

## PENGARUH RADIASI PADA MANUSIA

Oleh :

C. Soegiarto

(Pusat Penelitian Pasar Jumat, BATAN )

### I. PENDAHULUAN

Bahwa radiasi mengion, baik yang dipancarkan oleh zat radioaktif maupun oleh alat pemancar sinar, bersifat berbahaya tidak perlu lagi diperdebatkan. Bahkan kehebatan tenaga yang dapat dikeluarkan oleh reaksi nuklir yang mula pertama disadari oleh orang awam memang merupakan suatu demonstrasi daya pemusnah yang sangat mengerikan.

Suatu tindakan yang benar-benar "berani" telah dilakukan sebagai usaha menutup dan mengakhiri perang dunia II dengan dijatuhkannya dua bom nuklir masing-masing di Hirojima dan Nagasaki pada tahun 1945. Tindakan itu disebut tindakan berani, karena sekalipun para perancangnya mengetahui betapa dahsyatnya tenaga yang dapat terbebaskan karena ledakan bom-bom itu, tetapi saya kira pada waktu itu tidak/belum disadarinya benar dan sepenuhnya betapa luas dan dalam akibat yang akan ditimbulkannya, baik terhadap benda maupun terhadap makhluk hidup, khususnya manusia.

Telah menjadi suatu sifat manusia, yaitu selalu berusaha dan berupaya untuk menarik suatu hikmah dari setiap kejadian, sekalipun kejadian itu merupakan malapetaka yang besar; dan adalah suatu kenyataan, bahwa suatu keadaan atau suatu sarana dapat merupakan sesuatu yang merugikan apabila memang dimaksudkan untuk diabdikan kepada kepentingan yang demikian, tetapi hal yang sama dapat pula memberi manfaat apabila diperuntukkan tujuan yang memberikan nilai daya guna. Akhirnya yang menentukan apakah hal itu bersifat merusak ataupun menguntungkan terpulang kembali kepada manusia pemakainya sendiri.

Selang beberapa tahun sesudah perang berakhir, Presiden Dwight D. Eisenhower mengemukakan gagasan penggunaan tenaga nuklir ini untuk keperluan-keperluan dan maksud-maksud damai dan perikemanusiaan, dan semenjak itu dalam kerjasama internasional telah banyak diteliti dan dicoba kemungkinan-kemungkinan tersebut. Dengan kata lain nampak jelas, bahwa manusia tidak tinggal diam menekuri nasibnya dan mengungkung dirinya dengan ketakutan yang tidak kunjung habis, melainkan mencoba menjinakkan kehebatan tenaga nuklir dan mengarahkannya untuk kepentingan hidupnya sendiri. Bahaya yang terkait dengan tenaga yang maha dahsyat itu tidak dipungkirinya, tetapi justru dengan pengetahuan itu dicarinya cara penyalurannya yang efisien.

Apabila kita berbicara mengenai radiasi zat radioaktif dan segala bahaya-bahayanya, biasanya kita mengira bahwa zat yang berbahaya itu semata-mata hasil buatan manusia saja. Akibatnya andaikata ada usaha dalam kehidupan manusia yang akan menggunakan teknik nuklir tadi selalu dibesar-besarkan per-

soalan bahaya yang mungkin akan disebabkan terhadap kehidupan manusia. Padahal didalam alam ini sudah sejak berabad-abad, bahkan sepanjang manusia ini hidup dipermukaan bumi ini, ada banyak sinar-sinar alamiah yang mirib atau serupa dengan sinar yang dipancarkan oleh zat radioaktif buatan manusia tersebut. Hal ini disebut radiasi alamiah (natural radiation).

Sebagai contoh dapat dikemukakan kategori zat-zat radioaktif (radionuklida) yang terdapat dalam alam sbb. :

1. Radionuklida primer yang mempunyai harga paroh ratusan sampai jutaan tahun atau lebih, sehingga diperkirakan sudah ada dialam ini sejak zaman pembentukan zat-zat, misalnya :
 

Indium-115	(pemancar sinar beta)	(ordo harga paroh $10^{14}$ tahun)
Lanthanum-138	( „ beta )	( „ $10^{11}$ tahun)
Lutecium-176	( „ beta )	( „ $10^{10}$ tahun)
Kalium-40	( „ beta )	( „ $10^9$ tahun)
Rhenium-187	( „ beta )	( „ $10^{10}$ tahun)
Rubidium-87	( „ beta )	( „ $10^{10}$ tahun)
Samarium-147	( „ alpha)	( „ $10^{11}$ tahun)
Thorium-232	( „ alpha)	( „ $10^{10}$ tahun)
Uranium-235	( „ alpha)	( „ $10^8$ tahun)
Uranium-238	( „ alpha)	( „ $10^9$ tahun)
2. Hasil-hasil perluruhan nuklida-nuklida tersebut diatas yang meliputi radionuklida dengan harga paroh geologik pendek dengan nomor atom antara 81 (thallium) sampai 92 (uranium). Radium-225 dan radon keturunannya adalah contoh-contoh yang jelas.
3. Radionuklida yang terinduksi, yang dihasilkan oleh reaksi antara radiasi alam (sinar kosmik, neutron bebas dll) dan unsur didalam atmosfer bumi atau permukaan bumi. Contohnya adalah C-14 yang terbentuk oleh interaksi neutron dengan N-14.

Selain radionuklida, sumber sinar lain adalah sinar kosmik. Radiasi berenergi tinggi yang memasuki atmosfer bumi dari ruang angkasa luar disebut sebagai sinar kosmik primer. Apabila sinar ini berinteraksi dengan inti-unsur-unsur yang ada di atmosfer, akan menghasilkan partikel-partikel sekunder dan radiasi elektromagnetik (sinar kosmik sekunder). Sinar kosmik primer selain berasal dari ruang angkasa luar (sinar kosmik galaktik) juga dihasilkan oleh matahari (sinar kosmik solar). Sinar kosmik sekunder yang bergerak dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya ini 'berjatuhan' pada planet bumi kita pada setiap saat dan dari setiap penjuru.

