

PENGENDAPAN BASAH RADIONUKLIDA IODIUM-131 DARI UDARA DI LOKASI PPTN

Sudarsono K. Kartodiwirio, Eem Rukmini.
Pusat Penelitian Teknik Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PENGENDAPAN BASAH RADIONUKLIDA IODIUM-131 DARI UDARA DI LOKASI PPTN. Radionuklida yang terkandung dalam limbah gas yang dilepaskan oleh PPTN ke udara akan mengendap ke permukaan tanah baik secara pengendapan basah maupun kering. Pengendapan basah terjadi akibat adanya hujan. Pengendapan radionuklida ke permukaan tanah akan mengakibatkan terjadinya akumulasi radioaktivitas di permukaan tanah yang dapat membahayakan lingkungan dan manusia. Radionuklida yang dominan terdapat di udara PPTN adalah iodine-131. Berdasarkan besar curah hujan di sekitar PPTN, intensitas pengendapan basah maksimum radionuklida yodium dari udara ke permukaan tanah adalah 2,38 mm/det, Kecepatan pengendapan basah adalah 0,03 m/det, dan laju pengendapan radioaktivitas yang terjadi adalah 7×10^{-14} Ci/(mm²).jam).

ABSTRACT

WET DEPOSITION OF AIRBONE Iodine -131 RADIONUCLIDES ON PPTN'S LOCATION Radionuclides in gas waste released by PPTN to the atmosphere will deposited on the ground as wet deposition and dry deposition. Wet deposition occurred by rain wash-out. Radionuclides deposition will cause accumulation of radioactivity on the ground surface which could be hazardous to the environment and mankind. Radionuclide which dominant in PPTN's atmosphere is iodine-131. Based on the rainfall rate at the PPTN surrounding, the wet maximum precipitation rate of airborne iodine radionuclide to the ground surface was 2,38 mm/sec. Wet deposition velocity was 0.03 m/sec, and wash-out deposition rate of radioactivity on the ground was 7×10^{-14} Ci/(mm²).hr).

PENDAHULUAN

Zarah atau gas radioaktif dari instalasi atom, meskipun telah disaring, ada kemungkinan sebagian kecil masih terlepas ke udara. Penyebaran zarah atau gas ini di lingkungan mengikuti pola penyebaran atmosfer, sebagian akan mengendap ke permukaan tanah melalui dua cara.

Kedua cara pengendapan yang terjadi adalah dengan cara basah dan kering. Mekanisme pengendapan basah berlangsung bersama jatuhnya air hujan, salju atau hidrometeorit ke permukaan tanah, sedangkan mekanisme pengendapan kering berlangsung karena pengaruh gaya gravitasi.

Pengendapan akan menyebabkan terjadinya penumpukan radioaktivitas di permukaan tanah. Pengendapan yang dominan sebenarnya adalah cara pengendapan kering yang dapat terjadi setiap waktu. Namun mengingat bahwa Pusat Penelitian Teknik Nuklir (PPTN) terletak pada ketinggian 750 m dari muka laut [1], dan curah hujan di daerah itu cukup tinggi, peranan pengendapan basah oleh air hujan tidak dapat diabaikan begitu saja.

Agar dapat menentukan radioaktivitas yang tertumpuk pada permukaan tanah akibat hujan intensitas pengendapan basah perlu diketahui. Hal itu karena penumpukan radioaktivitas di permukaan tanah dapat mempengaruhi keselamatan lingkungan dan manusia yang berada di atasnya. Radioaktivitas permukaan tanah juga akan sangat mempengaruhi radioaktivitas flora dan fauna yang hidup di sekitar instalasi nuklir, terutama untuk jenis flora dan fauna yang dikonsumsi manusia.

Tujuan perhitungan pengendapan basah oleh air hujan adalah untuk mendapatkan data yang akan digunakan dalam perhitungan tingkat radioaktivitas yang diterima permukaan tanah akibat hujan di sekitar PPTN. Hasil perhitungan tersebut akan digunakan untuk penentuan derived release limit (DRL) dalam jalur lintasan penyebaran radionuklida lewat udara.

