BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pengertian Radiasi

Radiasi merupakan salah satu cara perambatan energi dari suatu sumber energi ke lingkungannya, tanpa membutuhkan medium atau bahan penghantar tertentu.

Berdasar tingkat energi yang dipancarkan, radiasi dapat dibedakan menjadi 2 yaitu :

a. Radiasi bukan pengion : memancarkan energi yang relatif rendah sehingga tidak mampu mengionisasi medium yang dilaluinya dan mempunyai panjang gelombang (λ) > 10^{-9} meter, contoh:gelombang radio, cahaya tampak
b. Radiasi pengion : memancarkan energi dengan tingkat energi yang sudah mampu mengionisasi medium yang dilaluinya dan mempunyai panjang gelombang (λ) <10^{-9} meter contoh radiasi : sinar x, sinar gamma (γ), partikel α,β.

Interaksi Radiasi dengan Materi

Interaksi radiasi (sinar gamma (γ)) akan terjadi tiga proses yang penting antara lain :

2.1.1. Efek fotolistrik, adalah interaksi antara foton γ dengan sebuah elektron yang terikat kuat dalam atom yaitu elektron pada kulit bagian dalam suatu

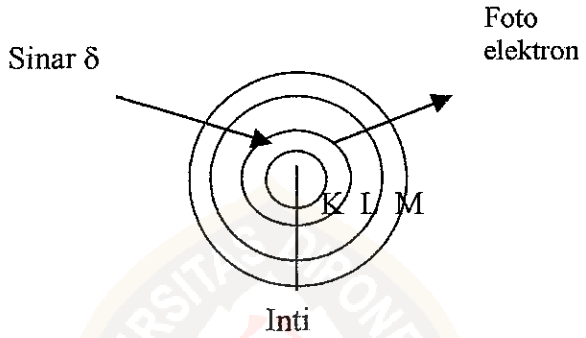
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

atom, biasanya kulit K dan L, maka elektron akan menyerap seluruh foton γ akibatnya elektron akan dipancarkan keluar dari atom dengan tenaga gerak sebesar selisih tenaga foton γ dengan tenaga ikat elektron.

$$E_e = E\gamma - W \qquad (2.1)$$

dengan E_e adalah tenaga kinetik elektron, $E\gamma$ adalah tenaga foton γ , W adalah tenaga ikat elektron .Elektron yang terpancar disebut foto elektron.

Skematis efek foto listrik



Gambar 2.1. Efek Fotolistrik

2.1.2. Hamburan compton, terjadi antara foton γ dengan elektron bebas atau yang terikat lemah yaitu elektron yang berada pada kulit terluar suatu atom. Foton γ akan menyerahkan sebagian tenaganya kepada elektron dan kemudian terhambur menurut sudut hambur θ terhadap gerak foton γ mula-mula.

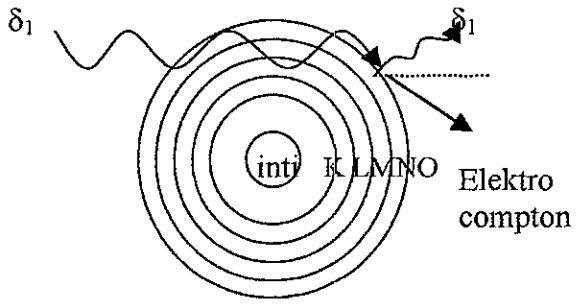
Elektron yang dilepaskan disebut elektron Compton. Tenaga sinar γ yang terhambur setelah tumbukan merupakan fungsi tenaga γ mula-mula dan sudut hamburan,

$$E\gamma \quad := E_0 / 1 + (E_0 / m_0 . C^2)(1 - \cos\theta) \qquad (2.2)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$E\gamma$ adalah tenaga sinar γ terhambur,E_0 adalah tenaga sinar γ mula-mula m_0 adalah massa diam elektron ,C adalah laju cahaya dalam hampa, θ adalah sudut hamburan

Skematis proses hamburan Compton



Gambar 2.2. Hamburan Compton

2.3.3 Pembentukan pasangan, apabila suatu foton γ dnegan tenaga cukup tinggi melalui medan listrik yang sangat kuat di sekitar inti atom (medan coulomb inti) maka foton γ lenyap sebagai gantinya muncul pasangan positron dan elektron.

