

DAFTAR ISI

	Halaman
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II PRINSIP PENGUKURAN RADIASI.....	3
A. Prinsip Dasar Deteksi Radiasi	3
BAB III JENIS DETEKTOR RADIASI	7
A. Jenis Detektor.....	7
B. Karakteristik Detektor	13
BAB IV ALAT UKUR UNTUK PROTEKSI RADIASI	15
A. Dosimeter Perorangan.....	15
B. Monitor Area	23
C. Monitor Kontaminasi.....	29
D. Kalibrasi Alat Ukur	31
E. Respon Energi.....	33
BAB V SISTEM PENCACAH RADIASI	35
A. Kegunaan Sistem Pencacah.....	35
B. Jenis Sistem Pencacah	36
C. Aspek Pencacahan.....	38
RANGKUMAN	41
LATIHAN	43
DAFTAR PUSTAKA	47

BAB I

PENDAHULUAN

Radiasi nuklir tidak dapat dilihat, dirasakan, dan dikenali oleh indera, tetapi dapat menembus berbagai jenis bahan. Oleh karena itu untuk mengetahui adanya radiasi atau mengukur radiasi harus digunakan alat ukur radiasi. Dalam aplikasi teknik nuklir, alat ukur radiasi digunakan untuk mengukur laju dosis atau dosis radiasi, aktivitas, dan energi sumber radiasi.

Dalam modul ini akan dibahas prinsip dasar pengukuran radiasi, jenis detektor, alat ukur untuk proteksi radiasi, dan sistem pencacah yang digunakan pada aplikasi iptek nuklir.

Setelah mengikuti materi ini peserta mempunyai kompetensi untuk menguraikan kegunaan alat ukur radiasi.

Kompetensi tersebut ditunjukkan oleh indikator keberhasilan:

1. Membedakan kuantitas, energi dan dosis radiasi
3. Menyebutkan mekanisme deteksi radiasi
4. Menjelaskan prinsip kerja detektor isian gas, sintilasi dan semikonduktor
5. Menyebutkan karakteristik detektor isian gas, sintilasi, dan semikonduktor
6. Membedakan kegunaan dosimeter perorangan, surveimeter, dan monitor kontaminasi
7. Menjelaskan konsep kalibrasi dan kegunaan faktor kalibrasi alat ukur radiasi
8. Menguraikan prinsip kerja dosimeter saku, film badge, TLD, dan RPLD;
9. Menyebutkan karakteristik setiap jenis dosimeter perorangan
10. Menguraikan langkah penting dalam operasional penggunaan surveimeter
11. Menyebutkan tiga aspek penting dalam pencacahan radiasi

Halaman ini sengaja dikosongkan

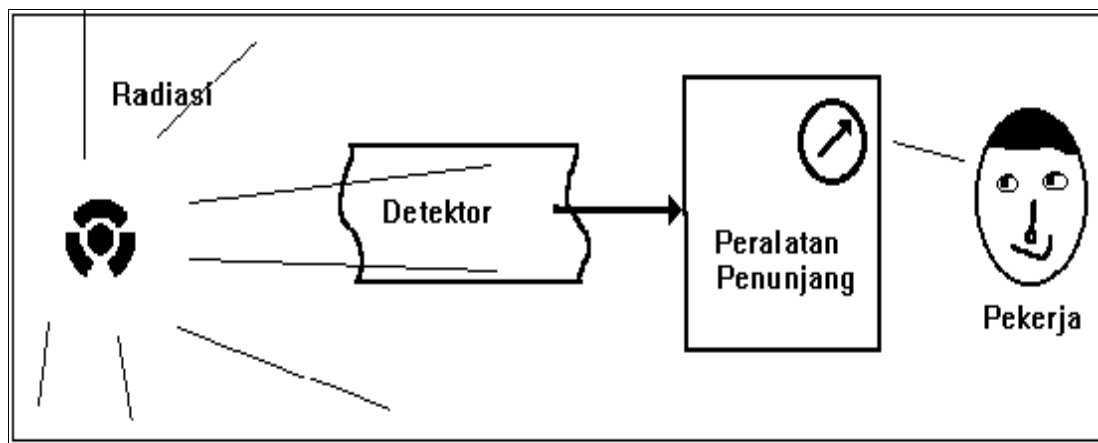
BAB II

PRINSIP PENGUKURAN RADIASI

Dalam pengukuran radiasi diperlu diketahui prinsip dasar deteksi dan mekanisme pedeteksiian radiasi. Prinsip dasar deteksi menjelaskan mengenai susunan peralatan suatu alat ukur dan besaran radiasi yang diukur. Sedangkan mekanisme pedekteksian menitikberatkan pada aspek interaksi radiasi dengan bahan detektor.

A. Prinsip Dasar Deteksi Radiasi

Secara umum alat ukur radiasi terdiri dari dua bagian utama yaitu, detektor dan peralatan penunjang. Detektor merupakan suatu bahan yang mengubah energi radiasi menjadi energi bentuk lain yang mudah diamati. Peralatan penunjang umumnya berupa peralatan elektronik, berfungsi untuk mengubah tanggapan detektor tersebut menjadi suatu informasi yang dapat diamati oleh indera manusia atau dapat diolah lebih lanjut menjadi informasi yang berarti. Gambar II.1. menunjukkan bagian utama alat ukur radiasi.



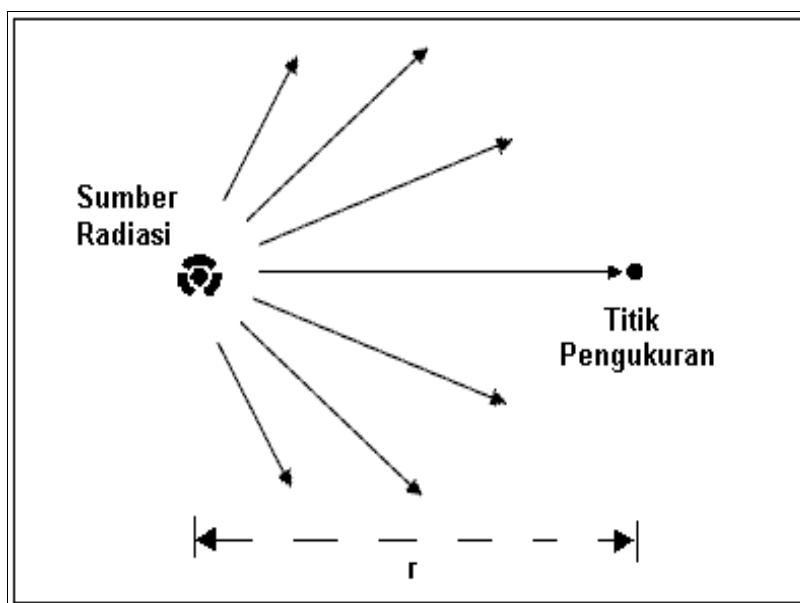
Gambar II.1. Detektor dan Peralatan Penunjang

Alat ukur radiasi dapat digunakan untuk mendeteksi dan mengukur kuantitas, energi, intensitas, atau dosis radiasi, yang sudah dijelaskan dalam materi Fisika Radiasi dan Dosimetri.

Kuantitas radiasi atau fluks radiasi adalah banyaknya radiasi per satuan waktu per satuan luas, pada suatu titik pengukuran. Kuantitas radiasi ini berbanding lurus dengan aktivitas (A) sumber radiasi, probabilitas pancaran (p), serta berbanding terbalik dengan kuadrat jarak (r) antara sumber radiasi dan sistem pengukur

$$\Phi = \frac{A \times p}{4\pi \times r^2} \quad (II.1)$$

Gambar II.2 berikut menunjukkan bahwa jumlah radiasi yang mencapai titik pengukuran (kuantitas radiasi) merupakan sebagian dari radiasi yang dipancarkan oleh sumber.



Gambar II.2. fluks radiasi pada detektor

Energi radiasi adalah 'kekuatan' dari setiap radiasi yang dipancarkan oleh sumber radiasi. Bila sumber radiasi berupa radionuklida maka tingkat atau nilai energi radiasi yang dipancarkan tergantung pada jenis radionuklida. Sedangkan jika sumber radiasi berupa pesawat sinar-X maka energi radiasi yang dihasilkan tergantung pada tegangan anoda (kV) pesawat sinar-X tersebut.

Contoh nilai energi radiasi yang dipancarkan oleh beberapa radionuklida dapat dilihat pada Tabel II.1.

Tabel II.1. Energi dan Probabilitas Beberapa Radionuklida

Jenis Radionuklida	Energi	Probabilitas
Cd-109	88 keV	3,70%
Cs-137	662 keV	85,1%
Co-60	1173 keV dan 1332 keV	100% dan 100%

Intensitas radiasi adalah energi atau jumlah radiasi per satuan waktu per satuan luas, dengan kata lain intensitas merupakan perkalian antara kuantitas dan energi.

$$I = \Phi \times E \quad (II.2)$$

Dosis radiasi adalah jumlah radiasi yang terdapat dalam medan radiasi atau jumlah energi radiasi yang diserap atau diterima oleh materi.

Nilai dosis ini sangat ditentukan oleh intensitas radiasi, jenis radiasi, dan jenis bahan penyerap.

Penggunaan alat ukur radiasi dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu alat ukur proteksi radiasi dan sistem pencacah. Alat ukur proteksi radiasi harus dapat menunjukkan nilai intensitas atau dosis radiasi. Sedangkan sistem pencacah, yang digunakan di bidang aplikasi radiasi dan penelitian, menampilkan nilai kuantitas radiasi atau spektrum energi radiasi.

Detektor radiasi bekerja dengan cara mendeteksi perubahan yang terjadi di dalam medium penyerap akibat adanya perpindahan energi ke medium tersebut. Mekanisme yang sering digunakan untuk mendeteksi dan mengukur radiasi yaitu proses ionisasi, proses sintilasi, proses termoluminisensi, efek pemanasan, reaksi kimia, dan perubahan biologi. (Lihat Tabel II.2.)

Tabel II.2. Mekanisme Deteksi

Mekanisme Deteksi	Contoh Detektor
Proses Ionisasi	GM
Proses Sintilasi	Nal(Tl)
Proses Termoluminisensi	TLD
Efek Panas	Kalorimeter
Reaksi Kimia	Film Badge
Perubahan Biologi	Dosimeter Biologi

BAB III

JENIS DETEKTOR RADIASI

Detektor merupakan suatu bahan yang peka atau sensitif terhadap radiasi yang bila dikenai radiasi akan menghasilkan respon mengikuti mekanisme yang telah dibahas pada Bab II. Setiap jenis radiasi mempunyai mekanisme interaksi yang berbeda, suatu bahan detektor memiliki sensitivitas berbeda terhadap jenis dan energi radiasi. Sebagai contoh, detektor radiasi gamma belum tentu dapat mendeteksi radiasi neutron.

