ISSN 1978-0176

# PENENTUAN MULAI WAKTU KERJA DI LABORATORIUM IEBE BERDASAR PENGUKURAN KERADIOAKTIFAN UDARA

**Nudia Barenzani, Nur Yulianto Darojad, Arca Datam Sugiarto, dan Nofriady Aziz**

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN, Indonesia
Email: nudia@batan.go.id

## ABSTRAK

**PENENTUAN MULAI WAKTU KERJA DI LABORATORIUM IEBE BERDASAR PENGUKURAN KERADIOAKTIFAN UDARA (*GROSS- α)*.** Telah dilakukan pengukuran konsentrasi radioaktifitas udara pada ruangan laboratorium Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE). Tujuannya adalah untuk menentukan waktu yang aman dan selamat bagi personil untuk memulai pekerjaan di dalam laboratorium tanpa menimbulkan efek yang merugikan bagi kesehatan. Metode pengukuran adalah dengan cara mencuplik udara dan di cacah secara *gross-α*. Variabel pengukuran yaitu sebelum VAC dihidupkan dan selang interval waktu 15 menit setelah VAC dihidupkan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sebelum sistem VAC dihidupkan, nilai keradioaktifan (*gross-α*) udara sebesar 21.421 Bq/m$^3$. Nilai tersebut melebihi batasan keselamatan yang ditetapkan dalam Laporan Analisis Keselamatan IEBE, yaitu sebesar 20 Bq/m$^3$. Konsentrasi radioaktifitas (*gross-*α) udara semakin menurun seiring dengan lamanya waktu beroperasinya VAC. Konsentrasi keradioaktifan udara mendekati nilai latar berkisar antara (0.265-0.485) Bq/m$^3$ setelah sekitar 90 menit VAC dihidupkan. Kesimpulan dari pengamatan ini dapat dijadikan landasan bagi Bidang Keselamatan untuk dapat mengijinkan Pekerja Radiasi masuk laboratorium, yaitu sekitar pukul 9.00 WIB.

Kata kunci: konsentrasi radioaktifitas udara, sistem VAC dan waktu aman untuk bekerja dalam laboratorium IEBE.

## *ABSTRACT*

*DETERMINE WORKING TIME IN IEBE BY MEASUREMENT OF AIRBORNE RADIOACTIVITY CONCENTRATION (GROSS-α). Measurement of airborne radioactivity concentration (gross-α) has been carried out in the Experimental Fuel Element Installation (EFEI). The objective is to find out the safe condition times that radiation workers are allowed to start working in the laboratory.The method is to measure the level of airborne radioactivity concentration with a variable life time of the air ventilation system. The result obtained is before the VAC system was turned on the airborne radioactivity concentration (gross-α) value is 21.421 Bq/m$^3$. This value exceeds the safety limits specified in the EFEI Safety Analysis Report of 20 Bq/m$^3$. Airborne radioactivity (gross-α) concentration decreases with the length of VAC operation. From this observation, it can be concluded that the concentration of radioactivity in the air reaches a background value ranging from (0.265-0.485) Bq/m$^3$ occurs after 90 minutes VAC operates. So that time can be a guideline for the Safety Division to allow radiation workers to start their activities in the laboratory.*

*Key words: airborne radioactivity concentration, ventilation system and safe time*

## PENDAHULUAN

Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) merupakan fasilitas Penelitian dan Pengembangan (litbang) bahan bakar nuklir. IEBE didesain untuk dapat memproduksi bahan bakar Reaktor Daya. Aktivitas yang dilakukan di IEBE meliputi proses pemurnian dan konversi $UO_2$ (*Pilot Conversion Plant/PCP*), fabrikasi elemen bakar nuklir

ISSN 1978-0176

(*Fuel Fabrication Laboratory/FFL*) dan di dukung oleh laboratorium uji kimia maupun fisika. Bahan utama sebagai sarana kegiatan litbang IEBE adalah uranium alam berbentuk serbuk maupun cair, serta gas kimia dari proses kegiatan kendali kualitas. Penanganan terhadap bahan uranium seperti pemanasan, reaksi kimia, pengendapan, pengeringan, penggeridaan dan penggunaan bahan uranium dapat menyebabkan terdispersinya aerosol (debu atau uap) radioaktif ke udara ruangan kerja. Kontaminan aerosol radioaktif maupun non radioaktif yang berasal dari proses dalam laboratorium diantaranya adalah debu uranium, dan uap kimia. Akibatnya udara terkontaminasi dengan partikulat radioaktif uranium dalam ukuran yang sangat kecil (1-5µm) sehingga personil berpotensi terhadap bahaya radiasi interna melalui saluran pernafasan.

