

**PENGENDALIAN DOSIS RADIASI PADA PEKERJA RADIASI REAKTOR  
GA. SIWABESSY PADA SIKLUS OPERASI TERAS 52-55**

Suhartono, Sunarningsih, Mashudi

**ABSTRAK**

**PENGENDALIAN DOSIS RADIASI PADA PEKERJA RADIASI REAKTOR GA.SIWABESSY PADA SIKLUS OPEASI TERAS 52-55.** Pekerja radiasi berpotensi menerima dosis radiasi selama melaksanakan tugas di medan radiasi. Efek radiasi terhadap tubuh manusia perlu diwaspadai karena dalam jumlah yang melebihi batas radiasi dapat menimbulkan berbagai macam penyakit. Untuk menghindari masalah tersebut, dosis radiasi yang diterima oleh para pekerja radiasi harus dikendalikan pada batas yang aman. Batasan yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) dan International Atomic Energy Agency (IAEA) adalah 20 mSv/ tahun. Pengendalian dilakukan dalam beberapa tahapan dimulai dari disain fasilitas, pengaturan dan pembatasan waktu kerja dan meminimalkan jumlah pekerja. Salah satu indikator keberhasilan pengendalian ditengarai dengan cara mengevaluasi personal dosimeter yang digunakan oleh setiap pekerja radiasi. Dari hasil pemantauan dan evaluasi terbukti bahwa dosis radiasi yang diterima pekerja radiasi di RSG-GAS masih dalam batas ambang yang diijinkan. Pekerja di bidang operasi reaktor menerima dosis radiasi 0,527mSv/ tahun. Pekerja di bidang keselamatan menerima dosis radiasi 0,170mSv/ tahun. Pekerja di bidang sistem reaktor menerima dosis radiasi 0,1mSv/ tahun. Pekerja di jaminan mutu menerima dosis radiasi 0,153 mSv/ tahun.

**ABSTRACT**

**RADIATION DOSES CONTROL TO RADIATION WORKERS AT GA. SIWABESSY REACTOR AT 52-55 REACTOR CORE CYCLES.** Radiation workers have possibility to receive radiation doses during working at radiation area. Awareness of radiation to a human body should be fully acknowledged. Excessive radiation doses causing serious illness to human body hence radiation is required to be controlled to maintain radiation level at the safe level. The limiting value of radiation doses determined by the Regulatory Body (BAPETEN) and by the International Atomic Energy Agency (IAEA) is 20 mSv/ year. Control of radiation doses is implemented through various steps commencing from facility and equipments design, effective work management and minimizing the number of worker. Effectiveness of radiation doses controlling can be verify by evaluating personnel dosimeter practices. From the evaluation result it can be noticed that radiation doses received by workers are still at the safe level. Radiation workers at the reactor operation division received doses of 0.527 mSv/ year. Radiation workers at safety division received doses of 0.170 mSv/ year. Radiation workers at reactor system division received doses of 0.1 mSv/ year. Radiation workers at quality control sub-division received doses of 0.153 mSv/ year.

## PENDAHULUAN

Reaktor G.A. Siwabessy adalah reaktor riset dengan daya maksimal yang dibangkitkan adalah 30 MW. Selama reaktor beroperasi akan terbangkit sejumlah produk fisi karena reaksi pembelahan Uranium yang berada di dalam bahan bakar. Produk fisi memancarkan sinar  $\gamma$ ,  $\beta$  dan  $\alpha$  yang sifat penyebarannya perlu dikendalikan agar tidak membahayakan bagi para pekerja yang sedang mengoperasikan reaktor ataupun bagi para pekerja pengguna fasilitas iradiasi. Energi gama, beta dan alpha mempunyai karakteristik yang berbeda-beda. Semua energi tersebut berbahaya bagi manusia. Untuk mengurangi paparan radiasi dari energi gamma, beta dan alpha tersebut diperlukan suatu sistem pengendalian/program proteksi radiasi yang pelaksanaannya harus mengacu kepada peraturan keselamatan yang ditetapkan oleh Badan Pengawas (Bapeten). PRSG sebagai reaktor yang mempunyai beberapa fasilitas untuk penelitian dan pengembangan didukung oleh pekerja radiasi yang keselamatan radiasinya secara terus menerus dipertahankan dan dikendalikan.

