SEMINAR NASIONAL IV
SDM TEKNOLOGI NUKLIR
YOGYAKARTA, 25-26 AGUSTUS 2008
ISSN 1978-0176

PERHITUNGAN RADIOAKTIF ALPHA YANG TERDEPOSISI DI PERMUKAAN TANAH DARI UDARA BUANG INSTALASI ELEMEN BAKAR EKSPERIMENTAL

BUDI PRAYITNO
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN
Kawasan Puspitek Serpong, Tangerang 15310, Banten
Telp.021.7560915, Faks 7560909

Abstrak

PERHITUNGAN RADIOAKTIF ALPHA YANG TERDEPOSIT DI PERMUKAAN TANAH DARI UDARA BUANG INSTALASI ELEMEN BAKAR EKSPERIMENTAL. *Perhitungan Radioaktif Alpha (α) Yang Terdeposisi Di Permukaan Tanah Dari Udara Buang Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) Tahun 2007, telah dilakukan. Tujuan perhitungan ini adalah untuk mengetahui apakah kegiatan yang dilakukan di IEBE memberikan dampak kontaminasi di permukaan tanah. Metode yang dilakukan dengan cara menghitung besarnya nilai radioaktif α yang terdeposisi di tahun 2007 dengan menggunakan Persamaan Pasquille. Dari hasil perhitungan ini didapat nilai radioaktif α yang terdeposisi di tahun 2007 diperkirakan sebesar W(x,0,0) = (0,120 ± 0,080) Bq.m^{-2}.dt^{-1}. Hasil ini masih jauh di bawah batasan nilai kontaminasi permukaan yang ditentukan sebesar 370 Bq/m^2 (untuk radioaktif α). Dengan demikian kegiatan di instalasi nuklir IEBE tahun 2007 tidak memberikan dampak ke lingkungan.*

Kata kunci : radioaktif α terdeposisi, Persamaan pasquille, udara buang

Abstract

CALCULATION OF ALPHA RADIOACTIVE DEPOSITION ON THE GROUND SURFACE DUE TO STACK EMISSION FROM THE EXPERIMENTAL FUEL ELEMENT INSTALLATION. *Calculation Of Alpha (α) Radioactive Deposition On The Ground Surface Due To Stack Emission From The Experimental Fuel Element Installation (EFEI) In Year 2007 has been done. This Calculation is obtained to assess the contamination impact from EFEI activity. The method was conducted by calculating of α radioactive quantity which deposition on the ground surface. The calculation is obtained by using Pasquille equation. The result showed that α radioactive deposition in 2007 has surface concentration rate as W(x,0,0) = (0,120 ± 0,080) Bq.m^{-2}.dt^{-1} . This value is lowest under maximum permissible concentration as 370 Bq.m^{-2} (for α radioactive). Thereby EFEI activity in 2007 did not contributed impact to the environment.*

Keywords : deposition α radioactive, pasquille equation, stack emission

PENDAHULUAN

Berdasarkan Keputusan Kepala BATAN No. 123/KA/VIII/2007 tentang Rincian Tugas Unit Kerja di Lingkungan BATAN, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN) mempunyai tugas melaksanakan pengembangan teknologi bahan bakar nuklir dan daur ulang[1]. Dalam pelaksanaannya, PTBN menangani 2 instalasi nuklir, yaitu Instalasi Radiometalurgi (IRM) dan Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE). Tugas pokok yang dilakukan oleh IEBE ialah: memproses *yellow cake* menjadi serbuk UO_2 *nuclear grade* dan memproduksi elemen bakar reaktor daya jenis CIRENE menggunakan bahan baku utama uranium pengkayaan rendah. Untuk mendukung Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) IEBE akan dikembangkan untuk memproduksi elemen bakar reaktor daya. Desain IEBE mampu menggunakan uranium diperkaya hingga 5 %. Di dalam kegiatan penanganan Uranium baik dalam keadaan penanganan terbuka maupun tertutup dimungkinkan terjadinya kontaminasi

