

**EFEK RADIASI DOSIS RENDAH TERHADAP KESEHATAN
(Karya Tulis Ilmiah)**



**Oleh :
Gusti Ngurah Sutapa, S.Si. M.Si
Dra Ni Nyoman Ratini, M.Si**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS UDAYANA
BUKIT JIMBARAN
2015**

**HALAMAN PENGESAHAN
KARYA TULIS ILMIAH**

Judul Penelitian : **Efek Radiasi Dosis Rendah Terhadap Kesehatan**

Ketua

a. Nama Lengkap : Gusti Ngurah Sutapa, S.S, M.Si
b. NIP : 196707191997021001
c. Jabatan Fungsional : Lektor
d. Program Studi : Fisika
e. Nomor HP : 085857517745
f. Alamat surel (e-mail) : NGRmed@yahoo.com

Anggota

a. Nama Lengkap : Dra Ni Nyoman Ratini, M.Si
b. NIP : 19670401 199303 2001
c. Perguruan Tinggi : Universitas Udayana

Mengetahui,
Dekan Fak. MIPA



IDA BAGUS MADE SUASKARA
NIP. 196606111997021001

Bukit Jimbaran, 04 Desember 2015

Ketua,

Gusti Ngurah Sutapa, S.Si, M.Si
NIP. 196707191997021001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Hyang Widhi Wasa atas karunia-Nya penulisan Karya Tulis Ilmiah dengan judul **Efek Radiasi Dosis Rendah Terhadap Kesehatan**, ini telah berhasil diselesaikan. Karya Tulis Ilmiah ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu unsur publikasi dalam melaksanakan Tridarma Perguruan Tinggi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Udayana.

Terima kasih kami ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu tersusunnya Karya Tulis Ilmiah ini. Selain itu tak lupa juga mengucapkan banyak terimakasih kepada rakan-rekan sejawat yang telah membantu dalam memotivasi untuk terselesainya Karya Tulisan Ilmiah ini.

Akhirnya, kami berharap saran dan kritik demi peningkatan kualitas Karya Tulis Ilmiah ini.

Bukit Jimbaran, 04 Desember 2015

Penyusun

ABSTRAK

Radiasi dosis rendah yang mengenai sistem hidup dapat menghasilkan serangkaian hasil akhir biologis meliputi proses pembengkakan, luka pada jaringan, karsinogenesis dan kematian. Tahap awal interaksi radiasi dengan materi biologi ini adalah pemindahan energi pada atom dan molekul yang menyebabkan pengion eksitasi. Karakteristik proses biokimia tersebut tergantung pada beberapa faktor yang dapat dimodifikasi baik pada tingkat molekuler, biokimia maupun fisiologik. Telah diketahui bahwa efek paparan radiasi dosis rendah terhadap kesehatan tubuh dimanifestasikan dalam bentuk gangguan pada sistem hemopoetik, kulit, mukosa gastrointestinal dan gonad. Tahapan berlangsungnya kontaminasi internal adalah melalui jalan masuk tubuh alamiah, penyerapan melalui darah atau cairan getah bening, terdistribusi ke seluruh tubuh dan terakumulasi pada organ sasaran, dan terakhir pengeluaran melalui urin, feses atau keringat. Tahapan ini dapat disebabkan oleh hilangnya populasi penekan (*stressor*) atau penolong (*helper*), hilangnya pendukung stromal pertumbuhan sel stem, atau hiperplasia akibat radiasi.

Kata kunci : *Paparan radiasi, dosis rendah, radiasi eksternal dan internal*

DAFTAR ISI

	Halaman
Lembaran Judul.....	i
Lembaran Pengesahan.....	ii
Abstrak.....	iii
Kata Pengantar.....	iv
Daftar Isi.....	v
Bab I. Paparan Radiasi Terhadap Kesehatan Tubuh.....	1
Bab II. Paparan Radiasi Eksternal.....	4
2.1. Biomarker paparan radiasi eksternal.....	4
2.2. Pemantauan perorangan akibat paparan eksternal.....	6
Bab III. Paparan Radiasi Internal.....	7
3.1. Pola distribusi dalam tubuh.....	8
3.2. Biomarker paparan radiasi internal.....	9
3.3. Pengukuran kontaminasi eksternal dan internal.....	11
3.4. Dekontaminasi radionuklida dari tubuh.....	12
Bab IV. Kesimpulan.....	14
Daftar Pustaka.....	15

BAB I

PAPARAN RADIASI TERHADAP KESEHATAN TUBUH

Paparan radiasi terhadap kesehatan tubuh dapat terjadi pada berbagai aktivitas manusia antara lain kegiatan di bidang siklus bahan bakar nuklir, penggunaan sumber radioaktif di kedokteran, penelitian, pertanian dan industri. Gangguan kesehatan secara eksternal dan internal dapat terjadi akibat paparan radiasi dosis rendah.

