

Buletin

ALRA

PUSTAKAAN
MR - BATAN

04
MR

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi
Badan Tenaga Nuklir Nasional



PUSAT TEKNOLOGI KESELAMATAN DAN
METROLOGI RADIASI
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

ISSN 1410 - 4652

Buletin Alara

Volume 16 Nomor 1, Agustus 2014

TIM REDAKSI

Penanggung Jawab

Kepala PTKMR

Pemimpin Redaksi

Dr. Mukh Syaifudin

Penyunting/Editor & Pelaksana

Prof. Eri Hiswara, M.Sc
Hasnel Sofyan, M.Eng
Gatot Wurdianto, M.Eng
dr. B.Okky Kadharusman, Sp.PD
Dr. Johannes R. Dumais

Sekretariat

Setyo Rini, SE
Salimun

Alamat Redaksi/Penerbit :

PTKMR - BATAN

⇒ Jl. Lebak Bulus Raya No. 49
Jakarta Selatan (12440)
Tel. (021) 7513906, 7659512 ;
Fax. (021) 7657950

⇒ PO.Box 7043 JKSKL,
Jakarta Selatan (12070)

e-mail : ptkmr@batan.go.id
alara_batan@yahoo.com

Dari Redaksi

Teknologi nuklir merupakan anugerah dari Tuhan yang dapat membawa manfaat dan berperan penting dalam upaya meningkatkan mutu hidup manusia. Radiasi dapat digunakan untuk memproduksi energi listrik, berbagai zat radioaktif dan atau sumber radiasi lainnya telah dimanfaatkan di berbagai bidang terutama medik, industri dan pertanian. Selain membawa manfaat, juga memiliki efek yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Efek deterministik merupakan efek yang dapat terjadi pada organ atau jaringan tubuh tertentu yang menerima radiasi dosis tinggi, dan efek stokastik merupakan efek tertunda setelah selang waktu tertentu, atau oleh turunannya sebagai akibat penerimaan radiasi dosis rendah di seluruh tubuh. Dengan adanya kedua efek berbahaya ini, setiap aplikasi radiasi harus dapat dikendalikan melalui suatu mekanisme teknologi yang dikembangkan dengan dasar fenomena yang terjadi jika radiasi berinteraksi dengan jaringan tubuh.

Radiofarmaka adalah sediaan farmaka yang di dalamnya telah diikatkan radionuklida pemancar radiasi untuk dimanfaatkan untuk tujuan diagnosis atau terapi kanker. Agar keselamatan pasien terhadap radiasi dapat terpantau, maka pengkajian dosimetri radiasi internal pada terapi radioisotop perlu dilakukan.

Pada bagian lainnya, perlu adanya praktik *safety leadership* dalam membangun budaya keselamatan yang kuat, misalnya betapa pentingnya awak pesawat terbang untuk mengetahui radiasi. Dan juga pentingnya implementasi QA dan QC pada sistem TLD untuk layanan evaluasi dosis radiasi perorangan

Akhirnya disampaikan ucapan selamat membaca, semoga apa yang tersaji dalam Buletin ini dapat menambah wawasan yang lebih luas mengenai ilmu dan teknologi nuklir serta menggugah minat para pembaca yang budiman untuk menekuni iptek ini. Jika ada kritik dan saran yang menyangkut tulisan dan redaksional untuk meningkatkan mutu Buletin Alara, akan kami terima dengan senang hati.

redaksi

Buletin ALARA terbit pertama kali pada Bulan Agustus 1997 dan dengan frekuensi terbit 3 kali dalam setahun (Agustus, Desember dan April) ini diharapkan dapat menjadi salah satu sarana informasi, komunikasi dan diskusi di antara para peneliti dan pemerhati masalah keselamatan radiasi dan lingkungan di Indonesia.



IPTEK ILMIAH POPULER

- 1 - 8** Konsep dan aplikasi dosis efektif sebagai besaran proteksi
Eri Hiswara
- 9 - 13** Radiofarmaka untuk terapi kanker
Rohadi Awaludin
- 15 - 20** Pengkajian dosimetri radiasi internal pada terapi radioisotop untuk mendukung aspek keselamatan dalam kedokteran nuklir
Nur Rahmah Hidayati

INFORMASI IPTEK

- 21 - 28** Anugerah Tuhan itu bernama teknologi nuklir: Dari detektor asap hingga pembangkit listrik
Siti Nurhayati dan Mukh Syaifudin
- 29 - 34** Praktik "*safety leadership*" dalam membangun budaya keselamatan yang kuat
Farida Tusafariah dan W. Prasud
- 35 - 43** Radiasi: Awak pesawat terbangpun perlu tahu
Hasnel Sofyan dan Mukhlis Akhadi
- 45 - 50** Implementasi *quality assurance* dan *quality control* pada sistem TLD PTKMR-BATAN untuk layanan evaluasi dosis radiasi perorangan
Nazaroh, Sri Subandini Lolaningrum dan Rofiq Syaifudin

LAIN - LAIN

- 14** Tata cara penulisan naskah/makalah
- 44** Kontak Pemerhati

Tim Redaksi menerima naskah dan makalah ilmiah semi populer yang berkaitan dengan *Keselamatan radiasi dan keselamatan lingkungan dalam pemanfaatan iptek nuklir untuk kesejahteraan masyarakat*. Sesuai dengan tujuan penerbitan buletin, Tim Redaksi berhak untuk melakukan *editing* atas naskah/makalah yang masuk tanpa mengurangi makna isi. Sangat dihargai apabila pengiriman naskah/makalah disertai dengan disketnya.

