



ANALISIS KESELAMATAN RADIASI DI PEBN DALAM RANGKA IMPLEMENTASI STANDAR ICRP 60

Indro Yuwono
Pusat Elemen Bakar Nuklir - BATAN

ABSTRAK

ANALISIS KESELAMATAN RADIASI DI PEBN DALAM RANGKA IMPLEMENTASI STANDAR ICRP-60. Telah dilakukan analisis keselamatan radiasi pada 3 fasilitas nuklir di PEBN sebagai dasar kemungkinan penerapan standar ICRP-60. Analisis dilakukan terhadap penerimaan dosis radiasi, paparan radiasi daerah kerja, tingkat kontaminasi udara daerah kerja dan tingkat kontaminasi permukaan serta radioaktivitas gas buang ke lingkungan. Analisis dilakukan atas dasar ketentuan BATAN dan standar ICRP-60. Hasil analisis menunjukkan bahwa penerimaan dosis radiasi tertinggi hanya 15 % dari ketentuan ICRP-60 dan 6% dari ketentuan BATAN. Rekomendasi (ICRP-60) dapat diterapkan tanpa mengubah desain laboratorium.

ABSTRACT

RADIATION SAFETY ANALYSIS IN THE NFEC FOR ASSESSING POSSIBLE IMPLEMENTATION OF THE ICRP-60 STANDARD. Radiation safety analysis of the 3 facilities in the Nuclear Fuel Element Center (NFEC) for assessing possible implementation of the ICRP-60 standard has been done. The analysis has covered the radiation dose received by workers, dose rate in the working area, surface contamination level, air contamination level and the level of radioactive gas release to the environment. The analysis has been based on BATAN regulation and ICRP-60 standard. The result of the analysis has showed that the highest radiation dose received has been found to be only around 15 % of the set value in the ICRP-60 standard and only 6% of the set value in the BATAN regulation. Thus the ICRP-60 as radiation safety standard could be implemented without changing the laboratory design.

PENDAHULUAN

Masalah keselamatan khususnya keselamatan radiasi dalam suatu instalasi nuklir merupakan bagian yang harus mendapat prioritas utama sesuai dengan rekomendasi yang dikeluarkan oleh *International Atomic Energy Agency (IAEA)* maupun *International Commission on Radiation Protection (ICRP)*. Dalam kaitan itu setiap instalasi nuklir termasuk instalasi nuklir di lingkungan BATAN sebelum melakukan kegiatannya harus mempunyai izin yang dikeluarkan oleh instansi berwenang. Pengeluaran izin untuk instalasi nuklir diberikan secara bertahap yang dimulai saat kegiatan rancang-bangun (desain), kegiatan konstruksi dan kegiatan operasi. Dalam penilaian pemberian izin ini aspek utama yang ditinjau adalah keselamatan menyangkut keselamatan pekerja, keselamatan instalasi, dan keselamatan lingkungan.

Seiring dengan kemajuan teknologi nuklir dan pemakaiannya, ketentuan atau batasan yang berkaitan dengan keselamatan juga selalu berkembang dan semakin ketat.

Di lingkungan BATAN ketentuan keselamatan kerja terhadap radiasi didasarkan pada S.K. Dirjen BATAN No.PN 03/160/DJ/89^[1] yang merupakan pembaharuan dari S.K. Dirjen BATAN No.24/DJ/II/1983. Kedua ketentuan tersebut didasarkan atas rekomendasi IAEA dan juga rekomendasi ICRP publikasi 26, 27 dan 30 tahun 1982. Batasan dan ketentuan ini digunakan sebagai acuan dalam mengoperasikan ketiga instalasi yang ada di PEBN yaitu IPEBRR, IEBE, dan IRM. Disisi lain, pada tahun 1990 ICRP telah mengeluarkan rekomendasi baru yaitu publikasi 60 dan telah digunakan oleh IAEA. Perubahan ketentuan yang ada menyangkut batasan penerimaan dosis radiasi bagi pekerja, semula 5 rem/tahun atau 50 mSv/tahun menjadi 20 mSv/tahun rerata selama lima tahun.^[2]