zat radioaktif ke udara. Fungsi sistem ventilasi dan pengkondisian udara *(Ventilation Air Condisioning)* di IEBE untuk menyelenggarakan pergerakan udara dari daerah berpotensi kontaminasi rendah ke daerah berpotensi kontaminasi yang lebih tinggi. Fungsi lain sistem ventilasi adalah untuk kenyamanan pekerja. Melalui cara pengaturan aliran udara yang benar, bahaya kontaminasi dapat dikurangi atau ditiadakan. Sistem aliran udara yang dipakai adalah sistem *once through* yakni mengatur udara dengan hanya satu kali lewat. Pada sistem ini dimasukkan udara luar dengan *supply fan* pada debit sebesar 100%. Tanpa sirkulasi ulang, udara masuk kemudian dibuang seluruhnya melalui sistem pembuangan udara *(exhaust air system)*. Untuk mempertahankan tingkat kebersihan ruangan, udara masuk difiltrasi terlebih dahulu dengan cara melewatkannya pada suatu deretan filter *(Supply filter bank)*[2,3]. Filter ini juga berfungsi memperpanjang usia pemakaian filter udara buang.

Kontaminan aerosol radioaktif maupun non radioaktif yang berasal dari proses dalam laboratorium dimungkinkan adanya debu Uranium, debu Berillium dan uap kimia. Oleh karena itu apabila terjadi kontaminasi, kontaminan ini disaring dengan dua tingkat filtrasi sebelum dibuang ke udara luar. Filter tingkat pertama dengan *pre-filter* dan tingkat kedua disebut *after-filter*. Filtrasi aerosol, baik tingkat pertama maupun tingkat ke dua, menggunakan filter *HEPA* (*High Efficiency Particulate Air*) yang mempunyai efisiensi penyaringan maksimal sebesar 99,97% untuk partikulat berdiameter 0,3 μm. Pembuangan udara IEBE ke luar melalui cerobong berdiameter 2 meter dan tinggi dari permukaan tanah setinggi 25 meter. Dari desain kapasitas alir udara *(debit)* yang melalui cerobong buang sebesar 244.850 m^3/jam. Buangan udara yang melalui cerobong buang *(Stack)* ke lingkungan ini harus selalu dimonitor radioaktivitasnya. Selama tahun 2007 pelepasan udara buang dari *stack monitor* IEBE ke lingkungan untuk radioaktif α berkisar 0,024 Bq/m^3-0,161Bq/m^3[4]. Pelepasan udara yang melalui cerobong buang ini harus berdasarkan aturan bakumutu lingkungan[3], yaitu radioaktif α yang dilepaskan ke lingkungan jika sampai di permukaan tanah, tidak boleh melebihi nilai 0,2Bq/m^3. Lepasan radioaktif ke lingkungan ini akan terdeposisi ke permukaan tanah selanjutnya terdeposit ke dalam tanah. Permukaan tanah yang terkena pelepasan radioaktif α dari buangan *stack monitor* ini perlu dimonitor radioaktivitasnya. Metode perhitungan radioaktif α yang jatuh di permukaan tanah dilakukan berdasarkan perhitungan dengan mempergunakan Persamaan matematik *Pasquille* dan didukung data kategori udara di wilayah kawasan Serpong serta ketentuan keselamatan kerja terhadap radiasi tentang batas pelepasan radioaktivitas di udara serta nilai batas radioaktivitas di lingkungan[5,6,7,8]. Tujuan penentuan besarnya radioaktif α yang terdeposisi di permukaan tanah ini untuk menjamin agar kegiatan di IEBE tidak memberikan dampak radiologi ke masyarakat dan lingkungan

