

i-Nuklear Bil. 1 2024 ; eISSN 2710-5628

Percuma

i-NUKLEAR

ILMU . IDEA . INFORMASI



Teknologi
Nuklear untuk
Kelestarian Alam
Sekitar Kita

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 1994 ketika Hari Pelanggan MINT, yang juga julung kali diadakan. Bagi memberi arah hala yang lebih jelas, visi MINT diperkemas kepada mempertingkatkan 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 52 tahun dalam pelbagai pembangunan S&T nuklear, serta 42 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.

Hak cipta terpelihara

Mana-mana bahagian penerbitan ini tidak boleh dikeluarkan ulang, 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

Tinta Ketua Pengarah & Dari Meja Editor	iv
Teknik Analisis Nuklear (NAT) untuk Alam Sekitar	2
Pencemaran Alam Sekitar Terhadap Sumber Makanan	8
Pengukuran Keradioaktifan Persekitaran di Malaysia	14
Keradioaktifan Marin: Sumber, Punca, Kesan dan Pemantauan	20
Pengenalpastian Sumber Tanah atau Sedimen di Kawasan Tadahan	24
Bahan Radioaktif Semula jadi (NORM)	28
Teknik Analisis Nuklear (NAT) dalam Penilaian Pencemaran Alam Sekitar	32
Pengurusan Sumber Air Negara : Teknik Analisis Nuklear vs Konvensional	36
Mengesan Pencemaran Udara di Bandaraya Kuala Lumpur dengan Teknologi Nuklear	40

PENAUNG

Dr. Rosli bin Darmawan

EDITOR JEMPUTAN

Dr. Muhammad Rawi bin Mohamed Zin

Dr. Shukri bin Mohd

EDITOR KANAN

Habibah binti Adnan

EDITOR

Normazlin binti Ismail

Dr. Haizum Ruzanna binti Sahar

PENULIS

Dr. Zalina binti Laili

Dr. Rahman bin Yaccup

Dr. Nazaratul Ashifa binti Abdullah Salim

Dr Nurul Assyikeen binti Md. Jaffary

Dr Noor Fadzilah binti Yusof

Nooradilah binti Abdullah

Yii Mei-Wo

Jalal bin Sharib@Sarip

Mohd Izwan bin Abdul Adziz

Mohd Faizun bin Mohd Khalid

Dr. Lakam Mejus

Norfaizal bin Mohamed

Dr. Noor Fadzilah binti Yusof

Nooradilah binti Abdullah

Mohd Zuhair bin Mohd Sanusi

Mohd Muzamil bin Mohd Hashim

Mohamad Syahiran bin Mustaffa

Dr. Md Suhaimi bin Elias

PEREKA GRAFIK

Norhidayah binti Jait

JURUFOTO

Nor Hasimah binti Hashim

Zulhilmy bin Mohamad Latif

DITERBITKAN OLEH:

Unit Penerbitan

Bahagian Pengurusan Maklumat

Agensi Nuklear Malaysia

Bangi, 43000 Kajang,

Selangor Darul Ehsan.

Editorial

Tinta Ketua Pengarah

Pemantauan dan pengukuran keradioaktifan alam sekitar telah diperkenal dan dipelopori oleh Nuklear Malaysia sejak tahun 1980-an. Penggunaan teknik analisis nuklear (NAT) dalam pengurusan pencemaran alam sekitar adalah sangat penting. NAT membolehkan penyediaan maklumat yang tepat dan terperinci mengenai jenis dan tahap pencemaran yang berlaku. Antara teknik utama dalam NAT yang digunakan untuk mengkaji pencemaran alam sekitar adalah seperti spektrometri gama, spektrometri jisim nisbah isotop (IRMS), analisis pengaktifan neutron (NAA), pengiraan keaktifan dan pelbagai kaedah isotop lainnya.

Teknik nuklear yang digunapakai ini menjadi maklumat pelengkap kepada kaedah konvensional selain bersifat mesra alam. Sehingga kini, Nuklear Malaysia terus berusaha mengembangkan dan mempromosi teknik nuklear melalui aktiviti penyelidikan dan pembangunan (P&P) serta kerja-kerja perundingan dan perkhidmatan dengan pelbagai agensi berkaitan.

Secara keseluruhannya, teknologi nuklear menawarkan penyelesaian penting dalam pengurusan, pemantauan, penilaian dan pengendalian pencemaran alam sekitar. Meskipun usaha ini boleh dilakukan tanpa teknik nuklear, namun penolakannya akan mengakibatkan kerugian sekaligus meningkatkan kos perancangan negara dalam menangani isu dan cabaran alam sekitar.

Dr. Rosli bin Darmawan
Ketua Pengarah
Agensi Nuklear Malaysia



Dari meja e d i t o r

Selamat datang ke edisi terbaharu majalah i-Nuklear 2024! Kali ini, kupasan isu adalah bertunjangkan "Teknik Analisis Nuklear: Memperkasa Pemantauan Keradioaktifan dan Penilaian Pencemaran Alam Sekitar". Melalui edisi ini, kami berhasrat untuk memberikan gambaran jelas dan maklumat mendalam bagaimana Teknik Analisis Nuklear (NAT) membantu dalam pemantauan dan pengurusan pencemaran, serta kesannya terhadap kesihatan dan keselamatan persekitaran kita.