Paparan radiasi yang terjadi dengan adanya jarak antara sumber terhadap individu terpapar merupakan paparan radiasi eksternal. Sedangkan paparan radiasi interna terjadi apabila tidak terdapat jarak antara sumber radiasi dengan individu terpapar, istilah ini disebut sebagai kontaminasi. Perbedaan karakteristik dari kedua jenis paparan harus dipertimbangan ketika memperkirakan kemungkinan terjadinya efek pada tubuh dari pola irradiasi yang berbeda. Dengan terdepositnya sebuah radionuklida dalam tubuh, dosis radiasi yang mengenai berbagai organ dan jaringan tubuh terus terakumulasi sampai radionuklida tersebut dieliminasi dengan proses fisik atau biologi. Paparan radiasi pada organ tubuh secara bertahap akan mengalami perubahan laju dosis dengan bertambahnya waktu. Selain itu irradiasi dari radionuklida ini umumnya terjadi secara tidak merata pada organ dan jaringan target dan sekitarnya.

Tingkat kerusakan akibat paparan radiasi pada kesehatan tubuh sangat ditentukan oleh jenis atau kualitas radiasi. Kualitas radiasi ditentukan oleh daya tembus dan tingkat ionisasi yang berbeda pada materi biologi. Kisaran lintasan partikel alfa (4 – 7 MeV) di udara sekitar 1 – 10 cm dengan massa besar dan bermuatan positif, sehingga hanya dapat menembus jaringan tubuh tidak lebih dari 0,1 mm namun tidak dapat menembus lapisan sel basal kulit sehat. Partikel beta (0 – 7 MeV) dapat menembus lapisan kulit lebih dalam dan jaringan kutaneus karena memiliki kemampuan melintas di udara sampai sekitar 10 m dan pada jaringan sampai 2 cm. Sedangkan lintasan udara mencapai 100 m dan pada jaringan tubuh sampai 30 cm dimiliki oleh sinar X (0 – 10 MeV) dan sinar γ (0 – 5 MeV).

Tabel 1 menunjukkan kemungkinan terjadinya paparan eksternal dan interna pada tubuh terhadap kesehatan pekerja dari berbagai sumber dan fasilitas radiasi. Grup I meliputi fasilitas nuklir seperti reaktor daya dan fasilitas di bidang industri dan

medis. Peralatan atau sumber radiasi pada grup II dijumpai pada fasilitas industri dan medis. Sumber radiasi tertutup pada grup III secara luas digunakan di industri dan medis. Kecelakaan serius yang paling umum terjadi adalah pada industri yang menggunakan sumber tertutup. Grup IV terdiri dari fasilitas yang paling banyak tetapi jarang terjadi kecelakaan karena menggunakan radionuklida dengan aktivitas yang rendah dan berumur paro pendek.

Tabel 1. Sumber radiasi dan/atau fasilitas yang umum mengakibatkan paparan eksternal dan internal pada tubuh.

Gerup	Sumber dan/atau fasilitas	Paparan eksternal	Kontaminasi	Campuran
I	<i>Critical assembly</i>	√	√	√
	Reaktor	√	√	√
	Manufaktur bahan bakar	√	√	√
	Manufaktur radiofarmaka	√	√	√
	Proses ulang bahan baker	√	√	√
II	Peralatan radiasi, seperti:			
	Akselerator partikel	√	×	×
	Generator sinar X	√	×	×
III	Sumber tertutup (<i>intact</i>)	√	×	×
	Sumber tertutup (<i>bocor/leaking</i>)	√	√	√
IV	Laboratorium kedokteran nuklir	√	√	√
	Laboratorium <i>in vitro assay</i>	√	√	√
V	Transportasi sumber	√	√	√
VI	Limbah radioaktif	√	√	√

Berbagai perubahan yang terjadi terhadap kesehatan tubuh akibat paparan radiasi dapat digunakan sebagai indikator biologi yang dikenal sebagai biomarker. Bagian

tubuh yang kemungkinan mengalami kerusakan/luka akibat paparan eksterna dan interna pada berbagai bidang aplikasi teknik nuklir ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kecelakaan radiologi dan nuklir yang menimbulkan efek radiasi pada tubuh manusia.

Bidang aplikasi	Sumber radiasi	Bagian tubuh yang terpapar
Industri :		
Sterilisasi	Co-60, Cs-137	Seluruh tubuh, tangan
Radiografi	Ir-192, Cs-137	Tangan, bagian lain
<i>Gauging</i>	Co-60, Cs-137	Tangan, bagian lain
Kedokteran :		
Diagnostik	Generator sinar X	Tangan, wajah
Terapi	Co-60, Cs-137 dan akselerator	Seluruh tubuh, tangan dan bagian lain
Penelitian	Berbagai jenis sumber termasuk reaktor	Tangan, wajah, bagian lain
Sumber bekas	Co-60, Cs-137 dan lainnya	Tangan, bagian lain
Reaktor nuklir	Cs-137, Sr-90, I-131 Pu-210	Seluruh tubuh Kelenjar tiroid Paru

Pemantauan perorangan adalah pengukuran dosis radiasi yang diterima setiap individu akibat kerja. Pemantauan ini digunakan sebagai alat untuk verifikasi pelaksanaan kegiatan kontrol radiasi di tempat kerja, mendeteksi perubahan di tempat kerja, mengkonfirmasi status pemantauan tempat kerja dan untuk identifikasi pelaksanaan kerja yang meminimalkan dosis dan memberikan informasi jika terjadi paparan akibat kecelakaan. Pemantauan perorangan ini dilakukan baik untuk paparan eksterna maupun interna dengan menggunakan dosimeter personal dan peralatan lain yang sesuai.

