

Efek Kesehatan Radiasi Non Pengion pada Manusia

Zubaidah Alatas, Yanti Lusiyanti

*Pusat Penelitian dan Pengemangan Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir
Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta, Indonesia*

ABSTRAK

Meningkatnya perkembangan dan penggunaan peralatan yang mengeluarkan energi radiasi non pengion seperti laser, radar, *microwave oven*, jaringan listrik dan telepon genggam, menimbulkan kekhawatiran masyarakat akan adanya efek yang merugikan kesehatan akibat paparan radiasi tersebut. Dibandingkan dengan radiasi pengion, radiasi elektromagnetik non pengion mempunyai panjang gelombang yang lebih besar, frekuensi lebih kecil dan energi foton yang lebih rendah ketika berinteraksi dengan jaringan tubuh. Istilah radiasi non pengion mengacu pada jenis radiasi elektromagnetik dengan energi lebih kecil dari 10 eV, berhubungan dengan panjang gelombang pada daerah spektrum radiasi ultra violet, cahaya tampak, infra merah, gelombang mikro dan radiofrekuensi.

Makalah ini menguraikan informasi terakhir mengenai berbagai radiasi non pengion dan efek yang mungkin timbul pada tingkat molekul dan seluler dan juga pada kesehatan manusia.

PENDAHULUAN

Kekhawatiran masyarakat mengenai efek kesehatan akibat paparan radiasi elektromagnetik non pengion mulai timbul sejak akhir tahun 1960-an. Hal ini terjadi sehubungan dengan makin berkembangnya pemanfaatan sumber radiasi non pengion terutama buatan manusia seperti laser, radar, oven *microwave*, jaringan listrik, termasuk yang sedang mewabah saat ini yaitu telepon genggam; meskipun kenyataannya, risiko terbesar terhadap kesehatan berasal dari sumber radiasi non pengion alam yaitu sinar ultra violet matahari⁽¹⁾.

Pada tahun 1950-an dan 1960-an telah dibuat rekomendasi pertama mengenai pembatasan paparan radiasi *microwave* dan radiofrekuensi VHF yang dihasilkan oleh radar militer dan peralatan komunikasi. Dengan meningkatnya teknologi dan penggunaan peralatan dengan sumber radiasi non pengion ini, maka pada tahun 1992 dibentuk komisi internasional untuk menangani masalah proteksi radiasi non pengion yaitu *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*

(ICNIRP) yang sebelumnya bergabung dengan *International Radiological Protection Association* (IRPA). Sebagai organisasi ilmiah, komisi ini bekerja sama dengan *World Health Organization* (WHO) untuk mengkaji efek kesehatan akibat paparan radiasi non pengion dan menggunakan hasilnya untuk menetapkan prinsip dasar dan rekomendasi mengenai standar keselamatan dan proteksi radiasi non pengion⁽²⁾.

Beberapa *guidelines* untuk proteksi terhadap paparan radiasi non pengion pada pekerja, masyarakat, pasien dan lingkungan yang telah diterbitkan oleh IRPA/ICNIRP antara lain mengenai *Airborne Ultrasound*⁽³⁾, *Concepts, Quantities, Units and Terminology for Non-Ionizing Radiation Protection*⁽⁴⁾, *Laser Radiation*^(5,6), *Ultraviolet Radiation*⁽⁷⁾, *Radio-frequency Fields*⁽⁸⁾, *Video Display Terminals*⁽⁹⁾, *Flourescence Lighting and Malignant Melanoma*⁽¹⁰⁾, *50/60 Hz Electric and Magnetic Fields*⁽¹¹⁾, *Health Issues of UV-A sunbeds*⁽¹²⁾, *Protection of the Patient undergoing Magnetic Resonance Imaging*⁽¹³⁾, *Static Magnetic Fields*⁽¹⁴⁾ dan *Health Issues on*

Hand-Held Radio-Telephones and Base Transmitters⁽¹⁵⁾.

Bila dilihat dari sudut pandang efek biologik, radiasi elektromagnetik umumnya dianggap sebagai radiasi pengion jika mempunyai panjang gelombang lebih kecil dari 100 Angstrom yang setara dengan energi yang lebih besar dari 124 eV⁽¹⁶⁾. Berarti radiasi elektromagnetik dengan $\lambda > 10^{-6}$ cm termasuk dalam kategori radiasi non pengion.

Pada makalah ini akan diuraikan berbagai jenis radiasi yang termasuk dalam kategori radiasi elektromagnetik non pengion beserta efek kesehatan yang mungkin ditimbulkannya.

Spektrum Radiasi Elektromagnetik Non Pengion

Radiasi non pengion dapat didefinisikan sebagai penyebaran atau emisi energi yang bila melalui suatu media dan terjadi proses penyerapan, berkas energi radiasi tersebut tidak akan mampu menginduksi terjadinya proses ionisasi dalam media tersebut. Istilah radiasi non pengion secara fisika mengacu pada radiasi elektromagnetik dengan energi lebih kecil dari 10 eV yang antara lain meliputi sinar ultra violet, cahaya tampak, infra merah, gelombang mikro (*microwave*) dan radiofrekuensi elektromagnetik. Selain itu *ultrasound* juga termasuk dalam radiasi non pengion⁽¹⁷⁾.

Alat dan proses yang menghasilkan radiasi non pengion banyak dimanfaatkan dalam bidang industri, kedokteran termasuk gigi, telekomunikasi, industri hiburan, laboratorium penelitian, bangunan dan konstruksi, aplikasi militer, aplikasi pendidikan, geodesi, transportasi, periklanan, preparasi makanan komersil, dan di rumah⁽¹⁷⁾.