Partikel-partikel ini adalah inti-inti dari atom biasa yang telah terkelupas elektron orbitnya, kebanyakan inti hidrogen (proton). Dari pengamatan para peneliti yang mengamati "debu" yang dihasilkan oleh tabrakan sinar kosmik dengan inti oksigen dan nitrogen di atmosfer, diketahui bahwa debu yang bergerak bertebaran inilah yang bertanggungjawab atas sebagian besar radiasi yang diterima manusia termasuk para wisatawan yang mencari "sun tan" pada waktu berjemur ditepi pantai. Sebagian besar dari radiasi ini terdiri dari photon (radiasi

elektromagnetik). Sebagian lain terdiri dari partikel-partikel sub-atomik, meson, yang besar massanya terletak antara elektron dan proton. Komponen lainnya sekalipun sedikit tetapi penting adalah neutron berenergi tinggi. Neutron-neutron ini mungkin diperlambat sampai pada keadaan dimana enerjinya setara dengan molekul-molekul dalam atmosfer. Pada keadaan yang diperlambat tadi neutron-neutron ini mudah tertangkap oleh atom-atom nitrogen sehingga membentuk karbon radioaktif (C-14) atau membentuk hidrogen ekstra berat radioaktif (H-3, tritium). Daftar dibawah ini adalah contoh-contoh isotop radioaktif yang terbentuk oleh pengaruh sinar kosmik :

isotop		harga paroh		konsentrasi (dis/min/m <sup>3</sup> *)
Tritium-3	(H-3)	12,3	tahun	10 <sup>1</sup>
Beryllium	(Be-7)	53	hari	1
Beryllium-10	(Be-10)	2,7x10 <sup>6</sup>	tahun	10 <sup>-7</sup>
Karbon-14	(C-14)	5730	tahun	4
Natrium-22	(Na-22)	2,6	tahun	10 <sup>-4</sup>
Silicium-32	(Si-32)	700	tahun	2 x 10 <sup>-6</sup>
Fosfor-32	(P-32)	14,3	hari	2 x 10 <sup>-2</sup>
Fosfor-33	(P-33)	25	hari	1,5 x 10 <sup>-2</sup>
Sulfur-35	(S-35)	87	hari	1,5 x 10 <sup>-2</sup>
Chlor-36	(Cl-36)	3x10 <sup>6</sup>	tahun	3 x 10 <sup>-8</sup>

\*) Disintegrasi per menit per meter kubik udara pada troposfir lapisan bawah.

- Tritium-3 : Diperkirakan bahwa imbangannya tritium/hidrogen didalam tubuh manusia sama dengan imbangannya yang terdapat pada air permukaan pada daratan-daratan luas (kontinen).
- Beryllium-7 : Isotop ini dapat diisap bersama dengan pernafasan. Didalam makanan, sayur-sayuran daun diperkirakan merupakan sumber pencemaran pada manusia.
- Karbon-14 : Karbon alam terdiri dari isotop stabil C-12 (98,9%), C-13 (1,1%) dan C-14. Karena karbon adalah komponen yang penting untuk penyusunan zat pati oleh tanaman hijau, maka tanaman itu adalah sumber pencemaran pada manusia.
- Natrium-22 : Sekalipun taraf produksi dan konsentrasi atmosfer akan Na-22 sangat rendah, tetapi dosis pada manusia sangat lebih tinggi dibandingkan dengan yang diberikan oleh H-3 dan Be-7 sebagai akibat dari tingkah metabolik natrium dan sifat peluruhan Na-22. Diketahui pula, bahwa hanya C-14, dan juga dalam batas tertentu Na-22, memberikan iuran kepada dosis kolektif dari radionuklida kosmogenik ini dalam besaran yang tidak boleh diabaikan.

Radionuklida primer dapat digolong-golongkan kedalam yang langsung meluruh menjadi nuklida stabil, dan yang termasuk kedalam seri U-235, U-238 dan Th-232, Radionuklida yang termasuk golongan pertama yang merupakan sumber radiasi penting adalah hanya K-40 dan Rb-87.

K-40 : Nuklida ini merupakan sumber utama dari dosis radiasi interna

- yang berasal dari alam yang memasuki tubuh manusia terutama melalui makanan. Kandungan rata-rata kalium diseluruh tubuh bervariasi bergantung pada umur dan kelamin. Kandungan yang tertinggi terdapat pada pria yang meningkat dewasa dan yang terendah pada wanita tua, dalam imbang 2 : 1. Kandungan K-40 dapat dipakai sebagai indikator kandungan jaringan otot (muscle) dalam tubuh dibandingkan dengan kandungan lemak (fat) yang tidak mengandung nuklida tersebut.
- Rb-87 : Tingkah laku rubidium didalam tubuh manusia masih belum banyak diketahui.
- Uranium : Diatmosfir sumber utama uranium adalah partikel debu yang berasal dari tanah. Informasi tentang pengambilan uranium melalui makanan masih sedikit, sekalipun demikian tidak perlu disangsikan bahwa angka sebenarnya akan jauh lebih besar daripada angka dari pencemaran melalui udara dengan pernafasan.
- Thorium : Masuknya unsur ini kedalam tubuh manusia melalui pernafasan dan makanan dengan perbandingan antara 10 : 1. Peranan pemasukan melalui makanan kepada bahaya terhadap manusia kiranya tidak begitu penting, karena thorium sangat tidak mudah terserap oleh dinding saluran pencernaan makanan. Taraf kandungan pada orang dewasa adalah lebih kurang sepersepuluh daripada kandungan U-238. Tetapi thorium diketahui berkumpul pada endosteum dan kecepatan dosis thorium didalam tulang per kesatuan aktivitas jenis jauh lebih tinggi daripada uranium, sedang uranium diperkiran tersebar rata pada seluruh massa tulang,
- Radium : Radium mempunyai 13 isotop radioaktif yang telah diketahui, dengan berat atom beranjak antara 213 sampai 230 dengan harga paroh antara  $10^{-3}$  detik sampai 1.600 tahun. Ditinjau dari sudut radiasi alam terhadap manusia hanya Ra-226 dan Ra-228 (yang menghasilkan Ra-224) adalah yang penting. Seperti halnya dengan uranium dan thorium, sumber alamiah utama radium diatmosfir adalah partikel-partikel tanah. Nilai-nilai yang sangat tinggi didapatkan disekitar pusat-pusat pembangkit daya yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakarnya. Pemasukan melewati makanan adalah sangat penting. Peranan air minum sebagai sarana pencemaran kedalam tubuh manusia adalah kecil sejauh air minum diambil dari air-air permukaan. Apabila radium masuk kedalam tubuh ia bertingkah laku secara kimiawi seperti kalsium, dan bagian yang cukup besar diletakkan/ditimbun pada permukaan tulang dan bagian-bagian tubuh dengan aktif menyusun tulang. Maka 80 - 85 persen radium terkandung didalam kerangka, sedang sisanya tersebar rata pada jaringan-jaringan lunak.

