

PENGARUH KOMPOSISI VOLUME LARUTAN SINTILATOR PADA PENGUKURAN AKTIVITAS ^{90}Sr

Gatot Wurdianto

Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir – BATAN

- Jalan Cinere Pasar Jumat, Jakarta – 12440
- PO Box 7043 JKSKL, Jakarta – 12070

PENDAHULUAN

Pemanfaatan teknologi nuklir dalam berbagai bidang baik penelitian maupun industri telah berkembang dengan pesat. Seiring dengan perkembangan pemanfaatan teknologi ini menuntut beberapa aspek antara lain aspek pengawasan, aspek hukum, aspek teknis, aspek manajerial/koordinasi dan aspek kelayakan. Pengawasan diperlukan guna melindungi baik pekerja maupun lingkungannya terhadap bahaya yang ditimbulkan. Aspek hukum diperlukan guna memberikan perlindungan ataupun sanksi hukum baik oleh pengusaha/pemanafaat, pekerja, masyarakat sekitar maupun lingkungannya. Aspek koordinasi diperlukan guna melakukan koordinasi dalam masalah administrasi, kerjasama, prosedur, tata tertib, pendidikan dan pelatihan dan lain-lain. Aspek kelayakan diperlukan guna membahas dan mempertimbangan perihal keuntungan dan kerugian dari suatu penggunaan teknologi nuklir tersebut. Aspek teknis diperlukan guna mempersiapkan segi sumber daya manusia, peralatan yang memadai, teknik proses/pengukuran yang diperlukan serta masalah teknis yang diperlukan dalam rangka pengawasan, pengawasan mutu, jaminan kualitas, pengendalian terhadap hal-hal yang dapat timbul, serta penanganan dalam keadaan darurat.

Salah satu aspek teknis yang diperlukan di dalam pemanfaatan teknologi nuklir adalah adanya suatu peralatan dan metode pengukuran radioaktivitas yang tepat, cepat, efektif, efisien

dan hasilnya dapat dipertanggungjawabkan. Salah satu alat yang mampu mendeteksi adanya suatu radiasi beta adalah pencacah pendar cair (*Liquid Scintillation Counter, LSC*). Alat ini mampu mendeteksi jenis radiasi beta sekecil apapun dengan ketelitian mendekati 100% [1]. Beberapa contoh sampel yang telah diukur menggunakan peralatan ini, seperti ^3H , ^{14}C , ^{32}P , ^{36}Cl , ^{59}Fe , ^{63}Ni , ^{90}Sr dan lain-lain membuktikan bahwa peralatan pencacah pendar cair merupakan pilihan utama dalam pengukuran radioaktivitas beta [2-5]. Kendala muncul karena dalam preparasi sampel dibutuhkan suatu larutan sintilator (*scintillator solution*) dalam jumlah tertentu yang dicampur dengan sampel radioaktif. Larutan sintilator ini berfungsi sebagai bahan yang dapat menghasilkan kerlipan cahaya (berpendar) jika disinari oleh sumber radiasi pengion. Dalam literatur ditentukan jumlah larutan sintilator sebesar 14 ml untuk 1 ml larutan radioaktif, tanpa menyebutkan jangkauan radioaktivitas yang diukur maupun energi beta dari zat radioaktif yang diukur [1-5].

Tahapan yang paling penting dalam proses pengukuran menggunakan pencacah pendar cair adalah prosedur preparasi sampel. Banyak sampel biologi yang berupa serpihan harus diukur menggunakan peralatan jenis ini. Sampel seperti ini tidak dapat secara langsung ditempatkan dalam wadah vial dan diukur secara langsung. Sampel tersebut perlu dipreparasi sedemikian rupa sehingga membentuk larutan/campuran yang homogen dan mengandung larutan sintilator.

Beberapa sampel yang biasa diukur menggunakan peralatan ini dengan prosedur penyiapan dengan larutan sintilasi adalah :

- sampel radioaktivitas dari kertas chromatograms
- sampel yang mengandung radioaktif pemancar γ maupun sinar-X
- sampel berbentuk *tissue*
- sampel dari filter glas fiber
- sampel pada filter membran
- sampel dari *plate scrapings*
- sampel berupa potongan-potongan yang diperoleh dari gel electrophoresis
- sampel darah
- sampel dari partikel yang *insoluble*, dan lain-lain.