Dosis radiasi yang diterima oleh para pekerja radiasi ketika sedang bekerja di instalasi nuklir adalah disebabkan oleh inhalasi, ingestion zat radioaktif dan oleh radiasi langsung. Untuk menentukan besarnya paparan radiasi karena inhalasi dan ingestion zat radio aktif, pemeriksaan urine dan whole body counting terhadap para pekerja radiasi dilaksanakan 1 kali dalam 1 tahun sedangkan untuk paparan radiasi yang diterima langsung diukur dengan bantuan dosimeter personal. Pemeriksaan TLD secara berkala dilakukan untuk memantau dosis radiasi yang diserap oleh tubuh dilakukan tiap 3 bulan sekali, batasan maksimal dalam 3 bulan sebesar 12,5 mSv (BAPETEN) atau 5 mSv (IAEA) . Apabila pekerja radiasi yang terdiri dari kelompok Perawat, Operator, Keselamatan, Unit Pengamanan Nuklir (UPN) dan Unit Jaminan Mutu dalam waktu

kurun waktu 3 bulan melebihi harga 5 mSv maka bidang keselamatan wajib memberikan laporan ke Pengusaha Instalasi Nuklir (PIN) tentang adanya dosis pekerja radiasi yang melebihi batas yang di ijinakan tersebut. Tindakan berikutnya bagi pekerja yang menerima dosis melebihi batas 3 bulanan tersebut diberikan tindakan pengendalian sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan oleh Bidang Keselamatan . Dalam makalah ini akan disajikan tentang pengendalian dosis pekerja radiasi RSG-GAS dalam kurung waktu 1 tahun pada siklus operasi teras 52-55 atau pada tahun 2005. Pekerja radiasi yang bekerja di RSG-GAS dapat bekerja pada kondisi reaktor operasi maupun tidak operasi (shutdown). Pekerja radiasi bekerja melakukan perbaikan/perawatan/survey didalam instalasi gedung reaktor.

Daerah radiasi yang terdapat didalam gedung reaktor terdiri dari 3 daerah kerja yaitu :

1. Daerah radiasi rendah
2. Daerah radisi sedang
3. Daerah radiasi tinggi

Setiap daerah kerja mempunyai paparan radiasi yang berbeda-beda. Pada saat reaktor beroperasi dan reaktor shutdown besarnya paparan radiasi pada 3 tempat tersebut juga akan beda. Petugas operator melakukan pekerjaan baik dalam kondisi reaktor operasi dan shutdown, petugas perawatan melakukan perbaikan peralatan lebih sering pada saat reaktor shutdown, petugas keselamatan memantau daerah radiasi pada saat reaktor operasi dan shutdown. Dari ketiga bidang tersebut kemungkinan akan menerima dosis lebih besar dibanding dengan bidang UPN, UJM dan BPTR.

## TEORI

Pekerja radiasi di dalam gedung reaktor RSG-GAS memungkinkan terkena paparan radiasi akibat suatu pengoperasian reaktor. Paparan radiasi yang dipantau dapat berupa paparan radiasi gamma, beta dan alpa serta neutron. Pemantauan paparan radiasi ini

diperlukan untuk menentukan dosis perorangan dan untuk mengontrol penyebaran kontaminasi dan masuknya bahan radioaktif ke dalam tubuh.

Jenis paparan radioaktif terdiri dari lima jenis radiasi pengion. Partikel alfa, partikel beta, sinar gamma, sinar-X dan neutron. Jenis-jenis radiasi tersebut dapat dibedakan oleh karakteristik fisiknya seperti massa, panjang gelombang yang akan diuraikan di bawah:

**Sifat paparan radiasi alpha:**

- a. Partikel alpha berupa inti helium dan bermuatan listrik positif sebesar dua kali muatan elektron.
- b. Daya ionisasi partikel alpha sangat besar,  $\pm 100$  kali daya ionisasi sinar beta dan  $\pm 10.000$  kali daya ionisasi sinar gamma.
- c. Oleh karena daya ionisasi partikel alpha sangat besar maka jarak jangkauannya di udara  $\pm 3,4$  Cm hingga 8,6 Cm bergantung pada energi alpha.
- d. Karena bermuatan listrik maka berkas partikel alpha akan dibelokkan jika melewati medan magnet atau medan listrik.
- e. Partikel alpha dipancarkan dari nuklida dengan kecepatan yang bervariasi antara 1/10 hingga 1/100 kecepatan cahaya.