Daerah-daerah yang terkenal sebagai daerah pengandung thorium dan uranium yang tidak normal dan berpenduduk paling padat didunia adalah daerah pantai Kerala, India dan daerah Araxa-Tapira, Brazilia. Khususnya dalam hal keradioaktifan alam di Brazilia dapat dikemukakan hal-hal sbb. : Apabila para peneliti mempersoalkan radiasi interna yang diakibatkan oleh makanan mereka selalu berfikir tentang Brazilia. Hal ini tidak saja karena besarnya taraf sinar gamma yang terdapat dalam tanahnya (pada daerah-daerah tertentu tersebut diatas) tetapi juga karena Brazilia menghasilkan sejenis polong = seperti kenari) dengan keradioaktifan yang sangat tinggi, yaitu 14.000 kali buah biasa. Hasil padi-padiannya juga secara nisbi mengandung keradioaktifan yang tinggi, mungkin 500 - 600 kali buah-buahan. Daftar dibawah ini menggambarkan hal tsb. :

Angka nisbi keaktifan alpha pada makanan

Bahan makanan	keaktifan nisbi	Bahan makanan	keaktifan nisbi
Nut Brazilia	1400	Padi-padian	60
Teh	40	Hati dan ginjal	15
Tepung	14	Kacang dan peanut butter	12
Coklat	8	Biskwit	2
Susu bubuk	1 - 2	Ikan	1 - 2
Keju dan telur	0,9	Sayuran	0,7
Daging	0,5	Buah-buahan	0,1

Tabel diatas hanya mempersoalkan keaktifan alphanya saja dan tidak mempersoalkan kandungan kalium radioaktifnya, padahal semua makanan penyusun jaringan otot mengandung kalium dan kita harus hidup dengan makanan itu. Penelitian menunjukkan bahwa untuk kebanyakan penduduk, kalium radioaktif didalam otot memberikan radiasi interna sebanyak 10 - 20 kali dibandingkan dengan isotop radioaktif manapun termasuk radium dan karbon (C-14)

Dibeberapa negara tertentu terdapat tempat-tempat yang dikatakan mempunyai air yang mengandung daya penyembuh penyakit. Biasanya air itu dipakai mandi ataupun diminum. Digambarkan di negara-negara Eropa tentu terdapat tempat-tempat semacam itu yang cukup menarik wisatawan yang mencari pengobatan, bahkan mencari penyembuhan dari ketuaan. Bahkan ada di suatu kota di Italia dijual air mineral untuk diminum yang dengan jelas-jelas diterakan pada etiketnya bahwa air itu mengandung keradioaktifan.

Dalam bidang alat-alat rumah tangga dan hiburan ada pula alat-alat yang menghasilkan sinar mengion, atau berfungsi seperti sinar itu. Misalnya alat dapur (oven) yang menggunakan microwave. Sinar gelombang pendek ini adalah eksperimen dengan hewan percobaan dapat menimbulkan gangguan pada lensa mata, gangguan pada darah, kelenjar endokrin, dan mungkin sifat-sifat keturunan (genetik). Selain itu suara dengan getaran sangat tinggi (ultrasound) yang sebenarnya dapat ditimbulkan oleh getaran mekanis yang cepat sekali yang terdapat pada gerakan mesin,

alat cuci maupun alat pembentuk emulsi, bersifat merusak. Bahkan sinar X dari alat televisi, khususnya televisi berwarna, adalah berbahaya apabila kita keliru menggunakan alat-alat tersebut.

## II. EFEK RADIASI PADA MAKHLUK HIDUP, KHUSUSNYA MANUSIA.

Radiasi berpengaruh pada jaringan hidup pada taraf molekuler, atau sub-seluler. Maka pengaruh yang secara primer terjadi adalah pada taraf isi sel atau bagian-bagian sel, dan pada lingkungannya yang terdiri dari cairan yang mengandung oksigen. Maka pemaparan radiasi mengion dapat menghasilkan perubahan-perubahan dalam sistim molekuler sel yang terorganisasi baik itu, atau merusak bagian-bagian sel tertentu, yang berakibat akhir perubahan fungsi sel atau bahkan kematiannya.

Ada tiga faktor dasar yang menentukan efek biologik ini :

1. Sifat radiasi,
2. Banyaknya radiasi yang terserap oleh jaringan (dosis serap),
3. Bagian dari tubuh yang dikenai.

Ada faktor-faktor lainnya yang memberikan pengaruhnya, yaitu :

4. Jarak selang antara paparan satu dengan yang berikutnya,
5. Apakah radiasi merupakan radiasi eksterna atau interna,
6. Kepekaan organa yang menerimanya,
7. Umur individu yang menerima radiasi itu.

Bagian sel yang sangat peka terhadap radiasi adalah kromosoma dan gena, yaitu bagian-bagian yang menjadi pusat sifat turun-temurun. Kromosoma oleh radiasi dapat putus, dan gena dapat terurai, sehingga akibat dari kerusakan-kerusakan itu sel yang mengandungnya dapat berubah sifatnya atau mati. Perubahan sifat tersebut bersifat tetap, dan hasil pembelahannya akan berupa sel-sel baru yang tidak serupa dengan sifat sel induk yang semula. Ini disebut mutasi.

Didalam tubuh kita kita kenal dua macam sel :

- a. Sel somatik : sel-sel yang umumnya menyusun organa-organa kita,
- b. Sel generatif : sel-sel yang merupakan sel seks kita yang kita pergunakan untuk menimbulkan keturunan.

Kedua macam sel ini masing-masing melakukan pembelahan diri. Sel somatik membelah diri (Mitosis) untuk pertumbuhan tubuh, yaitu sejak didalam kandungan ibu sampai dengan taraf kedewasaan manusia; sedang sel generatif membelah diri untuk membentuk sel seks yang diperlukan untuk reproduksi. Proses perkembangan pembentukan sel seks ini disebut **gametogenesis**. Baik pada pria maupun wanita proses gametogenesis ini dimulai dari sel induk (pokok) yang disebut sel primordia atau sel gonial. Sel-sel ini bersifat sebagai sel somatik yang membelah diri berulang-ulang dan baru kemudian melakukan pembelahan, yang disebut pembelahan induksi.

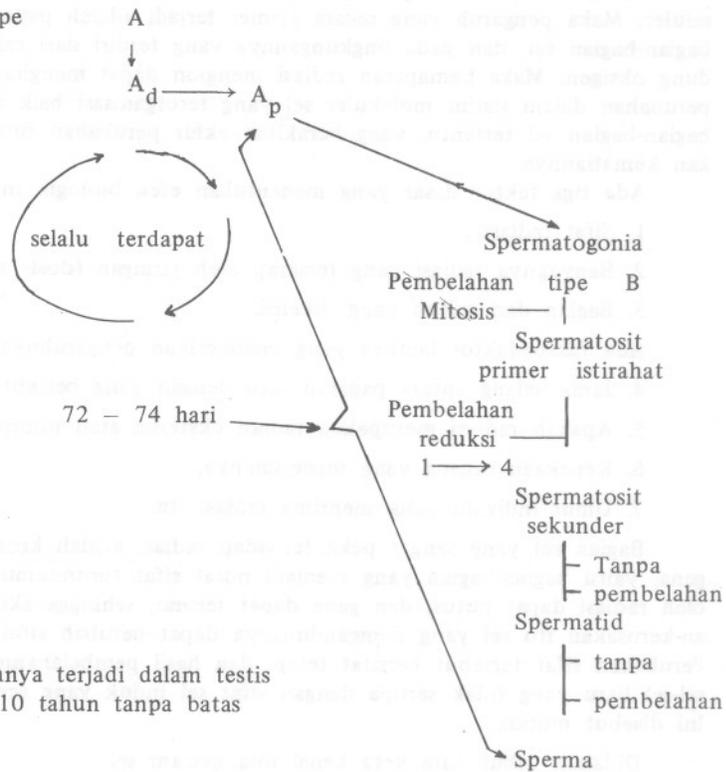
Pada individu pria terjadi sebagai berikut :