Dengan penggunaan pencacah pendar cair dapat dilakukan pengujian, pengukuran dan analisis baik secara kuantitatif maupun kualitatif dari berbagai jenis sampel yang mengandung unsur radioaktif yang sedemikian luas, sehingga pembahasan dan pengembangan metode dari fungsi serta keakuratan peralatan ini perlu menjadi perhatian utama.

Pada tulisan ini akan dibahas pengaruh volume larutan sintilator pada pengukuran radioaktivitas ^{90}Sr menggunakan pencacah pendar cair (LSC). Dipilihnya ^{90}Sr karena merupakan sumber radioaktif beta yang sering dijumpai di lingkungan dan merupakan jatuhan (*fall out*) bila terjadi kecelakaan nuklir. Tujuan dari penulisan ini untuk mengetahui seberapa jauh volume

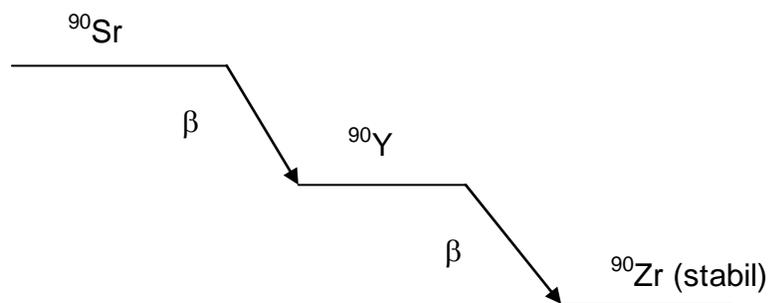
sintilator dapat mempengaruhi hasil pengukuran aktivitas zat radioaktif.

TEORI

^{90}Sr merupakan jenis radionuklida pemancar β murni dengan energi rata-rata 195,7 keV, dengan waktu paro 29,17 tahun. ^{90}Sr berada dalam keadaan setimbang dengan ^{90}Y dengan waktu paro 64 jam, dan meluruh menjadi unsur stabil ^{90}Zr [6,7]. Bagan peluruhan ^{90}Sr ditampilkan pada Gambar 1.

Pencacah pendar cair (LSC) merupakan perangkat nuklir yang sering digunakan dalam menganalisis suatu zat yang mengandung unsur radioaktif melalui analisis spektrum dalam besaran aktivitas. Perangkat ini bersifat relatif sehingga dalam penggunaannya memerlukan suatu standar berbentuk larutan dalam vial (tabung plastik) dengan volume sekitar 15 ml. Prinsip dasar kerja dari peralatan ini adalah adanya detektor dengan tabung penguat cahaya (PMT) yang mendeteksi larutan radioaktif, kemudian diperkuat dengan *amplifier* dan dianalisis dengan sistim ADC selanjutnya akan terbentuk spektrum[1]. Lebih lengkapnya bagan pencacah pendar cair ditampilkan pada Gambar 2.

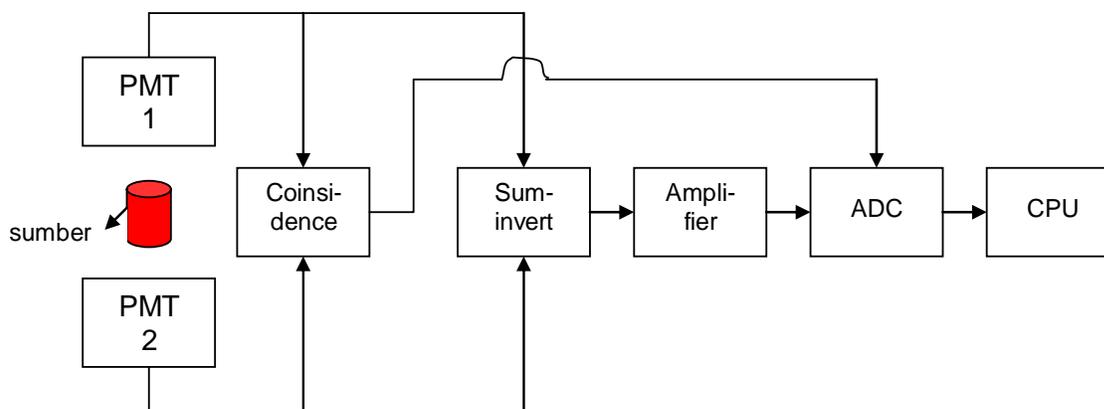
Dalam menganalisis data, daerah luasan dari spektrum yang muncul pada setiap daerah energi (*setting gate*) tampilan dapat berupa daerah luasan dalam besaran cacah persatuan menit (Cpm). Sedangkan nilai aktivitas



Gambar 1. Bagan Peluruhan ^{90}Sr [6].