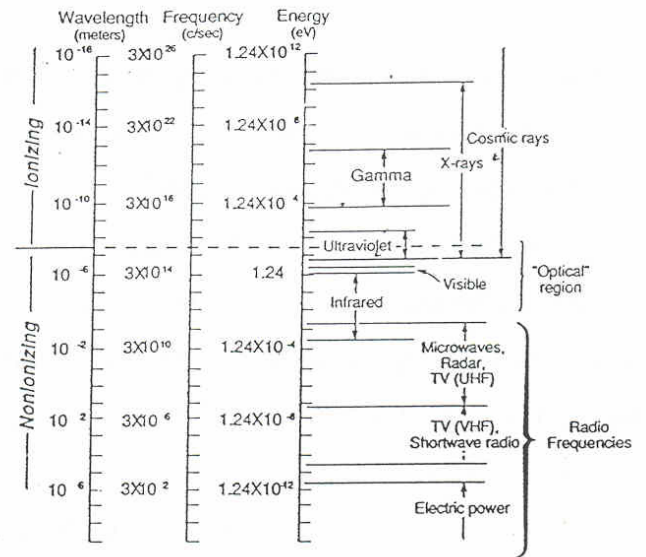
Berdasarkan panjang gelombang yang berhubungan dengan frekuensi dan energi fotonnya, radiasi non pengion dapat dibagi atas dua kelompok besar yaitu radiasi optik dengan panjang gelombang (λ) antara 100 nm sampai 1 mm dan radiasi radiofrekuensi elektromagnetik antara 1 mm sampai sekitar > 100 km⁽¹⁷⁾. Spektrum radiasi elektromagnetik yang meliputi radiasi pengion dan non pengion ditunjukkan pada **Gambar 1**.

Radiasi Optik

Kelompok radiasi optik terdiri dari 3 jenis yaitu radiasi ultra violet (UV), cahaya tampak dan infra merah (IR). Spektrum sinar UV adalah radiasi elektromagnetik yang terletak pada rentang panjang gelombang 100 nm - 400 nm, dibagi atas UV-C (100 - 280 nm), UV-B (280 - 315 nm) dan UV-A (315 - 400 nm)⁽¹⁷⁾.

Sumber radiasi UV alam adalah matahari. Namun karena adanya serapan oleh atom oksigen yang kemudian membentuk lapisan ozon, maka radiasi matahari yang sampai ke bumi (terrestrial) intensitasnya lebih rendah yang meliputi UV dengan panjang gelombang 290-400 nm sedangkan panjang gelombang yang lebih pendek diserap oleh lapisan atmosfer. Sebagai penyerap utama radiasi UV, lapisan gas ini berfungsi sebagai pelindung bumi dari pajanan sebagian radiasi UV yang lebih pendek dari 340 nm.

Berkurangnya lapisan ozon akibat pelepasan chlorofluorocarbon (CFC) buatan manusia ke atmosfer akan mengurangi daya proteksi ozon terhadap sinar UV dan memperbesar tingkat kerusakan akibat pajanan radiasi UV^(15,19).



Gambar 1. Perbandingan panjang gelombang, frekuensi dan energi dari spektrum elektromagnetik⁽¹⁷⁾.

Sumber radiasi UV buatan manusia pada dasarnya terdiri dari tiga jenis yaitu *incandescent*, seperti lampu halogen tungsten, lampu neon, lampu intensitas tinggi yang digunakan pada industri untuk fotopolimerisasi, lampu germisidal untuk sterilisasi dan lampu untuk pengelasan metal; dan laser UV seperti *excimer laser*.

Spektrum cahaya tampak berada pada panjang gelombang 400-700 nm. Sumber alamiahnya adalah matahari sedangkan sumber buatan manusia adalah lampu baca, peralatan berpendar dan laser. Laser (*Light Amplification Stimulated Emission by Radiation*) merupakan berkas radiasi dengan energi yang digabung dan dilipatgandakan intensitasnya. Berkas laser yang dipergunakan saat ini adalah sinar tampak dan infra merah^(17,20).

Sedangkan sinar infra merah terletak pada rentang panjang gelombang 770 nm - 1 mm yang dibagi atas IR-A (770 nm - 1,4 μ m), IR-B (1,4 - 3 μ m) dan IR-C (3 μ m - 1 mm). Matahari juga merupakan sumber alamiah radiasi infra merah, sedangkan sumber buatan manusia antara lain lampu infra merah yang umumnya digunakan sebagai pemanas, laser dan LED (*Light Emission Diode*)⁽¹⁷⁾.

Medan elektromagnetik radiofrekuensi

Kelompok radiasi non pengion ini berdasarkan frekuensinya dibedakan atas gelombang mikro pada frekuensi 30 MHz - 300 GHz dan gelombang radiofrekuensi pada 0,3 - 30 MHz. Peralatan gelombang mikro antara lain radar (1 40 GHz) digunakan untuk berbagai keperluan baik militer maupun sipil, peralatan industri, laboratorium, kedokteran dan rumah tangga seperti *microwave oven* (2,45 GHz). Sedangkan gelombang radiofrekuensi dapat dibagi lagi atas frekuensi tinggi (orde kHz - 230 MHz) seperti pada stasiun radio, TV UHF, TV VHF, *walkie talkie* dan alat las plastik, dan frekuensi rendah (orde Hz - MHz) seperti peralatan elektronika dan jaringan listrik. Sedangkan ultrasonik yaitu gelombang suara dengan frekuensi sangat tinggi (> 20 kHz) dimasukkan pula ke dalam kategori radiasi non pengion⁽¹⁷⁾.