BAB II

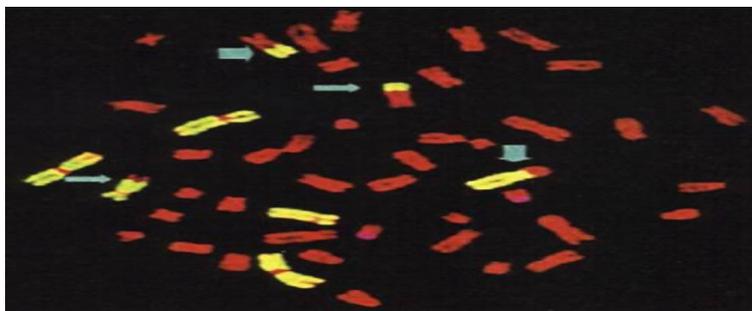
PAPARAN RADIASI EKSTERNA

Radiasi dari sumber yang terletak di luar tubuh dapat memberikan penyinaran radiasi secara lokal/parsial atau seluruh tubuh. Pada paparan eksterna ini sinar alfa dan sinar beta energi rendah (< 65 keV) tidak cukup kuat untuk menembus lapisan kulit sehingga tidak berbahaya. Sinar beta (> 65 keV), neutron, sinar X dan gamma dapat menembus lapisan kulit dan dapat meradiasi jaringan dan organ dalam tubuh.

Pada interaksi radiasi neutron dengan materi biologi akan dihasilkan proton, gamma sehingga transfer energi ke jaringan menjadi bervariasi. Neutron cepat akan mengadakan tumbukan elastik terutama dengan atom H. Neutron lambat dan thermal akan mengalami absorpsi oleh atom H dengan reaksi (n,γ) dan oleh atom N dengan reaksi (n,p) . Dengan demikian neutron mempunyai daya rusak lebih besar dari gamma. Faktor-faktor yang berpengaruh tingkat keparahan kerusakan tubuh akibat paparan eksternal seperti, jenis radiasi, dosis serap, distribusi penyinaran pada tubuh, distribusi waktu penyinaran (dosis tunggal atau terbagi/fraksinasi) dan usia.

2.1. Biomarker paparan radiasi eksterna

Respon molekuler, seluler dan jaringan bervariasi pada setiap individu terpapar. Biomarker yang sesuai digunakan untuk mengetahui risiko yang diderita dan untuk menentukan kemungkinan intervensi medis yang harus dilakukan. Biomarker sitogenetik khususnya aberasi kromosom disentrik pada sel limfosit darah adalah biomarker baku emas (*Gold standard*) untuk paparan eksternal.



Gambar 1. Translokasi (tanda panah) dengan teknik *Fluorescent in situ hybridization* (FISH).

Aberasi kromosom merupakan biomarker dan dosimetri biologis yang paling sensitif pada paparan akibat kecelakaan dan kerja. Dosimeter ini digunakan untuk terutama pada saat dosimeter fisik tidak tersedia. Selain kromosom disentrik, dengan perkembangan teknik pengecatan kromosom (*chromosome painting*) untuk deteksi aberasi kromosom stabil (translokasi), telah memungkinkan untuk dilakukan analisis translokasi akibat radiasi. Biomarker lain pada sel limfosit antara lain jumlah absolut sel limfosit. Sel limfosit sangat sensitif mengalami kematian, oleh karena itu setelah paparan radiasi dosis relatif tinggi akan terjadi penurunan populasi sel sebagai fungsi dari dosis dan waktu. Pada rentang dosis 1,5 – 7 Gy, perkiraan dosis dan tingkat keparahan dapat diketahui dari deplesi absolut sel limfosit darah perifer yang terjadi segera (1-7 hari) setelah paparan.

Induksi radiasi dapat membentuk radikal bebas, yaitu terbentuknya atom/molekul yang tidak bermuatan serta memiliki elektron pada orbit terluarnya tidak berpasangan. Banyaknya radikal bebas yang terbentuk dalam materi dapat ditentukan dengan *Electron Spin Resonance* (ESR). Khususnya pada materi dengan kandungan air yang rendah sehingga radikal masih dapat diideteksi, seperti pada kuku, gigi, tulang dan rambut.

Tabel 3. Biomarker paparan radiasi eksterna.