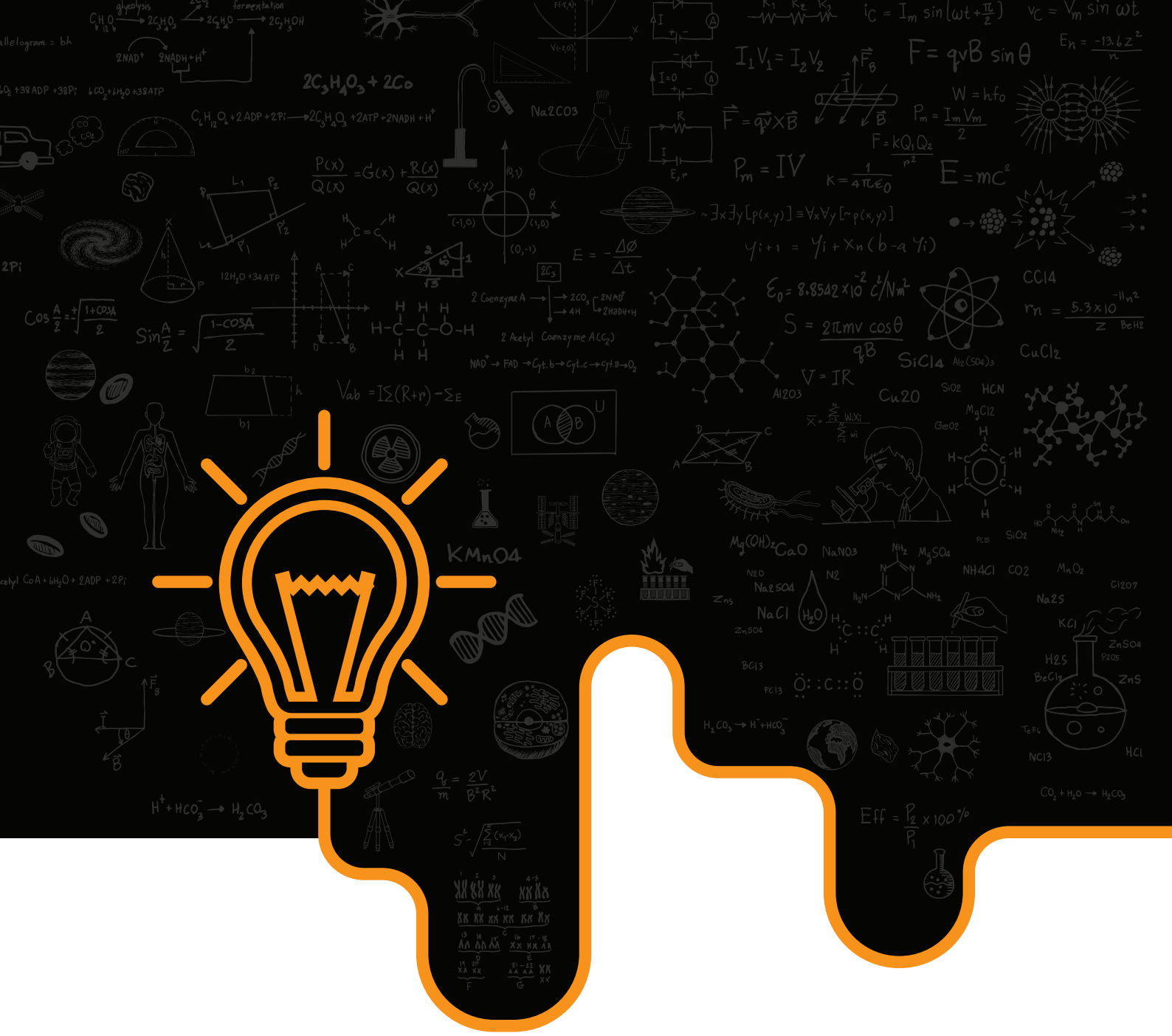
Sebanyak sembilan artikel ditulis oleh pegawai penyelidik yang berpengalaman berdasarkan kajian dan penyelidikan yang dijalankan bersama kumpulan kerja mereka. Sorotan utama dalam edisi i-Nuklear kali ini pastinya untuk memperkenalkan kepada pembaca bagaimana NAT membantu pengurusan pencemaran air, udara dan tanah dan impaknya kepada sumber makanan, hidupan laut dan lain-lain.

Menerusi i-Nuklear, pembaca akan mendapat jawapan kepada kekusaran tentang isu awam seperti pencemaran logam berat dalam makanan, terutamanya kandungan arsenik, cadmium, plumbum dan merkuri. Manakala output kajian yang penentuan kandungan kepekatan setiap unsur-unsur logam dalam bahan zarah udara (*Air Particulate Matter* - APM) serta kandungan zarah udara bersaiz PM10 dan PM2.5 di Bandaraya Kuala Lumpur juga turut dimuatkan untuk makluman masyarakat

Akhir kata, marilah sama-sama kita menilai keperluan dan kemajuan yang dibawa oleh Teknik Analisis Nuklear untuk melindungi dan memelihara alam sekitar. Selamat membaca!

Habibah binti Adnan
Pengarah
Bahagian Pengurusan Maklumat
Agensi Nuklear Malaysia





Sains

hari ini adalah
teknologi
di masa depan

-Edward Teller



Teknik Analisis Nuklear (NAT) untuk Alam Sekitar

Oleh : Zalina Laili, PhD & Rahman Yaccup, PhD

Pengenalan

Pencemaran alam sekitar merujuk kepada pengenalan bahan atau agen berbahaya ke dalam persekitaran yang menyebabkan perubahan negatif dan merosakkan komponen alam semula jadi seperti air, udara, tanah, dan kehidupan organisma. Sebagai akibatnya, pencemaran alam sekitar menyumbang kepada pelbagai masalah kesihatan manusia, kemerosotan biodiversiti, dan kerosakan kepada ekosistem. Bahan-bahan pencemar ini boleh berasal daripada pelbagai sumber termasuk aktiviti manusia dan proses semula jadi. Dalam hal yang demikian, banyak punca atau penyebab pencemaran alam sekitar termasuk pembangunan yang tidak terkawal dan pertambahan penduduk yang tinggi, terutamanya di bandar-bandar besar. Keadaan ini menyebabkan peningkatan permintaan terhadap sumber untuk meningkatkan hasil pengeluaran bagi menampung kehidupan dan penggunaan penduduk. Pertumbuhan ekonomi dan industri yang pesat sering kali diiringi oleh pengeluaran sisa dan bahan buangan yang tidak diurus dengan baik, menyumbang kepada pencemaran air, udara, dan tanah.

