
DAFTAR ISI

	Halaman
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II EFEK RADIASI PADA TINGKAT MOLEKUL DAN SEL	3
A. Efek Radiasi terhadap Molekul Air	4
B. Efek Radiasi terhadap DNA	5
C. Efek Radiasi terhadap Kromosom	6
D. Efek Radiasi terhadap Sel	8
BAB III EFEK BIOLOGI RADIASI PADA TUBUH	11
A. Efek Stokastik	12
B. Efek Deterministik	15
1. Kulit	16
2. Mata	17
3. Paru-paru	18
4. Organ Reproduksi	18
5. Sistem Pembentukan Darah	19
6. Janin	20
7. Sindroma Radiasi Akut.....	21
RANGKUMAN	24
LATIHAN SOAL.....	25
DAFTAR PUSTAKA	28

BAB I

PENDAHULUAN

Pemanfaatan radiasi pada berbagai bidang untuk kesejahteraan manusia dapat dilakukan tanpa batas selama selalu memperhatikan ketentuan keselamatan radiasi. Setiap individu yang bekerja menggunakan radiasi pengion harus selalu sadar bahwa aktivitas yang dilakukannya dapat menimbulkan efek yang merugikan baik bagi dirinya maupun lingkungannya bila tidak mengikuti ketentuan tersebut. Supaya setiap individu selalu berhati-hati dalam bekerja dengan sumber radiasi, maka individu tersebut perlu mengetahui berbagai efek biologi yang dapat terjadi sebagai akibat dari paparan radiasi pada tubuh.

Setelah mempelajari modul ini peserta mempunyai kompetensi untuk menjelaskan efek radiasi terhadap manusia, dengan indikator keberhasilan:

1. menyebutkan pengertian interaksi langsung dan tidak langsung;
2. menguraikan interaksi radiasi dengan molekul air;
3. menguraikan interaksi radiasi dengan materi biologis;
4. menyebutkan klasifikasi efek radiasi;
5. menjelaskan ciri-ciri efek stokastik;
6. menjelaskan ciri-ciri efek deterministik;
7. menyebutkan contoh efek deterministik pada jaringan dan organ tubuh;
8. menyebutkan efek radiasi pada janin;
9. menjelaskan pengertian tahapan sindroma radiasi akut.

Halaman ini sengaja dikosongkan

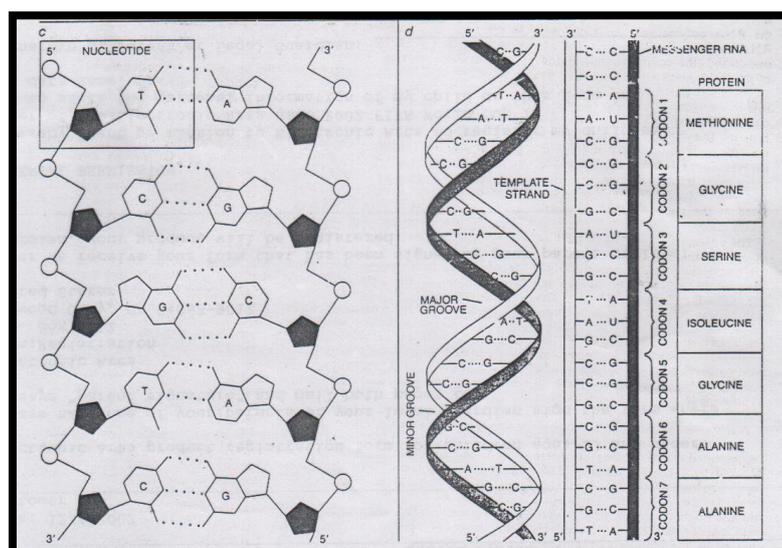
BAB II

EFEK RADIASI PADA TINGKAT MOLEKUL DAN SEL

Tubuh terdiri dari berbagai macam organ seperti hati, ginjal, paru, lambung dan lainnya. Setiap organ tubuh tersusun dari jaringan yang merupakan kumpulan dari sejumlah sel yang mempunyai fungsi dan struktur yang sama. Sel sebagai unit fungsional terkecil dari tubuh dapat menjalankan fungsi hidup secara lengkap dan sempurna seperti pembelahan, pernafasan, pertumbuhan, tanggapan terhadap rangsangan dan lainnya. Sel tubuh sangat bervariasi dalam bentuk, ukuran dan fungsinya.

Sel terdiri dari dua komponen utama yaitu sitoplasma dan inti sel (*nucleus*) yang keduanya dilindungi oleh membran sel. Membran memungkinkan terjadinya komunikasi antar sel dan mengatur transportasi bahan-bahan keluar masuk sel. Sitoplasma mengandung sejumlah organel sel yang berfungsi mengatur berbagai fungsi metabolisme penting sel. Inti sel mengandung struktur biologik yang sangat kompleks yang disebut kromosom yang mempunyai peranan penting sebagai tempat penyimpanan semua informasi genetika yang berhubungan dengan keturunan atau karakteristik dasar manusia. Kromosom manusia yang berjumlah 23 pasang mengandung ribuan gen yang merupakan suatu rantai pendek dari DNA (*Deoxyribonucleic acid*) yang membawa suatu kode informasi tertentu dan spesifik.

DNA merupakan sepasang rantai panjang polinukleotida berbentuk spiral ganda (*double helix*) yang dihubungkan dengan ikatan hidrogen. Sebuah nukleotida tersusun dari molekul gula deoksiribosa, basa dan gugus fosfat. Fungsi DNA dalam inti sel adalah untuk mengendalikan faktor-faktor keturunan dan sintesis protein.



