

## NILAI BATAS LEPAS $^{131}\text{I}$ DALAM AIR BUANGAN DARI PPTN SELAMA OPERASI NORMAL

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

### ABSTRAK

NILAI BATAS LEPAS  $^{131}\text{I}$  DALAM AIR BUANGAN DARI PPTN SELAMA OPERASI NORMAL. Sejak dioperasikan, PPTN tidak pernah melepas limbah dengan konsentrasi radioaktif tinggi, sedang maupun rendah ke lingkungan hidup di sekitar PPTN. Yang dilepas hanyalah air buangan terkontaminasi  $^{131}\text{I}$  dengan waktu paro pendek dan konsentrasi radioaktif sangat rendah. Walaupun demikian untuk keselamatan lingkungan dan manusia, PPTN tetap melakukan pemantauan lingkungan hidup secara ketat. Penelitian dilakukan antara lain untuk menentukan nilai batas lepas (NBL)  $^{131}\text{I}$  ke lingkungan hidup dan jalur kritis lintasan penyebaran  $^{131}\text{I}$  di lingkungan sekitar PPTN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju pelepasan radionuklida  $^{131}\text{I}$  ke lingkungan hidup yang dilakukan PPTN hanya 12 % dari batasan NBL yang diperbolehkan berdasarkan kondisi lingkungan hidup di sekitar PPTN.

KATA KUNCI: Nilai batas lepas (NBL), Jalur kritis penyebaran, Lingkungan hidup  $^{131}\text{I}$ .

### ABSTRACT

DERIVED RELEASE LIMITS OF  $^{131}\text{I}$  IN WASTE WATER FROM RCNT DURING NORMAL OPERATION. Since the beginning of the operation RCNT have never released any kind of radioactive wastes to the environment. It is only waste water contaminated with radioactive  $^{131}\text{I}$  released into the environment after it was treated. However, for the sake of environmental safety, RCNT is conducting environmental monitoring. The objectives of the research are to determine the derived release limits (DRL) of  $^{131}\text{I}$  in waste water which is released in to the environment, and it's critical path. The result of the research showed that the rate of releases of  $^{131}\text{I}$  was only 12 % of the calculated DRL based on RCNT environmental conditions.

KEY WORDS: Derived release limits (DRL), Critical path of distribution, Environment,  $^{131}\text{I}$ .

### PENDAHULUAN

Pusat Penelitian Teknik Nuklir (PPTN) tidak pernah membuang atau melepas limbah radioaktif berkonsentrasi keradioaktifan tinggi, sedang maupun rendah ke lingkungan. Limbah cair dan limbah padat radioaktif seluruhnya disimpan dalam wadah khusus dan ditempatkan dalam ruang gudang yang terjaga dan terawasi secara baik. PPTN hanya melepas air buangan kotor terkontaminasi radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang berwaktu paro pendek dan berkonsentrasi radioaktif sangat rendah. Tempat pelepasan air buangan kotor terkontaminasi radionuklida  $^{131}\text{I}$  adalah sungai Cikapundung. Proses kontaminasi terjadi karena air buangan tersebut berasal dari pencucian peralatan dan pembersihan laboratorium yang digunakan untuk pembuatan radioisotop  $^{131}\text{I}$ . Konsentrasi radioaktif air buangan yang dilepas ke lingkungan sudah sangat rendah dan telah berada di bawah batas yang aman untuk pelepasan  $^{131}\text{I}$  ke lingkungan yang telah ditetapkan [1].

Walaupun radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang telah terlepas ke lingkungan sudah berkonsentrasi radioaktif rendah dan jauh di bawah nilai batas aman, tetapi dipandang dari segi keselamatan lingkungan hidup, pengelolaan dan pemantauan tetap harus dilakukan terutama terhadap dampak yang mungkin terjadi terhadap manusia sebagai titik akhir dari lintasan penyebaran radionuklida atau unsur radioaktif di lingkungan hidup, sehingga keselamatan lingkungan hidup terutama manusia dapat tetap dipertahankan dengan baik.

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah untuk menentukan nilai batas lepas (NBL)  $^{131}\text{I}$  yang diperbolehkan, dan jalur kritis lintasan penyebaran radionuklida  $^{131}\text{I}$  di dalam komponen lingkungan hidup dan dampaknya terhadap manusia di sekitar PPTN dalam kondisi operasi normal. Nilai parameter yang digunakan untuk perhitungan akan selalu diambil yang terbesar untuk memperbesar faktor keselamatan.



## PENDEKATAN DAN METODE PEMECAHAN MASALAH

### Pendekatan Masalah

#### *Komponen Lingkungan dan Cara Hidup Manusia di Lingkungan PPTN.*

Bila dilihat dari segi keberadaan PPTN yang terletak di tengah kota, lingkungan PPTN masih lengkap memiliki hampir semua komponen lingkungan hidup, dan hal ini merupakan sesuatu yang sulit ditemui di lingkungan industri lainnya.

