



DOSIMETRI

PELATIHAN

PETUGAS PROTEKSI RADIASI

BIDANG MEDIK TK. 2

UPT LABORATORIUM TERPADU

UNIVERSITAS SEBELAS MARET

2021

LEMBAR VALIDASI

Judul Dokumen : Modul Dosimetri
Kode Dokumen : M2/PPR-Medik2/2021

| TINDAKAN | NAMA | JABATAN | TANGGAL |
|-----------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| Disiapkan oleh | Dra. Riyatun, M.Si. | PIC Kurikulum PPR Medik-2 | 1 Juli 2021 |
| Divalidasi oleh | Dr. Endang Susilowati, M.Si. | Koordinator Bidang Akademik | 1 Juli 2021 |
| Disetujui oleh | Dr. Sayekti Wahyuningsih, M.Si. | Kepala UPT Laboratorium Terpadu | 1 Juli 2021 |

DAFTAR ISI

| | |
|---|----|
| HALAMAN JUDUL | 1 |
| LEMBAR VALIDASI | 2 |
| DAFTAR ISI | 3 |
| BAB I. PENDAHULUAN..... | 4 |
| A. Standar Kompetensi..... | 4 |
| B. Tujuan Instruksional Khusus | 5 |
| BAB II. RADIASI DAN DOSIS RADIASI | 6 |
| A. Besaran Radiasi..... | 6 |
| 2.1 Fluks..... | 6 |
| 2.2 Intensitas (I) | 6 |
| 2.3 Paparan..... | 6 |
| 2.4 Kerma (K)..... | 7 |
| B. Besaran Dosimetri..... | 8 |
| 2.1 Dosis Serap (D)..... | 8 |
| 2.2. Dosis Ekuivalen (H)..... | 10 |
| 2.3 Dosis Efektif (E _T) | 12 |
| RANGKUMAN..... | 14 |
| LATIHAN SOAL | 15 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 17 |

BAB I. PENDAHULUAN

Radiasi mengandung potensi bahaya apabila berinteraksi dengan sistem tubuh manusia, meskipun radiasi banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Untuk mengenal lebih lanjut dengan radiasi maka penting bagi calon PPR Medik-2 mengetahui jenis-jenis radiasi dan energinya. Konsep paparan radiasi juga penting diuraikan, karena kata “paparan” semakin banyak dipakai. Di era pandemi covid-19, istilah paparan radiasi apakah sama dengan paparan covid ?

Besaran Radiasi meliputi

fluks (Φ), intensitas (I), paparan (X) dan Kerma (K)

Besaran dosis menyatakan sejumlah energi yang diserap oleh tubuh, dikenal beberapa jenis dosis radiasi. Untuk keperluan tersebut diperlukan besaran dosis radiasi yang dapat digunakan sebagai kuantisasi efek biologi yang ditimbulkan oleh radiasi pada tubuh. Berdasarkan interaksi yang terjadi, berbagai besaran satuan dosis radiasi tersebut dapat didefinisikan. Nilai dosis radiasi sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu **jenis dan energi radiasi**, **aktivitas sumber radiasi**, dan **jenis bahan** yang dilewatinya.

Besaran dosis radiasi meliputi

dosis serap (D), dosis ekuivalen (H) dan dosis efektif (E)

A. Standar Kompetensi

Setelah mempelajari modul ini peserta akan mampu menjelaskan besaran radiasi dan besaran dosimetri radiasi dan menerapkannya.

B. Tujuan Instruksional Khusus

Setelah mempelajari modul ini peserta akan dapat :

1. Menguraikan konsep besaran radiasi : fluks (Φ), intensitas (I), paparan (X) dan Kerma (K)
2. Menguraikan konsep dosis serap,
3. Menguraikan konsep laju dosis
4. Menganalisis dosis ekuivalen,
5. Menjelaskan faktor bobot radiasi
6. Menganalisis dosis efektif;
7. Menerapkan persamaan untuk menentukan kuantitas dosis serap

BAB II. RADIASI DAN DOSIS RADIASI

Dalam kegiatan proteksi radiasi terhadap potensi bahaya radiasi, perlu diketahui beberapa konsep terkait radiasi yaitu besaran radiasi. Setelah radiasi masuk ke dalam tubuh dan terserap, maka penting diketahui besaran dosis serap radiasi.