Dalam usaha untuk mengurangkan dan mengatasi masalah pencemaran alam sekitar, teknik analisis nuklear (NAT) memainkan peranan penting. NAT membolehkan pengesanan yang tepat, pengukuran kuantitatif, dan penentuan punca pencemaran dengan ketepatan tinggi. Melalui penggunaan teknik analisis nuklear, pencemaran dapat dipantau dan dinilai tahapnya dalam air, udara, tanah, dan organisma hidup dengan lebih berkesan. Data yang diperolehi membolehkan pemantauan kesan pencemaran terhadap alam sekitar dan kesihatan manusia, serta merancang langkah-langkah pemulihan dan pencegahan yang sesuai. Pengenalan NAT dalam pengurusan pencemaran memperluaskan kegunaannya dengan menyediakan data yang diperlukan untuk menangani isu-isu pencemaran alam sekitar dengan lebih berkesan.

Teknik Analisis Nuklear (NAT)

Dalam teknik analisis bukan nuklear, elektron memainkan peranan penting dalam proses analisis. Nukleus hanya berfungsi untuk menyatukan elektron dan memberikan jisim kepada atom. Walau bagaimanapun, dalam teknik analisis nuklear (NAT), sifat-sifat nuklear adalah asas kepada penganalisaan. Teknik NAT melibatkan penggunaan sifat-sifat nuklear unsur-unsur untuk mengenal pasti, mengukur, dan memahami pencemaran dalam pelbagai medium alam sekitar. NAT adalah satu set kaedah yang digunakan untuk menganalisis unsur-unsur dan bahan radioaktif dalam pelbagai sampel alam sekitar. Ia melibatkan pelbagai prosedur analitikal yang menggunakan sifat-sifat nuklear unsur-unsur, seperti keradioaktifan, penyerapan neutron, dan pemancaran sinar gama bagi mengenal pasti, mengukur, dan memahami sumber serta tahap pencemaran dalam air, udara, tanah, dan organisma hidup. Beberapa sifat-sifat nuklear utama yang penting dalam proses analisis adalah:

- Putaran dan momen magnet nukleus;
- Jisim nukleus;
- Keadaan teruja nukleus dan parameter yang berkaitan;
- Kebarangkalian tindak balas nuklear;
- Sifat serakan/pembelauan neutron;
- Separuh hayat, jenis dan tenaga sinaran yang dipancarkan (radionuklid sahaja).

Alat dan peralatan yang digunakan dalam NAT termasuk spektrometer nuklear, pengukur sinaran, spektrometer jisim, serta peralatan untuk persiapan sampel seperti pengisar dan asid pencernaan. Spektrometer nuklear digunakan untuk mengesan dan mengukur sinaran yang dikeluarkan oleh isotop radioaktif dalam sampel, manakala spektrometer jisim digunakan untuk mengenal pasti dan mengukur unsur-unsur kimia dalam sampel. Justeru, pelbagai NAT boleh dikelompokkan ke dalam kategori berikut:

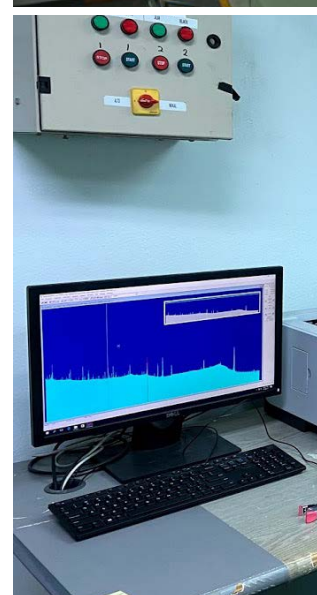
- Spektrometri jisim;
- Spektrometri resonans magnetik nuklear;
- Spektrometri Mössbauer;
- Analisis pancaran ion (termasuk PIXE);
- Analisis pengaktifan (serta-merta dan tertunda; instrumental dan radiokimia);
- Kaedah pembelauan/penyerakan neutron;
- Analisis pencairan isotop dan kaedah yang berkaitan;
- Kaedah penyurih (isotop stabil dan radioaktif);
- Penentuan keradioaktifan.

Antara teknik utama dalam NAT yang biasa digunakan termasuk spektrometri gama, analisis pengaktifan neutron (NAA), spektrometri jisim nisbah isotop (IRMS), dan pelbagai kaedah analisis isotop lainnya (Jadual 1). Kelebihan utama NAT termasuklah ketepatan dan sensitiviti yang tinggi, serta kemampuan untuk mengesan bahan pencemar dalam kepekatan yang sangat rendah. Ini bermakna data yang diperolehi adalah sangat tepat dan boleh dipercayai. Seterusnya, ia membolehkan penilaian yang tepat mengenai tahap pencemaran dalam persekitaran. Dengan sensitiviti yang tinggi, NAT dapat mengesan bahan pencemar dalam kepekatan yang sangat rendah, sering kali jauh di bawah had pengesanan teknik-teknik lain. Keupayaan ini penting untuk pengurusan pencemaran secara proaktif dan pemantauan holistik terhadap sampel air, udara, tanah, dan organisma hidup.

Kelebihan lain NAT adalah kemampuannya untuk melakukan pemantauan berterusan dan penentuan punca pencemaran dengan tepat. Dengan mengenal pasti unsur-unsur dan isotop yang hadir dalam sampel, punca pencemaran dapat dikenal pasti dengan jelas, membolehkan tindakan pemulihan yang sesuai. Justeru, NAT dapat memberikan pemahaman yang mendalam mengenai jenis, sumber, dan kesan pencemaran. Hal ini sangat penting dalam merancang strategi pengurusan pencemaran yang berkesan dan berdasarkan bukti yang diperolehi. Oleh itu, dengan kelebihan-kelebihan yang ada, NAT menjadi alat penting dalam pengurusan pencemaran alam sekitar. Dengan menyediakan data yang tepat dan sensitif, ia membolehkan tindakan yang sesuai diambil untuk menjaga alam sekitar dan kesihatan manusia.