Komponen lingkungan hidup yang langsung terkena dampak air buangan terkontaminasi radionuklida  $^{131}\text{I}$  adalah sungai Cikapundung, habitat ikan sungai Cikapundung dan manusia di sepanjang aliran sungai Cikapundung yang menggunakan air sungai Cikapundung.

#### *Sungai Cikapundung*

Sungai Cikapundung yang mengalir di daerah bagian belakang PPTN (di sebelah Barat PPTN) akan mengalir dan bermuara di sungai Citarum di dekat kota Dayeuh Kolot. Debit air sungai Cikapundung berhubungan erat dengan curah hujan rata-rata setiap bulannya.

#### *Habitat Ikan di Sungai Cikapundung*

Kondisi habitat ikan di sungai Cikapundung adalah:

1. Di sungai Cikapundung sudah sulit ditemui ikan-ikan yang biasa atau dapat dikonsumsi oleh manusia. Ikan yang didapat hanya ikan kecil dengan berat rata-rata 50 gr.
2. Pada aliran sungai Cikapundung di bagian selatan PPTN terdapat beberapa sistem karamba pemeliharaan ikan berukuran kecil dan berjumlah sedikit. Berat ikan adalah sekitar 300 gr pada saat dipanen dan dijual ke pasar.

Dengan demikian, dianggap bahwa ikan-ikan yang hidup secara alamiah dan yang dipelihara di sungai Cikapundung tidak dikonsumsi oleh manusia di sepanjang aliran sungai Cikapundung secara harian, sehingga dampak radionuklida  $^{131}\text{I}$  dari ikan-ikan tersebut terhadap manusia di sekitar PPTN akan sangat kecil dan tidak bersifat sehari-hari. Walaupun dampaknya kecil tetapi jalur lintasan penyebaran radionuklida  $^{131}\text{I}$  lewat ikan akan tetap diperhitungkan.

#### *Manusia Penghuni Daerah Sepanjang Aliran Sungai Cikapundung*

Para manusia yang menggunakan air sungai Cikapundung untuk keperluan sehari-hari semakin sedikit jumlahnya dan hanya menggunakan air sungai Cikapundung untuk mandi dan mencuci pakaian, dan tidak lagi untuk air minum. Kebiasaan mandi dan cuci ini pun hanya dilakukan oleh sebagian manusia pada daerah aliran air sungai Cikapundung yang berair tidak begitu keruh dan kotor serta berbau.

Berdasarkan pengamatan sehari-hari, penduduk yang menggunakan air sungai Cikapundung adalah:

1. Perempuan, dalam kegiatan cuci pakaian dan mandi.
2. Anak-anak umur 9 -14 tahun yang sering mandi dan berenang, tetapi hal ini sangat jarang terjadi dan tidak terjadi setiap hari.

Cara mandi dan mencuci yang dilakukan, pada umumnya adalah tidak dengan cara berendam di air tetapi dilakukan dari tepi sungai dengan cara penyidukan air sungai.

#### *Karakteristik Radionuklida Yang Terlepaskan Ke Lingkungan.*

Beberapa hasil penelitian yang pernah dilakukan dan data yang tersedia antara lain adalah :

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan [3, 4, 5] ternyata:

- a. Radionuklida yang dilepas PPTN ke lingkungan dan di air sungai Cikapundung adalah  $^{131}\text{I}$ .
- b. Debit air sungai Cikapundung pada musim hujan  $4,51 \text{ m}^3/\text{det.}$ , dan pada musim kemarau  $2,08 \text{ m}^3/\text{det.}$
- c. Pada saat debit air sungai terendah, konsentrasi radioaktif air sungai  $4,44 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$  dan pada saat debit air sungai tertinggi, konsentrasi radioaktif air sungai adalah  $2,04 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$ , Rata-rata tahunan konsentrasi radioaktif air sungai adalah  $3,24 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$ .
- d. Pada saat penelitian, konsentrasi radioaktif air buangan terkontaminasi  $^{131}\text{I}$  yang dilepaskan ke sungai Cikapundung  $1,52 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/ml}$  sebanyak 9.000 liter selama 120 menit.
- e. Konsentrasi radioaktif lumpur sungai Cikapundung sangat kecil atau tidak terukur oleh alat pencacah karena jauh di bawah limit deteksi alat.
- f. Air sumur penduduk tidak mengandung radionuklida  $^{131}\text{I}$ .



Dengan ditetapkannya sistem pengolahan limbah cair yang baru, yaitu menggunakan eceng gondok (*Echornia crasipes*) di laboratorium alam PPTN, maka konsentrasi radioaktif air buangan terkontaminasi radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang dilepas ke sungai Cikapundung menjadi  $1,12 \times 10^{-6} \mu\text{Ci/ml}$  dan pelepasan ke sungai Cikapundung tidak dilakukan dua kali seminggu tetapi dua kali sebulan dengan volume 16.000 liter setiap kali pelepasan dalam waktu 300 menit.