ANUGERAH TUHAN ITU BERNAMA TEKNOLOGI NUKLIR: DARI DETEKTOR ASAP HINGGA PEMBANGKIT LISTRIK

Siti Nurhayati dan Mukh Syaifudin

Bidang Teknik Nuklir Kedokteran dan Biologi Radiasi, PTKMR – BATAN

- Jalan Lebak Bulus Raya 49, Jakarta – 12440
- PO Box 7043 JKSKL, Jakarta – 12070
- mukh_syaifudin@batan.go.id

PENDAHULUAN

Teknologi merupakan salah satu hasil peradaban manusia dan lahir dari pemikiran manusia untuk mempermudah menyelesaikan permasalahan sehari-hari. Teknologi nuklir adalah teknologi yang melibatkan reaksi dari inti atom. Teknologi nuklir dapat ditemukan pada berbagai aplikasi dalam kehidupan sehari-hari, dari yang sederhana seperti detektor asap hingga sesuatu yang besar seperti reaktor nuklir untuk pembangkit listrik.

Anugerah Tuhan yang sangat besar dan patut disyukuri itu ditemukan melalui tangan Henri Becquerel yang pada tahun 1896 meneliti fenomena fosforisensi pada garam uranium ketika ia menemukan sesuatu yang akhirnya disebut dengan radioaktivitas. Ia, Pierre Curie, dan Marie Curie mulai meneliti fenomena ini. Dalam prosesnya, mereka mengisolasi unsur radium yang bersifat sangat radioaktif. Mereka menemukan bahwa material radioaktif memproduksi gelombang yang intens, yang diberi nama alfa, beta, dan gamma. Beberapa jenis radiasi yang ditemukan mampu menembus berbagai material dan semuanya dapat menyebabkan kerusakan. Sebagian besar peneliti radioaktivitas pada masa itu menderita luka bakar akibat radiasi, yang mirip dengan luka bakar akibat sinar matahari, dan hanya sedikit yang memikirkan hal itu.

Menurut sejarah, radioaktivitas alamiah ditemukan oleh Henri Becquerel dan disusul unsur radioaktif radium dan polonium oleh

Madam Curie pada 1898. Nilai yang tinggi dalam pemanfaatan energi nuklir seperti pengobatan kanker dengan menggunakan radioaktivitas radium pertama kali ditunjukkan pada 1901. Henri Alexandre Danlos dan Eugene Bloch juga tertarik mengobati tuberculosis lesi kulit dengan menempatkan radium pada tahun yang sama. Pada 1913 Frederick Proescher mempublikasikan studi pertamanya pada injeksi intravena radium untuk terapi berbagai penyakit. Herrman Blungart dan Soma Weiss menggunakan perunut radioaktif dalam riset medis untuk mempelajari kecepatan sirkulasi darah pada 1925. Tetapi pemanfaatan sifat radioaktivitas dalam kesehatan harus menunggu invensi radioaktivitas artifisial oleh J.F Joliot-Curie dan Irene Joliot-Curie di Paris pada tahun 1934 dan produksi radioisotop dengan siklotron yang ditemukan oleh Ernest O. Lawrence di kota Berkeley pada 1930 serta reaktor nuklir yang dideemonstrasikan oleh Enrico Fermi dan peran penting dan vital dalam pertumbuhan dan perkembangan ilmu kehidupan dan obat serta kesehatan yang berawal dari pengertian kimia fotosintesis oleh tim Melvin Calvin di Berkeley yang menggunakan isotop C-14 hingga perkembangan biologi molekuler. Saat ini penanda berlabel radioisotop merupakan alat/cara fundamental dalam biologi dan ilmu medik/kedokteran. Untuk merealisasikan pentingnya radioisotop dalam pengobatan dan biologi, Yayasan Rockefeller mendanai pembuatan siklotron pertama yang didedikasikan untuk produksi radioisotop biomedik di Washington

University St. Louis, Amerika Serikat pada 1940. Selanjutnya produksi radio-isotop dan senyawa bertanda yang dibuat sebagai suatu industri dan dikomersialkan.

Sejak pengertian atom lebih dipahami, sifat radioaktivitas atom pun menjadi lebih jelas. Beberapa inti atom yang berukuran besar cenderung tidak stabil, sehingga peluruhan terjadi hingga selang waktu tertentu sebelum mencapai kestabilan. Tiga bentuk radiasi yang ditemukan oleh Becquerel dan Curie juga telah dipahami; peluruhan alfa terjadi ketika inti atom melepaskan partikel alfa, yaitu dua proton dan dua neutron, setara dengan inti atom helium. Peluruhan beta terjadi ketika pelepasan partikel beta, yaitu elektron berenergi tinggi. Dan peluruhan gamma melepaskan sinar gamma, yang tidak sama dengan radiasi alfa dan beta, namun merupakan radiasi elektromagnetik pada frekuensi dan energi yang sangat tinggi. Ketiga jenis radiasi terjadi secara alami, dan radiasi sinar gamma adalah yang paling berbahaya namun memiliki banyak kegunaan.