Jadual 1 : Beberapa Teknik Analisis Nuklear (NAT) utama yang digunakan dalam kajian pencemaran alam sekitar

Teknik NAT	Keterangan Ringkas
1. Spektrometri Gama:	- Melibatkan pengukuran tenaga sinar gamma yang dipancarkan oleh bahan radioaktif dalam sampel. - Kelebihannya termasuk keupayaan untuk mengesan bahan pencemar dalam kepekatan yang sangat rendah dan memberikan pengukuran kuantitatif yang tepat.
2. Analisis Pengaktifan Neutron (NAA)	- Sampel disinarkan kepada neutron untuk mengaktifkan unsur-unsur dalam sampel tersebut. - NAA membolehkan pengesanan unsur-unsur dalam pelbagai medium alam sekitar dengan sensitiviti yang tinggi dan ketepatan yang tinggi.
3. Spektrometri Jisim Nisbah Isotop (IRMS)	- IRMS digunakan untuk mengukur perbandingan isotop dalam sampel, memberikan maklumat tentang asal usul dan kesan bahan pencemar. - Teknik ini memberikan maklumat mendalam mengenai kesan bahan pencemar terhadap bioindikator dan rantai makanan.
4. Spektrometri Alfa	- Melibatkan pengukuran tenaga sinar alfa yang dipancarkan oleh bahan radioaktif dalam sampel. - Keupayaan untuk mengesan bahan pencemar dalam kepekatan yang sangat rendah. - Memberikan pengukuran kuantitatif yang tepat.
5. Spektrometri Beta	- Melibatkan pengukuran partikel beta yang dipancarkan oleh radionuklid dalam sampel. - Dapat mengukur partikel beta dengan tepat dan , berguna dalam kajian radiokimia dan pemantauan pencemaran radionuklid.
6. Pengiraan Radioaktif	Melibatkan penggunaan pengesan seperti Geiger-Muller untuk mengukur tahap keradioaktifan dalam sampel udara, air, dan tanah.
7. Analisis Penyerakan Sinar-X/ Pendarflour sinar-X (XRF)	- Teknik ini melibatkan pengukuran kepekatan elemen dalam sampel menggunakan pancaran sinar-X. - Dapat mengukur kepekatan elemen dengan cepat dan mudah, berguna dalam geologi, arkeologi, dan pemantauan alam sekitar.



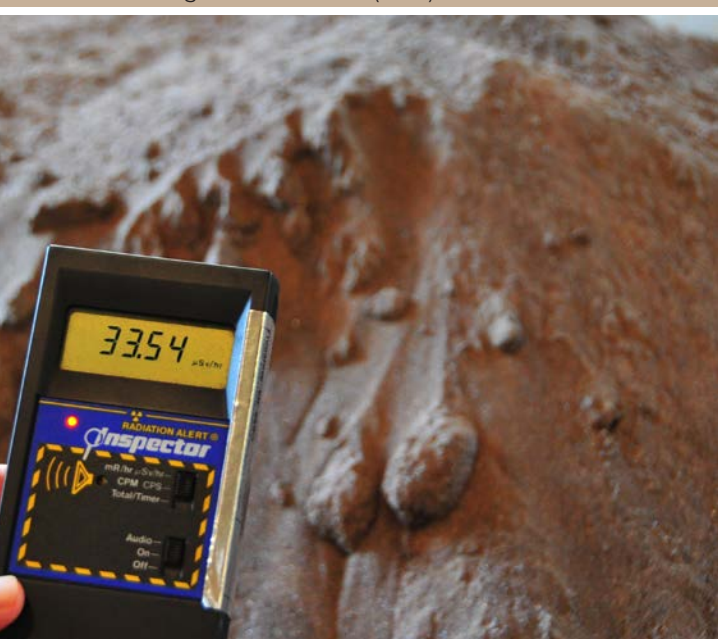
Reaktor TRIGA PUSKAPUS



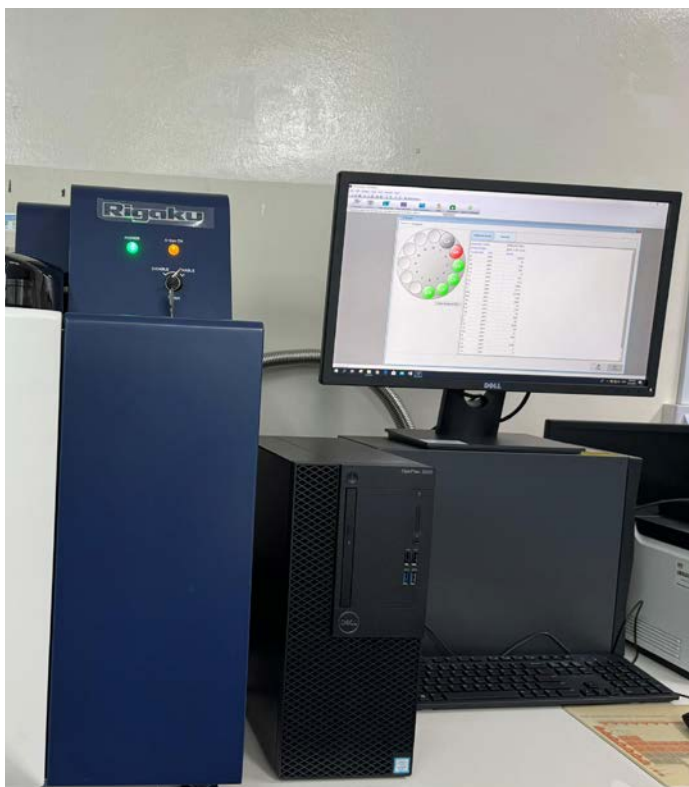
Contoh per...