EFEK KESEHATAN RADIASI OPTIK

Efek akibat pajanan radiasi optik pada tubuh sangat bergantung pada panjang gelombang yang berhubungan dengan daya tembusnya pada jaringan tubuh. Secara biologik, panjang gelombang < 180 nm (*Vacuum UV*) tidak memberikan efek nyata karena telah terserap oleh udara. UV-C lebih aktif secara fotokimia karena diserap secara kuat oleh asam amino tertentu; dengan demikian oleh kebanyakan protein. UV-B kurang bersifat fotokimia tetapi dapat menembus jaringan. UV-A sangat rendah sifat fotobiologiknya tetapi mempunyai daya tembus lebih dari UVB. Sasaran utama pajanan radiasi optik pada tubuh adalah kulit dan mata. Tidak seperti kebanyakan radiasi pengion, radiasi optik hanya diserap secara sangat superfisial dan kedalaman pada kulit dan kornea umumnya < 1 mm., dan untuk UV-C hanya beberapa lapisan sel^(18,22).

Interaksi radiasi optik dengan materi biologik umumnya menimbulkan reaksi panas/termal dan reaksi fotokimia; menghasilkan energi yang diserap oleh jaringan dalam waktu singkat sehingga dapat meningkatkan suhu jaringan. Reaksi fotokimia terjadi ketika sebuah foton mempunyai energi kuantum yang cukup untuk mengionisasi terjadinya eksitasi yang mengubah suatu molekul menjadi satu atau lebih molekul kimia yang berbeda^(2,18).

Jumlah radiasi optik terutama UV yang dapat diserap bergantung pada intensitas matahari, yang maksimum terjadi pada pukul 11.00 - 15.00 saat matahari berada di sekitar posisi tertingginya. Selain itu, intensitas matahari juga dipengaruhi oleh ketinggian karena berhubungan dengan ketebalan lapisan atmosfer yang berfungsi sebagai penahan sinar UV; diketahui bahwa refleksi sinar matahari dari salju dan tanah juga dapat meningkatkan intensitas radiasi.⁽²³⁾

Efek pajanan kronik radiasi UV lebih serius daripada efek pajanan akut. Efek yang merugikan pada mata termasuk penebalan konjungtiva, katarak, dan kanker konjungtiva. Efek kronik pada kulit yang paling penting adalah kanker kulit. Sedangkan efek akut berupa peradangan pada mata dan kulit^(20,23).

Efek Radiasi Optik Pada Tingkat Molekuler

Ikatan tunggal dan ganda molekul organik menyerap radiasi UV pada panjang gelombang 200 - 250 nm dan molekul organik berbentuk cincin pada 250 - 300 nm. Penyerapan maksimum terhadap panjang gelombang 300 - 450 nm terjadi pada molekul dengan 3 cincin seperti riboflavin, atau 4 cincin seperti porfirin dan molekul organik dengan ulangan rantai panjang seperti karotenoid⁽¹⁸⁾.

Molekul protein sel mampu menyerap secara maksimum pada panjang gelombang sekitar 280 nm dengan asam amino triptofan dan tirosin sebagai penyerap utama. Meskipun triptofan menyerap 10 kali lebih besar daripada sistein (pada 254 nm), kerusakan protein lebih sering dimediasi oleh sistein karena daya merusak sistein lebih besar⁽¹⁸⁾.

Spektrum radiasi optik yang diserap secara maksimum oleh DNA adalah pada 260 nm dengan kemampuan menyerap 10-20 kali lebih besar dari protein. Dengan demikian, DNA memberikan kontribusi besar terhadap penyerapan total UV-C (200 - 280 nm) oleh sel. Meskipun penyerapan oleh DNA

terhadap UV-B pada sekitar 300 nm jauh lebih kecil dari UV-C (10-100 kali lebih rendah), pajanan matahari menyebabkan kerusakan nyata pada DNA yang dapat membunuh sel⁽¹⁸⁾.

Kerusakan DNA akan mengalami proses perbaikan secara spontan. Masalahnya adalah bahwa proses perbaikan dapat berlangsung tanpa kesalahan (*error-free repair*) atau dengan kesalahan (*error-prone repair*), tergantung tingkat keparahannya. Pajanan radiasi UV-C dan UV-B terutama menimbulkan kerusakan pada pirimidin dengan terbentuknya dimer, seperti Cyclobutane pyrimidine dimer (CPD), yang umumnya dapat diperbaiki tanpa kesalahan. Sedangkan UV-A (315 - 400 nm) walaupun yang terserap sangat sedikit tetapi dapat menginduksi *DNA strand breaks* pada frekuensi yang jauh lebih kecil dari UV-B dan biasanya proses perbaikan berlangsung dengan kesalahan; konsekuensinya, setelah terpajan relatif lama, kode genetik dapat mengalami tingkat perubahan yang sama baik oleh UV-A maupun UV-B⁽²³⁾.

Efek Radiasi Optik Pada Kulit

Penyerapan UV-B/C pada kulit dibatasi oleh lapisan basal epidermis, sedangkan UV-A dapat menembus lebih dalam. UV-C diserap stratum korneum dan lapisan atas stratum malpighi. UV-C hanya memberikan efek tidak langsung pada lapisan hidup epidermis (melanosit dan keratinosit), mampu menginduksi produksi sitokin yang bertanggung jawab terhadap timbulnya eritema dan mampu mengubah fungsi imunitas sel langerhans sehingga mungkin terlibat dalam pembentukan kanker kulit^(20,23).

Radiasi UV-B dapat menembus semua lapisan epidermis, hanya sekitar 10-15 % dapat menjangkau bagian atas lapisan dermis. Efek pajanan ini adalah eritema dan kanker kulit; panjang gelombang yang dapat menimbulkan efek akut paling parah berupa induksi luka bakar adalah 307 nm⁽²⁰⁾.

