta Tritium-3 untuk keperluan perunut.

Dalam PP No. 63/2000 tentang Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemanfaatan Radiasi Peninggian Pasal 15 Ayat (1) dinyatakan bahwa pemantauan tingkat radioaktivitas buangan zat radioaktif ke lingkungan harus dilakukan terus menerus, berkala dan sewaktu-waktu. Menunjuk ketentuan ini maka pemantauan tingkat radioaktivitas lingkungan di kawasan PPTN Pasar Jumat adalah suatu keharusan.

PENGUKURAN KONSENTRASI RADIOAKTIVITAS UDARA

Pengukuran konsentrasi radioaktivitas udara yang dilakukan dalam kegiatan ini adalah pengukuran radioaktivitas udara yang bersifat

kuantitatif. Pengukuran ini tidak mempertimbangkan jenis radionuklida yang terdapat di udara dan jenis radiasi pengion yang masuk ke dalam detektor. Namun diperkirakan radionuklida yang terdapat di udara adalah radionuklida alam anak turun Radon/Thoron. Oleh karena itu parameter waktu paro dan laju cacahan awal (laju cacahan sesaat setelah *air sampler* dimatikan) menjadi obyek pengukuran mengingat radionuklida alam anak turun Radon/Thoron tersebut memiliki waktu paro pendek.

Bahan yang digunakan dalam pengukuran adalah kertas filter jenis HE-40 T buatan Toyo dan sumber standar Ra.D.E.F aktivitas rendah diameter 25 mm. Sedang peralatan yang dipakai ialah *Air Sampler model NR 2030 Negretti*, sistem pencacah Geiger Mueller model TGS-136 Aloka dengan diameter detektor 50 mm, stopwatch, dan pinset..

Pengukuran dimulai dengan melakukan pengukuran dan perhitungan efisiensi sistem pencacah Geiger Mueller menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_p = \frac{R_{std}}{A \cdot I_d \cdot P} \cdot 100\% \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- I_p = Efisiensi sistem pencacah (%)
- R_{std} = Laju cacah sumber (cps)
- A_{std} = Aktivitas sumber standar (Bq)
- p = Probabilitas peluruhan (100 %)

Kertas filter dipasang pada *air sampler* yang diletakkan pada dudukan setinggi 1 meter dari permukaan lantai tanah. Udara dilewatkan pada kertas filter oleh pompa hisap pada laju alir 100 l/menit.. Kertas filter mengumpulkan partikulat (tc) selama 60 menit..

Setelah diberikan waktu tunda selama ± 3 menit, kertas filter dicacah dengan sistem pencacah GM dengan selang waktu tertentu. Kemudian dibuat kurva hubungan antara selang waktu pencacahan dan laju cacah. Berdasarkan kurva tersebut ditentukan nilai laju cacah murni (R₀) yaitu laju cacah pada saat pengukuran dimulai t=0 dan waktu paro

(T_{in}). Konsentrasi radioaktivitas udara (KRU) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut untuk radionuklida umur pendek, KRU_s (Bq/l) :

$$KRU_s = \frac{0,693 \cdot R_0}{T_{in} \cdot (1 - \exp(-\lambda \cdot t_e)) \cdot I_p \cdot I_F} \dots \dots (2)$$

Keterangan :

- R₀ = Laju cacah murni (cps)
- T_{in} = Waktu paro radionuklida (menit)
- t_e = Waktu pengumpulan sampel (menit)
- I_p = Efisiensi alat pencacah (%)
- I_F = Efisiensi filter (%)
- Q = Debit aliran udara sampel (liter/menit)

Jika radionuklida yang terukur memiliki waktu paro panjang, KRU dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$KRU_L = \frac{R_{sp}}{I_p \cdot I_F \cdot Q \cdot t_c} \dots \dots (3)$$

Keterangan :

- R_{sp} = Laju cacah sampel (cps)