Efek pembentukan pasangan dapat terjadi dengan syarat tenaga sinar gamma yang berinteraksi lebih besar 1,022 MeV.

2.2 Interaksi Radiasi Dengan Materi Biologi

Interaksi antara radiasi dengan materi biologi merupakan proses yang berlangsung bertahap.

Ada empat tahapan interaksi yaitu :

a. Tahap fisik, berupa absorbsi energi radiasi pengion yang menyebabkan terjadinya eksitasi dan ionisasi pada molekul atau atom penyusun bahan dan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

berlangsung selama 10^{-16} detik. Karena 70% tubuh manusia berupa air maka ionisasi awal yang terjadi adalah terurainya molekul air menjadi ion positif H_2O^+ dan e^-. Proses kimianya :

$$H_2O + \text{radiasi pengion} \rightarrow H_2O^+ + e^- \quad (R.1)$$

b. Tahap fisiokimia, atau molekul yang mengalami ionisasi atau tereksitasi mengalami reaksi sehingga terbentuk radikal bebas yang tidak stabil sangat reaktif dan toksik melalui radiolisis air yaitu OH^*dan H^+, dan berlangsung selama 10^{-6} detik.

Proses kimianya : $H_2O^+ \rightarrow H^+ + OH^*$ (R.2)

$$H_2O + e^- \rightarrow H_2O^- \quad (R.3)$$

$$H_2O^- \rightarrow OH^- + H^* \quad (R.4)$$

Dengan OH^* membentuk peroksida (H_2O_2) bersifat oksidator kuat, dengan reaksi :

$$OH^* + OH^* \rightarrow H_2O_2 \quad (R.5)$$

c. Tahap kimia dan biologi, ditandai dengan terjadi reaksi antara radikal bebas dan peroksida dengan molekul organik serta inti sel yang berakibat rusaknya molekul-molekul dalam sel. Radikal bebas dan peroksida merusak struktur biokimia enzim sehingga fungsi enzim terganggu dan tahap ini berlangsung beberapa puluh menit, dengan akibat kerusakan sel seperti kematian sel secara langsung, pembelahan sel tertunda atau terhambat.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.3 Efek Stokhastik

Efek stokhastik berkaitan dengan paparan radiasi dosis rendah yang dapat muncul pada tubuh manusia dalam bentuk kanker (kerusakan somatik) atau cacat pada keturunan (kerusakan genetik). Dalam efek stokhastik tidak dikenal adanya dosis ambang. Jadi sekecil apapun dosis radiasi (0,25 μSv sampai dengan 1.000 μSv) yang diterima tubuh ada kemungkinan akan menimbulkan kerusakan sel somatik maupun sel genetik.

Empat ciri khas efek stokhastik :

1. Tidak mengenai dosis ambang
2. Timbulnya efek setelah melalui masa tunda yang lama
3. Keparahan tidak tergantung dosis radiasi
4. Tidak ada penyembuhan spontan

2.5 Efek Deterministik (Non Stokhastik)

Efek deterministik berkaitan dengan paparan radiasi dosis tinggi yang kemunculannya dapat langsung dilihat atau dirasakan oleh individu yang terkena radiasi. Efek ini dapat muncul seketika sampai beberapa minggu setelah penyinaran dan mengenal adanya dosis ambang. Jadi hanya radiasi dengan dosis tertentu yang dapat menimbulkan efek deterministik, radiasi dengan dosis dibawah dosis ambang tidak akan menimbulkan efek deterministik. Efek ini dicirikan oleh hubungan sebab akibat yang bersifat pasti antara dosis yang diterima (sebab) dengan efek yang ditimbulkannya. Kemunculanya ditandai

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

dengan munculnya keluhan baik umum maupun lokal namun sulit dibedakan dengan penyakit lainnya.