**Sifat paparan radiasi beta:**

- a. Dapat dibedakan menjadi dua macam sinar beta, yaitu beta negatif yang terdiri dari elektron dan beta positif yang terdiri dari positron.
- b. Daya ionisasinya diudara 1/100 kali daya ionisasi partikel alpha.
- c. Kecepatan partikel beta yang dipancarkan oleh berbagai nuklida radioaktif terletak antara 1/100 hingga 99/100 kecepatan cahaya..
- d. Karena sangat ringan, maka partikel beta mudah sekali dihamburkan jika melewati medium.
- e. Partikel beta akan dibelokkan jika melewati medan magnet atau medan listrik.

**Sifat paparan radiasi gamma:**

- a. Sinar gamma adalah radiasi elektromagnetik terdiri dari foton yang energinya besar.
- b. Sinar gamma dipancarkan dari nuklida tereksitasi dengan panjang gelombang antara 0,005 Amstrong hingga 0,5 Amstrong.
- c. Daya ionisasinya di dalam medium sangat kecil sehingga daya tembusnya sangat besar dibandingkan dengan daya tembus partikel alpha atau partikel beta.
- d. Kemampuannya untuk menghasilkan fluoresensi dan menghitamkan pelat potret lebih besar dibandingkan dengan daya tembus partikel alpha atau partikel beta.

Pekerja radiasi di reaktor RSG-GAS yang bekerja pada daerah radiasi berpotensi terkena paparan radiasi. Paparan radiasi yang dipantau adalah paparan radiasi gamma karena sifat radiasi gamma mempunyai dampak terhadap kesehatan tubuh manusia, meskipun radiasi alpa dan beta juga membahayakan bagi kesehatan tubuh. Semua dampak yang membahayakan dapat dikurangi dengan melaksanakan pengendalian radiasi sesuai dengan peraturan keselamatan bekerja pada daerah radiasi yang berlaku.

Pekerja radiasi yang bekerja di dalam instalasi reaktor diwajibkan untuk menggunakan TLD (Thermoluminesensi) untuk memantau besarnya dosis yang diterima oleh pekerja radiasi.

TLD adalah detektor dengan jenis respon pembentukan lumenensi termal dengan bahan detektor kristal. Bahan yang paling murah dan paling banyak digunakan untuk pembuatan TLD saat ini adalah lithium fluorida (LiF). Bahan ini memiliki nomor atom (Z) efektif 8,1 yang cukup ekuivalen dengan Z efektif jaringan tubuh manusia ( $Z = 7,4$ ). Secara alamiah dalam keadaan standar, LiF mengandung 92,5%  $^7\text{Li}$  dan 7,5 %  $^6\text{Li}$ . Bahan ini mempunyai kepekaan yang tinggi terhadap radiasi beta maupun foton (sinar-X dan gamma). Pembacaan dosis petugas perawat/perbaikan reaktor dengan mengguna-

kan peralatan alat baca TLD (TLD Reader ) yang dimiliki oleh PTLR. Hasil pembacaan TLD dikirim secara resmi ke RSG-GAS. Prinsip pembacaan TLD adalah sebagai berikut :

TLD didasarkan pada eksitasi elektron oleh radiasi pengion, diikuti proses penangkapan dan pelepasan elektron yang terperangkap dengan pemanasan, menyebabkan pancaran cahaya yang jumlahnya sebanding dengan dosis radiasi pengion yang diterima oleh bahan TLD tersebut. Pengukuran kuantitas keluaran cahaya oleh alat baca TLD dilakukan dengan menggunakan tabung pengganda cahaya (*photomultiplier* disingkat PM) dan keluarannya digambarkan sebagai fungsi temperatur yang disebut kurva pancar (*glow curve*). Pelepasan elektron yang terperangkap sebelum pembacaan dilakukan, disebut

sebagai pemudaran. Hubungan antara bacaan TLD dengan dosis yang diterimanya harus ditentukan dengan kalibrasi.