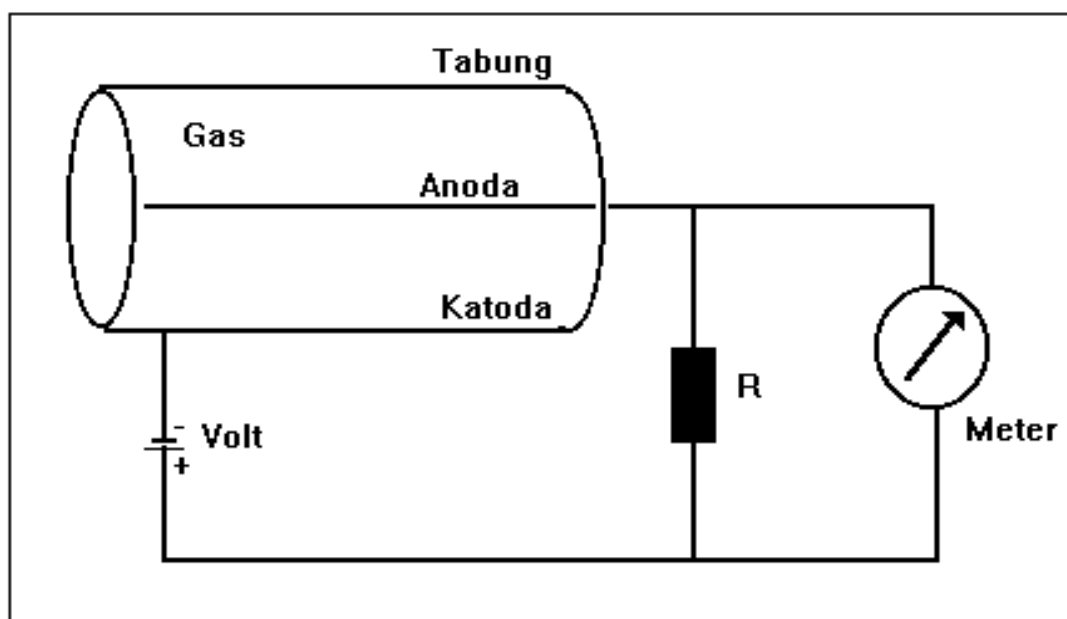
Pada bab ini akan dibahas tiga jenis detektor yang biasa digunakan untuk mengukur radiasi, yaitu detektor isian gas, detektor sintilasi, dan detektor semikonduktor

A. Jenis Detektor

1. Detektor Isian Gas

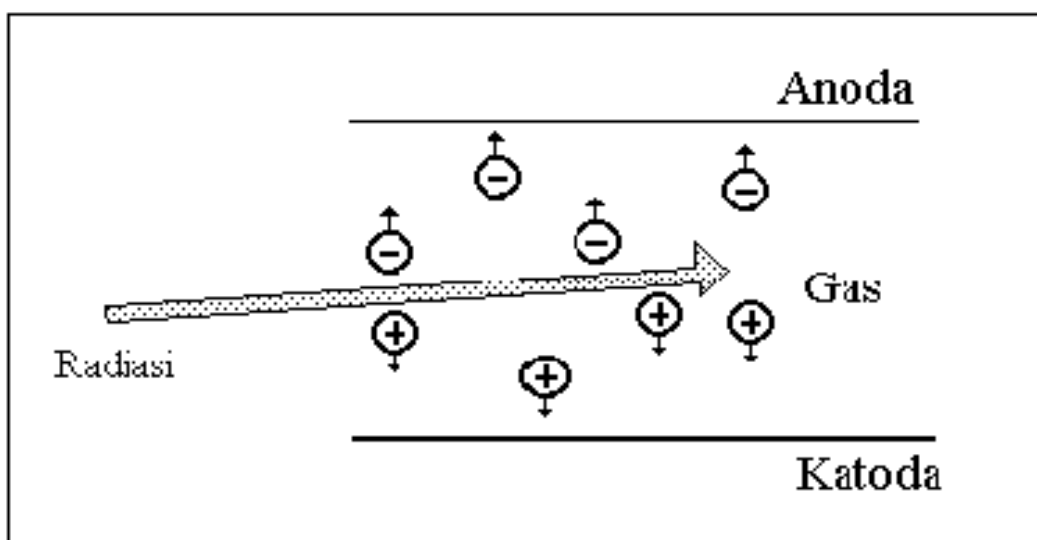
Detektor isian gas merupakan detektor yang paling sering digunakan untuk mengukur radiasi. Detektor ini terdiri dari dua elektroda -positif dan negatif- serta berisi gas di antara kedua elektroda tersebut. Elektroda positif disebut sebagai anoda, yang dihubungkan ke kutub listrik positif, sedangkan elektroda negatif disebut sebagai katoda, yang dihubungkan ke kutub negatif. Kebanyakan detektor ini berbentuk silinder dengan sumbu yang berfungsi sebagai anoda dan dinding silindernya sebagai katoda sebagaimana terlihat pada Gambar III.1

Radiasi yang memasuki detektor akan mengionisasi gas dan menghasilkan ion-ion positif dan ion-ion negatif (elektron). Jumlah ion yang akan dihasilkan sebanding dengan energi radiasi dan berbanding terbalik dengan daya ionisasi gas.



Gambar III.1 Konstruksi detektor isian gas

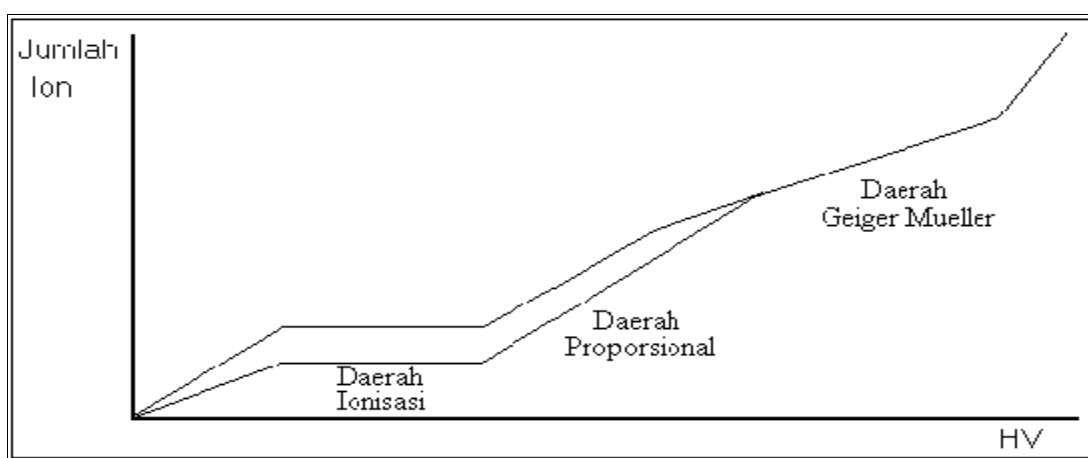
Daya ionisasi gas berkisar dari 25 eV s.d. 40 eV. Ion-ion yang dihasilkan di dalam detektor tersebut akan diubah menjadi pulsa listrik atau arus listrik, seperti ditunjukkan pada Gambar III.2



Gambar III.2: Proses terbentuknya ion positif dan negatif

Pulsa listrik atau arus listrik dapat terjadi bila terdapat cukup medan listrik di antara dua elektroda. Medan listrik ini dapat diatur melalui pengaturan tegangan kerja (HV) detektor.

Ion-ion yang dihasilkan oleh radiasi yang memasuki detektor tersebut dinamakan sebagai ion primer. Bila medan listrik di antara dua elektroda semakin tinggi maka energi kinetik ion-ion primer akan semakin tinggi sehingga mampu untuk mengadakan ionisasi lain.



Gambar III.3. Karakteristik jumlah ion terhadap perubahan tegangan kerja detektor

Ion-ion yang dihasilkan oleh ion primer disebut sebagai ion sekunder. Bila medan listrik di antara dua elektroda semakin tinggi maka jumlah ion yang dihasilkan oleh sebuah radiasi akan sangat banyak dan disebut proses *avalanche*. Gambar III.3 menunjukkan karakteristik jumlah ion yang dihasilkan terhadap perubahan medan listrik (HV) di antara anoda dan katoda.

Terdapat tiga jenis detektor isian gas yang bekerja pada daerah yang berbeda yaitu detektor kamar ionisasi (*ionization chamber*) yang bekerja di daerah ionisasi, detektor proporsional yang bekerja di daerah proporsional serta detektor Geiger Mueller (GM) yang bekerja di daerah GM. Detektor isian gas dapat digunakan untuk mengukur semua jenis radiasi bergantung pada tebal *window*. Pada pengukuran radiasi neutron digunakan detektor proporsional dengan gas BF_3 atau He-3.

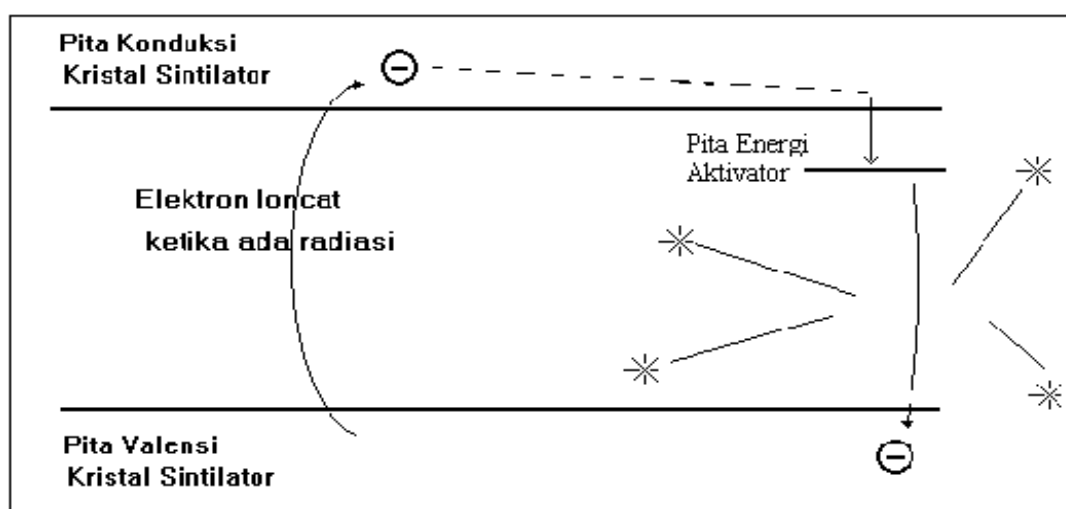
2. Detektor Sintilasi

Detektor sintilasi terdiri dari dua bagian yaitu bahan sintilator dan photomultiplier. Bahan sintilator dapat berbentuk padat dan cair yang akan menghasilkan percikan cahaya bila dikenai radiasi pengion. *Photomultiplier Tube (PMT)* digunakan untuk mengubah percikan cahaya yang dihasilkan bahan sintilator menjadi pulsa listrik. Mekanisme pendeteksian radiasi pada detektor sintilasi dapat dibagi menjadi dua tahap yaitu:

- ◆ proses pengubahan radiasi menjadi percikan cahaya di dalam bahan sintilator dan
- ◆ proses pengubahan percikan cahaya menjadi pulsa listrik di dalam PMT

a. Bahan Sintilator

Di dalam kristal bahan sintilator terdapat *valency band* (pita valensi) dan *conduction band* (pita konduksi) yang dipisahkan dengan *forbidden band* (pita terlarang). Pada kondisi *ground state* (keadaan dasar) seluruh elektron berada di pita valensi sedangkan di pita konduksi kosong. Pada saat radiasi memasuki kristal, terdapat kemungkinan energinya akan diserap oleh beberapa elektron di pita valensi sehingga elektron tereksitasi ke pita konduksi.



Gambar III.4: Terjadinya percikan cahaya di dalam sintilator

Beberapa saat kemudian elektron tersebut akan kembali ke pita valensi melalui pita energi bahan aktivator sambil memancarkan percikan cahaya, seperti ditunjukkan pada Gambar III.4.