Pengendalian terhadap kontaminasi udara di ruang kerja Di IEBE dengan pengoperasian dan pengkondisian sistem VAC (*Ventilation and Air Conditioning*). Mekanisme sistem VAC ini dengan cara melakukan pertukaran udara segar dengan udara yang terkontaminasi keluar melalui cerobong buang dengan beberapa tahap sistem filtrasi.

Dengan tujuan efisiensi, VAC di IEBE dioperasikan dengan sistem on-off. Sistem VAC dimatikan pada sore hari pada saat pekerja radiasi menyelesaikan kegiatannya, dan dihidupkan kembali esok hari sebelum pekerja radiasi mulai bekerja. Permasalahan yang muncul akibat dari berlakunya sistem VAC on-off ini adalah bahwa sistem sirkulasi udara dalam laboratorium menjadi terganggu atau berhenti selama 7 jam. Pada pagi hari sebelum VAC dinyalakan konsentrasi radioaktifitas udara ruangan kerja mengalami peningkatan akibat adanya akumulasi radioaktif alamiah selama VAC off. Untuk menjamin kesehatan dan keselamatan personil yang akan bekerja di ruang laboratorium IEBE, maka perlu dilakukan pengukuran konsentrasi radioaktifitas udara segera sesudah sistem VAC di hidupkan. Dengan demikian diketahui apakah konsentrasi radioaktivitas udara ( *gross-α*) dalam ruangan laboratorium sudah aman untuk pekerja radiasi melakukan kegiatan. Waktu dimana konsentrasi radioaktifitas udara (*gross-α*) sudah di bawah batasan keselamatan (tabel 1) dan stabil mendekati nilai latar, maka waktu tersebut dapat dijadikan pedoman untuk mengijinkan pekerja radiasi memulai kegiatan di dalam laboratorium tanpa menimbulkan efek kesehatan yang merugikan.

Tabel 1. Batasan Keselamatan Kerja di IEBE [1]

| Zona | Kode Ruang | Fungsi Ruangan | Radioaktifitas udara |
|---|---|---|---|
| Zona-I | CR (Cold Room) | Daerah kerja perkantoran/ administrasi | Alamiah |
| Zona-II | CR (Cold Room) | Daerah kerja menangani U tertutup seperti ruang fabrikasi atau perakitan bahan bakar. | < 20 Bq/m$^3$ |
| Zona-III | HR (Hot Room) | Daerah kerja menangani U terbuka seperti ruang konversi dan pemurnian, ruang peletisasi, ruang kendali kualitas, gudang U dan lainnya | ≤ 20 Bq/m$^3$ |

## Landasan teori

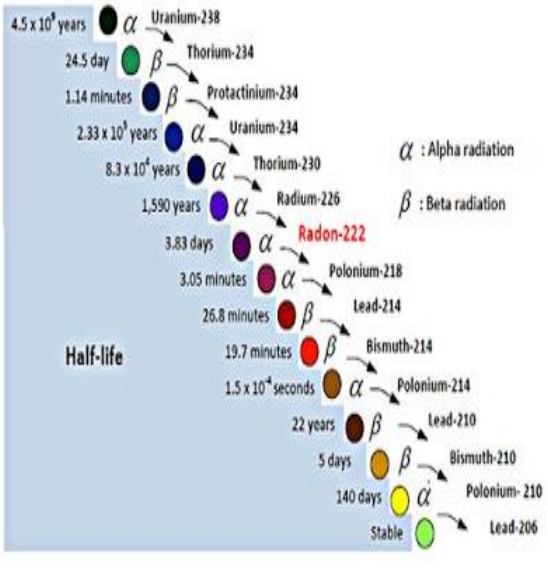
Struktur bangunan IEBE sebagai fasilitas pengembangan bahan bakar nuklir yang menggunakan uranium alam sebagai bahan baku utamanya, diperkuat dengan beton-beton bertulang (*reinforced concrete*). Seluruh dinding bangunan laboratorium dirancang untuk mencegah penetrasi cairan melalui dinding ke luar gedung IEBE. Demikian pula seluruh lantai di setiap ruangan disekat dari hubungan langsung dengan tanah oleh lapisan kedap air. Permukaan lantai/dinding dilapisi juga dengan cat kedap air (epoksi) dan bersifat halus untuk memudahkan dalam dekontaminasi. Untuk mencegah tersebarnya kontaminasi udara keluar dari gedung, maka desain IEBE tidak disediakan sistem sirkulasi udara (seperti jendela, kisi-kisi udara, dsb)

Dinding dan lantai ruangan yang terbuat dari bahan beton juga memberikan kontribusi yang sangat berarti terhadap konsentrasi radioaktifitas alamiah seperti radon dan anak luruhnya. Ruangan tertutup dengan sirkulasi udara relatif terbatas, konsentrasi radonnya akan lebih tinggi dibandingkan dengan ruangan terbuka. Konsentrasi radon akan semakin

ISSN 1978-0176

meningkat jika pada dinding-dinding ruangan tersebut terdapat retakan ataupun plester yang kurang baik.