Pada individu wanita :

Pada ovarium (kandung telur) tidak pernah ditemukan lagi bentuk sel

gonia (oogonia). Pembelahan reduksi yang menghasilkan oosit terjadi sebelum atau segera sesudah dilahirkan. Dengan demikian banyaknya oosit yang ada pada masing-masing individu terbatas dan telah ditentukan sejak masa kehidupan yang dini. Akibatnya dengan meningkatnya umur individu, oosit yang dikandungnya akan semakin menurun jumlahnya baik sebagai akibat astresia follikel maupun **ovulasi bulanan**.

Spermatogonia tipe



Proses ini seluruhnya terjadi dalam testis pria sejak umur 10 tahun tanpa batas umur maksimum.

Spermatid tahan sampai dosis 1.000 R atau lebih. Sebagai akibat dari degenerasi dan kelainan kromosoma, peranan spermatosit pada produksi sel seks (gamet) sesudah radiasi bergantung pada dosis serap yang diterimanya. Karena masa spermatosit dan spermatid hanya singkat dibandingkan dengan lamanya masa reproduksi, maka peranan spermatogonia dalam hal efek radiasi dalam testis hewan menyusui termasuk manusia adalah yang paling besar. Pembunuhan sel-sel spermatogonia yang sedang berkembang berakibat tidak terbentuknya sel-sel gamet matang dalam testis, (aspermia) dan timbulnya kemandulan sementara, yaitu gejala yang didapatkan pada pemaparan manusia terhadap dosis tunggal. Beberapa spermatogonia tipe A mungkin masih dapat bertahan hidup, dan dapat berbelah-belah lagi memenuhi testis. Proses ini bergantung pada besarnya dosis.

Radiasi terhadap wanita dengan 300 - 400 R, berakibat pemandulan sementara, dan satu tahun atau lebih kemudian dapat terjadi pembuahan yang disusul dengan kesuburan normal. Tetapi ada kalanya terdapat masa-masa per-

kembangan sebelum dilahirkan atau sesudah dilahirkan yang menunjukkan kepekaan yang tinggi terhadap radiasi, sekalipun ovarium dewasanya nisbi tahan.

Memang kekhawatiran utama tentang pemaparan penduduk terhadap radiasi mengion tertuju kepada efeknya pada gonad. Hal ini mudah dimengerti karena efek yang diderita sel-sel generatif yang ada dalam gonad akan terutama berpengaruh kepada keturunan-keturunannya yang dihasilkan oleh perkawinan sel gamet tersebut. Dikatakan bahwa efek radiasi pada sel gamet bersifat baka (continuous) dan mengganda (amplified). Hal ini khususnya apabila efek radiasi itu bersifat mutasi yang tidak mematikan. Dosis serap yang diterima oleh suatu individu dari berbagai-bagai sumber dapat bersifat additif, dan banyaknya radiasi yang terserap oleh gonad adalah penjumlahan masing-masing dosis tersebut. Untuk mengetahui tingkat bahaya secara menyeluruh dari suatu populasi penduduk tertentu terhadap radiasi diciptakan konsep "Genetically Significant Dose" (GSD) = Dosis Genetik yang Nyata.

$$\text{Rata-rata GSD/per tahun} = \frac{\sum D_i N_i P_i}{\sum N_i P_i}$$

$D_i$  = rata-rata dosis gonad untuk paparan tipe tertentu pada seseorang yang ada pada kelompok umur-seks (i);

$N_i$  = banyaknya orang yang ada pada kelompok umur-seks (i) yang menerima paparan tipe tertentu tersebut selama satu tahun;

$P_i$  = banyaknya anak yang diharapkan diperoleh seseorang yang ada pada kelompok umur-seks (i);

$N_i$  = banyaknya orang yang ada pada kelompok umur-seks (i) dalam populasi.

GSD merupakan dosis rata-rata yang apabila diterima oleh setiap anggota populasi, akan menghasilkan efek genetik yang serupa terhadap populasi seperti dosis yang sebenarnya diterima oleh individu-individu dalam populasi tersebut.

Apabila diatas sudah kita bicarakan efek radiasi kepada sel gamet dalam hubungannya dengan efek genetik, maka sekarang akan kita tinjau bagaimanakah efeknya terhadap sel tersebut sekitar saat pembuahan (perkawinan = bertemunya sel telur dari ibu dan sel sperma dari ayah) dan pertumbuhan embryo dalam kandungan. Pada saat ini telah diketahui bahwa efek akuta dari radiasi terhadap pertumbuhan embryo dapat disingkatkan sebagai berikut :

- Malformasi kongenital sedikit sekali atau tidak terjadi pada pemberian radiasi semasa perioda sebelum implantasi embryo. Bahkan dengan pemaparan 100 R sampai 200 R pada saat terjadinya pembuahan, sangat rendah frekwensi terjadinya kelainan pada anak yang berhasil lahir dengan hidup;
- Puncak dari pada terjadinya malformasi yang kasatmata akan terjadi oleh radiasi semasa perioda pembentukan organ (organogenesis), sekalipun hypoplasia jaringan seluler ataupun organa dapat terjadi oleh radiasi yang diberikan sepanjang perioda perkembangan foetus maupun sebelum kelahiran, asal dosisnya cukup tinggi.
- Penghambatan pertumbuhan dapat terjadi apabila radiasi diberikan semenjak saat implantasi dan sepanjang masa berikutnya. Jadi, sekalipun pertumbuhan embryo yang bertahan hidup yang terkena radiasi sebelum implantasi tidak terhambat, embryo sesudah implantasi menunjukkan penghambatan pertumbuhan jumlah sebelum ia peka terhadap efek malformasi.
- Kematian sebelum kelahiran adalah tertinggi apabila radiasi diberikan sebelum

implantasi, dan semakin menurun sampai pada kepekaan dewasa pada taraf foetus.