Dengan adanya batasan desain dari masing-masing instalasi di PEBN maka dalam pelaksanaan operasinya perlu dilakukan penelitian sejauh mana batasan-batasan didekati atau dilewati. Penelitian dan pemantauan dilakukan terhadap personil pekerja radiasi di lingkungan PEBN meliputi

penerimaan dosis radiasi interna dan eksterna, paparan radiasi daerah kerja, tingkat kontaminasi permukaan, tingkat kontaminasi udara daerah kerja serta tingkat radioaktivitas gas buang dari setiap instalasi yaitu IPEBRR, IEBE dan IRM.

Dalam perkembangan teknologi nuklir di Indonesia akhirnya nanti ketentuan baru tersebut harus diacu oleh BATAN. Dengan demikian maka perlu adanya analisis ulang terhadap semua fasilitas yang ada di lingkungan BATAN dan dalam hal ini dibahas khusus terhadap fasilitas di PEBN. Analisis ulang dilakukan dengan mengevaluasi data pantau lapangan serta data keselamatan dari rancang bangun yang digunakan oleh pihak pemasok. Hal ini diperlukan, karena basis rancangan ketiga fasilitas di PEBN masih mengacu pada batasan yang lama. Dengan analisis ulang ini diharapkan dapat diketahui bagian mana yang harus disesuaikan dan pola apa yang harus disesuaikan dengan ketentuan yang baru, sehingga penerimaan dosis radiasi pekerja, pembagian daerah kerja serta sistem *Ventilation and Air Condition* (VAC) sebagai penunjang dapat memenuhi ketentuan.

TEORI

1. NILAI BATAS STANDAR

Untuk menekan serendah mungkin resiko penerimaan dosis radiasi yang disebabkan karena penggunaan teknologi nuklir oleh ICRP dikeluarkan 3 prinsip dasar proteksi radiasi seperti berikut :

1. Pembeneran (*justification*).
2. Optimasi (*optimization*).
3. Pembatasan (*limitation*).

Dalam mengimplementasikan batasan tersebut ditentukan nilai batas standar, semula digunakan standar tahun 1982 kemudian diperbaharui dengan standar 1994. Perbedaan standar keselamatan radiasi ini mempunyai implikasi yang cukup luas bagi instalasi nuklir yang sudah dibangun dan beroperasi sebelum standar 1994 direkomendasikan. Hal ini disebabkan karena semua fasilitas gedung ataupun laboratorium dirancang dengan dasar keselamatan yang lama.

Nilai batas dalam standar 1982 dan 1994

Dasar standar Keselamatan Proteksi Radiasi tahun 1982 merujuk pada ICRP

No.26. Filosofi dasarnya adalah untuk menyamakan resiko kematian akibat radiasi pada suatu nilai batas dosis dengan resiko yang dialami pada industri lainnya. Resiko kematian tiap tahun dari seorang pekerja yang dapat diterima adalah satu dari 10.000. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa faktor resiko besarnya kira-kira 13 dari 10^6 untuk tiap dosis ekuivalen sebesar 1 mSv ($1,3 \times 10^{-5} \text{ m Sv}^{-1}$)^[2]. Dengan nilai faktor resiko tersebut, maka apabila nilai Batas Dosis adalah 50 mSv, besarnya resiko adalah kira-kira 1 dari 2000. Pada penerapannya masih digunakan prinsip ALARA untuk menekan penerimaan dosis radiasi.

Penelitian tentang resiko penerimaan radiasi terus berlanjut dan berkembang yang didasarkan pada fakta, antara lain terhadap :

1. Korban bom nuklir di Jepang.
2. Pekerja tambang uranium.
3. Penerima dosis radiasi untuk tujuan terapi (kanker, gondok, dan lain-lain).

