

Buletin

ALFA RA

- **Teknik isotop untuk pemantauan salinisasi air tanah**
- **Menelusuri asal-usul air Zamzam dan kronologi iklim Semenanjung Arab masa lampau melalui data isotop alam**
 - **Metode pengukuran Iodine-131 di udara**
 - **Teknologi nuklir untuk kita semua**
- **Mendeteksi lukisan palsu dengan menggunakan teknik nuklir**
 - **Pengelolaan sumber tertutup Iridium-192 yang sudah tidak digunakan lagi berdasarkan Perka BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016**

**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 18 Nomor 2, Desember 2016

TIM REDAKSI

Penanggung Jawab

Kepala PTKMR

Pemimpin Redaksi

Dr. Mukh Syaifudin

Penyunting/Editor & Pelaksana

Dr. Heny Suseno

Drs. Iin Kurnia, Ph. D.

Drs. Hasnel Sofyan, M.Eng

Drs. 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

Eksploitasi air tanah yang berlebihan akan berpengaruh terhadap lingkungan seperti penurunan elevasi muka air tanah, polusi air tanah, intrusi air laut, penurunan tanah, pembentukan gurun (*desertification*) dan lainnya. Yang akan berdampak pada penurunan pertumbuhan ekonomi, penurunan kesehatan masyarakat dan kerusakan pada infrastruktur di dalamnya. Penerapan perunut isotop stabil merupakan titik awal untuk menjawab sumber atau asal-usul air geografi yang mengisi lapisan air dan waktu tinggal air dalam tanah atau umur air tanah. Sebagai contoh, evolusi indeks pemekatan dari komponen fasa padat dan perubahan rasio Cl^-/SO_4^{2-} , Cl^-/Na^++K^+ , HCO_3^-/SO_4^{2-} yang dapat memberikan informasi mekanisme pemekatan garam. Akan tetapi, apabila kelarutan garam mayor dalam air telah tercapai maka akan sulit atau tidak mungkin untuk merunut evolusi kimia dan sumber salinitas dalam air tanah, sehingga dibutuhkan teknik isotop untuk mengevaluasi kontribusi setiap proses salinisasi dalam air tanah.

Dalam pemanfaatan teknologi nuklir dengan zat radioaktif yang mudah menguap, perlu adanya penanganan lebih lanjut untuk mengatasi pencemaran udara yang mungkin ditimbulkan. Gas buangan yang mengandung partikel aerosol radioaktif dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan manusia apabila sampai terhirup. Cara yang paling banyak digunakan adalah proses filtrasi udara dengan menggunakan filter dengan efisiensi yang tinggi sebagai alat filtrasi udara yang berdiameter $< 1 \mu m$ (*ultrafine*), karena partikel yang halus ini lebih mudah terhisap oleh manusia.

Pada bagian lain juga dibahas tentang penelusuran asal-usul air Zamzam dan kronologi iklim Semenanjung Arab masa lampau melalui data isotop alam, kemudian dilanjutkan dengan artikel teknologi nuklir untuk kita semua dan mendeteksi lukisan palsu menggunakan teknik nuklir. Dan yang tidak kalah pentingnya adalah bagaimana mengelola sumber tertutup Iridium-192 yang sudah tidak digunakan lagi berdasarkan Perka BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016

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

- 53 – 60** Teknik isotop untuk pemantauan salinisasi air tanah
E. Ristin Pujiindiyati
- 61 – 68** Menelusuri asal-usul air Zamzam dan kronologi iklim Semenanjung Arab
masa lampau melalui data isotop alam
Satrio
- 69 – 78** Metode pengukuran Iodine-131 di udara
Gatot Suhariyono

INFORMASI IPTEK

- 79 – 87** Teknologi nuklir untuk kita semua
Teja Kisananto dan Mukh Syaifudin
- 89 – 98** Mendeteksi lukisan palsu dengan menggunakan teknik nuklir
Mukhlis Akhadi
- 99 – 104** Pengelolaan sumber tertutup Iridium-192 yang sudah tidak digunakan lagi
berdasarkan Perka BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016
Suhaedi Muhammad dan Rr. Djarwanti, RPS

LAIN – LAIN

- 88** Kontak Pemerhati
- 106** Tata cara penulisan naskah/makalah

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 CD-nya.