- e. Kematian segera sesudah kelahiran adalah tertinggi pada embryo yang masih bertahan hidup yang terkena radiasi semasa perioda organogenetik.
- f. Efek pemaparan terhadap dosis rendah sinar X (50 – 100 R) telah nampak tanpa bergantung pada taraf perkembangan embryo : kematian apabila diberikan semasa pre-implantasi, malformasi semasa organogenesis, dan delesi sel semasa perioda foetus. Sekalipun nampak bahwa dosis rendah dapat memberikan efek, dosis ambang pintunya belum dapat ditentukan.

Kelainan-kelainan patologik pada manusia dewasa yang menerima radiasi semasa dalam kandungan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penghambatan pertumbuhan tidak hanya kelihatan selama dalam kandungan tetapi terdapat juga sesudah dilahirkan. Percobaan dengan hewan menunjukkan bahwa semua embryo yang terkena radiasi 100 R atau lebih pada waktu sesudah implantasi akan mengalami penghambatan pertumbuhan. Sekalipun embryo pada taraf perkembangan organogenetik dini menunjukkan penghambatan pertumbuhan selama dalam kandungan, foetus muda menunjukkan penghambatan pertumbuhan yang permanen yang terbesar.
2. Tidak perlu diragukan bahwa dosis tinggi radiasi kepada manusia adalah bersifat karsinogenik. Banyak penelitian menunjukkan bahwa peningkatan timbulnya leukemia dan lain-lain tumor terjadi pada keturunan manusia yang menerima radiasi sebesar 2 rad pada masa dalam kandungan.
3. Terdapat cukup banyak data yang menunjukkan bahwa dosis untuk penyembuhan penyakit dapat menimbulkan mikrocephali dan penghambatan mental pada keturunan manusia yang menerima radiasi in utero.

Pengaruh radiasi kepada manusia yang menerima radiasi sesudah dilahirkan antara lain dapat disebutkan :

#### 1. Pemendekan Umur.

Mengenai kematian ada sementara orang berpendapat pada dasarnya individu-individu dalam populasi semula adalah sama, tetapi karena pengaruh faktor-faktor luar secara acak dan interaksi faali terjadilah pergeseran progresif dan perbedaan-perbedaan keadaan faal individu-individu tersebut. Kematian terjadi apabila sesuatu individu melampaui batas faal itu. Pendapat lain mengatakan bahwa kematian telah ditentukan secara khas oleh sifat genetiknya.

Berdasarkan percobaan dengan hewan kelihatan bahwa pemendekan umur bukan benar-benar pemendekan secara rata pada seluruh masa hidupnya, melainkan kehilangan masa hidup pada perioda hidup yang mula-mula. Dari sebab itu fenomena pada pemendekan umur adalah seperti penuaan yang belum waktunya. Dengan melihat apa yang tersebut dimuka diperkirakan bahwa radiasi yang menimbulkan efek penuaan belum waktunya adalah yang diserap pada masa permulaan itu, dan radiasi yang diterima pada masa yang lebih lanjut dianggap tidak memberikan sahamnya. Hubungan antara pemendekan umur dengan dosis dapat disamakan dengan konsep kerusakan yang akumulatif karena perubahan-perubahan/kelainan-kelainan yang irreversible. Efek pemendekan umur dari sinar gamma menahun dan neutron cepat adalah serupa, tetapi sinar X yang diberikan pada intensitas tinggi tiga kali lebih efektif dibandingkan dengan sinar gamma pada intensitas rendah. Pemendekan umur

tidak dapat dilihat pada meningkatnya jumlah kematian oleh sesuatu sebab yang khas, tetapi pada timbulnya penyakit-penyakit yang biasanya terkait dengan umur tua pada waktu yang terlalu dini.

Sekalipun radiasi nampaknya berpengaruh kepada timbulnya gejala penuaan belum waktunya ini, haruslah diakui secara ilmiah bahwa belum ada hukum-hukum yang mantap yang dapat menerangkan dengan pasti proses penuaan tersebut. Hanya oleh sementara sarjana dianggap, bahwa penyebab kematian oleh radiasi adalah sama dengan tekanan-tekanan yang diberikan oleh faktor-faktor lain dalam kehidupan.

## 2. Perubahan yang ganas

Yang biasanya disebut perubahan yang ganas ialah terjadinya/timbulnya pertumbuhan jaringan tumor ganas. Secara umum pertumbuhan itu dapat digambarkan sebagai "pertumbuhan baru yang otonom" yang ditinjau dalam hal perilakunya, membabi-buta., hanya mengingat dirinya sendiri dan bukan demi kepentingan seluruh organisme yang mengandungnya secara integral dan utuh, dan tidak tunduk pada disiplin normal dari tubuh. Pada umumnya sel-sel komponen menunjukkan kecenderungan untuk tetap bersifat muda dan tidak mengalami diferensiasi untuk keperluan sesuatu, sangat agresif terhadap sekitarnya, kerap kali bersifat metastatik (baik dengan perantaraan darah, getah bening atau pisau bedah).

## III. REAKTOR DAYA DENGAN KESELAMATAN PENDUDUK.

Apabila kita mendengar apa yang dikemukakan di atas, kita akan merasa ditakut-takuti oleh kerusakan yang mungkin timbul sebagai akibat radiasi. Pertanyaannya sekarang, apakah dari suatu reaktor daya kita akan mendapatkan risiko yang sedemikian besar itu. Untuk keperluan penggambaran ini akan dikutipkan tulisan Clement Eicheldinger (1975) sebagai berikut :

Pengaruh dari reaktor daya nuklir adalah terutama disebabkan oleh keradioaktifan yang rendah yang terlepas dan pembuangan panas sisa kepada alam sekitarnya. Jumlah keradioaktifan yang dilepaskan oleh reaktor daya nuklir adalah sedemikian kecilnya 10 sehingga hanya merupakan suatu fraksi dari apa yang kita/terima dari radiasi alamiah. Rata-rata masing-masing kita menerima seperseribu radiasi dari reaktor daya nuklir dibandingkan dengan yang kita terima dari sinar X yang dipakai dalam kedokteran maupun kedokteran gigi. Bahkan pusat daya yang memakai bahan bakar fosil (batubara dan minyak) melepaskan pula keradioaktifan, yang semula dikandung dalam bahan bakarnya.