Sedangkan radiasi UV-A yang diserap lapisan epidermis hanya 50%, sisanya mampu menembus lapisan dermis sampai kedalaman 2 mm. Efek yang ditimbulkan adalah kanker kulit, penuaan dini dan juga pigmentasi kulit akibat peningkatan produksi pigmen melanin⁽²⁰⁾.

Efek akut yang terjadi dalam jangka pendek pada kulit antara lain:

- Reaksi *sunburn* sebagai efek yang paling umum terjadi akibat pajanan sinar matahari.

Perubahan yang terjadi tergantung pada jumlah radiasi, tingkat dan kualitas melanin dan ketebalan stratum korneum. Eritema atau memerahnya kulit adalah aspek visual dari respon *sunburn*; tertunda 2 - 4 jam setelah irradiasi, puncaknya pada 14 - 20 jam, secara normal terjadi selama 72 jam. *Sunburn* yang parah biasanya diikuti dengan peningkatan ketebalan epidermis dan deskuamasi sel epidermis yang mati. *Sunburn* minimal adalah oleh cahaya merah dan tidak nyeri. *Sunburn* yang sangat parah diikuti dengan *blister* pada 48 jam kemudian⁽²⁰⁾.

Respon umum lainnya terhadap radiasi UV-B terutama pada mereka yang tidak membentuk *tan* (kecoklatan pada kulit) adalah hiperplasia yaitu penebalan akibat peningkatan jumlah lapisan sel stratum korneum. Ini secara nyata mereduksi penetrasi UV-B ke lapisan basal yang berarti merupakan suatu

sistem proteksi yang penting. Hiperplasia epidermis ini agaknya berperan penting dalam proses adaptasi terhadap pajanan UV-B yang lebih tinggi⁽¹⁸⁾.

Pajanan laser yang termasuk dalam kelompok radiasi cahaya tampak dan infra merah dapat menyebabkan *sunburn* yang parah, tergantung pada energi yang diserap. Radiasi pada 310 -700 nm menyebabkan reaksi fotosensitif berupa eritema ringan dan tidak nyeri; radiasi 700 nm - 1 mm menyebabkan kulit terbakar dan kering⁽²⁴⁾.

- Pigmentasi kulit

Pigmentasi kulit merupakan proses adaptif sebagai konsekuensi langsung pajanan radiasi UV dengan dosis yang cukup. Peningkatan pigmentasi dapat teramati paling tidak dalam waktu 24 jam dan mencapai puncaknya pada hari ke 8. Pigmentasi tertunda ini akibat peningkatan produksi pigmen melanin dan pemindahannya pada sel keratinosit sekitar. Keratinosit yang terinduksi radiasi UV-B menyebabkan peningkatan ketebalan epidermis sehingga meningkatkan pula kandungan melanin. Pajanan UV-A tidak mengakibatkan peningkatan sel keratinosit yang berarti, peningkatan pigmentasi terjadi karena terstimulasinya melanogenesis secara langsung⁽²³⁾.

Respon pigmentasi kulit yang segera setelah radiasi UV-A merupakan konsekuensi dari reaksi oksidatif dari prekursor eumelanin yang tidak berwarna. Proses ini bersifat sementara dalam beberapa jam dan tidak menimbulkan efek apapun⁽²³⁾.

- Efek imunitas

Diketahui bahwa sinar UV dapat memodifikasi protein dan molekul organik dalam epidermis menjadi molekul terubah yang dikenali sebagai molekul asing oleh sistem imun sehingga memacu respon imunitas pada kulit, seperti alergi matahari atau fotodermatitis. Radiasi UV mengganggu sistem imunitas seluler dengan merusak sel langerhans dan/atau menginduksi sitokin dari keratinosit dan/atau melalui makrofag yang muncul di epidermis setelah hilangnya sel langerhans. Pajanan UV tidak hanya mencegah stimulasi reaksi sel T spesifik antigen, tetapi juga dapat melepaskan sel T supressor yang secara spesifik menghambat pembelahan sel T reaktif terhadap antigen spesifik. Sistem imunitas seluler tampaknya berperan penting dalam penolakan sel tumor kulit yang diinduksi oleh UV^(18,23).

- Sintesis vitamin D3

Radiasi UV-B juga memberikan dampak yang menguntungkan kesehatan yaitu berperan dalam sintesis vitamin D3 di lapisan epidermis. Provitamin D3 (7-dehydrocholesterol) dikonversi menjadi previtamin D3 di membran sel epidermis oleh iradiasi UV-B, yang kemudian secara thermal isomerises menjadi vitamin D3 (Cholecalciferol) dan secara rutin dilepaskan dari epidermis. Intensitas radiasi UV-B yang dibutuhkan hanya sedikit dan kelebihan pajanan dapat mengakibatkan penghentian aksi vitamin D3 yang telah terbentuk.

Vitamin D (baik D3 atau D2 dari makanan) tidak aktif secara biologik tetapi harus dibawa oleh darah untuk dikonversi dengan proses hidroksilasi dalam hati menjadi 25-hydroxyvitamin D (25OH-vitD) dan kemudian dalam ginjal menjadi 1,25dihydroxyvitamin D (1,25-diOH-vitD), yaitu suatu hormon

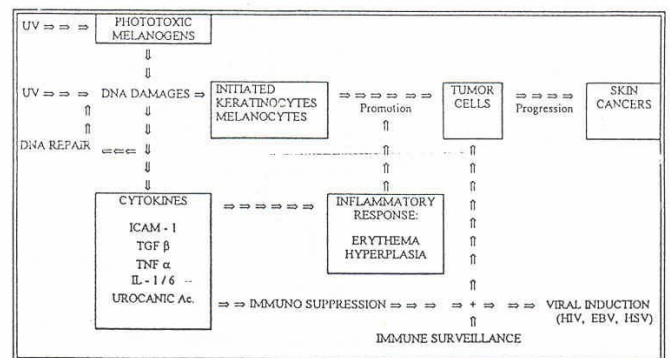
bentuk aktif yang dapat terikat pada reseptor vitamin D (VDR).