METODE

Berdasarkan hasil pemantauan lingkungan PPTN yang dilakukan setiap bulan dan hasil penelitian yang pernah dilakukan, diketahui

bahwa radionuklida yang dominan dalam limbah gas yang terlepas ke lingkungan lewat cerobong dan yang terdapat pada udara di PPTN adalah radionuklida Iodium (^{131}I) [2,3]. Radionuklida yang lain, yang terdapat di udara, hanyalah merupakan radionuklida alamiah [2]. Selanjutnya dalam penelitian ini akan dianggap bahwa udara di atas lokasi PPTN hanya mengandung radionuklida ^{131}I , sehingga perhitungan pengendapan basah yang akan dilakukan hanya untuk radionuklida Iodium (^{131}I). Pengambilan cuplikan udara dilakukan di cerobong buang limbah gas laboratorium produksi isotop, mengingat bahwa di laboratorium tersebut memang dibuat ^{131}I secara berkala. Pengambilan cuplikan udara tidak dilakukan di cerobong buang limbah gas reaktor karena dianggap tidak terjadi pelepasan ^{131}I hasil fisi dari reaktor mengingat sistem keamanan reaktor yang sedemikian baik. Data pendukung lainnya akan diambil dari hasil pemantauan lingkungan yang dilakukan secara bulanan. Anggapan yang diambil ialah :

- a. Sulitnya mengambil cuplikan dari udara pada ketinggian yang sama dengan tinggi cerobong,
- b. Arah hembusan angin yang relatif merata dan dengan kecepatan angin yang tidak begitu besar, sehingga radionuklida ^{131}I relatif tersebar di seluruh udara di atas lokasi PPTN dan tersebar dengan radioaktivitas yang relatif sama dalam jarak-jarak tertentu dari cerobong buang.
- c. Daerah penelitian yang relatif sempit, yaitu hanya di dalam lokasi PPTN,
- d. Radioaktivitas ^{131}I di udara yang masih jauh di bawah baku mutu yang ditetapkan,
- e. Mempertinggi faktor keselamatan dalam perhitungan,

Dengan anggapan di atas penyebaran radioaktivitas ^{131}I dalam udara di atas lokasi PPTN dianggap sesuai dengan pola isokonsentrasi pada udara di atas lokasi PPTN [3]. Daerah pengambilan cuplikan udara disesuaikan dengan arah dominan hembusan angin sepanjang tahun di lokasi PPTN, yaitu arah Timur Laut, Tenggara dan Barat Daya dari letak cerobong. Perhitungan intensitas pengendapan basah oleh air hujan dilakukan dengan menggunakan rumus yang diuraikan oleh F. VINTHER dan HD BRENK [4,5], sebagai berikut

$$Lg = c \times p^a \quad \dots \dots \dots (1)$$

atau

$$p = (Lg/c)^{1/a} \quad \dots \dots \dots (2)$$

dengan

Lg = Koefisien pengendapan (det^{-1}) [4].

c = Tetapan (mm^{-1}), untuk iodium dalam bentuk gas, $c = 8 \times 10^{-6}$ [4], dan $c = 1,2 \times 10^{-4}$ untuk iodium dalam bentuk aerosol [5].

p = Intensitas pengendapan basah (mm/det) [5].

a = Tetapan (0 - 1), untuk iodium dalam bentuk gas,

$a = 0,6$ [4], dan $a = 0,5$ untuk iodium dalam bentuk aerosol [5].

Pengendapan basah oleh hujan sangat tergantung pada curah hujan, yaitu semakin tinggi curah hujan, semakin tinggi pengendapan basah yang terjadi [6]. Hubungan koefisien pengendapan basah (Lg) dengan curah hujan dapat dilihat pada Tabel I.

