

#12

RADIASI

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi menyebabkan penggunaan gelombang elektromagnetik meningkat dalam kehidupan sehari-hari. Dalam Komunikasi, semua sistem komunikasi modern menggunakan bentuk radiasi elektromagnetik. Variasi intensitas radiasi berupa perubahan suara, gambar, atau informasi lain yang sedang dikirim. Misalnya, suara manusia dapat dikirim sebagai gelombang radio atau gelombang mikro dengan membuat gelombang bervariasi sesuai variasi suara.

Dalam perkembangan ilmu dan teknologi, Para peneliti menggunakan atom radioaktif untuk menentukan umur bahan yang dulu bagian dari organisme hidup. Usia bahan tersebut dapat diperkirakan dengan mengukur jumlah karbon radioaktif mengandung dalam proses yang disebut penanggalan radiokarbon. Kalangan ilmuwan menggunakan atom radioaktif sebagai atom pelacak untuk mengidentifikasi jalur yang dilalui oleh polutan di lingkungan.

Sedangkan radiasi digunakan untuk menentukan komposisi bahan dalam proses yang disebut analisis aktivasi neutron. Dalam proses ini, para ilmuwan membombardir contoh zat dengan partikel yang disebut neutron. Beberapa atom dalam sampel menyerap neutron dan menjadi radioaktif. Para ilmuwan dapat mengidentifikasi elemen-elemen dalam sampel dengan mempelajari radiasi yang dilepaskan.

Radio adalah teknologi yang digunakan untuk pengiriman sinyal dengan cara modulasi dan radiasi elektromagnetik (gelombang elektromagnetik). Gelombang ini melintas dan merambat lewat udara dan bisa juga merambat lewat ruang angkasa yang hampa udara, karena gelombang ini tidak memerlukan medium pengangkut (seperti molekul udara).

Dalam dunia kedokteran penggunaan radiasi dan zat radioaktif digunakan untuk diagnosis, pengobatan, dan penelitian. Properti sinar X memungkinkan dokter untuk menemukan tulang rusak dan untuk menemukan kanker yang mungkin tumbuh dalam tubuh. Dokter juga menemukan penyakit tertentu dengan menyuntikkan zat radioaktif dan pemantauan radiasi yang dilepaskan sebagai bergerak melalui substansi tubuh.

2. PEGENALAN RADIASI ELEKTROMAGNETIK

2.1. Pengertian dan Definisi Radiasi

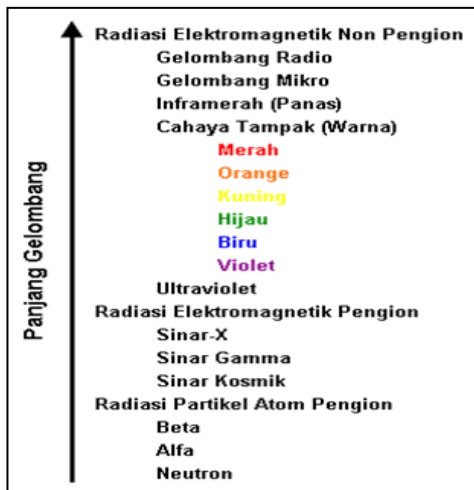
Dalam fisika, radiasi mendeskripsikan setiap proses di mana energi bergerak melalui media atau melalui ruang, dan akhirnya diserap oleh benda lain.

Apa yang membuat radiasi adalah bahwa energi memancarkan (yaitu, bergerak ke luar dalam garis lurus ke segala arah) dari suatu sumber. geometri ini secara alami mengarah pada sistem pengukuran dan unit fisik yang sama berlaku untuk semua jenis radiasi.

Radiasi adalah fenomena/peristiwa penyebaran energi gelombang elektromagnetik atau partikel subatom melalui vakum atau media material.

Gelombang Elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat walau tidak ada medium.

Radiasi terdiri dari beberapa jenis, dan setiap jenis radiasi tersebut memiliki panjang gelombang masing-masing, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Radiasi Menurut Jenis

Ditinjau dari "massa" nya, radiasi dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

- 1) Radiasi elektromagnetik,** adalah radiasi yang tidak memiliki massa. Radiasi ini terdiri dari gelombang radio, gelombang mikro, inframerah, cahaya tampak, sinar-X, sinar gamma dan sinar kosmik.
- 2) Radiasi partikel,** adalah radiasi berupa partikel yang memiliki massa, misalnya partikel beta (β), partikel alfa (α), sinar gamma (γ), sinar-X, partikel neutron.

Jika ditinjau dari "muatan listrik"nya, radiasi dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

- 1) Radiasi Pengion,** adalah radiasi yang apabila menumbuk atau menabrak sesuatu, akan muncul partikel bermuatan listrik yang disebut ion (radiasi yang dapat menimbulkan ionisasi).

Termasuk ke dalam radiasi pengion adalah sinar-X, partikel alfa (α), partikel beta (β), sinar gamma (γ), partikel neutron.

Partikel beta (β), partikel alfa (α), dan neutron dapat menimbulkan ionisasi secara langsung. Meskipun tidak memiliki massa dan muatan listrik, sinar-X, sinar gamma dan sinar kosmik juga termasuk ke dalam radiasi pengion karena dapat menimbulkan ionisasi secara tidak langsung.

- 2) Radiasi Non-Pengion,** adalah radiasi yang tidak dapat menimbulkan ionisasi.

Termasuk ke dalam radiasi non-pengion adalah gelombang radio, gelombang mikro, inframerah, cahaya tampak dan ultraviolet.

Sedangkan dilihat dari "jenis" nya, radiasi terdiri dari: radiasi elektromagnetik, radiasi pengion, radiasi thermal, radiasi Cerenkov, radiasi sel hidup, radiasi matahari, radiasi nuklir, radiasi benda hitam, radiasi non-ionisasi, radiasi cosmic.

Radiasi telah menjadi bagian dari lingkungan semenjak dunia ini diciptakan, bukan hanya sejak ditemukan tenaga nuklir setengah abad yang lalu, yang mana terdapat lebih dari 60 radionuklida.

Berdasarkan "asal" nya, radiasi dapat dibedakan menjadi dua sumber, yaitu:

1) Sumber radiasi alam.

Radiasi alam dapat berasal dari sinar kosmos, sinar gamma dari kulit bumi, hasil peluruhan radon dan thorium di udara, serta berbagai radionuklida alamiah yaitu radionuklida yang terbentuk secara alami yang terbagi menjadi dua, yaitu:

- a) **Primordial**, yaitu radionuklida ini telah ada sejak bumi diciptakan. Pada Tabel 1 memperlihatkan beberapa radionuklida primordial.
- b) **Kosmogenik**, yaitu radionuklida ini terbentuk sebagai akibat dari interaksi sinar kosmik.

Tabel 1. Radionuklida Primordial

Nuklida	Lambang	Umur-paro	Keterangan
Uranium 235	^{235}U	$7,04 \times 10^8$ tahun	0,72% dari uranium alam
Uranium 238	^{238}U	$4,47 \times 10^9$ tahun	99,2745% dari uranium alam; pada batuan terdapat 0,5–4,7 ppm uranium alam
Thorium 232	^{232}Th	$1,41 \times 10^{10}$ tahun	Pada batuan terdapat 1,6–20 ppm.
Radium 226	^{226}Ra	$1,60 \times 10^3$ tahun	Terdapat di batu kapur
Radon 222	^{222}Rn	3,82 hari	Gas mulia
Kalium 40	^{40}K	$1,28 \times 10^9$ tahun	Terdapat di tanah

2) Sumber radiasi buatan.

Radiasi buatan adalah radiasi yang timbul karena atau berhubungan dengan kegiatan manusia, seperti penyinaran di bidang medik, jatuhnya radioaktif, radiasi yang diperoleh pekerja radiasi di fasilitas nuklir, radiasi yang berasal dari kegiatan di bidang industri: radiografi, *logging*, pabrik lampu. Pada Tabel 2 memperlihatkan beberapa radionuklida buatan manusia.

Tabel 2. Radionuklida Buatan Manusia

Nuklida	Lambang	Umur-paro	Sumber
Tritium 3	^3H	12,3 tahun	Dihasilkan dari uji coba senjata nuklir, reaktor nuklir, dan fasilitas olah ulang bahan bakar nuklir.
Iodium 131	^{131}I	8,04 hari	Produk fisik yang dihasilkan dari uji coba senjata nuklir, reaktor nuklir. ^{131}I sering digunakan untuk mengobati penyakit yang berkaitan dengan kelenjar thyroid.
Iodium 129	^{129}I	$1,57 \times 10^7$ tahun	Produk fisi yang dihasilkan dari uji coba senjata nuklir dan reaktor nuklir.