TEORI

Untuk memperhitungkan radioaktif α yang terdeposisi di permukaan tanah, terlebih dahulu harus diperkirakan berapa besarnya penyebaran radioaktif yang dilepaskan ke lingkungan. Perhitungan besarnya penyebaran radioaktif ke lingkungan ini digunakan model distribusi pencemaran udara dengan Persamaan *Gauss*. Metoda difusi *Gauss* merupakan metoda semi-empiris, artinya model dibangun berdasarkan pendekatan analitik dan memasukkan komponen-komponen empiris. Asumsi-asumsi penyelesaian dari Persamaan *Gauss* ini adalah[5,6,7]:

1. Distribusi penyebaran dianggap normal
2. Berlaku untuk sumber kontinyu bukan sesaat
3. Arah dan kecepatan angin di sekitar sumber dianggap konstan
4. Konsentrasi maksimum di sepanjang garis pusat beluk/kepulan
5. Tidak ada aliran hilang dalam beluk/kepulan
6. Aliran dalam Persamaan *Gauss* adalah *steady state*
7. Permukaan tanah bertindak sebagai reflektor sempurna

Konsentrasi radioaktif di udara pada jarak x dari titik lepas dan pada jarak y dari pusat beluk serta ketinggian z dari permukaan tanah ialah[5,6,7]:

$$X(x,y,z)=\frac{Q}{2\pi u\sigma y\sigma z}\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma y^2}\right)\left\{\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma z^2}\right)+\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma z^2}\right)\right\} \quad (1)$$

dengan :

Q = laju radioaktif yang terlepas di udara, Bq/dt

U = kecepatan angin, m/dt.

H = tinggi cerobong, m.

σ_y, σ_z = parameter penyebaran horizontal dan vertikal dari kurva *Pasquille,* m.

X(x,y,z) = konsentrasi radioaktif di udara pada titik (x,y,z) dari titik lepas, Bq/m^3.

Konsentrasi radioaktif maksimum diperoleh jika y = 0 dan z = 0, sehingga Persamaan 1 menjadi :

$$X(x,0,0)=\frac{Q}{\pi u\sigma_y\sigma_z}\exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (2)$$

Jatuhan maksimum yang dikeluarkan dari cerobong buang dapat ditentukan dari Persamaan 2 yang diturunkan terhadap x, penyelesaiannya sebagai berikut :

$$\ln X(x,0,0)=\ln\left\{\frac{Q}{\pi\mu\sigma_y\sigma_z}\exp\left[\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right]\right\}$$

Jika :

$$\frac{Q}{\pi\mu\sigma_y\sigma_z}=C$$

maka :

$$\ln X(x,0,0)=\ln\left\{C.\ \exp\left[\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right]\right\}$$

atau sama dengan :

$$\ln X(x,0,0)=\ln C+\ln\left\{\exp\left[-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right]\right\}\quad \ln X(x,0,0)=-2\ln\sigma_z^2-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}+\ln C \quad (3)$$

Dengan keadaan batas, $\frac{dX(x,0,0)}{dx}=0$ didapat konstanta C sebagai berikut.

$$\frac{1}{X}\frac{dX}{dx}=\left(-\frac{2}{\sigma_z}+\frac{H^2}{\sigma_z^3}\right)\frac{d\sigma_z}{dx}=0 \quad (4)$$

Penyelesaian dan penyederhanaan Persamaan 4 didapat :

$$\sigma_z=\frac{H}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

σ_y, σ_z = parameter penyebaran horizontal dan vertikal dari kurva *Pasquille*, dalam satuan m.

Dengan diketahui tinggi cerobong buang dapat ditentukan nilai σ_z, selanjutnya nilai σ_y ditentukan dari kurva *Pasquille.*

Untuk menghitung besarnya radioaktif α yang terdeposisi di permukaan tanah menggunakan persamaan :

$$W(x,0,0)=X(x,0,0)V_d \quad (6)$$

dengan :

W(x,0,0) = radioaktif terdeposisi di permukaan tanah dalam satuan Bq.m^{-2}dt^{-1})

Vd = kecepatan deposisi dalam m/dt, nilainya bervariasi antara 0,001 m/dt sampai dengan 0,01 m/dt, untuk partikulat bernilai 0,002 m/dt[5,7].