Jenis Paparan	Sampel Biologis	Test dan Waktu Sampling
Akut Seluruh Tubuh	Sel darah limfosit Enamel gigi	Jumlah sel dan Perubahan molekuler dan seluler pada jaringan segera setelah paparan ESR kapan saja setelah paparan
Kronik seluruh tubuh	Sel darah limfosit Enamel gigi	Aberasi kromosom kapan saja setelah paparan ESR kapan saja setelah paparan
Akut sebagian tubuh	Sel darah limfosit Organ target	Perubahan molekuler dan seluler pada jaringan segera setelah paparan Uji fungsi organ, biopsi bila mungkin

2.2. Pemantauan perorangan akibat paparan eksterna.

Dosimeter fisik dan biologi, dosimeter yang biasa digunakan sebagai pemantauan terhadap paparan eksternal. Dosimeter fisik seperti TLD, *film badge*, dosimeter saku telah diakui sensitifitasnya, namu masih kurang otentik disebabkan tidak selalu mencerminkan dosis radiasi sesungguhnya yang diterima oleh pekerja radiasi. Kekurangan dosimeter fisik ditanggulangi oleh dosimeter biologi sebagai salah satu upaya memprediksi dosis yang diterima tubuh melalui perubahan yang terjadi terhadap sample biologi, misalnya sel darah limfosit. Penggunaan tehnik analisis dosis radiasi melalui pengamatan frekuensi aberasi kromosom yang terbentuk pada sel limfosit darah memerlukan waktu yang cukup lama (sekitar 3-4 minggu). Sekitar 3-5 ml sampel darah perifer diambil untuk dikultur dalam media pertumbuhan dan distimulasi untuk melakukan pembelahan/mitosis sehingga kromosom dapat terlihat. Sel limfosit yang berada pada tahap metaphase diberi pewarnaan untuk dapat diamati di bawah mikroskop. Pengamatan dilakukan terhadap jumlah aberasi kromosom bentuk disentrik pada sekitar 500-1000 sel limfosit.

Aberasi kromosom terhadap sel limfosit terjadi pada dosis radiasi sebesar 0,2 Gy. Frekuensi kelainan yang terjadi terhadap kromosom bergantung pada besar dosis, energi dan jenis radiasi yang diterima. Untuk menentukan dosis yang diterima seseorang dapat menggunakan kurva standar aberasi kromosom sebagai fungsi frekuensi disentrik per sel limfosit. Sifat kromosom disentrik tidak stabil, maka perlu dilakukan pemeriksaan dalam waktu kurang dari 30 hari setelah terpapara radiasi.