HASIL PENGUKURAN

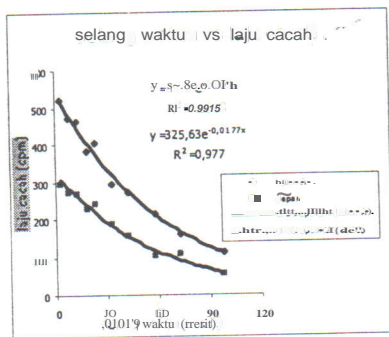
Pengambilan sampel udara dilakukan pada 12 lokasi (titik) di kawasan PPTN - Ps. Jumat yaitu :

1. Kawasan PUSDIKLA T
 - Ruang kelas A
 - Depan pintu sebelah barat
 - Ruang bunker
 - Halaman di atas ruang bunker
2. Kawasan P2BGGN
 - Ruang penyimpanan limbah cair
 - Pembuangan udara Lab. Geokimia
 - Ruang penggerusan Lab. Geokimia
3. Kawasan P3KRBiN
 - Taman
 - Ruang Limbah

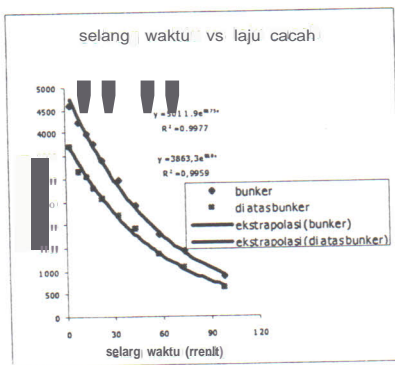
4. Kawasan P3TIR

- Depan pintu ruang penyimpanan limbah
- Di bawah menara air
- Halaman belakang ruang Sumber Daya Alam dan Lingkungan

Nilai $T_{1/2}$ dan R_0 diperoleh dengan cara mencari persamaan kurva hubungan antara selang waktu, pencacahan dan laju cacah. Gambar 1 dan Gambar 2 melukiskan kurva hubungan antara selang waktu pencacahan dan laju cacah pada pengambilan sampel udara di PUSDIKLAT dan P2BGGN. Besaran a dan b dalam Persamaan $Y = a \cdot e^{-bx}$ yang diperoleh pada kurva hubungan selang waktu pencacahan dan laju cacah dapat dikonversi ke nilai $T_{1/2}$ dan R_0 . Besaran a dalam persamaan tersebut merupakan nilai R_0 . Besaran b adalah konstanta peruluruhan, sehingga nilai $T_{1/2} = 0,6931b$.



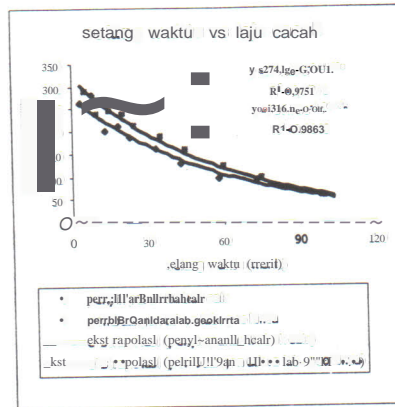
(a)



(b)

Gambar 1.

Kurva hubungan selang waktu pencacahan dan laju cacah hasil pengambilan sampel udara di PUSDIKLA T.



Gambar 2.

Kurva hubungan selang waktu, pencacahan dan laju cacah hasil pengambilan sampel udara di P2BGGN.

Nilai $T_{1/2}$ dan R_0 yang diperoleh berdasarkan hasil persamaan eksponensial pada kurva adalah sebagai berikut:

Tabell . Nilai $T_{1/2}$ dan R_0

No	Lokasi	$T_{1/2}$ (menit)	R_0 (cpm)
1.	Ruang kelas A	42,52	544,80
2.	Depan pintu barat	39,15	325,63
3.	Ruang bunker	39,60	5011,9
4.	Halaman di atas ruang bunker	38,50	3863,3
5.	Ruang penyimpanan limbah cair	42,52	274,19
6.	Pembuangan udara Lab. Geokimia	39,38	316,72
7.	Ruang pengerusan Lab. Geokimia	40,06	15004
8.	Taman	44,42	657,84
9.	Ruang Limbah	38,29	73470
10.	Oepan pintu ruang penyimpanan limbah	31,08	265,3
11.	Di bawah menara air	29,12	238,61
12.	Halaman belakang ruang Sumber Daya Alam dan Lingkungan	33,80	230,5

Efisiensi alat pencacah yang digunakan setelah diukur diperoleh nilai 29,8155% atau 0,295155. Sedang efisiensi kertas filter

dianggap I, artinya semua partikulat yang melewati filter ditangkap (nilai sebenarnya sekitar 99%).

Karena diameter sumber standard dan diameter sampel tidak sama dan tidak berbentuk titik maka perlu dilakukan koreksi faktor geometri. Untuk mengoreksi faktor geometri dipakai persamaan :

$$Ge = \frac{1}{2} * \left[1 - \frac{D}{\sqrt{R^2 + D^2}} \right] - \frac{3}{16} R^2 * \left[\frac{R^2 D}{(R^2 + D^2)^{3/2}} \right] \dots (4)$$

$$+ \frac{5}{32} R^4 * \left[\frac{R^2 D}{(R^2 + D^2)^{5/2}} \right] * \left[D^2 - \frac{3}{4} R^2 \right]$$

Keterangan:

- Ge = Koreksi faktor geometri sumber radiasi bukan bentuk titik
- D = Jarak sumber ke detektor
- R = Jari-jari detektor
- r = Jari-jari sumber radiasi

Faktor koreksi perhitungan KRU adalah rasio Ge sampel terhadap Ge sumber standard. Dalam perhitungan nilainya adalah 0,8521125.

Tabel 2. Nilai KRU di Kawasan PPTN - Pasar Jumat

No.	Lokasi	KRU (Bq/Liter)
1.	Ruang kelas A	9,72314x10 ⁻¹
2.	Depan pintu barat	6,01847x10 ⁻¹
3.	Ruang bunker	9,21740x10 ⁻¹
4.	Halaman di atas ruang bunker	7,19356x10 ⁻²
5.	Ruang penyimpanan limbah cair	4,89352x 10 ⁻³
6.	Pembuangan udara Lab. Geokimia	5,83929x 10 ⁻³
7.	Ruang penggerusan Lab. Geokimia	2,74570x10 ⁻¹
8.	Taman	1,58613x10 ⁻⁴
9.	Ruang Limbah	1,56502x 10 ⁰
10.	Depan pintu ruang penyimpanan limbah	5,36863x 10 ⁻³
11.	Di bawah menara air	4,95023x 10 ⁻¹
12.	Halaman belakang ruang Sumber Daya Alam dan Lingkungan	4,52441 x 10 ⁻³

Lokasi pengambilan sampel udara yang berventilasi/ruang terbuka dan ruang tertutup tanpa ventilasi dapat diperinci sebagai berikut:

1. Lokasi Berventilasi/Ruang Terbuka
 - Ruang kelas A
 - Depan pintu barat
 - Halaman di atas ruang bunker
 - Ruang penyimpanan limbah cair
 - Pembuangan udara Lab. Geokimia
 - Taman
 - Depan pintu ruang penyimpanan limbah
 - Di bawah menara air
 - Halaman belakang ruang Sumber Daya Alam dan Lingkungan
2. Lokasi tak Berventilasi/Ruang Tertutup
 - Ruang bunker
 - Ruang penggerusan Lab. Geokimia
 - Ruang Limbah