Tabel 1. Hubungan koefisien pengendapan dengan curah hujan [6]

Curah Hujan (mm/jam)	Lg (det^{-1})
0,06	10^{-5}
0,10	$1,3 \times 10^{-5}$
0,50	3×10^{-5}
1,00	4×10^{-5}
3,00	10^{-4}
10,00	2×10^{-4}
100,00	10^{-3}

Curah hujan sangat mempengaruhi harga Lg karena pada umumnya curah hujan yang tinggi akan mengakibatkan timbulnya butir tetes air hujan yang lebih besar sehingga Lg akan bertambah besar [6]. Besarnya curah hujan juga sangat berkaitan erat dengan kecepatan jatuh butiran air hujan dan besar butiran air hujan [7].

Harga Lg untuk radionuklida dalam bentuk gas sangat tergantung dari kelarutan gas dalam air dan dari konstanta waktu untuk tercapainya kejenuhan air. Harga Lg untuk radionuklida dalam bentuk aerosol sangat tergantung dari ukuran butir aerosol, penyebaran dan ukuran butiran tetes hujan. Butiran tetes hujan sangat dipengaruhi oleh intensitas hujan, dan umumnya ukuran partikel aerosol dalam orde mikrometer. Maka Lg hanya tergantung dari besarnya curah hujan saja [6].

Iodium merupakan salah satu unsur yang dalam bentuk gas menjadi kurang reaktif, sehingga penentuan harga Lg untuk iodium dan koefisien pengendapan iodium yang harus digunakan ialah dua tingkat di bawah nilai cu-

rah hujan yang terjadi [6]. Mengingat tingkat keselamatan lingkungan, dan curah hujan di daerah sekitar PPTN (Bandung) cukup tinggi, maka harga L_g yang akan digunakan sesuai dengan nilai curah hujan yang terjadi.

Perhitungan kecepatan pengendapan basah dan radioaktivitas akibat pengendapan basah dapat dihitung dengan rumus [4,6]:

$$W = w \times p \times X_0 \dots\dots\dots (3)$$

dengan

W = Laju pengendapan radioaktivitas akibat hujan ke permukaan tanah (Ci/((mm²),jam)

p = Intensitas pengendapan basah (mm/jam).

w = Wash-out ratio, yaitu X/X_0 .

X = Radioaktivitas udara di atas permukaan tanah (Ci/ml).

X_0 = Radioaktivitas udara (Ci/ml).

$$Vw = w \times p \dots\dots\dots (4)$$

dengan

Vw = Kecepatan pengendapan basah (m/det.) [5,6,8].

2,71 mm/jam. Untuk mempertinggi faktor keselamatan lingkungan digunakan nilai intensitas hujan terbesar, yaitu 3,45 mm/jam. Dengan nilai ini L_g untuk radionuklida iodium adalah $1,062 \times 10^{-4}$ /det.

Intensitas pengendapan basah radionuklida iodium dalam bentuk gas di udara akibat hujan ialah 1,60 mm/det. Intensitas pengendapan basah radionuklida iodium dalam bentuk aerosol di udara akibat hujan ialah 0,78 mm/det. Intensitas pengendapan basah radionuklida iodium ¹³¹I baik dalam bentuk gas maupun aerosol ialah 2,38 mm/det atau 8568 mm/jam.

Dengan didapatkannya intensitas pengendapan basah, dapat dihitung pula kecepatan pengendapan basah dan laju pengendapan radioaktivitas ke atas permukaan tanah akibat pengendapan basah di daerah sekitar PPTN.

Data X_0 dan X yang digunakan dalam perhitungan selanjutnya didapat dari hasil pengukuran sebagaimana tercantum dalam Tabel 2 dan 3. Untuk mempertinggi tingkat keselamatan lingkungan, nilai X_0 dan X yang digunakan

Tabel 2. Radioaktivitas ¹³¹I di cerobong buang laboratorium produksi isotop dan di atas lokasi PPTN