Vitamin D berfungsi mengatur keseimbangan kalsium dan fosfat dalam darah, menstimulasi penyerapan kalsium dari makanan dalam usus halus, memobilisasi kalsium ke tulang, memacu differensiasi sel dan menghambat pembelahan beberapa jenis sel terutama sel kanker^(18,23).

Pajanan sinar matahari lebih dari 10 menit seperti pada mandi sinar matahari tidak akan meningkatkan jumlah previt D, tetapi justru akan berbahaya akibat pajanan UV⁽¹⁸⁾.

Pajanan kronik radiasi UV menyebabkan gejala klinik yang dikenal sebagai efek penuaan. Terjadi terutama di bagian tubuh yang terpajan secara permanen, berhubungan dengan kekeringan kulit, keriput dan telangiectasia. Pigmentasi tidak teratur dan lentigo solar juga dijumpai. Secara histologis disebabkan oleh penipisan kulit, pengurangan ketebalan *papillary dermis* dan penggantian materi kolagen elastik normal dengan gumpalan elastotic yang kehilangan sifat elastisitasnya pada dermis normal. Perubahan ini biasanya berhubungan dengan kanker kulit non melanoma yaitu *Basal Cell Carcinoma* (BCC) dan *Squamous Cell Carcinoma* (SCC), dan *Cutaneous Malignant Melanoma* (CMM) sebagai efek kronik yang paling penting^(18,20,25).

CMM berasal dari sel pigmen, melanosit, merupakan jenis kanker kulit yang paling agresif, cepat bermetastasis dan mematikan. Sedangkan BCC dan SCC berasal dari keratinosit, tidak terlalu agresif tetapi tumbuh invasif. Tingkat mortalitas CMM sekitar 20-25%, SCC 1-3% dan BCC 1%. Kanker kulit biasanya mudah diangkat pada tahap awal karena mudah dikenali ketika masih kecil; sayangnya, berisiko tinggi terbentuk kembali⁽¹⁸⁾.



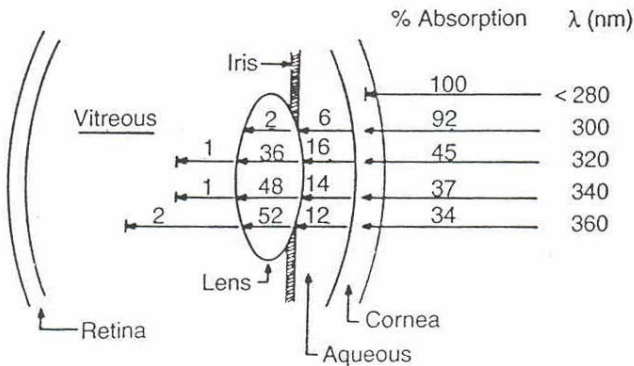
Gambar 2. Ilustrasi menunjukkan karsinogenesis yang diinduksi radiasi UV⁽²⁵⁾.

CMM umumnya terjadi di bagian badan dan kaki terutama pada mereka yang secara berkesinambungan terpajan sinar matahari. Awal melanoma ganas dapat dikenali dari beberapa tanda yaitu tahi lalat yang makin membesar atau tumbuh tahi lalat yang baru (biasanya tahi lalat tidak tumbuh/bertambah setelah pubertas). Tahi lalat dengan bentuk tidak beraturan atau campuran bayangan yang berbeda coklat atau hitam. Tanda lain ialah tahi lalat lebih besar dari ujung pensil yang tumpul atau dengan tepi kemerahan, perdarahan, agak berair atau mengeras, dan mulai terasa berbeda seperti sedikit sakit^(18,23). Pengenalan dan diagnosis segera terhadap melanoma ganas memberikan

kesempatan untuk pengobatan tuntas.

Efek Radiasi Optik Pada Mata

Di mata, energi radiasi panjang gelombang < 280 nm (UV-C) dapat diserap seluruhnya oleh kornea. Energi radiasi UV-B (280 -315 nm) sebagian besar diserap kornea dan dapat pula mencapai lensa. Sedangkan energi UV-A (315-400 nm) diserap dalam lensa secara kuat, hanya sebagian kecil energi saja (< 1%) yang dapat mencapai retina. Untuk mata apakia (mata yang telah mengalami operasi katarak), penetrasi radiasi UV pada 300 - 400 nm dapat mencapai retina^(19,22).



Gambar 3. Daya tembus radiasi UV pada struktur mata⁽²³⁾.

Efek fototoksik akut radiasi UV pada mata adalah kerato-konjungtivitis (dikenal juga sebagai *welder's flash* atau *snow blindness*) yaitu reaksi radang akut kornea dan konjungtiva mata akibat reaksi fotokimia pada kornea (fotokeratitis) dan konjungtiva (fotokonjungtivitis) yang timbul beberapa jam setelah pajanan 200 - 400 nm dan umumnya berlangsung hanya 24 - 48 jam. Gejala fotokeratitis berupa memerahnya bola mata disertai rasa sakit yang parah dan pada beberapa kasus terjadi blepharospasme; berlangsung selama satu atau dua hari dan timbul kabut pada bagian kornea. Efek ini bersifat sementara karena kerusakan yang terjadi sangat ringan (bagian permukaannya saja) dan penggantian sel epitel permukaan kornea berlangsung dengan cepat (satu siklus 48 jam)^(18,22,26).