Ketersediaan radioisotop dan senyawa bertanda memacu para ilmuwan untuk mengembangkan berbagai aplikasi yang bermanfaat dalam berbagai bidang kehidupan. Dalam makalah ini disajikan berbagai contoh pemanfaatannya, terutama di bidang kesehatan.

PEMANFAATAN TEKNOLOGI NUKLIR

Di bidang sipil, teknologi nuklir digunakan untuk pembangkit energi, aplikasi medis, dan aplikasi di industri serta aplikasi komersial lainnya yang telah sangat luas. Untuk pembangkitan energi, energi nuklir adalah salah satu jenis teknologi nuklir yang melibatkan penggunaan terkendali dari reaksi fisi nuklir untuk melepaskan energi, termasuk propulsi, panas, dan pembangkitan energi listrik. Energi nuklir diproduksi oleh reaksi nuklir terkendali yang menciptakan panas yang lalu digunakan untuk memanaskan air, memproduksi uap, dan mengendalikan turbin uap. Turbin ini digunakan untuk menghasilkan energi listrik dan/atau melakukan pekerjaan mekanis lain. Saat ini

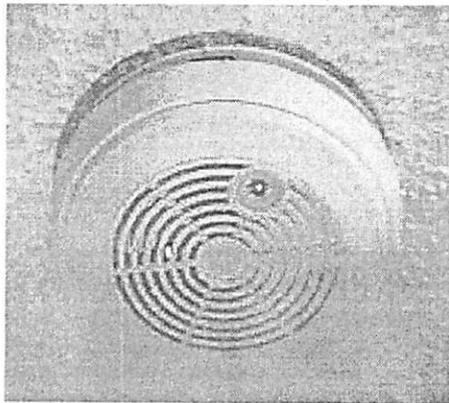
energi nuklir menghasilkan sekitar 20,8% listrik yang dihasilkan di seluruh dunia dan data *IEA Electricity Information* menunjukkan 13,4% (data tahun 2008).

Untuk aplikasi medis dari teknologi nuklir dibagi menjadi alat untuk diagnosa dan terapi radiasi, baik untuk pengobatan bagi penderita kanker, pencitraan (sinar-X dan sebagainya), penggunaan *technesium* untuk penelusuran molekul organik, pencarian jejak radioaktif dalam tubuh sebelum diekskresikan oleh ginjal, dan lain-lain. Untuk pemanfaatan di bidang pertanian, para peneliti di Indonesia telah berhasil menggunakan isotop radioaktif untuk mendayagunakan pakan ternak, sehingga jumlah pakan yang sama akan dapat dikonsumsi oleh lebih banyak ternak. Pakan ini disebut *Urea Molasses Multi-nutrient Block* dan telah digunakan oleh para peternak di Jawa dan Nusa Tenggara.

Untuk aplikasi di industri seperti pada eksplorasi minyak dan gas, penggunaan teknologi nuklir berguna untuk menentukan beberapa sifat dari bebatuan seperti porositas dan litografi. Teknologi ini melibatkan penggunaan neutron atau sinar gamma (biasanya digunakan Cs-137) dan detektor radiasi yang ditanam dalam bebatuan yang akan diperiksa. Pada konstruksi jalan, pengukuran kelembaban dan kepadatan menggunakan teknologi nuklir digunakan untuk mengukur kepadatan aspal, dan beton. Pemanfaatan teknologi nuklir terkait dalam pertambangan digunakan pada eksplorasi minyak dan gas. Pemanfaatan teknologi nuklir juga digunakan untuk menentukan kerapatan (kepadatan) suatu produk industri, misalnya untuk menentukan kepadatan tembakau pada rokok, juga dapat digunakan untuk menentukan ketebalan kertas yang biasanya digunakan Sr-90.

Untuk aplikasi komersial, fenomena ionisasi dari amerisium-241 digunakan pada detektor asap dengan memanfaatkan radiasi alfa (Gambar 1). Detektor atau alarm asap adalah perangkat keselamatan yang penting, karena alat ini digunakan sebagai peringatan untuk menyelamatkan barang-barang berharga bahkan nyawa manusia. Salah satu jenis detektor asap

menggunakan radiasi dari sejumlah kecil bahan radioaktif untuk mendeteksi keberadaan sumber asap atau panas melalui proses ionisasi. Alat ini berisikan isotop amerisium yang merupakan logam keperakan dan larut dalam asam. Isotop amerisium yang paling stabil (Am-243) memiliki umur paro lebih dari 7500 tahun. Isotop lain seperti tritium digunakan bersama fosfor pada rifle untuk meningkatkan akurasi penembakan pada malam hari dan perpendaran tanda "exit" pada suatu tempat parkir.



Gambar 1. Sebuah contoh detektor asap menggunakan teknologi nuklir.