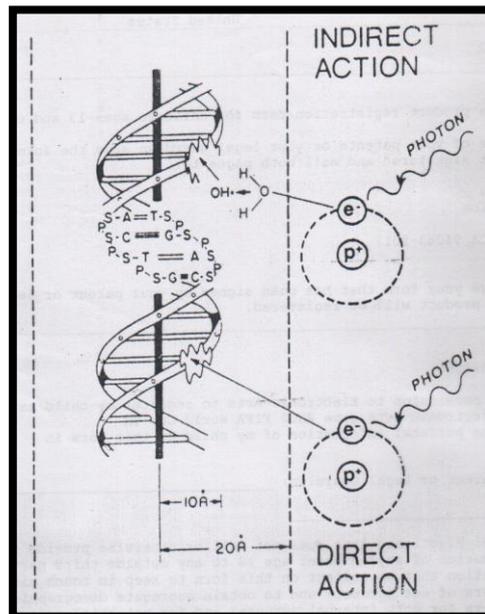
Gambar II.1. Struktur Deoxyribo Nucleat Acid (DNA)

Interaksi radiasi pengion dengan materi biologik diawali dengan interaksi fisika yaitu proses ionisasi. Elektron yang dihasilkan dari proses ionisasi akan berinteraksi secara langsung maupun tidak langsung. Dikatakan berinteraksi secara langsung bila energi elektron tersebut langsung diserap oleh molekul organik dalam sel yang secara biologik penting (DNA). Sedangkan berinteraksi secara tidak langsung bila terlebih dahulu terjadi interaksi radiasi dengan molekul air dalam sel yang efeknya kemudian akan mengenai DNA (lihat Gambar II.2). Interaksi secara fisika-kimia ini dapat menimbulkan kerusakan sel lebih lanjut yang akhirnya menimbulkan efek biologik yang dapat diamati.

A. Efek Radiasi terhadap Molekul Air

Penyerapan energi radiasi oleh molekul air dalam proses radiolisis air akan menghasilkan radikal bebas ($H\cdot$ dan $\cdot OH$). Radikal bebas adalah suatu atom atau molekul dengan sebuah elektron yang tidak berpasangan pada orbital terluarnya. Keadaan ini menyebabkan radikal bebas menjadi tidak stabil, dan mempunyai waktu hidup hanya 10^{-10} detik. Radikal bebas ini bersifat sangat

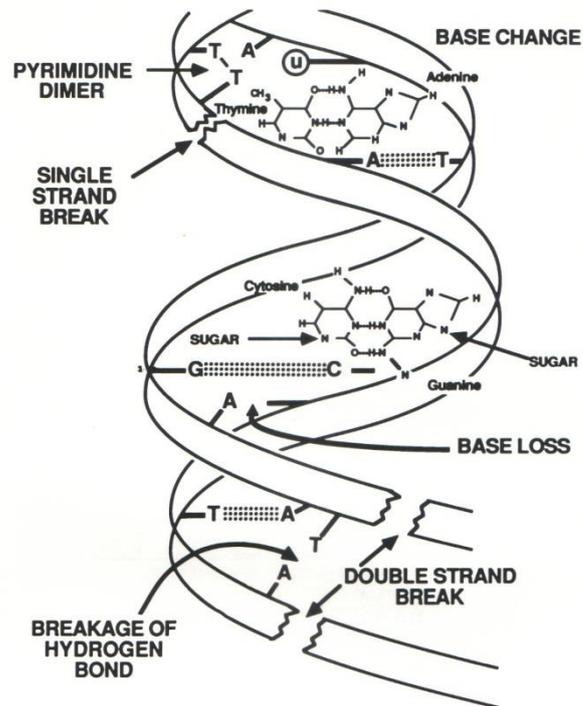
reaktif dan toksik terhadap molekul organik vital. Radikal bebas yang terbentuk dapat saling bereaksi menghasilkan molekul hidrogen peroksida yang mempunyai waktu hidup relatif lebih lama (10^{-6} detik) dan bersifat lebih toksik. Mengingat sekitar 80% dari tubuh manusia terdiri dari air, maka sebagian besar interaksi radiasi dalam tubuh terjadi secara tidak langsung.



Gambar II.2. Interaksi radiasi dengan materi biologik

B. Efek Radiasi terhadap DNA

Interaksi radiasi dengan DNA dapat menyebabkan terjadinya perubahan struktur molekul gula atau basa, putusya ikatan hidrogen antar basa, hilangnya basa, dan lainnya. Kerusakan yang lebih parah adalah putusya salah satu untai DNA yang disebut *single strand break*, atau putusya kedua untai DNA yang disebut *double strand breaks*. Secara alamiah sel mempunyai kemampuan untuk melakukan proses perbaikan terhadap kerusakan yang timbul dengan menggunakan beberapa jenis enzim yang spesifik.

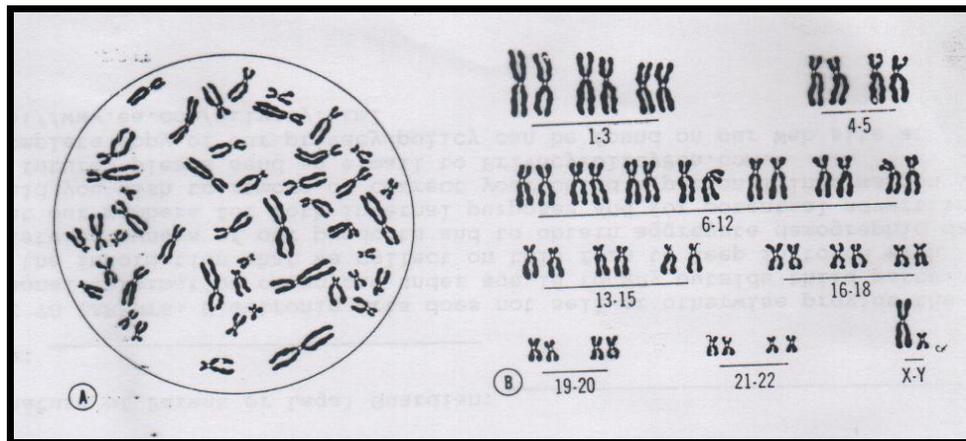


Gambar II.3. Kerusakan pada DNA akibat paparan radiasi pengion.

Dalam kondisi tertentu, proses perbaikan tidak berjalan sebagaimana mestinya sehingga walaupun kerusakan dapat diperbaiki tetapi tidak secara tepat atau sempurna sehingga menghasilkan DNA yang berubah sifatnya, yang dikenal dengan mutasi.