Kwantita yang rendah dari bahan-bahan radioaktif yang terlepas dari reaktor daya nuklir diawasi dengan ketat karena telah ada peraturan-peraturan yang mengharuskan demikian. Kriteria untuk dosis-dosis pemaparan penduduk terhadap radiasi yang diperkenankan telah direkomendasikan oleh Internasional Commission on Radiological Protection (ICRP) dan National Council on Radiation Protection (NCRP). Para ahli dari kedua badan tersebut yang berasal dari seluruh dunia menetapkan suatu satuan 'Maximum Permissible Exposure' (MPE) sebanyak 5.000 millirem per tahun untuk pekerja-pekerja radiasi, dan 500 millirem per tahun untuk individu dari penduduk biasa. The Nuclear Regulatory Commission (NRC), bahkan menuntut agar pelepasan radiasi rutin dari reaktor daya nuklir harus dipertahankan pada taraf "as low as practicable". Pedoman umum merekomendasi, bahwa individu yang paling banyak mendapat

pemaparan, yaitu orang-orang yang hidup selama setahun penuh pada perbatasan daerah reaktor itu, tidak boleh menerima radiasi melebihi 5 millirem setahun, yaitu hanya 1/100 besaran yang disarankan secara internasional. Bahkan andaikata reaktor daya nuklir tetap dibangun terus tanpa ada perbaikan-perbaikan teknologi, taraf radiasi yang dapat diharapkan akan diterima oleh penduduk Amerika rata-rata pada tahun 2000, dengan perkiraan akan ada 1.000 reaktor, akan hanya 1/5 millirem. Radiasi alamiah dan dari sumber-sumber lain akan mencapai angka 600 kali lebih besar dari itu.

Efek potensiil dari pelepasan keradioaktifan tarap rendah dari reaktor daya nuklir terhadap penduduk umum, termasuk bayi, telah secara sungguh-sungguh diperhitungkan dan dianggap tidak perlu merupakan sesuatu yang perlu dikhawatirkan. Sampai saat sekarang ini belumlah ada bukti-bukti yang meyakinkan bahwa radiasi yang dilepaskan oleh reaktor daya nuklir meningkatkan risiko akan kematian bayi atau menyebabkan efek genetik maupun somatik kepada penduduk umum. US Nuclear Regulatory Commission baru-baru ini menentukan peraturan yang menjamin bahwa penduduk umum tidak akan menerima pemaparan yang lebih besar dari beberapa persen dibandingkan dengan yang diterimanya dari radiasi alamiah. Untuk penggambaran ini dapat dilihat tabel-tabel terlampir.

Di samping itu dalam tingkat internasional dikemukakan pula suara-suara yang berusaha menjamin akan keselamatan penduduk yang diusahakan berdampingan dengan pertimbangan-pertimbangan ekonomi misalnya :

1. Tidak membenarkan pemaparan radiasi mengion apabila tidak dapat diharapkan keuntungan yang cukup besar.
2. Penduduk umum harus dilindungi terhadap radiasi tetapi tidak boleh sampai demikian jauh sehingga tingkat perlindungan itu akan menghasilkan sesuatu yang merupakan bahaya yang lebih besar daripada bahaya yang dapat ditimbulkan oleh radiasi itu sendiri. Kecuali itu, tidaklah perlu diusahakan penurunan risiko yang sudah kecil itu lebih rendah lagi dengan mempertaruhkan biaya yang besar yang sebenarnya dapat dimanfaatkan untuk mempertinggi daya guna yang diinginkan.
3. Harus diadakan pembatasan maksimum kepada pemaparan non-medis buatan manusia terhadap individu-individu dari penduduk umum sedemikian rupa, sehingga risiko untuk mendapatkan efek somatik serious pada individu demikian itu sekecil-kecilnya, dan yang masih dapat diterima dibandingkan dengan efek yang dapat diterima dari sumber lain.
4. Harus diadakan pembatasan maksimum kepada pemaparan non-medis buatan manusia terhadap penduduk umum. Pemaparan rata-rata yang diperkenankan kepada penduduk umum harus cukup lebih rendah dibandingkan batas tertinggi yang diperkenankan untuk individu-individu.
5. Radiasi untuk keperluan medis dapat dan harus dikurangi dengan membatasi penggunaannya pada prosedur-prosedur klinik yang benar dengan menggunakan teknik pemaparan yang efisien dan cara pemakaian alat penyinaran yang optimal.
6. Pedoman untuk operasi reaktor daya nuklir harus berdasarkan "cost-benefit analysis" khususnya dengan memperhatikan risiko biologik dan faktor lingkungan yang ada dan "cost-effectiveness" dalam penurunan risiko itu. Penentuan besaran "as low as practicable" harus ditunjang dan pertimbangan

- akan efek terhadap kesejahteraan kehidupan masyarakat harus diperhatikan.
7. Di samping operasi rutin normal dari reaktor daya nuklir, keberhati-hatian terhadap kemungkinan dan penghitungan bahaya efek pelepasan yang di luar perhitungan harus diadakan.
  8. Batas-batas pemaparan rutin bagi pekerja maupun dalam keadaan darurat harus didasarkan kepada hasil-hasil yang berhubungan dengan risiko somatik pada individu.
  9. Dalam hal kemungkinan efek radiasi kepada lingkungan, telah terasa bahwa apabila pedoman-pedoman dan standard itu telah diterima sebagai memadai untuk manusia, maka akan sangat kecil kemungkinannya hal itu akan menimbulkan bahaya yang berarti kepada makhluk hidup lainnya. Sekalipun demikian, penelitian-penelitian ekologi harus diperbaiki dan diperkuat, dan hendaklah diambil langkah-langkah untuk dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan dibawah ini :
    - a. Berapa banyak, dan dimana, dan keradioaktifan tipe apa yang dilepaskan;
    - b. Bagaimana pergerakan dari zat-zat aktif ini didalam lingkungan ekologi;
    - c. Dimana zat-zat itu akan terkumpul dalam sistem alamiah;
    - d. Berapa lama yang diperlukan untuk zat-zat ini bergerak sehingga mencapai tempat yang akan berhubungan dengan manusia;
    - e. Apakah efeknya terhadap lingkungan itu;
    - f. Bagaimana dapatnya keterangan-keterangan itu digunakan sebagai peringatan dini untuk menghindarkan perkembangannya sehingga mencapai taraf yang merupakan masalah yang besar.

## KESIMPULAN.

Radiasi baik alamiah maupun buatan manusia dapat berbahaya bagi manusia baik bagi dirinya sendiri yang terkena, maupun bagi keturunannya. Sumber radiasi buatan manusia terdiri dari : yang digunakan untuk kedokteran, kedokteran gigi, industri dan juga alat-alat dapur maupun hiburan, disamping yang digunakan sebagai pembangkit tenaga (reaktor daya). Penggunaan semua itu mengandung risiko, dan risiko itu telah disadari. Dari sebab itu telah diadakan ketentuan-ketentuan yang berusaha untuk merendahkan risiko tersebut, baik yang didasarkan kepada pengalaman empirik, maupun atas dasar perhitungan. Sejauh ketentuan-ketentuan itu, yang disusun oleh para ahli, ditaati, manusia tidak perlu dicemaskan oleh bahaya tersebut. Hanya kecelakaan yang diluar kemampuan manusia saja yang masih mungkin meniadakan kegunaan usaha perlindungan ini.