Keluhan umum berupa nafsu makan berkurang, mual, lesu, lemah, demam, keringat berlebihan hingga timbul shock. Beberapa saat kemudian, muncul keluhan khusus nyeri perut, rambut rontok, shock bahkan kematian. Keluhan lokal yang muncul : erythema, (kulit memerah) pedih, gatal, melepuh, memborok.

Menurut M. Akhadi (1997), beberapa efek dertministik yang dapat muncul akibat paparan radiasi dosis tinggi pada tubuh manusia adalah :

1. Penerimaan dosis radiasi sebesar 100.000 mSv (100Sv) atau lebih mengakibatkan kerusakan sistem syarat pusat.
2. Penyinaran radiasi dengan dosis 10 – 50 Sv pada tubuh manusia mengakibatkan kerusakan saluran pemcernaan dan mengakibatkan kematian setelah 1-2 minggu kemudian.
3. Penyinaran dengan dosis radiasi 3 – 5 Sv mengakibatkan kerusakan sumsum tulang dan diikuti kematian setelah 1 – 2 bulan kemudian.
4. Penerimaan dosis radiasi dengan dosis 3 Sv pada wanita dapat menimbulkan sterilitas (kemandulan) sedangkan pada pria dosis 2 Sv menimbulkan sterilitas permanen dan 0,1 Sv menimbulkan sterilitas sementara.
5. Penyinaran yang mengenai mata dosis 2 – 5 Sv dapat mengakibatkan katarak pada lensa mata.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Terganggunya fungsi jaringan atau organ bersifat deterministik memerlukan dosis ambang untuk dapat terjadi. Menurut ICRP (1991), besarnya dosis ambang untuk efek deterministik pada ovarium, testis, lensa mata dan sumsum tulang manusia dewasa adalah pada tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2.1. Estimasi dosis ambang beberapa efek deterministik pada manusia dewasa.

Jaringan dan efek	**Dosis ambang (Sv)**
Testis	
1.Sterilitas sementara	0,15
2.Sterilitas menetap	3,5 – 6,0
Ovarium :	
1. Sterilitas	2,5 – 6,0
Lensa mata	
1.Kekeruhan yang teramati	0,5 – 2,0
2. Katarak	5,0
Sumsum tulang	
1.Penekanan produksi sel-sel darah	0,5

Sumber : Akhadi, M 1994 Dasar-Dasar Proteksi Radiasi

Berdasarkan Surat Keputusan Direktur Jendral Badan Tenaga Atom Nasional nomor : PN 03 / 160 / 03 / 89 Tentang Ketentuan Keselamatan Kerja terhadap radiasi di Indonesia diberlakukan Nilai Batas Dosis (NBD). NBD ditetapkan dengan maksud sebagai dasar untuk merancang prosedur kerja, mendesain sistem proteksi yang diinginkan, untuk menentukan efisiensi tindakan proteksi dan cara

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

kerja serta untuk menentukan luas dan sifat tindakan kesehatan yang perlu diberikan pada seseorang. NBD yang ditetapkan untuk masyarakat umum dan harus dipatuhi.

1 Penyinaran seluruh tubuh, NBD = 5 mSv dalam setahun
2. Penyinaran bersifat lokal, yaitu bagian-bagian khusus dari tubuh NBD = 5 mSv dalam setahun.
3. NBD untuk lensa mata = 15 mSv dalam setahun
4. NBD untuk kulit = 50 mSv dalam setahun
5. NBD untuk tangan, lengan, kaki, tungkai adalah 50 mSv (M. Akhadi, 1997).

2.6 Besaran Dan Satuan Dasar Dalam Dosimetri

Dosimetri adalah kegiatan pengukuran dosis radiasi dengan teknik pengukuran yang didasarkan pada pengukuran ionisais yang disebabkan oleh radiasi dalam gas, terutama udara. Berikut ini besaran-besaran dan satuan dasar dalam dosimetri.

2.6.1 Dosis serap, jumlah energi yang diserahkan oleh radiasi atau banyaknya energi yang diserap oleh bahan persatuan massa benda itu.