Pembacaan intensitas TL dilakukan sebanyak dua kali untuk setiap chip. Bacaan pertama merupakan bacaan intensitas TL total, sedang bacaan kedua merupakan bacaan intensitas TL latar. Intensitas TL bersih merupakan hasil pengurangan intensitas TL latar terhadap intensitas TL total. Dosis radiasi akumulasi (D) dari beberapa kali penyinaran diskrit yang diterima TLD selama proses pemantauan dapat dihitung melalui perkalian antara intensitas TL bersih dan faktor kalibrasi (FK) TLD terhadap sinar gamma. ( $D = TL \times FK$ ). Faktor kalibrasi TLD didefinisikan sebagai seperkepekaan ( $FK = 1/S$ ) dengan satuan mSv/nC. Harga FK berbeda-beda tergantung dari pabrik pembuatan TLD.

Tabel 1. Nilai Batas Dosis (NBD) menurut IAEA dan BAPETEN

No	Batas dosis	NBD (mSv/tahun)	Keterangan
<b>Dewasa</b>			
1	Seluruh tubuh	20	
2.	Lensa mata	150	
3.	Tangan, lengan, kaki dan tungkai	500	
4.	Kulit	500	
5.	Setiap organ atau jaringan	500	
<b>Batasan khusus</b>			
1.	Wanita hamil	13	Pada abdomen selama 3 bulan sama dengan pekerja radiasi
2.	Magang dan Siswa diatas 18 tahun (siswa antara 16-18 tahun)	6	
3.	Masyarakat umum	1	

### Tata Cara Pengendalian Dosis Pekerja Radiasi

Pengendalian dosis radiasi terhadap para pekerja dilaksanakan melalui beberapa tingkatan. Perencanaan dan pengaturan kerja yang efektif merupakan salah satu langkah untuk mengoptimalkan dan mereduksi dosis radiasi ke para pekerja. Keputusan kapan suatu pekerjaan harus dikerjakan perlu

mempertimbangkan kondisi radiasi di daerah kerja dan dilain pihak tidak boleh mengganggu jaul penyelesaian pekerjaan tersebut.

Pemahaman terhadap prinsip-prinsip bekerja di medan radiasi sangat diperlukan oleh pekerja radiasi. Persyaratan untuk mengikuti training proteksi radiasi adalah mutlak harus dilalui sebelum mereka bekerja.

Pengendalian dosis radiasi terhadap para pekerja radiasi di RSG-GAS dilaksanakan melalui tahapan sebagai berikut :

1. Disain fasilitas dan peralatan  
Shielding biologis yang berupa beton yang sangat tebal mengungkung bejana reaktor, dimaksudkan untuk menjamin bahwa dosis radiasi yang diterima oleh para pekerja pada batas yang aman. Sistem lapisan air hangat yang berada pada bagian atas kolam reaktor berfungsi untuk menahan air kolam dengan keaktifan yang tinggi tetap berada di bagian bawah sehingga dosis di permukaan kolam tetap rendah. Selain itu reaktor dilengkapi dengan beberapa sistem proteksi radiasi yang bekerja secara otomatis memadamkan reaktor apabila kondisi operasi tidak aman.
2. Meminimalkan waktu bekerja di medan radiasi.  
Meminimalkan waktu bekerja tanpa mengurangi kualitas bekerja sehingga pengulangan pekerjaan dapat dihindari. Perencanaan dan pengaturan kerja yang matang berkontribusi terhadap kelancaran penyelesaian pekerjaan sehingga berbagai macam penundaan tidak akan terjadi.
3. Mengurangi jumlah pekerja radiasi  
Jumlah pekerja radiasi yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan perlu dibatasi untuk menghindari hadirnya pekerja yang sebenarnya tidak diperlukan. Hal ini harus dilakukan tanpa mengurangi kualitas hasil pekerjaan.
4. Memperkecil dosis radiasi  
Penggunaan peralatan proteksi radiasi selama melaksanakan tugas akan sangat membantu mengurangi dosis radiasi yang diterima oleh para pekerja.  
Salah satu indikator yang diperlukan untuk mengukur keberhasilan pengendalian/pengoptimalan dosis radiasi adalah dengan cara mengevaluasi alat ukur dosis radiasi yang dipakai oleh para pekerja radiasi. Kajian terhadap situasi untuk mengetahui penyebab dan kalau diperlukan untuk menindaklanjuti

terhadap penerimaan dosis radiasi yang melebihi batas yang diijinkan perlu dilakukan. Dengan langkah pengendalian tersebut diatas diharapkan pekerja radiasi dapat bekerja di RSG-GAS dengan aman dan selamat.

