



i-NUKLEAR

ILMU . IDEA . INFORMASI



Teknologi Nuklear untuk Pembangunan Mampan:

Kelestarian Alam Sekitar,
Sumber Air dan Adaptasi Iklim

2 SIFAR
KELAPARAN



3 KESIHATAN
BAIK DAN
SEJAHTERA



6 AIR BERSIH
DAN SANITASI



7 TENAGA
BERPATUTAN
DAN RENDAH



9 INDUSTRI
INNOVASI DAN
INFRASTRUKTUR



13 TINDAKAN
TERHADAP
IKLIM



14 KEHIDUPAN
DALAM AIR



15 KEHIDUPAN
DI DARAT



17 KERJASAMA
DEMI
MATLAMAT



Sejarah

Sejarah agensi bermula pada 11 November 1971 apabila satu jawatankuasa yang dikenali sebagai Pusat Penyelidikan dan Aplikasi Tenaga Nuklear (CRANE) ditubuhkan, bagi mengkaji kemungkinan Malaysia menceburi bidang teknologi nuklear. Usul ini telah diterima dan diluluskan dalam mesyuarat Jemaah Menteri pada 19 September 1972 yang menyokong cadangan terhadap keperluan Malaysia menubuhkan pusat penggunaan dan penyelidikan teknologi nuklear. Pada Ogos 1973, Jawatankuasa Perancangan Pembangunan Negara mencadangkan untuk menamakan pusat ini sebagai Pusat Penyelidikan Atom Tun Ismail (PUSPATI) dan telah diiktiraf sebagai pusat kebangsaan.

PUSPATI telah diletakkan di bawah Kementerian Sains, Teknologi dan Alam Sekitar (MOSTE). Tahun 1983 merupakan detik penting bagi agensi apabila diberikan identiti baru iaitu Unit Tenaga Nuklear (UTN). Serentak dengan itu, UTN telah dipindahkan dari MOSTE ke Jabatan Perdana Menteri (JPM). Ini memberi impak yang besar kepada peranan agensi kerana buat pertama kalinya aktiviti nuklear yang melibatkan perancangan polisi negara dan kegiatan

operasi nuklear disatukan di bawah naungan JPM. Namun pada 27 Oktober 1990, UTN telah dipindahkan semula ke MOSTE. Jemaah Menteri dalam mesyuaratnya pada 10 Ogos 1994, telah meluluskan pertukaran nama UTN kepada Institut Penyelidikan Teknologi Nuklear Malaysia (MINT).

Logo baru juga telah diperkenalkan pada 22 Oktober 2009 ketika Hari Pelanggan MINT, yang juga julung kali diadakan. Bagi memberi arah hala yang lebih jelas, isi MINT diperkemas kepada mempertingkat pembangunan dan daya saing ekonomi negara melalui kecemerlangan dalam teknologi nuklear. Pada 13 April 2005 sekali lagi agensi mengalami perubahan entiti apabila digazet dengan nama baru iaitu Agensi Nuklear Malaysia (Nuklear Malaysia). Kini Nuklear Malaysia terus melebarkan sayap dalam mengembangkan R, D & C bagi menyokong aspirasi negara.

Peranan

Nuklear Malaysia adalah sebuah agensi di bawah Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi (MOSTI). Nuklear Malaysia juga adalah agensi peneraju penyelidikan dan pembangunan (R&D) sains dan teknologi nuklear bagi pembangunan sosioekonomi negara. Semenjak penubuhannya, Nuklear Malaysia telah diamanahkan dengan tanggungjawab untuk memperkenalkan dan mempromosi sains dan teknologi nuklear kepada masyarakat, sekaligus menyemai minat dan menyedarkan orang awam akan kepentingan teknologi nuklear dalam kehidupan. Hingga ke hari ini, Nuklear Malaysia kekal penting sebagai sebuah organisasi yang mantap dalam bidang saintifik, teknologi dan inovasi.

Pencapaian cemerlang Nuklear Malaysia adalah bersandarkan pengalaman 47 tahun dalam pelbagai pembangunan S&T nuklear, serta 37 tahun dalam pengendalian reaktor penyelidikan yang bebas kemalangan radiologi dan bersih alam sekitar. Selain itu, hasil R&D yang berpotensi turut diketengahkan ke pasaran sebagai usaha memanfaatkan penemuan inovasi saintifik kepada rakyat dan ekonomi Malaysia. Nuklear Malaysia juga sentiasa memastikan perkhidmatan yang diberikan adalah berkualiti dan bertaraf antarabangsa dalam kelasnya. Kemampuan ini adalah berdasarkan latihan dan disiplin tenaga kerja profesional, infrastruktur, kejuruteraan serta makmal penyelidikan yang lengkap.

Posisi Nuklear Malaysia sebagai pusat penyelidikan unggul telah diiktiraf dan dicontohi oleh agensi-agensi nuklear dari negara-negara jiran, malahan dijadikan model dalam merangka pelan pelaksanaan pembangunan S&T nuklear masing-masing, terutamanya aspek pemindahan dan pengkomersilan teknologi.

PENAUNG

Dr. Mohd. Abd. Wahab bin Yusof

EDITOR KANAN

Habibah binti Adnan

EDITOR

Normazlin binti Ismail

PENYELARAS

Mohd Sha Affandi bin Md Aripin

PENULIS

Jeremy Andy Anak Dominic Daung
Dr. Kamarudin bin Samuding
Mohd Sha Affandi bin Md Aripin
Mohamad Syahiran bin Mustaffa
Nasaai bin Masngut
Dr. Norasalwa binti Zakaria
Rafizi bin Salihuddin
Dr. Rahman bin Yaccup
Rohyiza binti Baan
Shakirah binti Abd Shukor
Yii Mei Wo
Dr. Zalina Laili
Dr. Zal U'yun binti Wan Mahmood

PEREKA GRAFIK

Norhidayah binti Jait

JURUFOTO

Nor Hasimah binti Hashim

DITERBITKAN OLEH:

Unit Penerbitan
Bahagian Pengurusan Maklumat
Agensi Nuklear Malaysia
Bangi, 43000 Kajang,
Selangor Darul Ehsan.

hak cipta terpelihara

Mana-mana bahagian penerbitan ini tidak boleh dikeluarkan, disimpan dalam sistem dapat kembali, atau disiarkan dalam apa-apa jua cara, sama ada secara elektronik, fotokopi, mekanik, rakaman atau lain-lain, sebelum mendapat izin bertulis daripada Penerbit. Sidang Editor berhak melakukan penyuntingan ke atas tulisan yang diterima selagi tidak mengubah isinya. Karya yang disiarkan tidak semestinya mencerminkan pendapat dan pendirian Agensi Nuklear Malaysia.

isikandungan i-NUKLEAR

2 Tinta Ketua Pengarah & Dari Meja Editor

3-6 Sasaran Pembangunan Lestari : Tindakan Kolektif Global Terhadap Iklim, Air Bersih dan Sanitasi

7-10 Teknik Nuklear dalam Forensik Alam Sekitar

11-15 Teknologi Nuklear Dalam Konteks Perubahan Iklim: Pengurangan, Pemantauan dan Pengadaptasian

16-23 Teknologi Nuklear dalam Memastikan Kemampanan Pengurusan Sumber Air dan Alam Sekitar

24-28 Pengurusan Sisa Radioaktif untuk Kesejahteraan Alam Sekitar yang Lestari

29-33 Pembangunan Infrastruktur dan Kegunaannya Terhadap Penentuan Umur Sumber Air

34-36 Tentumur Radiometrik: Peranan Memahami Misteri Kejadian Alam Sekitar

t i n t a

ketua pengarah

Pada 25 September 2015, ketika Perhimpunan Agung Pertubuhan Bangsa-Bangsa Bersatu (PBB), pemimpin-pemimpin dunia telah bersepakat menerima 17 Matlamat Pembangunan Lestari (SDG) dan 169 sasaran berkaitan yang perlu dicapai menjelang Tahun 2030.

SDG adalah satu agenda pembangunan mampan yang lengkap merangkumi pertumbuhan ekonomi, kesejahteraan komuniti sosial dan kelestarian alam sekitar. Berpegang kepada falsafah bahawa kita bukan sekadar memiliki dan mewarisi dunia ini, tetapi kita juga menjaga dan mengurusnya untuk generasi akan datang. Maka matlamat yang ingin dicapai melalui SDG perlu turut diintegrasikan dalam merancang dan melaksanakan aktiviti R&D di Nuklear Malaysia.

Pelbagai R&D giat dijalankan supaya teknologi nuklear dapat dimanfaatkan untuk menyokong matlamat SDG bagi menangani perubahan iklim. Pakar bekerjasama dengan bantuan Agensi Tenaga Atom Antarabangsa (IAEA) untuk menggunakan sains dan teknologi nuklear bagi memantau, mengurangkan dan menyesuaikan diri dengan kesan perubahan iklim, yang seterusnya bertindak balas terhadap Perjanjian Paris mengenai Perubahan Iklim dan Matlamat Pembangunan Lestari PBB (SDG) 13; yang menuntut tindakan segera untuk memerangi perubahan iklim dan kesannya.

Selain itu melalui R&D juga, Malaysia mampu untuk menyokong pengurusan alam sekitar dan sumber air yang lestari. Di dalam isu perubahan iklim, teknologi nuklear amat bermanfaat untuk mencari alternatif bagi mengurangkan masalah ini dan membantu semua pihak menghadapi impak daripada perubahan iklim ini.

Dr. Mohd. Abd. Wahab bin Yusof
Ketua Pengarah
Agensi Nuklear Malaysia



d a r i meja editor

Perubahan iklim menjadikan dunia kekurangan air, kekurangan makanan, kehilangan biodiversiti dan terjadinya bencana alam. Penyelidik menggunakan teknik nuklear dan isotop untuk mengumpulkan data dan memantau bagaimana perubahan iklim mempengaruhi alam sekitar dari lautan dan air tawar hingga gunung dan tanah serta mengenal pasti sumber pencemaran dan pelepasan gas rumah hijau. Data ini dapat membantu pembuat dasar membuat keputusan berdasarkan sains, untuk mengurangkan dan menyesuaikan diri dengan perubahan iklim.

Oleh kerana pelepasan gas rumah hijau seperti karbon dioksida, nitrat oksida dan metana, mempercepat kadar perubahan iklim, negara-negara dunia berusaha untuk mengurangkan pelepasan gas ini dengan mengembangkan rancangan tenaga lestari termasuk tenaga nuklear. Mereka juga mengambil langkah untuk meningkatkan sektor pertanian dalam sumber utama pelepasan gas rumah hijau dengan menggunakan sains dan teknologi nuklear bagi mengkaji dan mengembangkan kaedah baru dengan menanam tanaman yang juga dapat mengurangkan pelepasan gas. Kaedah ini membantu penyerapan karbon yang menggunakan jenis tanaman tertentu

dan kaedah penuaian yang sesuai untuk mendorong tanah menahan lebih banyak karbon dioksida dari atmosfera.

Untuk menyesuaikan diri dengan perubahan iklim, para saintis mengembangkan kaedah pertanian 'iklim-pintar' yang lestari dengan bantuan sains dan teknologi nuklear untuk mengoptimalkan pengeluaran makanan dalam keadaan iklim yang tidak menentu seperti musim kemarau dan suhu tinggi serta memulihara dan memelihara sumber semula jadi seperti tanah dan air. Mereka juga meneliti kaedah baru untuk melindungi sistem tenaga seperti kemudahan nuklear dari perubahan cuaca dan bencana yang berkaitan dengan iklim.

Habibah binti Adnan
Pengarah
Bahagian Pengurusan Maklumat

Sasaran Pembangunan Lestari : Tindakan Kolektif Global Terhadap Iklim, Air Bersih dan Sanitasi

Mohd Sha Affandi Md Aripin & Nasaai Masngut

Negara-negara dunia telah sepakat mengadaptasi Matlamat Pembangunan Lestari (SDGs) yang menggariskan 17 matlamat utama semasa Perhimpunan Agung Pertubuhan Bangsa-Bangsa Bersatu (PBB) tahun 2015. Matlamat ini akan cuba dicapai menjelang tahun 2030 melalui pelbagai tindakan yang dilaksanakan dengan menyasarkan isu-isu yang telah dikenal pasti seperti kelestarian bekalan air bersih, adaptasi terhadap iklim dan sanitasi. Tindakan yang dilaksanakan secara kolektif di peringkat global ini dilaksanakan agar hasrat untuk pembangunan mampan dan kelestarian alam sekitar dapat dicapai.

IAEA sebagai agensi yang bertunjangan teknologi nuklear amat menyokong negara-negara ahli menggunakan teknik nuklear bagi menjayakan SDGs. Malahan, IAEA juga telah mengenalpasti sembilan matlamat utama SDGs yang boleh dilaksanakan menggunakan teknologi nuklear.

I-Nuklear edisi ini akan membincangkan penggunaan teknologi nuklear dalam mencapai matlamat SDGs yang melibatkan iklim, air bersih dan sanitasi. Setelah empat tahun SDGs dilancarkan, Nuklear Malaysia berhasrat untuk berkongsi dengan pembaca tentang kajian dan sumbangan teknik nuklear yang sedang dijalankan.



Sasaran 13 : Tindakan Terhadap Iklim

Tiada negara yang terselamat daripada kesan akibat perubahan iklim secara drastik ini. Kesan rumah hijau didapati telah meningkat lebih 50% sejak tahun 1990. Isu pemanasan global telah menyebabkan perubahan dan kesan berpanjangan kepada sistem iklim dunia, yang turut memberi ancaman kekal sekiranya tiada tindakan diambil.

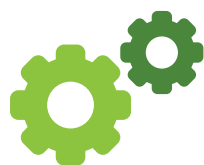
Bencana akibat perubahan iklim telah menyebabkan kerugian ekonomi lebih daripada USD 100 bilion pada setiap tahun. Ini tidak termasuk bencana geofizikal berpunca daripada iklim, yang memberi kesan kepada manusia. Bencana-bencana ini telah menyebabkan kematian lebih daripada 1.3 juta manusia dan mencederakan 4.4 bilion yang lain dalam tempoh 1998 – 2017 sahaja.