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka:

1. Besar pengenceran konsentrasi radioaktif oleh air sungai Cikapundung adalah 4 kali.
2. Konsentrasi radioaktif air sungai Cikapundung setelah penyempurnaan proses pengolahan limbah adalah  $2,8 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$  atau  $2,49 \times 10^{-10} \text{ Ci/det}$ .
3. Konsentrasi radioaktif lumpur di sungai Cikapundung dan air bawah permukaan tanah dianggap kecil dan tidak akan diperhitungkan.

Terdapat kemungkinan yang sangat kecil bahwa  $^{131}\text{I}$  yang terkandung dalam air sungai Cikapundung yang digunakan untuk mandi dan mencuci memasuki tubuh lewat pori-pori kulit, terlebih lagi karena konsentrasi radioaktif  $^{131}\text{I}$  di dalam air sungai sangat rendah. Pada umumnya senyawa  $^{131}\text{I}$  tidak dapat memasuki bagian dalam tubuh lewat kulit, sehingga tidak dapat terendapkan dalam tubuh manusia [6], terlebih lagi bila berkonsentrasi radioaktif sangat rendah karena  $^{131}\text{I}$  berwaktu paro cukup pendek.

Dianggap bahwa dampak terdapatnya  $^{131}\text{I}$  dalam air sungai Cikapundung terhadap manusia yang menggunakannya hanya bersifat paparan luar, yaitu selama mandi dan mencuci pakaian. Berdasarkan pengamatan, kegiatan mandi dan mencuci pakaian dapat berlangsung antara 15 - 45 menit. Jumlah air sungai yang digunakan diperkirakan sebesar 50 liter untuk mandi dan 150 liter untuk mencuci pakaian. Air cucian tidak seluruhnya mengenai tubuh secara menyeluruh, karena berdasarkan cara kebiasaan mencuci, bagian tubuh yang terkena hanya tangan dan sebagian kaki.

Mengingat bahwa  $^{131}\text{I}$  berwaktu paro pendek dan konsentrasi radioaktif air sungai rendah, dampak  $^{131}\text{I}$  terhadap pakaian yang dicuci dengan air sungai Cikapundung cukup kecil pada manusia pemakainya.

#### Jalur Lintasan Radionuklida Akibat Pelepasan Air Buangan Terkontaminasi Radionuklida $^{131}\text{I}$ Ke Lingkungan

Komponen lingkungan selain terkena dampak pelepasan air buangan terkontaminasi radionuklida  $^{131}\text{I}$ , juga terkena dampak pengendapan kering dan basah radionuklida  $^{131}\text{I}$  dari udara, serta dampak migrasi radionuklida  $^{131}\text{I}$  dalam tanah oleh air permukaan, air bawah permukaan dan air tanah. Berapa besar pengaruh setiap dampak itu bergantung pada kondisi setempat.

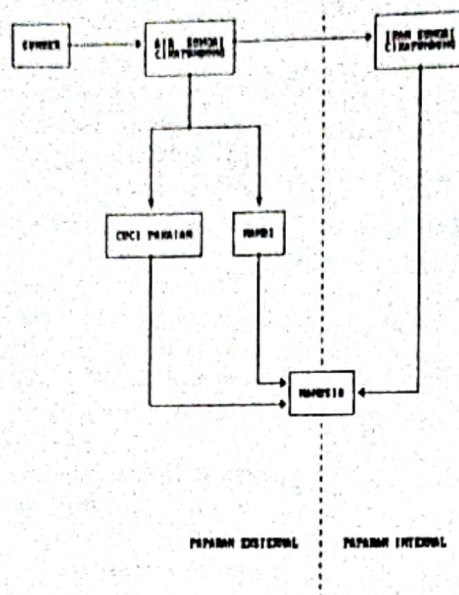
Kesimpulan yang dinyatakan J.F. PALMER [7], antara lain menyebutkan "..... *dry deposition and washout that the latter effect was insignificant for radioiodine and small particles (less than a few  $\mu$  diameter), ..... dose calculation considering dry deposition only are not usually changed significantly by the consideration of wet deposition*". Sedangkan O. WALMOD-LARSEN et.al. [8], membuat kesimpulan "..... *considering radioactive materials released in a reactor accident, washout will always be the dominating mechanism*".

Arah angin rata-rata yang bertiup di atas PPTN [9], adalah ke arah Timur dan Tenggara PPTN, sedangkan sungai Cikapundung berada di sebelah Barat PPTN, sehingga sebagian besar pengendapan kering dan basah yang terjadi akan terakumulasi di sebelah Timur PPTN. Berdasarkan data pemantauan bulanan, konsentrasi radioaktif gas dengan radionuklida yang tidak diketahui, yang dilepas ke udara oleh PPTN adalah sangat kecil, yaitu berorde  $10^{-12} \mu\text{Ci/ml}$ , konsentrasi radioaktif  $^{131}\text{I}$  dalam udara sekitar berorde  $10^{-11} \mu\text{Ci/ml}$  [10], sehingga pengendapan dari udara besar kemungkinan akan sangat kecil mengingat daerah penyebarannya sangat luas. KMI  $^{131}\text{I}$  di udara untuk umum adalah  $2,5 \cdot 10^{-11} \mu\text{Ci/ml}$  [1]. Migrasi tidak mungkin naik kembali ke arah bukit, karena sungai Cikapundung terletak jauh di bawah di lembah di sebelah barat PPTN.