TEKNOLOGI NUKLIR UNTUK KITA SEMUA

Teja Kisananto dan Mukh Syaifudin

- Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – 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 dalam menyelesaikan permasalahan dalam kehidupan sehari-hari. Anugerah Tuhan yang sangat besar dan patut disyukuri itu bernama teknologi nuklir yang merupakan teknologi yang melibatkan reaksi dari inti atom. Anugerah tersebut telah dimanfaatkan sebesar-besarnya untuk kepentingan manusia dalam berbagai aspek kehidupan, dari yang sederhana seperti detektor asap hingga sesuatu yang besar seperti reaktor nuklir untuk pembangkit listrik.

Teknologi nuklir ditemukan oleh Henri Becquerel yang pada tahun 1896 melalui penelitian tentang fenomena fosforesensi pada garam uranium yang akhirnya disebut dengan radioaktivitas. Bersama Piere dan Marie Curie, Becquerel mulai meneliti fenomena ini dan pada 1898 Madam Curie (Gambar 1) menemukan unsur-unsur radioaktif radium dan polonium. Dalam prosesnya, mereka mengisolasi unsur radium yang bersifat radioaktif. Material radioaktif memproduksi pancaran radiasi dalam bentuk gelombang electromagnet dan partikel yang disebut sinar alfa, beta, dan gamma. Beberapa jenis radiasi yang mereka temukan mampu menembus berbagai bahan dan semuanya dapat menyebabkan kerusakan. Seluruh peneliti radioaktivitas pada masa itu menderita luka bakar akibat radiasi, yang mirip dengan luka bakar akibat sinar matahari.

Pemanfaatan energi nuklir untuk pengobatan kanker dengan menggunakan radioaktivitas radium pertama kali dilakukan pada 1901. Pada tahun yang sama Henri

Alexandre Danlos dan Eugene Bloch juga mencoba mengobati tuberkulosis lesi kulit dengan radium. Pada tahun 1913 Frederick Proescher mempublikasikan studi pertamanya pada injeksi intravena radium untuk terapi berbagai penyakit. Hermann Blumgart dan Soma Weiss menggunakan perunut radioaktif dalam bidang medis untuk mempelajari kecepatan sirkulasi darah pada 1925. Invensi radioaktivitas artifisial diajukan oleh J.F Joliot-Curie dan Irene Joliot-Curie di Paris pada tahun 1934 dan produksi radioisotop dengan siklotron oleh Ernest O. Lawrence di Berkeley pada 1930 serta reaktor nuklir yang diperkenalkan oleh Enrico Fermi dan koleganya di Roma pada 1942. Sejak itu radioisotop memainkan peran penting dan vital dalam pertumbuhan dan perkembangan ilmu biologi dan obat serta kesehatan yang berawal dari pengertian kimia fotosintesis oleh tim Melvin Calvin di Berkeley yang menggunakan isotop ^{14}C hingga perkembangan biologi molekuler.



Gambar 1. Marie Curie dilaboratoriumnya di *University of Paris* dan merupakan satu-satunya wanita yang memenangkan dua hadiah Nobel.

Saat ini senyawa berlabel radioisotop merupakan cara fundamental dalam biologi dan ilmu medis/ kedokteran. Untuk merealisasikan pentingnya radioisotop dalam pengobatan dan biologi, Yayasan Rockefeller mendanai pembuatan siklotron pertama yang didedikasikan untuk produksi radioisotop di *Washington University St. Louis*, Amerika Serikat pada 1940. Selanjutnya produksi radioisotop dan senyawa bertanda dibuat dalam suatu industri dan dikomersialkan.