Pemanfaatan teknologi nuklir dalam pemrosesan makanan dan pertanian bertujuan untuk menghancurkan mikroorganisme, bakteri, virus, atau serangga yang diperkirakan berada dalam makanan. Jenis radiasi yang digunakan adalah sinar gamma, sinar-X, dan elektron yang dibangkitkan oleh pemercepat elektron. Aplikasi lainnya yaitu pencegahan proses pematangan, penghambat pemasakan buah, peningkatan hasil daging buah, dan peningkatan rehidrasi. Efek utama dalam pemrosesan makanan dengan menggunakan ionisasi radiasi berhubungan dengan kerusakan asam nukleat (DNA), suatu sumber informasi dasar kehidupan. Karena radiasi, mikroorganisme tidak mampu lagi berkembang biak dan melanjutkan aktivitas mereka. Serangga tidak akan berkembang biak karena kemundurannya. Tanaman tidak mampu melanjutkan proses pematangan buah dan penuaan. Semua efek ini menguntungkan bagi konsumen dan industri makanan. Untuk

mengindikasikan bahwa makanan itu sudah diberi paparan radiasi maka ditunjukkan oleh logo "Radura" seperti pada Gambar 2. Iradiasi pangan telah diterima oleh otoritas kesehatan di dunia internasional untuk konsumsi manusia di sejumlah negara. Jenis pangan tersebut meliputi kentang, bawang, buah-buahan kering dan segar, biji-bijian dan produknya, dan ikan. Beberapa makanan prepacked juga dapat diradiasi.



Gambar 2. Logo "Radura" digunakan untuk menunjukkan bahwa makanan itu sudah diberikan ionisasi radiasi.

Keunggulan teknologi nuklir dalam pengawetan bahan makanan adalah bahwa jumlah energi yang efektif untuk radiasi cukup rendah dibandingkan dengan memasak bahan makanan yang sama hingga matang. Bahkan energi yang digunakan untuk meradiasikan 10 kg bahan makanan hanya mampu memanaskan air hingga mengalami kenaikan suhu sebesar $2,5^{\circ}\text{C}$. Keuntungan pemrosesan makanan dengan radiasi ionisasi adalah bahwa densitas energi per transisi atom sangat tinggi dan mampu membelah molekul dan menginduksi ionisasi yang tidak dapat dilakukan dengan pemanasan biasa. Ini adalah alasan untuk efek yang menguntungkan, namun di saat yang sama, hal ini menimbulkan kekhawatiran. Perlakuan bahan makanan solid dengan radiasi ionisasi dapat menciptakan efek yang sama dengan pasteurisasi bahan makanan cair seperti susu. Namun, penggunaan istilah pasteurisasi dingin dan iradiasi adalah proses yang berbeda, meski bertujuan dan memberikan hasil yang sama pada beberapa kasus.

Secara garis besar, iradiasi adalah pemaparan radiasi ke suatu bahan untuk mendapatkan manfaat teknis. Teknik seperti ini

juga digunakan pada peralatan medis, plastik, tabung untuk jalur pipa gas, saluran untuk penghangat lantai, lembaran untuk pengemas makanan, bagian-bagian otomotif, kabel, ban, bahkan hingga batu perhiasan. Dibandingkan dengan pemaparan iradiasi makanan, volume penggunaan nuklir pada aplikasi tersebut jauh lebih besar. Iradiasi makanan saat ini diizinkan di 40 negara dan volumenya diperkirakan melebihi 500.000 metrik ton setiap tahunnya di seluruh dunia. Penggunaan di dunia industri untuk pemrosesan menggunakan radiasi ionisasi, menempati sebagian besar volume energi pada penggunaan pemercepat elektron.

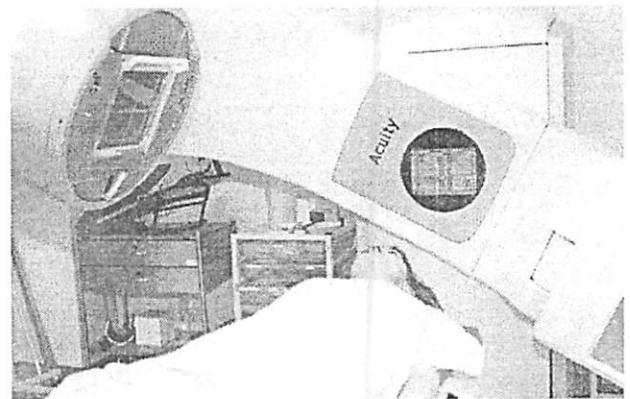
APLIKASI DI BIDANG KESEHATAN

Aplikasi radioisotop dalam bidang kesehatan merupakan satu aplikasi damai energi nuklir yang sangat menjanjikan dan terbukti sangat membantu. Contoh sederhana adalah pada pemeriksaan Rontgen dimana seorang dokter tidak perlu membedah dada seseorang pasien atau orang sehat untuk mengetahui kondisi organ tubuh dalamnya.

Fenomena baru mengenai radioaktivitas diketahui sejak adanya paten di dunia kedokteran yang melibatkan radioaktivitas. Meskipun sebagian besar telah tidak digunakan lagi, namun aplikasi lain yang melibatkan material radioaktif masih ada, seperti penggunaan garam radium untuk membuat benda-benda yang berkilau. Karena radiasi memiliki sifat fisik yang sangat baik seperti disosiasi elektrolitik atau transparansi, maka teknologi ini sangat penting untuk diagnosis dan penanganan medis. Teknik ini dipergunakan secara meluas untuk diagnosis dari pemotretan radiografi dada familier hingga teknologi yang tergolong baru yakni diagnosis kedokteran nuklir menggunakan obat radioaktif.