Pada Tabel 2. diperlihatkan bahwa KRU di lokasi tak berventilasi relatif lebih tinggi dibandingkan dengan ruang berventilasi dengan urutan tingkat KRU sebagai berikut; Ruang Limbah, Ruang Penggerusan Lab. Geokimia dan Ruang Bunker. Pada ruang berventilasi atau ruang terbuka, KRU di Halaman Atas Ruang Bunker agak tinggi yaitu 7,19356x 10⁻² Bq/liter. Hal ini disebabkan oleh terdispersinya gas radon/thoron dan turunannya yang terjebak di dalam ruang bunker lewat retakan tembok atau tanah. Demikian juga KRU di Taman P3KRBin agak tinggi karena tidak tersebarnya gas radon/thoron dan turunannya yang mengumpul di taman. Sementara untuk lokasi yang lain, KRU relatif rendah dengan orde 10⁻³ Bq/liter. Namun demikian, nilai KRU di kawasan PPTN Pasar Jumat (tabel 2) masih jauh di bawah batas nilai KRU yang diijinkan, nilai KRU untuk Radon-222 adalah 1,11x 10¹ Bq/liter.

Dalam pengambilan sampel udara di ruang terbuka/luar ruangan perlu diperhatikan keadaan cuaca di sekitar instalasi nuklir atau fasilitas radiasi yang meliputi arah dan kecepatan angin, kelembaban udara dan curah hujan. Kondisi cuaca pada saat pengambilan sampel udara di kawasan PPTN Pasar Jumat adalah cuaca cerah, angin berhembus pelan,

dan dilakukan siang hari sekitar pukul 09.00 - 14.00 WIB.

KESIMPULAN

Uraian hasil pengukuran konsentrasi radioaktivitas udara di kawasan PPTN-Pasar

Jumat menunjukkan bahwa radionuklida yang ada di kawasan ini memiliki waktu paro (T_{1/2}) yang relatif pendek. Lokasi pengambilan sampel yang tidak berventilasi/ruang tertutup memiliki nilai KRU yang relatif lebih besar dibandingkan dengan nilai KRU di lokasi berventilasi/ruang terbuka.

DAFTAR PUSTAKA

1. BAPETEN. 1999. *Ketentuan Keselamatan Kerja Dengan Radiasi*. SK Kepala BAPETEN No. 01IKa-BAPETENN-99, Jakarta
2. Cember, Herman. 1996. *Introduction to Health Physics*. 3rd Ed. McGraw Hill, New York.
3. Francisca A.E.T, Yunus Hasan & Teddy S. 1986, *Keradioaktifan Udara dan Air di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi dan Sekitarnya*. Hasil-hasil Penelitian 1986-1987, BATAN.
4. Genka, Tsuguo. 1998. *Radioactivity in Dust*. Material of BATAN-JAERI Training Course on Protection Radiation. Pusklat-BATAN, Jakarta
5. Jumpeno, B.Y.E.B., 1999. *Studi Paparan Interna Para Pekerja Pada Jalur Inhalasi di Kawasan Reaktor Nuklir G.A. Siwabessy Serpong, Jawa Barat*. Tesis Pascasarjana Program Studi Ilmu Lingkungan, VI, Jakarta.
6. Kaminaga, Hiroshi. 2000, *Radiation Control Measurement Experiments*. Modul Experiment JAERI, Tokyo.
7. Khan, H.A & N.A., Khan. 1984. *Critical Distance in Geometry Factor Calculations Using Solid State Nuclear Track Detector (SSNTD)*. Journal Nuclear Instruments and Method in Physics Research, Elsevier Science Publisher BY, Amsterdam.
8. Knoll, G.F. 1988. *Radiation Detection and Measurement*. 2nd Ed, John Wiley & Sons, New York.
9. Pudjianto MS & Th. Rina Mulyaningsih. 1993. *Penentuan Radioaktivitas Radon/Thoron di Balai Operasi RSG-GAS*. Hasil-hasil Penelitian 1992-1993, BATAN, Jakarta.
10. Wardhana, W.A. 1994. *Teknik Analisis Radioaktivitas Lingkungan*. Ed. Ke-I, Andi Offset, Yogyakarta.
11. Wiryosimin, Suwarno. 1995. *Mengenal Asas Proteksi Radiasi*. ITB, Bandung.