BAB IV

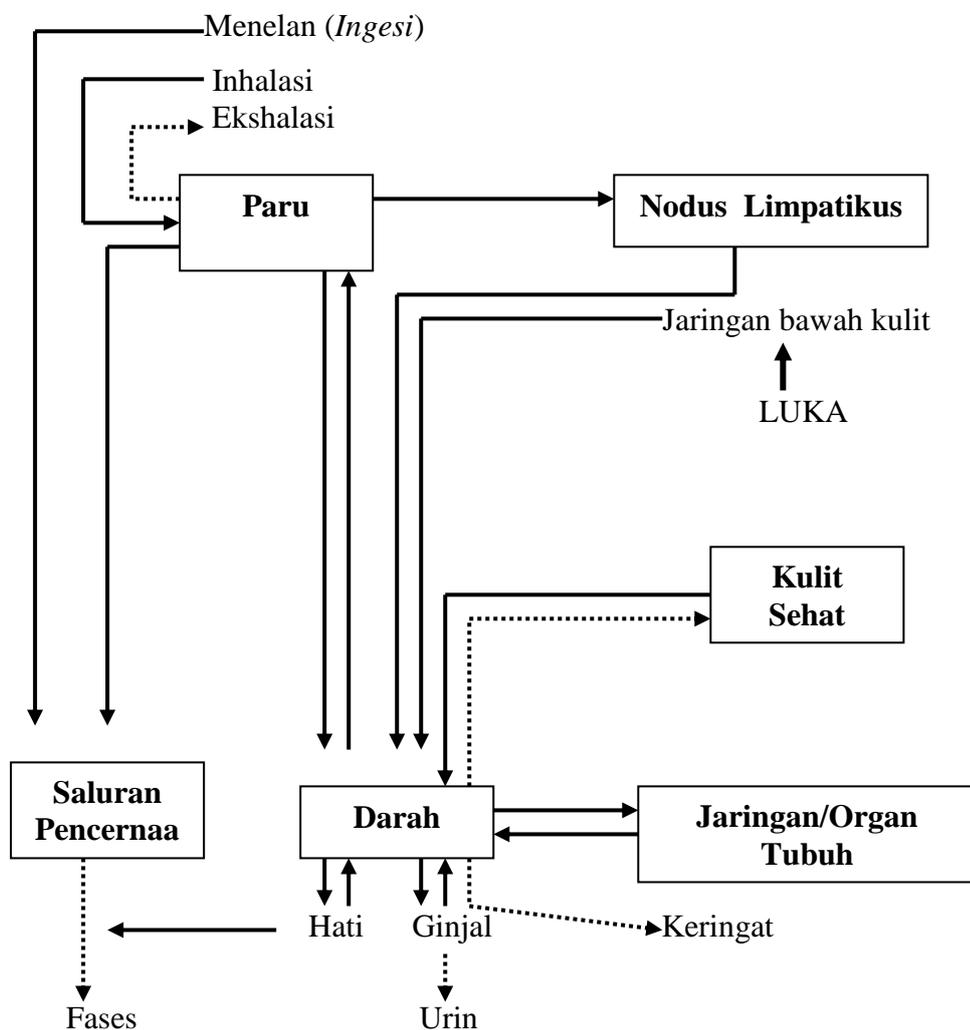
PAPARAN RADIASI INTERNAL

Manusia berisiko kapan saja terhadap paparan radiasi interna melalui mekanisme kontaminasi radionuklida yang ada di lingkungan. Terjadinya kontaminasi secara eksternal atau secara internal pada kesehatan tubuh dapat menimbulkan bahaya dan efek yang beragam. Kontaminasi eksternal terjadi apabila radionuklida menempel pada bagian luar tubuh, sedangkan kontaminasi internal terjadi bila masuknya radionuklida ke dalam tubuh melalui jalur pernapasan (inhalasi), penelanan (ingesti) atau penyerapan melalui kulit. Dengan demikian individu yang terkontaminasi eksterna dapat pula terkontaminasi internal. Pada paparan internal, radiasi yang paling berbahaya adalah radiasi partikel alfa dengan tingkat ionisasi spesifik (jumlah ion per cm lintasan di udara) sekitar 20.000 – 60.000, kemudian partikel beta sekitar 100 – 400 dan sinar X/ γ tidak lebih dari 500 pasangan ion per cm.

Jumlah zat radioaktif yang memasuki tubuh disebut sebagai pemancar internal. Radioaktif secara kontinu meradiasi jaringan tubuh sampai diekskresikan menjadi isotop stabil dengan proses peluruhan atau melalui feses dan urin. Semua radioaktif yang masuk ke dalam tubuh terakumulasi dan dimetabolisme terhadap organ target sesuai dengan sifat kimia dan sifat fisiknya. Misalkan yodium akan terakumulasi pada kelenjar tiroid, stronsium dan radium pada tulang, plutonium pada paru, sedangkan cesium pada jaringan lunak. Kontaminasi internal terjadi secara akut dan kronis, seta langsung maupun tidak langsung melalui perantara sebagai jalur masuk. Jalur masuk antara lain melalui jalan masuk tubuh alamiah, penyerapan melalui darah atau cairan getah bening, terdistribusi ke seluruh tubuh dan terakumulasi pada organ sasaran, dan terakhir pengeluaran melalui urin, feses atau keringat.

3.1. Pola distribusi dalam tubuh

Terdistribusi radionuklida pada tubuh sangat tergantung pada jalur masuk almah. Masuknya radioaktif ke dalam tubuh juga dapat melalui saluran cerna seperti penelanan atau inhalasi, yaitu berpindahnya radioaktif dengan mekanisme siliari bronkhus dari pernapasan ke kerongkongan. Usus halus merupakan tempat absorpsi utama dari radionuklida selanjutnya akan berdifusi ke dalam cairan ekstraseluler. Melalui proses yang sangat kompleks, radionuklida akhirnya terdistribusi ke seluruh tubuh. Dimana sebagian akan mengendap dalam satu atau lebih jaringan atau organ target, sedangkan bagian lainya dikeluarkan secara alamiah melalui urin, feses dan keringat.