Sebanyak USD 100 bilion setiap tahun diperuntukkan bagi menangani isu yang wujud dalam kalangan negara-negara membangun bagi memenuhi keperluan mereka, terutamanya aspek persediaan menghadapi perubahan iklim dan pelaburan dalam pembangunan karbon rendah.

Tindakan ini harus dilaksanakan dengan mengintergrasikan langkah-langkah pengurusan risiko bencana, pengurusan sumber semula jadi yang mampan dan keselamatan manusia di dalam strategi pembangunan negara. Perkara ini akan membuahkan hasil sekiranya didorong oleh kehendak politik yang kuat, peningkatan pelaburan dan penggunaan teknologi sedia ada untuk menghadkan peningkatan suhu purata global kepada 2 °C di atas paras pra-industri, yang mensasarkan pada 1.5 °C, tetapi ia memerlukan tindakan segera dan cita-cita untuk mencapainya secara kolektif. Lima sasaran ingin dicapai iaitu:



Memperkukuhkan daya tahan dan keupayaan untuk menghadapi ancaman berkaitan alam sekitar dan bencana alam di semua negara;



Mengintegrasikan langkah perubahan iklim ke dalam dasar, strategi dan perancangan negara;



Memperkasakan pendidikan dan meningkatkan kapasiti keupayaan manusia serta institusi bagi menangani perubahan iklim, mengurangkan kesan, beradaptasi dan menerima amaran awal;



Melaksanakan komitmen yang telah diambil oleh negara-negara maju ketika Konvensyen Rangka Kerja Pertubuhan Bangsa-Bangsa Bersatu mengenai Perubahan Iklim untuk menggerakkan US\$ 100 billion tahunan menjelang 2020 dari segala sumber yang ada untuk memenuhi keperluan negara-negara membangun dalam konteks tindakan mitigasi yang bermakna dan pelaksanaan yang telus dan menyeluruh serta menghidupkan Dana Iklim Hijau melalui permodalan yang ada secepat mungkin.



Menggalakkan mekanisme untuk meningkatkan kapasiti bagi perancangan dan pengurusan berkaitan perubahan iklim yang berkesan di negara-negara yang kurang maju dan negara-negara membangun di pulau kecil, termasuk memberi tumpuan kepada masyarakat khususnya wanita, belia dan masyarakat tempatan yang terpinggir.

Sasaran 6 : Air Bersih dan Sanitasi

Kekurangan air akan menjejaskan lebih dari 40% penduduk dunia. Angka ini amat membimbangkan dan dijangka akan terus meningkat seiring dengan peningkatan suhu. Walaupun 2.1 bilion orang telah berjaya memperbaiki sistem sanitasi air mereka sejak tahun 1990, namun sumber bekalan air minuman yang semakin berkurang masih menjadi ancaman global. Masalah kemarau berpanjangan telah memburukkan lagi keadaan ini. Menjelang 2050, diunjurkan bahawa sekurang-kurangnya satu dari empat orang akan mengalami masalah kekurangan bekalan air.

Air minuman yang selamat dan mampu diakses semua menjelang tahun 2030 memerlukan setiap negara melabur dalam infrastruktur yang mencukupi, menyediakan kemudahan sanitasi, dan menggalakkan penjagaan kebersihan. Selain itu, ekosistem yang berkaitan dengan air juga perlu dipelihara dan dipulihara. Kajian menunjukkan lebih dari 800 juta orang di dunia masih tidak mempunyai perkhidmatan asas.

Masalah bekalan air bersih juga bersangkut paut dengan isu sanitasi. Pada tahun 2015, 4.5 bilion orang didapati mempunyai masalah dengan perkhidmatan sanitasi yang selamat, terutamanya dari sesi selamat (kotoran yang dilupuskan atau dirawat) dan 2.3 bilion orang didapati menghadapi masalah kekurangan sanitasi asas. Berikut adalah matlamat yang ingin dicapai oleh SDGs menjelang tahun 2030 :



Akses universal dan saksama untuk air minuman yang selamat dan berpatutan bagi semua orang;



Akses untuk sanitasi dan kebersihan yang mencukupi dan saksama untuk semua dan menamatkan pembuangan air besar secara terbuka, dengan memberi perhatian khusus kepada keperluan kaum wanita dan mereka yang terdedah kepada situasi ini;



Peningkatan kualiti air dengan mengurangkan pencemaran, menghapuskan pembuangan sampah dan meminimumkan pembebasan bahan kimia serta bahan berbahaya. Air sisa yang tidak dirawat perlu dikurangkan sehingga separuh manakala kitar semula dan tebus guna air yang selamat perlu dipertingkatkan di seluruh dunia;



Meningkatkan kecekapan penggunaan air secara substansial di semua sektor, memastikan pengeluaran dan bekalan air tawar yang berterusan untuk mengatasi masalah kekurangan air serta mengurangkan jumlah orang yang mengalami kekurangan air;



Melaksanakan pengurusan sumber air bersepadu di semua peringkat, termasuk melalui kerjasama rentas sempadan yang bersesuaian;



Melindungi dan memulihkan ekosistem yang berkaitan dengan air, termasuk gunung, hutan, tanah basah, sungai, akuifer dan tasik;



Memperluaskan kerjasama di peringkat antarabangsa dan sokongan bina upaya untuk negara-negara sedang membangun di dalam aktiviti dan program berkaitan bekalan air dan sanitasi termasuk penuaian air, penyahgaraman, kecekapan penggunaan air, rawatan air sisa, kitar semula dan teknologi guna semula air;



Menyokong dan memperkukuhkan penyertaan masyarakat setempat dalam meningkatkan pengurusan air dan sanitasi.

Teknik Nuklear dalam Forensik Alam Sekitar

Zalina Laili, PhD & Rahman Yaccup, PhD

Isu pencemaran alam sekitar di Malaysia kebelakangan ini menjadi semakin serius. Insiden pencemaran sisa bahan kimia pada 7 Mac 2019 di Sungai Kim Kim, Pasir Gudang, Johor telah mengejutkan banyak pihak. Hampir 6000 orang terpaksa mendapatkan rawatan selepas mengalami muntah, pening dan sebagainya akibat terhidu sisa toksik yang dibuang ke dalam sungai tersebut. Manakala 111 buah sekolah terpaksa ditutup dengan ribuan lagi turut terjejas akibat daripada pencemaran ini secara tidak langsung. Di sebalik kejadian ini, satu perkara penting yang dapat dipelajari adalah keperluan untuk melaksanakan penyiasatan secara forensik dengan menjejaki punca-punca pencemaran tersebut dan seterusnya mengenal pasti penjenayah alam sekitar supaya pendakwaan dapat dilakukan. Sehubungan dengan itu, bidang penyiasatan yang melibatkan pencemaran alam sekitar secara forensik dikenali sebagai forensik alam sekitar.

Forensik alam sekitar merupakan penilaian secara saintifik dan sistematik terhadap maklumat fizik, kimia dan biologi serta sejarah bagi tujuan menyediakan satu kesimpulan secara saintifik dan perundangan mengenai punca, sumber atau usia bahan pencemar yang dilepaskan ke persekitaran. Maklumat penyiasatan forensik alam sekitar ini diperolehi melalui persampelan, penganalisan di tapak kajian dan makmal. Penyiasatan forensik alam sekitar memerlukan kepakaran daripada pelbagai bidang seperti fizik, kimia, biologi, kejuruteraan, teknologi maklumat dan undang-undang. Berikut adalah jenis-jenis masalah alam sekitar yang biasa diaplikasikan dalam forensik alam sekitar:

- Mengenalpasti dan menentukan punca pencemaran daripada pelbagai sumber
- Membezakan punca pencemaran semulajadi dan antropogenik daripada sumber pencemaran spesifik
- Membezakan punca spesifik bagi petroleum dan gas asli
- Penyerlahan rangka masa pelepasan
- Pembinaan semula sejarah kepekatan dan laluan pelepasan bagi pembentukan dos dalam tort toksik
- Menjalankan analisis penyebab bagi menentukan perkaitan di antara keadaan cerapan dan sumber berpotensi

Secara umumnya, semasa penyiasatan forensik alam sekitar, saintis forensik menggunakan pelbagai teknik saintifik daripada teknik perbandingan mudah bahan kepada teknik yang lebih sofistikated melibatkan analisis unsur dan isotop. Data kimia iaitu data unsur dan isotop ini boleh digunakan untuk mencirikan bahan yang diperolehi di tempat kejadian jenayah alam sekitar dan juga mencirikan bahan yang dikaitkan dengan suspek. Dalam penyiasatan forensik alam sekitar, teknik analisis bukan nuklear seringkali digunakan bagi memperoleh bukti-bukti secara saintifik bagi tujuan pendakwaan terhadap penjenayah alam sekitar. Walau bagaimanapun, teknik analisis nuklear tidak dinafi boleh digunakan dalam penyiasatan forensik alam sekitar sebagai satu teknik alternatif atau sebagai satu teknik pelengkap bagi memperoleh bukti saintifik.

Kajian Penspesiesan Menggunakan Teknik Nuklear

Dalam penyiasatan forensik alam sekitar, penentuan kepekatan unsur hanyalah merupakan langkah pertama dalam proses penyiasatan. Sekiranya maklumat pergerakan dan bioketersediaan unsur perlu diperjelaskan adalah amat penting untuk mendapatkan maklumat berkaitan penspesiesan. Contohnya, taburan di antara pelbagai bentuk fizikokimia dalam air. Pengiraan secara teori biasanya tidak menggambarkan secara tepat keadaan sebenar dalam sistem semulajadi. Teknik elektroanalisis sering digunakan bagi penspesiesan langsung ke atas spesies labil, tetapi teknik ini mempunyai kekangan dari segi keupayaannya mengukur unsur. Oleh itu, kaedah analisis yang digunakan mestilah mempunyai sensitiviti, ketepatan dan kejituan yang tinggi serta mampu digunakan untuk pelbagai jenis komposisi kimia. Justeru, Teknik Analisis Pengaktifan Neutron (APN) menepati syarat-syarat tersebut.

APN merupakan teknik yang sesuai digunakan bagi penganalisan dalam penyiasatan forensik alam sekitar bagi penentuan unsur surih serta bahan pencemar alam sekitar yang disebabkan oleh aktiviti manusia. Penentuan unsur surih dalam bahan alam sekitar adalah sangat kompleks disebabkan kepekatan unsur yang rendah dan keadaan kimia yang berbeza-beza. Teknik APN berupaya mengukur sebahagian besar unsur dalam jadual berkala. Sebagai contoh, teknik APN boleh menganalisis 30 unsur dalam sampel alam sekitar seperti tanah, tumbuhan dan batuan secara serentak. Ini dapat memudahkan dan mempercepatkan penyiasatan serta menjimatkan kos.



Teknik Analisis Pengaktifan Neutron sesuai untuk digunakan dalam penyiasatan forensik alam sekitar bagi penentuan unsur surih dan bahan pencemar alam sekitar

Banyak kajian telah dijalankan oleh ahli geologi dan geokimia tentang kimia rumput dan perkaitannya dengan tanah. Kimia rumput adalah berbeza-beza bergantung kepada kimia tanah dan ia juga berkait dengan lapisan batuan dasar. Sampel rumput diambil dan dianalisis menggunakan teknik analisis pencernaan kimia dan diukur dengan menggunakan alat Induktif Pasangan Plasma-Spektrometri Jisim (ICP-MS) dan Spektrometri Serapan Atom (AAS). Bagi kebanyakan kes, kaedah ini tidak dapat memberikan jumlah kandungan logam dalam rumput disebabkan kehadiran kandungan partikel silika yang tak larut. Sebaliknya, teknik APN dapat memberikan jumlah kandungan logam larut dan tak larut. Daripada keputusan yang diperolehi daripada teknik APN, sampel rumput dapat dikategorikan berdasarkan lapisan batuan dasar yang didudukinya. Sekiranya kawasan tersebut bebas dipengaruhi daripada aktiviti antropegik, rumput tersebut dapat menggambarkan keadaan kimia lapisan tanah dan seterusnya keadaan kimia tanah pula adalah berkait dengan keadaan kimia lapisan batuan dasar. Oleh itu, dalam bidang geologi adalah tidak mustahil untuk membezakan lokasi rumput berdasarkan kandungan unsur-unsur. Kaedah ini memberikan harapan dalam penyiasatan forensik bagi sampel rumput daripada spesies yang sama tetapi dari lokasi yang berlainan, dapat dibezakan berdasarkan keadaan kimianya.

Di kawasan yang beriklim sederhana dengan musim yang ketara, rekod lingkaran gelang pokok boleh digunakan untuk melihat keadaan iklim yang lampau dan pencemaran alam sekitar. Analisis ke atas lingkaran gelang pokok adalah melibatkan unsur dan isotop. Kebanyakan analisis unsur surih dalam lingkaran pokok dijalankan dengan menggunakan teknik kaedah AAS dan ICP-MS yang memerlukan proses pelarutan. Kaedah tersebut kemungkinan memberikan keputusan yang tidak diingini seperti kerosakan terhadap sampel dan tidak boleh digunakan lagi untuk analisis lain, serta kemungkinan berlaku pelarutan sampel yang tidak lengkap. Justeru, masalah ini dapat dihindarkan apabila teknik APN digunakan. Beberapa penyelidik telah berjaya menunjukkan perkaitan di antara logam surih di dalam lingkaran pokok dengan pelepasan bahan pencemar seperti daripada kilang peleburan zink dan kuprum menggunakan teknik

APN. Dari segi forensik alam sekitar, kaedah ini dapat digunakan untuk menyiasat punca pencemaran alam sekitar yang disebabkan industri peleburan logam.

Aplikasi Radionuklid dalam Teknik Penyurihan dan Tentumur

Penggunaan isotop dalam forensik alam sekitar boleh dibahagikan kepada dua bidang utama iaitu yang berkaitan dengan isotop stabil dan yang berkaitan dengan radioisotop. Secara umumnya, penggunaan radioisotop adalah melibatkan aplikasi tentumur usia. Manakala, bagi isotop stabil aplikasinya melibatkan korelasi dan penentuan punca.