Nuklida	Lambang	Umur-paro	Sumber
Cesium 137	^{137}Cs	30,17 tahun	Produk fisi yang dihasilkan dari uji coba senjata nuklir dan reaktor nuklir.
Stronsium 90	^{90}Sr	28,78 tahun	Produk fisi yang dihasilkan dari uji coba senjata nuklir dan reaktor nuklir.
Technesium 99m	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6,03 jam	Produk peluruhan dari ^{99}Mo , digunakan dalam diagnosis kedokteran.
Technesium 99	^{99}Tc	$2,11 \times 10^5$ tahun	Produk peluruhan $^{99\text{m}}\text{Tc}$.
Plutonium 239	^{239}Pu	$2,41 \times 10^4$ tahun	Dihasilkan akibat ^{238}U ditembaki neutron.

2.2. Besaran dan Satuan Radiasi

Satuan radiasi ada beberapa macam, tergantung pada kriteria penggunaannya, yaitu (BATAN, 2008):

1) Satuan untuk paparan radiasi.

Paparan radiasi dinyatakan dengan satuan **Rontgen**, (sering disingkat dengan **R**) adalah suatu satuan yang menunjukkan besarnya intensitas sinar-X atau sinar gamma yang dapat menghasilkan ionisasi di udara dalam jumlah tertentu.

Satuan Rontgen penggunaannya terbatas untuk mengetahui besarnya paparan radiasi sinar-X atau sinar Gamma di udara. Satuan Rontgen belum bisa digunakan untuk mengetahui besarnya paparan yang diterima oleh suatu medium, khususnya oleh jaringan kulit manusia.

2) Satuan dosis absorpsi medium.

Radiasi pengion yang mengenai medium akan menyerahkan energinya kepada medium tersebut. Dalam hal ini medium menyerap radiasi. Untuk mengetahui banyaknya radiasi yang terserap oleh suatu medium digunakan satuan dosis radiasi terserap atau *Radiation Absorbed Dose* (disingkat **Rad**). Jadi dosis absorpsi merupakan ukuran banyaknya energi yang diberikan oleh radiasi pengion kepada medium.

Dalam satuan SI, satuan dosis radiasi serap disebut dengan **Gray** (disingkat **Gy**). Dalam hal ini 1 Gy sama dengan energi yang diberikan kepada medium sebesar 1 Joule/kg.

Dengan demikian maka: **1 Gy = 100 Rad**

Sedangkan hubungan antara Rontgen dengan Gray adalah: **1 R = 0,00869 Gy**

3) Satuan dosis ekuivalen.

Satuan untuk dosis ekuivalen lebih banyak digunakan berkaitan dengan pengaruh radiasi terhadap tubuh manusia atau sistem biologis lainnya. Dosis ekuivalen ini semula berasal dari pengertian *Rontgen Equivalen of Man* (disingkat **Rem**) yang kemudian menjadi nama satuan untuk dosis ekuivalen.

Hubungan antara dosis ekuivalen dengan dosis absorpsi dan quality faktor adalah sebagai berikut:

$$\text{Dosis ekuivalen (Rem)} = \text{Dosis serap (Rad)} \times Q$$

Sedangkan dalam satuan SI, dosis ekuivalen mempunyai satuan **Sievert** (disingkat **Sv**). Hubungan antara Sievert dengan Gray dan Quality adalah sebagai berikut:

$$\text{Dosis ekuivalen (Sv)} = \text{Dosis serap (Gy)} \times Q$$

Berdasarkan perhitungan: **1 Gy = 100 Rad**, maka **1 Sv = 100 Rem**

2.3. Radiasi Elektromagnetik Non-Pengion

Radiasi elektromagnetik non-pengion yaitu gelombang radio, gelombang mikro, inframerah, ultraviolet dan cahaya yang tampak. Radiasi elektromagnetik mengambil bentuk gelombang yang menyebar dalam udara kosong atau dalam materi. Radiasi elektromagnetik memiliki komponen medan listrik dan magnetik yang berosilasi pada fase saling tegak lurus dan ke arah propagasi energi.

Gelombang Elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat walau tidak ada medium, yang dirumuskan oleh Maxwell yang terbentang dalam rentang frekuensi yang luas.

Sebagai sebuah gejala gelombang, gelombang elektromagnetik dapat diidentifikasi berdasarkan frekuensi dan panjang gelombangnya. Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik sebagaimana gelombang radio.

2.3.1. Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Energi elektromagnetik merambat dalam gelombang dengan beberapa karakter yang bisa diukur, yaitu: panjang gelombang (*wavelength*), frekuensi, amplitudo (*amplitude*), kecepatan.

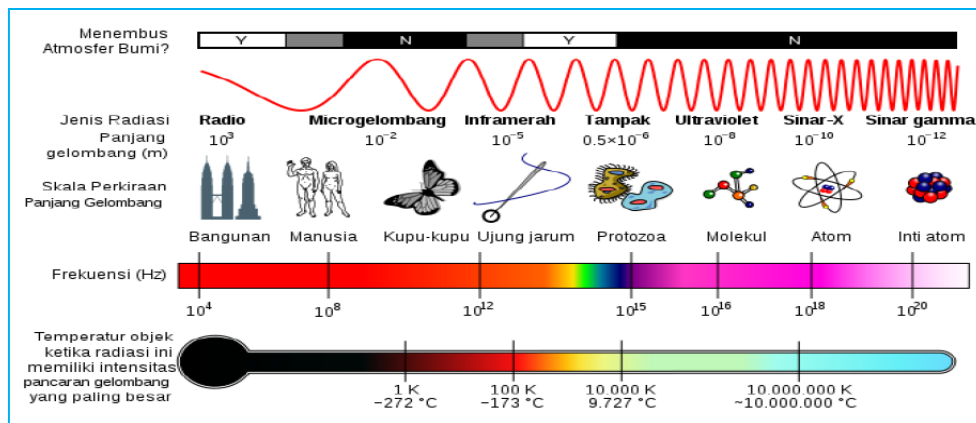
Amplitudo adalah tinggi gelombang, sedangkan panjang gelombang adalah jarak antara dua puncak. Frekuensi adalah jumlah gelombang yang melalui suatu titik dalam satu satuan waktu. Frekuensi tergantung dari kecepatan merambatnya gelombang. Karena kecepatan energi elektromagnetik adalah konstan (kecepatan cahaya), panjang gelombang dan frekuensi berbanding terbalik. Semakin panjang suatu gelombang, semakin rendah frekuensinya, dan semakin pendek suatu gelombang semakin tinggi frekuensinya.

Beberapa ciri gelombang elektromagnetik adalah sebagai berikut:

- 1) Perubahan medan listrik dan medan magnetik terjadi pada saat yang bersamaan, sehingga kedua medan memiliki harga maksimum dan minimum pada saat yang sama dan pada tempat yang sama.

- 2) Arah medan listrik dan medan magnetik saling tegak lurus dan keduanya tegak lurus terhadap arah rambat gelombang.
- 3) Dari ciri nomor 2 diperoleh bahwa gelombang elektromagnetik merupakan gelombang transversal.
- 4) Seperti halnya gelombang pada umumnya, gelombang elektromagnetik mengalami peristiwa pemantulan, pembiasan, interferensi, dan difraksi. Juga mengalami peristiwa polarisasi karena termasuk gelombang transversal.
- 5) Cepat rambat gelombang elektromagnetik hanya bergantung pada sifat-sifat listrik dan magnetik medium yang ditempuhnya.

Pada Gambar 2 memperlihatkan spektrum gelombang elektromagnetik.



Gambar 2. Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Spektrum elektromagnetik adalah rentang semua radiasi elektromagnetik yang mungkin, dan dapat dijelaskan dalam panjang gelombang, frekuensi, atau tenaga per foton, seperti penjelasan berikut ini.

- Jika panjang gelombang dikalikan dengan frekuensi, maka hasilnya adalah kecepatan cahaya = 300 Mm/s, yaitu 300 MmHz.
- Energi dari foton adalah 4.1 feV per Hz, yaitu 4.1 μ eV/GHz.
- Panjang gelombang dikalikan dengan energi per foton adalah 1.24 μ eVm.