Sejak pengertian tentang atom lebih dipahami, sifat radioaktifitasnya 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 meliputi peluruhan alfa yang terjadi ketika inti atom melepaskan dua proton dan dua neutron (setara dengan inti atom helium), peluruhan beta yaitu elektron berenergi tinggi, dan peluruhan gamma yang merupakan gelombang elektromagnetik pada frekuensi dan energi yang sangat tinggi. Ketiga jenis radiasi tersebut terjadi secara alami, dan radiasi sinar gamma adalah yang paling berbahaya namun memiliki banyak kegunaan.

Berikut ini diuraikan penggunaan teknologi nuklir untuk keperluan hidup sehari-hari umat manusia.

PEMANFAATAN TEKNOLOGI NUKLIR

Teknologi nuklir digunakan untuk pembangkit energi, aplikasi medis, dan aplikasi di industri serta aplikasi komersial lainnya yang sangat meluas. Untuk pembangkitan energi, teknologi nuklir yang melibatkan penggunaan terkendali dari reaksi fisi nuklir untuk menghasilkan energi, termasuk propulsi, panas, dan pembangkitan energi listrik. Energi nuklir diproduksi oleh reaksi nuklir terkendali yang menciptakan panas yang kemudian 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 berkontribusi sekitar 20,8% listrik yang digunakan di seluruh dunia, sedangkan data *IEA Electricity Information* menunjukkan persentase lebih rendah yakni 13,4% (tahun 2008).

Untuk aplikasi dalam bidang medis dibagi menjadi dua tujuan yakni untuk diagnostik dan terapi radiasi (interna dan eksterna), baik untuk pengobatan kanker, pencitraan (sinar-X dan sebagainya), penelusuran molekul organik, pengujian fungsi organ dan lain-lain. Untuk pemanfaatan di bidang pertanian, sebagai contoh para peneliti di Indonesia telah berhasil menggunakan isotop radioaktif untuk mendayagunakan pakan sehingga jumlah pakan yang sama akan dapat dikonsumsi oleh lebih banyak ternak. Namanya *Urea Molasses Multinutrient Block* yang 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 sifat dari bebatuan seperti porositas dan litografi. Teknologi ini melibatkan penggunaan neutron atau sinar gamma (biasanya digunakan ^{137}Cs) dan detektor yang ditanam dalam bebatuan yang akan diperiksa. Pada konstruksi jalan, teknologi nuklir digunakan untuk mengukur kepadatan aspal dan beton, pengukuran kelembaban dan kepadatan. Pemanfaatan teknologi nuklir 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 ^{90}Sr .

Untuk aplikasi komersial, fenomena ionisasi dari amerisium (^{241}Am) digunakan pada detektor asap atau alarm dengan memanfaatkan radiasi alfa (Gambar 2). Salah satu jenis detektor asap menggunakan radiasi dari sejumlah kecil bahan radioaktif tersebut untuk mendeteksi keberadaan sumber asap atau panas melalui proses ionisasi. Radioisotop amerisium ini merupakan logam

keperakan dan larut dalam asam. Isotop amerisium yang paling stabil (^{243}Am) memiliki umur paro lebih dari 7500 tahun. Isotop lain seperti tritium digunakan bersama fosfor pada senapan untuk meningkatkan akurasi penembakan pada malam hari dan perpendaran tanda *exit* pada suatu tempat parkir juga menggunakan teknologi yang sama.



Gambar 2. Sebuah contoh detektor asap menggunakan teknologi nuklir.

APLIKASI DI BIDANG PERTANIAN DAN PANGAN

Pemanfaatan teknologi nuklir dalam pemrosesan makanan dan pertanian bertujuan untuk sterilisasi (menghancurkan) mikro-organisme, bakteri, virus, atau serangga yang 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. Semua efek ini menguntungkan bagi konsumen dan industri makanan. Untuk mengindikasikan bahwa makanan itu sudah diberi paparan radiasi maka produk makanan diberi logo “Radura” seperti pada Gambar 3. Iradiasi pangan telah diterima oleh otoritas kesehatan di dunia

internasional untuk konsumsi manusia di sejumlah negara. Jenis pangan yang dimaksud adalah kentang, bawang, buah-buahan kering dan segar, biji-bijian dan produknya, dan ikan. Beberapa makanan *prepacked* juga dapat diiradiasi untuk tujuan yang menguntungkan.