Di bidang kedokteran, aplikasi radioisotop dan senyawa bertanda seperti perunut mengarah ke munculnya cabang baru di kedokteran yakni kedokteran nuklir yang memfokuskan diri pada pencitraan dan penentuan status fungsi organ tubuh. Sejarah awal aplikasi radioisotop dalam kesehatan pada kenyataannya bertalian dengan

perkembangan kedokteran nuklir. Perkembangan awal kedokteran nuklir adalah perunut yang ditemukan oleh George de Hevesy yang menerima Hadiah Nobel pada 1944. Pada tahun 1924 Hevesy, J.A. Christiansen dan Sven Lomholt membuat percobaan radiotracer pertama (Pb-210 dan Bi-210) pada hewan dan pada 1935 Hevesy dan O. Chieivitz memberikan P-32 sebagai pospat pada tikus dan mampu memberikan pencerahan penyusun mineral dalam tulang. Penemuan unsur buatan Tc-99m oleh Emilio Segre dan Glenn Seaborg pada 1938, temuan generator Tc-99m (generator 99Mo-99mTc) dikembangkan di *Brookhaven National Laboratory* tahun 1957 didasarkan pada prinsip kesetimbangan radioaktif dan desain kamera sintilasi oleh Hal O. Anger pada tahun 1950-an adalah peristiwa penting yang mengarah ke perkembangan kedokteran nuklir.



Gambar 3. Pemanfaatan teknologi nuklir dalam bidang kesehatan seperti untuk *intensity-modulated radiation therapy (IMRT)*.

Di bidang kesehatan, Indonesia saat ini sedang menghadapi tantangan yang besar dalam penanganan dan pengendalian penyakit infeksi yaitu penyakit yang disebabkan oleh agen biologi seperti virus, bakteri atau parasit. Penyakit menular seperti TB, DBD, malaria dan penyakit infeksi lainnya perlu ditangani dengan lebih baik. Infeksi ataupun penyakit akibat infeksi telah menyebabkan kematian sebanyak 13 juta orang di seluruh dunia setiap tahun, terutama di negara-negara berkembang seperti Indonesia. Angka kematian yang besar tersebut dapat dicegah jika

dilakukan diagnosa yang cepat dan tepat serta didukung oleh penanganan yang efektif dan efisien antara lain melalui pengembangan teknik deteksi dan pengendaliannya berbasis teknologi nuklir. Teknik nuklir dapat digunakan untuk melengkapi teknik diagnosa konvensional yang prosedurnya panjang (*laborious*) dan kurang sensitif. Teknik nuklir bersifat unik/spesifik dan menawarkan beberapa kelebihan antara lain lebih sensitif dan cepat.

Malaria telah menyebabkan banyak korban terutama anak-anak berusia kurang dari 5 tahun di Afrika. Bertambahnya kasus malaria di beberapa tempat menyebabkan munculnya masalah yang jauh lebih serius pada kesehatan masyarakat. Indonesia memiliki masalah malaria yang spesifik dimana menurunnya dana untuk melangsungkan program dan perubahan tata lingkungan fisik juga ikut bertanggung jawab terhadap merebaknya kembali malaria yang sebelumnya telah dapat dikendalikan. Alternatif terbaik adalah pemberian vaksin yang dapat dibuat dengan teknologi nuklir yakni iradiasi paarsit dengan sinar gamma atau sinar-X untuk melemahkan atau menon-aktifkan patogen secara keseluruhan. Vaksinasi terhadap penduduk berisiko tinggi diharapkan mampu melindungi serangan malaria. Selama lebih dari 30 tahun, para peneliti telah mencoba mengembangkan suatu jenis vaksin modern dari sub unit rekombinan. Namun hal ini tentunya sulit diwujudkan karena ternyata hanya ada satu protein rekombinan yang dipasaran dan belum ada vaksin berbasis peptida sintetik, virus rekombinan, bakteri rekombinan atau plasmid asam nukleat (DNA).

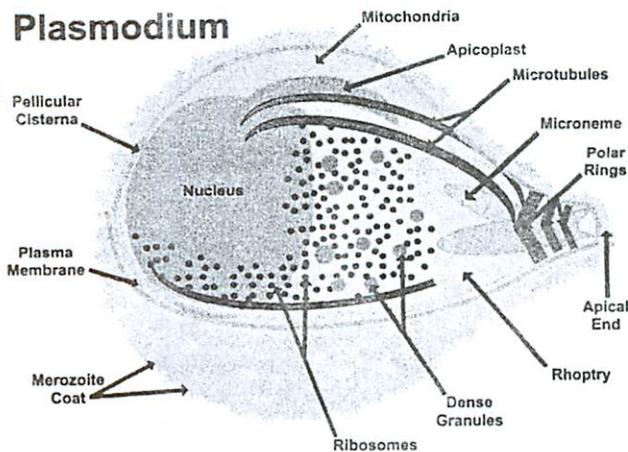
Radiasi akan menimbulkan efek pada materi biologik yakni merusak DNA yang merupakan kejadian kritis dalam sel yang terkena radiasi. Patahan untai ganda (*double strand breaks*) adalah lesi DNA utama yang bertanggung jawab terhadap efek biologi yang akan muncul akibat radiasi pengion. Radiasi pengion memiliki ciri khusus karena kemampuannya untuk menetrasi sel dan jaringan dan memberikan energinya pada sel dalam bentuk ionisasi. Tidak

seperti agen kimia, radiasi bukan organ-spesifik dalam menginduksi suatu efek. Toksisitasnya tidak bergantung pada absorpsi, ekskresi atau lokalisasinya dalam tubuh. Proses ini juga tidak bergantung pada adanya sisi ikat (*binding*) atau reseptor yang spesifik dalam sel, dan juga tidak pada mekanisme aktivasi atau detoksifikasinya yang umum dijumpai pada agen kimia yang genotoksik. Dengan demikian radiasi pengion juga memiliki karakteristik yang unik sebagai agen genotoksik dalam hal kerusakan DNA yang terjadi.