Pada Tabel 3 menjelaskan spektrum elektromagnetik di mana gelombang elektromagnetik dapat dihasilkan oleh pemberian arus bolak-balik ke sebuah antena.

Tabel. Spektrum Elektromagnetik Antena

Nama Band	Singkatan	Band ITU	Frekuensi	Panjang Gelombang
			< 3 Hz	> 100,000 km
<i>Extremely low frequency</i>	ELF	1	3–30 Hz	100,000–10,000 km
<i>Super low frequency</i>	SLF	2	30–300 Hz	10,000– 1000 km
<i>Ultra low frequency</i>	ULF	3	300–3000 Hz	1000–100 km
<i>Very low frequency</i>	VLF	4	3–30 kHz	100–10 km
<i>Low frequency</i>	LF	5	30–300 kHz	10–1 km

Nama Band	Singkatan	Band ITU	Frekuensi	Panjang Gelombang
<i>Medium frequency</i>	MF	6	300-3000 kHz	1-100 m
<i>High frequency</i>	HF	7	3-30 MHz	100-10 m
<i>Very high frequency</i>	VHF	8	30-300 MHz	10-1 m
<i>Ultra high frequency</i>	UHF	9	300-3000 MHz	1-100 mm
<i>Super high frequency</i>	SHF	10	3-30 GHz	100-10 mm
<i>Extremely high frequency</i>	EHF	11	30-300 GHz	10-1 mm
			> 300 GHz	< 1 mm

Sumber Gelombang Elektromagnetik

Sumber gelombang elektromagnetik, terdiri dari:

- 1) Osilasi listrik.
- 2) Sinar matahari menghasilkan sinar infra merah.
- 3) Lampu merkuri menghasilkan ultra violet.
- 4) Penembakan elektron dalam tabung hampa pada keping logam menghasilkan sinar X (digunakan untuk rontgen).

Pada Tabel 4 memperlihatkan jenis gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang masing-masing.

Tabel 4. Panjang Gelombang Elektromagnetik

Gelombang	Panjang Gelombang λ	Gelombang	Panjang Gelombang λ
Gelombang radio	1 mm - 10.000 km	Ultra violet	10 - 400nm
Infra merah	0,001 - 1 mm	Sinar X	0,01 - 10 nm
Cahaya tampak	400 - 720 nm	Sinar gamma	0,0001 - 0,1 nm

2.3.2. Cahaya Tampak

Cahaya tampak adalah bagian spektrum yang mempunyai panjang gelombang antara lebih kurang 400 nanometer (nm) dan 800 nm (dalam udara), dan sebagai radiasi elektromagnetik yang paling dikenal oleh kita dapat didefinisikan sebagai bagian dari spektrum gelombang elektromagnetik yang dapat dideteksi oleh mata manusia. Kegunaan cahaya salah satunya adalah penggunaan laser dalam serat optik pada bidang telekomunikasi dan kedokteran.

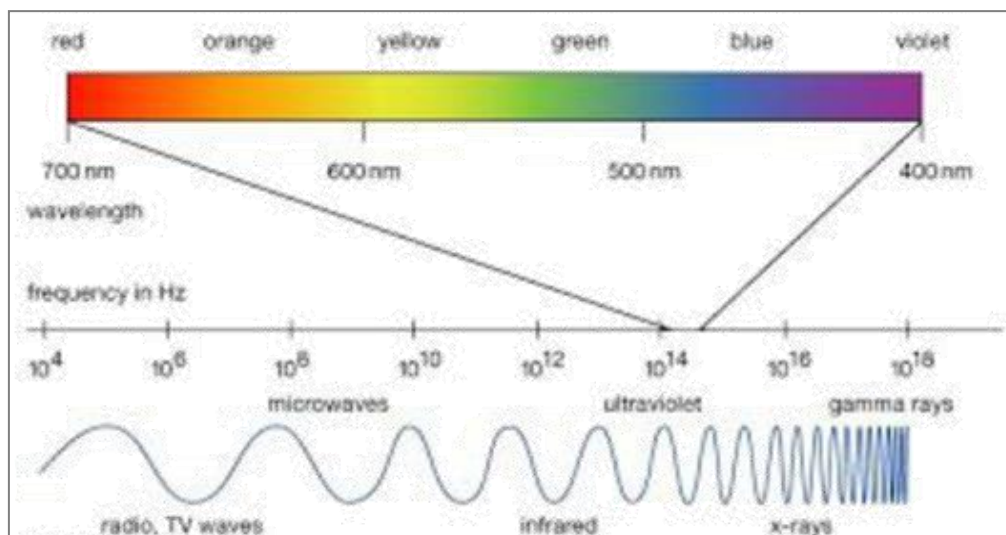
Rumus kecepatan cahaya: $v = \lambda f$

Jika cahaya bergerak di dalam vakum, maka: $v = c$, jadi: $c = \lambda f$

Dapat juga di notasikan sebagai: $v = c/n$

Dimana: λ = panjang gelombang, f = frekuensi, v = kecepatan cahaya, c = laju cahaya, n = indeks biasan (konstan) yang mana adalah sifat material yang dilalui oleh cahaya.

Pada gambar 4 ditunjukkan cahaya tampak beserta warna-warnanya.



Gambar 4. Cahaya tampak (warna: merah, orange, kuning, hijau, biru, violet)

Semua cahaya bergerak pada laju yang terhingga. Walaupun seseorang bergerak, maka akan senantiasa mendapat laju cahaya adalah c (laju cahaya dalam vakum) = 299.792.458 meter per detik (186.282.397 mil per detik), namun apabila cahaya melalui objek yang dapat menembus cahaya seperti udara, air dan kaca, maka kelajuannya akan berkurang, dan cahaya tersebut mengalami pembiasan, yaitu $n = 1$ dalam vakum dan $n > 1$ di dalam benda lain.

2.3.3. Gelombang Radio

Gelombang radio dikelompokkan menurut panjang gelombang ($\lambda = 1 \text{ mm} - 10.000 \text{ km}$) atau frekuensinya. Jika panjang gelombang tinggi, maka pasti frekuensinya rendah atau sebaliknya. Frekuensi gelombang radio mulai dari 30 kHz ke atas dan dikelompokkan berdasarkan lebar frekuensinya. Gelombang radio dihasilkan oleh muatan-muatan listrik yang dipercepat melalui kawat-kawat penghantar. Muatan-muatan ini dibangkitkan oleh rangkaian elektronika yang disebut osilator. Gelombang radio ini dipancarkan dari antena dan diterima oleh antena pula.

Frekuensi gelombang radio untuk pengiriman suara

Gelombang radio adalah satu bentuk dari radiasi elektromagnetik, dan terbentuk ketika objek bermuatan listrik dari gelombang osilator (gelombang pembawa) dimodulasi dengan gelombang audio (ditumpangkan frekuensinya) pada frekuensi yang terdapat dalam frekuensi gelombang radio (RF/"radio frequency") pada suatu spektrum elektromagnetik, dan radiasi elektromagnetiknya bergerak dengan cara osilasi elektrik maupun magnetic. Ketika gelombang radio dikirim melalui kabel kemudian dipancarkan oleh antena, osilasi dari medan listrik dan magnetik tersebut dinyatakan dalam bentuk arus bolak-balik dan voltase di dalam kabel. Dari pancaran gelombang radio ini kemudian dapat diubah oleh radio penerima (pesawat radio) menjadi signal audio atau lainnya yang membawa siaran dan informasi. Gelombang radio merambat pada frekuensi 100.000 Hz sampai 100.000.000.000 Hz.

Umumnya memiliki efek *non-thermal* (medan listrik dan magnet) yaitu gangguan sistem syaraf, jantung, reproduksi, kanker pada anak-anak.

2.3.4. Gelombang Mikro (*Microwave*)

Gelombang mikro (*microwave*) adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang antar 1 mm hingga 1 m. Atau dengan kata lain memiliki frekuensi di antara 300 MHz (0,3 GHz) hingga 300GHz.

Gelombang mikro termasuk gelombang dengan dengan frekuensi super tinggi (*Super High Frequency/SHF*) dengan standar SHF adalah 3–30 GHz atau 10 hingga 1 cm panjang gelombangnya, sedangkan dalam RF (*Radio Frequency*) *Engineering* biasanya dipakai antara 1 GHz (30 cm) dan 100 GHz (3mm).