(disintegerasi per menit atau dpm) berbanding lurus dengan nilai Cpm dan berbanding terbalik dengan efisiensi pencacahan (Eff), seperti dituliskan pada persamaan berikut ini :

$$Dpm = \frac{Cpm}{Eff(\%)} \quad (1)$$



Gambar 2. Diagram Blok Perangkat Pencacah Pendar Cair[1].

TATA KERJA

Percobaan yang dilakukan meliputi preparasi, pengukuran sampel, dan analisis data. Penentuan nilai pengukuran yang presisi dan akurat dilakukan dengan membandingkan terhadap hasil pengukuran sebelumnya. Metode sebelumnya dilakukan dengan menggunakan peralatan absolut.

1. Preparasi sampel

Larutan aquasol-2 buatan Packard sebagai sintilator ditempatkan dalam vial plastik polyethylene, kemudian dicampur dengan larutan radioaktif ^{90}Sr hingga merata. Komposisi volume larutan aquasol-2 dan larutan radioaktif yang akan diukur ditampilkan pada Tabel 1. Sebagai cacah latar (*background*) dibuat campuran 14 ml aquasol-2 dan air suling sebanyak 1 ml. Setelah larutan tercampur hingga homogen, didiamkan selama 30 menit agar terjadi kesetimbangan kimiawi, kemudian diukur dengan LSC, Tri-Carb, 2770 TR/SL, buatan Packard.

2. Pengukuran sampel

Pengukuran sample terdiri dari 3 (tiga) jenis, yaitu:

- sampel standard ^{90}Sr , buatan Packard.
- sampel larutan radioaktif ^{90}Sr sebanyak satu seri (10 vial)

- sampel cacah latar

Sumber standar diukur untuk mendapatkan kurva efisiensi deteksi pencacah pendar cair untuk radionuklida ^{90}Sr dengan aktivitas ($3563,49 \pm 8,85$) dpm dengan lama pengukuran masing-masing 10 menit. Metode yang digunakan adalah dengan menghitung cacahan sampel ^{90}Sr , pada daerah energi 0 – 2000 keV, 5 – 2000 keV, 8 – 2000 keV, 12 – 2000 keV, 16 – 2000 keV dan 18 – 2000 keV. Dengan menggunakan rumus 1 dapat dihitung efisiensi dari masing-masing daerah energi tersebut di atas.

Sampel radioaktif ^{90}Sr sebanyak 10 vial dengan komposisi larutan seperti tertera dalam Tabel 1, diukur aktivitasnya dengan menggunakan perangkat pencacah pendar cair. *Setting* diskriminator *gate* energi diatur pada energi seperti tersebut di atas. Waktu pencacahan ditentukan selama 10 menit untuk tiap-tiap sampel, dan diatur pada kondisi *live time* sehingga dapat mengeliminasi waktu mati (*dead*

time). Setelah sampel pada masing-masing komposisi itu dicacah, selanjutnya dilakukan pengukuran cacah latar pada *setting* yang sama.

Tabel 1. Komposisi volume sampel

No. sampel	Volume ⁹⁰ Sr (ml)	Volume Scintilator (ml)
1	1	14
2	2	13
3	3	12
4	4	11
5	5	10
6	6	9
7	7	8
8	8	7
9	9	6
10	10	5

3. Analisis data

Data pengukuran sumber standar digunakan untuk menghitung efisiensi deteksi pada setiap daerah energi. Nilai efisiensi tersebut digunakan untuk menentukan aktivitas sampel ⁹⁰Sr dari berbagai komposisi dengan menggunakan metode ekstrapolasi setelah dikoreksi dengan cacah latar. Komposisi terbaik ditentukan dengan membandingkan terhadap nilai pengukuran sebelumnya yang telah diukur dengan metode absolut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