Dirumuskan :

$$D = dE/dm \qquad (2.3)$$

Dengan E adalah Energi dalam joule,adalah massa dalam kilogram

$$\dot{D} = \frac{D}{t} \qquad (2.4)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

dengan $\dot{D}$ adalah laju dosis serap = Gray/menit D adalah Dosis serap = Gray (Gy) t adalah Waktu dalam menit

2.6.2 Dosis Ekuivalen

Dosis yang berhubungan langsung dengan efek biologi adalah dosis ekuivalen. Faktor yang menentukan dalam perhitungan dosis ekuivalen yaitu kualitas radiasi yang mengenai jaringan. Kualitas mencakup jenis dan energi radiasi yang bersangkutan.

Dosis ekuivalen adalah dosis serap yang dikalikan dengan faktor bobotnya, dirumuskan :

$$H_{T.R} = W_R \cdot D_{T.R} \qquad (2.5)$$

dengan :

$H_{T.R}$ adalah dosis ekuivalen dalam organ T yang menerima penyinaran R dalam Sievert (Sv), W_R adalah faktor bobot radiasi R, $D_{T.R}$ adalah dosis serap untuk daerah organ atau jaringan T yang menerima radiasi R

Publikasi ICRP nomor 60 tahun 1990 menetapkan nilai W_R berdasarkan pada jenis dan energi radiasi seperti disajikan pada Tabel 2.2

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Tabel 2.2 Faktor Bobot Radiasi Untuk Beberapa Jenis dan Energi Radiasi

Jenis dan rentang energi radiasi	W_R
Foton semua energi	1
Elektron dan muon semua energi	2
Neutron dengan energi (En)	5
$E_n \leq 10$ KeV	10
10 KeV ≤ 100 KeV	20
100 Kev < En ≤ 2 MeV	10
2 MeV < En ≤ 20 MeV	5
En ≥ 20 MeV	5
Proton selain poton terpental (recoil), energi 72 MeV	20
Partikel α, hasil belah, inti berat.	

Sumber : Akhadi, M 1994 Dasar-Dasar Proteksi Radiasi

2.6.3 Dosis efektif

Hubungan antara peluang timbulnya efek biologi tertentu akibat penerimaan dosis ekuivalen pada suatu jaringan tergantung pada organ atau jarinagn tersinari, persamaannya :

$$H_E = W_T \cdot H_T \qquad (2.6)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Dengan $H_E$adalah dosis efektif = Sievert (Sv), $W_T$adalah faktor bobot jaringan

$H_T$adalah dosis ekuivalen = Sievert (Sv).

ICRP melalui publikasi ICRP nomor 60 tahun 1990 menetapkan nilai W_T. Nilai W_T untuk berbagai jenis jaringan disajikan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Faktor Bobot Jaringan Untuk Berbagai Bagian Organ Tubuh

Jenis jaringan / Organ	W_T
Gonad / lensa mata	0,20
Sumsum Tulang Merah	0,12
Usus Besar	0,12
Paru-paru	0,12
Lambung	0,12
Bladder	0,12
Payudara	0,05
Hati	0,05
Oesophagus	0,05
Thyroid	0,05
Kulit	0,01
Permukaan tulang	0,01
Organ sisa	0,05

Sumber : Akhadi , M 1994 Dasar-Dasar Proteksi Radiasi

Yang termasuk organ sisa : adrenal, otak ginjal, pankreas, spleen, thymus, uterus.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.7 Pesawat Teleterapi Co^{60}

2.7.1 Sumber Radiasi

Radioisotop Co^{60} (Umur paro 5,272 tahun) di produksi dalam reaktor nuklir dengan cara membombardir Co^{59} dengan partikel neutron (Khan, 1994).

Setelah diperoleh radioisotop Co^{60}, radioisotop ini akan memancarkan β dan γ menuju keadaan stabil. Proses peluruhan Co^{60} menjadi $_{28}Ni^{60}$ disertai emisi β dengan energi 0,32 MeV dan radiasi γ dengan energi 1,1732 MeV dan 1,3325 MeV dengan persamaan reaksi :

$$_{27}Co^{59} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{27}Co^{60} + \gamma \qquad (R.6)$$

$$_{27}Co^{60} \rightarrow {}_{28}Ni^{60} + {}_{-1}\beta^{0} + \gamma_1 + \gamma_2 \qquad (R.7)$$

Partikel β yang terbentuk mempunyai daya tembus terbatas, tidak mampu menembus wadah sumber dan diserap bahan Co^{60} dan *stainless steel capsul* sehingga radiasi yang keluar dari sumber radiasi relatif terdiri dari foton γ.