Efek radiasi gelombang mikro

Radiasi gelombang mikro dapat mempengaruhi proses vital dalam tubuh manusia. Efek yang dapat ditimbulkan antara lain perubahan fungsi membran sel, perubahan metabolisme kalsium dan komunikasi antar sel, proliferasi sel, mutasi sel, aktivasi HSP (*heat shock proteins*), dan kematian sel. Menurut acuan ilmiah, efek yang dilaporkan adalah kerusakan DNA dan gangguan kromosom, peningkatan produksi radikal bebas, penuaan dini, perubahan fungsi otak termasuk kehilangan ingatan, penurunan kemampuan belajar.

Pada Tabel 5 dapat diketahui perbandingan spektrum dari elektromagnet.

Tabel 5. Perbandingan Spektrum Elektromagnet

Nama	Panjang Gelombang	Hertz (Hz)	Energi Foton (eV)
Sinar gamma	kurang dari 0,02 nm	lebih dari 15 EHz	lebih dari 62,1 keV
Sinar-X	0,01 nm - 10 nm	30 EHz - 30 PHz	124 keV - 124 eV
Ultraungu	10 nm - 400 nm	30 PHz - 750 THz	124 eV - 3 eV
sinar tampak	390 nm - 750 nm	770 THz - 400 THz	3,2 eV - 1,7 eV
Inframerah	750 nm - 1 mm	400 THz - 300 GHz	1,7 eV - 1,24 meV
Gelombang mikro	1 mm - 1 meter	300 GHz - 300 MHz	1,24 meV - 1,24 μ eV
Gelombang radio	1 mm - 100.000 km	300 GHz - 3 Hz	1,24 meV - 12,4 feV

2.3.5. Sinar Inframerah (Panas)

Inframerah adalah radiasi elektromagnetik dari panjang gelombang lebih panjang dari cahaya tampak, tetapi lebih pendek dari radiasi gelombang radio. Namanya berarti "bawah merah" (dari bahasa Latin *infra* berarti "bawah"), merah merupakan warna dari cahaya tampak dengan gelombang terpanjang.

Sinar inframerah dihasilkan oleh elektron dalam molekul-molekul yang bergetar karena benda diipaskan. Jadi setiap benda panas pasti memancarkan sinar inframerah. Jumlah sinar inframerah yang dipancarkan bergantung pada suhu dan warna benda.

Jenis-jenis inframerah berdasarkan panjang gelombang, antara lain:

- Inframerah jarak dekat dengan panjang gelombang 0,75 - 1,5 μ m.

- Inframerah jarak menengah dengan panjang gelombang 1,50 – 10 μm .
- Inframerah jarak jauh dengan panjang gelombang 10 – 100 μm .

Pada bidang Industri, penggunaannya antara lain:

- 1) **Lampu inframerah**, merupakan lampu pijar yang kawat pijarnya bersuhu di atas $\pm 2500^\circ\text{K}$. Hal ini menyebabkan sinar infra merah yang dipancarkannya menjadi lebih banyak dari pada lampu pijar biasa. Lampu infra merah ini biasanya digunakan untuk melakukan proses pemanasan di bidang industri.
- 2) **Pemanasan inframerah**, merupakan suatu kondisi ketika energi inframerah menyerang sebuah objek dengan kekuatan energi elektromagnetik yang dipancarkan di atas -273°C (0°K dalam suhu mutlak). Pemanasan inframerah banyak digunakan pada alat-alat seperti, pemanggang dan bola lampu (90% panas – 10% cahaya).

2.3.6. Radiasi Ultraungu

Radiasi ultraungu (sering disingkat UV, dari bahasa Inggris: *ultraviolet*) adalah radiasi elektromagnetis terhadap panjang gelombang yang lebih pendek dari daerah dengan sinar tampak, namun lebih panjang dari sinar-X yang kecil.

Radiasi UV dapat dibagi menjadi hampir UV (panjang gelombang: 380–200 nm) dan UV vakum (200–10 nm). Radiasi UV dapat berpengaruh terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Jarak panjang gelombang sering dibagi lagi kepada UVA (380–315 nm), yang juga disebut "Gelombang Panjang" (*blacklight*); UVB (315–280 nm), yang juga disebut "Gelombang Medium" (*Medium Wave*); dan UVC (280–10 nm), juga disebut "Gelombang Pendek" (*Short Wave*).

Absorpsi maksimal sinar UV di dalam sel terjadi pada asam nukleat, maka diperkirakan mekanisme utama kerusakan sel oleh sinar UV pada ribosom, sehingga mengakibatkan terjadinya mutasi atau kematian sel (Atlas, 1997).

Manfaat Radiasi Ultraungu

Sinar matahari memiliki banyak manfaat bagi kesehatan antara lain:

- Membantu pembentukan vitamin D yang dibutuhkan oleh tulang.
- Dalam dunia kesehatan digunakan sebagai seterilisator untuk alat-alat kesehatan dan seterilisasi ruangan operasi.
- Membunuh bakteri-bakteri patogen pada air minum.

Bahaya Radiasi Ultraungu Pada Kulit

Pada dasarnya, kulit manusia dilengkapi dengan perlindungan alami dari sinar matahari yaitu pigmen melanin. Kulit yang gelap menandakan kandungan pigmen dalam jumlah banyak, begitu juga sebaliknya. Penelitian membuktikan bahwa semakin banyak pigmen, semakin kecil kemungkinan seseorang terkena kanker kulit karena pigmen berfungsi sebagai penangkal dampak sinar UV yang dipancarkan matahari. Sering beraktivitas di bawah sinar matahari tanpa pelindung kulit, akan menyebabkan kulit lebih cepat mengalami penuaan. Kulit jadi cepat berkerut dan timbul bercak-bercak hitam yang kita kenal sebagai flek hitam.

Sinar UV juga bisa membuat kulit tidak mulus karena menebal atau menipis. Bisa juga muncul benjolan-benjolan kecil yang ukurannya bervariasi. Benjolan-benjolan atau flek pada kulit bisa berkembang menjadi tumor jinak bahkan kanker kulit. Khususnya pada orang yang banyak bekerja di bawah terik matahari atau sering berjemur di pantai. Tidak heran bila bintik awal kanker kulit timbul di bagian tubuh yang terbuka seperti wajah, kepala, tangan dan bagian yang banyak terpapar sinar matahari.

Sinar Matahari tidak sepanjang hari merusak kulit, sebelum pukul 09.00 pagi justru penting untuk tulang. Kita justru harus waspada pada pancaran sinar yang berlangsung sejak pukul 09.00 hingga 15.00, sebab disaat waktu tersebut sinar matahari mengandung sinar UV yang dapat merusak kulit.

Bahaya Radiasi Ultraungu pada Mata

Radiasi sinar UV pada mata akan menyebabkan terjadinya reaksi oksidasi pada lensa mata yang akan menimbulkan kekeruhan pada lensa sehingga timbullah penyakit yang disebut katarak, juga kerusakan pada kornea dan retina.

2.4. Radiasi Elektromagnetik Pengion

Jenis dan mekanisme radiasi elektromagnetik pengion

Jenis sumber radiasi alam yang banyak dikenal antara lain U-238 dan Th-232, masing-masing sebagai inti induk, sedang deret peluruhannya dikenal sebagai deret uranium dan deret thorium.

Radiasi pengion yang dihasilkan oleh transisi elektron dalam kulit atom akibat tumbukan elektron berkecepatan tinggi dengan atom logam berat, misalnya Pb atau Cu, disebut sinar-X yang merupakan radiasi dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang mempunyai daya tembus tinggi.

Ion dari atom helium, hidrogen, deuterium, tritium, dan lain-lain, yang dipercepat juga bersifat pengion.

Sumber pemaparan radiasi Pengion yaitu industri tabung sinar katoda, pembangkit tenaga nuklir, pertambangan, rumah sakit (kedokteran gigi, radiologi, laboratorium, lembaga penelitian, dan pertanian).

2.4.1. Radiasi Gamma (γ)

Radiasi gamma atau sinar gamma (dinotasikan dengan huruf Yunani gamma, γ) adalah sebuah bentuk berenergi dari radiasi elektromagnetik yang diproduksi oleh radioaktivitas atau proses nuklir atau subatomik lainnya seperti penghancuran elektron-positron.