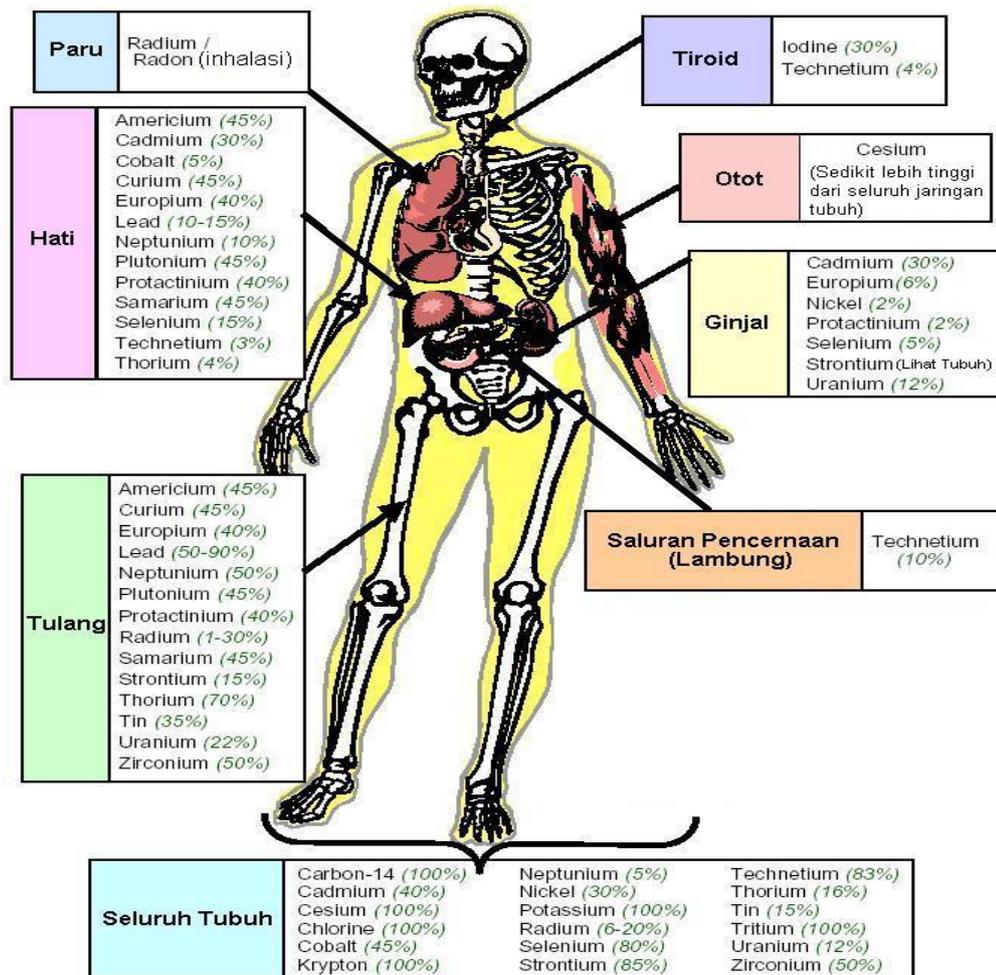
Gambar 2. Diagram kinetika radionuklida dalam tubuh: masukan, distribusi dan ekskresi radionuklida.

Radionuklida yang masuk ke saluran pernapasan berupa gas, cairan atau partikel aerosol. Bahan larut dengan ukuran partikel $< 5 \mu\text{m}$, dapat di translokasi ke darah kemudian ke organ target. Bahan tak larut dengan ukuran partikel kecil, terdeposisi pada parenkhim paru. Bahan tak larut dengan ukuran partikel besar, deposisi terjadi pada bronkhus yang akan dilepaskan secara alamiah. Gerakan siliari memindahkan partikel ke kerongkongan dan kemudian tertelan ke saluran pencernaan. Contoh radionuklida yang bersifat mudah larut dan masuk melalui inhalasi adalah $^{131}_{53}\text{I}$, $^{90}_{38}\text{Sr}$ dan $^{137}_{55}\text{Cs}$, sedangkan radionuklida yang bersifat tidak larut misalnya $^{239}_{94}\text{Pu}$.

Sunsum tulang dan selaput dalam serta luar tulang merupakan bagian tulang yang peka terhadap paparan radiasi interna. Efek stokastik berupa kanker pada sel epitel selaput tulang. Kasus ini banyak terjadi pada pekerja di pabrik jam yang menggunakan radium sulfat sebagai bahan untuk membuat angka pada jam menjadi bersinar atau berpendar. Radium yang masuk tubuh secara ingesti, sekitar 80% akan dikeluarkan segera melalui feses dan sisanya melalui aliran darah untuk disalurkan ke seluruh tubuh. Sedangkan radium terinhalasi akan tetap di dalam organ paru untuk beberapa bulan dan secara bertahap masuk ke pembuluh darah dan dibawa ke seluruh tubuh yang akhirnya akan terdeposit dalam tulang dan gigi. Jumlah yang menetap dalam tulang akan menurun bersama dengan bertambahnya waktu, umumnya di bawah 10 % dalam beberapa bulan pertama dan hanya 1% dalam beberapa tahun kemudian. Pelepasan dari tulang sangat lambat sehingga dapat dikatakan radium akan menetap selamanya dalam tulang.

3.2. Biomarker paparan radiasi interna

Sebagian besar biomarker kerusakan jaringan mempunyai kegunaan yang terbatas untuk materi radioaktif yang terdeposisi dalam tubuh karena distribusi dosis radiasi yang tidak homogen dan jaringan/organ target radionuklida tidak mudah disampel sehingga perlu dikarakteristik dengan cairan biologis yang ada untuk keperluan evaluasi. Ini khususnya terjadi untuk radionuklida pemancar alfa yang lintasannya dalam jaringan hanya beberapa puluh micrometer.



Gambar 3. Distribusi beberapa radionuklida dalam organ tubuh.

Tabel 4. Biomarker paparan radiasi interna.