Dengan mengesstrapolasikannya pada dosis rendah dan laju dosis rendah, maka ICRP menetapkan bahwa faktor resiko untuk kematian akibat kanker bagi masyarakat (semua usia) adalah $5.10^{-5} \text{ mSv}^{-1}$ dan bagi pekerja radiasi adalah $4.10^{-5} \text{ mSv}^{-1}$. Dalam rekomendasinya yang terakhir ICRP menggunakan tiga istilah untuk menunjukkan tingkat toleransi pada penyinaran atau resiko, yaitu :

- a) tidak dapat diterima (*unacceptable*).
- b) dapat ditolerir (*tolerable*).
- c) dapat diterima (*acceptable*).

Secara ringkas perbedaan nilai batas yang digunakan tahun 1982 dan tahun 1994 seperti disajikan dalam Tabel 1^[1,2].

Sejak tahun 1977, ICRP telah menganggap bahwa besarnya kemungkinan meninggal akibat kerja sebesar 10^{-3} dapat dipakai sebagai resiko untuk menentukan nilai batas dosis. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan^[2,8] diperoleh bahwa apabila seorang memperoleh dosis tahunan sebesar 20 mSv, maka kemungkinan meninggal akibat kanker sebesar 10^{-3} tidak akan dilampaui sebelum usia 65 tahun, atau 75 tahun untuk dosis tahunan sebesar 10 mSv. Untuk dosis 50 mSv, maka nilai 10^{-3} akan dilampaui untuk usia diatas 55 tahun.^[2]

Perata-rataan nilai batas dosis dapat diperpanjang sampai 10 tahun, tetapi dosis

efektif rata-rata tidak lebih besar dari 20 mSv/tahun dan tak boleh lebih dari 50 mSv dalam satu tahun tunggal. NBD terdiri atas penyinaran eksterna dan interna. Perbedaan lain adalah faktor bobot radiasi dan faktor bobot jaringan seperti disajikan dalam Tabel 2 dan Tabel 3^[1,2,8].

2. BATASAN DISAIN

Rancang bangun ketiga fasilitas yang dimiliki PEBN semuanya dilakukan oleh pihak pemasok dari luar negeri. IPEBRR oleh Nukem GmbH Jerman dengan memperhitungkan keselamatan kritikalitas. IEBE oleh ANSALDO Italia dan IRM oleh GCNF Interatom Jerman untuk melakukan pengujian elemen bakar pascairadiasi. Kapasitas disain dasar masing-masing instalasi adalah^[3,4,5]

1. IPEBRR: 70 elemen bakar/batang kendali reaktor riset per tahun untuk 8 jam per hari setara dengan ± 90 kg U serta inventori ± 200 kg U diperkaya < 20 %.
2. IEBE : 3 *bundle* /hari elemen bakar Cirene (a 25 kg U) dengan *inventory* 1 ton U alam.
3. IRM : uji 6 elemen bakar MTR-30 atau 1 elemen bakar Biblis A setara dengan < 1 juta Ci.

Hasil analisis atas dasar bahan baku yang diolah dan kapasitas instalasi diperoleh batasan yang diberlakukan oleh para pemasok untuk masing-masing instalasi. Batasan disain masing-masing instalasi disampaikan dalam Tabel 4 dan Tabel 5. Dalam usaha menekan serendah mungkin penerimaan dosis radiasi bagi para pekerja diberlakukan juga pembagian daerah kerja atas dasar tingkat kontaminasi dan paparan radiasinya. Atas dasar kapasitas instalasi tersebut maka total aktivitas radioaktif dapat mencapai sekitar = 201,376 Ci atau setara $743,7 \cdot 10^{10}$ dps = $743,7 \cdot 10^{10}$ Bq untuk IPEBRR.