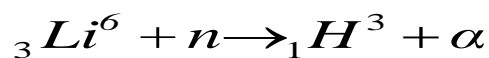
Jumlah percikan cahaya sebanding dengan energi radiasi yang diserap dan dipengaruhi oleh jenis bahan sintilatornya. Semakin besar energi radiasi maka semakin banyak percikan cahaya. Percikan cahaya ini kemudian 'ditangkap' oleh photomultiplier.

Pada tabel III.2 diberikan contoh jenis detektor sintilasi dalam pengukuran radiasi.

Tabel III.2. Penggunaan detektor sintilasi untuk beberapa jenis radiasi

Detektor	Jenis Radiasi
Nal(Tl)	Sinar - X/Gamma
ZnS(Ag)	Alpha / Beta
Lil(Eu)	neutron lambat
Sintilator Cair	Beta aktivitas rendah

Kristal Lil(Eu) digunakan untuk mengukur radiasi neutron lambat karena unsur Li akan bereaksi dengan neutron menghasilkan partikel alpha.

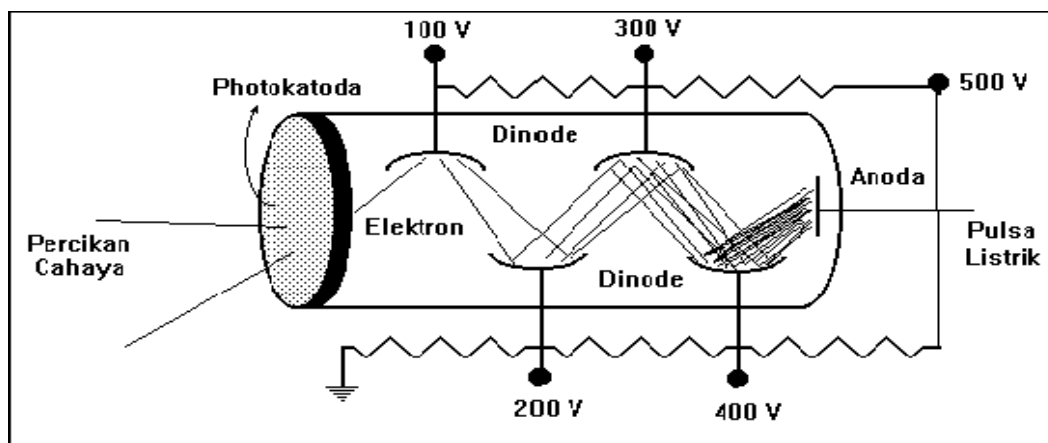


Partikel alpha yang dihasilkannya akan mengeksitasi bahan sintilator sehingga menghasilkan percikan cahaya. Jadi proses sintilasi di sini terjadi secara tidak langsung.

b. Tabung Photomultiplier

Tabung photomultiplier terbuat dari tabung hampa yang kedap cahaya dengan photokatoda yang berfungsi sebagai sensor cahaya pada salah satu ujungnya. Photokatoda yang ditempelkan pada bahan sintilator, akan

memancarkan elektron bila dikenai percikan cahaya. Elektron yang dihasilkan akan diarahkan, dengan perbedaan potensial, menuju dinode pertama. Dinode tersebut akan memancarkan beberapa elektron sekunder bila dikenai oleh elektron.

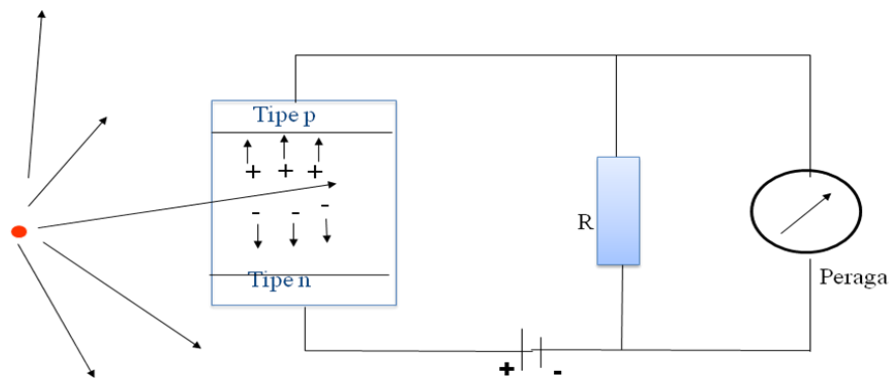


Gambar III.5. Konstruksi tabung photomultiplier

Elektron-elektron sekunder yang dihasilkan dinode pertama akan menuju dinode kedua dan dilipatgandakan kemudian ke dinode ketiga dan seterusnya sehingga elektron yang terkumpul pada dinode terakhir berjumlah sangat banyak, seperti ditunjukkan pada Gambar III.5. Pada dinode terakhir atau anoda, kumpulan elektron tersebut akan diubah menjadi pulsa listrik.

3. Detektor Semikonduktor

Detektor semikonduktor merupakan detektor yang relatif lebih baru ditemukan dibandingkan dengan detektor isian gas dan sintilasi. Detektor semikonduktor terbuat dari bahan silikon atau germanium. Pada detektor semikonduktor energi radiasi yang memasuki bahan semikonduktor akan diserap oleh bahan sehingga dihasilkan pasangan elektron dan hole (bermuatan +). Bila di antara kedua ujung bahan semikonduktor tipe P-N tersebut terdapat beda potensial maka akan terjadi aliran arus listrik, seperti terlihat pada Gambar III.6



Gambar III.6. Konstruksi detektor semikonduktor

Jenis bahan detektor dan penggunaannya dalam pengukuran radiasi dapat ditunjukkan seperti pada tabel III.3.

Tabel III.3. Penggunaan detektor semikonduktor untuk beberapa jenis radiasi

Detektor	Jenis Radiasi
Surface Barrier	Alpha / Beta
PIPS	Alpha / Beta
HPGe	Gamma
LEGe	Sinar-X / Gamma
SiLi	Sinar - X

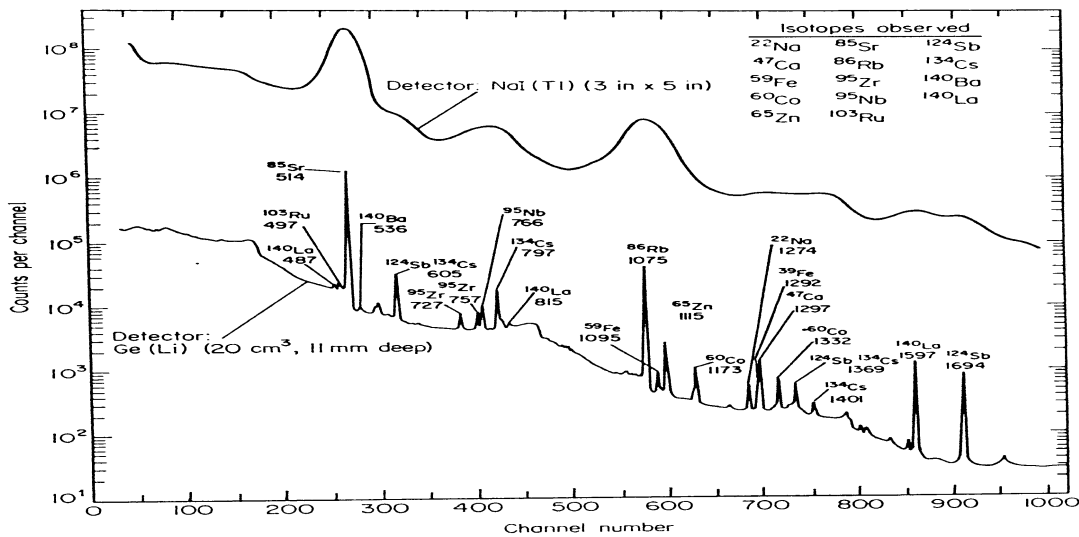
B. Karakteristik Detektor

Detektor isian gas memiliki karakteristik konstruksi sederhana dan memiliki efisiensi pengukuran rendah.

Detektor sintilasi mempunyai efisiensi pengukuran dan kecepatan yang tinggi dalam memroses radiasi menjadi pulsa listrik. Detektor ini merupakan pilihan untuk digunakan dalam pengukuran radioaktivitas rendah misalnya, pengukuran radioaktivitas lingkungan. Kekurangan detektor sintilasi adalah memerlukan sistem elektronik yang relatif lebih rumit dibandingkan dengan detektor gas, memerlukan daya listrik yang cukup besar, dan mempunyai resolusi rendah.

Detektor semikonduktor memiliki beberapa keunggulan yaitu lebih efisien dibandingkan dengan detektor isian gas, serta mempunyai resolusi tinggi.

Resolusi adalah kemampuan detektor memisahkan dua energi yang berdekatan. Detektor yang memiliki resolusi tinggi dapat digunakan untuk menentukan jenis radionuklida dalam sistem spektroskopi, seperti terlihat dalam gambar III.8.



Gambar III.8 spektrum energi radiasi gamma pada detektor semikonduktor dan sintilasi

Beberapa jenis detektor semikonduktor harus didinginkan pada temperatur nitrogen cair sehingga memerlukan dewar yang berukuran cukup besar. Karakteristik tiga jenis detektor, dapat dilihat pada tabel III.4.

Tabel III.4. Karakteristik detektor

Detektor	Proses Interaksi	Karakteristik
Isian Gas	Ionisasi	Konstruksi sederhana Efisiensi terendah dan Resolusi rendah
Sintilasi	Eksitasi – Sintilasi	Efisiensi tinggi Respons cepat Kontruksi rumit Resolusi terendah
Semikonduktor	Ionisasi	Resolusi tertinggi Konstruksi rumit Efisiensi lebih rendah

BAB IV

ALAT UKUR UNTUK PROTEKSI RADIASI

Alat ukur radiasi dapat membe informasi mengenai dosis atau laju dosis atau laju cacah. Alat ukur yang digunakan untuk proteksi radiasi dibedakan menjadi tiga yaitu: dosimeter perorangan, monitor area, dan monitor kontaminasi.

A. Dosimeter Perorangan

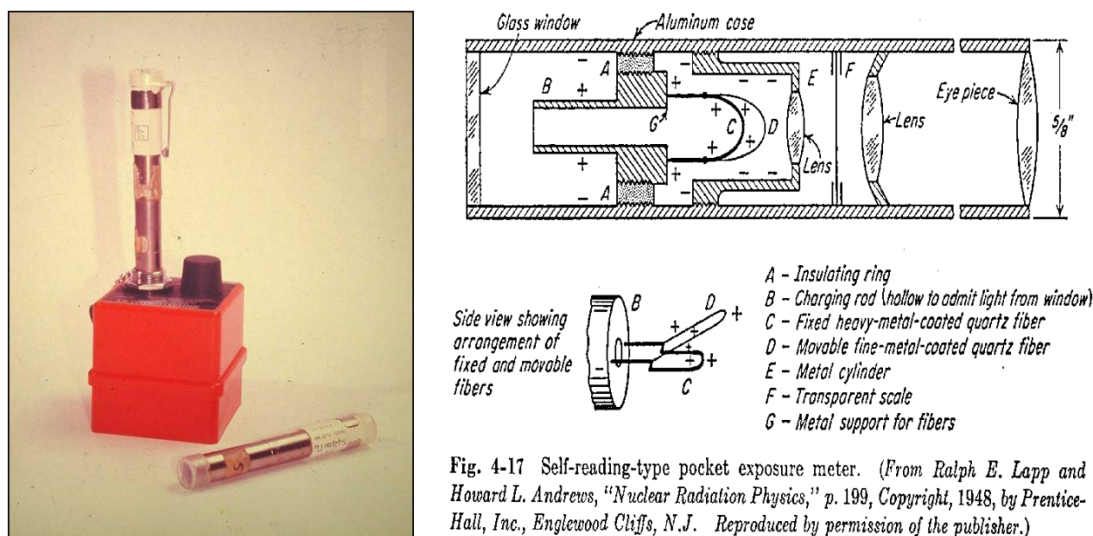
Dosimeter perorangan berfungsi untuk “mencatat” dosis radiasi yang telah mengenai seorang pekerja radiasi secara akumulasi.