Karena efek yang ditimbulkannya maka radiasi pengion dapat digunakan untuk melemahkan agen penyakit baik yang berasal dari virus, bakteri, protozoa maupun cacing. Dalam pembuatan bahan vaksin, jenis radiasi yang biasanya digunakan adalah sinar gamma yang memiliki sifat daya tembus tinggi dan panjang gelombang pendek. Dosis iradiasi yang optimum akan menghancurkan DNA, sehingga membuat mikroorganisme tidak mampu melakukan replikasi dan tidak menimbulkan infeksi. Parasit yang diiradiasi dengan radiasi pengion dapat dinonaktifkan namun dapat mempertahankan sifat-sifat parasit seperti hemoaglutinasi, antigenisitas dan lain sebagainya. Hilangnya kemampuan infeksi dari parasit memungkinkan untuk memproduksi bahan yang potensial untuk pembuatan vaksin. Berdasarkan hasil-hasil penelitian dan percobaan, keberhasilan memperoleh bahan yang tidak aktif ini bergantung pada faktor eksternal seperti dosis radiasi, laju dosis, jenis radiasi, suhu dan sifat inang dimana parasit berada selama proses, dan juga karakteristik parasit itu sendiri seperti komposisi DNA inti atau sifat struktur molekulnya.

Iradiasi merupakan proses sederhana yang mampu mempertahankan sifat struktural mikroorganisme patogen tanpa merusak antigen alamiah atau adjuvant intrinsik. Oleh karena itu suatu respon imun yang kuat akan terbentuk pada inang yang divaksin. Berbagai stimulus seperti radiasi pengion telah diketahui mempertinggi daya invasi sel tertentu dan menstimulasi ekspresi

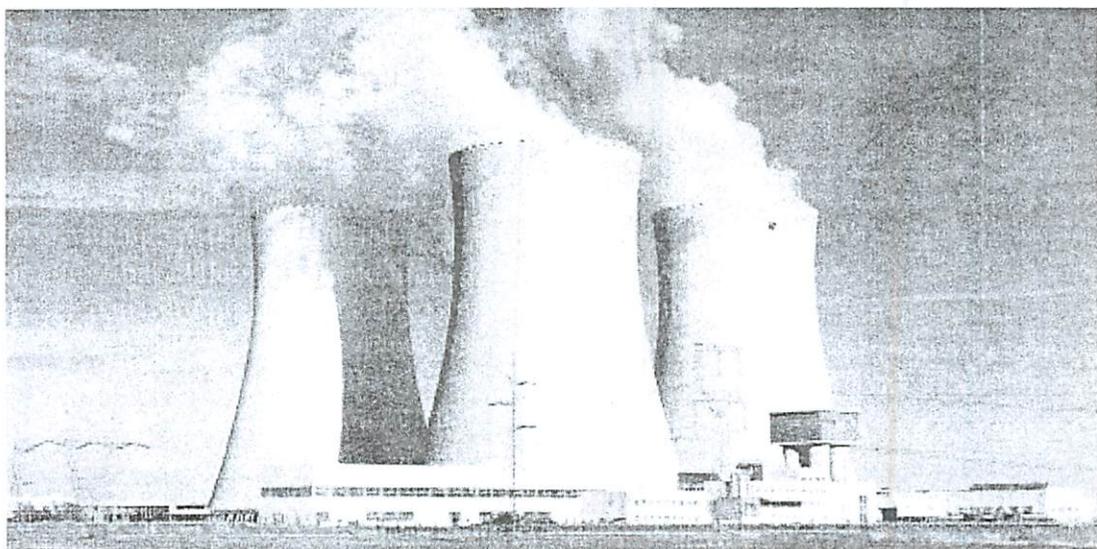
berbagai macam protein dan anggota famili integrin serta mengaktifkan jalur-jalur sinyal rangkap yang terlibat dalam pengendalian daya tahan hidup sel dan repopulasi serta daya imun. Dengan demikian radiasi sinar gamma dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan suatu imunogen yang potensial dan dapat menghasilkan antibodi yang optimal dalam menahan infeksi oleh parasit (Gambar 4).



Gambar 4. Ilustrasi parasit malaria dengan berbagai komponen tubuh atau keseluruhan tubuhnya yang bisa dimanfaatkan untuk membuat vaksin dengan radiasi gamma.

Salah satu pemanfaatan teknik nuklir dalam bidang energi saat ini sudah berkembang dan dimanfaatkan secara besar-besaran adalah Pembangkit Listrik Tenaga nuklir (PLTN) yang relatif murah, aman dan tidak mencemari lingkungan (Gambar 5). Pemanfaatan tenaga nuklir dalam bentuk PLTN mulai dikembangkan secara komersial sejak tahun 1954. PLTN beroperasi dengan prinsip yang sama seperti pembangkit listrik konvensional (PLK) hanya panas yang digunakan untuk menghasilkan uap tidak dihasilkan dari pembakaran bahan fosil, tetapi dihasilkan dari reaksi pembelahan inti bahan fisil (uranium) dalam suatu reaktor nuklir. Tenaga panas tersebut digunakan untuk membangkitkan uap di dalam sistem pembangkit uap (*steam generator*) dan selanjutnya sama seperti pada PLK, uap digunakan untuk menggerakkan turbin sebagai pembangkit tenaga nuklir.