C. Efek Radiasi terhadap Kromosom

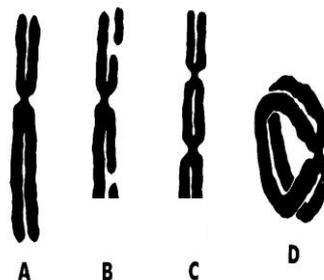
Kromosom merupakan rangkaian ikatan yang sangat kompleks antara DNA dengan protein. Pada sel manusia terdapat 23 pasang kromosom yang terdiri dari 22 pasang autosom dan sepasang kromosom seks.



Gambar II.4. Contoh kromosom manusia

Radiasi dapat menyebabkan perubahan baik pada jumlah maupun struktur kromosom yang disebut dengan aberasi kromosom. Perubahan jumlah kromosom pada sel somatik memungkinkan timbulnya kelainan genetik. Misalnya perubahan jumlah kromosom menjadi 47 kromosom yang menyebabkan “down syndrome” karena kromosom nomor 21 bertambah menjadi 3 kromosom (trisomy). Kerusakan struktur kromosom berupa patahnya lengan kromosom terjadi secara acak yang peluangnya makin besar sebanding dengan meningkatnya dosis radiasi.

Aberasi kromosom disentrik merupakan aberasi kromosom yang spesifik terjadi akibat paparan radiasi, sehingga jenis aberasi kromosom ini dapat digunakan sebagai dosimeter biologik. Jenis aberasi ini dapat diamati pada sel darah putih (jenis limfosit),

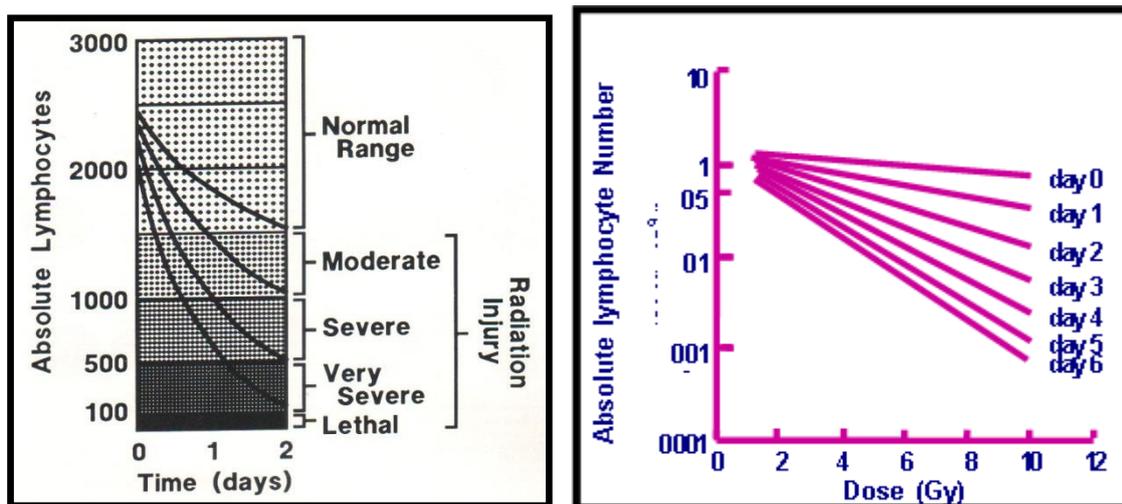


Gambar II.5. Kromosom normal dan aberasi kromosom pada manusia

A. Normal; B. patah lengan; C. Disentrik; D. Cincin

Dosis radiasi sebesar 0,2 Gy dapat menimbulkan aberasi kromosom pada sel limfosit. Banyaknya aberasi kromosom yang terjadi bergantung pada dosis, energi dan jenis radiasi. Dosis radiasi yang diterima seseorang dapat ditentukan dengan menggunakan kurva standar aberasi kromosom sebagai fungsi dari banyaknya aberasi kromosom disentrik per sel limfosit. Teknik analisis dosis radiasi dengan dosimeter biologik ini memerlukan waktu yang cukup lama (sekitar 1-2 minggu) karena hanya dapat dilakukan pada saat pembiakan sel darah.

Dosis radiasi yang diterima seseorang juga dapat ditentukan dengan memeriksa jumlah limfosit absolut dan membandingkan hasilnya dengan kurva hubungan antara jumlah limfosit absolut dengan dosis, seperti tampak pada Gambar II.6.



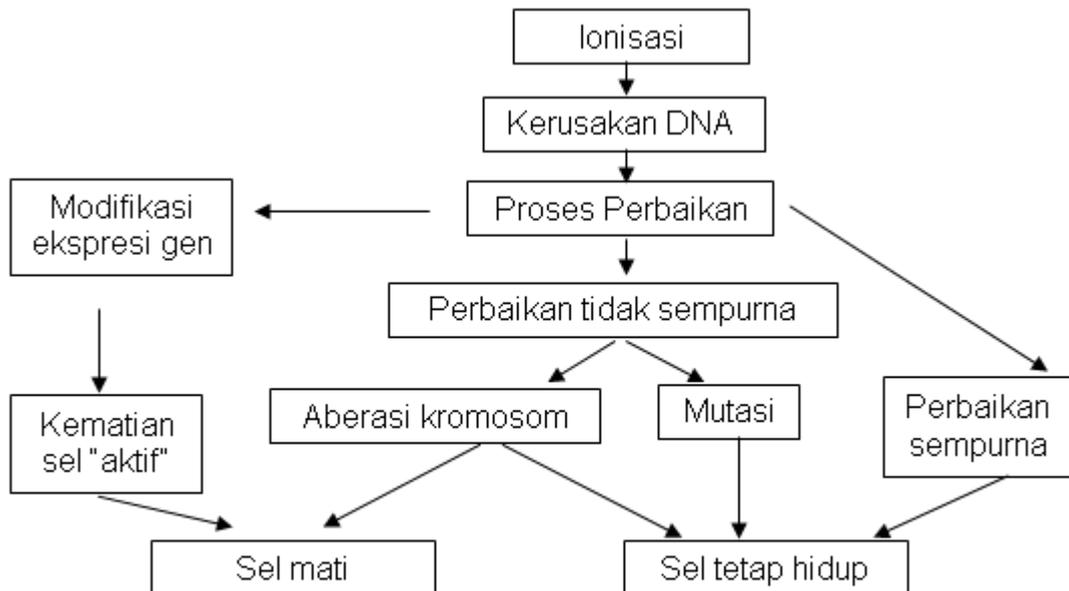
Gambar II.6. Kurva hubungan antara jumlah limfosit absolut dengan dosis