((1))	((2))	((3))	(%)	X_0
Konsentrasi keradioaktifan dicerobong (μ Ci/ml) $\times E-09$	Jarak dari cerobong (m)	Titik pengambilan cuplikan udara di lokasi PPTN	Persentase konsentrasi keradioaktifan udara di atas ((3)), [3]	Konsentrasi keradioaktifan udara di atas ((3)) (μ Ci/ml $\times E-13$)
20,40	150	I	0,0069	14,08
3,04	150	II	0,0066	2,01
8,51	175	III	0,0088	7,49
27,96	225	IV	0,0080	22,37
8,51	225	V	0,0082	6,98
15,16	175	VI	0,0059	8,94
14,45	175	VII	0,0087	12,57
107,07	200	VIII	0,0056	59,96
11,67	200	IX	0,0064	7,47
11,48	200	X	0,0096	11,02

HASIL DAN EVALUASI

Berdasarkan data curah hujan rata-rata selama 11 tahun di daerah sekitar PPTN, diketahui curah hujan maksimum adalah 304 mm terjadi dalam bulan April. Jumlah hari hujan rata-rata 22 hari, dan minimum 97 mm pada bulan Agustus dengan jumlah hari hujan rata-rata 9 hari [9]. Musim hujan berlangsung antara bulan Oktober dan Mei dan selebihnya musim kemarau. Berdasarkan pengamatan, lama hujan maksimum di Bandung sekitar 4 jam, sehingga intensitas hujan maksimum 3,45 mm/jam. Intensitas hujan minimum diketahui

ialah nilai-nilai yang terbesar. Nilai X_0 yang digunakan ialah $59,96 \times 10^{-13}$ μ Ci/ml atau $59,96 \times 10^{-19}$ Ci/ml, dan nilai X yang digunakan ialah $8,28 \times 10^{-12}$ μ Ci/ml atau $8,28 \times 10^{-18}$ Ci/ml.

Kecepatan pengendapan basah yang terjadi 0,03 m/det, dan laju pengendapan radioaktivitas ke permukaan tanah akibat hujan ialah 7×10^{-14} Ci/((mm²),jam).

PEMBAHASAN

Digunakannya rumus untuk menghitung laju pengendapan radioaktivitas akibat pengendapan basah ke permukaan tanah dengan

Tabel 3. Radioaktivitas ^{131}I dalam udara di atas permukaan tanah di lokasi PPTN

((1))	((2))	X	((4))
Jarak dari cerobong (m)	Titik pengambilan cuplikan udara di lokasi PPTN	Konsentrasi keradioaktifan udara di atas permukaan tanah di ((2)), ($\mu\text{Ci/ml} \times \text{E-12}$)	Terendapkan (%)
150	I	6,28	0,031
150	II	1,57	0,052
175	III	0,59	0,007
225	IV	2,08	0,007
225	V	0,46	0,005
175	VI	2,53	0,017
175	VII	2,20	0,015
200	VIII	8,28	0,008
200	IX	2,13	0,018
200	X	1,86	0,016

menggunakan parameter intensitas pengendapan basah (p) dan *wash-out ratio* (w), karena parameter p telah memperhitungkan nilai rata-rata banyak parameter, antara lain ukuran butiran *aerosol*, penyebaran material dalam arah vertikal, ukuran partikel, bentuk kimia radionuklida, jumlah curah hujan, besar butir tetes hujan, arah angin, jenis sumber radionuklida dan banyak parameter lainnya [4]. *Wash-out ratio* dapat digunakan untuk menghitung pengendapan basah limbah gas akibat pengoperasian reaktor nuklir, tetapi tidak dapat digunakan untuk (data dalam analisis) kasus kecelakaan reaktor hipotetis atau untuk kasus kecelakaan nuklir yang sebenarnya [4].

Perhitungan pengendapan basah pada kasus kecelakaan nuklir harus benar-benar dilakukan secara tepat, berdasarkan kondisi lingkungan di saat terjadi kecelakaan nuklir. Dalam hal seperti itu harus diperhitungkan kondisi kemantapan udara, kondisi angin, karakteristik beluk, sifat dan besar curah hujan, lama waktu kecelakaan, dan morfologi permukaan tanah [6,8,11]. Selain itu tidak boleh hanya dengan menggunakan parameter w , melainkan harus dengan menggunakan rumus beluk Gauss dan model dispersi Gauss [6,11]; dalam kecelakaan nuklir memang mekanisme pengendapan basah yang memegang peranan utama [6].