Oleh karena itu, setiap orang yang bekerja di suatu daerah radiasi harus selalu mengenakan dosimeter perorangan. Terdapat tiga macam dosimeter perorangan yang banyak digunakan saat ini yaitu dosimeter saku (*pen / pocket dosemeter*), film badge, *Thermoluminisence Dosemeter* (TLD) dan *Radiophotoluminescent dosemeter* (RPLD).

1. Dosimeter Saku

Dosimeter saku menggunakan detektor isian gas akan tetapi tidak menghasilkan tanggapan secara langsung karena muatan yang terkumpul pada proses ionisasi akan “disimpan” seperti halnya suatu kapasitor.

Konstruksi dosimeter saku berupa tabung silinder berisi gas sebagaimana pada Gambar IV.1. Dinding silinder akan berfungsi sebagai katoda, bermuatan negatif, sedangkan sumbu logam dengan jarum 'quartz' di bagian bawahnya bermuatan positif. Mula-mula, sebelum digunakan, dosimeter ini diberi muatan menggunakan *charger* yaitu suatu catu daya dengan tegangan tertentu. Jarum quartz pada sumbu detektor akan menyimpang karena perbedaan



Gambar IV.1. Konstruksi dosimeter saku dan charger

Dalam pemakaian di tempat kerja, bila ada radiasi yang memasuki detektor maka radiasi tersebut akan mengionisasi gas, sehingga akan terbentuk ion-ion positif dan negatif. Ion-ion ini akan bergerak menuju anoda atau katoda sehingga mengurangi perbedaan potensial antara jarum dan dinding detektor. Perubahan perbedaan potensial ini menyebabkan penyimpangan jarum berkurang.

Jumlah ion yang dihasilkan di dalam detektor sebanding dengan intensitas radiasi yang memasukinya, sehingga penyimpangan jarum juga sebanding dengan intensitas radiasi yang telah memasuki detektor. Skala dari penyimpangan jarum tersebut kemudian dikonversikan menjadi nilai dosis.

Pada saat ini, sudah dibuat dan dipasarkan dosimeter saku yang diintegrasikan dengan komponen elektronika maju (*advanced components*) dengan melihat peraga digital yang dapat langsung menampilkan angka hasil pengukurannya dengan menggunakan detektor semikonduktor Si, seperti terlihat pada gambar IV.3.



Gambar IV.2. Dosimeter saku digital

Karakteristik dosimeter saku ini adalah dapat dibaca secara langsung dan tidak membutuhkan peralatan tambahan untuk pembacaannya. Peralatan lain yang dibutuhkan adalah *charger* untuk me-*reset* (membuat nol) skala jarum quartz, tidak dapat menyimpan informasi dosis yang telah mengenainya dalam waktu yang lama (sifat akumulasi kurang baik). Hal ini disebabkan oleh adanya kebocoran elektrostatis pada detektor. Jadi, meskipun tidak sedang dikenai radiasi, nilai yang ditunjukkan jarum akan berubah. Selain itu dosimeter ini kurang teliti dan mempunyai rentang energi pengukuran tertentu yang relatif lebih sempit dibandingkan dengan film badge dan TLD

2. Film Badge

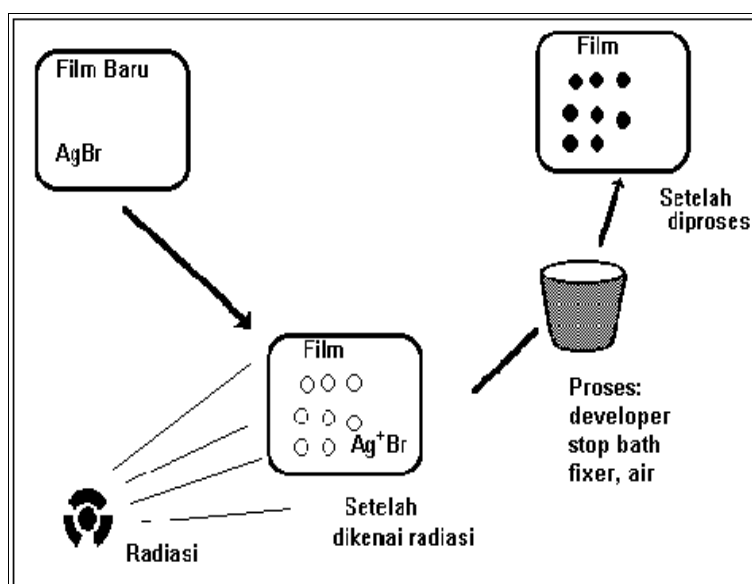
Detektor film dibuat dari emulsi butiran perak halida, biasanya perak bromida (AgBr), ditunjang oleh matriks gelatin dan kemudian dilapisi bahan 'asetat'. Untuk keperluan dosimeter perorangan, umumnya emulsi yang digunakan memiliki kandungan berat AgBr 50% dan gelatin 50%.

Ketika dikenai radiasi, sebagian atau seluruh energi radiasi akan dialihkan ke elektron. Elektron-elektron tersebut akan membuat Ag⁺ dalam kristal AgBr menjadi Ag-netral, sehingga terbentuk bayangan laten. Proses tersebut disebut proses fotokimia.

Untuk mengetahui jumlah radiasi yang telah mengenainya, detektor film tersebut harus diproses terlebih dahulu yaitu dengan “mencuci” nya. Pemrosesan dilakukan dengan menggunakan larutan senyawa kimia yang

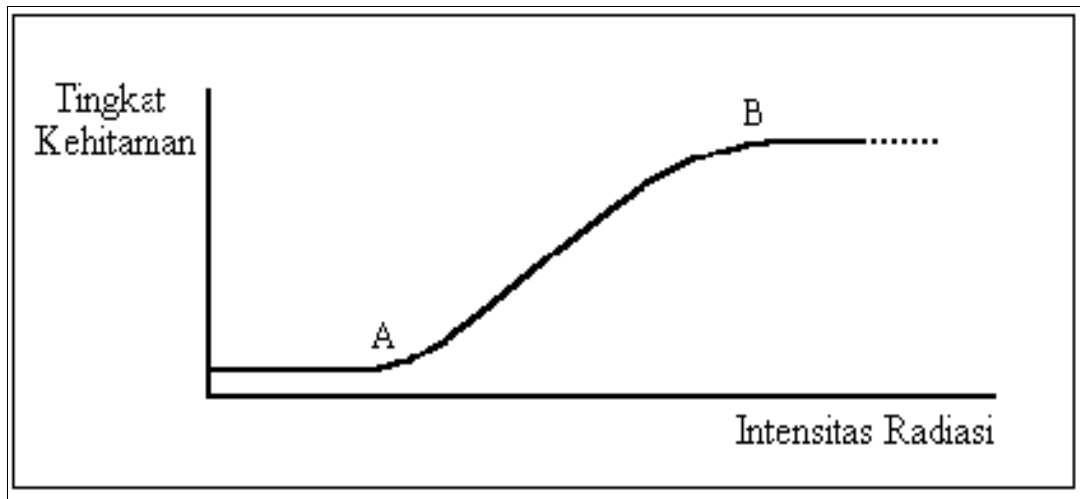
sering disebut sebagai larutan pengembang (*developer*), *stop bath*, larutan *fixer*, dan air.

Dalam proses pencucian menggunakan larutan pengembang, atom Ag yang berupa bayangan latent akan semakin hitam, sedang ion Br^- akan menjadi atom Br. Proses pencucian kedua dengan larutan *stop bath* untuk menghentikan proses pengembangan (penghitaman). Proses pencucian ketiga dengan larutan *fixer* akan melarutkan molekul-molekul AgBr sisa, sedangkan yang telah menjadi logam Ag (perak) akan terikat kuat sebagai bayangan hitam.



Gambar IV.3. Proses pengukuran pada film badge

Tingkat kehitaman bayangan pada film setelah diproses akan sebanding dengan intensitas radiasi yang telah mengenyainya. Karakteristik hubungan antara dosis radiasi dan tingkat kehitaman film dapat dilihat pada gambar IV.4.

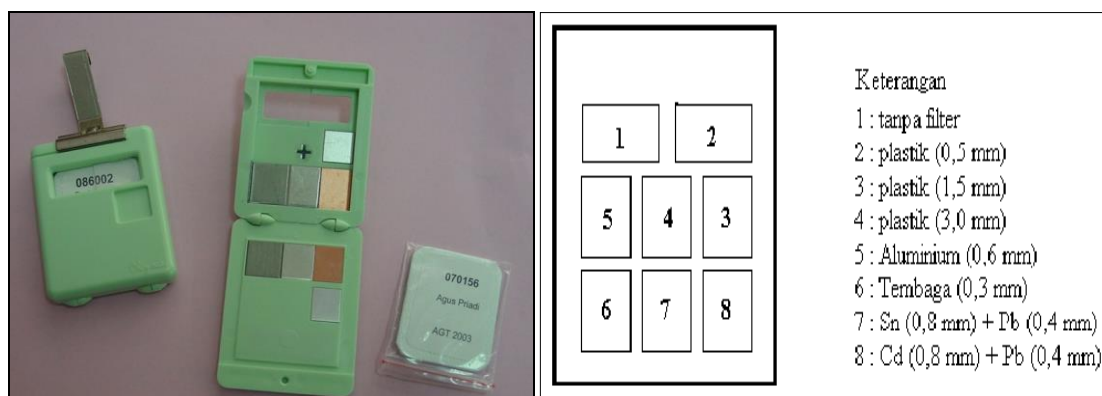


Gambar IV.4. Kurva karakteristik tingkat kehitaman film

Seperti terlihat dari kurva karakteristik film pada gambar IV.4, tingkat kehitaman film akan sebanding dengan intensitas radiasi hanya pada daerah antara titik A dan B. Sebelum titik A, film masih belum sensitif sedang setelah titik B, kehitaman film sudah jenuh. Oleh karena itu, pemakaian detektor film harus direncanakan sedemikian rupa agar hasil pengukurannya berada di dalam daerah tersebut. Alat yang digunakan untuk “membaca” tingkat kehitaman (*optical density*) film setelah diproses adalah densitometer.

Penggunaan detektor film ini di bidang proteksi radiasi adalah untuk dosimeter perorangan, yaitu film badge, di bidang industri untuk keperluan film radiografi, dan di bidang kedokteran untuk foto rontgent, misalnya untuk foto *thorax* atau foto gigi.

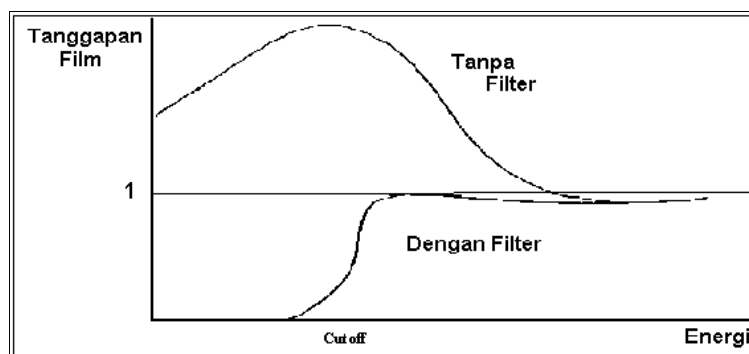
Film badge terdiri atas dua bagian yaitu detektor film dan holder, seperti terlihat pada gambar IV.5. Holder selain berfungsi sebagai tempat film ketika digunakan juga berfungsi sebagai penyaring (*filter*) energi radiasi.