TRIGA PUSPATI dan sistem spektrometri gama bagi teknik Analisis Pengaktifan Neutron (NAA)



Pengesanan sinaran yang digunakan untuk mengukur tahap sinaran dalam alam sekitar



Pendarfluor sinar-X (XRF) digunakan untuk mengukur kepekatan elemen dengan cepat dan mudah bagi pemantauan alam sekitar

Aplikasi Teknik Analisis Nuklear (NAT) dalam dalam Pengurusan Pencemaran

Penggunaan NAT dalam pengurusan pencemaran memainkan peranan penting dari segi pemantauan, penilaian, dan pengendalian pencemaran alam sekitar.

Pemantauan Pencemaran Air

NAT digunakan untuk mengkaji dan mengukur pergerakan pencemar seperti logam berat, sebatian organik kompleks, isotop radioaktif, dan unsur surih dalam sumber air. Teknik seperti IRMS digunakan untuk mengenal pasti sumber pencemaran dan aliran pergerakannya melalui analisis nisbah isotop stabil dalam air. Spektrometri gama digunakan untuk mengukur kepekatan isotop radioaktif dalam air, penting untuk pemantauan jangka panjang pencemaran radioaktif. NAA pula, digunakan untuk mengesan logam berat dalam air dengan ketepatan tinggi. NAT memberikan data terperinci mengenai komposisi dan pergerakan pencemar, membolehkan langkah-langkah pemulihan dan pengurangan pencemaran dilaksanakan secara lebih efektif.

Penilaian Pencemaran Udara

NAT digunakan untuk menganalisis partikel udara yang tercemar seperti gas berbahaya dan aerosol. Spektrometri gama dapat mengukur isotop radioaktif seperti Sesium-137 (^{137}Cs) dan Iodin-131 (^{131}I) dalam debu udara, memberikan maklumat tentang pencemaran daripada sumber industri atau bencana nuklear. Pengukuran isotop stabil seperti karbon-13 (^{13}C) membantu mengenal pasti sumber pencemaran organik dalam udara, misalnya membezakan antara pembakaran bahan bakar fosil dan pembakaran kayu. Teknik XRF dapat mengenalpasti komposisi unsur seperti sulfur dan nitrogen dalam partikel udara, yang sering terkait dengan pencemaran dari pembakaran bahan bakar fosil dan kegiatan industri.

Pengawasan Pencemaran Tanah

NAT membantu dalam mengukur kandungan radionuklid dalam tanah yang mungkin berasal daripada sisa industri, perlombongan, atau bahan api nuklear. Analisis radioaktif dapat membantu menentukan tingkat pencemaran dan menyarankan tindakan remediasi yang sesuai. Sebagai contoh, penggunaan NAT seperti spektrometri gama atau NAA dapat mengukur kepekatan keaktifan radionuklid seperti uranium-238 (^{238}U) atau torium-232 (^{232}Th) dalam sampel tanah. Hasil analisis ini dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang pencemaran tanah dan membantu dalam merancang strategi remediasi yang efektif.

Penjejakan Sumber Pencemaran

NAT membolehkan pengenalpastian isotop-isotop tertentu dalam sampel pencemaran seperti air atau tanah, untuk menjejaki sumber pencemaran seperti tumpahan bahan kimia atau pelepasan sinaran. Ini membantu dalam menilai impak lingkungan daripada aktiviti manusia atau kejadian alam yang menyebabkan pencemaran, serta membolehkan langkah-langkah yang sesuai diambil untuk mengurus dan memulihkan persekitaran yang terjejas. Salah satu contoh NAT yang dapat digunakan untuk penjejakan sumber pencemaran adalah spektrometri gama. Dalam konteks ini, spektrometri gama dapat mengenalpasti dan mengukur radionuklid-radionuklid dalam sampel air atau tanah yang tercemar. Radionuklid-radionuklid ini dapat berfungsi sebagai penanda yang membantu menentukan asal usul pencemaran, seperti tumpahan bahan kimia atau pelepasan sinaran dari sumber tertentu. Dengan menganalisis pola spektrum sinaran gama daripada sampel, NAT memungkinkan untuk menghubungkan sampel tersebut dengan sumber pencemaran yang spesifik, memungkinkan tindakan pemulihan dan pengurusan yang sesuai dilaksanakan untuk melindungi dan memulihkan kesihatan persekitaran yang terjejas.



NAT digunakan untuk me
dan r



Mengekaji pergerakan pencemar dalam air
mengukur kualiti air

Penilaian Impak Ekosistem

NAT digunakan untuk menilai kesan pencemaran terhadap ekosistem dengan menganalisis isotop stabil dan radioaktif dalam rantai makanan. Isotop-isotop ini berperanan sebagai penanda untuk memahami bagaimana bahan pencemar bergerak dan terkumpul di dalam tumbuhan, haiwan, dan mikroorganisma dalam ekosistem. NAT membantu memahami pemindahan bahan pencemar daripada satu organisma kepada yang lain dalam rantai makanan, yang penting untuk menilai risiko dan merancang langkah pemulihan bagi ekosistem yang terjejas oleh pencemaran.