Radiasi primordial U-238 adalah inti awal deret uranium merupakan radiasi alam yang berasal dari dalam bumi. Di dalam deret uranium terdapat gas mulia Rn-222 (radon) yang berbahaya bagi kesehatan jika menghirup unsur ini karena menghasilkan partikel alpha.




Gambar. 1. Peluruhan U-238

Radon meluruh menghasilkan anak-anak luruh berbentuk partikulat, cenderung menempel pada debu ruangan kerja yang mudah memasuki jalur udara dan melekat permanen dalam jaringan paru-paru, menghasilkan paparan lokal yang parah. Konsentrasi radon dalam ruangan sangat dipengaruhi oleh kondisi dan posisi ruangan tersebut.

Sistem ventilasi udara di IEBE merupakan salah satu sarana keselamatan kerja dan keselamatan lingkungan, berguna untuk mencegah tersebarnya debu/partikulat atau aerosol radioaktif ke lingkungan, baik di dalam instalasi (daerah kerja) maupun keluar instalasi. Ventilasi udara merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan. Ventilasi udara yang buruk dapat menyebabkan kurangnya udara segar yang masuk dan buruknya distribusi udara yang ada dan merupakan salah satu faktor yang penting dalam menyebabkan terjadinya *Sick Building Syndrome (SBS)*. SBS adalah situasi dimana penghuni gedung (bangunan) mengeluhkan permasalahan kesehatan dan kenyamanan yang akut, yang timbul berkaitan dengan waktu yang dihabiskan dalam suatu bangunan. Berbagai keluhan dan gejala yang timbul pada saat seseorang berada di dalam gedung dan kondisi membaik setelah tidak berada di dalam gedung besar kemungkinan karena menderita SBS. Kasus-kasus SBS memang tidak menunjukan gejala-gejala yang khas dan secara objektif tidak dapat diukur. Keluhan dan tanda berupa sakit kepala, lesu, iritasi mata maupun kulit serta berbagai problem pernapasan, seringkali sulit diperoleh penyebab yang nyata dan kadang-kadang dihubungkan dengan SBS apabila terdapat riwayat tinggal di gedung dengan kualitas ruangan yang buruk .Usaha yang dilakukan suatu fasilitas nuklir untuk mengurangi konsentrasi udara tanpa merubah kondisi bangunan adalah dengan memperbaiki sirkulasi udara dengan sistem ventilasi, sehingga terjadi pertukaran udara dalam ruangan dengan udara lingkungan.

Sistem ventilasi dan tata udara (VAC) fasilitas nuklir berfungsi untuk:

1. Menciptakan kenyamanan kepada pekerja didalam fasilitas nuklir
2. Menciptakan kondisi udara (suhu dan humiditas) terhadap peralatan, sehingga peralatan tidak mudah rusak
3. Menciptakan tekanan udara didalam gedung lebih rendah dari tekanan udara luar.
4. Menciptakan pola alir udara (air *flow pattern*) di dalam gedung sehingga udara mengalir dari ruangan dengan potensi radioaktifitas rendah menuju ruangan dengan potensi radiaoaktifitas yang lebih tinggi.
5. Menciptakan pertukaran udara didalam ruangan sesuai dengan persyaratan keselamatan ( tabel 2 dan 3).
6. Aliran udara didalam gedung diperlakukan sistem satu kali jalan (*oncethrough*) dan tidak diperkenankan resirkulasi.
7. Menjamin udara buang dari gedung keluar melalui cerobong sesuai batas yang dipersyaratkan oleh badan regulasi.