A. Besaran Radiasi

2.1 Fluks

Fluks radiasi (Φ) adalah jumlah radiasi yang melewati satu satuan luas, per waktu. Jadi kalau suatu berkas memiliki fluks = $2 \cdot 10^5 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Artinya dalam luasan 1 meter persegi, tiap detik terdapat 200.000 radiasi yang melalui.

2.2 Intensitas (I)

Seberkas radiasi yang memiliki energi E dan sejumlah Flux radiasi, maka yang disebut intensitas adalah :

$$I = (\Phi) \times E \quad (1)$$

Jika seberkas fluks (Φ) = $2 \cdot 10^5 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ memiliki energi E = 10 Joule, maka $I = 2 \cdot 10^6 \text{ Joule} \cdot \text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

2.3 Paparan

Seberkas radiasi pengion mampu mengionisasi atau memisahkan atom menjadi pasangan elektron bebas (-) dan ion (+).

Konsep **paparan (X)** didefinisikan sebagai pasangan ion (dQ) yang terbentuk dalam satuan massa udara (dm) yang ditimbulkan oleh radiasi. Dengan batasan bahwa

- Pasangan ion terbentuk oleh radiasi (bukan sebab lainnya)
- kondisi temperatur dan tekanan standar

Secara matematis paparan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (2)$$

Dalam sistem Satuan Internasional (SI), satuan paparan adalah coulomb/kilogram (C/kg).

Pengertian paparan 1 C/kg adalah besar paparan yang dapat menyebabkan terbentuknya muatan listrik sebesar satu coulomb pada suatu elemen volume udara yang mempunyai massa 1 kilogram.

Satuan lama untuk besaran paparan adalah rontgen (R). Satu rontgen sama dengan $2,58 \times 10^{-4}$ C/kg.

Laju paparan adalah besar paparan per satuan waktu, dan diberi simbol \dot{X} . Satuan laju paparan dalam SI adalah C/kg.jam, sedangkan satuan lama adalah R/jam.

2.4 Kerma (K)

Istilah kerma berasal dari singkatan *kinetic energy released per unit mass of adsorber*. Kerma digunakan untuk radiasi pengion tak langsung seperti sinar-X, gamma dan neutron cepat. Pada dasarnya kerma mengukur energi kinetik awal dari interaksi primer (efek fotolistrik, hamburan compton atau produksi pasangan) pada suatu media pengabsorpsi. Apabila medium pengabsorpsi udara maka digunakan istilah kerma udara. Satuan kerma dalam SI adalah Joule/kg atau sama dengan gray (G).

$$1 \text{ gray (Gy)} = 1 \text{ joule/kg}$$

Gray juga merupakan satuan dosis serap, walaupun memiliki satuan yang sama tetapi kerma dan dosis serap merupakan besaran yang berbeda.

B. Besaran Dosimetri

2.1 Dosis Serap (D)

Dosis serap didefinisikan sebagai energi rata – rata yang diserap bahan (dE) per satuan massa bahan tersebut (dm). Secara matematis dosis serap dituliskan persamaan (3) :

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (3)$$

Besaran dosis serap ini berlaku untuk semua jenis radiasi dan semua jenis bahan yang dikenai radiasi. Satuan dosis serap dalam SI adalah Joule/kg atau sama dengan Gray (Gy).

Satuan lama dosis serap adalah rad (*radiation absorbed dose*).

Satu rad adalah energi rata – rata sebesar 100 erg yang diserap bahan dengan massa 1 gram.

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g}$$

Sehingga :

$$1 \text{ Gray (Gy)} = 100 \text{ rad}$$

Laju dosis serap adalah dosis serap per satuan waktu, diberi simbol \dot{D} . Satuan laju dosis serap dalam SI misalnya J/kg.jam atau Gy/jam dan dalam satuan lama rad/jam.