Gambar 3. Logo “Radura” digunakan untuk menunjukkan bahwa makanan itu sudah diberikan ionisasi radiasi.

Untuk bidang Pertanian saat ini di BATAN telah dihasilkan :

1. 15 Varietas Unggul Padi, seperti Diah Suci dan Mira I
2. 4 Varietas Unggul Kedelai
3. Varietas Unggul Kacang Hijau

Metode iptek nuklir di bidang pertanian digunakan untuk :

1. Efisiensi Pemupukan Tanaman dengan Teknik Perunut
2. Pengendalian Hama Tanaman dengan Teknik Serangga Mandul
3. Penyelesaian masalah pasca panen, yakni bagaimana caranya agar hasil panen yang melimpah dan belum sempat dipasarkan dapat tetap baik dan segar dan dapat disimpan dalam waktu lama dengan cara iradiasi.
4. Mutasi genetika untuk tanaman, terutama tanaman pangan, dengan tujuan untuk mendapatkan bibit unggul suatu tanaman atau pemuliaan tanaman untuk memenuhi tujuan seperti: tahan terhadap hama penyakit, masa panen (berbuah) lebih singkat, hasil buahnya lebih baik (warna, rasa dan besarnya), dan bisa tumbuh pada lahan keras/ lahan asin/kering, dan sebagainya.

Salah satu varietas yang sudah banyak diaplikasikan adalah varietas mira-1. Varietas ini merupakan varietas yang potensial dalam meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi pangan nasional. Varietas yang telah mendapatkan sertifikasi dari Departemen Pertanian tersebut mampu menghasilkan 9,20 ton/ha dengan rata-rata produksi 6,9 ton/ha gabah kering giling. Kelebihan lain Mira-1 dibanding dengan padi konvensional adalah batangnya lebih kokoh, sehingga tidak mudah rebah/rontok ketika diterpa angin kencang.

Berdasarkan hasil uji daya multilokasi di 28 lokasi, uji ketahanan terhadap hama wereng coklat dan penyakit bakteri hawar daun serta analisis mutu dan kualitas beras, varietas Mira-1 mempunyai keunggulan sebagai berikut:

Potensi hasil tinggi yaitu 9,2 ton/ha, dengan rata-rata produksi 6,29 ton/ha gabah kering giling dengan kriteria atau sifat sbb:

- Umur 115-120 hari.
- Berat 1000 butir 26-27 gram.
- Tahan terhadap hama wereng coklat biotipe 2 dan agak tahan biotipe 3.
- Tahan terhadap penyakit bakteri hawar strain III dan agak tahan strain IV.
- Kadar amilosa rendah yaitu 19% dan kadar protein tinggi yaitu 9,02 %.
- Mutu dan kualitas beras bagus, berasnya panjang dan kristal tanpa butir mengapur, dengan tekstur nasi pulen.
- Randemen giling tinggi yaitu 73,75%, sedang varietas IR-64 72,89% dan Cisantana 65,19%.
- Prosentase beras kepala tinggi yaitu 87,67%, sedang IR-64 adalah 80,84% dan Cisantana 77,97%.

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 menaikkan suhu sebesar 2,5°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 satu yang menguntungkan, namun di pihak lain hal ini menimbulkan kekhawatiran. Perlakuan bahan makanan padat dengan radiasi ionisasi dapat menciptakan efek yang sama dengan pasteurisasi bahan makanan cair seperti susu. Namun pasteurisasi dingin dan iradiasi adalah dua 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 pengion, 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 terbukti sangat bermanfaat. Contoh sederhana adalah pemeriksaan Rontgen untuk mengetahui kondisi organ dalam tubuh tanpa pembedahan.