Akhirnya didalam setiap langkah dalam kehidupan, manusia selalu dihadapkan kepada pilihan-pilihan. Setiap persimpangan jalan meminta kebijaksanaan untuk memilih; dan yang diharapkan adalah pemilihan yang disertai pertimbangan yang rasional tanpa membenahi terlalu berat moral kita terhadap generasi-generasi yang akan datang.

## SUMBER BACAAN (antara lain) :

1. R.L. BRENT. Effect of Radiation on the Foetus, Newborn and Child in Late Effects of Radiation, Proc. U of Chicago, (1969) 23 - 60;
2. A.B. BRILL and R.E. JOHNSTON. Exposure of Men to Radiation in Late Effects of Radiation, Proc. Coll. U of Chicago, (1969) 1 - 22;

3. C. EICHELDINGER. Nuclear Power. The Best Choice To Meet Our (US) Energy Need Testimony of Westinghouse Electric Corporation Pittsburgh, Penn.; (1975).
4. J.F. LOUTIT, Irradiation of Mice and Men, U of Chicago Press, Chicago & London
5. E.F. OAKSBERG. Mammalian Gametogenesis and Species Comparisons in Radiation Exposure of the Gonads, in Effect of Radiation Meiotic Systems IAEA, STI/Pub/173, Vienna. (1968)
6. U N S C E A R. Natural Sources of Radiation A/AC/.82/R. 297. (1975)
7. U N S C E A R. Genetic Effect of Radiation A/AC.82/R. 302. (1975)
8. J.C. VILLFORTH, Basic Concepts and Principles of Assessment. In Population Dose Evaluation and Standards for Man and his Environment Proc. Seminar IAEA - WHO, STI/Pub/375, Vienna (1974).

#### Lampiran I

Table I. Comparison of Radiation Levels From Nuclear Power Plants With Current Limitations, Natural Background.

	<b>Individual</b>
Occupational Exposure Limits	5000 mrem/yr
Maximum Exposure to an Individual of the General Public	500 mrem/yr
Maximum Average Exposure to Population Groups	170 mrem/yr
Average Exposure from Medical Diagnostics	36 mrem/yr
Maximum Incremental Limits to Individual Living Near Nuclear Power Plant	5 mrem/yr
Average Exposure to Naturally Occuring Radiation	130 mrem/yr
Average Radiation Exposure of General Public To Nuclear Power Plant Radiations	(Currently) 0,003 mrem/yr
Average Radiation Exposure of General Public To Nuclear Power Plant Radiations	(extrapolated *) to year 2000) 0.2 mrem/yr

\*) Assumes 1000 reactors operational by year 2000.

Lampiran II.

Table 2. Summary of Health Effects and Biological Risk Factors For Exposure to Ionizing Radiation <sup>(1)</sup>

Effect	Risk fo Factor (Effect per million person-rem)	
	Range	Mean
Overall Cancer Mortality from whole Body Radiation	50 - 500	200
Genetic Risk from Gonadal Radiation	60 - 1500	300
Lung Cancer Mortality from external or internal exposure	0.2 - 1.8	1.3
Skin Cancer from external exposure	1.3	2.0
Thyroid Cancer from internal or external exposure	1.0 - 9.3	5.0
Bone Cancer from internal or external exposure	0.11 - 0.55	0.2

(1) From BEIR report- Report of Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation. "The Effects on Population of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation" by Div. of Medical Sciences, National Academy of Sciences and National Research Council;

DAFTAR KATA – KATA

1. Aktivitas jenis : a). Keaktifan dari isotop radioaktif per kesatuan berat dari unsur yang ada dalam contoh (dalam hal pembuatan isotop).  
b). Keaktifan per kesatuan massa radionuklida murni.  
c). Keaktifan material radioaktif apa saja per kesatuan massa.
2. Atresia follikel : Menghilangkan gelembung telur (folikel) dalam ovarium yang dimaksudkan untuk tidak dilanjutkan sebagai pembentuk telur yang berfungsi.
3. Delesi : Menghilang karena terurai.
4. Diferensiasi sel : Perkembangan sel menjadi sel khusus.
5. Disintegrasi = peluruhan : Proses semakin turunnya keaktifan suatu isotop radioaktif.
6. Efek akuta : Efek yang segera dapat nampak, sebagai kebalikan dari efek tertunda.
7. Elektron orbit : Elektron yang berputar mengelilingi inti atom.
8. Endosteum : Lapisan jaringan ikat yang mengandung saluran saluran darah yang melapisi rongga-rongga tulang yang mengandung sumsum
9. Faali : Sesuatu yang berkaitan dengan faal (fisiologi).
10. Foetus : Manusia yang berkembang, biasanya sejak tiga bulan sesudah terjadinya pembuahan sampai lahir.
11. Harga paroh : Waktu yang diperlukan oleh suatu isotop radioaktif untuk masih mengandung keaktifan separoh dari keaktifan semula.
12. Hypoplasia : Suatu keadaan pada perkembangan organa atau bagian dari organa yang berhenti pada taraf di bawah ukuran normal atau dalam taraf tidak sempurna.
13. Implantasi embryo : Menempelnya embryo (telur yang telah dibuahi) pada dinding uterus (kandungan)
14. In utero : Didalam uterus
15. Irreversible : Proses yang irreversible ialah apabila telah terjadi perubahan, tidak akan dapat kembali kepada keadaan semula.
16. Karsinogenik : Dapat menimbulkan pertumbuhan kanker
17. Kelenjar endokrin : Kelenjar yang mengeluarkan hormon.
18. Kosmogenik : Yang ditimbulkan oleh interaksi dengan sinar kosmik.
19. Leukemia : Suatu penyakit akut atau menahun yang tidak diketahui penyebabnya pada manusia atau he-