Nilai σ_y dicari dari kurva *Pasquille* pada Gambar 1, tentang hubungan antara jarak dari sumber dengan koefisien dispersi vertikal (σ_z) dan horizontal (σ_y). Pemakaian Persamaan 2 perlu memperhatikan kategori stabilitas atmosfer (A s.d. F).[5,6,7] Untuk daerah Serpong dipakai kategori D dengan kecepatan angin berkisar 4 m/dt.

ISSN 1978-0176

Tabel 1. Kategori Kelas Kestabilan Atmosfer Berdasarkan *Pasquille*[5,7]

KECEPATAN ANGIN	SIANG HARI			MALAM HARI	
(m/dt)	Kuat	Sedang	Lemah	Berawan	Cerah
<2	A	A-B	B	G	G
2	A-B	B	C	E	F
4	B	B-C	C	D	E
6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Selanjutnya nilai Qmax adalah hasil perkalian dari kapasitas alir udara (debit) yang melalui cerobong dikalikan dengan lepasan radioaktif α dari cerobong IEBE tahun 2007. (diketahui kapasitas alir udara atau debit yang melalui cerobong buang IEBE sebesar 244.850m^3/jam). Nilai Qmax dituliskan dalam persamaan :

$$Q\,max = Debit \times lepasan\ radioaktif\ alpha \qquad (7)$$

dengan :

Q_{max} = Laju radioaktif maksimum yang terlepas di udara dalam satuan Bq/jam

D = Kapasitas alir udara yang melalui cerobong buang IEBE dalam satuan m^3/jam

Metode

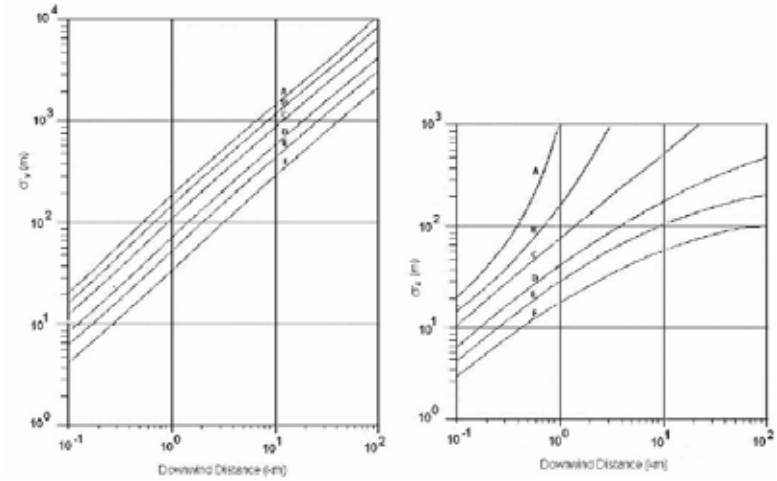
Perhitungan radioaktif α yang terdeposisi di permukaan tanah dari udara buang IEBE tahun 2007 dilakukan dengan menggunakan model distribusi pencemaran udara dengan Persamaan *Gauss*. Metode difusi *Gauss* merupakan metode semi-empiris, artinya model berdasarkan pendekatan analitik dan memasukkan komponen empiris[5,6,7]. Selanjutnya dengan merpergunakan pendekatan ini dihitung nilai X(x,0,0) = konsentrasi radioaktif di udara pada titik (x_{400},0,0) dari titik lepas dalam satuan Bq/m^3 yang sebelumnya dihitung nilai Qmax dan nilai σ_y, σ_z. Setelah nilai X(x,0,0) didapat, selanjutnya dapat dihitung nilai W(x,0,0)