Kesimpulan

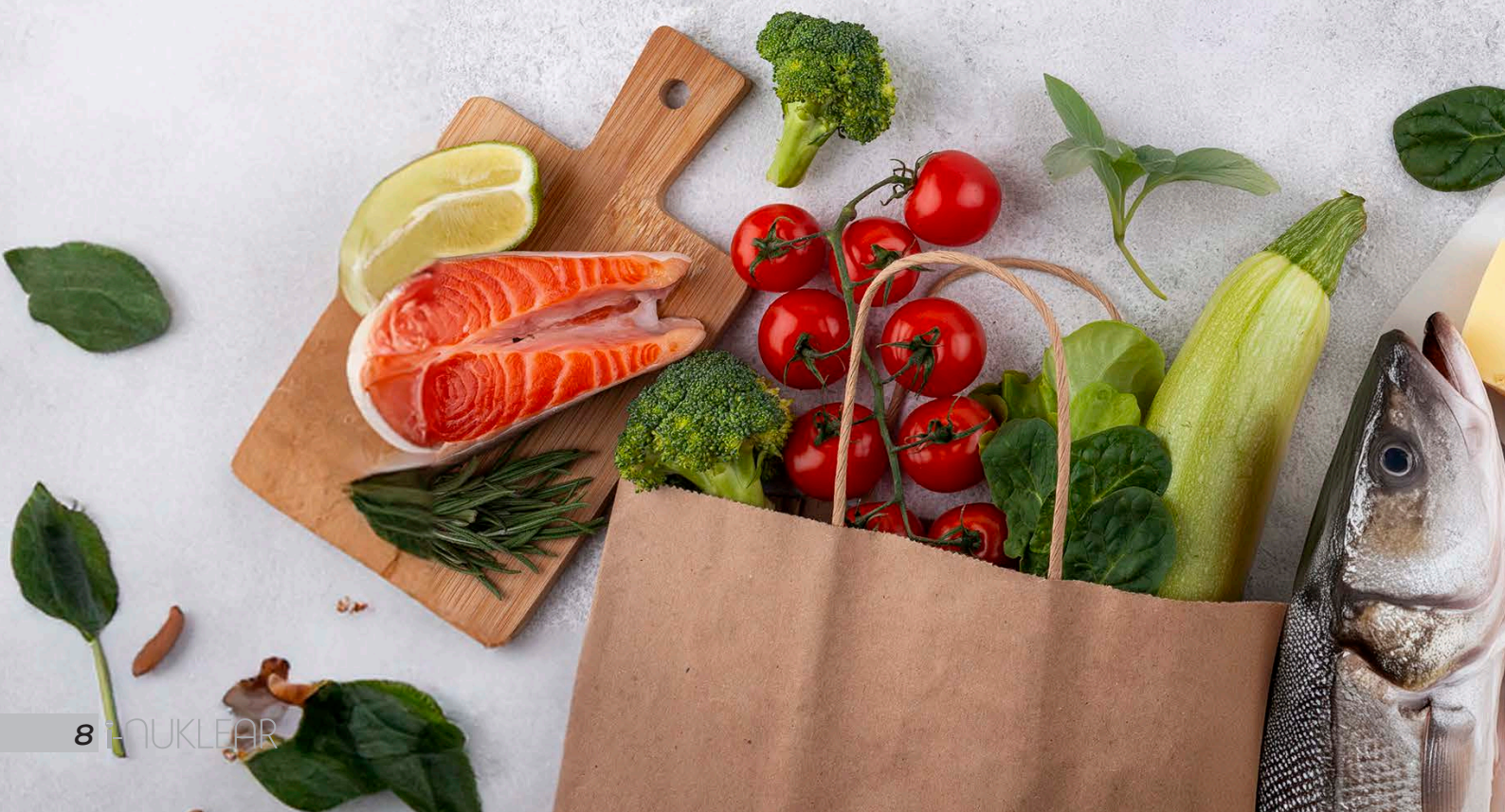
Penggunaan Teknik Analisis Nuklear (NAT) dalam pengurusan pencemaran alam sekitar adalah sangat penting kerana ia menyediakan maklumat yang tepat dan terperinci mengenai jenis dan tahap pencemaran. NAT mempunyai kelebihan ketepatan dan kepekaan yang tinggi, membolehkan pengesanan bahan pencemar dalam kepekatan yang sangat rendah yang mungkin tidak dapat dikesan oleh teknik lain. Dengan menggunakan NAT, tindakan pengurusan pencemaran dapat dilakukan secara proaktif, memastikan perlindungan terhadap kesihatan manusia dan kelestarian alam sekitar. Dengan ini, penggunaan NAT tidak hanya memenuhi keperluan analisis saintifik yang teliti, tetapi juga mendukung usaha global untuk memelihara dan memulihkan keadaan alam sekitar bagi generasi masa depan.

Pencemaran Alam Sekitar Terhadap Sumber Makanan

Oleh : Nazaratul Ashifa Abdullah Salim, PhD

Pencemaran dalam persekitaran boleh dikategorikan kepada tiga jenis utama: pencemaran udara, pencemaran air, dan pencemaran tanah. Pencemaran udara biasanya disebabkan oleh pelepasan gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), dan nitrogen oksida (NO₂). Pencemaran berkenaan mungkin berasal dari kenderaan bermotor, kilang-kilang, dan pembakaran bahan api fosil. Keadaan demikian merosakkan kualiti udara seterusnya boleh meresap ke permukaan tanah dan air yang boleh menyebabkan pencemaran sekunder. Pencemaran air berlaku apabila bahan kimia toksik, sisa industri, dan sisa domestik dibuang ke dalam sungai, tasik atau laut tanpa pengolahan terlebih dahulu. Ini boleh menyebabkan kematian hidupan akuatik dan merosakkan ekosistem air kerana keupayaan sebatian kimia atau logam berat boleh memasuki rantai makanan.

Pencemaran tanah sering berpunca daripada penggunaan racun perosak dan baja yang berlebihan dalam pertanian, dan pelupusan sisa toksik secara tidak terkawal. Bahan toksik boleh menjejaskan kesuburan serta menurunkan kualiti tanah apabila meresap terus ke dalam sistem air tanah atau dibawa oleh air hujan ke dalam sungai dan tasik. Fenomena ini memberi impak langsung kepada sektor pertanian dan makanan kerana sifat sebatian kimia atau logam berat mudah diserap dan bioakumulasi di dalam tumbuhan serta hidupan akuatik. Justeru itu, penekanan kepada program pemantauan dan pengurusan yang baik bersama penggunaan teknologi nuklear membantu usaha mengurangkan pencemaran terhadap persekitaran dan sumber makanan.