Teknik tentumur adalah berdasarkan konsep separuh hayat, iaitu masa yang diperlukan oleh isotop untuk hilang separuh daripada jisim asalnya. Sebagai contohnya, radioisotop digunakan untuk tentumur sedimen dan air bawah tanah. Bahagian teras sedimen boleh ditentumur bagi menentukan sejarah input kepada sistem akuatik. Dua isotop utama bagi tentumur sedimen adalah Cs-137 dan Pb-210. Contoh penggunaan teknik tentumur sedimen dengan Cs-137 adalah untuk membina semula sejarah (kronologi) input arsenik di sepanjang laluan pasang surut air, menjejaki sejarah trend PCB dan racun perosak dalam sedimen di zon takungan air (*reservoir*) dan tentumur kehadiran dioksin dalam tasik terpencil.

Selain digunakan untuk tentumur sedimen, isotop digunakan bagi tentumur air bawah tanah yang digunakan dalam penentuan parameter hidrogeologi. Parameter hidrogeologi pula digunakan dalam pemodelan plum songsang (*reverse plume modelling*) untuk penentuan lokasi punca dan tarikh pelepasan bahan pencemar, pemodelan larut lesap dan penyusupan, dan untuk mengaitkan air bawah tanah dengan pencemaran permukaan. Di samping itu, penentuan air bawah tanah juga dapat menunjukkan lokasi pengimbuhan aktif berlaku. Penentuan umur air bawah tanah di dua lokasi yang berbeza di sepanjang garis arus dapat digunakan untuk memberi anggaran halaju air bawah tanah. Tritium adalah isotop radioaktif hidrogen (H-3) dengan jangka hayat 12.3 tahun, yang menjadikannya sangat berguna untuk tentumur air bawah tanah. Kehadiran sejumlah besar tritium di dalam air bawah tanah adalah bukti kepada pengimbuhan aktif. Selain daripada itu, air bawah tanah juga boleh ditentumur melalui produk pereputan tritium (He-3).



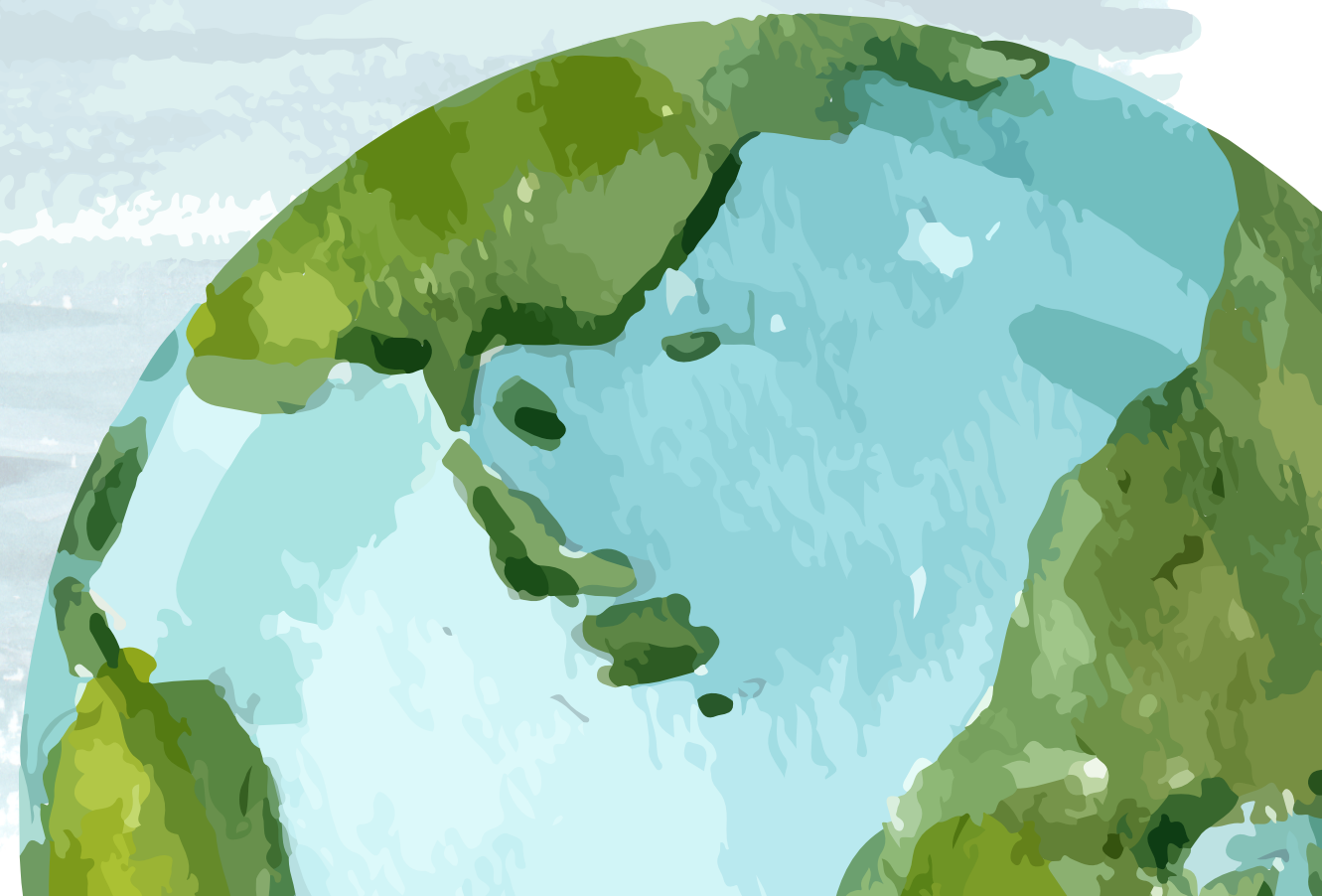
Isotop stabil digunakan bagi menentukan punca bahan pencemar. Kekuatan utama dalam penggunaan isotop stabil adalah keupayaannya membuat korelasi di antara sampel punca dengan sampel tumpahan, walaupun sampel tersebut telah terluluhawa. Karbon wujud sebagai campuran dua isotop stabil, C-12 dan C-13, dengan anggaran kelimpahan semulajadinya iaitu nisbah C-12 / C-13 adalah 99: 1. Sehubungan dengan itu, kepekatan radionuklid atau nisbah di antara radionuklid terpilih boleh digunakan untuk mengesan proses alam sekitar dengan cara yang sama seperti unsur dan sebatian bahan bukan radioaktif. Sekiranya nisbah kepekatan keaktifan radionuklid dapat dibezakan secukupnya daripada nilai latar belakang, sifat pembezaan ini dapat dikesan dan dipantau bagi mengenalpasti proses yang bertanggungjawab menyebabkan pengubahan tersebut. Parameter yang paling biasa adalah isotop karbon (C-13/C-12), tetapi terdapat juga kajian yang menggunakan deuterium, D/H-2, Cl-35/Cl-34 dan O-18/O-16 dalam pelbagai aplikasi geokimia dan ini termasuklah korelasi tumpahan/punca dan kadar biodegradasi bahan pencemar.

Secara kesimpulannya, penggunaan teknik nuklear banyak memberi manfaat dalam penyiasatan forensik alam sekitar. Ini membolehkan lebih banyak penyiasatan berfokuskan penyiasatan makmal dan menghasilkan penyiasatan yang lebih pantas dan sewajarnya dalam sesuatu insiden alam sekitar. Selain daripada itu, penggunaan teknik nuklear terutamanya kandungan isotop stabil mampu digunakan untuk mengesan sebarang pergerakan bahan cemar seandainya punca bahan cemar dikenalpasti. Secara tidak langsung individu yang bertanggungjawab dapat dikesan sekiranya data asas kandungan isotop stabil bahan buangan bagi sesuatu industri terlebih dahulu diperolehi. Pada akhirnya, ini akan memastikan perlindungan alam sekitar dan kesihatan dan kesejahteraan manusia bertambah baik.

Teknologi Nuklear dalam Konteks Perubahan Iklim: Pengurangan, Pemantauan dan Pengadaptasian

Shakirah Abd Shukor & Zalina Laili, PhD

Perubahan iklim merujuk kepada perubahan ketara keadaan iklim dan kepelbagaianya dalam jangka masa panjang. Perubahan iklim ini disebabkan oleh peningkatan pelepasan gas rumah hijau akibat daripada aktiviti manusia. Pembakaran bahan bakar arang batu, fosil dan petroleum banyak melepaskan gas karbon dioksida (CO_2) dan gas rumah hijau (gas metana, gas nitrus oksida dan gas florin) ke dalam atmosfera. Gas rumah hijau tersebut bertindak sebagai selimut dengan memerangkap haba di atmosfera dan menyebabkan kesan pemanasan. Akibatnya suhu bumi dan lautan akan meningkat yang seterusnya menyebabkan beberapa kesan ketara seperti kenaikan paras laut, perubahan pola ribut, perubahan hujan, salji dan ais lebur, peristiwa haba yang melampau, kebakaran dan kemarau. Masalah perubahan iklim diakui sangat rumit. Oleh itu para pembuat dasar memerlukan maklumat mendalam mengenai punca sebenar perubahan iklim, kesannya terhadap alam sekitar dan sosio-ekonomi dan pilihan pengadaptasian dan pengurangan yang boleh dibuat.



Secara umumnya, semakin banyak negara menggunakan teknologi nuklear dalam mengurangkan aktiviti yang menyumbang kepada perubahan iklim. Sekitar 30 buah negara telah menggunakan tenaga nuklear dan tidak kurang juga sama banyaknya dengan loji tenaga nuklear yang masih dalam pembinaan. Penggunaan tenaga nuklear adalah sebagai satu inisiatif awal bagi menghasilkan tenaga yang bersih dan rendah paras karbon. Dalam menangani isu ini, teknologi nuklear boleh digunakan bagi pengurangan, pemantauan dan pengadaptasian terhadap perubahan iklim.

Pengurangan

Pengurangan (*mitigation*) yang dimaksudkan adalah mengurangkan sumber atau menambahkan penyerapan gas rumah hijau dan ini akan mengurangkan kesan buruk perubahan iklim. Secara amnya, pengurangan proses perubahan iklim adalah misi utama jangka panjang yang memerlukan pendekatan dan teknologi untuk mengurangkan pembebasan gas rumah hijau ke atmosfera. Sehubungan dengan itu, tenaga nuklear merupakan salah satu penyelesaian kepada perubahan iklim yang dapat menggantikan sebahagian tenaga yang dijana daripada pembakaran bahan api fosil. Tenaga nuklear juga telah diklasifikasikan sebagai salah satu daripada teknologi pengurangan perubahan iklim. Persatuan Nuklear Antarabangsa telah mengakui bahawa tenaga nuklear merupakan tenaga yang selamat dan mampan. IAEA pula, secara aktif menyokong 170 buah negara ahli dalam menentukan faedah yang boleh ditawarkan apabila teknologi nuklear digunakan bagi mengurangkan kesan rumah hijau. Selain daripada itu, IAEA juga membantu negara ahli mengkaji bagaimana tenaga nuklear boleh memainkan peranan dalam penjanaan tenaga. Sebagai contoh, negara Finland, merancang untuk menambahkan penggunaan tenaga nuklear daripada suku kepada separuh daripada jumlah penggunaan tenaga di negara tersebut menjelang 2030 sebagai sebahagian daripada komitmen mereka berkaitan perubahan iklim. Aktiviti pertanian merupakan penyumbang terbesar dalam peningkatan gas rumah

hijau, termasuk juga penghasilan dan penggunaan baja kimia. Dengan bantuan teknik isotop, kita dapat menentukan dengan tepat punca pelepasan gas rumah hijau daripada aktiviti pertanian seperti metana dan nitrus oksida. Maklumat ini diharapkan dapat membantu pembuat dasar membuat keputusan yang lebih baik seperti mengurangkan penggunaan baja atau mencari bahan makanan yang lebih baik untuk haiwan ternakan.

Sebarang aktiviti pertanian yang dapat mengurangkan perubahan iklim disebut pertanian mampan iaitu melibatkan kaedah ternakan tanaman bersepadu dan pembajaan hijau. Bagi mengukur kesan amalan ini, para saintis menggunakan isotop stabil yang tidak memancarkan sinaran, seperti nitrogen-15 dan karbon-13 di dalam plot lapangan eksperimen. Ini membolehkan mereka mengesan dan menganalisis kecekapan tanaman mengambil nitrogen dan sejauh mana cekapnya karbon terkumpul atau disimpan di dalam tanah. Dengan menggunakan teknik nitrogen-15, dalam tempoh tertentu saintis akan dapat mencerap jumlah isotop yang diserap oleh tumbuhan. Justeru, melalui data tersebut saintis dapat menasihati petani dengan lebih tepat mengenai jumlah baja asli atau baja kimia nitrogen yang perlu diberi kepada tanaman.

Karbon-13 digunakan untuk menilai kualiti tanah. Disebabkan tanah dibaja dengan menggunakan baja haiwan dan sisa tanaman, kandungan karbon organik adalah tinggi. Oleh itu, dengan mengesan isotop karbon-13, saintis dapat menentukan kestabilan dan sumber karbon di dalam tanah, serta tahap kesuburan tanah. Ini sangat penting bagi memastikan penggunaan optimum dalam amalan pertanian mampan. Contohnya, Argentina, Brazil dan Kenya merupakan antara negara yang menyertai IAEA dan dengan kerjasama Pertubuhan Pertanian dan Makanan Bangsa-bangsa Bersatu (FAO), mereka mendukung aplikasi teknik isotop untuk membantu petani mengurangkan penggunaan baja sintetik kepada 90%.

Pemantauan

Pemantauan yang dimaksudkan adalah berkaitan dengan pemantauan pelepasan dan perubahan alam sekitar. Contohnya, pemantauan punca pelepasan gas rumah hijau, pengasidan lautan dan ancaman ekosistem dengan menggunakan teknik nuklear. Dalam hal yang demikian, keberkesanan sesuatu tindakan dalam menangani isu perubahan iklim adalah bergantung kepada data yang boleh dipercayai bagi menggambarkan perubahan yang berlaku di darat, laut dan keseluruhan atmosfera dan perkaitannya dengan

karbon dan lain-lain gas rumah hijau. Teknologi nuklear telah banyak menyediakan data yang berguna kepada para saintis bagi membantu memahami perubahan iklim. Berbekalkan data-data yang lengkap pembuat dasar berada dalam kedudukan yang lebih baik dalam mengguna pakai dasar tertentu bagi melindungi alam sekitar. Seterusnya, memantau kesan dasar tersebut melalui penggunaan teknik nuklear dan isotop.