Sumber radiasi Co^{60} berbentuk batang silinder padat terselubung di dalam *stainless steel*. Kapsul dimasukkan ke dalam kapsul yang disegel dengan las, sehingga kekuatan relatif aman. Kapsul sumber diskrup di dalam sebuah lubang pada tepi roda yang berputar saat sebuah sumbu. Dalam keadaan *Off*, kapsul sumber radiasi dalam keadaan terlindung dalam, wadah.

Pada waktu *On* sebuah *electromotor* saat sistem pengendali radiasi memutar sumbu roda pemegang sumber sehingga sumber radiasi bergerak ke mulut muara berkas radiasi. Sistem pengendali radiasi diatur melalui pengaturan waktu dari panel kontrol di luar ruang pesawat teleterapi Co^{60} (Warsito dkk, 1990).

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.7.2 Radioaktivitas

Radioaktivitas adalah gejala perubahan inti atom secara spontan yang disertai radiasi berupa partikel atau gelombang elektromagnetik. Perubahan ini menyebabkan perubahan dari satu nuklida ke nuklida lain atau dari satu unsur menjadi unsur lain. Peristiwa perubahan inti atom lain disebut disintegrasi inti atau peluruhan radioaktif. Peluruhan radioaktif memenuhi hukum eksponensial atau hukum peluruhan. Peluruhan bukan kejadian yang terjadi serentak atau bersamaan, melainkan peristiwa statistik dari sejumlah nuklida yang tak mungkin diramalkan nuklida mana yang meluruh saat detik berikutnya. Mengingat kebolehjadian terjadinya peluruhan setiap nuklida dalam waktu detik dt adalah λ dt dimana λ adalah suatu konstanta peluruhan. Apabila Nt adalah jumlah nuklida sebelum meluruh dalam waktu dt maka dapat ditulis

$$Nt = No \cdot e^{-\lambda t} \qquad (2.7)$$

Dengan No adalah jumlah radioaktif pada saat t = 0, Nt adalah jumlah nuklida radioaktif saat t (Supriyanto, 1999).

Aktivitas radiasi (A) adalah besaran yang menyatakan jumlah peluruhan per detik, secara matematis ditulis (Beisser, 1990)

$At = \lambda No$

Dengan At adalah aktivitas radiasi saat t. Analog dengan persamaan 2.7 Ao adalah aktivitas sumber radiasi t = 0 ditulis

$Ao = \lambda \cdot No$.

Oleh karena $Nt = No\ e^{-\lambda t}$ dan $At = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$ maka diperoleh hubungan

$$At = Ao \cdot e^{-\lambda t} \qquad (2.8)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Persamaan ini menunjukkan bahwa aktivitas sumber radiasi berkurang secara eksponensial terhadap waktu.

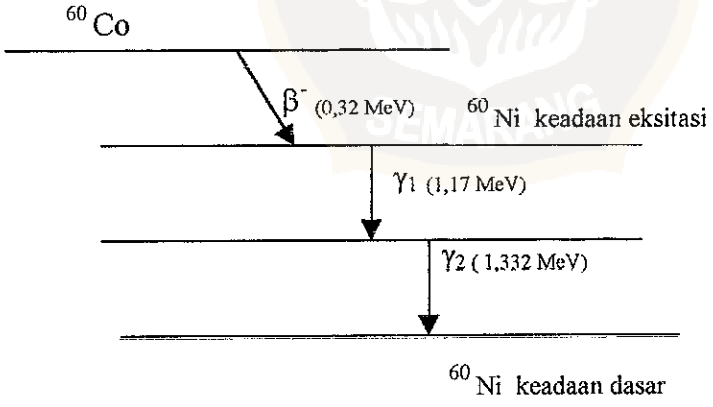
Waktu paro (t1/2) yaitu interval waktu yang dibutuhkan radioaktif sehingga aktivitasnya berkurang menjadi setengah dari aktivitas semula. Oleh karena itu $\lambda = 0{,}693 / t1/2$.