Gambar IV.5: Film badge

Adanya filter akan mengurangi pengaruh energi terhadap tanggapan film, sehingga dapat mengkompensasi agar semua energi dapat dideteksi. Berdasarkan tingkat kehitaman film dibelakang filter-filternya, dapat dihitung kontribusi masing-masing bagian terhadap nilai dosis. Sehingga dapat dinyatakan, filter berfungsi menghilangkan ketergantungan film terhadap energi.

Pada gambar IV.6, kurva tanpa filter memperlihatkan sensitivitas film sangat dipengaruhi oleh energi radiasi yang mengenyainya, sedangkan kurva dengan filter terdapat suatu batas-energi (*energy cut off*). Bila energi radiasi lebih besar daripada batas-energi tersebut maka film akan sensitif dan sensitivitasnya relatif tidak dipengaruhi oleh energi radiasi. Bila energi radiasi lebih kecil daripada batas-energi maka film tidak sensitif atau film tidak akan mengalami perubahan kimia. Batas-energi tersebut ditentukan oleh jenis filter dan jenis radiasi.



Gambar IV.6. Pengaruh filter terhadap sensitivitas film

Dosimeter film badge ini mempunyai sifat akumulasi yang lebih baik daripada dosimeter saku. Dosis yang dapat diukur relatif lebih besar, yaitu sekitar 5 Rem. Selain itu, film yang telah diproses dapat digunakan untuk perhitungan yang lebih teliti serta dapat didokumentasikan. Keterbatasannya, untuk mengetahui dosis yang telah mengenainya harus diproses secara khusus dan membutuhkan densitometer untuk membaca tingkat kehitaman film. Dosis yang bisa diukur di atas 10 mRem. Detektor film rentan terhadap pengaruh kelembaban tinggi, mengakibatkan bayangan laten memudar (*fading*) dan suhu yang tinggi dapat menyebabkan bertambahnya kehitaman film (*fogging*). Untuk film-badge di lingkungan tropis seperti Indonesia, efek *fading* lebih dominan. Oleh sebab itu agar diperoleh hasil yang baik, detektor film sebaiknya segera diproses setelah digunakan dan kondisi penyimpanan harus diperhatikan. Saat ini film badge harus dievaluasi setiap 1 bulan.

Di pasar terdapat beberapa merk film maupun holder, tetapi BATAN selalu menggunakan film dengan merk Kodak buatan USA dan holder merk Chiyoda buatan Jepang seperti pada Gambar IV.5. Hal ini dilakukan agar mempunyai standar atau kalibrasi pembacaan yang tetap.

3. Dosimeter Luminisensi

Dosimeter Luminisensi menggunakan kristal anorganik, misalnya bahan LiF atau CaSO₄. Bahan tersebut disisipi dengan unsur lain yang akan mendeformasi kristal, sehingga tercipta "*electron trap*".

Bila material tersebut dikenai radiasi, maka energi radiasi akan diserahkan kepada elektron yang berada di pita valensi dan membuatnya bergerak ke pita konduksi. Pada saat elektron akan kembali ke keadaan dasarnya, elektron tersebut terjebak. Semakin besar dosis, semakin banyak elektron yang terjebak, dan informasi tersebut akan tetap tersimpan sampai dosimeter dibaca. Dalam proses pembacaannya, elektron diberi energi supaya lepas dari jebakannya dan kembali ke keadaan dasar dengan melepas percikan cahaya atau luminisensi. Sumber energi yang digunakan dapat berupa panas yang di sebut *thermoluminescence dosimeter* (TLD) atau *ultra violet* yang disebut *optically stimulated luminescence* atau sebutan lain adalah *radiophotoluminescence dosimeter*

Percikan cahaya dideteksi menggunakan photomultiplier (PMT). Alat yang digunakan untuk membaca TLD disebut TLD reader, dengan komponen utama sumber energi (panas atau ultraviolet) dan PMT. TLD dievaluasi setiap 3 bulan.

Keunggulan TLD dibandingkan dengan film badge adalah pada ketelitiannya, sensitivitasnya tinggi (dapat mengukur dosis yang kecil), hingga dosis yang tinggi bisa diukur. Setelah diproses, kristal TLD tersebut dapat digunakan lagi. Keterbatasannya, untuk mengetahui dosis yang telah mengenyainya dibutuhkan proses pembacaan dengan TLD reader.



Gambar IV.8: Dosimeter Termoluminisensi (TLD)

Dari berbagai jenis dosimeter yang telah dibahas, terlihat bahwa dosimeter saku merupakan dosimeter yang dapat dibaca langsung sedangkan film badge, TLD, dan RPLD memerlukan suatu proses sehingga hasil pengukurannya tidak dapat diketahui secara langsung. Pekerja radiasi yang bekerja di daerah dengan tingkat radiasi tinggi dianjurkan untuk menggunakan dua jenis dosimeter yaitu dosimeter saku dan film badge atau TLD/RPLD. Dosimeter saku digunakan untuk mengetahui dosis yang telah diterima secara langsung, misalnya setelah menyelesaikan suatu pekerjaan. Sedang film badge atau TLD/RPLD digunakan untuk “mencatat” dosis yang telah diterima selama selang waktu yang lebih panjang, misalnya selama satu bulan.

Tabel V.1 Karakteristik dosimeter personal

No.	Dosimeter	Karakteristik
1.	Dosimeter saku isian gas	Dapat dibaca langsung Ketelitiannya rendah Akumulasi kurang baik karena adanya arus bocor Dapat mengukur dosis radiasi sinar-x dan gamma
2.	Film Badge	Dosis dapat dibaca ulang Dapat dijadikan dokumentasi Terpengaruh oleh lingkungan (panas dan kelembaban) Dapat mengukur dosis radiasi beta, sinar-x, gamma, dan neutron Pembacaan dosis memerlukan pemrosesan dan alat bantu (<i>densitometer</i>)
3.	TLD	Dapat digunakan ulang Ketelitiannya tinggi Tidak Terpengaruh oleh lingkungan (panas dan kelembaban) Dapat mengukur dosis radiasi sinar-x, gamma, dan neutron Pembacaan dosis memerlukan alat bantu (<i>TLD Reader</i>)

B. Monitor Area

Monitor area digunakan untuk melakukan pengukuran laju dosis di suatu lokasi secara langsung. Dengan adanya monitor radiasi seorang pekerja radiasi dapat memperkirakan dosis radiasi yang akan diterimanya bila akan bekerja di suatu lokasi selama waktu tertentu. Dengan informasi yang ditunjukkan monitor area ini, setiap pekerja dapat menjaga diri agar tidak terkena paparan radiasi berlebih.

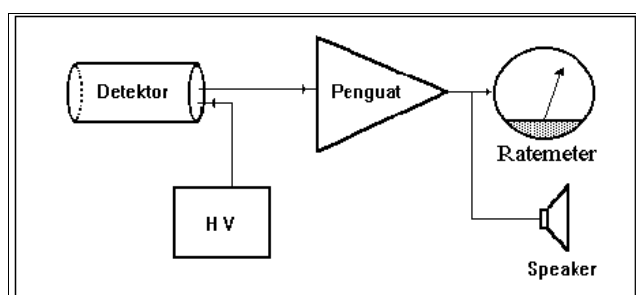
Monitor area dapat dibedakan menjadi monitor area yang bersifat *portable* dan monitor area yang bersifat menetap (*stationary*). Monitor area yang bersifat *portable*, yang disebut sebagai *surveimeter*, digunakan untuk mengukur tingkat radiasi di tempat kerja sehingga sebelum memulai kegiatan,

setiap pekerja radiasi harus dapat memperkirakan jumlah radiasi yang akan diterimanya.

Monitor radiasi yang bersifat menetap digunakan untuk mengukur tingkat dosis radiasi suatu lokasi tertentu secara terus menerus, misalnya ruang kerja, laboratorium, tempat penyimpanan sumber, dan sebagainya. Hasil pengukuran alat ini biasanya dibandingkan dengan suatu nilai batas dosis yang telah ditentukan sebelumnya. Apabila hasil pengukuran monitor area ini melebihi batas yang ditentukan maka alat ini harus dapat menghasilkan suatu informasi yang dapat dimengerti oleh pekerja radiasi, misalnya sirene atau alarm, sehingga dapat diambil langkah-langkah pengamanan.

1. Surveimeter

Sebagaimana fungsinya, suatu surveimeter harus dapat memberikan hasil pengukuran pada saat itu juga, pada saat melakukan pengukuran, dan bersifat portable meskipun tidak perlu sekecil sebuah dosimeter perorangan. Konstruksi surveimeter, sebagaimana sistem pengukur radiasi yang lain, terdiri atas detektor dan peralatan penunjang seperti ditunjukkan pada Gambar IV.10. Model pengukuran yang diterapkan disini adalah cara arus sehingga alat peraga yang digunakan adalah *ratemeter*.



Gambar IV.10. Konstruksi surveimeter

Semua jenis detektor yang dapat memberikan hasil secara langsung, seperti detektor isian gas, sintilasi dan semikonduktor, dapat digunakan. Dari segi praktis dan ekonomis, detektor isian gas Geiger Muller adalah yang paling

banyak digunakan. Detektor sintilasi juga banyak digunakan, khususnya NaI(Tl) untuk radiasi gamma, karena mempunyai efisiensi yang tinggi. Pada saat ini detektor semikonduktor masih jarang digunakan untuk surveimeter, meskipun sudah ada di pasaran tetapi harganya relatif sangat mahal dibandingkan dengan yang lain.

Cara pengukuran yang diterapkan pada surveimeter adalah cara arus sehingga nilai yang ditampilkan merupakan nilai intensitas radiasi yang mengenai detektor. Secara elektronik, nilai intensitas tersebut dikonversikan menjadi skala dosis, misalnya dengan satuan roentgen/jam atau ada juga yang dikonversikan menjadi skala kuantitas, misalnya cacah per menit (cpm). Tentu saja skala tersebut harus dikalibrasi terlebih dulu terhadap nilai yang sebenarnya.

Ada beberapa jenis surveimeter yang digunakan untuk jenis radiasi yang sesuai, yaitu surveimeter γ , surveimeter β/γ , surveimeter α , dan surveimeter neutron.

a. Surveimeter Gamma

Surveimeter gamma merupakan surveimeter yang umum digunakan dan pada prinsipnya juga dapat dimanfaatkan untuk mengukur sinar-X. Oleh karena itu surveimeter ini dapat dikalibrasi baik untuk radiasi gamma maupun sinar-X. Jenis detektor yang sering digunakan adalah detektor isian gas kamar ionisasi, GM, atau detektor sintilasi NaI(Tl).

b. Surveimeter Beta dan Gamma

Berbeda dengan surveimeter gamma biasa, detektor surveimeter ini terletak di luar badan surveimeter dan mempunyai "jendela" yang dapat dibuka atau ditutup. Bila digunakan untuk mengukur radiasi beta maka jendelanya harus dibuka. Sebaliknya untuk mengukur radiasi gamma, jendelanya ditutup. Juga perlu diperhatikan bahwa faktor kalibrasi yang tercantum biasanya hanya berlaku untuk radiasi gamma saja, sedangkan untuk radiasi beta perlu

perhitungan tersendiri. Detektor yang sering digunakan adalah detektor isian gas proporsional atau GM.