Berdasarkan hal-hal tersebut di atas, dampak pengendapan kering dan basah  $^{131}\text{I}$  dari udara serta migrasi radionuklida  $^{131}\text{I}$  dalam tanah dianggap tidak akan menambah konsentrasi radioaktif air sungai Cikapundung secara nyata.

Jalur lintasan penyebaran radionuklida  $^{131}\text{I}$  akibat pelepasan air buangan terkontaminasi radionuklida  $^{131}\text{I}$  ke sungai Cikapundung adalah sebagaimana terlihat pada Gambar 1.





Gambar 1. Jalur penyebaran radionuklida akibat pelepasan air buangan kotor ke sungai Cikapundung terhadap manusia.

#### Media Penyebaran Radionuklida $^{131}\text{I}$

Berdasarkan jalur penyebaran radionuklida  $^{131}\text{I}$  akibat pelepasan air buangan terkontaminasi radionuklida  $^{131}\text{I}$  ke sungai Cikapundung dan dampaknya terhadap manusia, ternyata media penyebaran radionuklida  $^{131}\text{I}$  adalah air sungai Cikapundung.

#### Kelompok Manusia Penerima Dampak Pelepasan Air Buangan Terkontaminasi Radionuklida $^{131}\text{I}$

Kelompok manusia penerima dampak pelepasan air buangan terkontaminasi radionuklida  $^{131}\text{I}$  adalah :

1. Manusia dewasa berjenis kelamin perempuan dan laki-laki.
2. Anak-anak umur 9-14 tahun berjenis kelamin laki-laki dan perempuan.

#### Jenis Dan Karakteristik Organ Manusia Yang Menerima Dampak Radionuklida $^{131}\text{I}$ Yang Mencapai Manusia

Dampak pelepasan air buangan terkontaminasi radionuklida  $^{131}\text{I}$  terdiri dari dua jenis yaitu :

1. Akibat paparan luar kepada organ tubuh melalui kegiatan mandi dan cuci dengan menggunakan air sungai Cikapundung terutama kulit dan seluruh tubuh.
2. Paparan dalam kepada organ tubuh karena makan ikan yang hidup di sungai Cikapundung terutama organ perut. Kemungkinan pengendapan  $^{131}\text{I}$  dalam tubuh manusia antara lain adalah pada kelenjar gondok.

#### Konsentrasi Radioaktif Dalam Komponen Lingkungan

Jenis dan konsentrasi radioaktif dalam komponen lingkungan yang memberikan dampak pada manusia adalah air sungai Cikapundung dan ikan yang hidup di air sungai Cikapundung serta pakaian yang dicuci dengan air sungai Cikapundung. Konsentrasi radioaktif air sungai Cikapundung adalah  $2,8 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$  dan konsentrasi radioaktif maksimum ikan yang hidup di air sungai Cikapundung adalah  $3,307 \times 10^{-7} \text{Ci/kg}$  [11].



## METODE PEMECAHAN MASALAH

### Paparan dalam

Laju maksimum pelepasan yang diperbolehkan untuk radionuklida  $^{131}\text{I}$  ke sungai Cikapundung melalui SUMBER - AIR SUNGAI CIKAPUNDUNG - IKAN YANG HIDUP DI SUNGAI CIKAPUNDUNG - MANUSIA dapat ditentukan dengan menghitung laju maksimum pelepasan yang diperbolehkan ( $q_{11}$ ) akibat ikan yang dimakan dan mengakibatkan paparan dalam [7].

$$q_{11} = \frac{\text{BPT}}{P_1 \times P_2 \times P_3} (\text{Ci/det}) \quad (1)$$

BPT = Batas pemasukan tahunan melalui pencernaan, berdasarkan standar yang ditetapkan mengenai batas dosis [1,7] untuk  $^{131}\text{I}$  adalah  $2,8 \times 10^{-6}$  Ci untuk dewasa dan  $3,2 \times 10^{-7}$  Ci untuk anak-anak;  $P_1$  = Faktor pengenceran oleh air sungai ( $\text{det/l} = 1 / (Q \times C)$ );  $Q$  = debit air sungai ( $\text{m}^3 / \text{det}$ );  $C = 1.000 \text{ l/m}^3$ ;  $P_2$  = Faktor konsentrasi dalam ikan ( $\text{l/kg} = \text{KI/KAS}$ );  $\text{KAS} = \text{konsentrasi radioaktif air sungai (Ci/l)}$ ;  $\text{KI} = \text{konsentrasi radioaktif ikan (Ci/kg)}$ ;  $P_3$  = Sorpsi oleh manusia akibat memakan ikan ( $\text{kg/th} = I_k \times F$ );  $I_k$  = Jumlah ikan yang dimakan manusia tiap tahun ( $\text{kg/th}$ ). Konsumsi ikan air tawar penduduk Bandung adalah  $8 \text{ kg/orang/th}$  [12];  $F$  = konstanta frekuensi manusia memakan ikan yang mengandung radionuklida  $^{131}\text{I}$  tiap tahun. Berdasarkan informasi yang dikumpulkan, pemanjangan atau penjalanan ikan di sungai Cikapundung rata-rata dilakukan tiga kali tiap minggu maka  $F = 0,43$  dan hasil tangkapan ikan seluruhnya diandaikan dikonsumsi manusia.