Sinar gama membentuk spektrum elektromagnetik energi-tertinggi. Seringkali didefinisikan bermula dari energi 10 keV atau 2,42 EHz atau 124 pm, meskipun radiasi elektromagnetik dari sekitar 10 keV sampai beberapa ratus keV juga dapat menunjuk kepada sinar X keras. Tidak ada perbedaan fisikal antara sinar gama dan sinar X dari energi yang sama yang merupakan dua nama untuk radiasi elektromagnetik yang sama, sama seperti sinar matahari dan sinar bulan adalah dua nama untuk cahaya tampak.

Sinar gamma adalah istilah untuk radiasi elektromagnetik energi tinggi yang diproduksi oleh transisi energi karena percepatan elektron. Karena beberapa transisi elektron memungkinkan untuk memiliki energi lebih tinggi dari beberapa transisi nuklir, ada tumpang-tindih antara apa yang kita sebut sinar gama energi rendah dan sinar-X energi tinggi.

Sinar gamma merupakan sebuah bentuk radiasi mengionisasi. Mereka lebih menembus dari radiasi alfa atau beta (keduanya bukan radiasi elektromagnetik), tapi kurang mengionisasi.

Kedua jenis radiasi ini (sinar gamma dan sinar X) mempunyai potensi bahaya yang lebih besar dibandingkan dengan jenis radiasi lainnya. Pengaruh sinar kosmik hampir dapat diabaikan karena sebelum mencapai tubuh manusia, radiasi ini telah berinteraksi terlebih dahulu dengan atmosfer bumi.

2.4.2. Radiasi Kosmik

Radiasi pengion berenergi tinggi yang berasal dari benda angkasa dan menembus ke dalam atmosfer bumi (sistem tata surya) disebut radiasi kosmik primer, dan radiasi kosmik yang dihasilkan oleh interaksi radiasi kosmik primer dengan inti atom yang ada di udara disebut radiasi kosmik sekunder.

Radiasi kosmik ini berinteraksi dengan atmosfer bumi dan membentuk nuklida radioaktif yang sebagian besar mempunyai umur-paro pendek, walaupun ada juga yang mempunyai umur-paro panjang. Tabel 6 memperlihatkan beberapa radionuklida kosmogenik.

Tabel 6. Radionuklida Kosmogenik

Nuklida	Lambang	Umur-paro	Sumber
Karbon 14	^{14}C	5.730 tahun	Interaksi $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$
Tritium 3	^3H	12,3 tahun	Interaksi $^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}$
Berilium 7	^7Be	53,28 hari	Interaksi sinar kosmik dengan unsur N dan O

1) Radiasi alpha (α)

Partikel Alpha (dinamakan sesuai huruf pertama pada abjad Yunani, α) adalah bentuk radiasi partikel yang sangat menyebabkan ionisasi, dan kemampuan penetrasinya rendah. Partikel tersebut terdiri dari dua buah proton dan dua buah neutron yang terikat menjadi sebuah partikel yang identik dengan nukleus helium, dan karenanya dapat ditulis juga sebagai He^{2+} .

Partikel Alpha dipancarkan oleh nuklei yang radioaktif seperti uranium atau radium dalam proses yang disebut dengan peluruhan alpha. Kadang-kadang proses ini membuat nukleus berada dalam *excited state* dan akan memancarkan sinar gamma untuk membuang energi yang lebih. Partikel alpha tidak dapat menembus kertas yang agak tebal karena muatannya.

2) Radiasi beta (β)

Partikel Beta adalah elektron atau positron yang berenergi tinggi yang dipancarkan oleh beberapa jenis nukleus radioaktif seperti kalium-40.

Partikel beta yang dipancarkan merupakan bentuk radiasi yang menyebabkan ionisasi, yang juga disebut sinar beta. Produksi partikel beta disebut juga peluruhan beta.

Terdapat dua macam peluruhan beta, β^- and β^+ , yang masing-masing adalah elektron dan positron.

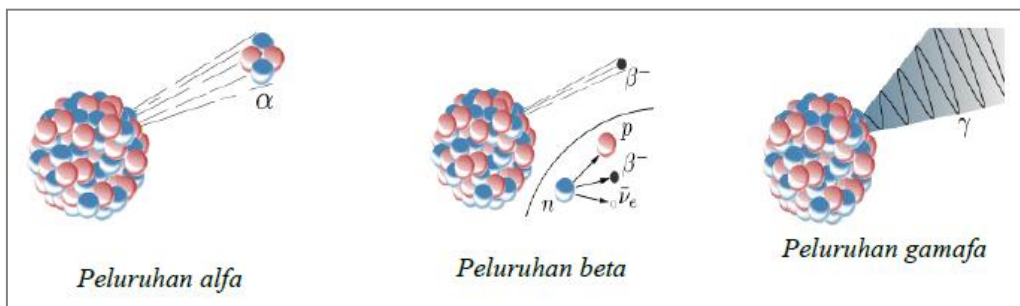
Penyinaran langsung dari partikel beta adalah berbahaya karena emisi dari pemancar beta yang kuat bisa memanaskan atau bahkan membakar kulit. Namun masuknya pemancar beta melalui penghirupan dari udara menjadi perhatian yang serius karena partikel beta langsung dipancarkan ke dalam jaringan hidup sehingga bisa menyebabkan bahaya di tingkat molekuler yang dapat mengganggu fungsi sel.

Karena partikel beta begitu kecil dan memiliki muatan yang lebih kecil daripada partikel alfa maka partikel beta secara umum akan menembus masuk ke dalam jaringan, sehingga terjadi kerusakan sel yang lebih parah. Radionuklida pemancar beta terdapat di alam dan juga merupakan buatan manusia. Seperti halnya Potassium-40 dan Carbon-14 yang merupakan pemancar beta lemah yang ditemukan secara alami dalam tubuh kita.

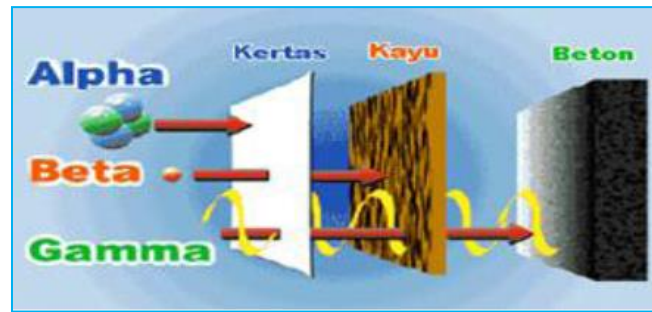
Pemancar beta digunakan untuk *medical imaging*, diagnosa, dan prosedur perawatan (seperti mata dan kanker tulang), yakni technetium-99m, phosphorus-32, and iodine-131. Stronsium-90 adalah bahan yang paling sering digunakan untuk menghasilkan partikel beta. Partikel beta juga digunakan dalam *quality control* untuk menguji ketebalan suatu item seperti kertas yang datang melalui sebuah *system of rollers*. Beberapa radiasi beta diserap ketika melewati produk. Jika produk yang dibuat terlalu tebal atau terlalu tipis maka radiasi dengan jumlah berbeda akan diserap.

Radiasi beta hanya dapat menembus kertas tipis, dan tidak dapat menembus tubuh manusia, sehingga pengaruhnya dapat diabaikan. Demikian pula dengan radiasi alfa, yang hanya dapat menembus beberapa milimeter udara.

Pada Gambar 5 dapat diketahui peluruhan alfa, beta dan gamma. Sedangkan pada Gambar 6 menunjukkan daya tembus beberapa radiasi pengion.



Gambar 5. Peluruhan Alfa, Beta dan Gamma



Gambar 6. Daya Tembus Beberapa Radiasi Pengion

3) Radiasi Neutron

Radiasi Neutron adalah jenis radiasi non-ion yang terdiri dari neutron bebas. Neutron ini bisa mengeluarkan baik spontan atau induksi fisi nuklir, proses fusi nuklir, atau dari reaksi nuklir lainnya. Neutron tidak mengionisasi atom dengan cara yang sama bahwa partikel bermuatan seperti proton dan elektron tidak (menarik elektron), karena neutron tidak memiliki muatan. Namun, neutron mudah bereaksi dengan inti atom dari berbagai elemen, membuat isotop yang tidak stabil dan karena itu mendorong radioaktivitas dalam materi yang sebelumnya non-radioaktif. Proses ini dikenal sebagai aktivasi neutron.