Dosis serap dapat dihubungkan dengan nilai paparan (X), persamaan (4):

$$D = f \times X \quad (4)$$

Keterangan :

D = dosis serap (rad)

X = paparan (R)

f = faktor konversi dari paparan ke dosis serap (rad/R)

Bila medium yang digunakan udara, maka $f = 0,877 \text{ rad.R.}$

Tabel 1. Konversi dosis serap terhadap paparan pada foton berbagai energi (Johns, H. E., & Cunningham, J. R., 1983).

| Energi Foton (MeV) | Nilai f dalam air (rad/R) | Nilai f dalam otot (rad/R) | Nilai f dalam tulang keras (rad/R) |
|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---|
| 0,010 | 0,019 | 0,925 | 3,55 |
| 0,020 | 0,879 | 0,927 | 4,23 |
| 0,040 | 0,879 | 0,920 | 4,14 |
| 0,060 | 0,905 | 0,929 | 2,91 |
| 0,080 | 0,932 | 0,940 | 1,91 |
| 0,10 | 0,949 | 0,949 | 1,46 |
| 0,50 | 0,965 | 0,957 | 0,925 |
| 1,00 | 0,965 | 0,957 | 0,919 |
| 2,00 | 0,965 | 0,955 | 0,912 |
| 3,00 | 0,962 | 0,955 | 0,929 |

Untuk keperluan proteksi radiasi, disepakati (ditetapkan) nilai konversi pada Tabel 1 yang bernilai < 1 , dibulatkan ke atas sehingga $f = 1$, dan terdapat konversi $f = 1$ rad/R. Jadi besarnya dosis serap sama dengan nilai paparan. Paparan dapat diukur di udara, sedangkan dosis serap tidak mudah diukur langsung ke dalam tubuh. Dengan konversi tersebut, maka dosis serap dapat diperkirakan.

Jika diperhatikan Tabel 1, pada udara, air (dalam tubuh isinya air), otot semua energi foton yang terserap akan diubah menjadi nilai dosis serap yang sama nilainya, karena $f = 1$. Akan tetapi pada tulang keras, nilai $f > 1$, artinya dosis serap dalam tulang keras lebih tinggi daripada paparan di udara. Sinar-X energi rendah sampai 0,1 MeV atau 100 keV punya peluang

besar diserap oleh tulang keras, daripada energi yang lebih besar. Oleh karena sinar-X 100 keV lebih banyak diserap tulang dibandingkan bukan tulang, maka digunakan dalam medis untuk mengambil citra radiografi.

2.2. Dosis Ekuivalen (H)

Dosis ekuivalen merupakan besaran turunan dosis serap yang melibatkan faktor bobot radiasi (W_r). Beberapa konsep yang dapat menjelaskan faktor bobot radiasi antara lain :

- suatu bilangan/angka yang menggambarkan **kemampuan khas dari radiasi** untuk menimbulkan kerusakan pada suatu jenis organ atau jaringan.
- W_r adalah bilangan yang menunjukkan perbandingan kerapatan ionisasi dari berbagai jenis radiasi pada satu organ tubuh.
- Apabila seseorang menerima **dosis serap yang sama dari jenis radiasi yang berbeda** maka akan memberikan efek biologi yang berbeda.
- Konsep *Linier Energy Transfer* atau LET adalah kemampuan suatu jenis radiasi dalam memberikan energinya untuk membentuk pasangan ion per satuan panjang lintasan dalam tubuh.
- LET yang berbeda-beda dari tiap jenis radiasi menyebabkan daya ionisasi masing – masing jenis radiasi berbeda. Makin besar LET makin besar daya ionisasi, makin tinggi tingkat kerusakan biologi yang ditimbulkannya.
- tidak mempunyai satuan
- bergantung pada **jenis radiasi dan energi** (khusus untuk radiasi neutron).
- Faktor bobot radiasi disebut juga faktor kualitas (QF), atau *relative biological effectiveness* (RBE).
- Tabel 2 menunjukkan nilai faktor bobot radiasi berbagai jenis radiasi.

Secara matematis **dosis ekuivalen (H)** dituliskan sebagai berikut :

$$H = \sum (D \times W_r) \quad (5)$$

Dosis ekuivalen total merupakan jumlahan dari dosis serap tiap organ tubuh dan tiap jenis radiasi.