IAEA telah menggunakan teknik isotop untuk mengenalpasti dan memantau risiko serta ancaman yang berkaitan dengan pelepasan gas rumah hijau. Data yang diperoleh dikongsi bersama negara ahli bagi membantu usaha mempergiatkan lagi penyelidikan dan pembentukan dasar iklim yang mampan. Di Costa Rica, dengan kerjasama IAEA mereka menggunakan teknik nuklear bagi mengkaji pelepasan gas rumah hijau daripada sektor penternakan, tenusu dan pertanian. Malah, teknik nuklear dapat menentukan bentuk tindakan yang perlu diambil bagi mengurangkan impak perubahan iklim. Penggunaan alat penganalisis isotop stabil, dapat memantau aktiviti pertanian dari segi penentuan tangkapan karbon dan corak pelepasannya. Selain daripada itu, kajian hujan dan pengurusan air bawah tanah dilakukan menggunakan isotop hidrologi sejajar dengan perubahan

iklim. Interaksi antara neutron berkelajuan tinggi dengan molekul air membolehkan saintis mengukur kandungan air dalam tanah pada keluasan yang besar. Ini membantu petani menguruskan sumber air dan membenarkan pembuat dasar menentukan langkah penjimatan air.

Satu lagi kesan perubahan iklim adalah pengasidan lautan. Peningkatan jumlah karbon dioksida di atmosfera bermaksud lebih banyak karbon dioksida di lautan. Akibatnya, laut menjadi lebih berasid dan mengancam habitat laut. Sehubungan dengan itu, teknik nuklear dan isotop merupakan teknik yang sangat berguna dalam mengkaji pengasidan lautan. Malah, teknik ini juga telah banyak menyumbang dalam penyiasatan perubahan pengasidan lautan di masa lampau dan kesannya kepada organisma marin. Sebagai contoh, kalsium-45 digunakan bagi memeriksa kadar pertumbuhan organisma berkapur seperti batu karang, kerang dan moluska lain yang rangka dan cengkerangnya terdiri daripada kalsium karbonat. Selain daripada itu, penyurih juga digunakan untuk menentukan bagaimana pengasidan lautan memberi kesan fisiologi terhadap organisma marin dan termasuklah kesan lain seperti peningkatan suhu dan bahan pencemar.



Foto 1: Teknik nuklear dan isotop digunakan bagi mengkaji keasidan lautan kesan daripada perubahan iklim

Teknik nuklear juga membantu mengurangkan ketoksikan blum alga. Pertumbuhan blum alga berbahaya dan toksin yang dihasilkannya boleh mengancam ekosistem dan komuniti yang menetap di kawasan pinggir pantai yang bergantung kepada hidupan laut untuk kelangsungan hidup. Jika dahulu, pertumbuhan alga ini hanya dijumpai di kawasan tropika dan subtropika, tetapi kini alga ini dijumpai di kawasan beriklim sederhana. Justeru, semakin banyak negara telah beralih kepada teknologi nuklear dalam mengenalpasti dan mengukur blum alga dan biotoksin yang dihasilkannya. Melalui data yang diperolehi dasar yang sewajarnya dapat dibangunkan dan seterusnya langkah pencegahan dapat diambil dengan lebih berkesan.

Pengadaptasian

Pengadaptasian dan pengurangan merupakan dua langkah yang berbeza, tetapi kedua-duanya adalah sangat penting dalam mengurangkan kesan perubahan iklim. Justeru, pengadaptasian adalah penyesuaian dalam sistem semula jadi atau manusia sebagai tindak balas terhadap rangsangan iklim atau kesannya dalam keadaan sebenar atau yang dijangka dengan menyederhanakan kemudatan atau mengeksploitasikan keadaan yang tersedia.

Semasa kerja-kerja pengurangan berlangsung, dunia perlu mengadaptasi akibat perubahan iklim yang telah dirasai. Ini termasuk pengurangan paras air, semakin banyak bencana alam dan peningkatan suhu yang tidak pada musimnya, ancaman kepada keseimbangan biodiversiti dan seterusnya menyebabkan pengurangan hasil pertanian. Keadaan ini mengganggu sistem pertanian dan penternakan yang berskala kecil. Ekoran daripada keadaan tersebut, teknik penanaman pertanian perlu diperbaharui bagi menyesuaikan dengan keadaan semasa.

Dalam bidang pertanian, teknik nuklear yang boleh diaplikasikan dalam menghadapi kesan perubahan iklim adalah pembiakan mutasi. Secara umumnya, mutasi tumbuhan seringkali berlaku dalam keadaan semula jadi apabila persekitarannya berubah dan boleh mengambil masa beribu-ribu tahun. Walau bagaimanapun, para saintis boleh mempercepatkan proses mutasi ini dengan menggunakan teknologi nuklear. Pembiakan mutasi dilakukan dengan menyinarakan tumbuhan dengan sinar gamma, sinar-X atau sumber penyinaran lain bagi mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan. Tanaman dimutasikan bagi membolehkannya lebih tahan terhadap penyakit dan perosak, dapat hidup di tanah masin, menggunakan air atau nutrien dengan lebih cekap. Di Filipina contohnya, saintis menggunakan sinaran untuk membangunkan sejenis penggalak pertumbuhan yang menjadikan padi lebih tahan kepada angin taufan yang kencang. Manakala, di Zimbabwe petani mampu mengatasi musim kemarau, dengan varieti baru kacang duduk (*Vigna sinensis*) yang dihasilkan dari makmal IAEA dengan kerjasama FAO.



Pembiakan mutasi menggunakan teknik nuklear untuk menghasilkan baka dengan sifat-sifat yang lebih baik supaya dapat menghadapi kesan perubahan iklim

Pengairan titis adalah teknik aplikasi air yang bertujuan meningkatkan penggunaan air untuk memaksimumkan tanaman. Teknik pengairan secara penitisan digunakan diserata dunia untuk menjimatkan air dan dilaksanakan dengan lebih berkesan menggunakan teknik isotop. Para saintis menggunakan kuar (*probe*) neutron untuk memantau tahap kelembapan tanah. Semasa pengukuran, kuar mengeluarkan neutron cepat yang bertembung dengan atom hidrogen air di dalam tanah. Perlanggaran tersebut melambatkan neutron dan semakin tinggi bilangan atom hidrogen, semakin banyak neutron diperlahankan. Perubahan kelajuan neutron dikesan oleh kuar dan memberikan bacaan tahap kelembapan di dalam tanah.

Secara kesimpulannya, teknologi nuklear dapat membantu kita menangani masalah perubahan iklim. Proses pengurangan, pemantauan dan pengadaptasian terhadap perubahan iklim global mungkin boleh dijalankan tanpa penggunaan teknik nuklear. Namun tindakan mengecualikannya adalah merugikan dan menyebabkan perancangan sesebuah negara bagi menangani perubahan iklim mungkin menjadi lebih mahal. Justeru, kerjasama erat antara negara-negara di dunia harus dipergiatkan dan diperbanyakkan supaya dapat memberi sumbangan berguna dalam menangani masalah perubahan iklim secara global.

TEKNOLOGI NUKLEAR

dalam Memastikan Kemampunan Pengurusan Sumber Air dan Alam Sekitar

Zal U'yun Wan Mahmood, PhD, Kamarudin Samuding, PhD & Mohamad Syahiran Mustaffa

Alam sekitar merupakan khazanah yang berharga kepada kehidupan dan tamadun manusia. Justeru, alam sekitar perlu dipelihara dan dimanfaatkan secara bijaksana dan lestari. Pencemaran alam sekitar telah menjadi isu global dan hangat dibincangkan di mana-mana sahaja terutamanya dalam ruangan akhbar dan televisyen. Kebimbangan terhadap kesan ke atas alam sekitar telah mula dirasai dalam kehidupan kita seharian bukan sahaja di Malaysia malahan juga di seluruh dunia. Semuanya telah menunjukkan reaksi ketidakselesaian dan telah menyuarakan kebimbangan tentang aras pencemaran air, laut dan udara yang terjejas akibat kegiatan manusia. Antara aktiviti manusia yang menyumbang kepada pencemaran air dan kemerosotan kualiti alam sekitar termasuklah penerokaan tanah dan sumber hutan tanpa kawalan, pembalakan, industri, perlombongan, pertanian dan perladangan, pembuangan sisa toksik dan sampah serta kumbahan secara tidak terkawal ke dalam sungai dan tasik.

Menyedari hakikat dan pemasalahan ini, penyediaan kaedah dan langkah berkesan untuk memastikan kualiti alam sekitar kita sentiasa berada ditahap memuaskan yang relatif kepada kesan pembangunan negara dalam bidang atau aktiviti tertentu dan pertambahan populasi manusia dan haiwan adalah sentiasa menjadi fokus utama pihak kerajaan kearah mewujudkan atau mengekalkan kestabilan ekosistem yang sihat dan mengenalpasti faktor-faktor yang boleh mengancam kelestariannya

Penggunaan teknik nuklear terutamanya teknik hidrologi isotop dalam sumber air serta sektor pengurusan alam sekitar di Malaysia telah diperkenalkan dan dipelopori oleh Nuklear Malaysia sejak 1980-an. Sehingga kini, Nuklear Malaysia terus berusaha memperkembang dan mempromosi teknik ini melalui

aktiviti kerjasama penyelidikan dan perkhidmatan dengan beberapa agensi berkaitan. Nuklear Malaysia memainkan peranan penting dalam menggalakkan penggunaan teknologi nuklear secara selamat serta aman dan harmoni melalui sokongan mekanisma perkongsian penyelidikan dan pembangunan (R&D) yang aktif serta kerja-kerja perundingan dan perkhidmatan kepada pelbagai pihak berkepentingan atau pelanggan khususnya agensi-agensi kerajaan dan sektor swasta termasuk universiti. Kini, teknologi nuklear digunakan setiap hari untuk melindungi alam sekitar dan meneroka sumber lestari air yang bersih dan lain-lain. Di samping itu, teknologi nuklear dijadikan sebagai alat kepada para penyelidik untuk mengkaji perubahan yang berlaku di lautan pada masa lampau (paleo) hingga kini dan juga dapat meramal atau merangka kemungkinan yang berlaku pada masa hadapan. Selain itu, teknik ini juga digunakan dalam kajian yang berkaitan pemanasan global dan perubahan

iklim terutamanya dapat membantu menjejaki punca air yang menyebabkan berlakunya banjir secara mendadak di sesuatu kawasan di Malaysia.

Nuklear Malaysia sentiasa memainkan peranan penting dalam melaksanakan penyelidikan berkaitan alam sekitar. Kepakaran dalam aspek kerja lapangan dan aktiviti makmal sentiasa dipertingkatkan melalui latihan luar negara, ekspedisi kerja lapangan dan jempunan pakar luar negara. Selain itu, peralatan nuklear dan pembangunan teknik dengan menggunakan teknik nuklear dan teknik sokongan lain sebagai pelengkap juga menyokong dalam pelaksanaan penyelidikan tersebut. Dengan itu, keseluruhan objektif penyelidikan dalam bidang kelestarian alam sekitar dengan memfokuskan kepada penilaian impak bahan cemar dalam sekitaran dan penerokaan kaedah penyelesaian yang bersesuaian dapat direalisasikan.

Pengurusan Sumber Air

Air merupakan sumber yang amat penting dan keperluan utama kepada kehidupan manusia, tumbuh-tumbuhan dan haiwan serta pembangunan dan kegiatan ekonomi sejagat. Oleh kerana kewujudan sumber air tawar yang terhasil menerusi fenomena kitaran hidrologi agak terhad dan semakin menyusut disebabkan permintaan dan penggunaan semakin meningkat dalam kegiatan manusia seperti pertanian, perbandaran, perindustrian dan lain-lain. Kemerosotan kualiti dan kuantiti air adalah dijangka lebih serius di kawasan yang terdapat aktiviti industri dan pertanian, eksploitasi sumber air yang tidak terkawal dan juga di kawasan kepadatan penduduk yang tinggi. Semua faktor ini merupakan penyumbang utama kepada pencemaran sumber air tanah dan juga air permukaan.

Sumber air haruslah ditadbir urus secara bijak bagi menjamin pengekalan dan kelestarian sumber bekalannya untuk manfaat negara, penduduk dan alam sekitar. Sumber air di negara kita yang merupakan teras kepada nadi kehidupan dan menjadi asas utama pembangunan sosio-ekonomi sesebuah negara sememangnya juga berdepan dengan pelbagai isu seperti banjir, kemarau, pencemaran dan kesan perubahan iklim yang memerlukan tindakan pencegahan, pemuliharaan dan penyesuaian. Dengan kata lain, sumber air yang mempunyai nilai utiliti yang amat tinggi wajar dilindungi, dipelihara, diguna, dan diurustadbir dengan bijak supaya air dan alam sekitar sentiasa berada dalam keadaan berkualiti dan lestari.