2.7.3 Peluruhan γ

Setelah inti memancarkan partikel β^-, inti atom akan berada pada keadan eksitasi. Inti dalam keadaan eksitasi akan menuju keadaan dasar dengan jalan memancarkan radiasi elektromagnetik yang disebut radiasi γ (Susetyo,1988).

Menurut Beisser inti atom yang dapat memancarkan radiasi (bersifat radioaktif) disebut radionuklida.

Radioisotop ^{60} Co meluruh menjadi ^{60} Ni melalui peluruhan β^-. Untuk memperjelas dapat melihat skema dibawah :



Gambar 2.3 Skema Peluruhan ^{60} Co (Susetyo ,1988)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Sinar Gamma adalah radiasi gelombang elektromagnetik dari foton energi tinggi dipancarkan dari nuklida tereksitasi dengan panjang gelombang 0,005 Å - 0, 5 Å dengan daya ionisasi kecil , daya tembus sangat besar dibandingkan partikel α atau β, kemampuannya menghasilkan fluoresensi dan menghitamkan plat film lebih besar dibandingkan partikel α atau β

2.7.4 Wadah Sumber

Wadah sumber biasa disebut *headsource* dan ada yang menyebutnya *sourcehousing*, dibuat dari uranium dan lead yang dirancang sedmeikian rupa berfungsi sebagai perisai (*Shielding*) sehingga terjamin keamanannya dari kebocoran radiasi bagi setiap petugas yang berada disekitarnya dan terjamin untuk dapat tahan api jika terjadi kebakaran (Anonim, 1994).

2.7.5 Detektor

Detektor yang digunakan adalah model *ionization chamber* yang peka radiasi sehingga mampu merespon sejulah radiasi yang mengenai nya (Khan,1994). Setiap bahan akan berinteraksi dan sensitif terhadap jenis radiasi tertentu, sehingga suatu bahan memiliki karakteristik sebagai bahan detektor (Andreo dkk,1987). Selain itu detektor hanya mampu mendeteksi energi radiasi tertentu,sehingga suatu saat dibutuhkan untuk mendeteksi radiasi dengan energi yang berbeda maka harus digunakan detektor jenis lain.Menurut Khan 1994, Farmer berhasil menciptakan detektor yang mampu mendeteksi sinar-X dan sinar gamma yang dimanfaatkan di radioterapi,detektor ini disebut Dosimeter Farmer.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

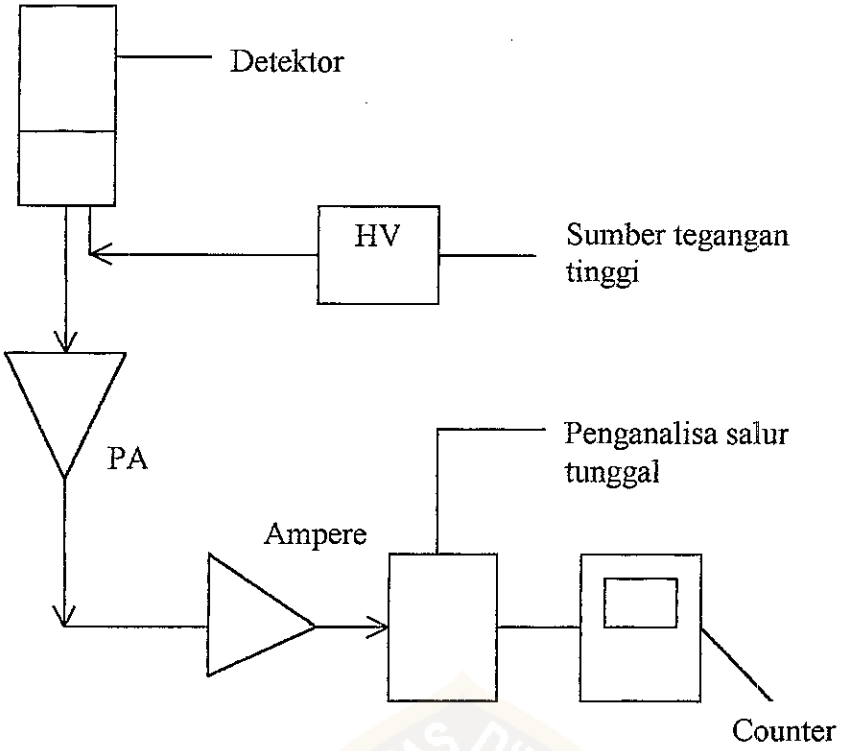
Dosimeter Farmer berkerja berdasarkan prinsip bilik pengion udara bebas,detektor berbentuk tudung ,*thimble chamber* dengan dinding graphit murni dan pusat elektroda terbuat dari alumunium murni,bahan penyekatnya *polytricholorofluorethylene (PTCFE)*