Fenomena baru mengenai radioaktivitas diketahui sejak adanya paten di dunia kedokteran yang melibatkan radioaktivitas. Karena radiasi memiliki sifat fisik yang sangat baik seperti disosiasi elektrolitik atau transparansi, maka teknologi ini dapat digunakan untuk diagnostik dan penanganan medis. Teknik ini dipergunakan secara meluas untuk diagnostik dari pemotretan radiografi dada familier hingga teknologi yang

tergolong baru yakni diagnostik 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 (^{210}Pb dan ^{210}Bi) pada hewan dan pada 1935 Hevesy dan O. Chieivitz memberikan ^{32}P sebagai pospat pada tikus dan mampu memberikan informasi tentang penyusun mineral dalam tulang. Penemuan unsur buatan $^{99\text{m}}\text{Tc}$ oleh Emilio Segre dan Glenn Seaborg pada 1938, dan generator $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (generator ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$) yang 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.

Indonesia saat ini sedang menghadapi tantangan yang besar dalam penanganan dan pengendalian penyakit infeksi yang disebabkan oleh agen biologi seperti virus, bakteri atau parasit. 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 diagnostik konvensional yang prosedurnya panjang (*laborious*) dan kurang sensitif. Teknik nuklir bersifat unik/spesifik dan menawarkan

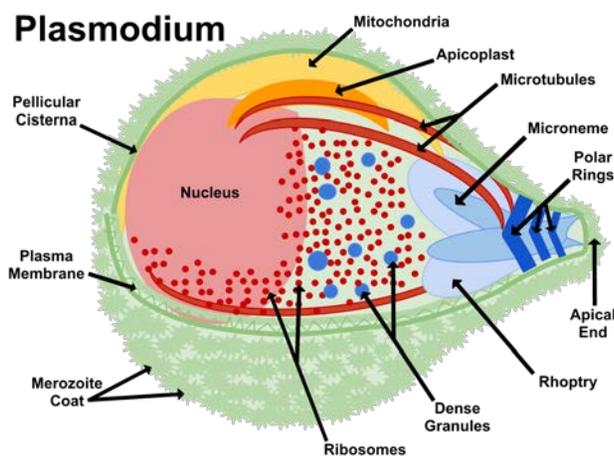
beberapa kelebihan antara lain lebih sensitif dan cepat.

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 parasit 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 satu protein rekombinan yang dipasarkan sebagai vaksin dan belum ada vaksin berbasis peptida sintetik, virus rekombinan, bakteri rekombinan atau plasmid asam nukleat (DNA).

Karena efek yang ditimbulkannya maka radiasi pengion dapat digunakan untuk melemahkan agen penyebab 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 hemeaglutinasi, 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 malaria dengan iradiasi gamma.

Aplikasi lain di bidang kesehatan adalah untuk studi fisiologi organ tubuh manusia dan hewan dengan teknik perunut seperti :

1. Fungsi kelenjar gondok (tiroid) yang dapat dilihat dengan memakai isotop I-129 atau I-131 yang dimasukkan ke tubuh manusia, baik secara oral (diminumkan) atau dengan cara injeksi. Iodium radioaktif tersebut memberikan tiroid *up take* melalui detektor yang dipasangkan dikelenjar thyroid.
2. Fungsi ginjal juga dapat dideteksi dengan memberikan hipuran I-131 ke dalam tubuh manusia , baik melalui minuman ataupun melalui suntikan. Detektor nuklir dipasang pada pinggang disekitar ginjal, lalu dicatat radiasi hasil proses di dalam ginjal berdasarkan fungsi waktu. Ginjal kiri dan kanan akan memberikan gambaran pada Renogram, apakah fungsinya masih baik atau tidak. Cara ini tidak dapat dilakukan dengan cara radiologi, yaitu pemotretan dengan sinar-X terhadap ginjal.