PLTN berdasarkan pada proses fisi nuklir yang merupakan proses pembelahan inti menjadi bagian-bagian yang hampir setara, dan melepaskan energi dan neutron dalam prosesnya. Jika neutron ini ditangkap oleh inti lainnya yang tidak stabil maka inti tersebut akan membelah juga, memicu reaksi berantai. Jika jumlah rata-rata neutron yang dilepaskan per inti atom yang melakukan fisi ke inti atom lain disimbolkan



Gambar 5. Pemanfaatan teknologi nuklir untuk pembangkit energi/tenaga (PLTN).

dengan k , maka nilai k yang lebih besar dari 1 menunjukkan bahwa reaksi fisi melepaskan lebih banyak neutron daripada jumlah yang diserap, sehingga dapat dikatakan bahwa reaksi ini dapat berdiri sendiri. Massa minimum dari suatu material fisi yang mampu melakukan reaksi fisi berantai yang dapat berdiri sendiri dinamakan massa kritis.

Berbagai usaha pengamanan telah dilakukan untuk melindungi kesehatan dan keselamatan masyarakat, para pekerja reaktor dan lingkungan PLTN. Usaha ini dilakukan untuk menjamin agar zat radioaktif yang dihasilkan reaktor nuklir tidak terlepas ke lingkungan baik selama operasi maupun jika terjadi kecelakaan. Tindakan protektif dilakukan untuk menjamin agar PLTN dapat dihentikan dengan aman setiap waktu jika diinginkan dan dapat tetap dipertahankan dalam keadaan aman, yakni memperoleh pendinginan yang cukup. Untuk ini panas peluruhan yang dihasilkan harus dibuang dari teras reaktor, karena dapat menimbulkan bahaya akibat pemanasan lebih pada reaktor.

Pemanfaatan teknik nuklir dimasa sekarang ini telah digunakan secara luas termasuk hidrologi. Dalam bidang hidrologi teknik nuklir (teknik perunut radioisotop) saat ini sudah dapat memecahkan berbagai masalah yaitu penentuan gerakan sedimen di pelabuhan dan daerah pantai, yaitu untuk studi efisiensi pengerukan dan untuk perencanaan pembangunan pelabuhan baru, penanganan pencemaran lingkungan, teknik perunut dapat melacak zat pencemar, penentuan kebocoran dam atau bendungan, penentuan arah gerakan air tanah, studi hubungan antar sumur-sumur minyak untuk mengetahui karakteristik aliran cairan di sekitar sumur minyak, penentuan debit air sungai, dan studi geothermal.

Para ahli pada saat ini juga akan melengkapi kemampuan energi nuklir dengan cara lain untuk menghasilkan tenaga listrik arus searah (tenaga baterai/DC), tidak hanya tenaga listrik arus bolak-balik (AC) seperti yang sudah dikenal selama ini melalui PLTN. Bila hal ini dilaksanakan maka tenaga listrik yang diperoleh dari hasil proses peluruhan zat radioaktif akan

dapat menambah sumber tenaga listrik arus searah, secara konvensional disebut baterai kimia sel basah maupun sel kering.

Ada juga kegunaan lain untuk reaktor berukuran kecil pada sekitar 150 kapal, sebagian besar kapal selam dan kapal induk. Kapal ini bisa tinggal di laut untuk waktu yang lama tanpa harus melakukan pengisian bahan bakar. Dalam Laut Artik di Rusia kapal bertenaga nuklir beroperasi hampir sepanjang tahun, di mana sebelumnya hanya bertahan dua bulan.

Aplikasi teknologi nuklir tidak akan terhindar dari sejarah kelam tentang senjata nuklir yang merupakan alat peledak yang mendapatkan daya ledaknya dari reaksi nuklir, entah itu reaksi fisi atau kombinasi dari fisi dan fusi. Keduanya melepaskan sejumlah besar energi dari sejumlah kecil massa, bahkan alat peledak nuklir kecil dapat menghancurkan sebuah kota dengan ledakan, api, dan radiasi. Senjata nuklir disebut sebagai senjata pemusnah massal, dan penggunaan dan pengendaliannya telah menjadi aspek kebijakan internasional sejak kehadirannya. Senjata nuklir adalah senjata yang paling mematikan yang pernah diketahui. Ketika Perang Dingin, dua kekuatan besar memiliki sejumlah besar persenjataan nuklir yang cukup untuk menghancurkan ratusan juta orang. Berbagai generasi manusia hidup dalam bayang-bayang penghancuran oleh nuklir, direfleksikan dalam film-film seperti *Dr. Strangelove* dan *Atomic Cafe*.

PENUTUP

Selama ini manusia memanfaatkan air, angin, sinar matahari, ataupun gas alam sebagai sumber energi untuk membangkitkan tenaga listrik. Semakin berkurangnya sumber energi minyak bumi memaksa kita untuk mencari dan mengembangkan sumber energi baru. Salah satu pilihan sumber energi yang baru adalah energi nuklir dan ramai dibicarakan dalam berbagai media.