2.7.6 Elektrometer

Peralatan penunjang alat ukur dosimetri berupa perangkat elektronik yang berfungsi merubah respon detektor menjadi suatu informasi yang dapat dinilai atau diamati.

Interaksi antara foton γ dengan detektor menghasilkan sinyal pulsa yang tingginya bersesuaian dengan tenaga radiasi foton yang mengenai detektor. Pulsa yang dihasilkan detektor diperkuat, dibentuk dalam penguat awal, kemudian dalam penguat. Selanjutnya pulsa dari penguat menuju alat penganalisis tinggi pulsa. Pulsa yang telah dibentuk dan diperkuat dikirim ke diskriminator yang akan memilah-milah pulsa menurut tingginya, lalu diteruskan ke alat yang akan mencegah semua pulsa yang dikeluarkan sesuai dengan jangka waktu yang telah ditetapkan.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2. 4. Pencacah γ (Susetyo, 1999)

2.8 Proteksi Radiasi Terhadap Sumber Eksternal

Bahaya radiasi dari sumber-sumber eksternal dapat dikendalikan dengan tiga prinsip dasar proteksi radiasi yaitu :

2.8.1 Pengaturan waktu

Semakin lama seseorang berada pada medan radiasi maka semakin besar dosis yang diterima. Dosis radiasi yang diterima pekerja selama berada di medan radiasi dirumuskan :

$$D = \mathring{D} \cdot t \qquad (2.9)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

dengan D adalah dosis akumulasi yang diterima pekerja (Gray,Gy), $\mathring{D}$ adalah laju dosis serap dalam medan radiasi dalam Gray / menit, t adalah lamanya pekeja berada dalam medan radiasi dalam menit

2.8.2 Pengaturan jarak

Faktor jarak berkaitan dengan fluks radiasi. Fluks radiasi proporsional dengan laju dosis serap dan dapat di rumuskan sebagai berikut :

$$\mathring{D}_1 \cdot R_1^2 = \mathring{D}_2 \cdot \mathring{R}_2 \qquad (2.10)$$

Dengan :$D_{1.2}$ adalah laju dosis serappada titik 1,2, $R_{1.2}$ adalah jarak antara titik 1,2 dengan sumber radiasi. Dosis berbanding berbalik degan kuadrat jarak maka semakin jauh jarak dari sumber maka akan semakin kecil dosis yang diterima.

2.8.3 Perisai

Sifat dari bahan perisai yang digunakan harus mampu menyerap energi radiasi (sinar β dan neutron) atau melemahkan intensitas radiasi (sinar x dan γ). Mengingat sifat serap bahan perisai terhadap berbagai jenis radiasi dan energi radiasi yang berbeda-beda jumlah dan jenis bahan penahan radiasi yang diperlukan bergantung pada jenis dan energi radiasi yang pancarkan sumber.