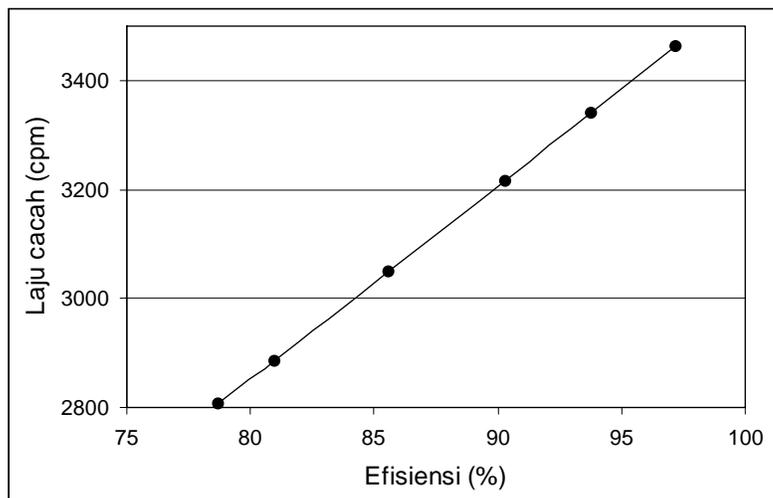
Hasil pengukuran sumber standar ⁹⁰Sr ditampilkan pada Tabel 2. Pada Tabel tersebut terlihat bahwa efisiensi pencacahan cukup besar dengan nilai mendekati 100 % untuk setting diskriminator terbuka lebar (0,0 keV – 2000 keV). Dengan kondisi seperti ini tanpa melalui metode ekstrapolasi hasil ini telah mempunyai

nilai pengukuran yang sangat baik dengan ketidakpastian sekitar 3 %. Namun demikian untuk lebih mendapatkan nilai yang lebih baik diperlukan metode ekstrapolasi sehingga efisiensi pencacahan menjadi 100%. Kurva efisiensi ⁹⁰Sr standar ditampilkan pada Gambar 3.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Efisiensi Standar ⁹⁰Sr.

Setting gate (keV)	Laju cacah (cpm)	Efisiensi (%)
0,0 – 2000	3463	97,18
5,0 – 2000	3342	93,78
8,0 – 2000	3217	90,27
12,0 – 2000	3050	85,60
16,0 – 2000	2886	80,99
18,0 – 2000	2808	78,68

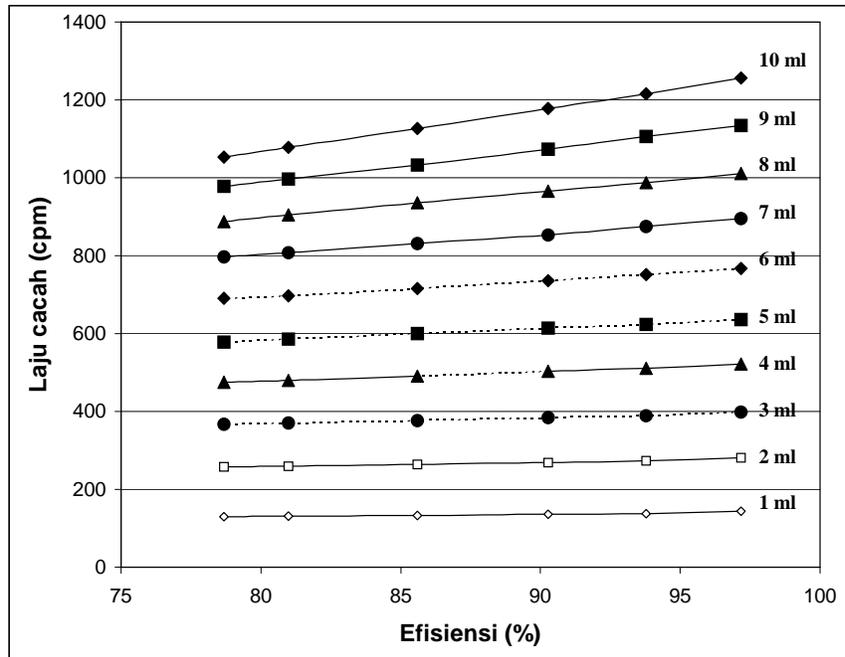
Tabel 3 menampilkan hasil pengukuran sampel ⁹⁰Sr dari berbagai komposisi volume larutan radioaktif setelah dikoreksi dengan cacah latar. Sedangkan Gambar 4 menampilkan kurva ekstrapolasi efisiensi deteksi untuk tiap-tiap komposisi volume larutan. Dari kurva ekstrapolasi ini dapat ditentukan aktivitas total dengan menarik garis ekstrapolasi ke nilai efisiensi 100%. Hasil ekstrapolasi setiap komposisi volume larutan ditampilkan pada