3. DOSIS DAN EFEK RADIASI

3.1. Satuan dan Dosis Radiasi

Untuk mendeteksi radiasi dengan menggunakan alat **Detektor Radiasi**, pengukuran detektor radiasi tersebut dapat diinterpretasikan sebagai energi radiasi yang terserap di seluruh tubuh manusia atau di organ tertentu, misalnya hati.

Banyaknya energi radiasi pengion yang terserap per satuan massa bahan, misalnya jaringan tubuh manusia, disebut **Dosis Terserap** yang dinyatakan dalam satuan **gray** (simbol **Gy**). Untuk nilai yang lebih kecil, biasa digunakan **miligray** (**mGy**) yang sama dengan seperseribu gray. Istilah gray diambil dari nama fisikawan Inggris, Harold Gray. Besar dosis terserap yang sama untuk jenis radiasi yang berbeda belum tentu mengakibatkan efek biologis yang sama, karena setiap jenis radiasi pengion memiliki keunikan masing-masing dalam berinteraksi dengan jaringan tubuh manusia.

Sebagai contoh, dosis terserap 1 Gy yang berasal dari radiasi alfa lebih berbahaya dibandingkan dengan dosis terserap 1 Gy yang berasal dari radiasi beta.

Karena adanya perbedaan tersebut, kita memerlukan besaran dosis lain yang tidak bergantung pada jenis radiasi. Besaran itu disebut **Dosis Ekuivalen** dan memiliki satuan **sievert** (simbol **Sv**). Untuk nilai yang lebih kecil, biasa digunakan **milisievert** (**mSv**) yang sama dengan seperseribu sievert. Istilah sievert diambil dari nama fisikawan Swedia, Rolf Sievert.

Untuk faktor bobot radiasi dari berbagai jenis radiasi dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Nilai Faktor Bobot Radiasi (W_R) Berbagai Jenis Radiasi

Jenis radiasi		W_R
1.	Foton, untuk semua energi	1
2.	Elektron dan muon, semua energi	1
3.	Neutron	
	a. termal	5
	b. energi tidak diketahui	10
	c. cepat	20
4.	Proton, selain proton rekoil, dengan energi > 2 MeV	5
5.	Partikel alfa, fragmen fisi, inti berat	20

* Nilai W_R menurut SK No. 01/Ka. BAPETEN/V-1999

Dosis ekuivalen adalah dosis terserap dikalikan dengan **Faktor Bobot-Radiasi**. Nilai faktor bobot-radiasi ini berlainan untuk setiap jenis radiasi, bergantung pada kemampuan radiasi tersebut untuk merusak jaringan tubuh manusia.

Faktor bobot-radiasi untuk elektron (radiasi beta), foton (gamma dan sinar-X) bernilai 1 (satu), sedang untuk radiasi alfa bernilai 20. Ini berarti radiasi alfa bisa mengakibatkan kerusakan pada jaringan tubuh 20 kali lebih parah dibandingkan dengan radiasi beta, gamma atau sinar-X. Dengan adanya dosis ekuivalen ini, maka kita dapat menyatakan bahwa dosis ekuivalen 1 Sv yang berasal dari radiasi alfa akan mengakibatkan kerusakan yang sama dengan dosis ekuivalen 1 Sv yang berasal dari radiasi beta.

Selain bergantung pada jenis radiasi, setiap organ atau jaringan tubuh juga mempunyai kepekaan masing-masing terhadap radiasi. Kerusakan akibat radiasi yang diterima oleh suatu organ, misalnya hati, juga berbeda dengan organ lain, misalnya paru-paru. Karena itu, setiap organ juga mempunyai Faktor Bobot-Organ yang dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Nilai Faktor Bobot-Organ (W_T)

Organ atau jaringan tubuh	W_T *	W_T **
Kelamin (gonad)	0,25	0,20
Sumsum tulang	0,12	0,12
Usus besar (colon)	-	0,12
Paru-paru	0,12	0,12
Lambung	-	0,12
Ginjal	-	0,05
Payudara	-	0,05
Hati	-	0,05
Kerongkongan (oesophagus)	-	0,05
Kelenjar gondok (thyroid)	0,03	0,05
Kulit	-	0,01
Tulang (permukaan)	0,03	0,01
Dada	0,15	-
Organ sisanya	0,30	0,05

* Nilai W_T menurut SK No. 01/Ka. BAPETEN/V-1999

** Nilai W_T menurut ICRP No. 60 (1990)

Untuk memudahkan, biasanya kita hanya memperhatikan berapa dosis radiasi yang mengenai seluruh tubuh. Besaran dosis radiasi ini disebut **Dosis Efektif**. Dosis efektif menyatakan penjumlahan dari dosis ekuivalen yang diterima oleh setiap organ utama tubuh dikalikan dengan faktor bobot-organnya.

Perhitungan dosis efektif

Misalnya seseorang menerima dosis ekuivalen 100mSv pada paru-paru, 70mSv pada hati dan 300mSv pada tulang. Dosis efektif = $(100 \times 0,12) + (70 \times 0,05) + (300 \times 0,01) = 18,5 \text{mSv}$. Risiko akibat menerima radiasi pada beberapa organ tubuh tersebut akan sama dengan risiko jika ia menerima dosis ekuivalen 18,5mSv secara merata pada seluruh tubuhnya.

Biasanya, dosis efektif seringkali disebut secara singkat sebagai **Dosis** atau **Dosis Radiasi** saja. Dalam satuan lama, sebelum tahun 1970, dosis radiasi dinyatakan dalam **rem**, dengan 1 Sv sama dengan 100 rem.

3.2. Dosis Radiasi dan Persentasenya

Dosis radiasi yang diterima oleh seseorang dapat berasal dari alam (secara alamiah) maupun dari radiasi buatan manusia (misalnya pemakaian sinar-X dalam bidang kedokteran). Dalam laporan yang dipublikasikan pada tahun 2000, UNSCEAR (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*) menyatakan bahwa secara rata-rata seseorang akan menerima dosis 2,8 mSv (280 mrem) per tahun. Sekitar 85% dari total dosis yang diterima seseorang berasal dari alam. Sekitar 43% dari total dosis yang diterima seseorang berasal dari radionuklida radon yang terdapat di dalam rumah. Dalam tabel 9 dapat diketahui persentase asal dosis radiasi yang diterima seseorang selama setahun.

Tabel 9. Persentase Asal Dosis Radiasi Yang Diterima Seseorang Selama Setahun

Sumber		Dosis	
		mSv	%
Alamiah			
	Kosmik	0,4	14,25%
	Kerak bumi (terrestrial)	0,5	17,81%
	Internal	0,3	10,69%
	Radon	1,2	42,75%
	Jumlah	2,4	85,49%
Buatan			
	Kedokteran	0,4	14,25%
	Atmosfir	0,005	0,18%
	Kecelakaan PLTN Chernobyl	0,002	0,07%
	PLTN	0,0002	0,01%
	Jumlah	0,4072	14,51%
Total (dibulatkan)		2,8	

3.3. Efek Radiasi Terhadap Manusia

Dilihat dari interaksi biologi tadi di atas, maka secara biologis efek radiasi dapat dibedakan atas:

a) Berdasarkan jenis sel yang terkena paparan radiasi

Sel dalam tubuh manusia terdiri dari sel genetic dan sel somatic. Sel genetic adalah sel telur pada perempuan dan sel sperma pada laki-laki, sedangkan sel somatic adalah sel-sel lainnya yang ada dalam tubuh.

Berdasarkan jenis sel, maka efek radiasi dapat dibedakan atas:

- **Efek Genetik (non-somatik)** atau efek pewarisan adalah efek yang dirasakan oleh keturunan dari individu yang terkena paparan radiasi.
- **Efek Somatik** adalah efek radiasi yang dirasakan oleh individu yang terpapar radiasi. Waktu yang dibutuhkan sampai terlihatnya gejala efek somatik sangat bervariasi sehingga dapat dibedakan atas:
 - ✓ **Efek segera** adalah kerusakan yang secara klinik sudah dapat teramati pada individu dalam waktu singkat setelah individu tersebut terpapar radiasi, seperti epilasi (rontoknya rambut), eritema (memerahnya kulit), luka bakar dan penurunan jumlah sel darah. Kerusakan tersebut terlihat dalam waktu hari sampai minggu pasca iradiasi.
 - ✓ **Efek tertunda** merupakan efek radiasi yang baru timbul setelah waktu yang lama (bulanan/tahunan) setelah terpapar radiasi, seperti katarak dan kanker.

b) Berdasarkan dosis radiasi

Bila ditinjau dari dosis radiasi (untuk kepentingan proteksi radiasi), efek radiasi dibedakan atas **efek stokastik** dan **efek deterministic** (non-stokastik).