ISSN 1978-0176

Table 2. *Dose Coefficients for Selected Radionuclides* [2]

| Radionuclide | Inhalation Type/form[a] | Inhalation $e(g)_{ink}$ (Sv/Bq) AMAD = 1 µm | Inhalation $e(g)_{ink}$ (Sv/Bq) AMAD = 5 µm | Ingestion $f_1$ | Ingestion $e(g)_{ing}$ (Sv/Bq) |
|---|---|---|---|---|---|
| Sb-125 | F | $1.4 \times 10^{-9}$ | $1.7 \times 10^{-9}$ | 0.1 | $1.1 \times 10^{-9}$ |
| | M | $4.5 \times 10^{-9}$ | $3.3 \times 10^{-9}$ | | |
| I-125 | F | $5.3 \times 10^{-9}$ | $7.3 \times 10^{-9}$ | 1.0 | $1.5 \times 10^{-8}$ |
| | V | $1.4 \times 10^{-8b}$ | | | |
| I-131 | F | $7.6 \times 10^{-9}$ | $1.1 \times 10^{-8}$ | 1.0 | $2.2 \times 10^{-8}$ |
| | V | $2.0 \times 10^{-8b}$ | | | |
| Cs-134 | F | $6.8 \times 10^{-9}$ | $9.6 \times 10^{-9}$ | 1.0 | $1.9 \times 10^{-8}$ |
| Cs-137 | F | $4.8 \times 10^{-9}$ | $6.7 \times 10^{-9}$ | 1.0 | $1.3 \times 10^{-8}$ |
| Ce-144 | M | $3.4 \times 10^{-8}$ | $2.3 \times 10^{-8}$ | $5 \times 10^{-4}$ | $5.2 \times 10^{-9}$ |
| | S | $4.9 \times 10^{-8}$ | $2.9 \times 10^{-8}$ | | |
| Po-210 | F | $6.0 \times 10^{-7}$ | $7.1 \times 10^{-7}$ | 0.1 | $2.4 \times 10^{-7}$ |
| | M | $3.0 \times 10^{-6}$ | $2.2 \times 10^{-6}$ | | |
| Pb-210 | F | $8.9 \times 10^{-7}$ | $1.1 \times 10^{-6}$ | 0.2 | $6.8 \times 10^{-7}$ |
| Ra-226 | M | $3.2 \times 10^{-6}$ | $2.2 \times 10^{-6}$ | 0.2 | $2.8 \times 10^{-7}$ |
| Ra-228 | M | $2.6 \times 10^{-6}$ | $1.7 \times 10^{-6}$ | 0.2 | $6.7 \times 10^{-7}$ |
| Th-228 | M | $3.1 \times 10^{-5}$ | $2.3 \times 10^{-5}$ | $5 \times 10^{-4}$ | $7.0 \times 10^{-8}$ |
| | S | $3.9 \times 10^{-5}$ | $3.2 \times 10^{-5}$ | $2 \times 10^{-4}$ | $3.5 \times 10^{-8}$ |
| Th-232 | M | $4.2 \times 10^{-5}$ | $2.9 \times 10^{-5}$ | $5 \times 10^{-4}$ | $2.2 \times 10^{-7}$ |
| | S | $2.3 \times 10^{-5}$ | $1.2 \times 10^{-5}$ | $2 \times 10^{-4}$ | $9.2 \times 10^{-8}$ |
| U-234 | F | $5.5 \times 10^{-7}$ | $6.4 \times 10^{-7}$ | 0.02 | $4.9 \times 10^{-8}$ |
| | M | $3.1 \times 10^{-6}$ | $2.1 \times 10^{-6}$ | 0.002 | $8.3 \times 10^{-9}$ |
| | S | $8.5 \times 10^{-6}$ | $6.8 \times 10^{-6}$ | | |
| U-235 | F | $5.1 \times 10^{-7}$ | $6.0 \times 10^{-7}$ | 0.02 | $4.6 \times 10^{-8}$ |
| | M | $2.8 \times 10^{-6}$ | $1.8 \times 10^{-6}$ | 0.002 | $8.3 \times 10^{-9}$ |
| | S | $7.7 \times 10^{-6}$ | $6.1 \times 10^{-6}$ | | |
| U-238 | F | $4.9 \times 10^{-7}$ | $5.8 \times 10^{-7}$ | 0.02 | $4.4 \times 10^{-8}$ |
| | M | $2.6 \times 10^{-6}$ | $1.6 \times 10^{-6}$ | 0.002 | $7.6 \times 10^{-9}$ |
| | S | $7.3 \times 10^{-6}$ | $5.7 \times 10^{-6}$ | | |
| Np-237 | M | $2.1 \times 10^{-5}$ | $1.5 \times 10^{-5}$ | $5 \times 10^{-4}$ | $1.1 \times 10^{-7}$ |
| Np-239 | M | $9.0 \times 10^{-10}$ | $1.1 \times 10^{-9}$ | $5 \times 10^{-4}$ | $8.0 \times 10^{-10}$ |
| Pu-238 | M | $4.3 \times 10^{-5}$ | $3.0 \times 10^{-5}$ | $5 \times 10^{-4}$ | $2.3 \times 10^{-7}$ |
| | S | $1.5 \times 10^{-5}$ | $1.1 \times 10^{-5}$ | $1 \times 10^{-5}$ | $8.8 \times 10^{-9}$ |
| | | | | $1 \times 10^{-4}$ | $4.9 \times 10^{-8}$ |