TATA KERJA

Untuk mendapat data lapangan dari setiap instalasi dilakukan pengambilan atau pemantauan secara rutin setiap hari selama ketiga instalasi beroperasi dalam keadaan sistem VAC beroperasi ataupun tidak. Dari data pantauan rutin diambil data yang tertinggi. Urutan kerjanya adalah :

1. Ditentukan titik-titik atau daerah operasi yang dianggap mempunyai potensi kontaminasi, dan paparan radiasi paling tinggi untuk berbagai zona daerah kerja.
2. Paparan radiasi diukur dengan *surveymeter* dan kontaminasi permukaan dengan uji usap.
3. Tingkat radioaktivitas udara diukur dengan pengambilan cuplikan udara daerah yang ditentukan.
4. Tingkat radioaktivitas gas buang dimonitor secara kontinyu dengan alpha-beta aerosol monitor LB 150 D buatan Berthold.
5. TLD yang dipergunakan pekerja dibaca di Pusat Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif (PTPLR) setiap triwulan dan diperhitungkan untuk penerimaan dosis selama satu tahun.
6. Sampel urin dari pekerja yang dianggap berpotensi terkontaminasi secara interna dianalisis di PTPLR.
7. Analisis penerimaan dosis interna dengan *Whole Body Counter* (WBC) bagi setiap pekerja radiasi di Pusat Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif.

HASIL DAN BAHASAN

Dari perbandingan standar keselamatan tahun 1982 dan 1994 terlihat adanya perbedaan batasan penerimaan dosis radiasi. Hal ini didasarkan atas hasil penelitian mutakhir yang ternyata faktor resiko akibat radiasi bagi pekerja hampir 3 kali lebih besar dari resiko hasil penelitian periode tahun tujuh puluhan.

Dari uraian singkat pada Bab II tentang perbedaan standar keselamatan 1982 dan 1994 di atas terlihat bahwa standar 1994 menyediakan sistem proteksi radiasi yang lebih luas daripada sistem proteksi radiasi yang tersedia dalam standar 1982. Apabila dalam standar 1982, yang diutamakan adalah sistem pembatasan dosis, maka dalam standar disusun dengan tujuan agar keselamatan pemakaian semua sumber radiasi dapat dijamin, persyaratan dasar yang dikemukakan diharapkan dapat memenuhi program proteksi radiasi yang efektif apabila dapat diterapkan.

Ketiga Instalasi di PEBN yaitu IPEBRR, IEBE, dan IRM diresmikan penggunaannya masing-masing pada tahun 1987, 1988 dan 1990. Sejak itu dilakukan pemantauan penerimaan dosis radiasi bagi

pekerja, tingkat radiasi daerah kerja dan tingkat radioaktivitas lepasan gas buang serta tingkat kontaminasi permukaan. Hasil pemantauan tertinggi untuk daerah kerja dan gas buang selama beroperasi disampaikan dalam Tabel 6 sedangkan penerimaan dosis radiasi tertinggi dalam 1 (satu) tahun disampaikan dalam Tabel 7.

Dosis Radiasi dan Gas Buang

Pada Tabel 6 terlihat bahwa penerimaan dosis radiasi pekerja tertinggi dalam satu tahun adalah 3,08 mSv (= 308 mrem), harga ini adalah sekitar 6% NBD lama, dan terhadap NBD baru sebesar 15 %. Sedangkan dari pemantauan penerimaan dosis radiasi interna melalui tes *urine* dan WBC selama ini tak ditemui adanya radionuklida dalam tubuh. Berdasarkan gambaran tersebut sejauh ini masih terlihat bahwa penerimaan dosis radiasi total masih di bawah NBD. Penurunan batasan dari yang lama ke baru sebesar 40 % yaitu dari 50 mSv/tahun menjadi 20 mSv/tahun.