Penggunaan teknologi nuklear terutamanya isotop buatan banyak menjurus kepada penyelesaian masalah atau “troubleshooting”, punca pencemaran (forensik) dan penentuan lokasi kebocoran di dalam sistem yang dikaji. Di antara isotop buatan yang biasa digunakan sebagai penyurih radioaktif (radioisotop) untuk kajian pengurusan sumber air dan hidrologi seperti diringkaskan dalam **Jadual 1**. Penggunaan teknologi ini berupaya menghasilkan maklumat yang lebih komprehensif dan sebagai pelengkap kepada kaedah konvensional dalam menyelesaikan isu-isu pengurusan sumber air. Antara kelebihan yang dikenalpasti adalah seperti berikut:

i. Kemampanan sumber air bawah tanah

Penggunaan teknologi nuklear boleh membantu dalam menilai potensi sumber air bawah tanah sebagai sumber air alternatif. Teknologi ini mampu menentukan sumber imbuhan (*recharge source*) dari segi lokasi dan usia air bagi mengetahui kemampanan

sumber air bawah tanah tersebut. Secara dasarnya air yang lebih lama umurnya adalah kurang mampan kerana tidak menerima imbuhan secara berterusan berbanding air yang lebih baharu. Hubungan dan perilaku percampuran di antara air bawah tanah dan air permukaan akan dapat ditentukan di samping arah aliran air bawah tanah dan kualiti air. Semua maklumat ini adalah diperlukan dan boleh diaplikasikan oleh syarikat-syarikat pengurusan air sebelum sumber air di sesuatu kawasan dibangunkan.

ii. Kualiti air minuman yang dibotolkan

Teknologi nuklear digunakan dalam menentukan kandungan radioaktif di dalam air minuman yang dibotolkan berada di tahap yang dibenarkan dan selamat selaras dengan Akta Makanan 1983.

iii. Punca dan pergerakan bahan pencemar

Teknik nuklear juga digunakan untuk mengesan dan mengenal pasti sumber bahan pencemar yang berlaku di sesuatu kawasan. Contohnya sumber bahan pencemaran air permukaan atau air bawah tanah adalah berpunca daripada tapak pelupusan sanitasi, sisa luahan perbandaran/industri, pertanian dan penerobosan air masin ke dalam sistem air tawar akibat dari pengeluaran (ekstraksi) air tanah secara berlebihan.

iv. Tahap keradioaktifan di dalam air persekitaran

Selain itu, teknik nuklear juga digunakan untuk memantau aras keradioaktifan di dalam air sungai dan laut bagi mengetahui tahap pencemaran keradioaktifan. Pemantauan ini perlu dilakukan bagi memastikan air sungai dan persekitaran marin sentiasa pada tahap yang selamat digunakan.

v. Pemendapan (sedimentasi) dan hakisan dalam tasik dan takungan air

Empangan atau takungan air adalah merupakan sebahagian daripada sumber air bekalan untuk tujuan pertanian dan kegunaan domestik. Walau bagaimanapun, kuantiti dan kualiti air pada

empangan atau takungan boleh berkurang sekiranya proses pemendapan dan hakisan berlaku. Teknik nuklear ini mampu mengukur kadar sedimentasi dan hakisan di sesuatu kawasan. Maklumat ini dapat membantu pihak berkepentingan dalam mengawalselia empangan/takungan tersebut.

vi. Masa transit dan kadar aliran air ke sistem terusan pertanian

Teknik nuklear digunakan untuk mengukur masa transit, sebaran dan luahan/kadar aliran. Contohnya aliran air dalam sistem terusan pertanian. Pengukuran masa transit aliran, kadar alir air ini bertujuan untuk menganggarkan masa yang diperlukan untuk air dari sistem takungan/empangan sampai ke satu kawasan pertanian seperti pengairan untuk sawah padi. Maklumat ini diperlukan bagi memastikan air yang disalurkan ke sesuatu kawasan pertanian mengikut jadual yang ditetapkan dan seterusnya memastikan penggunaan air dapat digunakan secara sistematik dan ekonomik.

vii. Keselamatan sistem takungan air/empangan

Teknik nuklear digunakan sebagai pelengkap kepada kaedah konvensional dalam mengenalpasti masalah kebocoran dan resapan pada struktur semulajadi atau



Penggunaan air tanpa kawalan

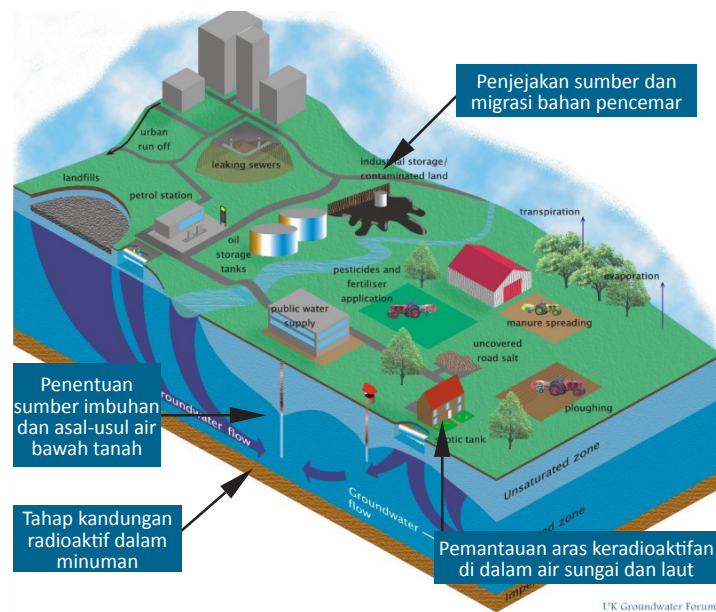


Peningkatan aktiviti perindustrian dan pertanian

buatan manusia seperti empangan, tali air dan tasik. Teknik ini berupaya mengenalpasti lokasi kebocoran dan resapan pada sesuatu empangan/takungan.

Isotop	Separuh Hayat	Pemancar (Tenaga, MeV)	Kaedah Pengukuran
Iodin-131	8.05 hari	Gama (0.08 – 0.7)	Pegesan sintilasi
Bromin-82	35.87 jam	Gama (0.56 – 1.47)	
Gold-198	2.69 hari	Gama (0.41)	
Chromium-51	27.8 hari	Gama (0.32)	
Technetium-99m	6.03 jam	Gama (0.14)	
Tritium (H-3)	12.43 tahun	Beta (0.18)	Pembilangan sintilasi cecair

Jadual 1: Isotop buatan sebagai penyurih dalam kajian pengurusan sumber air dan hidrologi



Penggunaan teknik nuklear dalam pelbagai kajian

Pengurusan Pencemaran Alam Sekitar

Dewasa ini, pelbagai projek sosio ekonomi dijalankan begitu pesat untuk meningkatkan pembangunan dan pemodenan supaya setaraf dengan negara maju, namun kita alpa aktiviti atau kegiatan seumpama itu mengundang pelbagai bentuk pencemaran. Akibatnya fenomena ini memberi kesan terhadap alam sekitar yang boleh menjejaskan ekosistem di muka bumi dan seterusnya membahayakan diri manusia dan hidupan lain. Pencemaran alam sekitar telah menjadi satu kemelut yang tidak dapat dielakkan bukan sahaja di seluruh dunia malahan juga di Malaysia. Pencemaran alam sekitar telah menjadi isu global dan rancak dibincangkan dalam forum dan pertemuan, sama ada program perkongsian ilmu seperti persidangan, seminar, kolokium atau program berbentuk sosial seperti yang disiarkan di akhbar, radio dan televisyen.

Antara punca-punca yang boleh kita huraikan sebagai penyebab berlakunya pencemaran alam sekitar ialah pencemaran yang disebabkan oleh faktor semula jadi dan aktiviti manusia. Pencemaran disebabkan oleh faktor semula jadi berlaku tanpa diduga oleh kita dan pencemaran ini berpunca daripada kejadian seperti gunung berapi, ribut taufan, gempa bumi dan sebagainya. Manakala, punca utama pencemaran alam sekitar berada di tahap kritikal yang kini sedang hangat diperkatakan dan diperbincangkan adalah disebabkan oleh tangan manusia sendiri. Pada kebiasaannya manusia sering kali melakukan pencemaran alam sekitar dalam keadaan sedar ataupun tidak seperti pencemaran terestrial (daratan) dan pencemaran marin.



Kajian pergerakan air permukaan menggunakan penyurih radioaktif 99mTc

Kesan terhadap pencemaran alam sekitar telah pun tersebar secara meluas melalui media masa, namun terdapat segelintir manusia yang memandang ringan terhadap masalah pencemaran alam sekitar. Sifat materialistik yang ada dalam masyarakat pada hari ini juga sukar untuk kita mengurangi masalah pencemaran di atas muka bumi ini. Oleh yang demikian, semua golongan masyarakat perlulah sedar akan kepentingan alam sekitar terhadap manusia dan hidupan. Dalam hal ini, semua golongan perlu memainkan peranan penting untuk bergabung dengan pihak berkuasa tempatan dalam menangani masalah ini dengan membuat pemantauan di sesuatu kawasan bagi menjaga kelestarian alam sekitar.

i. Pencemaran Terestrial (Daratan)

Aktiviti manusia memang telah diakui memberi kesan ketara terhadap alam sekitar. Penggunaan yang tidak terkawal dan kelalaian manusia menjaga kualiti alam sekitar menjadi penyumbang utama berlakunya kemerosotan kualiti persekitaran daratan. Pertambahan penduduk, perkembangan teknologi dan pembangunan perbandaran telah menggiatkan penerokaan alam sekitar sedangkan usaha pemeliharaan dan pemuliharaan tidak dilaksanakan. Akibatnya pencemaran daratan menjadi salah satu isu penting pada masa ini akibat kecuai dan kegagalan kita.

ii. Pencemaran Marin

Malaysia mempunyai pesisiran pantai berukuran 4,810 km yang meliputi kawasan Pantai Timur Semenanjung Malaysia (860 km), Pantai Barat Semenanjung Malaysia (1,110 km), Pantai Sabah (1800 km) dan Pantai Sarawak (1,040 km). Kesemua persekitaran marin tersebut yang meliputi laut Malaysia adalah antara perairan yang mempunyai pelbagai jenis ekosistem dan kaya dengan sumber semula jadi yang mana penting kepada kehidupan dan keperluan pemakanan manusia. Perikanan adalah antara komponen utama bagi sumber asli di perairan kita. Selain daripada perikanan, beberapa aktiviti penting berkaitan persekitaran marin antaranya termasuklah industri minyak dan gas, perkapalan dan pelancongan. Oleh itu, ekosistem marin dan pesisiran pantai serta sumber-sumber dan hubungkaitnya dengan manusia serta aktiviti manusia adalah penting.

Malaysia adalah negara samudera yang mempunyai kawasan perairan luas yang terletak di bahagian selatan Laut China Selatan. Kedudukannya pula hampir dengan negara-negara Asia Timur seperti China, Jepun dan Korea serta negara jiran seperti Thailand, Indonesia, Filipina, Cambodia dan lain-lain yang sesetengahnya memiliki banyak loji janakuasa nuklear dan aktif dengan aktiviti perindustrian. Malaysia juga merupakan zon penting ekonomi, laluan utama perkapalan dunia, penghasilan petroleum dan gas serta terdapat penempatan penduduk di tepi pesisir pantai yang menjalankan aktiviti-aktiviti tertentu yang mengakibatkan pembuangan sisa yang berterusan ke persekitaran marin.



Aktiviti industri minyak dan gas menyumbang kepada pencemaran di pesisiran pantai



Aktiviti persamplean di persekitaran marin

Malaysia juga tidak terkecuali daripada melaksanakan aktiviti yang boleh menjejaskan kualiti alam sekitar terutamanya persekitaran marin. Pencemaran marin berpunca dari pelbagai sumber termasuk dari daratan (70%), laut (20%) dan guguran atmosfera (10%). Antara aktiviti daripada sumber tersebut ialah pembalakan dan penerokaan hutan, tebus guna tanah dan pengorekan, perbandaran, perindustrian, pembajaan dan pertanian, perlombongan, perlancongan, perikanan, perkapalan dan pelabuhan, pembakaran hutan, penjanaan kuasa arang batu dan lain-lain. Pencemaran minyak terhasil daripada pembuangan minyak dan enap cemar oleh kapal dan industri pemprosesan minyak dan gas dan merupakan salah satu masalah utama melibatkan persekitaran marin di Malaysia. Kesan perlanggaran dan terkandasnya kapal laut menyebabkan kebocoran dan tumpahan minyak juga boleh mengakibatkan pencemaran minyak di lautan. Kajian berkaitan dengan pencemaran bahan radioaktif seperti radionuklid semula jadi (seperti disenaraikan dalam pencemaran daratan) dan antropogenik (^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{131}I , ^{90}Sr) juga dilaksanakan. Di samping itu, kajian mendapan sedimen di persekitaran marin juga dilaksanakan dengan menggunakan kaedah nuklear iaitu melalui pengukuran keaktifan radionuklid siri pereputan uranium-torium seperti ^{210}Pb , isotop torium, protaktinium dan lain-lain dalam teras sedimen. Melalui

teknik ini juga sebarang perubahan yang berlaku di persekitaran marin pada masa lampau dan pada masa akan datang dapat diramal termasuklah pembangunan sejarah/kronologi pencemaran.

Beberapa siri kajian telah dijalankan di seluruh perairan Malaysia semenjak tahun 1990an lagi seperti perairan Pantai Timur Semenanjung Malaysia termasuk Zon Ekonomi Eksklusif (EEZ) Pantai Timur, Pantai Barat Semenanjung Malaysia, perairan Sabah, perairan Sarawak, perairan Sulawesi, Taman Marin Sabah, Pulau Bohey Dulang Sabah dan Pulau Talang-Satang, Sarawak. Hasil semua kajian tersebut kelak dapat menyediakan data asas yang boleh digunakan sebagai aras rujukan kepekatan, taburan dan pergerakan bahan cemar termasuklah bahan cemar radioaktif dalam kajian-kajian masa depan.

Kesimpulannya, teknik nuklear menawarkan metodologi yang unik dan terbukti dalam kajian sumber air dan alam sekitar. Teknik nuklear yang digunakan memberi maklumat pelengkap kepada teknik konvensional dan bersifat mesra alam. Selain itu, kos yang terlibat dalam penyelidikan adalah berpatutan selaras dengan maklumat yang bakal diperolehi atau permasalahan yang hendak diselesaikan. Teknik nuklear khususnya hidrologi isotop mampu memberikan maklumat jitu dalam kajian berhubung pencemaran alam sekitar dan pengurusan sumber air. Maklumat yang diperolehi, lebih-lebih lagi bila digandingkan dengan teknik konvensional mampu meramal dan mengesan kejadian yang berkaitan dengan fenomena tersebut. Kemampuan ini membolehkan teknik nuklear digunakan dalam pengurusan sumber asli khususnya sumber air, alam sekitar dengan berkesan, justeru sumber yang ada dapat dimanfaatkan untuk pembangunan sosioekonomi dan kelestarian untuk semua.