Prosedur pemakaian dan evaluasi personnel dosimeter (TLD) dilaksanakan sebagai berikut :

- a) Seluruh pekerja radiasi yang bekerja di reaktor diberikan TLD yang sudah di *anialing* untuk dipakai pada saat bekerja di dalam reaktor
- b) TLD yang sudah dipakai selama kurun waktu 3 bulan di kumpulkan untuk dilakukan pembacaan dengan alat *TLD reader* di PTLR.
- c) Hasil pembacaan TLD reader dari PTLR akan di kirim secara resmi ke PRSG .
- d) Sub.Bidang Pengendalian Personil melakukan evaluasi terhadap hasil laporan pembacaan TLD dari PTLR.
- e) Apabila dari hasil evaluasi ditemukan pekerja radiasi mendapatkan dosis yang melebihi batas maka Ka.Bidang Keselamatan memberikan laporan kepada PIN tentang adanya pekerja radiasi yang melebihi batas yang ditentukan.
- f) Pekerja radiasi yang menerima dosis melebihi batas tersebut menurut prosedurnya dilakukan teguran lisan bahwa telah melebihi batas dosis 3 bulanan. Pekerja di peringatkan untuk dapat bekerja sesuai dengan keselamatan bekerja di medan radiasi. Apabila pekerja radiasi tersebut selama 3 bulan menerima dosis melebihi batas tahunan maka pekerja radiasi tersebut dirujuk untuk dilakukan pengecekan dengan tahapan sebagai berikut ; Periksa fisik, WBC , Analisa Uji Abrasi Kromosom (PTKMR)
- g) Apabila dari hasil pemeriksaan fisik, WBC, dan Analisa Uji Abrasi Kromosom pekerja radiasi menunjukkan positif maka pekerja radiasi tersebut dilakukan perawatan secara medis oleh Rumah Sakit yang direkomendasi oleh BATAN.

- h) Pekerja radiasi tersebut untuk sementara dipindahkan kerjanya di bagian administrasi.

Dengan langkah pengendalian tersebut diatas diharapkan pekerja radiasi yang bekerja di reaktor RSG-GAS dapat bekerja dengan aman dan selamat.

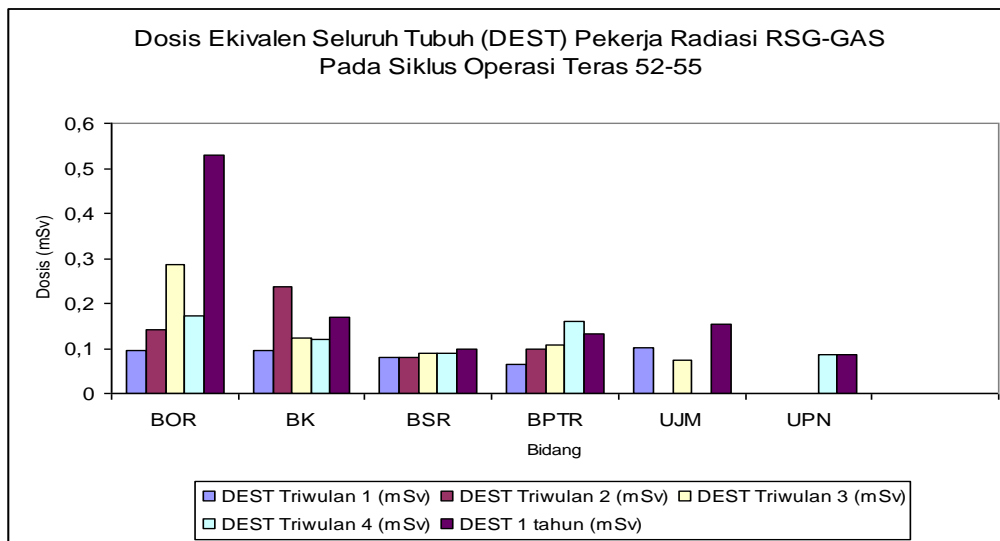
**DATA HASIL PENGUKURAN TER-MOLUMINESCENCE DOSE (TLD)**

Data pengukuran Dosis Ekuivalen Seluruh Tubuh (DEST) Pekerja radiasi RSG-GAS dari tiap-tiap bidang pada siklus operasi teras 52-55 terlihat pada tabel 2 dibawah.