Untuk penerimaan dosis radiasi interna hingga saat ini belum menunjukkan adanya penerimaan dosis. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian^[9] yang menunjukkan bahwa aerosol di lingkungan fasilitas PEBN tidak menunjukkan adanya debu radioaktif yang berasal dari proses yang dilakukan dalam fasilitas. Debu radioaktif diperkirakan dari latar dan sangat rendah aktivitasnya sehingga tidak menyebabkan kontaminasi interna.

Tingkat kontaminasi udara dan permukaan dari Tabel 7 menunjukkan bahwa tingkat tertinggi terjadi di IPEBRR. Hal ini disebabkan instalasi tersebut yang lebih awal beroperasi dan telah mengolah uranium cukup banyak. Namun bila ditinjau dari batasan menurut ketentuan BATAN ternyata masih jauh di bawah ketentuan yang dipersyaratkan. Tingkat kontaminasi udara daerah kerja sebesar 6 % dari batas 20 Bq/m³ sedangkan untuk kontaminasi permukaan lantai sebesar 0,04 Bq/cm² atau sekitar 11 % dari batasan tingkat kontaminasi terendah yaitu sebesar 0,37 Bq/cm². Kondisi tersebut tercermin juga dari tingkat paparan radiasi yang tertinggi yaitu sebesar 3,7 x 10⁻³ mSv/jam, dan hal itu hanya sebesar 15 % dari batasan lama dan sekitar

30 % dari batasan baru. Dengan tingkat paparan radiasi sebesar itu masih memungkinkan pekerja bekerja selama 8 jam/hari dalam laboratorium dan hanya menerima paparan radiasi sebesar 3,7 x 10⁻³ mSv/jam x 8 jam = 0,029 mSv.

Untuk kondisi gas buang ke lingkungan, pengamatan cukup cermat dilakukan di IRM dengan alat aerosol monitor LB 150 D Berthold yang dioperasikan 24 jam/hari. Hal ini dilakukan mengingat IRM mempunyai potensi pelepasan radioaktif ke lingkungan paling tinggi dibandingkan dengan fasilitas yang lain karena menangani elemen bakar bekas. Berdasarkan data Tabel 7, konsentrasi aktivitas total mencapai 328,14 Bq/m³ atau sekitar 0,015% dari batasan sebesar 2 Bq/cm³.

Peralatan dan Sarana Dukung

Rendahnya penerimaan dosis radiasi bagi para pekerja, paparan radiasi daerah kerja, kontaminasi permukaan serta laporan gas buang kemungkinan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

1. Bahan yang diproses belum maksimum.
2. Batasan pengumpulan bahan radioaktif dalam satu wadah (ruangan) yang rendah karena faktor kritikalitas.
3. Sarana *shielding* misalnya dinding bilik panas yang mempunyai ketahanan tinggi.
4. Sistem buangan udara yang dilengkapi dengan *HEPA filter*.

Khusus masalah dinding bilik panas memang dirancang mampu menahan radiasi dengan aktivitas sumber sampai dengan 1.juta Ci. Namun demikian izin yang disetujui hanya boleh dioperasikan pada aktivitas sumber 100.000 Ci. Hasil pengujian dan penelitian^[7] diperoleh bahwa sel beton IRM masih mampu menahan sampai dengan 1.000.000 Ci dan paparan radiasi di depan bilik panas sebesar 1,55 mrem/jam (= 0,0155 mSv/jam). Angka ini di bawah batas lama tetapi mendekati batasan baru. Dengan demikian untuk aktivitas 100.000 Ci paparan radiasi di daerah operasi masih cukup rendah. Dalam pengujian elemen bakar bekas paparan radiasi yang pernah dicapai adalah 0,004 mSv/jam.

Dengan demikian penerapan rekomendasi ICRP-60 yang digunakan sebagai acuan standar keselamatan 1994

dapat dilaksanakan tanpa harus merubah desain laboratorium yang telah ada tetapi cukup dengan pembatasan kapasitas.