IRMS yang digunakan dalam teknik hidrologi isotop untuk pengukuran isotop sekitaran



Peralatan nuklear yang digunakan untuk pengukuran keaktifan radionuklid

Pengurusan Sisa Radioaktif untuk Kesejahteraan Alam Sekitar yang Lestari

Norasalwa Zakaria, Phd, Rohyiza Baan & Rafizi Salihuddin

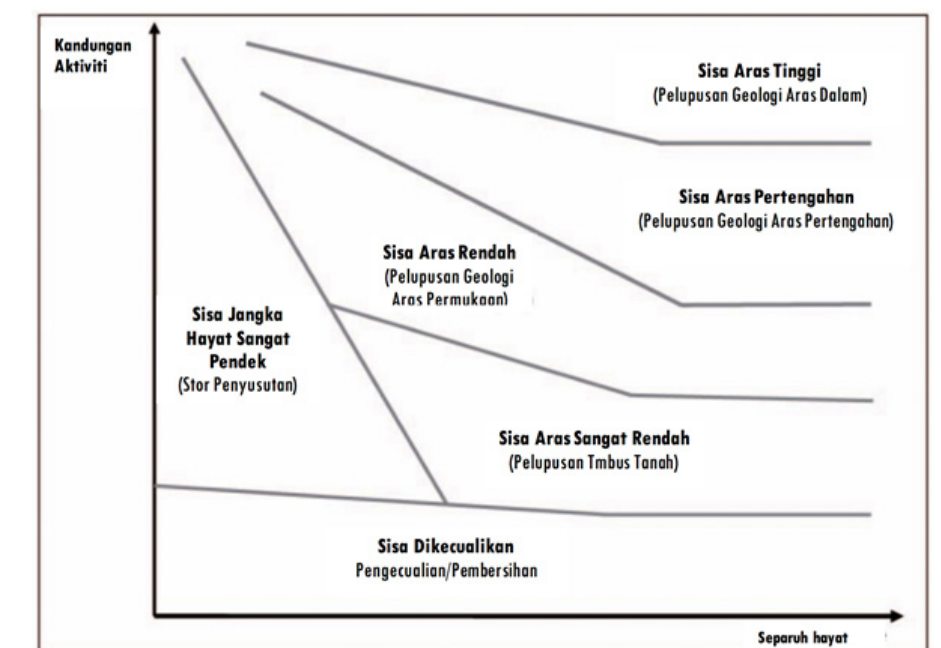
Pelbagai persepsi dan perspektif dikaitkan dengan radioaktif, antaranya adalah bahan radioaktif boleh meletup, menyebabkan kematian atau menyebabkan penyakit kanser. Radioaktif turut dikaitkan dengan peristiwa hitam seperti letupan bom atom di Hiroshima, Jepun pada 6 Ogos, 1945, kemalangan loji kuasa nuklear di Chernobyl, Ukraine pada 26 April, 1986, dan terkini ialah peristiwa kebocoran radiasi di loji kuasa nuklear di Fukushima akibat gempa bumi dan bencana tsunami pada 11 Mac 2011. Hal ini dapat difahami malah diterima sebagai reaksi normal yang didorong oleh tiga sebab. Sebab yang pertama ialah kekhawatiran terhadap risiko bahaya yang berpunca daripada kandungan radionuklid berjangka hayat panjang di dalam sisa radioaktif.

Oleh kerana jangka hayat yang panjang, maka risiko bahaya akan terus wujud untuk satu jangka masa tersebut. Ini membawa kepada sebab yang kedua iaitu kehadiran sesuatu sisa akan menambah impak radiologi sedia ada di persekitaran. Secara semulajadi, kita terdedah kepada sinaran kosmik atau sinaran dari tanah (*terrestrial*) melalui kandungan bahan radioaktif tabii yang terdapat di persekitaran seperti Uranium-238, Thorium-232 dan Kalium-40. Oleh yang demikian, kehadiran sisa di sesuatu kawasan dikhuatiri akan mengakibatkan peningkatan bacaan dos sinaran di kawasan terbabit. Ini sekaligus meningkatkan risiko kesihatan dan keselamatan bagi penduduk yang tinggal di kawasan tersebut. Kekhawatiran terhadap kesan dan risiko radiologi juga didasari oleh aspek psikologi kerana sinaran adalah sesuatu yang tidak kelihatan dengan mata kasar, tidak ada bau dan tidak berwarna. Keadaan ini menjadikan sinaran sukar dikawal secara fizikal kerana ia tidak dapat dihidu dan dirasa dan dilihat. Kawalan sinaran memerlukan peralatan saintifik khas yang boleh membuat pengukuran sekaligus bertindak sebagai alat bantuan pengawalan dan perlindungan dari sinaran.

Berdasarkan *Evaluated Nuclear Structure Data File* terdapat 37 unsur radioaktif sama ada dari jenis radionuklid tabii atau radionuklid buatan seperti Technetium (Tc-98), Promethium (Pm-145), Polonium (Po-209), Astatine (At-210), Radium (Ra-226), Actinium (Ac-227) dan Thorium (Th-232). Selain daripada itu, terdapat juga unsur bukan radioaktif tetapi mempunyai isotop beradioaktif. Malahan, boleh dikatakan bahawa hampir kesemua unsur kimia mempunyai satu atau lebih isotop yang beradioaktif. Ini menjadikan terdapat lebih dari 1000 isotop beradioaktif yang wujud di dunia. Sebahagian daripada isotop ini mempunyai kegunaan dalam bidang perubatan, industri dan penyelidikan.

Sisa radioaktif merupakan bahan yang mengandungi atau bahan yang tercemar dengan unsur radiaktif. Ringkasnya, ia terhasil daripada kegiatan kuasa nuklear, kegiatan bukan kuasa nuklear, kegiatan perlombongan dan pemprosesan mineral yang mempunyai unsur radioaktif tabii.

Bagi menyeragamkan urusan pengurusan sisa radioaktif, IAEA membangunkan sistem pengelasan sisa sebagai rujukan. **Sisa radioaktif dikelaskan kepada 6 kelas sisa bergantung kepada kadar keaktifan dan penilaian risiko keselamatan sisa tersebut.** Kelas sisa tersebut ialah Sisa dikecualikan, Sisa jangka hayat sangat pendek, Sisa aras sangat rendah (*Very Low Level Waste*), Sisa aras rendah (*Low Level Waste*), Sisa aras pertengahan (*Intermediate Level Waste*) dan Sisa aras tinggi (*High Level Waste*).



Rajah 1: Kelas sisa dengan kaedah pelupusan

Selain daripada kelas-kelas yang disebutkan di atas, terdapat juga sistem pengelasan sisa yang dibangunkan mengikut kepada jenis bahan radioaktif, punca penghasilan sisa dan jenis penggunaan. Sistem ini tidak seragam dan digunapakai; antara tujuannya adalah untuk memudahkan pengendalian. Sebagai contohnya adalah Sisa Sumber Terkedap Tidak Digunakan (*Disused Sealed Radioactive Source*), ringkasnya DSRS, sisa bahan api

terpakai (*Spent fuel*), sisa daripada pemprosesan bahan mineral yang mengandungi *Naturally Occurring Radioactive Material* (NORM) dan lain-lain pengelasan lagi. Khusus bagi DSRS dan bahan api terpakai, ia akan menjadi sisa hanya apabila diisytiharkan sebagai sisa oleh pihak pemiliknya. Ketika itu, sisa DSRS dan sisa bahan api terpakai akan diuruskan secara selamat menurut kaedah dan prosedur yang ditetapkan.

Semua sisa radioaktif hendaklah diuruskan dengan cara yang akan dapat melindungi kesihatan manusia dan alam sekitar serta tidak mendatangkan beban ke atas generasi akan datang dalam pengurusan. Tanpa pengurusan sisa radioaktif yang sempurna dan sistematik, kita akan berdepan dengan masalah pencemaran radiasi, kesihatan, keselamatan dan sekuriti. Bagi mencapai matlamat ini, pendekatan bagi pengurusan sisa radioaktif secara umumnya terdiri daripada cair dan serak (*dilute and disperse*), pekat dan kumpul (*concentrate and confine*), tangguh dan susut (*delay and decay*).

Sistem pengurusan sisa radioaktif terdiri daripada beberapa fasa iaitu pengumpulan, pengasingan, pencirian, rawatan, penkondisian, penstoran, pengangkutan dan pelupusan. Proses pengumpulan, pengasingan dan pencirian dilakukan untuk mengenalpasti ciri-ciri sisa, seterusnya memudahkan pengumpulan dan pengasingan untuk proses peringkat yang seterusnya. Dari segi strategi pengurusan sisa, pencirian adalah

penting bagi mencapai pengurusan yang cekap dan efektif dari segi kos. Di samping itu, pencirian dilakukan untuk menentukan sama ada sisa tersebut boleh dikecualikan daripada kawalan pengawalseliaan atau dilepaskan ke alam sekitar. Proses rawatan mempunyai pelbagai tujuan. Rawatan dilaksanakan bertujuan untuk mengurangkan jumlah dan isipadu sisa, mengeluarkan radionuklid dari sisa tersebut ataupun mengubah komposisi kimia dan bentuk fizikal sesuatu sisa. Fasa penkondisian dilakukan bertujuan untuk memudahkan pengendalian, pengangkutan, ataupun memenuhi kriteria penerimaan sisa (*Waste Acceptance Criteria*) di kemudahan penstoran ataupun kemudahan pelupusan akhir. Penstoran sisa dilaksanakan dalam pelbagai bentuk mengikut keperluan. Antaranya adalah penstoran penimbal (*buffer storage*) bertujuan menyimpan sisa yang belum distabilkan atau penstoran penyusutan (*decay storage*) untuk memberi ruang proses penyusutan berlaku. Satu bentuk penstoran yang lain pula ialah penstoran sementara atau penstoran jangka masa panjang (*interim storage/ long term storage*) yang mana kemudahan penstoran ini digunakan untuk menyimpan sisa secara terkawal untuk satu tempoh masa yang lama sehinggalah sisa dilupuskan secara kekal di kemudahan repositori atau pelupusan akhir.



Rajah 3: Gambar menunjukkan aktiviti di kemudahan penkondisian melibatkan kakitangan Agensi Nuklear Malaysia dan pakar IAEA

Nuklear Malaysia merupakan pusat pengurusan sisa radioaktif kebangsaan di Malaysia dan diuruskan oleh Pusat Pembangunan Teknologi Sisa. Pusat ini dilengkapi dengan kemudahan untuk mengendalikan sisa radioaktif yang dihasilkan dalam negara. Dengan adanya tenaga kerja yang mahir dan kemudahan yang lengkap, pusat ini mampu menyediakan perkhidmatan pengurusan sisa radioaktif yang cekap selaras dengan kehendak undang-undang negara ini. Kerjasama teknikal dengan pihak IAEA dalam bidang pengurusan sisa radioaktif menyumbang kepada kesejahteraan alam sekitar dan kesihatan manusia yang lestari.



Rajah 4: Sisa radioaktif yang diterima di Agensi Nuklear Malaysia ditempatkan di dalam Kemudahan Stor Interim sehingga ia dilupuskan



Cs-137



Cs-137



Co-60

Rajah 2: Berikut merupakan Sisa Sumber Terkedap Tidak Digunakan (DSRS) yang telah dikumpulkan di Agensi Nuklear Malaysia



Rajah 5: Kursus "Orphan Source Search and Recovery" yang dikendalikan oleh Unit WasTeC bersama-sama IAEA untuk peserta dalam dan luar negara



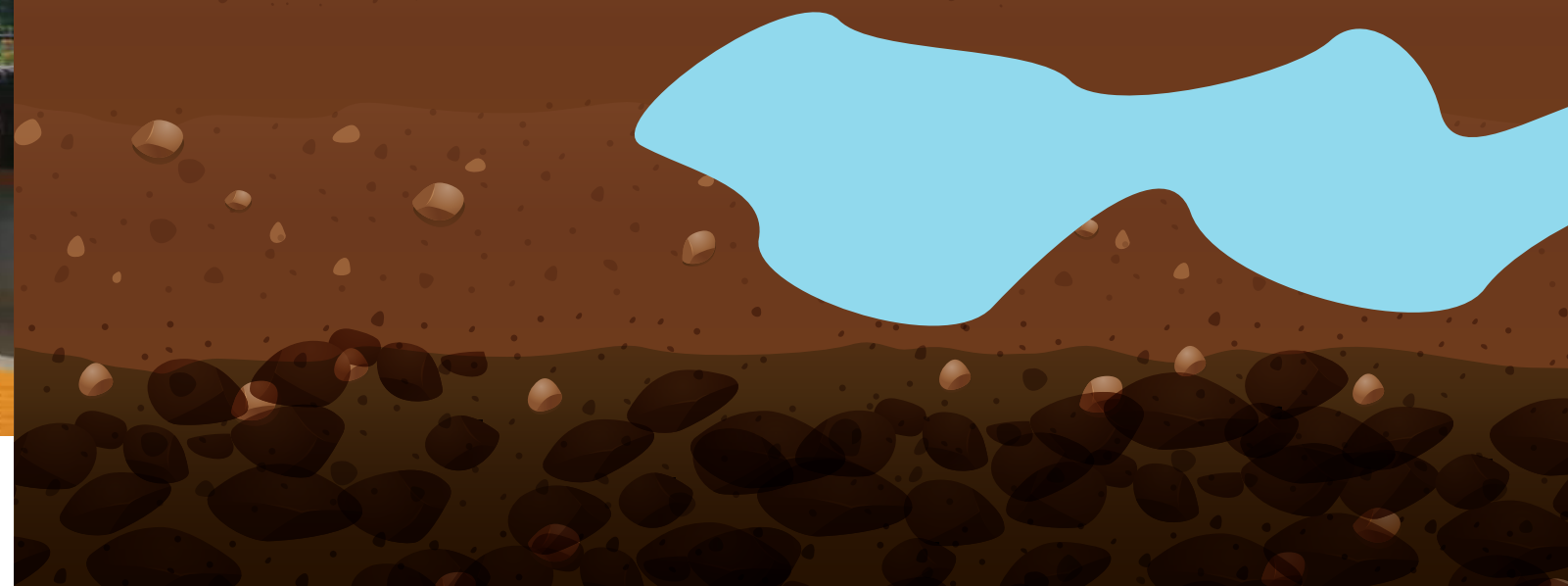
Rajah 6: Kemudahan loji rawatan sisa cecair beradioaktif aras rendah di Agensi Nuklear Malaysia