### Paparan luar

Laju maksimum pelepasan yang dibolehkan untuk radionuklida  $^{131}\text{I}$  ke sungai Cikapundung lewat jalur SUMBER - AIR SUNGAI CIKAPUNDUNG - MANUSIA akan dihitung lewat beberapa pendekatan dan pengandaian.

Tidak ditemukan cara atau rumus untuk perhitungan laju maksimum pelepasan yang dibolehkan untuk kasus paparan luar akibat mandi dengan air sungai yang terkontaminasi radionuklida. Dengan pertimbangan bahwa ketika mandi dan cuci seakan-akan air membalut tubuh seperti halnya keberadaan tubuh manusia yang terbalut udara di sekelilingnya. Selain itu selama waktu mandi dan cuci air tidak terus menerus membalut tubuh dan jatuhnya air pada tubuh tidak merata. Pelaksanaan mandi dan

cuci dilakukan dengan jalan berjongkok atau berdiri di atas tanah di udara terbuka.

4. Pakaian yang dicuci dengan air sungai Cikapundung akan dipakai terus menerus, membalut tubuh.

Dengan demikian perhitungan laju maksimum pelepasan yang diperbolehkan akan digunakan rumus maksimum laju yang diperbolehkan untuk kasus "Immersion" [7] dan dengan menggunakan faktor konversi dosis untuk kelompok radionuklida yodium dalam kasus paparan luar dari permukaan tanah karena tidak dapat ditemukannya data faktor konversi dosis untuk  $^{131}\text{I}$  dalam air atau udara.

Laju maksimum pelepasan  $^{131}\text{I}$  yang dibolehkan ( $q_{KM}$ ) untuk paparan pada kulit akibat mandi, lewat jalur SUMBER - AIR SUNGAI CIKAPUNDUNG - MANDI - MANUSIA.

$$q_{KM} = \frac{\text{DK}}{P_1 \times P_4} (\text{Ci/det}) \quad (2)$$

DK = Dosis tahunan pada kulit yang dibolehkan adalah  $5 \text{ rem/th}$  [7];  $P_1$  = Faktor pengenceran dalam air sungai ( $\text{det/m}^3$ );  $P_4$  = Laju dosis kulit ( $\text{rem/th} / (\text{Ci/m}^3) = 3,51 \times 10^5 \times F_1$  = Keberadaan manusia pada saat terkena paparan luar, untuk satu tahun ( $1,5 \text{ jam/hari}$ ,  $365 \text{ hari/tahun}$ ) adalah  $22,82$ .

Laju maksimum pelepasan  $^{131}\text{I}$  yang dibolehkan ( $q_{TM}$ ) untuk paparan pada tubuh akibat mandi, lewat jalur SUMBER - AIR SUNGAI CIKAPUNDUNG - MANDI - MANUSIA

$$q_{TM} = \frac{\text{DT}}{P_1 \times P_5} (\text{Ci/det}) \quad (3)$$

DT = Dosis tahunan pada tubuh yang dibolehkan  $0,5 \text{ rem/th}$  [7].  $P_1$  = Faktor pengenceran dalam air sungai ( $\text{det/m}^3$ );  $P_5$  = Laju dosis tubuh ( $\text{rem/th} / (\text{Ci/m}^3) = 2,98 \times 10^5 \times F_1$

Laju maksimum pelepasan  $^{131}\text{I}$  yang dibolehkan ( $q_{KP}$ ) untuk paparan pada kulit akibat pakaian yaitu lewat jalur SUMBER - CUCI PAKAIAN - PAKAIAN - MANUSIA.

$$q_{KP} = \frac{\text{DT}}{P_1 \times P_6 \times P_7} (\text{Ci/det}) \quad (4)$$

DK = Dosis tahunan pada kulit yang dibolehkan adalah  $5 \text{ rem/th}$  [7];  $P_1$  = Faktor pengenceran dalam air sungai ( $\text{det/m}^3$ ) =  $3,51 \times 10^5 \times F_2$ ;  $F_2$  = Keberadaan manusia pada saat terkena paparan luar akibat pakaian untuk satu tahun adalah  $24 \text{ jam/24 jam/hari} \times 365 \text{ hari} = 365$ ;  $P_6$  = Laju dosis kulit ( $\text{rem/th} / (\text{Ci/m}^3)$ );  $P_7$  = Faktor penyerapan



oleh kain berdasarkan pengamatan yang dilakukan terhadap pencucian kain dengan air yang mengandung radionuklida  $^{131}\text{I}$  didapat nilai  $P_7$  sebesar 3,8.