- wan berdarah panas, yang menyangkut organa pembentuk darah, yang menunjukkan gejala-gejala peningkatan jumlah lekosit (sel darah putih) secara tidak normal dalam jaringan tubuh, dengan atau tanpa adanya gejala yang serupa pada darah yang beredar.
20. Malformasi kongenital : Malformasi (adanya bentuk bagian-bagian tubuh yang tidak normal) pada waktu kelahiran.
  21. Meson : Partikel inti atom yang tidak stabil yang mula-mula ditemukan dalam sinar kosmik yang dapat bermuatan positif, negatif atau netral.
  22. Metastatik : Metastasis = perpindahan tempat dari tempat penyakit mula-mula ke tempat lain dalam tubuh dan menimbulkan penyakit yang serupa dengan penyakit yang semula.
  23. Mikrocephali : Kepala kecil, yang tidak normal.
  24. Neutron : Bagian inti atom yang tidak bermuatan
  25. Nuklida : Atom dengan nomor atom dan massa atom khas. Ada nuklida stabil. ada nuklida radioaktif.
  26. Nuklir : Yang berkaitan dengan inti (atom) = nukleus.
  27. Organ : Bagian atau alat tubuh
  28. Ovulasi : Terlepasnya telur masak dari kandung telur, biasanya 9 – 15 hari sesudah hari pertama haid.
  29. Partikel : Butir-butir bagian
  30. Patologik : Keadaan sakit
  31. Photon : Suatu kesatuan besaran dari radiasi elektromagnetik (cahaya, sinar gamma, X);
  32. Proton : Bagian dari inti atom yang bermuatan positif
  33. Radiasi interna : Radiasi yang berasal dari sumber radiasi (radioisotop) yang terdapat dalam tubuh yang semula dapat berasal dari luar. Sebagai imbalan : radiasi externa = radiasi dari sumber diluar tubuh.
  34. Radiasi mengion : Radiasi yang dapat menguraikan suatu zat menjadi ion-ion, baik yang bermuatan positif maupun negatif.
  35. Reaksi nuklir : Reaksi dimana inti atom berubah, yang menghasilkan isotop lain dari unsur yang sama atau unsur yang berbeda.
  36. Sub-seluler : Yang berhubungan dengan bagian-bagian dalam sel.
  37. Sun-tan : Warna coklat pada kulit sebagai pengaruh radiasi sinar matahari.
  38. Terinduksi : Timbul karena suatu pengaruh luar, tidak spontan
  39. Troposfir : Bagian atmosfer dibawah stratosfir, 7 -- 10 mil dari permukaan laut.

## DISKUSI

### PERTANYAAN :

Sugimin W.W.

Saya pernah membaca : dengan radiasi pada suatu binatang dapat diperoleh keturunan yang lebih baik, misalnya anaknya banyak, tahan penyakit dan sebagainya. Pertanyaan saya :

- 1). Bagaimana cara pengendaliannya agar radiasi tersebut tidak merusak.
- 2). Apakah sudah dicoba juga pada manusia.
- 3). Apakah juga ada percobaan dengan radiasi untuk mempercantik diri.

### JAWABAN :

Sugiarto.

- 1). Radiasi dapat menyebabkan mutasi. Misalnya pada pertanian, mutant padi misalnya, dapat beranak banyak, tahan penyakit dan lain-lain, tapi hasil mutant yang bersifat baik ini hanya berjumlah satu fraksi kecil, dan kebanyakan mutant bersifat tidak baik. Hasil baik tadi sebenarnya adalah hasil mutasi yang disusul dengan seleksi.
- 2). Maka dari itu pada manusia tak mungkin dilakukan.
- 3). Cantik adalah relatif. Hasil radiasi dosis tinggi adalah malformasi, jadi tidak lebih cantik dari yang normal.

### PERTANYAAN :

Dr F. Tambunan.

- 1). Radiasi yang mempengaruhi sel-sel tubuh manusia, radiasi jenis apakah ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , proton, netron dan sebagainya) yang paling berbahaya ?. Apakah semua jenis radiasi sama bahayanya ?.
- 2). Dalam kunjungan ke PLTN-PLTN dan pusat-pusat reaktor, saya alami, bahwa para wanita pada umumnya ditolak/tidak diperbolehkan masuk. Apakah alasan hal itu, apakah karena para wanita lebih peka terhadap akibat negatif dari radiasi ?.

C. Soegiarto M. Sc.

- 1). Efek radiasi yang beraneka warna bergantung pada LET dan RBE yang berbeda-beda pada jenis radiasi maupun enersi radiasi. Pada dasarnya radiasi dengan bernilai LET tinggi dan RBE tinggi akan berakibat lebih besar.
- 2). Kepekaan wanita terhadap radiasi lebih rendah daripada pria. Hanya saja karena sel kelamin seorang wanita terbatas, pria tidak, maka mungkin pembatasan ini ada kaitannya dengan usaha menghindari kerusakan pada gamet wanita.

### PERTANYAAN :

Dr E. Tahir.

- \* Apa gejala permulaan dari seseorang yang lama exposure terhadap sumber radiasi ?
- \* Apakah daftar dalam hal 15, berlaku untuk wanita hamil kurang dari 3 bulan ?
- \* Bagaimana peraturan/undang-undang di Indonesia yang menangani masalah akibat radiasi/ganti rugi dan sebagainya ?

**KOMENTAR :**

\* Pembagian radiasi :

- ion → energi tinggi :  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  & neutron.
- non ion → energi tidak tinggi : u, v, sinar putih (matahari), infra merah, micro wave, F.R. (Frekuensi Radio).

- \* Seharusnya ada beda antara efek sinar radiasi ion dan listrik. Sinar radiasi tidak memiliki gelombang listrik dan magnetic field.

**PERTANYAAN :**

Kasijan R.

Apakah air tidak ditembus oleh radiasi akibat ledakan nuklir ?

**JAWABAN :**

C. Soegiarto.

Air merupakan suatu zat pelindung yang baik dinamis zat-zat yang lain.

**PERTANYAAN :**

Andini Martono.

Apakah ketahanan manusia terhadap radiasi ada hubungannya dengan besar badannya ? Seperti halnya ketahanan manusia terhadap tegangan sentuh (electric shock) yang antara lain tergantung/sebanding dengan berat badan, terutama besar potongan melintang dari suatu makhluk, misalnya babi lebih tahan dari pada kambing.

**JAWABAN :**

C. Soegiarto.

Berhubung dengan besarnya badan, tidak tahu, tapi kiranya tidak besar bedanya. Kalau perbedaan antar jenis ada, semakin tinggi tingkat dalam tahanevolusi semakin peka terhadap radiasi. Sebabnya, karena semakin tinggi tingkat evolusi semakin besar volume kromosoma dalam genom per sel.

**PERTANYAAN :**

J.S. Siringosingo.

Apakah perbedaan ketahanan individu-individu cukup berarti ? Apakah hal ini dapat diukur ?. Bila perbedaan itu cukup berarti apakah tidak sebaiknya diadakan kriteria untuk penerimaannya karyawan yang menyangkut bahaya-bahaya radioaktif, berdasarkan tingkat ketahanan tersebut ?.

**JAWABAN :**

C. Sugiarto.

Penentuan batas-batas dosis-dosis yang diperbolehkan didasarkan kepada ukuran "standar man". Perbedaan antara individu tidak diperhatikan, kalau pun itu ada. Kriteria untuk orang Indonesia sama dengan standard internasional, dan apabila perlu dapat diteliti. Sudah ada ketentuan-ketentuan untuk pekerja, penduduk dan lain-lain.