Porsi untuk sinar x dan sinar γ berbeda dengan perisai untuk sinar β. Interaksi antara sinar X dan sinar β menyebabkan pengurangan intensitasnya, seperti persamaan :

$$I = Io.e^{-ux} \qquad (2.11)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

dengan Io adalah intensitas mula-mula, I adalah intensitas setelah menembus perisai , X adalah tebal perisai, μ adalah Koefisien absorbsi linier bahan perisai

Laju dosis radiasi sinar γ berbanding lurus dengan intensitas radiasinya, seperti persamaan :

$$D = Do.e^{-ux} \qquad (2.12)$$

Dengan D adalah laju dosis setelah menembus bahan,Do adalah laju dosis sebelum menembus bahan, μ adalah kooefisien absorbsi linier bahan perisai, x adalahtebal bahan

2.9 Teknik Pengukuran Dosimetri Radioterapi (Suhartono, 1990)

2.9.1 Persyaratan Pengukuran

Persyaratan pengukuran harus dipenuhi agar alat ukur radiasi yang digunakan memberikan hasil pengukuran yang teliti dan dapat dipertanggungjawabkan.

2.9.1.1 Alat Ukur Radiasi (dosimetri)

Alat ukur radiasi yang digunakan pada pengukuran sumber radiasi terapi terdiri dari elektromotor dan bilik pengion dengan berbagai jenis dan bentuk sesuai dengan kebutuhan. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pengukuran :

a. Stabilitas alat ukur radiasi

   Prinsipnya adalah menyinari detektor dengan sumber radiasi secara berkala dan bacaan alat ukur diharapkan selalu konstan.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Perhitungan nilai stabilitas didasarkan pada perbandingan bacaan standard awal (berdasar sertifikat) yang telah dikoreksi terhadap peluruhan radioaktif terhadap bacaan saat ini yang telah dikoreksi terhadap temperatur dan tekanan udara.

Persamaan yang digunakan sebagai berikut :

a) Koreksi terhadap temperatur dan tekanan udara :

$$K_{PT} = \frac{273{,}15 + t}{283{,}15} x \frac{1013{,}25}{P} \qquad (2.13)$$

$$M_s = M \text{ X } K_P \qquad (2.14)$$

b) Koreksi terhadap peluruhan radioaktif

$$M_1 = Mo.e^{\lambda t} \qquad (2.15)$$

Dengan M adalah bacaan alat ukur, T dan P adalah temperatur dan tekanan udara selama pengukuran, Ms adalah bacaan sebenarnya, Mo adalah bacaan standar pada waktu pengecekan stabilitas awal (berdasarkan serifikat)

Mt adalah bacaan standar dikoreksi dengan peluruhan radioaktif ,N adalah perbedaan jumlah hari antara pengecekan awal dan pengecekan saat ini,

T ½ adalahwaktu paro sumber pengecek

Harga prosentasi stabilitas dapat ditentukan dengan persamaan :

$$P = \left| \frac{Ms - Mt}{Mt} \right| x\, 100\% \qquad (2.16)$$

Harga P < 1% maka alat ukur radiasi dinyatakan stabil dan dapat digunakan untuk pengukuran.

Apabila harga P>1% maka alat ukur tidak boleh dipakai.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.9.1.2 Kebocoran arus dosimeter

Secara sederhana pengukuran kebocoran arus dapat dilakukan dengan cara memasang dosimeter yang terdiri elektrometer dan detektor pada posisi *On* seperti untuk pengukuran. Diamkan sistem dosimeter ini tanpa disinari dalam periode waktu tertentu. Penyimpangan bacaan dosimeter selama selang waktu tertentu itu merupakan harga kebocoran arus dosimeter.

Metode lain yang digunakan adalah dengan menyinari detektor untuk waktu penyinaran t_s menit sehingga diperoleh bacaan dosimeter R_s. setelah itu dosimeter yang tetap pada posisi dan telah mempunyai bacaan M_s tadi didiamkan tanpa penyinaran selama selang waktu tertentu t_f menit. Amati bacaan dosimeter R_γ tersebut selama selang waktu t_f.

Harga kebocoran arus diperhitungkan dengan persamaan :

$$\text{Kebocoran arus} = \frac{R_f - R_s}{t_f - t_s} \qquad (2.17)$$

Harga kebocoran arus tidak boleh melebihi 0,5% dari bacaan yang diperoleh dari penyinaran.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)