Jenis Paparan	Sampel Biologis	Waktu Sampling
Pemancar partikel β / sinar γ	Pengukuran seluruh tubuh dan parsial (termasuk organ target) Cairan tubuh (darah, urin, air ludah), udara ekshalasi, apusan hidung dan sampel feses Sel atau jaringan dari organ target	Pengukuran segera dan berulang kali setelah pajanan Pencacahan berulang kali setelah paparan Kapan saja setelah paparan
Pemancar partikel α	Cairan tubuh (darah, urin, air ludah), udara ekshalasi, apusan hidung dan sampel feses Sel atau jaringan dari organ target	Pencacahan segera dan berulang kali setelah paparan Kapan saja setelah paparan

3.3. Pengukuran kontaminasi eksterna dan interna

Individu yang bekerja dengan sumber radiasi terbuka berpotensi mengalami kontaminasi eksterna dan juga interna pada tubuh. Kontaminasi eksterna terjadi ketika bahan radioaktif menempel pada permukaan tubuh, umumnya kulit. Keadaan ini berpotensi menjadi kontaminasi interna bila kontaminasi terjadi pada kulit yang terluka yang memungkinkan radionuklida masuk ke dalam tubuh. Pemantauan personal kontaminasi interna dapat dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Pemantauan secara langsung pada seluruh tubuh dilakukan dengan WBC, ataupun pada organ tertentu seperti kelenjar tiroid dengan *in vivo thyroid counting*, pada paru dan lainnya dengan peralatan yang sesuai. Sedangkan pemantauan tidak langsung dilakukan dengan pengukuran bioassay melalui analisa ekskresi harian sampel biologi seperti urin dan feses. Pengukuran dengan cara ini membutuhkan sampel yang cukup banyak yang dikumpulkan selama 24 jam untuk urin dan sekitar 3 - 4 hari untuk feses. Selain itu pada kasus tertentu dapat digunakan sampel darah, udara ekshalasi, apusan pada rongga hidung, rambut, gigi atau lainnya.

Pemilihan sampel bioassay tidak hanya bergantung pada jalur utama ekskresi kontaminan, tetapi juga pada faktor lain seperti kemudahan pengambilan sampel, analisis dan interpretasi data yang diperoleh. Setelah radionuklida masuk ke dalam darah dan sistem sirkulasi, pengeluarannya dari tubuh umumnya melalui urin. Ekskresi urin bergantung pada pengalihan radionuklida ke darah dan fungsi ginjal. Sample urin selain mudah diperoleh dan dianalisa, juga memberikan informasi bentuk kimia kontaminan yang segera ditransfer ke dalam darah. Masukan radionuklida dalam bentuk yang tidak larut sering hanya bergantung pada analisis sample feses. Aktivitas pada feses merupakan bagian kontaminan yang tidak diserap dari bahan zat yang berasal dari nasofaring atau sistem trakeobronkhial, ditambah bahan yang dicerna, dan bahan yang dibuang dari tubuh melalui empedeu dan sistem pencernaan. Nisbah ekskresi urin terhadap feses dengan demikian berkaitan dengan cara paparan dan kelarutan suatu bahan.

Setelah inhalasi, fraksi yang tidak larut dan bertahan di paru lebih terlihat pada pembuangan feses dibandingkan pada ekskresi urin. Aktivitas yang sangat rendah pada urin tidak mengesampingkan adanya pengendapan di paru. Sejumlah besar fraksi dari masukan radionuklida yang tidak diserap dan akan dikeluarkan melalui feses dalam waktu beberapa hari pertama, bahkan ketika masukan awal secara inhalasi .

3.4. Dekontaminasi radionuklida dari tubuh

Prosedur utama dalam penanganan kontaminasi adalah dekontaminasi radionuklida yang merupakan metode pelepasan atau pengeluaran radionuklida dengan cepat dan sebanyak mungkin dari tubuh dengan memperkecil efek biologi yang akan timbul. Dekontaminasi dilakukan baik pada kontaminasi eksternal maupun kontaminasi internal. Dekontaminasi eksternal pada kulit harus dilakukan secara tepat dan tidak kasar untuk meminimalkan penyerapan dan membuat pencacahan radionuklida pada kasus kontaminasi internal menjadi lebih akurat. Pembersihan bahan radioaktif pada permukaan kulit dilakukan dengan pencucian hanya bagian yang terkontaminasi.

Bila terjadi kontaminasi internal, bahan radioaktif, perkiraan dosis, determinasi toksisitas, dan metode tindakan sangat bergantung pada berbagai faktor, seperti identitas radionuklida dan karakteristik fisik dan kimianya. Hal penting yang harus dilakukan dalam pemilihan teknik dekontaminasi dan obat yang sesuai terhadap kontaminan. Pertimbangan teknik dekontaminasi meliputi mereduksi penyerapan isotop ke dalam saluran pencernaan, memblokir pengambilan oleh organ target, pengenceran, merubah sifat kimia material dan menggunakan teknik khelat.