Efek Stokastik

Adalah efek yang penyebab timbulnya merupakan fungsi dosis radiasi dan diperkirakan tidak mengenal dosis ambang. Efek ini terjadi sebagai akibat paparan radiasi dengan dosis yang menyebabkan terjadinya perubahan pada sel. Radiasi serendah apapun selalu terdapat kemungkinan untuk menimbulkan perubahan pada sistem biologik, baik pada tingkat molekul maupun sel. Dengan demikian radiasi dapat pula tidak membunuh sel tetapi mengubah sel, sel yang mengalami modifikasi atau sel yang berubah ini mempunyai peluang untuk lolos dari sistem pertahanan tubuh yang berusaha untuk menghilangkan sel seperti ini. Semua akibat proses modifikasi atau transformasi sel ini disebut efek stokastik yang terjadi secara acak. Efek stokastik terjadi tanpa ada dosis ambang dan baru akan muncul setelah masa laten yang lama. Semakin besar dosis paparan, semakin besar peluang terjadinya efek stokastik, sedangkan tingkat keparahannya tidak ditentukan oleh jumlah dosis yang diterima. Bila sel yang mengalami perubahan adalah sel genetic, maka sifat-sifat sel yang baru tersebut akan diwariskan kepada turunannya sehingga timbul efek genetik atau pewarisan. Apabila sel 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.

Maka dari itu dapat disimpulkan ciri-ciri efek stokastik antara lain:

- Tidak mengenal dosis ambang.
- Timbul setelah melalui masa tenang yang lama.

- Keparahannya tidak bergantung pada dosis radiasi.
- Tidak ada penyembuhan spontan.
- Efek ini meliputi: kanker, leukemia (efek somatik), dan penyakit keturunan (efek genetik).

Efek Deterministik (non-stokastik)

Adalah efek yang kualitas keparahannya bervariasi menurut dosis dan hanya timbul bila dosis ambang dilampaui. Efek ini terjadi karena adanya proses kematian sel akibat paparan radiasi yang mengubah fungsi jaringan yang terkena radiasi. Efek ini dapat terjadi sebagai akibat dari paparan radiasi pada seluruh tubuh maupun lokal. Efek deterministik timbul bila dosis yang diterima di atas dosis ambang (*threshold dose*) dan umumnya timbul beberapa saat setelah terpapar radiasi. Tingkat keparahan efek deterministik akan meningkat bila dosis yang diterima lebih besar dari dosis ambang yang bervariasi bergantung pada jenis efek. Pada dosis lebih rendah dan mendekati dosis ambang, kemungkinan terjadinya efek deterministik dengan demikian adalah nol. Sedangkan di atas dosis ambang, peluang terjadinya efek ini menjadi 100%.

Adapun ciri-ciri efek non-stokastik, antara lain:

- Mempunyai dosis ambang.
- Umumnya timbul beberapa saat setelah radiasi.
- Adanya penyembuhan spontan (tergantung keparahan).
- Tingkat keparahan tergantung terhadap dosis radiasi.
- Efek ini meliputi: luka bakar, sterilitas/kemandulan, katarak (efek somatik).

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan:

- Efek Genetik merupakan efek stokastik, sedangkan,
- Efek Somatik dapat berupa stokastik maupun deterministik (non-stokastik).

4. STANDARD YANG DIGUNAKAN

Standar Internasional

Berdasarkan ketentuan *International Atomic Energy Agency*, zat radioaktif adalah setiap zat yang memancarkan radiasi pengion dengan aktifitas jenis lebih besar dari 70 kilo Becquerel per kilogram atau 2 nanocurie per gram. Angka 70 kBq/kg atau 2 nCi/g tersebut merupakan patokan dasar untuk suatu zat dapat disebut zat radioaktif pada umumnya. Jadi untuk radioaktif dengan aktifitas lebih kecil dapat dianggap sebagai radiasi latar belakang.

Besarnya dosis radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi tidak boleh melebihi 50 milisievert per tahun, sedangkan besarnya dosis radiasi yang diterima oleh masyarakat pada umumnya tidak boleh lebih dari 5 milisievert per tahun.

Pemaparan ke medan magnet statis telah ditangani oleh International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (lihat: www.icnirp.org). Untuk pekerjaan

pemaparan, sekarang didasarkan pada batas menghindari sensasi vertigo dan mual yang disebabkan oleh gerakan dalam medan magnet statis. Batas yang dianjurkan waktu rata-rata tertimbang dari 200 mT selama hari kerja untuk paparan kerja, dengan nilai langit-langit dari 2 T. eksposur yang berkelanjutan batas 40 mT diberikan untuk masyarakat umum.

Medan magnet statis implan logam mempengaruhi peralatan seperti alat pacu jantung ada di dalam tubuh, dan ini bisa langsung konsekuensi yang merugikan kesehatan. Disarankan bahwa pemakai alat pacu jantung, implan dan implan ferromagnetic perangkat elektronik harus menghindari lokasi di mana lapangan melebihi 0,5 mT. Selain itu, perawatan harus dilakukan untuk mencegah bahaya dari benda logam yang tiba-tiba tertarik ke magnet dalam bidang melebihi 3 mT.

Respon WHO

WHO telah aktif dalam evaluasi isu kesehatan oleh paparan medan elektromagnet (EMF) pada rentang frekuensi 0-300 GHz. Badan Internasional untuk Riset Kanker (IARC) mengevaluasi statis carcinogenicity bidang pada tahun 2002, dan WHO International EMF Project telah baru-baru ini melakukan penilaian risiko kesehatan menyeluruh dari bidang ini (Environmental Health Criteria, 2006) di mana kesenjangan dalam pengetahuan yang telah diidentifikasi. Hal ini mengakibatkan agenda penelitian beberapa tahun ke depan untuk memberi penilaian resiko kesehatan di masa depan (www.who.int/ggl). WHO merekomendasikan tinjauan standar ketika bukti baru dari literatur ilmiah telah tersedia.

Sementara itu, WHO merekomendasikan bahwa otoritas nasional menyiapkan program-program untuk melindungi publik dan pekerja dari kemungkinan efek samping bidang statis. Dalam kasus medan listrik statis, karena efek utama rasa tidak nyaman dari pembuangan listrik ke tubuh, maka cukup untuk memberikan informasi tentang pemaparan ke medan listrik yang besar dan cara menghindarinya.

Dalam kasus medan magnet statis, karena tingkat informasi tentang kemungkinan jangka panjang atau efek tertunda pemaparan saat ini tidak cukup, biaya tindakan pencegahan yang efektif dapat dibenarkan untuk membatasi eksposur pekerja dan masyarakat umum. WHO merekomendasikan bahwa pihak berwenang mengambil langkah-langkah berikut:

- Mengadopsi sains internasional berbasis standar untuk membatasi eksposur manusia.
- Mengambil tindakan perlindungan bagi industri dan penggunaan ilmiah medan magnet dengan menjaga jarak dari bidang-bidang yang dapat menimbulkan risiko yang signifikan, dengan melampirkan ladang, atau dengan menerapkan kontrol administratif seperti program pendidikan staf.
- Pertimbangkan perizinan Magnetic Resonance Imaging (MRI) unit memiliki kekuatan lapangan melebihi 2T, dalam rangka untuk memastikan bahwa upaya perlindungan diimplementasikan.

Standar Untuk Lingkungan Tempat Kerja

Untuk memonitor besarnya Frekuensi Radio dan Gelembong Mikro, Radiasi Sinar UltraUngu, dan Batas Pemaparan Medan Magnit Statis di lingkungan kerja, dan bilamana

melibihi standar yang telah ditetapkan Permennakertrans No.13/MEN/X/2011, tentang NAB (Nilai Ambang Batas) Faktor Fisika dan Kimia di Tempat Kerja seperti tertera dibawah ini.