APLIKASI DI BIDANG ENERGI

Salah satu pemanfaatan teknik nuklir dalam bidang energi saat ini adalah pemanfaatan secara besar-besaran dalam bentuk Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) yang relatif murah, aman dan tidak mencemari lingkungan. 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 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 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 para pekerja reaktor, masyarakat 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 saat jika diinginkan dan dapat tetap dipertahankan dalam keadaan aman, yakni memperoleh pendinginan yang cukup. Untuk maksud ini maka panas peluruhan yang dihasilkan harus dibuang dari teras reaktor karena dapat menimbulkan bahaya akibat pemanasan lebih pada reaktor.

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. Manfaat lain adalah untuk reaktor berukuran kecil pada sekitar 150 kapal, sebagian besar berupa kapal selam dan kapal induk. Kapal ini bisa berada di laut untuk waktu yang lama tanpa harus melakukan pengisian bahan bakar. Dalam laut Arktik di Rusia kapal bertenaga nuklir beroperasi hampir sepanjang tahun, dimana 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, baik reaksi fisi maupun kombinasi dari fisi dan fusi. Keduanya melepaskan sejumlah besar energi dari sejumlah kecil massa radionuklida, bahkan alat peledak nuklir kecil dapat menghancurkan sebuah kota dengan ledakan, api, dan radiasi. Senjata nuklir merupakan senjata pemusnah massal yang penggunaan dan pengendaliannya telah menjadi aspek kebijakan internasional sejak kehadirannya.

APLIKASI DI BIDANG 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.

Dalam bidang hidrologi teknik nuklir (teknik perunut radioisotop) saat ini sudah dapat memecahkan berbagai masalah yaitu :

1. Penentuan gerakan sedimen di pelabuhan dan daerah pantai, yaitu untuk studi efisiensi pengerukan dan untuk perencanaan pembangunan pelabuhan baru.
2. Untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan, teknik perunut dapat digunakan untuk melacak zat pencemar.
3. Menentukan kebocoran dam atau bendungan.
4. Menentukan arah gerakan air tanah.
5. Studi hubungan antar sumur-sumur minyak untuk mengetahui karakteristik aliran cairan di sekitar sumur minyak.
6. Menentukan debit air sungai.
7. Studi geothermal, dan
8. Teknik *gauging*.

Tentunya masih banyak pemanfaatan teknologi nuklir yang belum disajikan dalam tulisan ini seperti pengendalian hama serangga, penelitian tanaman varietas baru, radiografi dan penentuan umur suatu benda, dan lain-lain.

PENUTUP

Sangat besar karunia Tuhan berupa teknologi nuklir untuk dimanfaatkan guna mewujudkan kesejahteraan manusia. Jika kita menggunakannya dengan baik, tentu akan mendatangkan manfaat yang sangat besar. Teknologi nuklir dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang, namun jika berada di tangan yang salah, pasti akan menjadi bencana seperti Bom atom Hiroshima-Nagasaki.

Dibandingkan dengan teknologi lain, teknologi nuklir merupakan teknologi yang oleh sebagian besar masyarakat awam dianggap paling sedikit atau bahkan tidak pernah sama sekali bersentuhan dengan permasalahan 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. Contoh yang paling banyak dibicarakan adalah pembangkit listrik. Selama ini manusia memanfaatkan air, angin, sinar matahari, ataupun gas alam sebagai sumber energi untuk membangkitkan tenaga listrik. Semakin berkurangnya sumber energi minyak bumi menyebabkan perlunya mencari dan mengembangkan sumber energi baru. Salah satu pilihan sumber energi yang baru adalah energi nuklir. Energi nuklir lebih menguntungkan ditinjau dari segi keselamatan lingkungan karena tidak menghasilkan unsur berbahaya, seperti logam berat (kadmium, plumbum, arsen, argentum/perak, vanadium), emisi gas SO₂, NOX, dan VHC.

Nuklir merupakan salah satu teknologi yang bisa dijadikan sebagai sumber energi alternatif serta merupakan suatu "sahabat yang sejati". 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 pemanfaatan lain yang lebih menyentuh pada sendi-sendi kehidupan manusia. Dengan demikian teknologi nuklir dapat ikut memberikan kontribusi yang sangat besar untuk pembangunan ekonomi dan kesejahteraan rakyat atau kita semua.