Gambar 3. Kurva Efisiensi ⁹⁰Sr standar.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Setiap Komposisi Volume ⁹⁰Sr terhadap Larutan Sintilator.

Setting gate (keV)	Laju Cacah untuk tiap-tiap Volume ⁹⁰ Sr (cpm)									
	1 ml	2 ml	3 ml	4 ml	5 ml	6 ml	7 ml	8 ml	9 ml	10 ml
0,0 – 2000	143,5	280,6	398,5	522,4	636,0	767,9	895,9	1011,7	1134,7	1256,4
5,0 – 2000	138,2	272,8	389,4	511,4	623,7	751,0	874,9	988,0	1105,9	1216,3
8,0 – 2000	135,7	268,2	383,8	503,2	613,6	735,6	853,7	966,2	1073,5	1177,9
12,0 – 2000	132,7	263,6	376,6	490,5	600,2	715,8	830,9	935,2	1033,5	1126,4
16,0 – 2000	131,2	258,6	370,9	480,3	585,5	697,5	807,4	904,0	996,6	1078,1
18,0 – 2000	130,3	257,3	366,5	475,2	578,1	690,7	796,5	888,1	978,0	1053,7
Aktivitas Jenis (dpm/ml)	150,4	146,5	136,2	133,3	130,0	131,0	130,9	129,3	128,1	129,0



Gambar 4. Kurva Ekstrapolasi Efisiensi sampel ⁹⁰Sr pada setiap Komposisi Volume Larutan.

Tabel 3, setelah dibagi dengan jumlah larutan radioaktif yang dipreparasi. Hasil tersebut tertulis dalam besaran aktivitas per satuan volume (dpm/ml). Hal ini disebabkan larutan sampel ⁹⁰Sr berasal dari larutan yang sama dan homogen. Bila diperhatikan hasil pengukuran aktivitas persatuan volume terlihat untuk komposisi dengan volume larutan radioaktif lebih besar hasil pengukurannya cenderung semakin mengecil. Hal ini kemungkinan disebabkan jumlah larutan

sintilator semakin tidak mencukupi untuk menghasilkan kerlipan cahaya karena selain jumlah secara kuantitatif berkurang juga nilai perbandingan terhadap larutan radioaktifnya semakin mengecil. Dalam hal ini jelas terlihat bahwa larutan sintilator memegang peranan penting dalam menghasilkan kerlipan cahaya sehingga dapat terdeteksi oleh detektor.

Bila dibandingkan dengan hasil pengukuran terdahulu yang menggunakan peralatan absolut

($149,5 \pm 1,2$) dpm/ml untuk komposisi volume larutan radioaktif 1ml mempunyai perbedaan sekitar 0,6 % (positif) sedangkan untuk komposisi volume larutan radioaktif 2 ml didapatkan perbedaan 2,0 % (negatif). Dari hasil perbandingan tersebut dapat dikatakan bahwa komposisi volume larutan radioaktif 1 ml merupakan komposisi terbaik untuk menentukan aktivitas larutan dengan menggunakan pencacah pendar cair. Untuk mencapai hasil pengukuran yang lebih teliti lagi diperlukan komposisi volume larutan radioaktif diantara 1 ml dan 2 ml sehingga dihasilkan nilai pengukuran yang optimum.

Beberapa hal yang mungkin menyebabkan perbedaan hasil pada setiap komposisi antara lain penggunaan metode volumetri dalam melakukan preparasi sampel. Metode volumetri dikenal kurang teliti bila dibandingkan dengan metode gravimetrik. Pemilihan metode volumetri dalam melakukan preparasi disebabkan metode ini lebih cepat, mudah dan efisien dibandingkan dengan metode gravimetrik. Sebagai koreksi terhadap kesalahan yang telah terjadi maka untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti perlu dilakukan preparasi dengan metode gravimetrik.