Pencemaran Logam Berat dalam Makanan di Malaysia

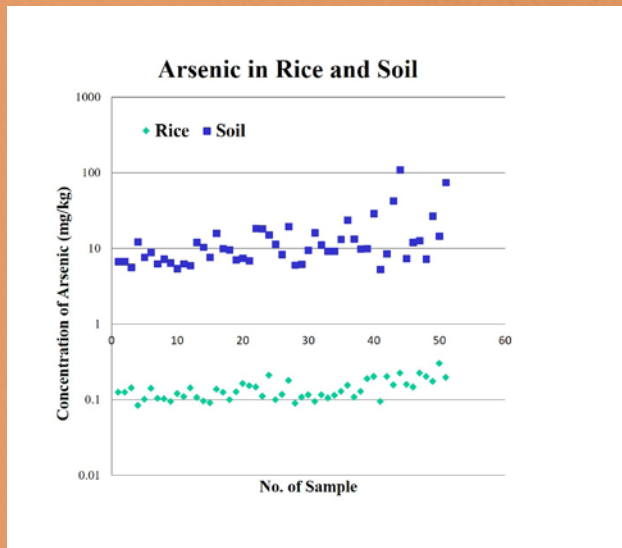
Pencemaran logam berat dalam makanan telah menjadi isu yang semakin membimbangkan. Arsenik, cadmium, plumbum dan merkuri adalah antara contoh logam berat yang sering dikesan di kawasan perairan Selat Melaka. Pemerhatian ke atas logam berat dalam makanan laut mula dijalankan sekitar tahun 1990-an. Nuklear Malaysia menjalankan analisis logam berat arsenik (As), merkuri (Hg) dan antimoni (Sb) dengan teknik analisis pengaktifan neutron (NAA) terhadap kerang, ketam dan udang. Pemeriksaan dijalankan juga ke atas ikan dari Kuala Selangor dan Kuala Terengganu untuk menentukan kepekatan logam berat arsenik dan merkuri. Hasil kajian pada 2010 mendapati kehadiran logam berat tidak melebihi had maksimum yang dibenarkan di dalam ikan iaitu 1.0 mg/kg berdasarkan Akta Makanan 1983 (Pindaan 2010). Peningkatan sektor industri dan aktiviti pelabuhan sekitar kawasan pesisir pantai menjadi penyumbang utama kehadiran logam berat. Kenaikan tahap kandungan logam berat boleh menjejaskan kesihatan penduduk yang memakan hasil laut tersebut, tetapi juga menjejaskan ekonomi nelayan tempatan yang bergantung kepada hasil tangkapan mereka.



Ikan tempatan yang disampel



Pemantauan kehadiran logam berat arsenik, kromium dan antimoni turut dijalankan ke atas tanaman tembikai susu, pucuk ubi kayu, daun pandan dan serai sekitar kawasan Kuala Selangor. Hasil pemantauan mendapati kandungan arsenik di dalam daun pandan dan serai melebihi nilai had maksimum 1.0 mg/kg yang dibenarkan. Keputusan ini berkemungkinan kesan daripada aktiviti perindustrian sama ada melalui pencemaran udara atau tanah.



Graf kehadiran arsenik di dalam beras dan tanah

Beras merupakan makanan ruji bagi kebanyakan rakyat Malaysia, dan potensi pencemaran logam berat boleh memberi risiko kepada kesihatan awam. Sumber utama pencemaran dalam aktiviti pertanian berskala besar ialah penggunaan baja dan racun perosak. Pemerhatian kehadiran logam berat arsenik adalah dalam julat 0.08 – 0.39 mg/kg dalam beras yang ditanam di Kedah, Selangor, Langkawi dan Sabah. Julat ini adalah lebih rendah daripada had maksimum 1.0 mg/kg yang dibenarkan di dalam beras. Graf menunjukkan kehadiran arsenik yang tinggi dalam tanah pertanian turut mempengaruhi kepekatan arsenik di dalam beras.



Teknik NAA digunakan bagi penjejakan dan ketulenan makanan seperti madu serta sarang burung walit



Proses persampelan makanan di lapangan dan penganalisan dengan teknik NAA



Proses persampelan makanan di lapangan dan penganalisan dengan teknik NAA

Dalam kajian berkaitan penjejakan dan ketulenan makanan, banyak maklumat komposisi elemen termasuk logam berat diperolehi melalui teknik NAA. Secara tidak langsung corak taburan logam berat mengikut geografi lokasi sampel makanan dapat dipantau secara spesifik. Makanan bernilai tinggi dan mempunyai faedah perubatan khususnya madu dan sarang burung walit memerlukan maklumat asal usul dan ketulenan demi menjaga kualiti dan keselamatannya. Aspek ketulenan dan keselamatan makanan perlukan pemantauan yang berterusan dan kawalan ketat supaya pencemaran logam berat dalam rantai dapat dikawal dengan baik.

Kesan Pencemaran Logam Berat Terhadap Kesihatan Manusia

Pencemaran logam berat dalam makanan boleh memberi kesan negatif kepada kesihatan manusia. Logam berat seperti merkuri (Hg), plumbum (Pb), cadmium (Cd), dan arsenik (As) yang terkumpul dalam badan dari masa ke masa, menyebabkan pelbagai masalah kesihatan kronik. Merkuri, misalnya, boleh menjejaskan sistem saraf dan perkembangan otak, terutamanya pada kanak-kanak dan janin dalam kandungan. Pendedahan jangka panjang kepada plumbum boleh menyebabkan kerosakan kepada sistem saraf, buah pinggang, dan sistem pernafasan. Kadmium pula, yang sering ditemui dalam sayuran yang ditanam di tanah tercemar, boleh menyebabkan kerosakan kepada buah pinggang dan meningkatkan risiko kanser paru-paru. Arsenik, yang sering terdapat dalam air bawah tanah dan beras, boleh menyebabkan kanser kulit, paru-paru, dan pundi kencing.