Langkah-Langkah Perhitungan

Untuk menentukan nilai Qmax radioaktif α udara buang IEBE dilakukan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Digunakan Persamaan 5 dengan memasukkan nilai tinggi cerobong IEBE setinggi 25 meter didapat nilai σ_z = 17,68m.
2. Nilai σ_z = 17,68 m dimasukkan ke kurva *Pasquille* pada Gambar 1 untuk kategori D jarak maksimum penyebaran radioaktif terjadi pada jarak 400 m, berarti nilai x_{max} = 400 m dari cerobong buang IEBE.
3. Dari nilai x_{max} = 400 m, ditentukan nilai σ_y dengan menggunakan kurva *Pasquille* pada Gambar 1 dan didapat nilai σ_y = 33.
4. Diambil nilai lepasan radioaktif α dari *stack monitor* setiap triwulan yang tertinggi, contoh triwulan I tahun 2007 = 0,049 Bq/m^3 dan tentukan nilai Q = D x nilai lepasan radioaktif α dari cerobong, yaitu Q = 244.850 m^3/jam x 0,049 Bq/m^3 = 11.997,65 Bq/jam = 719.859 Bq/detik
5. Digunakan Persamaan 2, dengan memasukkan nilai Q = 719.859 Bq/detik, H = 25 m, harga σ_y = 33 m dan σ_z = 17,68 m serta kecepatan rata-rata angin (u) di Serpong sebesar 4 m/detik didapat nilai X (x,0,0) = 36 Bq/m^3 (konsentrasi radioaktif α di udara)
6. Digunakan Persamaan 3 dan ambil nilai Vd = 0,002 m/dt dan nilai X(x,0,0) dari butir 5 didapat harga W(x,0,0) = 0,072Bq.m^{-2}.dt^{-1}.

Diulangi kembali langkah-langkah nomor 4 s/d 6 dengan mengubah nilai lepasan dari cerobong/*stack monitor* yang terdapat di Tabel 2. Selanjutnya hasil perhitungan ditabelkan pada Tabel 3.



Gambar 1. Hubungan Antara Jarak Dari Sumber Dengan Koeffisien Dispersi Vertikal (σ_z) dan Horizontal (σ_y)[5,6,7]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pantauan radioaktif α yang terdapat di udara buang yang melalui cerobong IEBE pada tahun 2007 disajikan pada Tabel 2.

Selanjutnya hasil perhitungan radioaktif α yang terdeposisi di permukaan tanah tahun 2007 disajikan pada Tabel 3. Untuk kepentingan keselamatan data udara buang dari *stack monitor* IEBE diambil yang tertinggi pada setiap triwulan (Apabila data perhitungan diambil dari data lepasan yang tertinggi ternyata hasil akhirnya masih di bawah batasan yang diizinkan, dapat dipastikan untuk data lepasan yang lebih rendah akan jauh lebih aman).

Tabel 2. Pantauan Radioaktif α yang Terdapat Di Udara Buang IEBE Tahun 2007.

No	TRIWULAN	LEPASAN CEROBONG (Bq/m^3)
1	I	0,042 - 0,049
2	II	0,042 - 0,049
3	III	0,024 - 0,065
4	IV	0,121 - 0,161

Sumber : Laporan PTBN tahun 2007 triwulan I, II, III, IV

Tabel 3. Hasil Perhitungan Radioaktif α yang Terdapat Di Permukaan Tanah Pada Jarak 400 m Dari Cerobong Tahun 2007.

No	UDARA BUANG (UB) (Bq/m^3)	Qmax 400m ($Bq.dt^{-1}$)	X(x,0,0) ($Bq.m^{-3}$)	W(x,0,0) ($Bq.m^{-2}.dt^{-1}$)
1	0,049	719.859	36	0,072
2	0,049	719.859	36	0,072
3	0,065	954.915	48	0,096
4	0,161	2.365.251	119	0,238
	UB_{rerata} = 0,081	$Qmax_{rerata}$ =1.189.963,5	X_{rerata} = 59,75	W_{rerata} = 0,120
	sUB = 0,054	sQmax = 791.322,35	sX = 39,90	sW = 0,080

Catatan :
Batasan kontaminan radioaktif α di permukaan = 370 Bq/m^2
UB = radioaktif α yang dibuang melalui *stack monitor*.