SIMPULAN

1. Penerimaan dosis radiasi pekerja, paparan radiasi daerah kerja, kontaminasi permukaan dan konsentrasi gas buang di PEBN masih di bawah NBD yang berlaku ataupun yang baru (ICRP-60).
2. Penerapan ICRP - 60 tahun 1991 yang digunakan sebagai acuan standar keselamatan tahun 1994 masih mungkin diterapkan di PEBN dengan tanpa merubah konstruksi ataupun sistem yang ada. Namun demikian pembatasan kapasitas setiap Instalasi yang ada di PEBN perlu dilakukan .

PUSTAKA

- [1]. BATAN, *Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi*, SK Dirjen BATAN No. PN03/160/DJ/89, Jakarta, 1989.
- [2]. HENDARIYAH S dkk, *Perbandingan Standar Keselamatan Radiasi Tahun 1994 Dengan Standar Tahun 1982*, Standar Keselamatan Radiasi BATAN, Jakarta, 1996.
- [3]. PEBN - BATAN, *LAK Analisis Keselamatan IPEBRR*, Rev.2, 1995.
- [4]. PEBN - BATAN, *Laporan Analisis Keselamatan IRM*, Rev. 3, 1995.
- [5]. PEBN - BATAN, *Laporan Analisis Keselamatan IEBE*, Rev. 1, 1997.
- [6]. YUWONO, I., *Analisis Dosis Lingkungan Dari Gas Buang IRM Pada Pengujian Elemen Bakar Bekas Tipe MTR-30*. Prosiding PPI Penelitian Dasar IPTEK Nuklir, Yogyakarta, 1995.
- [7]. YUWONO, I., *Kemampuan Penahan Radiasi sel Beton IRM terhadap Elemen Bahan Bakar Bekas*. Seminar Teknologi Nuklir, PPTN - Bandung, 1993.
- [8]. JICA-JAPAN, *Summary of ICRP Publication 60 (relevan changes from Publication 26)*, Tokai Mura Japan, 1991.
- [9]. YUWONO, I., *Penentuan distribusi Aerosol di Fasilitas Pusat Elemen Bakar Nuklir*, Seminar Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu

Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 1997.

TANYA JAWAB

Sorot Soediro

- Mengapa masih digunakan batasan dosis radiasi dan paparan radiasi daerah kerja menggunakan ICRP tahun 1990 ? Mengingat sudah ada batasan dosis radiasi dan paparan radiasi daerah kerja terbaru ICRP tahun 1994.
- Mohon dijelaskan batasan dosis radiasi yang baru adalah 20 mSv/tahun ?
- Berapa batasan dosis radiasi yang diterima masyarakat ?

Indro Yuwono

- Pada penelitian ini dilakukan pengkajian terhadap batasan dosis standar lama (ICRP tahun 1982) dan standar baru (ICRP tahun 1994). BATAN masih menggunakan batasan dosis standar ICRP tahun 1982.
- Batasan baru 20 mSv/tahun rerata selama 5 tahun artinya masih diijinkan menerima dosis radiasi di atas 20 mSv/tahun tetapi rerata untuk 5 tahun harus di bawah 20 mSv/tahun.
- Batasan dosis radiasi yang diterima masyarakat masih menggunakan batasan lama yaitu 1/10 dosis radiasi pekerja sebesar 5 mSv/tahun.

Faizal Riza

- Mohon dijelaskan, mengapa standar ICRP 60 dapat diimplementasikan di PEBN dengan tanpa merubah desain dan konstruksi laboratorium dan hanya mengurangi kapasitas pemakaian U sedangkan kapasitas produksi PEBN belum optimal ?
- Apakah hasil penelitian ini dapat digunakan apabila PEBN telah beroperasi secara penuh ?

Indro Yuwono

- Pada kondisi saat ini menunjukkan bahwa data dosis radiasi masih jauh di bawah standar. Jadi dengan kapasitas pemakaian U saat ini telah cukup digunakan sebagai dasar pembatasan kapasitas. Secara teori desain tidak terlalu besar merubah penerimaan dosis radiasi.