Eritema kelopak mata muncul beberapa jam pasca pajanan akut (200 -400 nm), biasanya berlangsung selama 8 - 72 jam tergantung pada tingkat pajanan dan daerah spektrum⁽²²⁾.

Pajanan kronik radiasi UV pada mata dapat menimbulkan *pterygium* atau penebalan konjungtiva dan katarak. *Pterygium* merupakan pertumbuhan jaringan lemak di atas kornea. Sedangkan pajanan radiasi UV pada panjang gelombang 290 - 320 nm dapat menyebabkan katarak. Terdapat hubungan yang jelas antara katarak dengan pajanan UV-B sepanjang hidup^(18,22,26).

Radiasi cahaya tampak dan IR-A (400 - 1400 nm) dapat mencapai retina dan menimbulkan fotoretinitis, peradangan retina. Kerusakan retina timbul khususnya akibat pajanan cahaya tampak biru (400 - 550 nm) sehingga dikenal pula sebagai *blue light retinal injury*. Fotoretinitis yang biasanya disertai dengan scotoma (*blind spot*), terjadi akibat menatap sumber cahaya yang sangat tajam dan terang seperti matahari

dalam waktu yang sangat singkat ataupun cahaya terang dari laser untuk waktu yang lebih lama. Peningkatan suhu retina yang hanya beberapa derajat lebih tinggi dari suhu saat demam diyakini dapat menimbulkan kerusakan retina permanen. Pajanan IR-A juga memberikan kontribusi dalam pembentukan katarak akibat panas^(22,26).

Radiasi IR-B (1,4 - 3 gym) dapat menembus lebih jauh dan diserap lensa, memberikan kontribusi pembentukan katarak dan juga menimbulkan luka bakar di kornea dan konjungtiva. Sedangkan energi radiasi IR-C (3 μm - 1 m) yang diserap kornea dapat menyebabkan fotokeratitis atau yang lebih parah lagi luka bakar pada kornea dan juga konjungtiva. Dengan demikian, laser yang menggunakan radiasi cahaya tampak dan juga infra merah dapat menyebabkan kerusakan kornea, lensa atau retina, tergantung pada panjang gelombang dan karakteristik penyerapan energi dari struktur mata^(22,24,26).

Jumlah energi cahaya yang masuk mata ditentukan oleh luas pembukaan pupil. Energi cahaya tampak yang dapat menembus struktur mata secara kuat diserap oleh retina dan dikonversi menjadi panas. Peningkatan suhu hanya beberapa derajat lebih tinggi dari suhu yang terjadi ketika demam diyakini dapat menimbulkan kerusakan retina yang permanen⁽²⁴⁾.

EFEK KESEHATAN RADIOFREKUENSI ELEKTRO-MAGNETIK

Berdasarkan studi epidemiologi, tidak ada bukti kuat mengenai risiko kanker baik pada anak-anak maupun dewasa akibat energi frekuensi elektromagnetik tingkat normal, frekuensi radio, atau radiasi gelombang mikro. Data menunjukkan bahwa radiasi ini tidak dapat membahayakan materi genetik dan juga tidak dapat menginduksi kanker, terutama yang berhubungan dengan kanker otak. Yang jelas perubahan medan magnet atau listrik dapat menginduksi arus listrik internal ke tubuh yang menimbulkan panas; tingkat atau laju perubahannya sebanding dengan frekuensi^(27,28).

Efek Radiasi Gelombang Mikro

Efek kesehatan pada umumnya terjadi akibat panas yang timbul saat interaksi antara energi gelombang mikro dengan materi biologik, disebut efek thermal; efek ini berbahaya karena terutama merusak mata dan testis yang relatif sangat sensitif terhadap kenaikan suhu jaringan⁽²¹⁾.

Lensa mata tidak berpembuluh darah dan terselubung dalam kapsul, sehingga mudah terbakar akibat penambahan/penimbunan panas dari pajanan radiasi dengan intensitas tinggi; selain itu melalui efek thermal dan mungkin juga melalui efek non thermal, gelombang ini dapat mencetuskan serangkaian perubahan di permukaan posterior kapsul lensa yang mengarah pada pembentukan katarak. Kataraktogenesis ini sama halnya dengan akibat radiasi pengion; sedangkan katarak akibat penuaan diawali di bagian permukaan anterior lensa. Kondisi pajanan, waktu dan intensitas yang menyebabkan suhu jaringan mata mencapai 45°C atau lebih diyakini bersifat kataraktogenik; dalam kondisi praktis, risiko tinggi pembentukan katarak berhubungan dengan pajanan pada satuan ratusan atau lebih mW/cm²⁽²¹⁾.

Fungsi testis sangat bergantung pada suhu. Secara normal, suhu testis 2°C lebih rendah dari suhu tubuh 37°C. Peningkatan

suhu testis walaupun hanya sampai 37°C sudah dapat mengganggu spermatogenesis (proses pembentukan sperma). Dengan demikian pajanan radiasi gelombang mikro juga berisiko mengganggu spermatogenesis melalui mekanisme efek thermal⁽²¹⁾.

Efek non thermal yang ditemukan pada para pekerja yang secara kronik terpajan *microwave* berupa peningkatan kelelahan, sakit kepala periodik dan konstan, iritasi parah, ketiduran selama bekerja, dan penurunan sensitivitas penciuman (*olfactory*). Gejala klinik yang timbul antara lain bradikardi, hipotensi, hipertiroid dan peningkatan tingkat histamin darah. Pada kelompok pekerja yang berada di medan gelombang mikro dijumpai pula efek subyektif seperti sakit kepala, lelah, pusing, tidur tidak nyenyak, perasaan takut, tegang, depresi mental, daya ingat kurang baik, nyeri pada otot dan daerah jantung dan susah bernafas⁽²¹⁾.