Tabel 10. Nilai Ambang Batas Radiasi Frekuensi Radio dan Gelembong Mikro Yang diizinkan oleh Permennakertrans No.13/MEN/X/2011, tentang NAB (Nilai Ambang Batas) Faktor Fisika dan Kimia di Tempat Kerja, Lampiran-I, Nomor 4.

Frekuensi	Power Density (mW/cm ²)	Kekuatan Medan Listrik (V/m)	Kekuatan Medan Magnet (A/m)	Waktu Pemaparan (menit)
30 kHz -100 kHz		1842	163	6
100nkHz - 1 MHz		1842	16,3/f	6
1 MHz - 30MHz		1842/f	16,3/f	6
30 MHz - 100 MHz		61,4	16,3/f	6
300 MHz - 3 GHz		f/30		6
3 GHz - 30 GHzx	100			33,878,2/f ^{1,079}
30 GHz - 300GHz	100			67,62/f ^{0,476}

Keterangan:

- kHz : Kilo Hertz
- MHz : Mega Hertz
- GHz : Giga Hertz
- f : Frekuensi dalam MHz
- mW/cm² : Mili Watt per sentimeter persegi
- V/m : Volt per Meter
- A/m : Amper per Meter

Tabel 11. Nilai Ambang Batas Waktu Pemaparan Radiasi Sinar UltraUngu Yang diperkenankan oleh Permennakertrans No.13/MEN/X/2011, tentang NAB (Nilai Ambang Batas) Faktor Fisika dan Kimia di Tempat Kerja , Lampiran-I, Nomor 5.

Masa pemaparan per hari Iradiasi	Efektif (IEff) (mW/cm ²)
8 Jam	0,0001
4 jam	0,0002
2 jam	0,0004
1 jam	0,0008
30 menit	0,0017
15 menit	0,003
10 menit	0,005
5 menit	0,01
1 menit	0,05
30 detik	0,1

Masa pemaparan per hari Iradiasi	Efektif (IEff) (mW/cm ²)
10 detik	0,3
1 detik	3
0,5 detik	6
0,1detik	30

Tabel 12. Nilai Ambang Batas Pemaparan MedanMagnit Statis

Yang diizinkan oleh Permennakertrans No.13/MEN/X/2011, tentang NAB (Nilai Ambang Batas) Faktor Fisika dan Kimia di Tempat Kerja, Lampiran-I, Nomor 6.

No.	Bagian Tubuh	Kadar Tertinggi Diperkenankan (Ceiling)
1.	Seluruh Tubuh (tempat kerja umum)	2T
2.	Seluruh Tubuh (pekerja khusus dan lingkungan kerja yang terkendali)	8T
3.	Anggota gerak (Limbs)	20T
4.	Pengguna peralatan medis elektronik	0,5mT

Keterangan: mT (milli Tesla)

Tabel 13. Nilai Ambang Batas medan magnit untuk frekwensi 1 - 30 kHz

Yang diizinkan oleh Permennakertrans No.13/MEN/X/2011, tentang NAB (Nilai Ambang Batas) Faktor Fisika dan Kimia di Tempat Kerja, Lampiran-I, Nomor 7.

No	Bagian Tubuh	NAB (TWA)	Rentang Frekuensi
1.	Seluruh tubuh	60/f mT	1 - 300 Hz
2.	Lengan dan paha	300/f mT	1 - 300 Hz
3.	Tangan dan kaki	600/f mT	1 - 300 Hz
4.	Anggota tubuh dan seluruh tubuh	0,2 mT	300 Hz - 30 KHz

Keterangan: f adalah frekuensi dalam Hz.

5. HEALTH HAZARD CONTROL

Pengendalian bahaya resiko, Radiasi elektromagnetik (gelombang radio, gelombang mikro, inframerah, cahaya tampak, sinar-X, sinar gamma dan sinar kosmik) dan Radiasi partikel (partikel beta (β), partikel alfa (α), sinar gamma (γ), sinar-X, partikel neutron), dimulai dari antisipasi, rekognisi (indetifikasi resiko), *risk assessment*, dan *control*.

1) Pengendalian Secara Administratif

Suatu metode administrasi untuk mencegah atau meminimalkan pajanan terhadap hazard radiasi, meliputi:

a) Klasifikasi daerah kerja.

- b) Pemasangan tanda-tanda secara jelas.
- c) Pelatihan PR untuk pekerja dan manajer.
- d) Prosedur kerja yang mengintegrasikan faktor waktu, jarak dan penahan.
- e) *Local rules* (misalnya pembatasan akses, persyaratan untuk memakai dosimeter alarm).
- f) Inventaris sumber.
- g) Sistem audit keselamatan radiasi.
- h) Penerapan tingkat investigasi.

2) Pengendalian Secara Teknik

Berupa pembatas fisik yang diterapkan/diintegrasikan dalam teknik proteksi radiasi elektromagnetik, adalah sebagai berikut:

- a) Penggunaan system interlocks.
- b) Pemakaian shielding tetap dalam disain fasilitas dan peralatan.
- c) Penggunaan remote manipulators.
- d) Penggunaan preset timer dalam peralatan radiografi untuk mengendalikan waktu pajanan.

3) Penyekatan (shielding) Radiasi partikel (partikel beta (β), partikel alfa (α), sinar gamma (γ), sinar-X, partikel neutron)

- a) Partikel alpha: dapat dihambat dengan bahan tipis, misalnya kertas atau lapisan luar kulit mati.
- b) Partikel beta: penyekatan dengan bahan seperti aluminium dan plastik, dengan ketebalan sp 1 cm.
- c) Neutron: dihambat dengan penyekatan bahan yang mengandung kadarhidrogen tinggi, sehingga bahan cair seperti air, poliethilen, parafin banyak digunakan.
- d) Sinar X-ray dan sinar Gamma: Intensitas sinar x dan gamma berkurang secara eksponensial dengan ketebalan bahan. Semakin tebal dan tinggi berat jenis bahan maka semakin besar intensitas radiasi yang diserap.

4) Berbagai cara dilakukan untuk melindungi seseorang terhadap efek negative radiasi pengion

Diantaranya adalah:

a) Pembatasan dosis

Pekerja radiasi tidak boleh berumur kurang dari 18 tahun dan wanita menyusui tidak diijinkan bekerja di daerah yang berkontaminasi tinggi. Misalkan, Nilai Batas Dosis (NBD) untuk penyinaran seluruh tubuh adalah 5000 mrem per tahun. NBD untuk masyarakat umum (seluruh tubuh) adalah 500 mrem dalam setahun.

b) Pembagian daerah kerja

Daerah kerja dibedakan menjadi:

- **Daerah pengawasan**, yaitu daerah yang memungkinkan seseorang menerima dosis radiasi kurang dari 1500 mrem dalam satu tahun dan bebas kontaminasi.
- **Daerah pengendalian**, yaitu daerah yang memungkinkan seseorang menerima dosis radiasi 1500 mrem atau lebih dalam setahun.

c) Klasifikasi pekerja radiasi

Untuk pembatasan penyinaran dan monitoring, maka pekerja radiasi di golongan menjadi dua, yaitu: kategori A, untuk mereka yang dapat menerima dosis sama dengan atau lebih dari 1500 mrem per tahun, dan kategori B, yaitu mereka yang mungkin menerima dosis lebih kecil dari 1500 mrem per tahun.

d) Pemeriksaan dan pengujian perlengkapannya

Pemeriksaan dan pengujian perlengkapan proteksi radiasi dan alat ukur radiasi.

e) Pengendalian bahaya radiasi

- **Pembatasan waktu kerja** → (bekerja sesingkat mungkin: Dosis = laju dosis \times waktu) sedapat mungkin diupayakan untuk tidak terlalu lama berada didekat sumber radiasi untuk mencegah terjadinya paparan radiasi yang besar, untuk itu pekerja radiasi diberlakukan pengaturan waktu berkerja didaerah radiasi.
- **Pengendalian jarak kerja** → (bekerja sejauh mungkin, laju dosis \times jarak² = konstan) dari sumber radiasi, untuk mencegah terjadi paparan tersebut maka harus menjaga jarak yang jauh dari tingkat yang aman dari sumber radiasi. Penggunaan penahan radiasi (sehelai kertas untuk radiasi alfa, aluminium atau plexiglass untuk radiasi beta, dan timbale untuk radiasi gamma dan sinar X).
- Tempatkan sumber radiasi secara benar, misal: ruang isolasi.
- Lindungi petugas operator dengan APD.