Table 3. *Derived Air Concentration (DACs) For Selected Radionuclides* [2]

| Radionuclide | Type/form[a] | DAC (Bq/m$^3$) AMAD = 1 µm | DAC (Bq/m$^3$) AMAD = 5 µm | DAC (Bq/m$^3$) Gas/vapour |
|---|---|---|---|---|
| I-131 | F | $1 \times 10^3$ | $8 \times 10^2$ | |
| | V | | | $4 \times 10^3$ |
| Cs-134 | F | $1 \times 10^3$ | $9 \times 10^2$ | |
| Cs-137 | F | $2 \times 10^3$ | $1 \times 10^3$ | |
| Ce-144 | M | $2 \times 10^2$ | $4 \times 10^2$ | |
| | S | $2 \times 10^2$ | $3 \times 10^2$ | |
| Po-210 | F | $1 \times 10^1$ | $1 \times 10^1$ | |
| | M | $3 \times 10^0$ | $4 \times 10^0$ | |
| Pb-210 | F | $9 \times 10^0$ | $8 \times 10^0$ | |
| Ra-226 | M | $3 \times 10^0$ | $4 \times 10^0$ | |
| Ra-228 | M | $3 \times 10^0$ | $5 \times 10^0$ | |
| Th-228 | M | $3 \times 10^{-1}$ | $4 \times 10^{-1}$ | |
| | S | $2 \times 10^{-1}$ | $3 \times 10^{-1}$ | |
| Th-232 | M | $2 \times 10^{-1}$ | $3 \times 10^{-1}$ | |
| | S | $4 \times 10^{-1}$ | $7 \times 10^{-1}$ | |
| U-234 | F | $2 \times 10^1$ | $1 \times 10^1$ | |
| | M | $3 \times 10^0$ | $4 \times 10^0$ | |
| | S | $1 \times 10^0$ | $1 \times 10^0$ | |
| U-235 | F | $2 \times 10^1$ | $1 \times 10^1$ | |
| | M | $3 \times 10^0$ | $5 \times 10^0$ | |
| | S | $1 \times 10^0$ | $1 \times 10^0$ | |
| U-238 | F | $2 \times 10^1$ | $1 \times 10^1$ | |
| | M | $3 \times 10^0$ | $5 \times 10^0$ | |
| | S | $1 \times 10^0$ | $1 \times 10^0$ | |
| Np-237 | M | $4 \times 10^{-1}$ | $6 \times 10^{-1}$ | |
| Np-239 | M | $9 \times 10^3$ | $8 \times 10^3$ | |
| Pu-238 | M | $2 \times 10^{-1}$ | $3 \times 10^{-1}$ | |
| | S | $6 \times 10^{-1}$ | $8 \times 10^{-1}$ | |
| Pu-239 | M | $2 \times 10^{-1}$ | $3 \times 10^{-1}$ | |
| | S | $6 \times 10^{-1}$ | $1 \times 10^0$ | |
| Pu-240 | M | $2 \times 10^{-1}$ | $3 \times 10^{-1}$ | |
| | S | $6 \times 10^{-1}$ | $1 \times 10^0$ | |

## METODE

Metode yang dilakukan untuk mendukung makalah ini adalah sebagai berikut:

Pengukuran konsentrasi radiaoaktifitas (*gross-α*) di udara laboratorium IEBE, di lakukan dengan cara pengambilan sampel udara di ruang fabrikasi bahan bakar nuklir (*Fuel Fabrication Laboratory/FFL)*. Pencuplikan udara dengan air sampler yang dapat di pindahkan dari satu tempat ke tempat yang lain (*mobile*) seperti terlihat pada gambar 1. Pengambilan sampel dilakukan pada pukul 6.45 WIB, yaitu waktu 30 menit sebelum personil Bidang Pengoperasian Fasilitas Bahan Bakar nuklir (BPFBBN) menghidupkan sistem VAC. Pencuplikan udara menggunakan kertas filter jenis *Gross Filter Paper (GF-8*) pada saat VAC belum di hidupkan selama 15 menit (gambar 1). Sampel udara kemudian dicacah dengan menggunakan alat pencacah *alpha/betha sample counter-3030* buatan *Ludlum* (gambar 2).