Laju maksimum pelepasan  $^{131}\text{I}$  yang dibolehkan ( $q_{TP}$ ) untuk paparan pada tubuh akibat pakaian, lewat jalur SUMBER - CUCI PAKAIAN - PAKAIAN - MANUSIA.

$$q_{TP} = \frac{DT}{P_1 \times P_7 \times P_8} \text{ (Ci/det)} \quad (5)$$

DT = Dosis tahunan pada tubuh yang dibolehkan adalah 0,5 rem/thn [7];  $P_1$  = Faktor pengenceran dalam air sungai ( $\text{det}/\text{m}^3$ ) =  $2,98 \times 10^6 \times F_2$ ;  $P_8$  = Laju dosis tubuh ( $\text{rem}/\text{th}$ )/( $\text{Ci}/\text{m}^3$ );  $P_7$  = Faktor penyerapan oleh kain berdasarkan pengamatan yang dilakukan terhadap pencuci pakaian dengan air yang mengandung radionuklida  $^{131}\text{I}$  didapat nilai  $P_7$  sebesar 3,8.

#### Nilai Batas Lepas (NBL)

NBL adalah nilai laju pelepasan terbesar yang diijinkan untuk radionuklida tunggal dari suatu sumber tunggal. NBL ditentukan berdasarkan nilai batas dosis (NBD) dengan bantuan model analitik dari semua lintasan lingkungan hidup yang terbukti sampai ke manusia dalam kelompok yang menerima paparan terbesar (disebut kelompok kritis) [7]. Tujuan penentuan NBL adalah untuk menetapkan batas pelepasan sehingga dapat mempertinggi faktor keselamatan lingkungan hidup di sekitar industri atau fasilitas nuklir. NBL ditentukan dengan menggunakan rumus [7]:

$$\frac{1}{(Q_M)_{ikn}} = \sum_p \frac{1}{(q_m)_{iknp}} \text{ (Ci/det)} \quad (13)$$

$(Q_M)_{ikn}$  = Nilai batas lepas untuk kelompok manusia;  $P$  = Jumlah dan jenis lintasan penyebaran;  $(q_m)_{iknp}$  = Laju maksimum pelepasan yang diperbolehkan yang terdapat dalam lintasan tersebut; NBL  $^{131}\text{I}$  dalam air buangan kotor terkontaminasi yang dilepas ke lingkungan adalah sama dengan nilai  $(Q_M)_{ikn}$  pada lintasan penyebaran yang paling minimal.

#### HASIL, EVALUASI DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang didapat adalah:

1. Laju maksimum pelepasan radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang diperbolehkan akibat paparan dalam dari ikan yang dimakan manusia dewasa adalah  $1,4 \times 10^4$  Ci/det.
2. Laju maksimum pelepasan radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang diperbolehkan akibat paparan dalam

dari ikan yang dimakan anak-anak adalah  $1,6 \times 10^7$  Ci/det.

3. Laju maksimum pelepasan radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang diperbolehkan akibat paparan luar pada kulit manusia dari mandi adalah  $1,3 \times 10^6$  Ci/det.
4. Laju maksimum pelepasan radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang diperbolehkan akibat paparan luar pada tubuh manusia dari mandi adalah  $1,5 \times 10^7$  Ci/det.
5. Laju maksimum pelepasan radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang diperbolehkan akibat paparan luar pada kulit manusia dari pakaian adalah  $2,1 \times 10^8$  Ci/det.
6. Laju maksimum pelepasan radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang diperbolehkan akibat paparan luar pada tubuh manusia dari pakaian adalah  $2,5 \times 10^9$  Ci/det.
7. Nilai batas lepas radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang dibolehkan pada kelompok manusia dewasa adalah  $2,2 \times 10^9$  Ci/det.
8. Nilai batas lepas radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang diperbolehkan pada kelompok anak-anak adalah  $2,1 \times 10^9$  Ci/det.

NBL untuk pelepasan radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang terdapat dalam air buangan terkontaminasi  $^{131}\text{I}$  yang dilepas ke lingkungan PPTN, dalam kondisi operasi normal reaktor nuklir PPTN adalah  $2,1 \times 10^9$  Ci/det. NBL untuk  $^{131}\text{I}$  dalam satu bulan atau maksimum aktivitas  $^{131}\text{I}$  dalam satu bulan adalah  $5,62 \times 10^3$  Ci.

Kelompok kritis yang menerima dampak pelepasan radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang terdapat dalam air buangan terkontaminasi yang dilepas ke lingkungan PPTN dalam kondisi operasi normal reaktor nuklir PPTN adalah penduduk anak-anak yang memakan ikan dari sungai Cikapundung dan menggunakan air sungai Cikapundung untuk mandi, berenang dan mencuci pakaian.