Satuan dosis ekuivalen dalam SI adalah sievert (Sv) dan satuan lama adalah rem (*rad equivalent man*). Hubungan kedua satuan adalah

$$1 \text{ sievert (Sv)} = 100 \text{ rem}$$

Laju dosis ekivalen adalah dosis ekivalen per satuan waktu, dan diberi simbol \dot{H} . Satuan laju dosis ekuivalen dalam SI adalah Sievert/jam (Sv/jam) dan rem/jam.

Tabel 2. Nilai faktor bobot (W_r) berbagai jenis radiasi

| Jenis Radiasi | W_r (tanpa satuan) |
|---|----------------------|
| 1. Foton untuk semua energi | 1 |
| 2. Elektron dan muon semua energi | 1 |
| 3. Neutron dengan Energi | |
| a. $E \leq 10 \text{ keV}$ | 5 |
| b. $10 \text{ keV} \leq E \leq 100 \text{ keV}$ | 10 |
| c. $100 \text{ keV} \leq E \leq 2 \text{ MeV}$ | 20 |
| d. $2 \text{ MeV} \leq E \leq 20 \text{ MeV}$ | 10 |
| e. $E > 20 \text{ MeV}$ | 5 |
| 4. Proton, selain proton recoil dengan energi $>2 \text{ MeV}$ | 2 |
| 5. Partikel alpha, hasil belah, inti berat | 20 |

* Nilai W_r menurut ICRP 103 tahun 2007

Dari tabel 2 dapat dipahami bahwa efek radiasi yang paling merusak terhadap jaringan tubuh adalah netron cepat, proton dan partikel alpha. Apabila dihubungkan dengan kemampuan ionisasi, partikel ini yang memiliki nilai tertinggi. Demikian juga kuantitas LET juga paling tinggi.

2.3 Dosis Efektif (E_T)

Dosis efektif dengan simbol E_T merupakan turunan dosis ekuivalen yang mempertimbangkan faktor bobot organ atau faktor bobot jaringan tubuh (W_T). Beberapa konsep untuk menjelaskan faktor bobot radiasi antara lain

- Suatu bilangan yang menunjukkan perbandingan risiko efek stokastik dari suatu jaringan tubuh. Hal ini disebabkan oleh perbedaan sensitivitas organ/jaringan tersebut terhadap radiasi.
- organ atau jaringan tubuh dengan nilai faktor bobot terbesar merupakan organ yang paling sensitif terhadap radiasi
- Tabel 3 menunjukkan nilai faktor bobot berbagai organ tubuh.

Secara matematis dosis efektif diformulasikan sebagai berikut :

$$E_T = \sum W_T \times H \quad (6)$$

atau,

$$E_T = \sum (W_T \times W_R \times D) \quad (7)$$

Satuan dosis efektif ialah rem atau Sievert (Sv). Laju dosis ekuivalen adalah **dosis efektif per satuan waktu**, dan diberi simbol \dot{E}_T . Satuan laju dosis efektif ialah Sievert/jam atau rem/jam.

Tabel 3. Nilai Faktor Bobot Berbagai Organ Tubuh dapat dilihat di ICRP 103 tahun 2007

| No | Organ atau jaringan tubuh | W_t | Jumlah W_t |
|----|---|-------|--------------|
| 1 | Sumsum tulang(merah), usus besar , paru-paru, lambung, payudara, jaringan sisa* | 0,12 | 0,72 |
| 2 | Gonad | 0,08 | 0,08 |
| 3 | Kandung kemih, oesophagus, hati, tiroid | 0,04 | 0,16 |
| 4 | Permukaan tulang, kulit , otak , kelenjar ludah | 0,01 | 0,04 |
| | Total | | 1,00 |

Nilai WR ICRP 103 tahun 2007

Catatan :

Yang termasuk jaringan lainnya : adrenalin, ekstratoraksik, kantung empedu, jantung, ginjal, kelenjar getah bening, otot, mukosa oral, prostat (laki – laki), usus kecil, limpa, thymus, uterus, servis (perempuan)