Tabel 1. Perbedaan Nilai Batas Standar tahun 1982 dan 1994

No	Uraian	NBD			
		1982		1994	
		DEST	Lokal	DEST	Lokal
1.	Pekerja Radiasi	50 mSv/th		20 mSv/th rerata 5th. Dosis Efektif ; 50mSv/th	
2.	Dosis Efektif		50 mSv / th rerata setiap organ tubuh <500mSv/th		50 mSv/th
3.	Lensa mata		150 mSv/th		15 mSv/th
4.	Tangan, kaki dan kulit		500 mSv/th		500mSv/th

Keterangan : DEST : Dosis ekivalen seluruh tubuh.
Dosis Ekivalen : Dosis serap x faktor bobot
Dosis Efektif : Dosis rata-rata dalam organ tubuh dengan memperhitungkan faktor bobot.

Tabel 2. Faktor Bobot Radiasi

No.	Jenis Radiasi	1982	1994
1.	Sinar X, Sinar γ , Sinar β , Foton semua energi	1	1
2.	Elektron, positron, neutron termal Elektron muon semua energi	5	1
3.	Neutron energi tak diketahui Neutron energi: a) < 10keV b) 10 - 100 keV c) > 100 keV - 2 MeV d) > 2 MeV - 20 MeV e) > 20 MeV	10	5 10 20 10 5
4.	Proton, selain proton recoil, dengan energi > 2 MeV Neutron cepat dan proton	20	5
5.	Partikel Alpha, fragmen fisi, inti berat Partikel alpha	20	20

Tabel 3. Nilai Faktor Bobot Jaringan

No.	Uraian	1982	1994
1.	Gonad	0,25	0,20
2.	Dada (payudara)	0,15	(0,12)
3.	Sunsum Tulang (rusuk)	(0,12)	0,12
4.	Colon	-	0,12
5.	Lambung	-	0,12
6.	Paru-paru	0,12	0,12
7.	Ginjal	-	0,05
8.	Liter	-	0,05
9.	Oesophagus	-	0,05
10.	Kelenjar Gondok (teroid)	0,03	0,05
11.	Kulit	-	0,01
12.	Permukaan Tulang	0,03	0,01
13.	Organ atau juga tubuh sisanya	0,30	0,05

Tabel 4. Batasan Paparan Radiasi Dalam Instalasi Di PEBN Atas Dasar Rancang Bangun.

No.	Instalasi		Paparan (D)	Batasan		
				Kontaminasi $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$		
				Alat	Pakaian	Kulit
1.	IPEBRR	a) Zona I : Terminator	$D < 0,25 \text{ mrem/jam}$	$1 \times 10^{-5} (\alpha)$ $1 \times 10^{-4} (\beta)$	$1 \times 10^{-5} (\alpha)$ $1 \times 10^{-4} (\beta)$	$5 \times 10^{-5} (\alpha)$ $5 \times 10^{-5} (\beta)$
		b) Zona II : Terkontrol	$D: 0,75-2,25$ mrem/jam	$1 \times 10^{-4} (\alpha)$ $1 \times 10^{-3} (\beta)$		
		c). Zona III : Terkontrol	$D: 2,25 \text{ mrem/jam}$	$1 \times 10^{-4} (\alpha)$ $1 \times 10^{-3} (\beta)$		
2.	IEBE	a) Daerah Pengawasan (DP)	$D = 2,5 \text{ mrem/jam}$	$\leq 10^{-4} (\alpha)$		
		1. DP radiasi 2. DP radiasi dan Kontaminasi	$D < 2,5 \text{ mrem/jam}$ $D \leq 0,25 \text{ mrem/jam}$			
3.	IRM	a) Zona I: bebas kontaminasi	$0,03 \text{ rem/mg.}$	$< 10^{-5} (\alpha)$	$< 10^{-5} (\alpha)$	$< 5 \cdot 10^{-5} (\alpha)$
		b) Zona II	$\leq D \leq 0,1 \text{ rem/mg}$ $0,75 \text{ mrem/jam} \leq D \leq 2,5 \text{ rem/jam.}$	$< 10^{-4} (\beta)$	$< 10^{-4} (\beta)$	$< 5 \cdot 10^{-5} (\beta)$
		c) Zona III	$0,1 \text{ rem/mg} < D \leq 2,5 \text{ mrem/jam}$ $D \leq 300 \text{ mrem/jam.}$	$10^{-5} \sim 10^{-4} (\alpha)$ $10^{-4} \sim 10^{-3} (\beta)$	$10^{-5} \sim 10^{-4} (\alpha)$ $10^{-4} \sim 10^{-3} (\beta)$	$10^{-5} \sim 10^{-4} (\alpha)$ $10^{-4} \sim 10^{-3} (\beta)$
		d) Zona IV	$D > 5 \text{ rem/tahun.}$ $D > 300 \text{ mrem/jam}$	$\geq 10^{-4} (\alpha)$ $\geq 10^{-3} (\beta)$	$\geq 10^{-4} (\alpha)$ $\geq 10^{-3} (\beta)$	$\geq 10^{-4} (\alpha)$ $\geq 10^{-3} (\beta)$