DAFTAR PUSTAKA

- ALZAAKI, N.A, dan MISHKIN, F.S, (Eds), *Fundamentals of Nuclear Medicine*, Society of Nuclear Medicine Inc., New york, 1984.
- ANONYMOUS, *Atomic café and Dr. Strangelove: A critical analysis*, <http://mrsneed.wikispaces.com/file/view/Atomic+Cafe+dr.+Strangelove.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>).
- ANONYMOUS, *Tritium Questions and Answers: Tritium - The Driving Force Behind Our Self-Luminous Exit Sign*, http://evenlite.com/wp-content/uploads/2012/01/36-86.1_Self-Luminous-Exit.pdf (diunduh 27 Februari 2016).
- ARMA, AMRI, A.J., *Zat Radioaktif dan Penggunaan Radioisotop Bagi Kesehatan*, 2009, diakses dari <http://library.usu.ac.id/download/fkm/biostatistik-abdul%20jalil.pdf>.
- ARMAROLI, N., BALZANI, V., *Towards an electricity-powered world*. In: *Energy and Environmental Science* 4, 3193-3222, p. 3200, 2011.
- ATOMOS, *Media Informasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Aplikasi teknik nuklir dalam hidrologi*, PDIN BATAN, 2016, <http://digilib.batan.go.id/berita/files/AH.pdf>.
- BENJAMIN, S., *Contesting the Future of Nuclear Power: A Critical Global Assessment of Atomic Energy*, Hackensack, NJ: World Scientific, p. 190, 2011.
- BYERS, N., GARY, W.A., *Hélène Langevin-Joliot and Pierre Radvanyi: Out of the Shadows: Contributions of Twentieth-Century Women to Physics*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2006.
- CHIU, M.H., GILMER, P.J., TREAGUST, D.F., *Celebrating the 100th anniversary of Madame Marie Sklodowska Curie's Nobel Prize in Chemistry*. Sense Publishers, Rotterdam, 2011.
- DIEHL, J.F., *Safety of Irradiated Foods*, 2nd Edition, Marcel Dekker, Inc., New York, 1995.
- GALE, R.P. and LAX, E., *Radiation: What It Is, What You Need to Know*. First edition, Vintage Books, 2013, USA.

- IAEA, Combating Infection in Developing Countries, The IAEA Contribution. Vienna, Austria <http://www.iaea.org/Publications/Booklets/CombatInfection/combatinfection.pdf>.
- IAEA-TECDOC-1029, Modern trend in radiopharmaceuticals for diagnosis and therapy, Proceeding IAEA Symposium, Lisbon, Portugal, 1998.
- IAEA. Nuclear Techniques Help Find Solutions in Fight Against HIV/AIDS and Tuberculosis. http://www.iaea.org/newscenter/news/2014/tb_hiv.html.
- 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.
- MAHA, M., Radiasi Pangan Saat ini dan Arah Pengembangannya, Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi, Buku 2 (Kimia, Lingkungan, Proses Radiasi dan Industri) PAIR BATAN, Jakarta, 18-19 Februari 1998, hal. 15-22.
- NOBEL LECTURES, Physics 1901-1921, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1967.
- NUSSENZWEIG, R.S. and LONG, C.A., Malaria vaccines: multiple targets, *Science*, 265 (5177), 1381-1383, 1994.
- PEACOCK, K.W., Biotechnology and Genetic Engineering, Infobase Publishing, New York, 2010, pp.273-282.
- 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.
- SATIN, M., Food irradiation, a guidebook. Technomic Publ. Co., Inc. Lancaster, PA, 1993.
- STYLE, M.L.A., Marie Curie-Biographical, Nobelprize.org. Nobel Media AB 2014. Web. 7 Feb 2016. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1903/marie-curie-bio.html.
- SUBKI, M.I.R., Program Strategis BATAN dalam Aplikasi Teknik Nuklir, Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi, Buku 2 (Kimia, Lingkungan, Proses Radiasi dan Industri) PAIR BATAN, Jakarta, 18-19 Februari 1998.
- 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.
- The EDITOR, BP Statistical Review of World Energy, BP p.l.c, 1 St James's Square, London SW1Y 4PD, UK (<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>).
- UPTON, A.C. Historical perspective on radiation carcinogenesis, In: Radiation Carcinogenesis; Upton, A.C., Alber, R.E., Burns, F.J., Shore, R.E., Eds.; Elsevier: New York, NY, USA, 1986; pp. 1-10.
- 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/>.