Untuk komposisi volume larutan radioaktif di atas 7 ml nampak larutan sintilator tidak cukup untuk memberikan kerlipan cahaya yang tertangkap oleh detektor sehingga hasil pengukuran melalui metode ekstrapolasi tidak optimum. Pada kondisi seperti ini (larutan aktif di atas 7 ml) terlihat bahwa efek serapan diri, efek *cascade* dan efek *Compton edge* menjadi sangat dominan.

Dari hasil pengukuran tersebut di atas, dapat dikatakan bahwa untuk komposisi volume larutan radioaktif 1 ml merupakan komposisi terbaik. Hal ini sesuai dengan literatur yang ada meskipun menurut data tersebut di atas bahwa kondisi tersebut belum mencapai tingkat optimum.

KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran dan penghitungan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa komposisi terbaik dalam melakukan pengukuran aktivitas antara larutan radioaktif dengan larutan sintilator adalah 1 berbanding 14, dengan hasil pengukuran ($150,4 \pm 4,8$) dpm/ml dan mempunyai perbedaan di bawah 1% bila dibandingkan dengan pengukuran secara absolut. Efek serapan diri, efek *cascade* dan *Compton edge* sangat dominan pada komposisi volume larutan radioaktif di atas 7 ml. Penggunaan metode ini cukup baik, cepat, efektif, efisien dan hasilnya dapat dipertanggungjawabkan.

Titik optimasi yang dihasilkan belumlah merupakan nilai yang ideal, karena masih berada diantara jangkauan komposisi volume larutan radioaktif di antara 1 ml sampai dengan 2 ml. Hal ini disebabkan karena komposisi volume radioaktif yang diukur dalam orde mili liter (ml). Agar lebih teliti komposisi volume larutan dalam orde 0,1 ml, dan juga perlu menggunakan metode gravimetrik saat melakukan preparasi sampel.

Untuk mengetahui lebih jauh pengaruh komposisi volume larutan radioaktif dan volume larutan sintilator perlu dilakukan kajian lebih lanjut dengan meneliti pengaruh komposisi volume kedua larutan tersebut pada jangkauan antara 1 ml sampai dengan 2 ml larutan radioaktif untuk aktivitas jenis yang berbeda. Dari kajian tersebut diharapkan mampu menjawab lebih rinci dan detail pengaruh komposisi volume serta dapat diketahui lebih tepat titik optimumnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. PACKARD, L.E., "Instrumentation for Internal Sample Liquid Scintillation Counting" in "Liquid Scintillation Counting," C. G. Bell, Jr. and F.N. Hayes. (eds), Pergamon Press, New York, 1958.
2. A. GRAU CARLES, L. RODRIGUEZ BARQUERO and A. GROU MALONDA; Simultaneous Standardization of ^{90}Sr - ^{90}Y and ^{89}Sr Mixtures, Journal Application Radiation Isotop, 44(7), 103-1010, 1993.