Tabel 5. Batasan Desain dari sistem gas buang

No.	Instalasi	Konsentrasi Gas Buang	Jenis Radionuklida
1.	IPEBRR	$0,56 \text{ mCi/tahun}$ Batas Pemantauan : $2,2 \times 10^{-11} \text{ Ci/m}^3 (\alpha)$ $2,2 \times 10^{-10} \text{ Ci/m}^3 (\beta)$	U-234, U-235, U-236, U-238, Th-231, Th 239 dan Pa-234
2.	BEBE	$2 \times 10^{-11} \mu\text{Ci/m}^3 (\alpha)$	U-alam
3.	IRM	$5,41 \times 10^{-11} \text{ Ci/m}^3 (\alpha)$ $5,41 \times 10^{-10} \text{ Ci/m}^3 (\beta)$	Campuran

Tabel 6. Hasil Pantauan Daerah Kerja dan Gas Buang

No.	BIDANG/ INSTALASI	HASIL TERTINGGI			
		Udara (Bq/m ³)	Permukaan (Bq/m ²)	Paparan Radiasi (mSv/jam)	Gas Buang Bq/m ³
1.	BPEBRR	1,122 x 10 ⁻⁰	4,006 x 10 ²	3,7 x 10 ⁻³	Total : 10,61x10 ⁻²
2.	BEBE	2,489x10 ⁻¹	6,171x 10 ¹	1,236 x 10 ⁻³	Total : 2,856x10 ⁻²
3.	IRM	3,6535	11,9919	0,0040	109,17.10 ⁻² 218,87x 10 ⁻²

Tabel 7. Hasil Pantauan Penerimaan Dosis Radiasi Personil

No.	Bidang / Instalasi	Jenis Pantauan			Hasil Tertinggi				
		TLD (orang)	Urin (orang)	WBC (orang)	TLD		URIN		WBC Radio Nuklida
					DEK (mSv)	DES T (mSv)	Aktivitas U-Total (Bq)	H _E (mSv)	
1.	BPEBRR	35	14	28	3,44	3,08	belum ada hasil	-	ttd
2.	BEBE	39	3	5	2,88	2,44	belum ada hasil	-	ttd
3.	IRM	25	5	13	1,84	1,68	belum ada hasil	-	ttd
4.	BKK	17		9	1,60	1,60			ttd
5.	IPS	31		2	1,60	1,60			
6.	BBBN	3		1	1,28	1,16			ttd
7.	BBSP	6		3	2,64	2,48			ttd
8.	Pengaman- an	24							