PEMBANGUNAN INFRASTUKTUR PENENTUAN UMUR SUMBER AIR

Mohamad Syahiran Mustaffa & Jeremy Andy Dominic Daung

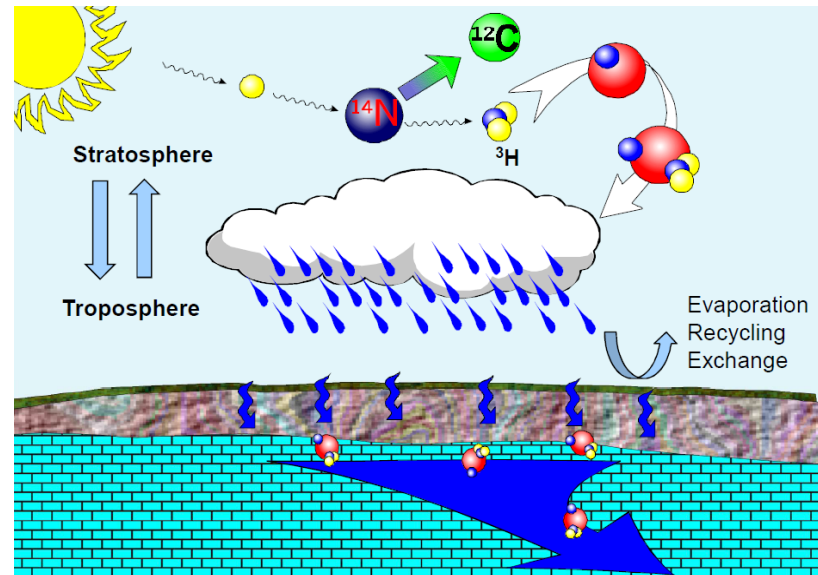


Bagi membantu menilai kelestarian sumber air negara yang mencukupi untuk kegunaan rakyat Malaysia, Nuklear Malaysia mengambil pendekatan membangunkan dua infrastruktur dalam penentuan umur sumber air. Infrastruktur tersebut adalah sistem pengayaan tritium menggunakan elektrolisis dan sistem kaedah penyerapan terus gas karbon dioksida, CO_2 . Kedua-dua sistem ini adalah penting untuk memahami kitaran hidrologi dan secara tidak langsung dapat membantu dalam pengurusan sumber air negara dan pengadaptasian terhadap perubahan iklim global.



Pengukuran kepekatan kandungan ^3H beraras rendah untuk menentukan umur air tanah dengan menggunakan kaedah elektrolisis dan pembilang sintilasi cecair

Tritium, ^3H merupakan isotop radioaktif hidrogen yang mempunyai jangka separuh hayat selama 12.32 tahun. Radionuklid ^3H tidak stabil ini memancarkan tenaga dalam sinaran beta, β yang dipanggil proses reputan yang mempunyai tenaga maksimum 18keV. Tritium terhasil melalui tindak balas nuklear atau melalui proses secara semula jadi melalui tindak balas antara sinar kosmik dengan nitrogen di atmosfera (**Rajah 1**). ^3H biasanya wujud sebagai sebahagian daripada molekul air, diserap sepenuhnya dan tersebar dengan segera secara seragam ke seluruh tubuh. Nilai setengah hayat secara biologinya di dalam tubuh ialah sepuluh hari dan mempunyai keradiotoksikan yang rendah. ^3H yang beraras rendah ini bergerak daripada atmosfera ke sistem air bawah tanah melalui proses kerpasan (hujan dan salji) dan penyerapan ke sistem aquifer. Oleh itu, persampelan air hujan, air tanah dapat dilakukan untuk menguji kehadiran tritium di dalam air. Seterusnya umur air dapat ditentukan dengan menggunakan sistem pengayaan tritium, pembilang sintilasi cecair dan interpretasi melalui perisian TRIMS. Penentuan umur air tanah ini merupakan salah satu parameter penting dalam memahami kitaran hidrologi yang memberi kesan kepada pengurusan sistem air tanah.



Rajah 1: Penghasilan radionuklid secara semula jadi dan pergerakan radionuklid ke sistem air tanah

1. Sistem Pengayaan Tritium

Proses pengayaan untuk pengujian tritium beraras rendah ini terbahagi kepada empat proses iaitu, penyulingan awal, peneutralan menggunakan CO_2 , elektrolisis dan penyulingan akhir.

i. Penyulingan awal

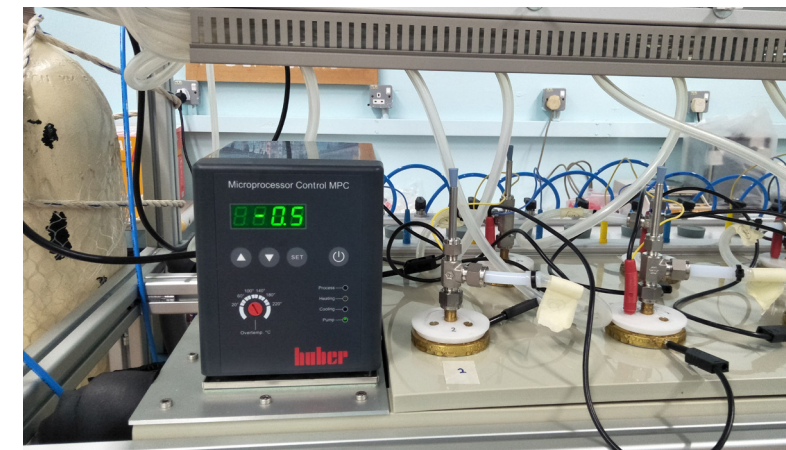
Tujuan penyulingan (**Rajah 2**) awal perlu dilakukan adalah kerana untuk menentusahkan kehadiran garam dan mengasingkan bendasing seperti (Cl^- , SO_4^{--} , CO_3^{--} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , etc) yang boleh mengganggu semasa proses elektrolisis. Pengukuran kehadiran garam perlu dilakukan untuk mengelakkan sel elektrolisis rosak dan berlaku kakisan.



Rajah 2: Kaedah penyulingan vakum

ii. Elektrolisis

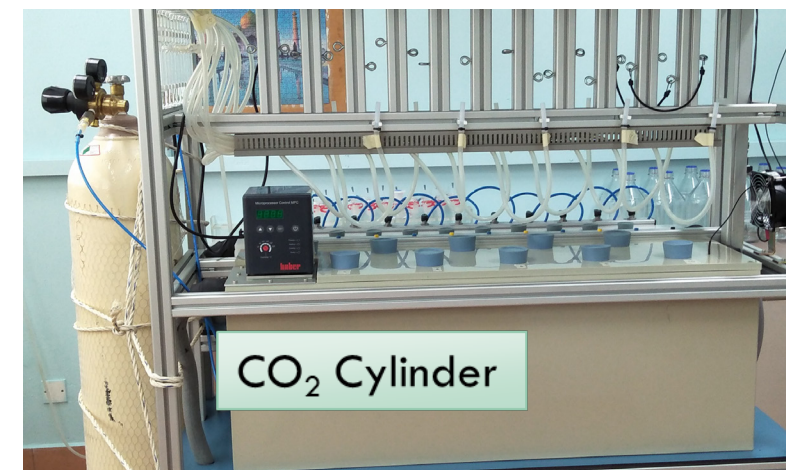
Elektrolisis ialah proses penguraian elektrolit kepada unsur juzuknya apabila arus elektrik mengalir melaluinya (**Rajah 3**). Proses elektrolisis ini dijalankan secara tertutup untuk mengurangkan proses penyejatan berlaku yang akan memberi kesan kepada interpretasi ^3H menggunakan TRIMS. Sel elektrolisis ini mempunyai isi padu 250ml. Sebanyak 3Ah arus tenaga elektrik diperlukan untuk memecahkan molekul air selama 1 jam dan proses elektrolisis ini mengambil masa selama 7-10 hari bergantung kepada arus elektrik yang dialirkan.



Rajah 3: Proses Elektrolisis yang mengambil masa selama 7 – 10 hari

iii. Peneutralan

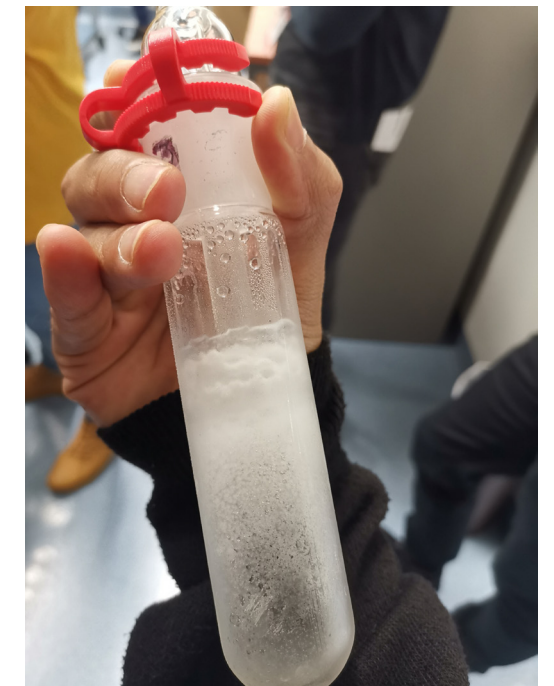
Peneutralan dilakukan dengan mengalirkan gas karbon dioksida ke dalam sistem pengayaan tritium dan berlaku tindakbalas kimia di dalam sel elektrolisis (**Rajah 4**). Tujuan peneutralan ini dilakukan untuk mengasingkan garam berkarbonat dan melepaskan gas hidrogen dan oksigen keluar daripada sistem pengayaan tritium.



Rajah 4: Proses peneutralan

iv. Penyulingan akhir

Proses penyulingan ini dilakukan dengan menggunakan penyulingan vakum (**Rajah 5**). Daripada jumlah sampel air sebanyak 250ml dipekatkan kepada 14-16 ml untuk diukur kandungan tritium menggunakan pembilang sintilasi cecair.



Rajah 5: Proses Penyulingan akhir

2. Pembilang Sintilasi Cecair

Pembilang sintilasi cecair, Quantulus ialah pembilang khusus untuk alam sekitar yang kecekapannya terbukti tiada tandingan untuk mengukur kepekatan yang sangat rendah bagi radionuklid buatan manusia, kosmogenik dan lain-lain radionuklid semula jadi. Peralatan ini digunakan untuk pembilangan alfa/beta, khususnya untuk sampel yang mengandungi campuran sinaran alfa/beta/gama. Alat ini mempunyai kecekapan pembilangan yang tinggi dengan latar belakang ^3H yang rendah.

3. TRIMS

TRIMS adalah pengkalan data proses pengayaan tritium dan keputusan pembilang sintilasi cecair. Dengan menggunakan TRIMS ini, pengiraan dan interpretasi tritium beraras rendah dapat dilakukan dengan baik dan seterusnya penentuan umur air dapat dikira menggunakan kaedah ini.

Pengukuran konsentrasi radiokarbon ^{14}C untuk menentukan umur air tanah dengan menggunakan kaedah penyerapan terus gas karbon dioksida, CO_2 .

Radiokarbon ^{14}C adalah isotop radioaktif karbon, C yang dihasilkan secara semulajadi di atmosfera melalui tindakbalas di antara nitrogen dan sinaran kosmik secara berterusan. Radiokarbon ^{14}C yang terbentuk ini akan teroksida dalam bentuk gas karbon dioksida CO_2 dan seterusnya memasuki sistem kitaran karbon di bumi melalui air hujan serta penyerapan oleh tumbuh-tumbuhan dan haiwan dipermukaan bumi. Radiokarbon ^{14}C ini tidak stabil dan aktivitiya akan sentiasa berkurangan dan menjadi separuh daripada aktiviti asal pada setiap 5730 tahun yang juga dikenali sebagai separuh hayat bagi radiokarbon tersebut. Dengan ini, umur radiokarbon ^{14}C ini boleh ditentukan dan boleh digunakan sebagai penyurih bagi bahan yang mengandungi radiokarbon tersebut.

Oleh yang demikian, radiokarbon yang larut di dalam air tanah sama ada terhasil daripada larutan karbon tak organik atau organik boleh digunakan sebagai penyurih untuk menentukan umur air tanah pada skala masa yang bersesuaian dengan separuh hayat radiokarbon tersebut.

Gas karbon dioksida, CO_2 yang diekstrak daripada sampel air tanah dalam bentuk karbonat (**Rajah 6**) akan diserap secara terus dengan mengalirkan gas CO_2 tersebut pada kadar yang perlahan melalui campuran cecair penyerap karbon, Carbosorb

E dan sintilator Permaflour E+ (**Rajah 7**). Aktiviti radiokarbon ^{14}C di dalam campuran tersebut kemudiannya akan ditentukan dengan menggunakan alat *liquid scintillation counting* (LSC). Seterusnya, setelah membuat pembetulan dan dengan menggunakan model persamaan yang sesuai, umur sampel air tanah tersebut akan dapat ditentukan.

Rumusan

Penentuan umur air tanah ini merupakan salah satu parameter penting dalam kajian kitaran hidrologi terutamanya untuk memahami pergerakan air tanah secara spatial dan temporal di sub permukaan bumi. Dengan itu, pengurusan sistem air tanah akan dapat dilaksanakan dengan baik serta kelestariannya juga turut terjamin.

Dengan penentuan umur air tanah menggunakan teknik nuklear ini juga, kita dapat membantu jabatan yang terlibat untuk mewujudkan program rangkaian pengawasan air tanah dengan mempertingkatkan kualiti air tanah yang komprehensif dan menyeluruh. Di samping itu, ianya juga akan meningkatkan tahap dan kemampuan kualiti hidup rakyat melalui langkah-langkah proaktif di dalam pengawalan punca-punca yang menyebabkan pencemaran air tanah melalui pelaporan status kualiti air tanah yang tepat.



Rajah 6: Sistem pengekstrakan gas CO_2 bagi kaedah penyerapan terus yang sedang dibangunkan di makmal Kumpulan Aplikasi Penyurih Alam Sekitar (ETAG), Agensi Nuklear Malaysia



Rajah 7: Proses penyerapan terus gas CO_2 dengan mengalirkannya melalui campuran cecair penyerap karbon, Carbosorb E dan sintilator Permaflour E+.