D. Efek Radiasi terhadap Sel

Kerusakan yang terjadi pada DNA dan kromosom akan diperbaiki secara enzimatik. Bila tingkat kerusakan yang dialami sel tidak terlalu parah dan proses perbaikan berlangsung dengan baik dan tepat/sepurna maka sel bisa kembali normal seperti keadaannya semula. Bila proses perbaikan

berlangsung tetapi tidak tepat maka sel tetap dapat hidup tetapi mengalami perubahan sifat. Bila tingkat kerusakan yang dialami sel sangat parah atau bila proses perbaikan tidak berlangsung dengan baik, maka sel akan mati.

Tingkat kerusakan yang dialami suatu jenis sel akibat radiasi sangat bervariasi bergantung pada tingkat radiosensitivitasnya. Radiosensitivitas sel bergantung pada tingkat proliferasi (kapasitas sel untuk melakukan pembelahan), dan pada tingkat diferensiasi sel (derajat perkembangan /kematangan sel). Sel yang paling sensitif adalah sel dengan tingkat proliferasi yang tinggi (aktif melakukan pembelahan) dan tingkat diferensiasi yang rendah.



Gambar II.7. Skema efek radiasi terhadap sel

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

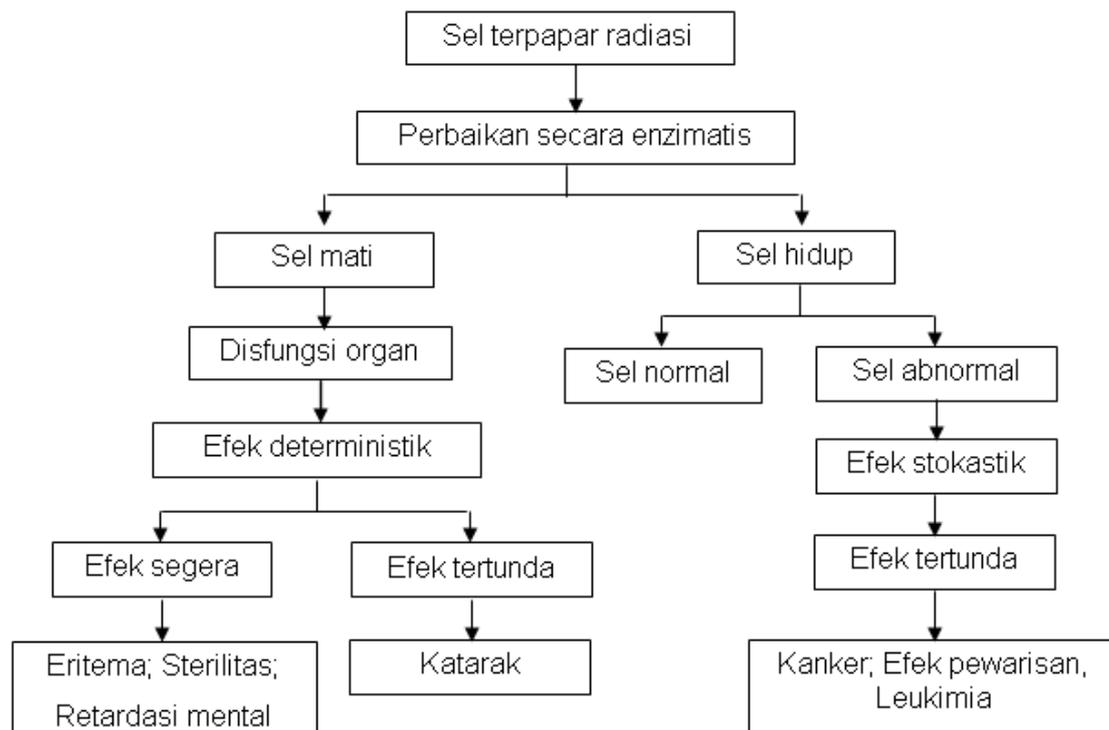
EFEK BIOLOGI RADIASI PADA TUBUH

Kerusakan atau kematian sel akan mempengaruhi fungsi jaringan atau organ bila jumlah sel yang mati/rusak dalam suatu jaringan tersebut cukup banyak. Semakin banyak sel yang rusak/mati, semakin parah perubahan fungsi yang terjadi sampai akhirnya organ tersebut akan kehilangan kemampuannya untuk menjalankan fungsinya dengan baik.

Berdasarkan jenis sel, maka efek radiasi dapat dibedakan atas *efek genetik* dan *efek somatik*. Efek genetik atau efek pewarisan adalah efek radiasi yang terjadi pada sel genetik dan dirasakan oleh keturunan dari individu yang terkena paparan radiasi. Bila efek radiasi diderita oleh individu yang terpapar radiasi maka disebut efek somatik.

Berdasarkan waktu timbulnya, efek dapat dibedakan atas *efek segera* dan *efek tertunda*. Efek segera adalah kerusakan yang secara klinik sudah dapat teramati pada individu terpapar dalam waktu singkat setelah pemaparan, sedangkan efek tertunda merupakan efek radiasi yang baru timbul setelah waktu yang lama (orde bulan ~ tahun) setelah terkena paparan radiasi.