Ralat standar deviasi[9] dari W diambil dari Persamaan 8. Untuk ralat standar deviasi X, Qmax, UB pada Persamaan 8 diganti dengan index X, Qmax dan UB

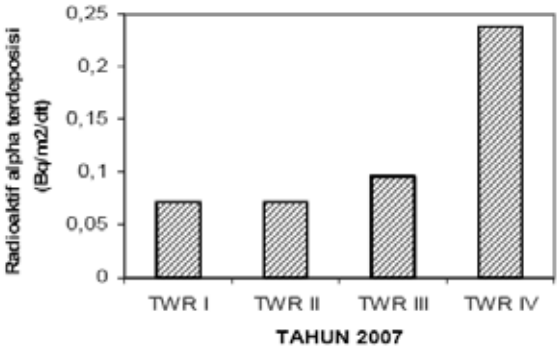
ISSN 1978-0176

$$s\overline{W} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Wi - \overline{W})^2}{n-1}} \quad (8)$$

$s\overline{W}$ = standar deviasi dari radioaktif α yang terdeposisi.

$\overline{W}$ = rerata radioaktif α yang terdeposisi.

Dari Tabel 3 jika dinyatakan radioaktif α yang terdeposisi di permukaan tanah ditampilkan dalam bentuk Gambar 2, tampak pada Gambar 2 tersebut, nilai radioaktif α yang terdeposisi pada permukaan tanah berada jauh di bawah batasan yang diperbolehkan (Batasan kontaminan radioaktif α di permukaan = 370Bq/m^2)



Gambar 2. Radioaktif α Yang Terdeposisi Di Permukaan Tanah Pada Tahun 2007 Di Instalasi Elemen Bakar Eksperimental.

Nilai batasan untuk radioaktif α yang terdapat di permukaan tanah dari buangan *stack monitor* belum ada standar yang pasti dari Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Dalam hal ini dipakai batasan untuk kontaminasi rendah radioaktif α di permukaan daerah kerja/laboratorium, yaitu sebesar 0,37Bq/cm^2. Mengingat untuk kepentingan masyarakat dan sesuai aturan yaitu masyarakat yang menerima radiasi adalah 1/10 dari pekerja radiasi, maka diambil untuk kontaminasi rendah radioaktif α di permukaan tanah sebesar 0,037 Bq/cm^2 atau sebesar 370 Bq/m^2. Dari hasil perhitungan radioaktif α yang terdeposisi dari buangan *stack monitor* IEBE di tahun 2007 pada Tabel 3 nilai W(x,0,0) ini jika dihubungkan dengan nilai batasan untuk kontaminan di permukaan tanah, jelas terlihat berada jauh di bawah batasan yang diperbolehkan. Secara keseluruhan buangan dari *stack monitor* IEBE di tahun 2007 tidak memberikan dampak radioalogi ke masyarakat dan lingkungan disekitar IEBE.