Efek Radiasi Gelombang Radiofrekuensi

Studi pada pekerja industri yang terpajan radiasi radiofrekuensi elektromagnetik menunjukkan tidak adanya peningkatan risiko leukemia. Studi epidemiologi menunjukkan bahwa bila memang terdapat hubungan antara gelombang radiofrekuensi elektromagnetik dengan kanker, maka hubungan tersebut lemah dan perlu dukungan penelitian laboratorium⁽²⁹⁾.

Efek pajanan elektromagnetik radiofrekuensi terhadap sel telah dipertimbangkan dalam 4 tahap utama pembentukan kanker yaitu inisiasi, konversi, promosi dan progresi. Inisiasi tumor dianggap sebagai hasil kerusakan genetik sedangkan konversi berhubungan dengan perubahan genetik berskala besar. Karena tidak ada bukti yang menyakinkan bahwa pajanan menginduksi perubahan genetik maka tampaknya pajanan tidak memberikan efek baik inisiasi maupun konversi. Tidak adanya efek pada struktur kromosom menunjukkan bahwa jika medan frekuensi rendah mempunyai efek pada proses karsinogenesis, mereka lebih berperan sebagai promotor daripada sebagai inisiator, dengan meningkatkan laju proliferasi sel terubah secara genetik daripada menyebabkan kerusakan awal pada DNA atau kromatin.

Terdapat bukti yang menunjukkan adanya perubahan pada jalur informasi kimia antar yang mungkin berhubungan dengan promosi tumor, meskipun pengaruhnya sangat kecil dan oleh karena itu tampaknya tidak menimbulkan gangguan sistem biologik. Pengaruhnya pada pertumbuhan tumor dapat terjadi melalui efek epigenetik dari medan ini seperti perubahan pada jalur *cell signalling* atau pada ekspresi gen. Laporan tentang efek terhadap permukaan sel yang mungkin berhubungan dengan progresi tumor sangat spekulatif. Oleh karena itu, sampai saat ini tidak ada mekanisme yang jelas menerangkan pengaruh radiofrekuensi elektromagnetik terhadap karsinogenesis⁽³⁰⁾.

Satu studi epidemiologi menunjukkan data yang konsisten bahwa risiko leukemia lebih tinggi pada anak-anak yang tinggal dekat jaringan listrik, tetapi dasar hubungan tersebut tidak diketahui; tidak ada bukti yang didukung penelitian di laboratorium yang menunjukkan adanya kerusakan DNA dan kromosom, mutasi, dan peningkatan frekuensi transformasi

akibat pajanan medan frekuensi rendah; dengan demikian tidak diharapkan terjadi efek mutasi dan transformasi neoplastik yang mengarah ke pembantuan kanker.^(2,29)

ICNIRP mengeluarkan beberapa pernyataan mengenai hubungan antara medan frekuensi rendah elektromagnetik dan kanker, antara lain :

- Tidak ada bukti substantif yang menunjukkan bahwa pajanan magnetik statis bersifat karsinogenik.
- Data laboratorium dan epidemiologi yang berhubungan dengan kanker tidak memberikan dasar untuk perkiraan risiko kesehatan pada manusia terpajan medan frekuensi listrik.
- Data laboratorium yang berhubungan dengan kanker akibat pajanan frekuensi radio tidak memberikan dasar untuk dilakukannya batasan pajanan. Bukti pajanan radiofrekuensi sebagai promotor atau progresor dalam karsinogenesis membutuhkan penelitian lebih lanjut⁽²⁾.

PENUTUP

Untuk memperkecil efek yang timbul akibat pajanan radiasi matahari dapat digunakan *sun screen* dengan SPF (*sun protection factor*) sekitar 20-40, baju dengan tenunan rapat lebih bersifat protektif kacamata dan topi yang lebar untuk melindungi wajah dan leher. Sedangkan pencegahan efek kesehatan akibat pajanan radiasi non pengion buatan manusia antara lain dapat dilakukan dengan memberikan informasi secara jelas dan sederhana terutama kepada operator, selain pasien dan juga masyarakat mengenai konsekuensi yang mungkin timbul bila tidak memperhatikan prosedur keselamatan kerja dan proteksi serta batasan pajanan terhadap radiasi non pengion yang telah ditetapkan oleh ICNIRP.

Prosedur kerja dan batasan-batasan yang direkomendasikan terhadap pajanan radiasi non pengion bertujuan untuk melakukan proteksi terhadap kerusakan retina akibat efek thermal dan reaksi fotokimia, pada mata apakia (lensa mata telah diangkat pada operasi katarak) dan bayi dari bahaya fotokimia, pada kornea dari kerusakan akibat panas, pada lensa dari risiko efek tertunda katarak, dan pada kulit dari berbagai risiko kerusakan akibat panas. Masalahnya sekarang adalah apakah sudah ada atau dibentuk suatu badan atau institusi di Indonesia yang secara khusus berwenang melakukan pengawasan terhadap penggunaan peralatan sumber radiasi non pengion dan bertanggung jawab untuk melakukan sosialisasi berbagai standar prosedur kerja keselamatan radiasi yang harus dipatuhi untuk memperkecil risiko kesehatan yang mungkin timbul.