Tabel 2. Dosis Ekuivalen Seluruh Tubuh (DEST) Pekerja Radiasi RSG-GAS pada siklus operasi teras 52-55

No	Bidang	Jumlah Pekerja	DEST Triwulan 1 (mSv)	DEST Triwulan 2 (mSv)	DEST Triwulan 3 (mSv)	DEST Triwulan 4 (mSv)	DEST 1 tahun (mSv)
1.	BOR	50	0,095	0,141	0,285	0,173	0,527
2.	BK	22	0,095	0,236	0,124	0,12	0,170
3.	BSR	34	0,08	0,08	0,09	0,09	0,1
4.	BPTR	30	0,065	0,1	0,107	0,16	0,131
5.	UJM	6	0,103	0	0,075	0	0,153
6.	UPN	19	0	0	0	0,0875	0,0875

**HASIL DAN PEMBAHASAN**



Grafik 1. Dosis Ekuivalen Seluruh Tubuh (DEST) Pekerja Radiasi RSG-GAS pada Siklus Operasi Teras 52-55

Petugas Operator yang melakukan pengoperasian reaktor GA.SIWABESSY pada siklus operasi teras 52-55 menerima rata-rata dosis ekuivalen seluruh tubuh lebih besar dibanding dengan bidang lainnya meskipun masih jauh dibawah batas

yang ditentukan yaitu 20 mSv/tahun (IAEA) atau 50 mSv/tahun (BAPETEN). Rata-rata dosis ekivalen seluruh tubuh pada siklus operasi teras 52-55 untuk Bidang Operasi Reaktor sebesar 0,527 mSv/tahun, Bidang Keselamatan 0,170 mSv/tahun, Bidang Sistem Reaktor 0,1 mSv/tahun, Bidang Pengembangan Teknologi Reaktor 0,131 mSv/tahun, Unit Jaminan Mutu 0,153 mSv/tahun dan Unit Pengaman Nuklir 0,087 mSv/tahun. Pekerja radiasi sebanyak 161 yang bekerja di reaktor G.A. Siwabessy pada siklus operasi teras 52-55 tidak ditemukan NBD melebihi dari peraturan yang berlaku. Pekerja radiasi yang bekerja telah melakukan pekerjaan didalam instalasi reaktor telah melakukan pekerjaan dengan mengutamakan keselamatan. Budaya keselamatan yang dilakukan oleh para pekerja radiasi cukup baik dengan berusaha menekan sekecil mungkin terkena paparan radiasi.

#### KESIMPULAN

Petugas perawatan reaktor yang bekerja dalam kurun waktu 1 tahun pada siklus operasi teras 52-55 menerima dosis ekivalen seluruh tubuh masih jauh dibawah harga yang ditentukan yaitu 20 mSv (IAEA). Dosis Ekivalen Seluruh Tubuh pekerja radiasi reaktor G.A. Siwabessy untuk jangka waktu 3

bulan (5 mSv) tidak ditemukan indikasi melebihi batas yang ditentukan.

Pekerja radiasi yang bekerja telah mematuhi keselamatan kerja pada daerah yang mengandung bahaya radiasi sehingga dapat meminimalkan dosis radiasi yang diterima sehingga pekerja radiasi dapat bekerja dengan aman dan selamat.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. BSS, Safety Series 115 / 2007
2. Prosedur Pengelolaan Termoluminescence di PRSG, RSK.KK.08.03.61.06, serpong, 2006
3. Laporan Analisis Keselamatan RSG-GAS Rev. 9, bab XII, Serpong, 2005
4. SK. BAPETEN No : 01/SK/BAPETEN/V-99 Tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi, Jakarta, 1999
5. Groth, S., Lasting Benefits, Nuclear application in health care, *IAEA Bulletin*, p. 33-40. Vienna, Austria, March 2000
6. International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication No. 60, Austria, 1991.
7. Pande Made Udiyani, DR, Dasar-dasar proteksi radiasi II, Diklat Selingkung Penyegaran Operator dan Supervisor, Serpong, 2003