Bila ditinjau dari dosis radiasi (untuk kepentingan proteksi radiasi), efek radiasi dibedakan atas *efek stokastik* dan *efek deterministik (non stokastik)*. Efek stokastik adalah efek yang terjadi sebagai akibat paparan radiasi dengan dosis yang menyebabkan terjadinya perubahan pada sel. Pada paparan radiasi dengan dosis radiasi yang dapat menyebabkan kematian sel akan timbul efek deterministik. Klasifikasi efek radiasi pada tubuh manusia dapat dilihat pada Gambar III.1.



Gambar III.1. Klasifikasi efek radiasi pada tubuh manusia

A. Efek Stokastik

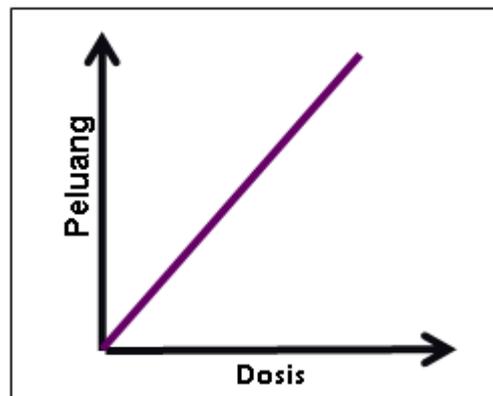
Efek stokastik: terjadi karena perubahan pada sel

Ciri Efek Stokastik:

- Bersifat random
- Tidak mengenal dosis ambang
- Peluang terjadinya bergantung dosis radiasi yang diterima
- Tidak ada penyembuhan spontan
- Dapat terjadi pada individu terpapar dan keturunannya

Radiasi dapat membunuh sel atau mengubah sifat sel. Sel yang mengalami perubahan sifat dapat tetap hidup dan mengalami reproduksi dengan membawa sifat yang dimiliki dan menimbulkan efek stokastik.

Efek stokastik terjadi secara random, tanpa ada dosis ambang, muncul setelah masa laten, dan tidak ada penyembuhan spontan. Besar dosis mempengaruhi peluang terjadinya efek stokastik, tetapi tidak mempengaruhi keparahan, seperti tampak pada Gambar III.2.



Gambar III.2. Hubungan peluang terjadinya efek stokastik dengan dosis yang diterima

Bila sel yang mengalami perubahan adalah sel genetik, maka sifat-sifat sel yang baru tersebut akan diwariskan kepada turunannya sehingga timbul efek genetik atau efek pewarisan. Apabila sel terubah ini adalah sel somatik maka sel-sel tersebut dalam jangka waktu yang relatif lama, ditambah dengan pengaruh dari bahan-bahan yang bersifat toksik lainnya, akan tumbuh dan berkembang menjadi jaringan ganas atau kanker.

Suatu populasi yang menerima dosis radiasi yang sama, maka kita tidak dapat memperkirakan siapa dalam populasi tersebut yang akan menderita efek stokastik, karena terjadinya efek stokastik bersifat random. Walaupun demikian, berdasarkan penghitungan dosis kolektif kita dapat memperkirakan jumlah orang dalam populasi yang dapat menderita efek stokastik dengan mengalikan dosis kolektif dengan faktor risiko dan faktor bobot organ. Perkiraan risiko kanker dan efek pewarisan pada populasi terpapar radiasi dapat dilihat pada Tabel III.1.

Tabel. III.1. Perkiraan Risiko Kanker dan Efek Pewarisan
Pada Populasi Terpapar Radiasi.

Populasi Terpapar	Risiko Efek Stokastik 10^{-2} Sv^{-1}			Total
	Kanker Fatal	Kanker Non Fatal	Efek Pewarisan	
Pekerja Radiasi	4,0	0,8	0,8	5,6
Masyarakat	5,0	1,0	1,3	7,3

Dari tabel tersebut dapat diketahui jika seorang pekerja radiasi mendapatkan dosis radiasi seluruh tubuh sebesar 1 Sv, maka risiko pekerja tersebut akan menderita kanker fatal akan meningkat sebesar 4%. Untuk penerimaan dosis yang sama, maka kelompok masyarakat memiliki risiko lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok pekerja radiasi. Hal ini disebabkan karena kelompok masyarakat memiliki rerata usia yang lebih rendah dibandingkan kelompok pekerja radiasi, sehingga meningkatkan peluang untuk terjadinya efek stokastik.

Contoh:

Masyarakat suatu daerah dengan jumlah 100 ribu orang, karena kecelakaan radiasi menerima dosis sebesar 100 mSv. Berapa perkiraan orang yang kemungkinan terkena efek stokastik berupa kanker fatal?

$$\begin{aligned}
 N &= S \times f \times w_t \\
 &= p \times E \times f \times w_t \\
 &= 100.000 \text{ orang} \times 0,1 \text{ Sv} \times 0,05 / \text{Sv} \times 1 \\
 &= 500 \text{ orang}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan studi epidemiologi, kanker kulit di daerah wajah banyak dijumpai pada para penambang uranium akibat paparan radiasi dari debu uranium dan kanker paru karena menghirup gas radon. Kanker tulang banyak terjadi pada

pekerja pabrik jam sebagai akibat dari penggunaan bahan berpendar. Berdasarkan pengamatan pada para korban bom atom di Hiroshima dan Nagasaki, leukemia merupakan efek stokastik pertama yang terjadi setelah paparan radiasi seluruh tubuh dengan masa laten sekitar 2 tahun dengan puncaknya setelah 6-7 tahun.