Menghitung konsentrasi keradioaktifan udara (*gross-α*) sesuai persamaan (1) dalam satuan Bq/m$^3$. .

$$A = C \times FK \times \frac{1}{d} \times \frac{1}{t} \qquad \text{Pers. (1)}$$

Dengan:

A = Aktivitas zat radioaktif di udara (Bq/m$^3$);

C = Laju cacahan (cps);

FK = Faktor kalibrasi: 0.67 Bq/cps;

d = Debit hisap udara (m$^3$/menit);

t = Waktu hisap udara (menit)

Gambar. 2. Pencuplik udara di ruangan peletisasi

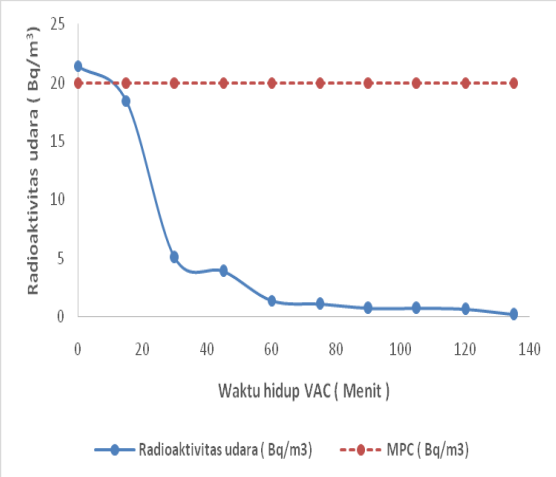
ISSN 1978-0176

Pengambilan sampel udara dilanjutkan pada saat VAC telah dihidupkan dengan interval waktu pengambilan sampel 15 menit. Setelah tidak terjadi penurunan radioaktifitas udara yang tidak signifikan dan mendekati nilai latar, maka waktu tersebut dijadikan acuan untuk membuktikan bahwa sistem VAC sudah stabil dengan cara mengambil cuplikan di beberapa laboratorium pendukung.

Gambar. 3. Pencacahan sampel udara

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mencegah efek yang merugikan akibat partikel radioaktif di udara daerah kerja yang bisa membahayakan sistem pernafasan pekerja radiasi, maka dalam pengoperasian laboratorium IEBE dilakukan pemantauan terhadap radioaktifitas udara pada saat VAC belum dihidupkan maupun setelah VAC dihidupkan.




Grafik 1. Hubungan antara radioaktifitas *(gross-α)* di udara lab IEBE dengan fungsi waktu hidup VAC

Dari grafik 1, terlihat bahwa konsentrasi radioaktifitas (*gross-α*) di udara laboratorium IEBE saat belum berfungsinya sistem VAC melebihi batasan keselamatan yang telah ditetapkan dalam LAK IEBE, yaitu *Maximum Permisible Concentration*/MPC untuk radioaktifitas (*gross-α*) sebesar 20 $Bq/m^3$[2,3]. Hal tersebut harus mendapat perhatian bagi personil Bidang Pengembangan Fasilitas Bahan Bakar Nuklir (BPFBBN) yang mendapat tugas untuk menghidupkan sistem VAC pada pagi hari. Yang harus dilakukan adalah selalu memakai alat pelindung diri berupa masker jika mau masuk ruangan untuk menghidupkan VAC.

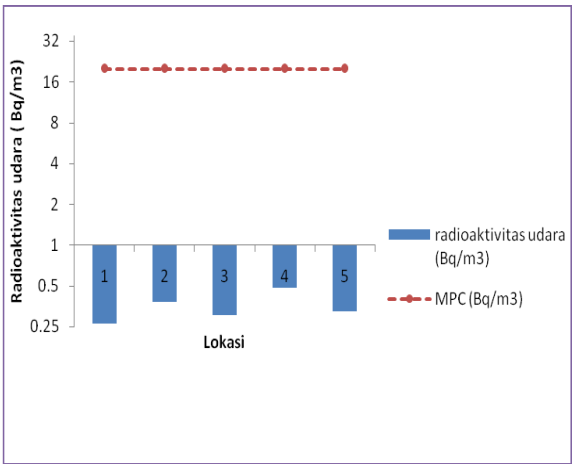
Setelah beberapa menit VAC berfungsi, maka konsentrasi udara didalam laboratorium mengalami penurunan di bawah batas keselamatan. Pada pengoperasian VAC antara 15 menit sampai dengan 75 menit, konsentrasi radioaktifitas gross alpha di udara sebenarnya sudah di bawah batas keselamatan, namun dengan pertimbangan lain yaitu mencegah terjadinya potensi *Sick Building Syndrome (SBS*) yang diakibatkan kurangnya udara segar yang masuk dan buruknya distribusi udara yang ada. Maka di tetapkan ijin masuk laboratorium, yaitu satu setengah jam setelah dihidupkan, dimana penurunan konsentrasi tidak terlalu signifikan dan cenderung konstan mendekati konsentrasi latar. Apabila suatu hal mendesak pekerja radiasi karena adanya suatu keperluan, misalkan menghidupkan/memanaskan peralatan uji yang membutuhkan durasi waktu yang lama, maka diperbolehkan masuk laboratorium dengan syarat memakai masker dan APD yang sesuai dan tidak boleh terlalu lama sesuai dengan keperluannya saja.