Dibandingkan dengan teknologi lain, teknologi nuklir merupakan teknologi yang oleh sebagian besar masyarakat awam dirasa paling

jarang atau bahkan tidak pernah sama sekali bersentuhan dengan masalah-masalah kehidupan manusia sehari-hari. Keterangan atau ulasan pemanfaatan yang sangat luas teknologi nuklir dalam berbagai bidang di paragraf-paragraf di atas menyanggah pendapat itu meskipun baru sebagian manfaat yang diuraikan.

Nuklir merupakan salah satu teknologi yang bisa dijadikan sebagai sumber energi alternatif serta "sahabat sejati", namun nuklir bisa menimbulkan masalah yang cukup besar bagi kehidupan manusia. Energi nuklir mempunyai manfaat yang luar biasa jika dipakai sebagaimana mestinya. Beberapa pemanfaatan teknologi nuklir dalam kehidupan sehari-hari telah dibahas secara mendalam terutama untuk kesehatan yang di masa mendatang tentunya akan muncul aplikasi-aplikasi lain yang lebih menyentuh pada sendi-sendi kehidupan manusia. Dengan demikian teknologi nuklir dapat ikut memberikan manfaat dan kontribusi yang sangat besar untuk pembangunan ekonomi dan kesejahteraan rakyat.

DAFTAR PUSTAKA

ALZAAKI, N.A. dan MISHKIN, F.S, (Eds), *Fundamentals of Nuclear Medicine Society of Nuclear Medicine Inc.*, New York, 1984.

ANONIM, Malaria Vaccine initiative: Sanaria PfSPZ malaria vaccine candidate, http://www.malariavacine.org/files/MVIfactsheet_Sanaria_091026.pdf

ANONIMOUS, Radiation Weakened Parasites: Possible New Malaria Vaccine?, Saturday, November 10, 2007 at 1:20:29 PM (<http://www.medindia.net/news/Radiation-Weakened-Parasites-Possible-New-Malaria-Vaccine-29169-1.htm>).

ANONIMOUS, Nuklir: Pengertian, bahan pembuatnya, dan Kegunaan - Available at: <http://sainsforhuman.blogspot.com/2013/03/nuklir-pengertian-bahan-pembuatnya-dan.html#sthash.isWb1sx6.dpuf>.

ANONIMOUS, Epidemiology of Malaria in Indonesia, Buletin of Data Window and Health Information, Ministry of Health of Republic of Indonesia, 2011.

CARLTON, J. M-R., Gene synteny across Plasmodium spp: could 'operon-like' structures exist?, *Parasitology Today*, 15(5), 178-179, 1999.

HALL. E.J., *Radiobiology for the radiologist*, Edisi ke 6, Lippincott Williams and Walkin, Philadelphia, 2006.

IAEA, *Combating Infection in Developing Countries*, The IAEA Contribution. Vienna, Austria <http://www.iaea.org/Publications/Booklets/CombatInfection/combatinginfection.pdf>.

IAEA. Nuclear Techniques Help Find Solutions in Fight Against HIV/AIDS and Tuberculosis. http://www.iaea.org/newscenter/news/2014/tb_hiv.html.

IAEA-TECDOC-1029, Modern trend in radiopharmaceuticals for diagnosis and therapy, *Proceeding IAEA Symposium, Lisbon, Portugal, 1998.*

IAEA, *Radiation in Everyday Life*, Vienna International Centre, PO Box 100 A-1400 Vienna, Austria, <http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/radlife.html>.

KHUSYAIRI, A., Pemanfaatan Teknologi Nuklir <http://www.nu.or.id/a,public-m,dinamic-s,detail-ids,14-id,27073-lang,id-c,teknologi-t,PEMANFAATAN+TEKNOLOGI+NUKLIR-.php>.

LELE, R.D., *Principle and Practice of Nuclear Medicine*. Arnold-Heinemann, New Delhi, 1984.

NUSSENZWEIG, R.S. and LONG, C.A., Malaria vaccines: multiple targets, *Science*, 265 (5177), 1381-1383, 1994.

PERKINS, S.L., and SCHALL, J.J., A molecular phylogeny of malarial parasites recovered from cytochrome b gene sequences", *J. Parasitol.* 88 (5): 972-978, 2002.

PLEBANSKI, M.M. PROUDFOOT, O., POUNIOTIS, D., COPPEL, R.L., APOSTOLOPOULOS, V., and FLANNERY, Immunogenetics and the design of Plasmodium falciparum vaccines for use in malaria-endemic populations, *Journal of Clinical Investigation*, 110(3), 295-301, 2002.

SYAIFUDIN, M. TETRIANA, D., DARLINA and NURHAYATI, S., The feasibility of gamma irradiation for developing malaria vaccine, *Atom Indonesia Journal*, 37(3), 91-101, 2011.

WARD, J.F. Radiation Mutagenesis: The Initial DNA Lesions Responsible, *Radiation Research*, 142, 362-368, 1995.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, Global tuberculosis control: surveillance, planning, financing. WHO Report 2005, Geneva (WHO/HTM/TB/2005.349).

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, Nuclear Power in the World Today, Mei 2013, <http://www.world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Nuclear-Power-in-the-World-Today/>