Gambar IV.11. Berbagai jenis surveimeter

c. Surveimeter Alpha

Sebagaimana surveimeter beta, detektor dari surveimeter alpha juga terletak di luar badan surveimeter. Perlu diperhatikan bahwa selalu terdapat satu permukaan detektor yang terbuat dari lapisan film yang sangat tipis, biasanya terbuat dari berilium, sehingga mudah sobek bila tersentuh atau tergores benda tajam. Detektor yang digunakan adalah detektor isian gas proporsional atau detektor sintilasi ZnS(Ag).

d. Surveimeter Neutron

Detektor yang digunakan pada surveimeter neutron adalah detektor proporsional yang diisi dengan gas BF₃ atau gas Helium. Oleh karena yang dapat berinteraksi dengan unsur boron atau helium adalah neutron lambat

saja maka surveimeter neutron biasanya dilengkapi dengan moderator yang terbuat dari parafin atau polietilen yang berfungsi untuk menurunkan energi neutron cepat menjadi neutron lambat. Moderator ini hanya digunakan bila radiasi neutron yang akan diukur adalah neutron cepat.



Partikel alpha atau proton hasil interaksi antara neutron dengan bahan detektor (B dan He) merupakan partikel bermuatan dengan energi yang cukup besar untuk melangsungkan ionisasi.

e. Surveimeter Multi Guna

Terdapat pula surveimeter yang mempunyai dua jenis detektor di dalamnya sehingga dapat mengukur beberapa jenis radiasi yang berbeda. Selain itu, ada juga surveimeter yang menyediakan fasilitas konektor untuk detektor eksternal. Biasanya produsen surveimeter juga menjual secara terpisah (*optional*) jenis-jenis detektor yang dapat dihubungkan ke surveimeter.

Pada saat ini sudah mulai dipasarkan jenis surveimeter serbaguna (*multipurpose*) yang selain dapat mengukur intensitas radiasi secara langsung, sebagaimana surveimeter biasa, juga dapat mengukur intensitas radiasi selama selang waktu tertentu. Tipe tertentu bahkan dapat menghasilkan spektrum distribusi energi radiasi seperti halnya sistem spektroskopi.

2. Cara Menggunakan Surveimeter

Dalam menggunakan surveimeter perlu diperhatikan kesesuaian dengan jenis radiasi yang akan diukur. Langkah penting yang perlu dilakukan dalam menggunakan surveimeter adalah memeriksa sertifikat kalibrasi, memeriksa baterai, serta mempelajari pengoperasian dan pembacaan.

- Periksa sertifikat kalibrasi.

Pemeriksaan sertifikat kalibrasi yaitu dengan memperhatikan faktor kalibrasi alat dan memeriksa tanggal validasi sertifikat. Faktor kalibrasi digunakan untuk mengukur laju dosis atau dosis sebenarnya pada saat pengukuran:.

$$D_{\text{sebenarnya}} = \text{Faktor Kalibrasi} \times D_{\text{terukur}} \quad (\text{IV.3})$$

Oleh karena surveimeter dianggap sangat penting dalam keselamatan radiasi maka setiap surveimeter harus dikalibrasi ulang setiap tahun di Pusat Standardisasi. Bila sertifikat kalibrasi sudah melewati batas waktu maka surveimeter tersebut harus dikalibrasi ulang sebelum dapat digunakan lagi.

- Periksa baterai.

Hal ini dilakukan untuk menguji kondisi catu daya tegangan tinggi detektor. Bila tegangan tinggi detektor tidak sesuai dengan yang dibutuhkan maka detektor tidak peka atau tidak sensitif terhadap radiasi yang mengenainya, akibatnya surveimeter menunjukkan nilai yang salah. Oleh karena hal ini sangat membahayakan maka langkah pemeriksaan baterai ini harus dilakukan setiap kali surveimeter akan digunakan.

- Pelajari pengoperasian dan pembacaan

Langkah ini perlu dilakukan, khususnya bila akan menggunakan surveimeter “baru”. Setiap surveimeter mempunyai tombol dan saklar yang berbeda-beda, biasanya terdapat beberapa faktor pengali misalnya x1; x10; x100, dan sebagainya. Sedangkan layar peraga menampilkan skala yang juga berbeda-beda, ada yang berskala rontgen/jam ; rad/jam ; sievert/jam atau milisievert/jam atau bahkan masih dalam cpm (cacah per menit).

Perlu diperhatikan bahwa tiga langkah di atas harus dilakukan sebelum melakukan pengukuran dan masih berada di lokasi yang “aman”. Sebelum merasa yakin atas ketiga informasi pada langkah tersebut, janganlah memulai pekerjaan dengan radiasi. Untuk lebih meyakinkan bahwa surveimeter dalam kondisi siap untuk digunakan dapat pula dilakukan cek respon dengan menggunakan sumber radiasi yang diketahui.

C. Monitor Kontaminasi

Monitor kontaminasi digunakan untuk mengukur tingkat kontaminasi pada pekerja, alat, maupun lingkungan

Kontaminasi merupakan suatu masalah yang sangat berbahaya, apalagi kalau sampai terjadi di dalam tubuh. Kontaminasi sangat mudah terjadi kalau bekerja dengan sumber radiasi terbuka, misalnya berbentuk cair, serbuk, atau gas. Adapun yang terkontaminasi biasanya adalah peralatan, meja kerja, lantai, tangan, dan alas kaki.

Jika intensitas radiasi yang dipancarkan oleh sesuatu yang telah terkontaminasi sangat rendah maka alat ukur ini harus mempunyai efisiensi pencacahan yang sangat tinggi. Detektor yang digunakan untuk monitor kontaminasi ini harus mempunyai “jendela” (*window*) yang luas, karena kontaminasi tidak selalu terjadi pada satu daerah tertentu, melainkan tersebar pada permukaan yang luas. Tampilan dari monitor kontaminasi ini biasanya menunjukkan kuantitas radiasi (laju cacah) seperti cacah per menit atau cacah per detik (cpd). Nilai ini harus dikonversikan menjadi satuan aktivitas radiasi, currie atau becquerel, dengan hubungan sebagai berikut.

$$A = \frac{R}{p\eta} \quad (IV.2)$$

A adalah aktivitas radiasi, R adalah laju cacah, p adalah probabilitas pemancaran radiasi pada energi tertentu, dan η adalah efisiensi alat pengukur.

Monitor kontaminasi dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu monitor kontaminasi permukaan, monitor kontaminasi perorangan, dan monitor kontaminasi udara (*airborne*). Monitor kontaminasi permukaan (*surface monitor*) digunakan untuk mengukur tingkat kontaminasi segala permukaan, misalnya meja kerja, lantai, alat ukur, ataupun baju kerja.



Gambar IV.12. Monitor kontaminasi permukaan



(a)



(b)

Gambar IV.12. (a) Monitor kontaminasi seluruh tubuh
(b) Monitor kontaminasi tangan dan kaki

Monitor kontaminasi perorangan digunakan untuk mengukur tingkat kontaminasi pada bagian-bagian tubuh dari pekerja radiasi. Bagian tubuh

yang paling sering terkontaminasi adalah tangan dan kaki, sehingga terdapat monitor kontaminasi khusus untuk tangan dan kaki yaitu *hand and foot contamination monitor*. Suatu instalasi yang modern biasanya dilengkapi dengan monitor kontaminasi seluruh tubuh (*whole body monitor*). Setiap pekerja yang akan meninggalkan tempat kerja harus diperiksa terlebih dahulu dengan monitor kontaminasi.

Monitor kontaminasi udara digunakan untuk mengukur tingkat radioaktivitas udara di sekeliling instalasi nuklir yang mempunyai potensi untuk melepaskan zat radioaktif ke udara.

Sebagaimana surveimeter, detektor yang digunakan di sini dapat berupa detektor isian gas, sintilasi, ataupun semikonduktor. Detektor yang paling banyak digunakan adalah detektor isian gas proporsional, untuk mendeteksi kontaminasi pemancar alpha atau beta, dan detektor sintilasi NaI(Tl), untuk kontaminasi pemancar gamma. Khusus untuk monitor kontaminasi udara biasanya dilengkapi dengan suatu penyaring (*filter*) dan pompa penghisap udara untuk “menangkap” partikulat zat radioaktif yang bercampur dengan molekul-molekul udara.

D. Kalibrasi Alat Ukur

Sudah merupakan suatu ketentuan bahwa setiap alat ukur proteksi radiasi harus dikalibrasi secara periodik oleh instansi yang berwenang. Hal ini dilakukan untuk menguji ketepatan nilai yang ditampilkan alat terhadap nilai sebenarnya. Perbedaan nilai antara yang ditampilkan dengan nilai yang sebenarnya harus dikoreksi dengan suatu parameter yang disebut sebagai faktor kalibrasi (F_k). Dalam melakukan pengukuran, nilai yang ditampilkan alat harus dikalikan dengan faktor kalibrasi yang sesuai. Secara ideal, faktor kalibrasi ini bernilai satu, akan tetapi pada kenyataannya tidak banyak alat ukur yang mempunyai faktor kalibrasi sama dengan satu. Nilai yang masih dapat 'diterima' berkisar antara 0,8 sampai dengan 1,2. Faktor kalibrasi dapat dihitung dengan persamaan (IV- 3).

$$F_k = \frac{D_s}{D_u} \quad (IV.3)$$

F_k adalah faktor kalibrasi, D_s adalah nilai laju dosis atau dosis sebenarnya standar, sedangkan D_u adalah nilai yang ditampilkan alat ukur.

Terdapat dua metode untuk melakukan kalibrasi, yaitu dengan menggunakan sumber radiasi standar dan menggunakan alat ukur standar. Cara pertama, alat ukur diletakkan pada jarak tertentu, misalnya 1 m, dari sumber standar yang telah diketahui jenis nuklida maupun aktivitasnya. Dosis paparan yang mengenai surveimeter (D_s) ditentukan berdasarkan perhitungan. Cara kedua, alat ukur yang akan dikalibrasi dan alat ukur standar diletakkan pada jarak yang sama dari suatu sumber, sehingga dosis radiasi yang mengenai dua alat ukur tersebut sama. Nilai dosis radiasi yang ditampilkan oleh alat ukur standar dianggap sebagai dosis sebenarnya (D_s).

Faktor konversi digunakan pada surveimeter Neutron, Alpha, atau Beta. Satuan pengukuran pada surveimeter Neutron pada umumnya adalah dalam cacah per satuan waktu, seperti cpm (*count per minute*) atau cps (*count per second*). Untuk mendapatkan satuan laju dosis ekuivalen maka harus dikalikan dengan faktor konversi.