Metoda dekontaminasi internal ini dapat diuraikan sebagai berikut:

a. Pembersihan saluran pencernaan

Pencucian perut memperpendek waktu tinggal dalam saluran pencernaan, sehingga menurunkan penyerapan dan paparan radiasi pada dinding usus dan jaringan terdekat. Pengosongan lambung dapat dilakukan dengan *nasogastric tube* bila jumlah materi radioaktif relatif besar atau dengan obat muntah.

b. Senyawa Pemblok (*Blocking Agent*)

Senyawa yang mudah diserap ini membuat jenuh materi radioaktif sehingga menurunkan jumlah radionuklida yang diserap. Sebagai contoh, masuknya

radioiodin dimana keseimbangan antara I^{131} dengan cairan tubuh tercapai dalam 30 menit dan hampir 30% masuk ke dalam tiroid. Pemberian iodin stabil yang berupa tablet KI dapat menurunkan penyerapan sekitar 90% dan 50% oleh tiroid jika masing-masing diberikan < 2 jam dan < 3 jam setelah masukan.

c. Teknik Pengenceran

Pengenceran radionuklida dilakukan dengan pemberian sejumlah besar isotop stabilnya yang dapat lebih cepat dan lebih mudah diserap tubuh. Sebagai contoh, pengenceran tritium dengan air 3-10 L/hari selama satu minggu dapat menurunkan waktu paro efektif tritium dalam tubuh lebih dari 50%. Teknik pengenceran dapat pula sebagai terapi penggantian, dimana unsur non radioaktif dengan nomor atom berbeda digunakan untuk bersaing dengan radionuklida itu. Seperti penggunaan kalsium atau fosfat untuk bersaing dengan radiostronsium, dan iodin stabil dengan radiotechnisium.

d. Senyawa Pembentuk Chelat (*Chelating Agent*)

Senyawa ini digunakan secara rutin dalam tindakan medis terhadap logam berat beracun dan bahan radioaktif. Senyawa kompleks yang terbentuk dikeluarkan melalui urin, dengan demikian ginjal menjadi organ target yang menerima paparan radiasi dengan dosis cukup tinggi. Senyawa pembentuk chelat tidak dapat digunakan untuk uranium karena ginjal adalah organ target uranium yang dapat mengakibatkan keracunan.

e. Pembersihan Paru

Teknik ini bertujuan untuk menghilangkan bahan tidak larut dari paru dan menurunkan dosis radiasi pada paru sampai 25-50%. Materi radioaktif yang larut dapat tinggal dalam paru untuk waktu yang lama sehingga meningkatkan paparan radiasi. Pembersihan paru hanya dilakukan jika ukuran partikel dan distribusi partikel bahan yang terhisap telah diketahui.

BAB IV

KESIMPULAN

Paparan radiasi eksternal dan internal dapat menyebabkan kerusakan sel yang mengakibatkan pembentukan kanker dan penyakit hereditas. Bahaya dan efek paparan radiasi dosis rendah tidak hanya merusak sel-sel target saja, namun studi terakhir menunjukkan bahwa sel-sel yang tidak secara langsung terpapar radiasi dosis rendah, akan mengalami kerusakan akibat berada di sekitar sel target yang teradiasi. Bahaya dan efek tersebut dikenal dengan istilah *bystander effects*. Sehingga didalam melakukan radioterapi dengan radiasi perlu mempertimbangkan risiko efek stokastik, kedua jenis sel, yaitu sel yang menjadi target radiasi maupun sel bukan target tetapi berada di sekitar sel target. Maka risiko gangguan kesehatan tubuh yang mungkin timbul tidak lebih besar dari yang diperkirakan.

Partikel alfa yang melintasi sebuah inti sel telah terbukti mempunyai probabilitas tinggi dalam menimbulkan mutasi. Dengan demikian efek yang timbul akibat paparan radiasi dosis rendah tidak dapat diabaikan. Melihat kenyataan ini , perlu ditingkatkan pemahaman paparan radiasi dosis rendah terhadap kesehatan tubuh.

DAFTAR PUSTAKA:

1. IAEA. *Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries*. Safety Reports Series No.2 IAEA, Vienna. 1998.
2. HALL, E.J. *Radiobiology for the Radiologist*. 5rd ed. Philadelphia, Lippincott William & Wilkins. 2000.
3. BUSHONG, S.C. *Radiologic Science for Technologists: Physics, Biology, and Protection*. 4th ed. The C.V. Mosby Company, St.Louis. 1988.
4. COLEMAN, C.N., BLAKELY, W.F., FIKE, J.R., MacVITTIE, T.J., METTING, N.F., MITCHELL, J.B., MOULDER, J.E., PRESTON, R.J., SEED, T.M., STONE, H.B., TOFILON, P.H. and WONG, R.S.L. *Molecular and Cellular Biology of Moderate-Dose (1-10 Gy) Radiation and Potential Mechanisms of Radiation Protection: Report of a Workshop at Bethesda, Maryland, December 17-18, 2001. Radiation Research*. 159,812-834. 2003.
5. IAEA. *Assessment of occupational Exposure Due to Intakes of Radionuclides*. Safety Standards Series No. RS-G-1.2. IAEA, Vienna. 1999.
6. SWINDON, T. N. *Manual on the medical management of individuals involved in radiation accidents*, Australian Radiation Laboratory, Victoria, 1991.
7. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). *Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by Workers*. ICRP Publication 78. Ann ICRP, 27 (3-4). 1997.
8. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. *Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection*. ICRP Publication 66. Ann ICRP, 24 (1-3). 1994.