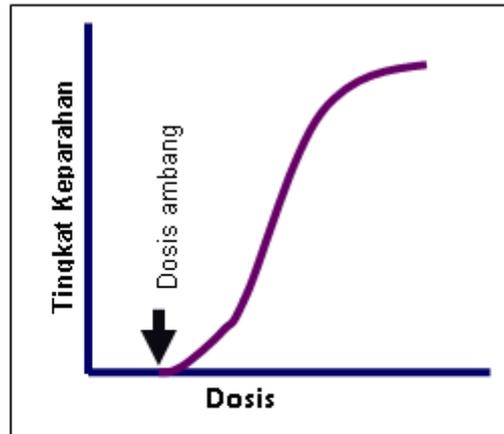
B. Efek Deterministik

Efek deterministik: terjadi karena kematian sel

Ciri efek deterministik:

- Ada dosis ambang
- Keparahan bergantung dosis radiasi yang diterima
- Penyembuhan bergantung dari keparahannya
- Terjadi hanya pada individu terpapar

Efek ini terjadi karena adanya kematian sel sebagai akibat dari paparan radiasi baik pada sebagian atau seluruh tubuh. Efek deterministik pasti muncul bila dosis yang diterima seseorang melebihi dosis ambang (*threshold dose*) dan umumnya terjadi beberapa saat setelah terpapar. Keparahan efek ini akan meningkat bila dosis yang diterima lebih besar daripada dosis ambang yang bergantung pada jenis efek, seperti tampak pada Gambar III.3.

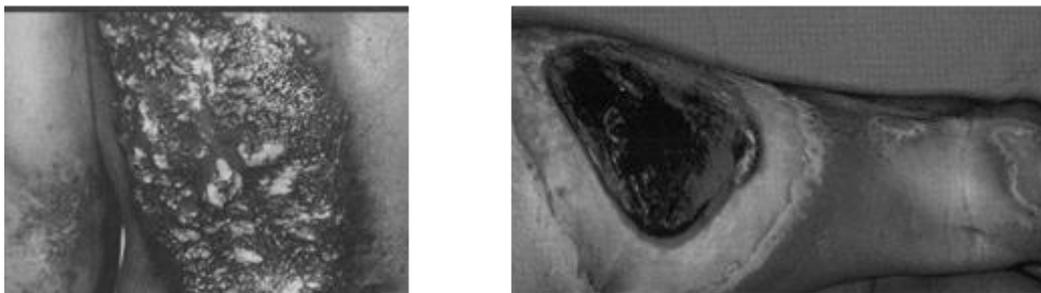


Gambar III.3. Grafik hubungan antara tingkat keparahan efek deterministik dengan dosis yang diterima

Karena tingkat sensitivitas manusia terhadap radiasi dapat berbeda antara satu dengan yang lain, maka dosis ambang diambil dari besarnya dosis yang dapat menyebabkan timbulnya efek deterministik pada 1% populasi terpapar (ICRP 103, 2007).

1. Kulit

Dosis ambang sekitar 2 - 3 Gy dapat menimbulkan efek kemerahan (eritema) yang bersifat sementara dan muncul dalam waktu beberapa jam setelah terpapar. Beberapa minggu kemudian, eritema akan kembali muncul sebagai akibat dari hilangnya sel-sel basal pada epidermis.



Gambar III. 4. Efek radiasi pada kulit

Dosis sekitar 3-8 Gy menyebabkan terjadinya kerontokan rambut (epilasi) dan pengelupasan kering (deskuamasi kering) dalam waktu 3-6 minggu setelah paparan radiasi.

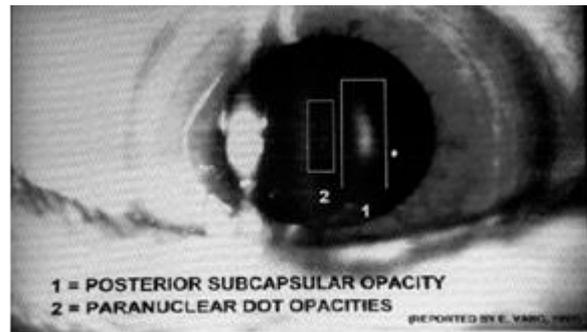
Pada dosis yang lebih tinggi, (12-20 Gy), akan terjadinya pengelupasan kulit disertai dengan pelepasan dan adanya nanah serta peradangan akibat infeksi pada lapisan dermis kulit sekitar 4 – 6 minggu kemudian. Kematian jaringan (nekrosis) dalam waktu 10 minggu setelah paparan radiasi dengan dosis lebih besar dari 20 Gy, sebagai akibat dari kerusakan yang parah pada pembuluh darah. Bila dosis yang di terima sekitar 50 Gy, nekrosis akan terjadi dalam waktu yang lebih singkat yaitu sekitar 3 minggu.

Tabel III.2. Efek Radiasi pada Kulit

Efek Radiasi	Rentang Dosis (Gy)	Waktu
Eritema awal	2 – 3	6 – 24 jam
Epilasi dan deskuamasi kering	3 – 8	3 – 6 minggu
Deskuamasi basah	12 – 20	4 – 6 minggu
Nekrosis	> 20	10 minggu

2. Mata

Lensa mata merupakan bagian mata yang paling sensitif terhadap radiasi. Terjadinya kekeruhan atau hilangnya sifat transparansi lensa mata sudah mulai dapat dideteksi setelah paparan radiasi yang relatif rendah yaitu sekitar 0,5 Gy dan bersifat akumulatif. Katarak terjadi setelah masa laten berkisar dari 6 bulan sampai 35 tahun, dengan rerata sekitar 3 tahun.



Gambar III.5. Efek radiasi pada mata

3. Paru-paru

Efek deterministik berupa pneumonitis umumnya muncul beberapa minggu atau bulan setelah terpapar. Efek utama adalah pneumonitis interstisial yang dapat diikuti dengan terjadinya fibrosis sebagai akibat rusaknya sel sistem vaskularisasi kapiler dan jaringan ikat yang dapat berakhir dengan kematian. Kerusakan sel yang mengakibatkan terjadinya peradangan akut paru ini biasanya terjadi pada dosis 3 - 5 Gy.

Tabel III.3. Efek Radiasi pada Paru-paru

Efek Radiasi	Waktu
Pneumonitis	3 – 12 minggu
Pulmonary fibrosis	6 bulan

4. Organ Reproduksi

Efek deterministik pada organ reproduksi pria (gonad) adalah sterilitas. Paparan radiasi pada testis akan mengganggu proses pembentukan sel sperma yang akhirnya akan mempengaruhi jumlah sel sperma yang akan dihasilkan. Dosis radiasi 0,15 Gy merupakan dosis ambang sterilitas sementara karena sudah mengakibatkan terjadinya penurunan jumlah sel

sperma selama beberapa minggu. Sedangkan dosis ambang sterilitas permanen adalah 3,5 – 6 Gy.