1. **Bahan Nuklir** adalah bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai atau bahan yang dapat diubah menjadi bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai.
2. **Bahan Galian Nuklir** adalah bahan dasar untuk pembuatan bahan bakar nuklir
3. **Bahan Bakar Nuklir** adalah bahan yang dapat menghasilkan proses transformasi inti berantai.
4. **Limbah Radioaktif** adalah zat radioaktif dan bahan serta peralatan yang telah terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif karena pengoperasian instalasi nuklir yang tidak dapat digunakan lagi.
5. **Dekomisioning** adalah suatu kegiatan untuk menghentikan beroperasinya reaktor nuklir secara tetap, antara lain dilakukan pemindahan bahan bakar nuklir dari teras reaktor, pembongkaran komponen reaktor, dekontaminasi dan pengamanan akhir.
6. **Pengelolaan Limbah Radioaktif** adalah pengumpulan, pengelompokan, pengolahan, pengangkutan penyimpanan dan/atau pembuangan limbah radioaktif.
7. **Reaktor Nuklir** adalah alat atau instalasi yang dijalankan dengan bahan bakar nuklir yang dapat menghasilkan reaksi inti berantai yang terkendali dan digunakan untuk pembangkitan daya atau penelitian, dan/atau produksi radioisotop.
8. **Kerugian Nuklir** adalah setiap kerugian yang dapat berupa kematian, cacat, cedera atau sakit, kerusakan harta benda, pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup yang ditimbulkan oleh radiasi atau gabungan radiasi dengan sifat racun, sifat mudah meledak atau sifat bahaya lainnya sebagai akibat kekritisitas bahan bakar nuklir dalam instalasi nuklir atau selama pengangkutan, termasuk kerugian sebagai akibat tindakan preventif dan kerugian sebagai akibat atau tindakan untuk pemulihan lingkungan hidup.
9. **Pihak Ketiga** adalah orang atau badan yang menderita kerugian nuklir, tidak termasuk pengusaha instalasi nuklir dan pekerja instalasi nuklir yang menurut struktur organisasi berada di bawah pengusaha instalasi nuklir
10. **Ahli Radiografi** adalah petugas yang berwenang melakukan pekerjaan radiografi dengan menggunakan zat radioaktif dan/atau sumber radiasi lainnya dan bertanggung jawab langsung kepada pengusaha instalasi pemanfaatan tenaga nuklir.
11. **Operator Radiografi** adalah petugas yang bekerja di bawah pengawasan ahli radiografi dengan menggunakan zat radioaktif dan/atau sumber radiasi lainnya serta perlengkapan radiografi dan perlengkapan lainnya.
12. **Pengangkut** adalah orang atau badan yang melakukan pengangkutan zat radioaktif.
13. **Pengangkutan Zat Radioaktif** adalah pemindahan zat radioaktif dari suatu tempat ke tempat lain melalui jaringan lalu lintas umum dengan menggunakan sarana angkutan darat, air atau udara.
14. **Pengirim** adalah orang atau badan yang menyiapkan pengiriman untuk pengangkutan zat radioaktif dan dinyatakan dalam dokumen pengangkutan.
15. **Penerima** adalah orang atau badan yang menerima zat radioaktif dari pengirim dan dinyatakan dalam dokumen pengangkutan.
16. **Bungkusan** adalah pembungkus dengan isi zat radioaktif di dalamnya yang disiapkan untuk diangkut.
17. **Pembungkus** adalah perangkat komponen yang diperlukan untuk mengungkung zat radioaktif sepenuhnya, dapat terdiri dari satu wadah atau lebih bahan penyerap, kerangka, penahan radiasi, peralatan untuk mengisi dan mengosongkan, pengatur ventilasi dan tekanan, serta peralatan untuk pendinginan, peredam guncangan untuk pengangkutan dan pengokohan, untuk penahan panas dan peralatan.
18. **Kendaraan Darat** adalah kendaraan jalan raya, termasuk kendaraan yang terdiri atau berupa bagian, termasuk traktor dan truk gandeng serta kereta api dan mobil. Tiap gandingan harus dianggap sebagai kendaraan terpisah.
19. **Operator Reaktor** adalah Orang yang bertugas untuk mengendalikan Reaktor Nuklir.
20. **Supervisor Reaktor** adalah ahli yang bertanggung jawab dalam melaksanakan pengawasan dan bimbingan terhadap operator reaktor yang sudah diberi izin.

3. B.M. COURSEY, et. Al.; Standardization of Carbon-14 by $4\pi\beta$ Liquid Scintillation Efficiency Tracing with Hydrogen-3, *Journal Application Radiation Isotop*, 37(5), 403- 408, 1986.
4. A. GROU MALONDA and EDUARDO GARCIA-TORANO; Evaluation of Counting Efficiency in Liquid Scintillation Counting of Pure β – Emitters, *Journal Application Radiation Isotop*, 33, 249 - 253, 1982.
5. A. GRAU CARLES, L. RODRIGUEZ BARQUERO and A. GROU MALONDA ; A Spectrum Unfolding Method Applied to Standardization of ^3H and ^{55}Fe Mixtures, *Journal Application Radiation Isotop*, 44(3), 581 - 586, 1993.
6. ICRP; Radionuclide Transformations; Publication 38; vol 11-13; 1983
7. NCRP, “A Handbook of Radioactivity Measurement Procedures,” Report No. 58, 1978.