Dari hasil perhitungan intensitas pengendapan basah yang didapat, terlihat bahwa nilai 2,38 mm/det akan menghasilkan laju pengendapan radioaktivitas ke permukaan tanah relatif kecil, yaitu $7 \times 10^{-14} \text{ Ci}/((\text{mm}^2)\cdot\text{jam})$. Pengen-

dapan basah yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan pengendapan kering yang berlangsung terus menerus siang dan malam, bahkan pada saat hujan sekalipun [8]. Hal tersebut sesuai dengan apa yang dinyatakan dalam hasil penelitian di mancanegara yaitu :

".....dry deposition and wash-out that the latter effect was insignificant for radionuclides and small particles (less than a few micrometer diameter), dose calculation considering dry deposition only are not usually changed significantly by the consideration of wet deposition " [8].

Walaupun demikian mengingat curah hujan di Bandung cukup besar sebaiknya pengendapan basah akibat hujan tetap diperhitungkan bersama dengan pengendapan kering.

Radioaktivitas radionuklida iodium yang tersebar di udara di atas lokasi PPTN (yang terbesar adalah $0,59 \times 10^{-11} \mu\text{Ci/ml}$) sudah di bawah MPC (maximum permissible concentration) untuk umum yaitu $2,8 \times 10^{-11} \mu\text{Ci/ml}$ (larut) dan $10^{-8} \mu\text{Ci/ml}$ (tidak larut) [11], sehingga lokasi PPTN masih aman dari pengendapan yang terjadi. Walaupun demikian sistem pemantauan dan perawatan saringan penangkap radionuklida yang terletak di dalam sistem instalasi dan cerobong buang limbah gas dari laboratorium produksi isotop masih perlu dan harus ditingkatkan, serta harus dilakukan penggantian saringan secara berkala dan teratur.

Radioaktivitas tanah di lokasi PPTN tahun 1961 yaitu sebelum berdirinya reaktor PPTN adalah $2,97 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/g}$ [12]. Berdasarkan data

hasil pemantauan bulanan radioaktivitas tanah, dilakukan, kenaikan radioaktivitas tanah dari tahun 1961-1992 terlihat cukup kecil yaitu $12,93 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/g}$ atau rata-rata $0,40 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/g}$ tiap tahun.

Terbukti bahwa pengendapan radionuklida dari udara ke atas tanah baik secara pengendapan kering maupun pengendapan basah tidak terlalu menaikkan radioaktivitas permukaan tanah, dan lagi radionuklida dominan yang dikandung udara hanyalah radionuklida iodium (^{131}I) yang berwaktu paruh pendek sehingga dapat dengan cepat meluruh.

Berdasarkan data angin harian dari tahun ke tahun, terlihat bahwa angin di sekitar PPTN, bertiup ke arah Timur Laut, Barat Daya dan Tenggara PPTN, dengan kuat angin rata-rata $0,4 \text{ m/det}$ [1]. Mengingat banyaknya pohon-pohon yang tinggi di antara arah Barat-Selatan, Timur Laut-Timur dan Selatan-Barat, serta kecepatan angin yang tidak begitu kencang, daerah pengendapan radionuklida iodium dari udara ke permukaan tanah tidak akan begitu jauh dari PPTN, yaitu di daerah batas pepohonan di sekeliling lokasi PPTN. Hal ini terbukti dengan persen pengendapan radioaktivitas ke permukaan tanah yang lebih besar (pada titik pengambilan cuplikan udara I, II, VI, VII, IX dan X) dari pada di daerah yang tidak berpepohonan tinggi (pada titik pengambilan cuplikan udara lainnya). Dalam hal ini jelas terlihat betapa besarnya peranan jajaran pepohonan tinggi di sekeliling lokasi PPTN dalam membantu memperke-

cil luas daerah penyebaran radionuklida akibat tiupan angin di udara.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil antara lain:

1. Intensitas pengendapan basah radionuklida iodium dari udara ke permukaan tanah akibat hujan ialah $2,38 \text{ mm/det}$.
2. Kecepatan pengendapan basah ialah $0,03 \text{ m/det}$.
3. Laju pengendapan radioaktivitas akibat hujan ke permukaan tanah ialah $7 \times 10^{-14} \text{ Ci}/(\text{mm}^2 \cdot \text{jam})$.
4. Mengingat curah hujan di Bandung cukup tinggi maka pengendapan basah sebaiknya tetap diperhitungkan.
5. Pepohonan tinggi di sekeliling dan di dalam lokasi PPTN hendaknya tidak ditebang dan bahkan diperbanyak sehingga radionuklida yang terkandung dalam udara tidak akan tersebar ke daerah yang lebih luas keluar lokasi PPTN.
6. Perlu adanya penggantian saringan penangkap radionuklida yang selama ini terletak di dalam sistem instalasi dan cerobong pembuangan limbah gas laboratorium produksi isotop. Perlu pula adanya sistem pemantauan dan perawatan saringan-saringan tersebut.
7. Keselamatan lingkungan masih tetap terjaga baik walaupun ada pengendapan radionuklida dari udara.

DAFTAR PUSTAKA

1. PPTN, Laporan Analisa Keselamatan Reaktor Triga Mark II 1000 KW, Pusat Penelitian Teknik Nuklir, Bandung (1984).
2. Heroe Oetami, R. dkk., Aktivitas ^{131}I dalam udara di ruang laboratorium dan cerobong laboratorium produksi isotop primer, Laporan penelitian, PPTN (1986).
3. Nasfryzal Carlo, Pengelolaan limbah radioaktif gas ^{131}I PPTN Bandung ditinjau dari aspek teknis teoritis, Tesis, Program Studi Teknik Lingkungan, Program Pasca Sarjana, ITB, Bandung (1992).
4. Vinther, F. H., Nielsen, O. J., A Literature Review on Wet Deposition, Riso-M-2475, Riso, Roskilde (December 1984).
5. Brenk, H. D., Vogt, K. J., The calculation of wet deposition from radioactive plumes, Environmental Effects, Nuclear Safety, Vol. 22, No. 3 (May - June 1981) 362 - 371.
6. Walmod-Larsen, O. et.al., Carnsore : Hypothetical Reactor Accident Study, Riso-R-427, Riso, Roskilde (June 1984).
7. Kartasapoetra, A. G. Ir., Kerusakan tanah pertanian dan usaha untuk merehabilitasinya, Bina Aksara, Jakarta (1988) 18 - 19.

8. Palmer, J. F., Derived release limits (DRL's) for airborne and liquid effluents from the chalk river nuclear laboratories during normal operation, Chalk River Nuclear Laboratories, AECL-7243, Ontario (February 1985).
9. BMG, Data curah hujan tahunan daerah Bandung dan sekitarnya, Jawatan Meteorologi, Bandung.
10. Yatim, S., "Dampak radiologi pada kasus kecelakaan hipotesis Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy", Laporan Penelitian, PTPLR, Serpong (1987).
11. BATAN, Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi, Badan Tenaga Atom Nasional, Jakarta (1983).
12. Wirjosimin, S., Environmental radioactivity in Bandung area, Madjalah Institut Teknologi Bandung Th. 1, No. 2, ITB, Bandung (1961) 52 - 64.

DISKUSI

Hasbullah Nasution :

Apakah *life time* dari ^{131}I , laju dan jumlah endapan per tahun telah diperhitungkan dalam penelitian ini.

Sudarsono Katam :

Life time ^{131}I sudah terwakili atau diperhitungkan ke dalam parameter a dalam rumus $L_g = C \times p^a$. Nilai a untuk tiap jenis radionuklida berbeda-beda besarnya. Parameter laju dan jumlah endapan ^{131}I pertahun memang belum dikaitkan dalam penelitian ini. Kedua parameter tersebut akan ikut diperhitungkan dalam penelitian selanjutnya yang akan memperhitungkan pengendapan basah dan kering, karena jumlah total yang terendapkan adalah akibat kedua jenis pengendapan tersebut.