APLIKASI NUKLEAR DALAM KAJIAN AIR TANAH



Tentumur Radiometrik: Memahami Misteri Kejadian Alam Sekitar

Yii Mei Wo & Zal U'yun Wan Mahmood, PhD.

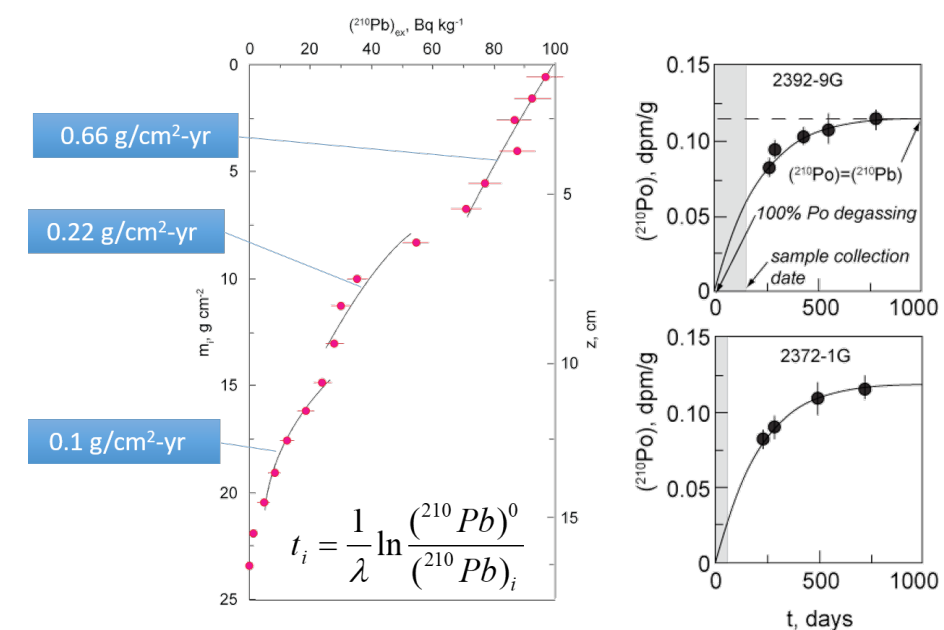
Semua bahan dalam alam semesta ini terbentuk dari gabungan unsur yang berbeza. Terdapat lebih kurang 110 jenis unsur yang telah diketahui oleh ahli saintis pada masa kini. Keadaan paling asas unsur dipanggil sebagai atom. Gabungan atom-atom unsur yang sama atau unsur berlainan akan membentuk bahan yang berbeza. Sebagai contohnya, satu atom unsur oksigen gabung dengan dua atom unsur hidrogen akan membentuk air. Dua atom unsur oksigen bergabung bersama membentuk gas oksigen yang diperlukan oleh benda hidup untuk bernafas. Manakala, tiga atom unsur oksigen bergabung membentuk gas ozon.

Radionuklid adalah atom unsur yang tidak stabil dan cenderung melepaskan tenaga berlebihan didalamnya (dalam bentuk sinaran mengion yang berbahaya kepada benda hidup) supaya ia akan bertukar kepada atom unsur lain. Proses ini dikenali sebagai proses penyepaian (pereputan). Semua radionuklid yang menyepai akan mempunyai dua sifat tetap iaitu, pertama, jenis sinaran yang dipancarkan adalah sentiasa sama, dan kedua, tempoh masa yang diperlukan untuk kepekatan radionuklid berkurang separuh (dikenali sebagai separuh hayat) adalah sama. Dua sifat unik ini membolehkan radionuklid mempunyai penggunaan tertentu dalam kajian alam sekitar dan salah satunya ialah teknik 'tentumur radiometrik' atau 'tentumur radioaktif' atau 'tentumur radioisotop'.

Penggunaan kaedah tentumur radiometrik pertama kali telah diterbitkan pada tahun 1907 oleh Bertram B. Boltwood (Boltwood, 1907) dan kini ia berkembang menjadi sumber utama maklumat mengenai penentuan usia batuan dan bahan geologi yang lain, termasuk tentumur bahan fosil atau tentumur usia bumi itu sendiri, dan juga digunakan untuk menerangkan pelbagai jenis kejadian alam semula jadi dan buatan manusia.

Salah satu aplikasi teknik tentumur radiometrik ialah dalam kajian pemendakan tanah dan sedimen dalam alam sekitar. Semasa sesuatu bahan mula mendak pada permukaan tanah atau sedimen, ia akan membentuk lapisan yang mendak sekali bersama beberapa radionuklid guguran seperti ^7Be , ^{10}Be , ^{210}Pb dan lain-lain yang terdapat dalam atmosfera. Bila masa berlalu, lapisan baru akan mendak di bahagian atas manakala lapisan sebelum ini akan pergi ke bawah dan proses ini berterusan. Radionuklid yang terkandung pada lapisan bawah akan menyepai lebih awal berbanding dengan radionuklid baru pada lapisan di atas. Oleh yang sedemikian, dengan mengambil turus tanah atau sedimen di sesuatu lokasi kajian, turus tersebut dipotong kepada beberapa lapisan dengan ketebalan beberapa mm atau cm. Kepekatan radionuklid seperti ^{210}Pb yang terdapat pada setiap lapisan akan ditentukan. Berdasarkan kepada baki kepekatan radionuklid yang dijumpai dalam setiap lapisan tersebut, maka ahli sains boleh membuat ramalan beberapa cepat tanah atau sedimen akan mendap di kawasan kajian.

Perubahan dalam kadar pemendapan tanah atau sedimen di sesuatu kawasan boleh dijadikan sebagai bukti saintifik perubahan iklim di kawasan tersebut. Maka usaha boleh dilakukan untuk mengurangkan kesan dari perubahan iklim tersebut seperti mengurangkan pengaliran sedimen ke kawasan tadahan air. Ini selaras dengan IAEA – *Sustainable Development Goals (SDGs)* yang ke – 13 iaitu 'climate action' dan SGD ke – 6 iaitu 'clean water and sanitation.' Usaha juga boleh dilakukan untuk mengurangkan kehilangan tanah dari kawasan pertanian selaras dengan unjuran SDGs yang ke – 2 iaitu 'zero hunger' dengan memaksimumkan penggunaan dan penjagaan tanah.



Rajah 1: Kaedah tentumur sedimen $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$



Tentumur radiometrik juga adalah teknik yang popular digunakan untuk menentukan umur sesuatu bahan termasuk bahan purba (**Rajah 2**) seperti batu-batuan atau rangka karbon, berdasarkan konsep pengukuran kepekatan kandungan radioaktif surih terpilih dalam bahan tersebut semasa bahan tersebut terbentuk. Sebagai contohnya, kaedah ini digunakan dalam penentuan umur artifak rangka haiwan dan manusia atau penentuan umur batuan dan mineral. Kaedah ini membandingkan nisbah relatif kuantiti isotop radioaktif semula jadi di dalam bahan tersebut kepada kelimpahan produk progeninya yang terbentuk berdasarkan kadar penyepaian tetap radionuklid tersebut



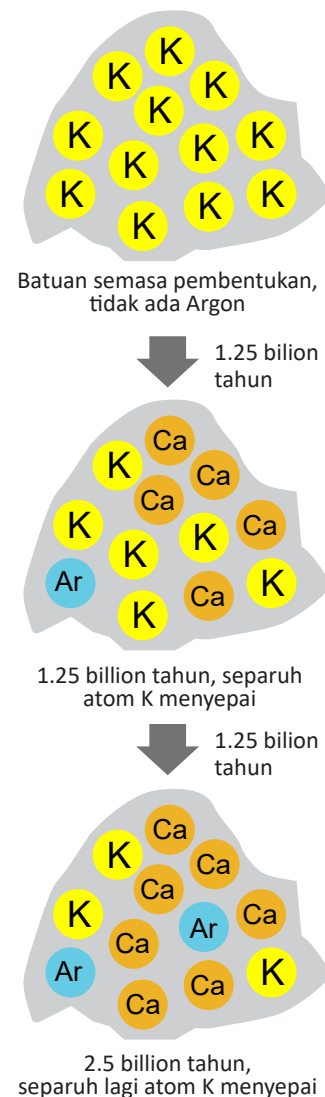
Rajah 2: Bahan purba atau artifak yang digunakan untuk penentuan umur dengan menggunakan teknik tentumur radiometrik (Imej dari Wikipedia)

Rajah 3 di bawah memberi contoh ilustrasi kelakuan batuan (seperti mika) yang membolehkan ia ditentukan umur pembentukannya dengan menggunakan teknik radiometrik unsur kalium-argon (K-Ar). Semasa pembentukan batuan mika, argon (Ar) akan terlepas sebab ia adalah gas, maka batuan asal tidak akan mengandungi sebarang gas Ar. Apabila atom ^{40}K (separuh hayat 1.25 bilion tahun) yang terdapat dalam batuan tersebut mula menyepai, ia akan bertukar menjadi nuklid stabil ^{40}Ar menerusi penangkapan elektron (10.9%) dan nuklid stabil ^{40}Ca menerusi pelepasan sinaran beta (89.1%). Ar-40 yang terbentuk akan terperangkap dalam struktur batuan dan kepekataannya menokok mengikut masa. Selepas 1.25 bilion tahun, separuh dari atom ^{40}K yang terdapat dalam batuan tersebut bertukar menjadi ^{40}Ca dan ^{40}Ar . Selepas 1.25 bilion tahun lagi (jumlah 2.5 bilion tahun sejak batuan terbentuk), separuh lagi baki atom ^{40}K dalam batuan tersebut akan bertukar kepada ^{40}Ca dan ^{40}Ar lagi. Maka dengan menentukan jumlah ^{40}Ar dan ^{40}K yang ditemui dalam batuan tersebut, masa yang berlalu (umur batuan) boleh dikira dengan menggunakan formula (1) di bawah.

$$t = \frac{T_{1/2}}{\ln(2)} \ln \left(\frac{K + \frac{A}{0.109}}{K} \right) \quad \text{formula (1)}$$

di mana

t ialah tempoh masa yang berlalu (umur batuan)
 $T_{1/2}$ ialah nilai separuh hayat ^{40}K (1.25 bilion tahun)
 K ialah amaun ^{40}K ditemui dalam sampel
 Ar ialah amaun ^{40}Ar ditemui dalam sampel



Rajah 3: Penyepaian atom ^{40}K dalam batuan kepada ^{40}Ca dan ^{40}Ar bila masa berlalu

Pemahaman kepada proses semulajadi dalam alam sekitar adalah penting sebab ia boleh membantu manusia dalam memulihara alam sekitar selaras dengan saranan IAEA SDGs.

Kesimpulannya, terdapat pelbagai kaedah radiometrik yang boleh digunakan untuk memahami misteri kejadian dalam alam sekitar. Pemilihan kaedah bersesuaian bergantung kepada jenis radionuklid yang boleh dijumpai dalam bahan kajian dan masa separuh hayatnya, skala julat umur bahan yang ingin dikaji dan jenis bahan yang boleh digunakan. Berdasarkan tempoh masa pembentukan geologi, kaedah ini akan memberikan maklumat penting mengenai zaman fosil dan kadar perubahan evolusi.



KHIDMAT

Penyelesaian Kejuruteraan Untuk R&D

1. Reka Bentuk dan Sistem Automasi
2. Fabrikasi Komponen Kejuruteraan

Pemantauan Alam Sekitar

1. NORM/TENORM
2. Pemantauan Sinaran Tidak Mengion (NIR)
3. Penilaian Impak Bahan Radiologi
4. Pengurusan Sumber Air
5. Pengurusan Sisa Pertanian, Industri dan Domestik

Khidmat Kejuruteraan Teknikal

1. Pemeriksaan dan Ujian Bahan, Struktur dan Loji Industri
2. Pemeriksaan Industri dan Kawalan Proses
3. Teknologi Pertanian
4. Teknologi Perubatan
5. Analisa dan Pernilaian Bahan

Jaminan Kualiti

1. Dosimetri Personel
2. Jaminan Kualiti Perubatan
3. Jaminan Kualiti Industri

Sterilisasi Bukan Kimia

1. Penyinaran Gamma
2. Penyinaran Elektron

Latihan

1. Keselamatan Sinaran dan Kesihatan
2. Sinaran Perubatan
3. Ujian Tanpa Musnah
4. Sains Nuklear dan Kejuruteraan
5. Keselamatan Persekitaran dan Kesihatan
6. Instrumentasi dan Kejuruteraan
7. Pengurusan Teknologi
8. Latihan Antarabangsa

Agensi Nuklear Malaysia (Nuklear Malaysia)

PRODUK

1. Lateks Getah Tervulkan dengan Sinaran
2. Kit Diagnostik Perubatan dan Radioisotop Perubatan
3. Sebatian Polimer untuk Industri Automotif
4. Varieti Baru Tanaman Hiasan dan Pokok Buah-Buahan

RUNDING CARA

1. Keselamatan dan Kesihatan Sinaran
2. Penilaian dan Pencemaran Alam Sekitar
3. Jaminan Kualiti Mikrob
4. Pengurusan Sisa Radioaktif
5. Reka Bentuk Loji dan Kawalan Proses
6. Reka Bentuk Kejuruteraan dan Pembangunan
7. Penasihat Teknologi Nuklear dan Perancangan Dasar

Untuk maklumat lanjut sila hubungi:

Ketua Pengarah
Agensi Nuklear Malaysia (Nuklear Malaysia)
Bangi, 43000 KAJANG, Selangor Darul Ehsan

U/P : Dr. Ishak Bin Mansor
Pengarah
Bahagian Pengkomersilan Teknologi

Tel : 03-8911 2000 Samb. 1069
Faks: 03-8911 2175

E-mail : ishak_mansor@nuclearmalaysia.gov.my

Website: www.nuclearmalaysia.gov.my



i-NUKLEAR

ILMU . IDEA . INFORMASI



KEMENTERIAN SAINS,
TEKNOLOGI DAN INOVASI



AGENSI NUKLEAR MALAYSIA
Bangi, 43000 Kajang, Selangor Darul Ehsan



<https://www.nuclearmalaysia.gov.my>



Agensi Nuklear Malaysia



nuclearmalaysia