Waktu dimana konsentrasi radioaktifitas (gross-α) mengalami penurunan sampai kondisi mendekati nilai latar, maka dijadikan pertimbangan Bidang Keselamatan untuk mengijinkan Pekerja radiasi untuk memulai kegiatannya di laboratorium. Hal tersebut dibuktikan dengan melakukan sampling radioaktifitas (*gross alpha*) pada beberapa area kerja yang berbeda, seperti ruang kendali kualitas, gudang uranium, koridor lab dan fasilitas konversi *yellow cake* menjadi $UO_2$.

Sementara dari Grafik 2. terlihat bahwa konsentrasi udara beberapa ruangan laboratorium setelah satu setengah jam VAC

ISSN 1978-0176

dihidupkan, diperoleh nilai berkisar antara (0,265-0,485) Bq/m$^3$.




Grafik 2. Nilai radioaktifitas *(gross-α)* udara di beberapa ruang laboratorium IEBE

Keterangan

- Lokasi 1: *Hot Room* (HR-05), yaitu ruang kegiatan litbang peletisasi bahan bakar nuklir
- Lokasi 2: Gudang Uranium, yaitu ruang untuk menyimpan bahan baku litbang bahan bakar nuklir
- Lokasi 3: *Pilot Conversion Plan*, Yaitu ruang konversi *yellow cake*
- Lokasi 4: *Hot Room* (HR-24), yaitu ruang kendali kualitas untuk kegiatan karakterisasi hasil litbang bahan bakar nuklir
- Lokasi 5: Koridor, yaitu ruang untuk memisahkan fungsi dari tiap-tiap ruangan

Sistem sirkulasi udara di IEBE di berlakukan sistem *on-off*, yaitu pada pagi hari sekitar pukul 6.45 WIB sistem di hidupkan, dan pada pukul 16.00 WIB sistem VAC dimatikan. Oleh karena itu, untuk perlindungan terhadap pekerja radiasi yang akan melakukan aktifitasnya, baru diperkenankan masuk laboratorium pada pukul 9.00 WIB. Dengan asumsi bahwa sistem sirkulasi udara sudah stabil dan ditunjukkan pada grafik 2 yaitu nilai konsentrasi udara (*gross-α*) diarea kerja FFL, gudang uranium dan *yellow cake*, ruang kendali kualitas maupun area PCP mendekati nilai latar dan masih di bawah batasan keselamatan yang di izinkan, yaitu di bawah MPC radioaktifitas (*gross-α*) udara sebesar 20 Bq/m$^3$. Sebelum diijinkan melakukan aktifitas di dalam laboratorium, pekerja radiasi mengikuti kegiatan briefing pagi keselamatan dan melakukan persiapan/proposal kegiatan yang akan dilakukan hari ini ataupun melakukan evaluasi kegiatan sebelumnya. Kegiatan tersebut di maksudkan untuk pemenuhan waktu kerja selama 40 jam perminggu.

## KESIMPULAN

Sistem ventilasi dan tata udara dalam fasilitas nuklir merupakan salah satu persyaratan utama untuk menjamin keselamatan personil, masyarakat dan lingkungan. Sistem VAC yang di operasikan di IEBE adalah sistem aktif untuk mencegah bahaya radiasi interna, dengan cara mengontrol tingkat kontaminasi udara di daerah kerja. Sistem ventilasi mensuplai udara segar dan menghisap udara terkontaminasi dengan laju pergantian udara yang telah ditetapkan. Mengacu pada standard IAEA untuk fasilitas nuklir yang menggunakan bahan baku uranium alam (U-238), konsentrasi radioaktifitas udara di IEBE di batasi 20 Bq/m$^3$. Berdasarkan karakteristik uranium alam dengan waktu paruh yang sangat lama, maka indikasi kenaikan konsentrasi udara (*gross-α)* sebelum sistem VAC di operasikan, berasal dari akumulasi peluruhan deret uranium berupa gas radon. Radon meluruh menjadi berbentuk partikulat, yang menempel pada debu ruangan kerja