Manusia menjadi target berbagai jenis bahan karsinogenik yang membuat sangat tidak mungkin untuk memperkirakan bahwa kanker yang diderita seseorang hanya disebabkan oleh faktor lingkungan termasuk medan frekuensi listrik. Kita terpajan radioaktivitas alam dari radon, polusi buatan manusia dari hasil gas buangan kendaraan, gas industri, asap rokok, limbah kimia dari pestisida dan herbisida, lemak makanan, alkohol, dan sinar UV matahari. Oleh karena itu perlu dilakukan studi epidemiologi yang didukung dengan penelitian laboratorium dalam rangka mendapatkan hasil yang lebih konklusif.

KEPUSTAKAAN

1. Dennis JA. Non-Ionising Issues. *Radiation Protection Dosimetry*. 1997; 72(3-4): 161-2.
2. Bernhardt JH, Matthes R. Recent and Future Activities of the ICNIRP. *Radiation Protection Dosimetry*. 1997; 72(3-4):167-76.
3. International Non-Ionizing Radiation Committee/ International Radiation Protection Association. Guidelines on Limits of Exposure to Airborne Ultrasound. *Health Physics*, 1984; 46(4): 969-74.
4. International Non-Ionizing Radiation Committee/ International Radiation Protection Association. Concepts, Units and Terminology for NIR Protection. *Health Physics*, 1985; 49(6): 1329-62.
5. International Non-Ionizing Radiation Committee/ International Radiation Protection Association. Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths between 180 nm and 1 mm. *Health Physics*, 1985; 49(2): 341-59.
6. International Non-Ionizing Radiation Committee/ International Radiation Protection Association. Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths between 180 nm and 1,000 nm. *Health Physics*, 1996; 71(5) : 804-19.
7. International Non-Ionizing Radiation Committee/ International Radiation Protection Association. Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation). *Health Physics*, 1985; 49(2) : 331-40.
8. International Non-Ionizing Radiation Committee/ International Radiation Protection Association. Guidelines on Limits of Exposure to Radio-frequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 100 kHz to 300 GHz. *Health Physics*, 1988; 54(1) : 115-23.
9. International Non-Ionizing Radiation Committee/ International Radiation Protection Association. Alleged Radiation Risks from Visual Display Units. *Health Physics*, 1988; 54(2) : 231-2.
10. International Non-Ionizing Radiation Committee/ International Radiation Protection Association. Fluorescence Lighting and Malignant Melanoma. *Health Physics*, 1990; 58(1) : 111-2.
11. International Non-Ionizing Radiation Committee/ International Radiation Protection Association. Interim Guidelines on Limits of Exposure to 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields. *Health Physics*, 1990; 58(1) : 113-22.
12. International Non-Ionizing Radiation Committee/ International Radiation Protection Association. Health Issues of Ultraviolet A Sunbeds used for Cosmetic Purposes. *Health Physics*, 1991; 61(2) : 285-8.
13. International Non-Ionizing Radiation Committee/ International Radiation Protection Association. Protection of the Patient undergoing a Magnetic Resonance Examination. *Health Physics*, 1991; 61(6) : 923-8.
14. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields. *Health Physics*, 1994; 66(1) : 100-106.
15. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Issues Related to the Use of Hand-held Radiotelephones and Base Transmitters. *Health Physics*, 1996; 70(4): 587-93.
16. Hall, EJ. *Radiobiology for the Radiologist*. 5th ed. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins; 2000.
17. Glaser, ZR. Organization and Management of A Non-Ionizing Safety program. In Miller, KL. (ed.) *Handbook of Management of Radiation Protection Programs*. 2nd ed. Boca Raton, CRC Press. 1992; 43-52.
18. De Gruijl, FR. Health Effects from Solar UV Radiation. *Radiation Protection Dosimetry*. 1997; 72(3-4): 177-96.
19. Webb, AR. Changes in Stratospheric Ozone Concentrations and Solar UV Levels. *Radiation Protection Dosimetry*. 1997 72(3-4): 207-16.
20. United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation. *Ultraviolet Radiation: Exposures and Effects*. Vienna. 1994.
21. Cember, H. *Introduction to Health Physics*. 2nd ed. New York, McGraw-Hill, INC. 1992.
22. Sliney, DH. Ultra Violet Radiation Effects upon the Eye: Problems of Dosimetry. *Radiation Protection Dosimetry*. 1997; 72(3-4): 197-206.
23. Cesarini, JP. UV and Skin: the Biological Effects of UVA and UVB. *International Congress on radiation protection (IRPA 9)*. Vienna. 1996; 339-43.
24. Classic, KL. Organization and Management of A Laser Safety program. In Miller, KL. (ed.) *Handbook of Management of Radiation Protection Programs*. 2nd ed. Boca Raton, CRC Press. 1992; 53-65.
25. Cesarini, JP. Chronic Effects of UV on Human Skin. *International Congress on radiation protection (IRPA 9)*. Vienna. 1996; 361-6.
26. Cesarini, JP. Ultra Violet Radiation: the Eye. *International Congress on radiation protection (IRPA 9)*. Vienna. 1996; 345-51.
27. Stather, JW. Electromagnetics Fields and the Risk of Cancer. *Radiological Protection Bull*. 142. Chilton, National Radiological Protection Board. 1993; 8-10.
28. Deutsch S., Wilkening, GM. Electromagnetic Field Cancer Scars. *Health Physics*. 1997; 73(2): 301-9.
29. Hendee WR., Boteler, JC. The Question of Health Effects from Exposure to Electromagnetic Fields. *Health Physics*. 1994; 66(2): 127-36.
30. Cridland, NA. Effects of Power Frequency EMF Exposures at Cellular Level. *Radiation Protection Dosimetry*. 1997; 72(3-4): 197-206.