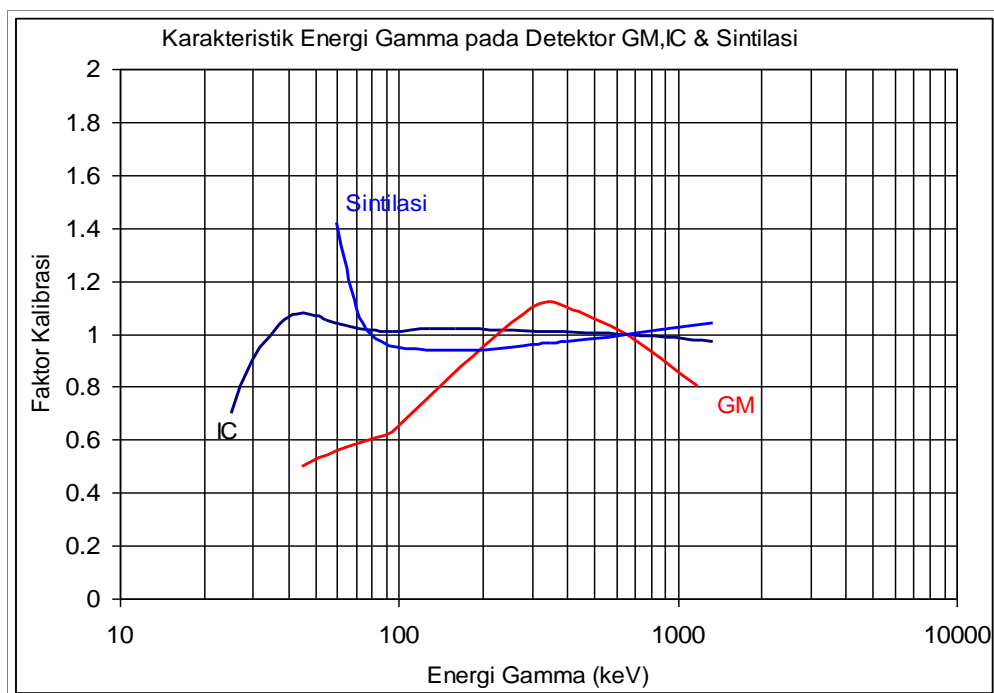
Satuan **faktor konversi** untuk surveimeter Neutron adalah $\mu\text{Sv/jam/cpm}$

Satuan pengukuran pada surveimeter / monitor kontaminasi alpha dan beta pada umumnya adalah dalam cacah per satuan waktu, seperti cpm atau cps, untuk mendapatkan satuan tingkat kontaminasi permukaan maka harus dikalikan dengan faktor konversi.

Satuan **faktor konversi** untuk monitor kontaminasi Alpha, Beta dan Gamma adalah $\text{Bq /cm}^2\text{/cpm}$

E. Respon Energi

Tanggapan atau respon suatu alat ukur terhadap dosis radiasi ternyata berbeda untuk energi radiasi yang berbeda. Setiap alat ukur seharusnya dikalibrasi dengan sumber yang mempunyai tingkat energi yang 'sama' dengan tingkat energi radiasi yang digunakan di lapangan. Perbedaan respon tersebut sangat berpengaruh pada rentang energi di bawah 200 keV seperti terlihat pada Gambar IV.13 berikut.



Gambar IV.13: Karakteristik Energi Gamma pada detektor GM, IC & Sintilasi

BAB V

SISTEM PENCACAH RADIASI

A. Kegunaan Sistem Pencacah

Seperti halnya alat ukur untuk proteksi radiasi, sistem pencacah radiasi juga terdiri atas detektor dan peralatan penunjang. Perbedaannya, peralatan penunjang pada alat ukur untuk proteksi radiasi biasanya sudah merupakan satu kesatuan yang portabel, sedangkan pada sistem pencacah radiasi peralatan penunjang terpisah dan terdiri atas beberapa modul yang mengikuti standar tertentu yaitu *Nuclear Instrument Module* (NIM), misalnya modul amplifier, modul HV (sumber tegangan tinggi), modul pencacah (*counter*) dan sebagainya. Modul-modul tersebut bersifat 'bongkar-pasang', sehingga suatu modul dapat digunakan untuk berbagai macam konfigurasi sistem pencacah.

Dalam proteksi radiasi salah satu kegunaan sistem pencacah untuk mengukur sampel yang berasal dari dalam tubuh, misalnya urine, yang digunakan untuk mengetahui adanya zat radioaktif dalam tubuh yang disebut *bioassay*. Sistem spektroskopi digunakan dalam WBC (*Whole Body Counter*) untuk mendeteksi posisi, jenis radionuklida dan aktivitasnya di dalam tubuh. Aktivitas radionuklida yang diperoleh dalam pengukuran digunakan untuk menghitung dosis interna

Sistem pencacah radiasi digunakan dalam aplikasi dan penelitian yang menggunakan radiasi, yaitu untuk mengukur kuantitas dan atau energi radiasi. Kuantitas radiasi merupakan jumlah radiasi yang memasuki detektor. Nilai kuantitas ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu aktivitas sumber, jenis dan energi radiasi, serta jarak dan jenis penahan di antara sumber dan detektor.

Energi radiasi merupakan kekuatan dari setiap radiasi yang dipancarkan oleh sumber. Tingkat energi radiasi ini tergantung pada jenis nuklida. Jenis nuklida yang berbeda akan memancarkan radiasi dengan energi yang berbeda.

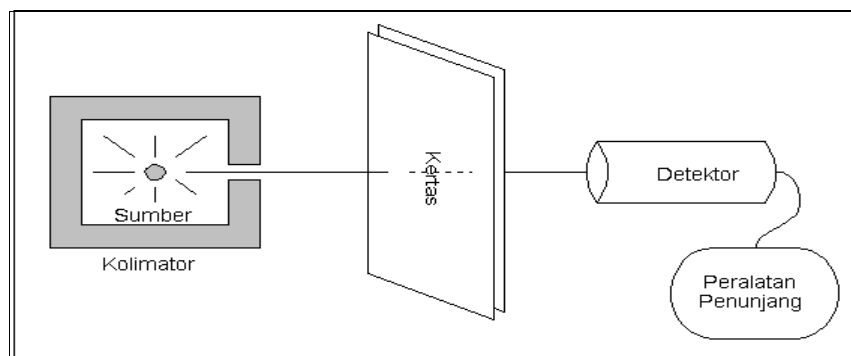
Berdasarkan kegunaannya untuk mengukur kuantitas atau energi, sistem pencacah radiasi dapat dibedakan menjadi dua konfigurasi yaitu sebagai sistem pencacah integral-diferensial dan sistem spektroskopi.

B. Jenis Sistem Pencacah

1. Sistem Pencacah Integral-Diferensial

Sistem ini digunakan untuk mencacah atau menghitung jumlah radiasi yang mengenai detektor. Sistem pencacah integral tidak memperdulikan energi radiasi sedangkan sistem pencacah diferensial mengukur pada selang energi tertentu saja.

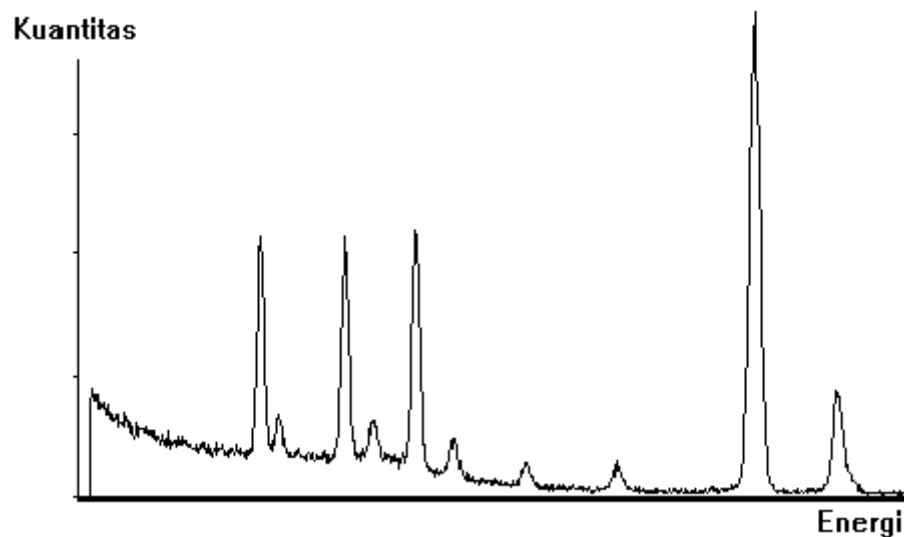
Salah satu contoh aplikasi sistem pencacah integral/diferensial ini adalah untuk mengukur tebal (*thickness gauging*), misalnya mengukur tebal kertas. Kuantitas radiasi yang terukur oleh sistem pencacah akan dipengaruhi oleh tebal kertas (jarak antara sumber dan detektor dijaga tetap). Bila kertasnya tipis maka kuantitas yang terukur akan tinggi, sebaliknya bila kertasnya tebal maka kuantitasnya rendah. Dengan mengukur perubahan kuantitasnya maka tebal kertas dapat ditentukan.



Gambar V.1: Metode pengukuran tebal kertas

2. Sistem Spektroskopi

Rangkaian ini digunakan untuk mencacah atau menghitung jumlah radiasi pada setiap rentang energi, berbeda dengan pencacah diferensial yang hanya mencacah jumlah radiasi pada sebuah rentang energi tertentu. Hasil pengukuran sistem ini akan menyerupai suatu spektrum distribusi radiasi terhadap energinya sebagaimana terlihat pada Gambar V.2. Merupakan suatu fenomena alam bahwa spektrum distribusi energi radiasi setiap nuklida bersifat spesifik sehingga spektrum suatu nuklida berbeda dengan spektrum nuklida lainnya.



Gambar V.2. Contoh spektrum distribusi energi radiasi

Apabila spektrum energi radiasi dapat diketahui maka unsur radioaktif tersebut dapat ditentukan. Sistem spektroskopi ini merupakan sistem pencacah radiasi yang paling banyak digunakan dalam berbagai pengukuran, baik di bidang industri maupun penelitian, karena sistem ini dapat melakukan pencacahan, integral maupun diferensial, sekaligus menghasilkan spektrum distribusi pancaran energi radiasi. Sebagai contoh metode analisis perpendaran sinar-X (*X-ray fluorescence /XRF*) digunakan untuk menentukan jenis dan kadar unsur dari suatu campuran logam.



Gambar V.3 (a) WBC dan (b) spektrometer gamma

C. Aspek Pencacahan

Beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam melakukan pencacahan adalah sebagai berikut:

1. Laju Cacah (R)

Pencacahan selalu dilakukan dalam rentang waktu tertentu. Nilai yang ditampilkan pencacah merupakan jumlah pulsa listrik dalam rentang tertentu (Δt), yang disebut sebagai cacahan (C). Laju cacah merupakan jumlah cacahan dalam satu satuan waktu. Nilai inilah yang sebanding dengan kuantitas radiasi yang memasuki detektor yang berarti juga sebanding dengan aktivitas sumber radiasi dan dapat dinyatakan pada persamaan (V.1).

$$R = \frac{C}{\Delta t} \quad (V.1)$$

2. Cacah Latar Belakang

Cacah latar belakang merupakan cacahan yang ditampilkan oleh rangkaian pencacah meskipun tidak terdapat sumber radiasi di sekitar detektor. Apabila aktivitas sumber yang akan diukur sangat tinggi, maka pengaruh latar belakang ini dapat diabaikan. Tetapi bila aktivitas sumbernya tidak terlalu

tinggi, maka nilai cacah hasil pengukuran harus dikoreksi terhadap nilai latar belakang yang dinyatakan dalam persamaan V.2.

$$R_s = R_u - R_{bg} \quad (V.2)$$

Dimana R_s adalah laju cacah sebenarnya (yang berasal dari sumber), R_u adalah laju cacah hasil pengukuran, dan R_{bg} adalah laju cacah latar belakang.

Laju cacah latar belakang dapat ditentukan dengan melakukan beberapa kali pencacahan tanpa sumber, dalam rentang waktu tertentu.