Tabel III. 4. Efek Radiasi pada Testis

Efek Radiasi	Rentang Dosis (Gy)
Oligosperma	0,15
Steril untuk beberapa bulan	< 1
Steril untuk 1 -2 tahun	1 – 3
Steril permanen	3,5 - 6

Pengaruh radiasi pada sel telur sangat bergantung pada usia. Semakin tua usia, semakin sensitif terhadap radiasi. Selain sterilitas, radiasi dapat menyebabkan menopause dini sebagai akibat dari gangguan hormonal sistem reproduksi. Dosis ambang sterilitas menurut ICRP 60 adalah 2,5 – 6 Gy. Pada usia yang lebih muda (20-an), sterilitas permanen terjadi pada dosis yang lebih tinggi yaitu mencapai 12 – 15 Gy.

Tabel III.5. Efek Radiasi pada Ovarium

Efek Radiasi	Rentang Dosis (Gy)
Steril sementara	0,65
Steril pada usia 40 tahunan	5 – 7
Steril pada usia 20 tahun	12 – 15

5. Sistem Pembentukan Darah

Sumsum tulang adalah organ target yang dapat mempengaruhi sistem pembentukan darah. Paparan radiasi dosis tinggi pada sumsum tulang akan mengakibatkan kematian dalam waktu beberapa minggu. Dosis sekitar 0,5 Gy pada sumsum tulang sudah dapat menyebabkan penekanan proses pembentukan sel-sel darah. Jumlah sel limfosit menurun dalam waktu beberapa jam setelah terpapar radiasi, sedangkan jumlah granulosit dan

trombosit juga menurun tetapi dalam waktu yang lebih lama (beberapa hari atau minggu). Sementara penurunan jumlah eritrosit (sel darah merah) terjadi lebih lambat, beberapa minggu kemudian. Penurunan jumlah absolut sel limfosit dapat digunakan untuk memperkirakan tingkat keparahan yang mungkin diderita seseorang akibat paparan radiasi akut.

Tabel III.6. Efek Radiasi pada Sistem Pembentukan Darah

Jenis Sel Darah	Fungsi	Waktu
Eritrosit	Transport O ₂ dan CO ₂	Beberapa minggu
Leukosit		
• Limfosit	Sistem kekebalan tubuh	Beberapa jam
• Granulosit	Sistem kekebalan tubuh	Beberapa hari – minggu
Trombosit	Sistem pembekuan darah	Beberapa hari – minggu

Kematian umumnya terjadi karena dosis yang lebih tinggi, sebagai akibat dari infeksi karena terjadinya penurunan jumlah sel darah putih (limfosit dan granulosit) atau dari pendarahan yang tidak dapat dihentikan karena menurunnya jumlah trombosit dalam darah.

6. Janin

Efek paparan radiasi pada janin dalam kandungan sangat bergantung pada umur kehamilan pada saat terpapar radiasi. Dosis ambang yang dapat menimbulkan efek pada janin adalah 0,05 Gy. Perkembangan janin dalam kandungan dapat dibagi atas 3 tahap.

1. Tahap pertama yaitu preimplantasi dan implantasi yang dimulai sejak proses pembuahan sampai menempelnya zigot pada dinding rahim yang terjadi sampai umur kehamilan 2 minggu. Pengaruh radiasi pada tahap ini adalah kematian janin.

2. Tahap kedua adalah organogenesis pada masa kehamilan 2 – 7 minggu. Efek yang mungkin timbul berupa malformasi organ tubuh dan kematian neonatal.
3. Tahap ketiga adalah tahap fetus pada usia kehamilan 8 - 40 minggu dengan pengaruh radiasi berupa retardasi pertumbuhan, dan retardasi mental. Janin juga berisiko terhadap efek stokastik dan yang paling besar adalah risiko terjadinya leukemia pada masa anak-anak.

Tabel III.7. Efek Radiasi pada Janin

Perkembangan Janin	Usia Kehamilan (minggu)	Efek Radiasi
Pre-implantasi	0 – 2	Kematian
Organogenesis	2 – 7	Malformasi organ, kematian neonatal
Fetus	8 – 40	Retardasi mental

Kemunduran mental diduga terjadi karena kematian sel-sel syaraf di otak yang menyebabkan penurunan nilai IQ. Dosis ambang diperkirakan sekitar 0,1 Gy untuk usia kehamilan 8 – 15 minggu dan sekitar 0,4 - 0,6 Gy untuk usia kehamilan 16 - 25 minggu. Untuk usia fetus lebih dari 25 minggu, belum tersedia data terjadinya retardasi mental pada fetus yang terpapar radiasi. Pekerja wanita yang hamil tetap dapat bekerja selama dosis radiasi yang diterimanya selalu dikontrol secara ketat. ICRP 60 merekomendasikan pembatasan dosis radiasi yang diterima permukaan perut wanita hamil tidak lebih dari 1 mSv selama kehamilan.

7. Sindroma Radiasi Akut

Sindroma radiasi akut adalah gejala yang timbul pada jaringan tubuh karena paparan radiasi dosis tinggi (lebih dari 1 Gy) pada seluruh tubuh. Sindroma

radiasi akut dapat menyebabkan kematian sebagai akibat kematian sel dalam jumlah yang banyak dari suatu sistem vital tubuh.