Lintasan dominan yang terjadi akibat pelepasan radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang terdapat dalam air buangan terkontaminasi yang dilepas ke lingkungan PPTN, dalam kondisi operasi normal reaktor nuklir PPTN adalah lintasan SUMBER - AIR SUNGAI CIKAPUNDUNG - CUCI PAKAIAN - PAKAIAN - MANUSIA.

Berdasarkan hasil perhitungan NBL untuk  $^{131}\text{I}$  yaitu sebesar  $2,1 \times 10^9$  Ci/det, ternyata laju pelepasan radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang dilakukan PPTN ke lingkungan masih aman dilakukan karena laju pelepasan yang terjadi hanya  $2,49 \times 10^{10}$  Ci/det yang berarti baru 12 % dari NBL yang diperbolehkan. Hal ini dapat



membuktikan bahwa lingkungan hidup PPTN terutama penduduk yang tinggal di sepanjang sungai Cikapundung dan yang menggunakan air sungai Cikapundung untuk mencuci pakaian dan mandi akan aman dari kemungkinan bahaya akibat pelepasan radionuklida  $^{131}\text{I}$  dari PPTN, dan pelepasan radionuklida  $^{131}\text{I}$  adalah aman bagi lingkungan hidup (termasuk manusia) di sekitar PPTN.

Cara yang dapat ditempuh untuk meningkatkan keamanan lingkungan hidup di sekitar PPTN antara lain adalah dengan cara sebagai berikut:

1. Melakukan pengelolaan dan pemantauan limbah secara sinambung dan ketat.
2. Meningkatkan proses pengolahan air buangan kotor terkontaminasi  $^{131}\text{I}$  sehingga keradiokatifan air buangan kotor terkontaminasi  $^{131}\text{I}$  dapat ditekan serendah mungkin.
3. Bersama pemerintah daerah dan dinas kesehatan,
  - a. memberikan pengertian atau penjelasan kepada masyarakat di sekitar PPTN agar tidak menggunakan air sungai Cikapundung untuk mencuci dan mandi.
  - b. memperbanyak tempat mandi umum dengan sumber air bersih.
  - c. menganjurkan masyarakat agar tidak memelihara ikan di aliran sungai Cikapundung dan tidak mengkonsumsi ikan dari sungai Cikapundung.

dung dan tidak mengkonsumsi ikan dari sungai Cikapundung.

d. memberikan penjelasan kepada masyarakat bahwa sungai Cikapundung bukan tempat yang baik untuk berenang anak-anak.

## KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian yang dapat diambil antara lain adalah sebagai berikut:

1. Nilai batas lepas (NBL) radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang terkandung dalam air buangan kotor terkontaminasi yang dilepas PPTN ke lingkungan hidup yaitu ke sungai Cikapundung adalah  $2,1 \times 10^{-9}$  Ci/det.
2. Laju pelepasan radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang terkandung dalam air buangan kotor terkontaminasi  $^{131}\text{I}$  yang dilepas PPTN ke sungai Cikapundung selama ini adalah  $2,49 \times 10^{-10}$  Ci/det.
3. Laju pelepasan radionuklida  $^{131}\text{I}$  yang terkandung dalam air buangan kotor terkontaminasi  $^{131}\text{I}$  yang dilakukan PPTN masih jauh dibawah NBL yang diperbolehkan untuk kondisi lingkungan PPTN, yaitu baru 12% dari NBL yang diperbolehkan.
4. Lingkungan hidup sekitar PPTN terutama manusianya adalah aman dari dampak pembuangan air buangan kotor terkontaminasi  $^{131}\text{I}$  yang dilepas PPTN ke lingkungan hidup (sungai Cikapundung).

## DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi, BATAN, Jakarta, (1983).
2. Anonim, Data Jumlah Penduduk Kelurahan Lebak Siliwangi, Kantor Kecamatan Coblong Kotamadya Bandung, Bandung, (1989).
3. Katam, K., S., dkk., Pengaruh limbah cair PPTN terhadap air sungai cikapundung, Laporan Penelitian, PPTN, Bandung, (1988).
4. Rukmini, E., dkk., Studi radioaktivitas pada lumpur kali cikapundung, Laporan Penelitian, PPTN, Bandung, 1989.
5. Rukmini, E., dkk, Identifikasi radioisotop  $^{131}\text{I}$  dari air di lingkungan sekitar PPTN, Laporan Penelitian, PPTN, Bandung, (1986).
6. Dale, M., *Extrac Pharmacopies*, Ed. 28, (1982).
7. 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 1981).
8. Walmod-Larsen, O., et.al., Carnsore hypothetical reactor accident study, RISO National Laboratory, RISO R - 427, Roskilde, (June 1984).
9. Anonim, Laporan analisa keselamatan reaktor TRIGA MARK II 1000 KW, Pusat Penelitian Teknik Nuklir Bandung, (1984).
10. Heru Oeyami, R., dkk., Aktivitas  $^{131}\text{I}$  Dalam udara di ruang laboratorium dan cerobong laboratorium produksi isotop primer", Laporan Penelitian PPTN, Bandung, (1986).