Saat sistem VAC belum dioperasikan di peroleh nilai melebihi MPC, yaitu sekitar 21,421 Bq/m$^3$. Hal tersebut disebabkan tidak adanya suplai udara bersih untuk menggantikan udara yang terkontaminasi di dalam ruangan kerja. sehingga terjadi akumulasi radioaktifitas (*gross-α)* di udara. Semakin tertutup suatu ruangan, semakin besar konsentrasi radioaktivitas diudara ruangan tersebut. Setelah sistem VAC dioperasikan, maka pergantian udara diatur sesuai dengan persyaratan sistem ventilasi dan tata udara fasilitas nuklir. Konsentrasi semakin turun seiring dengan waktu beroperasinya sistem VAC. Konsentrasi radioaktifitas (*gross-α*) di udara mendekati nilai latar pada selang waktu satu setengah jam (90 menit) setelah VAC dioperasikan, Hal tersebut dibuktikan dengan hasil pengukuran pada beberapa ruang laboratorium dengan karakteristik yang berbeda. Sehingga hal ini menjadi dasar bagi

bidang keselamatan untuk memperkenankan pekerja radiasi untuk memulai kegiatan penelitian dan pengembangan (litbang) di dalam laboratorium.

**ACKNOWLEDGMENT**

Kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pembuatan makalah ini diucapkan terima kasih sebesar-besarnya.

**DAFTAR PUSTAKA**

1) Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir. Laporan Analisis Keselamatan IEBE No. Dokumen KK20J09002 Tahun 2012 ($7^{th}$ revised), 2012.
2) IAEA Safety Standards Series, *Assesment of Occupational Exposure Due to Intakes of Radionuclides*, No. RS-G-1.2
3) IAEA, *Practical Radiation Technical Manual, Workplace Monitoring for Radiation and Contamination*, 2004.
4) Martin, A. and Harbinso, S.A., *An Introduction to Radiation Protection, $3^{rd}$ Edition*, London, 1986
5) ICRP " *Protection Against Radon-222 at home and work"* (1993), Publication 65, Ann of ICRP 25-3
6) UNSCEAR, 1996, " *Natural Radiation Exposures*", Forty Fifth Session
7) Noname. *Radon*. (2 Juli 2018) Available: http: //id.Wikipedia.org
8) Rasito, Soleh Sofyan dan Tri Desita, " Konsentrasi Radon di Udara PTNBR-BATAN BANDUNG " Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir, 2007, pp 415-424
9) Ammar A. Battawy " *Indoor radon concentration measurement in Different Iraqi Radiation Locations* " International Journal of recent research and review, vol .IX, pp. 2-7, 2006
10) El-Taher A., Makhluf S., Nossair A and Abdel Halim A S, "Assessment of natural radioactivity levels and radiation hazards due to cement industry", Appl Radiat & Isot 68, 169–174, 2010
11) A.M. Sanchez, J.d.T Perez, A.B.r. Sanchesz and F.L N. Correa, "Radon in workplace in Extremadura(Spain), Journal of Environmental radioactivity, 107, pp 86-91, 2012

**Pertanyaan:**

Yeti Kartika dan Rini Indrati (Politeknik Kesehatan Kemenkes Semarang)

1. Jelaskan tentang VAC di IEBE?
**Jawab:**
Sistem VAC adalah sistem ventilasi dan tata udara (*air condition*), merupakan salah satu sarana pendukung (utilitas) dalam operasional fasilitas nuklir yang berfungsi menciptakan pertukaran udara didalam laboratorium sesuai dengan persyaratan keselamatan

2. Bagaimana uji/tes kesehatan yang dilakukan pada pekerja radiasi di IEBE?
**Jawab:**
Tes kesehatan secara umum wajib dilakukan oleh karyawan BATAN, sebelum, setiap tahun, dan pada saat mau pensiun. Untuk karyawan IEBE, diselenggarakan oleh poliklinik Kawasan Nuklir Serpong.

3. Bagaimana menguji /tes kesehatan jika ada paparan radiasi gamma yang masuk/diterima oleh pekerja radiasi di IEBE?
**Jawab:**
Setiap pekerja radiasi yang bekerja di medan radiasi di wajibkan memakai personal dosimeter (TLD) berfungsi untuk mengetahui laju dosis dari paparan radiasi gamma yang diterima oleh pekerja radiasi selama bekerja dalam medan radiasi.
TLD tersebut di baca dan di evaluasi setiap 3 bulan sekali di PPIKSN BATAN Serpong.
Sedangkan untuk mengetahui ada tidaknya kadar serbuk uranium yang masuk ke dalam tubuh pekerja radiasi (melalui 3 jalur masuk yaitu inhalasi, ingesi dan serapan kulit yang terbuka) dilakukan dengan *in vitro* (tes urin) dan *in vivo* (*scan* seluruh tubuh secara *whole Body Counter/ WBC*)