Tahapan sindroma radiasi akut meliputi:

1. Sindroma prodromal, gejala awal yang terjadi segera setelah terpapar. Gejala tersebut bersifat umum dan tidak dapat dibedakan dari gejala penyakit yang lain, misalnya hilang nafsu makan, mual, muntah, dan diare.
2. Masa laten, yaitu masa di mana tidak ada gejala yang muncul.
3. Munculnya sindroma radiasi akut. Sindroma yang terjadi bergantung pada besarnya dosis yang diterima, seperti contoh sebagai berikut:
 - Sindroma sistem pembentukan darah (*hematopoietic syndrome*). Dosis ambang sindroma ini sekitar 1 Gy yang berupa penurunan jumlah sel-sel darah setelah 2 – 4 minggu. Dosis sekitar 2 Gy sudah dapat menyebabkan terjadinya kematian dalam waktu 2 - 8 minggu.
 - Sindroma sistem pencernaan (*gastrointestinal syndrome*). Dosis ambang sindroma sekitar 5 Gy dalam waktu 3 – 5 hari dan dosis ambang kematian sekitar 10 Gy dalam waktu 3 hari sampai 2 minggu.
 - Sindroma sistem syaraf pusat (*central nervous system syndrome*). Dosis ambang sindroma ini sekitar 20 Gy yang timbul dalam waktu kurang dari 3 jam.
4. Masa penyembuhan atau kematian

ICRP 60, mendefinisikan suatu besar dosis radiasi yang dapat menyebabkan kematian pada 50% populasi yang terpapar radiasi seluruh tubuh dalam waktu 60 hari yang disebut *mean lethal dose* atau LD 50/60. Untuk orang dewasa sehat, besar dosisnya berkisar antara 2,5 - 5 Gy, dengan nilai dosis

rerata sekitar 3,5 Gy. Dengan penanganan medis yang baik dan benar, LD 50/60 dapat meningkat sampai 4 – 5 Gy.

RANGKUMAN

1. Interaksi radiasi dengan materi biologik dapat terjadi secara langsung ataupun tidak langsung.
2. Efek radiasi diklasifikasi berdasarkan jenis sel (efek somatik dan efek genetik), dosis radiasi (efek stokastik dan efek deterministik), dan berdasarkan waktu timbulnya (efek tertunda dan efek segera).
3. Efek genetik adalah efek yang dapat dialami oleh keturunan orang yang terkena radiasi.
4. Efek somatik adalah efek yang dialami oleh orang yang terkena radiasi. Efek somatik dapat terjadi sebagai efek segera atau tertunda.
5. Efek stokastik adalah efek akibat proses modifikasi atau perubahan sifat sel secara acak. Ciri-ciri efek stokastik: tidak mempunyai dosis ambang, muncul setelah masa laten yang lama, tidak ada penyembuhan spontan, peluang terjadinya sebanding dengan dosis, dan keparahannya tidak bergantung pada dosis.
6. Efek deterministik terjadi karena kematian sel. Ciri-ciri efek deterministik: mempunyai dosis ambang, timbul beberapa saat setelah terpapar, dan tingkat keparahan sebanding dengan dosis yang diterima.
7. Sindroma radiasi akut adalah gejala yang timbul pada jaringan tubuh karena paparan radiasi dosis tinggi (lebih dari 1 Gy) pada seluruh tubuh.
8. *Mean lethal dose* (LD 50/60) adalah besar dosis radiasi yang dapat menyebabkan kematian pada 50% populasi yang terpapar radiasi seluruh tubuh dalam waktu 60 hari.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LATIHAN SOAL

1. Dua kategori proses interaksi radiasi pengion dengan sel jaringan tubuh adalah...
 - a. Alpha dan beta
 - b. Langsung dan tidak langsung
 - c. Muatan dan tidak bermuatan
 - d. Molekular dan atomik

2. Pernyataan yang benar adalah
 - A. Efek biologi radiasi pada organ reproduksi atau sterilitas merupakan efek stokastik
 - B. Efek radiasi yang dapat dicegah timbulnya dengan cara memperkecil dosis adalah leukemia
 - C. Efek stokastik adalah yang peluang terjadi efek biologinya memerlukan dosis ambang
 - D. Perbedaan efek biologi pada berbagai organ tubuh yang menerima dosis serap yang sama antara lain disebabkan adanya faktor bobot jaringan yang berbeda

3. Efek radiasi yang paling mungkin terdeteksi dengan dosimeter biologis (aberasi kromosom) adalah
 - A. sindroma radiasi akut
 - B. efek genetik
 - C. kanker dan leukemia
 - D. eritema

4. Dosis lebih dari 20 Gray akibat paparan radiasi gamma pada seluruh tubuh yang diterima secara sekaligus akan menyebabkan kematian. Hal ini disebabkan karena
- A. kerusakan susunan syaraf pusat
 - B. kerusakan sumsum tulang
 - C. kerusakan gonad
 - D. kerusakan saluran pencernaan
5. Nilai 30 LD 50 untuk manusia diperkirakan sebesar 3 Gy atau 300 rad. Yang dimaksud dengan 30 LD 50 adalah
- A. Dalam waktu 50 hari, 30% dari orang-orang yang masing-masing memperoleh dosis sebesar 300 rad akan mati
 - B. 30 dari 50 orang yang memperoleh dosis sebesar 300 rad akan mati
 - C. Dalam waktu 30 hari, 50% dari orang-orang yang masing-masing memperoleh dosis sebesar 300 rad akan mati
 - D. Dalam waktu 50 hari, 30% dari leukosit yang terdapat dalam darah yang telah memperoleh dosis sebesar 300 rad akan mati

DAFTAR PUSTAKA

1. International Commission on Radiological Protection, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 60, Pergamon Press, Oxford (1991).
2. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to The General Assembly with Specific Annexes. Vol. II. United Nation, New York (2000).
3. Committee on The Biological Effects of Ionizing Radiation, National Research Council. Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. BEIR V, National Academy Press, Washington, DC (1990).
4. International Atomic Energy Agency, Health Surveillance of Persons Occupationally Exposed to Ionizing Radiation: Guidance for Occupational Physicians. Safety Reports Series No. 5, IAEA, Vienna (1998).
5. International Atomic Energy Agency, Health Effects and medical Surveillance. Practical Radiation Technical Manual, IAEA, Vienna (1998).
6. Radiologic Science For Technologist: Physics, Biology, and Protection, 5th edition, Stewart C. Bushong, St. Louis, USA (1993)