RANGKUMAN

- Besaran radiasi yang penting diketahui adalah fluks (Φ), Intensitas (I) dan Paparan radiasi (X).
- Besaran dosis radiasi eksternal meliputi: dosis serap (D), dosis ekuivalen (H), dan dosis efektif (E).
- Paparan berlaku untuk radiasi sinar – X dan gamma pada medium udara
- Dosis serap merupakan besaran yang lebih umum yang berlaku untuk semua jenis radiasi dan semua jenis medium. Dosis serap hanya bergantung kepada energi rata – rata yang diserap oleh bahan per satuan massa bahan tersebut.
- Pada dosis ekuivalen harus memperhitungkan efek radiasi sebagai akibat dari jenis radiasi yang berbeda, yaitu dengan memasukkan faktor bobot radiasi W_R .
- Dosis efektif, selain memasukkan faktor bobot radiasi juga memperhitungkan faktor bobot organ / jaringan W_T , yaitu tingkat kepekaan organ / jaringan terhadap efek stokastik.

LATIHAN SOAL

1. Perbandingan antara risiko terjadinya efek stokastik pada suatu organ atau jaringan tubuh terhadap risiko stokastik total (seluruh tubuh) dikenal sebagai :
 - a. Faktor bobot jaringan
 - b. Faktor kualitas radiasi
 - c. Faktor penyinaran
 - d. Faktor gamma

2. Konsep faktor bobot radiasi ditentukan oleh :
 - a. Kerapatan ionisasi yang ditimbulkan oleh radiasi di udara
 - b. Kerapatan ionisasi yang ditimbulkan oleh radiasi pada jaringan tubuh
 - c. Kualitas radiasi ditinjau dari segi kemampuan untuk menghasilkan dosis sebesar 10 mGy di udara
 - d. Banyaknya neutron dari inti bahan yang dilalui oleh radiasi pengion

3. Apabila seluruh organ dalam tubuh memperoleh penyinaran radiasi sinar-X dengan dosis ekuivalen yang sama maka :
 - a. Setiap organ yang berbeda di dalam tubuh akan memperoleh akibat radiasi dengan keparahan yang sama
 - b. Tingkat keparahan yang diderita organ digunakan untuk menentukan faktor bobot radiasi
 - c. Risiko terjadinya efek stokastik pada organ yang berbeda digunakan untuk menentukan faktor bobot organ / jaringan
 - d. Hanya akan terjadi efek stokastik

4. Besaran dosis yang merupakan hasil perkalian antara dosis serap dengan faktor kualitas radiasi dan faktor bobot organ/ jaringan adalah
 - a. Dosis serap
 - b. Dosis ekuivalen
 - c. Dosis efektif
 - d. Dosis terikat

5. Untuk menghitung dosis ekivalen efektif yang diterima oleh pekerja radiasi karena penyinaran luar diperlukan pengetahuan tentang hal – hal dibawah ini, KECUALI :
 - a. Faktor bobot organ / jaringan
 - b. Umur paro biologi
 - c. Faktor kualitas radiasi
 - d. Dosis serap rata – rata pada organ / jaringan

6. Berapa besarnya dosis ekuivalen yang mengenai suatu organ / tissue apabila diketahui dosis serap dari radiasi gamma adalah 0,5 Gy dan dosis serap dari radiasi neutron dengan energi 20 KeV adalah 100 rad
 - a. 105 C/kg
 - b. 10,5 C/kg
 - c. 10,5 Sievert
 - d. 0,105 rem

DAFTAR PUSTAKA

1. FH. Atix, "Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry", John Wiley & Sons, 1986.
2. Herman Cember, "Introduction to Health Physics", 2nd ed., MC. Graw Hill Inc., 1992
3. " Module 2.5 – Personal Dosimetry", Distance Learning Materials Radiation Protection, 2007
4. Drs. Mukhlis Akhadi, "Dasar – Dasar Proteksi Radiasi", Cetakan Pertama, PT Rineka Cipta, Jakakarta, Juni 2000
5. Johns, H. E., & Cunningham, J. R. (1983). The physics of radiology.