Pembaca yang budiman,

Buletin ALARA menerima naskah atau makalah iptek ilmiah populer yang membahas tentang “Aspek Keselamatan Radiasi dan Keselamatan Lingkungan dalam Pemanfaatan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir untuk Kesejahteraan Masyarakat”. Naskah/makalah yang dikirimkan ke Redaksi Buletin ALARA adalah naskah/makalah yang khusus untuk diterbitkan oleh Buletin ALARA dengan melampirkan 1 eksemplar dan disket yang berisi file makalah tersebut. Apabila naskah/makalah tersebut telah pernah dibahas atau dipresentasikan dalam suatu pertemuan ilmiah, harus diberi keterangan mengenai nama, tempat dan saat berlangsungnya pertemuan tersebut. Redaksi berhak mengubah susunan bahasa tanpa mengubah isi dan maksud tulisan.

Naskah/makalah ditulis dalam Bahasa Indonesia yang baku dan mengikuti tata cara (*format*) penulisan suatu makalah yang benar. *Istilah asing* dalam naskah/makalah harus ditulis *miring* dan diberi padanan kata Bahasa Indonesia yang benar. Naskah/makalah diketik menggunakan font 12 Times New Romans dengan 1,5 spasi pada kertas ukuran kuarto, satu muka, margin kiri 3 cm; margin atas, bawah, kanan 2,5 cm. Lebih disukai bila panjang tulisan kira-kira 8 – 15 halaman kuarto. Nama (para) penulis ditulis lengkap disertai dengan keterangan lembaga/fakultas/institut tempat bekerja dan bidang keahlian (jika ada) pada catatan kaki. Tabel/skema/grafik/ilustrasi dalam naskah/makalah dibuat sejelas-jelasnya dalam satu file yang sama. Kepustakaan ditulis berdasarkan huruf abjad, mengikuti ketentuan penulisan kepastakaan, dan sangat diharapkan menggunakan literatur 5 tahun terakhir, adalah sbb ;

AFFANDI, Pengukuran radionuklida alam pada bahan bangunan plaster board fosfogypsum dengan menggunakan spektrometer gamma, Skripsi S-1, Jurusan Fisika FMIPA UI, 2010. (*Bila yang diacu skripsi/thesis*)

BOZIARI, A., KOUKORAVA, C., CARINOU, E., HOURDAKIS CJ. AND KAMENOPOULOU, V, The use of active personal dosimeters as a personal monitoring device: Comparison with TL dosimetry, Radiat. Prot. Dosim. 144, pp. 173 – 176, 2011. (*Bila yang diacu jurnal/majalah/prosiding*)

MARTINA and HARBISON, S.A., An introduction to radiation protection, Chapman and Hall, London, New York, 2012

NEVISSI, A.E., Methods for detection of radon and radon daughters, in : indoor radon and its hazards, edited by D. Bodansky, M.A. Robkin, D.R. Stadler, University of Washington Press, pp. 30 – 41, 2010 (*Bila yang diacu dalam satu buku yang merupakan kumpulan tulisan, seperti Handbook, Ensiklopedi dll*).

Tim Redaksi



Naskah/makalah dapat ditujukan kepada :

Tim Redaksi Buletin ALARA

u.p. **Setyo Rini, SE**

PTKMR - BATAN

- Jalan Lebak Bulus Raya No. 49,
Kawasan Nuklir Pasar Jumat Jakarta (12440)
- PO. Box 7043 JKSKL, Jakarta 12070
- e-mail : alara.ptkmr@yahoo.com
ptkmr@batan.go.id