3. Efisiensi Alat Ukur

Salah satu kegunaan sistem pencacah yang paling utama adalah menentukan aktivitas sumber. Efisiensi merupakan suatu nilai yang menunjukkan korelasi antara laju cacah dan aktivitas sumber. Nilai efisiensi ini dapat ditentukan dengan melakukan pencacahan sumber standar, yang telah diketahui jenis nuklida dan aktivitasnya yang dinyatakan pada persamaan V.3.

$$\eta = \frac{R}{A.p} \quad (V.3)$$

Dimana η adalah efisiensi sistem pencacah, R adalah laju cacah (cpd), A adalah aktivitas (Bq), dan p adalah probabilitas pancaran radiasi.

Tentunya bila efisiensi sistem telah diketahui, maka aktivitas sumber yang belum diketahui dapat ditentukan.

RANGKUMAN

1. Radiasi pengion memiliki dua sifat yang khas, yaitu tidak dapat dirasakan secara langsung oleh panca indera manusia dan beberapa jenis radiasi dapat menembus berbagai bahan.
2. Alat ukur untuk kegiatan proteksi radiasi harus dapat menunjukkan intensitas atau dosis radiasi.
3. Terdapat beberapa jenis detektor yang sering digunakan untuk mengukur radiasi, yaitu detektor isian gas, detektor sintilasi, detektor semikonduktor, dan detektor film.
4. Tabel berikut menunjukkan perbandingan, keuntungan dan kerugian tiga jenis detektor di atas untuk jenis radiasi yang sama.

Detektor	Proses Interaksi	Keuntungan	Kekurangan
Isian Gas	Ionisasi	Konstruksi sederhana	Efisiensi terendah
Sintilasi	Eksitasi – Sintilasi	Efisiensi tinggi Respons cepat	Konstruksi rumit Resolusi terendah
Semikonduktor	Ionisasi	Resolusi tertinggi	Konstruksi rumit Efisiensi lebih rendah dari sintilasi

5. Alat ukur proteksi radiasi terdiri dari dosimeter perorangan dan monitor area. Surveimeter adalah monitor area portabel.
6. Dosimeter perorangan yang banyak digunakan adalah dosimeter saku (*pen-dose*) analog dan digital, dosimeter film (*film badge*), serta TLD (*Thermo Luminescence Dosimeter*). Dosimeter saku harus dikalibrasi. Dosimeter film dan TLD dievaluasi oleh lembaga terakreditasi. Perbandingan karakteristik dosimeter tersebut sebagai berikut:

Dosimeter	Prinsip kerja	Kelebihan	Kekurangan	Pemakaian
Pen-dose analog dengan detektor gas	ionisasi	Dapat langsung dibaca, Konstruksi sederhana	Sifat akumulasinya kurang baik	harian
Pen-dose digital dengan detektor semikonduktor	Ionisasi dalam bahan padat (<i>depletion layer</i>)	Dapat langsung dibaca		harian
Film badge	Fotokimia	- Film dapat didokumentasi dan dibaca ulang - Sifat akumulasinya baik - Dapat mengukur dosis tinggi	- Dipengaruhi oleh kelembaban dan suhu - Tidak dapat mengukur dosis rendah (< 100 μ Sv)	1 bulan
TLD	Eksitasi mengakibatkan elektron terperangkap. Pada TLD reader menghasilkan percikan cahaya	- Dapat digunakan lagi - Sifat akumulasinya paling baik - Dapat mengukur dosis rendah dan tinggi		3 bulan

7. Surveimeter dipilih sesuai dengan jenis radiasi dan energi yang diukur. Surveimeter harus dikalibrasi satu tahun sekali. Sumber radiasi untuk kalibrasi disesuaikan dengan energi radiasi yang diukur, sehingga memberikan respon energi yang sesuai.
8. Faktor kalibrasi adalah nilai perbandingan laju dosis sebenarnya dengan laju dosis terukur. $F_k = D_s / D_u$
 Dalam pembacaan surveimeter, nilai yang terbaca dikalikan dengan faktor kalibrasi.
9. Langkah penting penggunaan surveimeter meliputi
 - Memeriksa sertifikat kalibrasi, untuk memastikan surveimeter masih layak digunakan, dan mengidentifikasi nilai faktor kalibrasi
 - Memeriksa baterai
 - Mempelajari pengoperasian dan pembacaan, meliputi tombol, skala, dan satuan.

LATIHAN

1. Radiasi pengion memiliki sifat yang khas sebagai berikut:
 - a. dapat dirasakan secara langsung oleh panca indera manusia
 - b. tidak dapat dirasakan secara langsung oleh panca indera manusia
 - c. beberapa jenis radiasi dapat menembus berbagai bahan
 - d. jawaban b dan c benar

2. Detektor Geiger Muller (GM) bekerja atas dasar
 - a. efek kimia yang timbul dalam medium tertentu
 - b. pengukuran panas yang timbul akibat ionisasi
 - c. pengumpulan ion yang terbentuk oleh radiasi di dalam medium gas
 - d. radiasi pengion dalam bahan fosforesensi tertentu dan menghasilkan pulsa listrik

3. Fungsi kristal sintilator pada detektor sintilasi adalah:
 - a. Mengubah radiasi menjadi pulsa
 - b. Memperbanyak elektron
 - c. Mengubah radiasi menjadi cahaya tampak
 - d. Mengubah radiasi menjadi panas

4. Dibandingkan dengan detektor sintilasi NaI (TI) maka detektor semikonduktor HPGe mempunyai sifat
 - a. Resolusi dan efisiensinya lebih baik
 - b. Resolusinya lebih baik, namun efisiensinya kurang baik
 - c. Resolusinya kurang baik, namun efisiensinya lebih baik
 - d. Resolusi dan efisiensinya lebih buruk

5. Pada detektor semikonduktor terdapat lapisan yang sangat peka bila terkena radiasi menghasilkan elektron dan hole. Lapisan tersebut adalah
 - a. Lapisan gas
 - b. Lapisan logam
 - c. Lapisan konduktor
 - d. Lapisan kosong muatan (depletion layer)

6. Jenis detektor yang tidak dapat membedakan jenis dan energi radiasi adalah
 - a. Detektor bilik ionisasi
 - b. Detektor proporsional
 - c. Detektor Geiger Muller
 - d. Detektor sintilasi

7. Pernyataan yang benar untuk surveimeter yang digunakan untuk pemantauan daerah kerja adalah
 - a. Dapat memantau segala jenis radiasi yang datang secara akurat
 - b. Respon energi harus sesuai dengan energi peralatan sumber radiasi yang digunakan
 - c. Tidak perlu dikalibrasi apabila peralatan tidak menunjukkan kerusakan/ masih baru
 - d. Tidak diperlukan, apabila pekerja radiasi sudah menggunakan pemantauan dosis perorangan

8. Pernyataan yang benar untuk kalibrasi surveimeter adalah
 - a. surveimeter baru tidak perlu dikalibrasi, karena sudah ada kalibrasi dari pabrik
 - b. periode kalibrasi satu tahun sekali
 - c. setelah surveimeter diperbaiki dan memberikan respon tidak perlu dilakukan kalibrasi ulang
 - d. Jawaban a, b dan c benar

9. Pernyataan yang benar untuk Faktor Kalibrasi adalah
 - a. Perbandingan nilai yang terbaca oleh alat dengan nilai yang sebenarnya
 - b. Hanya berlaku untuk range energi tertentu
 - c. Tidak dipengaruhi oleh sudut pengukuran
 - d. Jawaban a,b dan c benar

10. Memilih alat pemantau dosis perorangan tidak mudah. Persyaratan yang harus dipenuhi agar alat tersebut dapat berfungsi optimal adalah
 - a. Respon dosis tergantung pada energi radiasi
 - b. Harus mampu mengukur dosis dari 10 mSv hingga 5 Sv
 - c. Respon dosis tidak tergantung pada energi radiasi
 - d. Responnya dapat dipengaruhi oleh bahan kimia, temperatur, kelembaban dan lain-lain

11. Langkah yang harus dilakukan sebelum menggunakan surveimeter, KECUALI:
 - a. Memeriksa sertifikat kalibrasi
 - b. Memeriksa baterai dan cek respon
 - c. Memeriksa merk surveimeter
 - d. Mempelajari pengoperasian dan pembacaannya

12. Yang merupakan karakteristik dosimeter saku dengan detektor isian gas adalah
- dapat langsung dibaca
 - sifat akumulasinya kurang baik
 - harus dikalibrasi
 - Jawaban a, b dan c benar
13. Dosimeter film bekerja berdasarkan prinsip
- fotokimia
 - percikan cahaya
 - elektron yang terjebak
 - perubahan kimia karena pengaruh panas
14. Salah satu kelebihan penggunaan film badge adalah
- Dapat mengukur semua jenis radiasi kecuali neutron
 - Dapat mengukur dosis yang sangat rendah (dibawah 0,1 mSv)
 - Dapat mengetahui distribusi dosis yang mengenai tubuh dengan adanya filter pada holder film
 - Jawaban a, b dan c benar
15. Kelemahan film badge adalah
- Jenis dan energi radiasi tidak dapat ditentukan
 - Film yang belum dicuci dipengaruhi oleh kelembaban, sehingga terjadi pemucatan (fading)
 - Film yang sudah dicuci tidak dapat dibaca kembali bila diperlukan
 - Jawaban a, b dan c benar
16. Pengukuran intensitas percikan cahaya untuk mengukur dosis radiasi yang diterima oleh seorang pekerja radiasi, dilakukan pada monitor perorangan jenis
- TLD
 - Film badge
 - Dosimeter saku
 - Jawaban a, b dan c benar
17. Yang merupakan karakteristik TLD adalah
- dapat digunakan ulang
 - memerlukan koreksi pemucatan
 - dapat dibaca ulang tanpa merusak informasi yang sudah ada
 - jawaban a, b dan c benar

DAFTAR PUSTAKA

1. Knoll, G.F., Radiation Detection and Measurements, John Willey, New York (1988).
2. Tsaulfanidis, N., Measurement and Detection of Radiation, Mc Graw Hill, New York (1982).
3. NCRP Report No. 58, A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures, National Council on Radiation Protection and Measurements, Washington (1978).
4. Moe, H.J., S.R. Lasuk, M.C. Schumecher and H.M. Hunt, Radiation Safety Technician Training Course, Argonne National Laboratory, Argonne (1972).
5. Technical Report Series No. 280, Training Course on Radiation Protection, International Atomic Energy Agency, Vienna (1988).
6. Debertin, K., R.G. Helmer, Gamma-and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors, North Holland, Amsterdam (1988).
7. Grundausbildung fuer Strahlenschutzbeauftragte, Oessterreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, Vienna (1972).
8. Chase, G.D. and J.I. Rabinowitz, Principles of Radioisotope Methodology, Bergess Publishing Company, Minneapolis (1967).
9. Lang, R., Morschell, Strahlungsdetektoren, KWU Siemens, Erlangen (1989).
10. Handbuch der Halbleiter Detektoran fuer Nuklear Strahlung, Detector System GmbH, Mainz (1987).
11. Film Badge Dosimetry in Atmospheric Nuclear Tests, Commission on Engineering and Technical Systems, CETS (1989).
12. Toshiba RPL Glass Dosimetry System, Technical Guide, Toshiba Glass Co., LTD, (July 1995).
13. Mukhlis Akhadi dan M. Thoyib Thamrin, Buletin ALARA 2(2), 19-25 (1998)