11. Sugianto, T., dkk., "Radioaktivitas hewan air di kolam lingkungan", Laporan Penelitian, PPTN, Bandung, (1989).
12. Anonim, "Pemeliharaan di jala terapung tingkatan, kendati ikan mas banyak, konsumsi belum terpenuhi", Harian Pikiran Rakyat, Bandung, (23 Agustus 1989).

## DISKUSI

### Arlinah K.:

NBL dalam makalah anda adalah untuk operasi normal. Bagaimana dengan operasi tidak normal? Berapakah kira-kira nilai NBL tersebut?

### Sudarsono Katam K.:

Pada operasi tidak normal, yaitu diartikan bila terjadi kecelakaan nuklir atau terjadinya gangguan pada operasi reaktor NBL ini tidak dapat digunakan lagi. Dalam hal terjadinya kecelakaan nuklir perlu diketahui tingkat keradioaktifan lingkungan teori itu untuk menentukan cara penanggulangan. NBL hanya berlaku untuk pelepasan radionuklida ke lingkungan secara rutin. NBL I-131 dalam air buangan kotor ke lingkungan oleh PPTN adalah  $2,1 \times 10^{-9}$  Ci/det.

### Rustam Rukmantara:

Kita (PPTN) sudah yakin bahwa NBL unit  $^{131}\text{I}$  adalah aman untuk manusia sekitar PPTN. Apabila dalam peningkatan keamanan diusulkan Pemda memberi penyuluhan jangan menggunakan air Cikapundung dengan alasan radioaktif, apakah tak akan ada anggapan dari masyarakat bahwa PPTN belum yakin akan keselamatan, PPTN akan dianggap memberi polusi ke lingkungan yang berarti. Sebaiknya, penyuluhan jangan berdasarkan atas radioaktivitas.

### Sudarsono Katam K.:

Kekhawatiran Bapak memang beralasan dipandang dari aspek psikologi masyarakat. Pandangan Bapak akan dijadikan salah satu dasar dalam penentuan teknik penyuluhan kepada masyarakat nantinya.

### Budiono:

Pembuangan limbah radioaktif ke sungai Cikapundung saat ini dimonitor pada saat-saat tertentu saja. Apakah tidak ada usaha untuk monitor limbah tersebut pada setiap saat (karena teknologi saat ini maju sekali)?

### Sudarsono Katam K.:

Pemantauan konsentrasi air sungai Cikapundung paling tidak dilakukan dua minggu sekali. Pelepasan air buangan kotor terkontaminasi  $^{131}\text{I}$  ke lingkungan yang direncanakan dua kali sebulan. Akhir-akhir ini, pada kenyataannya dilakukan satu kali dalam dua/tiga bulan. Konsentrasi keradioaktifan air buangan sudah jauh di bawah MPC yang ditetapkan. Sistem pemantauan yang dilakukan sudah memadai.

Pemantauan secara sinambung (continuous monitoring) sudah sejak beberapa tahun yang lalu diterapkan, tetapi berhubung selalu adanya kendala nonteknis pemantauan seperti itu belum dapat diterapkan.

### Nasukha:

1. Dikatakan dalam abstrak, bahwa PPTN tidak pernah melepas limbah radioaktif berkonsentrasi tinggi, sedang maupun rendah, hanya air buangan terkontaminasi radionuklida  $^{131}\text{I}$ . Apakah air buangan tersebut bukan limbah?
2. Air buangan tersebut dikatakan berkonsentrasi rendah; Tolong sebutkan dalam angka?
3. Diusulkan bisa diproses di PTPLR, apakah mungkin? Mengingat biayanya cukup mahal?



**Sudarsono Katam K.:**

1. Hal ini hanya merupakan persoalan terminologi dan pengertian kata 'limbah' dalam makalah dan abstrak diartikan sisa proses yang terjadi langsung akibat proses produksi, yang pada umumnya berkonsentrasi keradioaktifan tinggi dan mengandung radionuklida berwaktu paruh panjang. Semua limbah hasil proses ini disimpan. Meskipun secara umum air buangan kotor memang termasuk limbah, dalam makalah dibedakan pengertiannya karena air buangan kotor tersebut bukan hasil langsung dari proses radionuklida. Air buangan kotor akibat pencucian peralatan yang digunakan di laboratorium penunjang produksi yang berkonsentrasi keradioaktifan sangat rendah dan mengandung radionuklida berwaktu paruh pendek.
2. Konsentrasi keradioaktifan air buangan kotor adalah berorde  $10^{-7}$   $\mu\text{Ci/ml}$  -  $10^{-8}$   $\mu\text{Ci/ml}$ .
3. Mengingat tujuan keberadaan PTPLR dan telah tersedianya mobil tangki pengangkut limbah cair dari PTPLR, pengiriman air buangan kotor terkontaminasi I-131 PPTN ke PTPLR seharusnya dapat dilakukan, terlebih lagi PTPLR juga telah mengangkut limbah aktivitas rendah dan fasilitas BATAN di Pasar Jumat, Jakarta.