KESIMPULAN

Radioaktif α yang terdeposisi di permukaan tanah dari lepasan udara buang kegiatan di IEBE pada jarak 400m dari cerobong di tahun 2007 adalah sebesar (0,120 ± 0,080) Bq.m^{-2}.dt^{-1}. Nilai ini jauh di bawah batasan yang diizinkan (batasan yang diizinkan untuk radioaktif α di permukaan tanah sebesar 370 Bq/m^2). Secara keseluruhan radioaktif α yang terdeposisi di permukaan tanah yang disebabkan oleh lepasan udara buang dari kegiatan di IEBE tidak memberikan dampak radiologi ke masyarakat dan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONIM, ”Keputusan Kepala BATAN No. 123/KA/VIII/2007 tentang Rincian Tugas Unit Kerja di Lingkungan BATAN”, Jakarta, tahun 2007.
2. ANONIM, ”Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi, Badan Pengawas Tenaga Nuklir”, BAPETEN nomor : 01/Ka-BAPETEN/V-1999 Jakarta, tahun 1999
3. TIM LAK PTBN, ”Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Elemen Bakar Eksperimental”, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, Revisi 6, PTBN, Serpong, tahun 2007.
4. ANONIM, ”Laporan Kegiatan Bidang Keselamatan-PTBN, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir”, Laporan triwulan I, II,III dan IV, tahun 2007.
5. PRAYITNO BUDI, ”Penentuan Nilai Batas Pelepasan Maksimum Untuk Radiasi Alpha Dan Beta Udara Buang Instalasi Elemen Bakar Eksperimental”, Prosiding, Seninar Nasional Pranata Nuklir, PTAPB Yogyakarta, tahun 2007.
6. JOHN R. LAMARSH, *Introduction to Nuclear Engineering*, Addison-Weley publishing company, New York, 1975.
7. TAKEISHI, MINORU., ”Determination of Derived Emission Limits for Airborne and Liquid”, PNC,JAERI, Japan,1996.
8. ANONIM, ”Baku Tingkat Radioaktif di Lingkungan”, Badan pengawas tenaga Nuklir, BAPETEN nomor : 02/Ka-BAPETEN/V-1999, tahun 1999.

9. GANW KUZMA AND STEPHENE, *Basic Statistics For Health Science*, ed. 4 , 2001

TANYA JAWAB

Pertanyaan

1. Dari hasil penelitian ini, bagaimana bila diaplikasikan pada sistem elemen bakar yang digunakan pada PLTN? (Suryo R-STTN)
2. Kenapa anda membandingkan radiasi alpha dengan satuan $Bq.M^{-2}det^{-1}$ dengan batasan 370 $Bq/m^{2.}$ mohon abstrak disesuaikan.(Zaenal Abidin-STTN)
3. Seberapa pentingkah penelitian anda untuk lingkungan? (Any Guntarti-UAD)
4. bagaimana dengan radiasi beta atau yang lainnya? (Any Guntarti-UAD)
5. Untuk pengambilan sampel ini dari jarak berapa minimumnya dan maksimumnya dari cerobong IEBE? (Suyatno-PRPN)
6. Misal hasil kontaminasi di permukaan tanah kecil, tetapi kemungkinan radioaktif apa dari cerobong ada yang nyangkut di permukaan tambahan? Harus bagaimana alpha yang berada ditumbuhan tersebut? (Suyatno-PRPN)

Jawaban

1. Caranya sama, hanya yang berbeda nilai lepasan dari cerobong buang PLTN tersebut.
2. Satuan untuk deposisi zat radioaktif dipermukaan adalah Bq m^{-2} det^{-1}, sedangkan batasan kontaminasi dipermukaan adalah 370 Bq/m^2, dari nilai deposisi ini jika terjadi selama Y detik tinggal dikalikan nilai deposisi tersebut. (atau : nilai deposisi X kali Y detik = Bq/m^2
3. Untuk kepentingan lingkungan perhitungan ini berguna untuk mengetahui apakah ada dampak radiologi ke permukaan tanah/tumbuhan yang disebabkan oleh kegiatan di iebe, disamping itu untuk pembelajaran cara menghitung radioaktif alpha yang terdeposisi dipermukaan tanah.
4. Untuk beta sama caranya dengan alpha hanya batasan yang dipakai adalah 10 kali alpha yaitu $3700Bq/m^2$ untuk gamma tidak dihitung, karena gamma sifatnya bahaya radiasi eksterna yang batasannya 25 μSv/jam.
5. Kami tidak melakukan sampling udara buangan dari cerobong buat IEBE, data tersebut adalah data sekunder dari laporan triwulan pusat teknologi bahan bakar nuklir. Namun persyaratan pengambilan sampel udara buangan adalah di aliran laminer (minimum 2x diameter cerobong buang atau max 10xdiameter cerobong setelah belokan)
6. selama tidak melebihi batasan yang diizinkan tidak masalah, jika melebihi batas yang diizinkan dan tumbuhan tersebut dimakan, dapat berakibat bahaya radiasi interna.