Selain itu, kesan toksik logam berat tidak terhad kepada masalah fizikal sahaja. Pendedahan kepada logam berat boleh memberi kesan negatif kepada fungsi kognitif dan perkembangan mental. Kanak-kanak yang terdedah kepada plumbum misalnya mempunyai risiko masalah pembelajaran dan tingkah laku. Begitu juga, pendedahan kepada merkuri boleh menyebabkan penurunan kemampuan kognitif dan masalah tingkah laku. Logam berat juga boleh menyebabkan gangguan hormon, yang menjejaskan kesihatan reproduktif dan perkembangan seksual. Tahap logam berat dalam makanan harus dikawal dengan ketat dan langkah-langkah pencegahan diambil untuk melindungi kesihatan kita daripada ancaman pencemaran logam berat.

Pemonitoran dan Penganalisaan Makanan

Analisis pengaktifan neutron (NAA) ke atas makanan untuk mengesan kehadiran logam berat seperti arsenik, kromium, dan antimoni serta elemen-elemen lain telah berlangsung lebih daripada tempoh 30 tahun. NAA adalah teknik analisis berasaskan pengesanan elemen bagi sampel yang kecil dengan hasilnya mempunyai ketepatan yang tinggi. Proses sinaran melibatkan sampel makanan didedahkan terhadap sinaran neutron lalu menjadikan elemen dalam sampel tersebut menjadi radioaktif. Kemudian, sinaran gama yang dipancarkan oleh elemen-elemen dianalisis untuk menentukan jenis dan kuantiti logam berat yang ada.

Kelebihan NAA adalah kepekaannya yang tinggi dan kemampuan untuk menganalisis pelbagai elemen secara serentak dalam satu masa. Sebagai contoh, kehadiran arsenik dalam beras atau nasi dapat dikesan walaupun pada tahap yang rendah. Begitu juga, kromium dan antimoni, yang boleh hadir dalam ikan dan sayuran akibat pencemaran industri, dapat dikesan dengan tepat menggunakan NAA. Penggunaan teknik ini menyumbang kepada pemantauan kualiti dan keselamatan makanan dengan lebih efektif, sekaligus memberikan maklumat penting kepada pihak berkuasa untuk mengambil langkah-langkah pencegahan yang diperlukan. Dengan demikian, teknik NAA bukan sahaja menyumbang kepada perlindungan kesihatan pengguna tetapi juga memastikan keaslian dan keselamatan sumber makanan di pasaran di jaga.



Komunikasi dan Pendidikan dalam Meningkatkan Kesedaran Keselamatan Makanan

Pendidikan mengenai keselamatan makanan adalah penting untuk masyarakat membuat pilihan makanan yang bijak dan selamat. Program pendidikan boleh merangkumi maklumat mengenai cara mengenalpasti makanan yang terkontaminasi, pentingnya membeli makanan daripada sumber yang dipercayai, dan memahami label makanan yang menunjukkan kandungan bahan berbahaya. Pendidikan boleh disampaikan melalui kurikulum sekolah, media massa, dan program komuniti. Dengan pengetahuan yang tepat, masyarakat dapat mengelakkan makanan yang tercemar dan mengurangkan risiko kesihatan yang berkaitan dengan pencemaran logam berat.

Kerajaan, NGO, dan media mempunyai peranan dalam meningkatkan kesedaran dan mendidik masyarakat mengenai isu pencemaran dan keselamatan makanan. Kerajaan boleh memperkenalkan dan menguatkuasakan peraturan dan akta yang menyokong amalan pertanian dan industri lestari. NGO boleh menjalankan program jangkauan luar dan kempen kesedaran untuk mendidik masyarakat. Selain itu, media pula boleh memainkan peranan dengan menyebarkan maklumat mengenai status dan risiko pencemaran, amalan terbaik untuk mengurangkan pencemaran, dan menjayakan inisiatif-inisiatif hijau. Kerjasama antara ketiga-tiga pihak ini akan memastikan mesej kesedaran sampai kepada seluruh masyarakat, seterusnya membantu dalam usaha menjaga alam sekitar dan memastikan keselamatan sumber makanan terjamin. Dengan demikian, masyarakat akan mengambil makanan yang selamat dan sihat.



Program kesedaran kepada orang awam berkaitan teknik yang digunakan bagi mengesan kehadiran logam berat dalam makanan

Pengukuran KERADIOAKTIFAN PERSEKITARA

Oleh : Nurul Assyikeen Md. Jaffary, PhD, Noor Fadzilah Yusof, PhD, Nooradilah Abdullah & Yii Mei Wo

Radionuklid sentiasa berada di sekeliling kita yang wujud secara semula jadi seperti radionuklid kosmogenik (^3H , ^7Be , ^{10}Be , ^{14}C dll) dalam atmosfera. Menurut laporan UNSCEAR tahun 2008, 80 peratus daripada sinaran dalam persekitaran kita disumbangkan oleh radionuklid semula jadi. Radionuklid tersebut berada dalam persekitaran dan boleh memasuki ke dalam rantai makanan kita. Aktiviti manusia yang tidak terkawal boleh menyebabkan kepekatan radionuklid dalam persekitaran dan makanan kita melebihi aras yang dibenarkan. Oleh itu, pemantauan aras radionuklid tersebut perlu dilakukan demi memastikan kesihatan manusia dan kesejahteraan persekitaran.

Radionuklid adalah isotop elemen yang tidak stabil, maka ia perlu melepaskan sinaran mengion untuk bertukar kepada isotop yang lebih stabil. Sinaran mengion yang dibebaskan sama ada dalam bentuk partikel seperti zarah alfa (ion helium) dan sinaran beta (elektron) atau sinaran bersifat gelombang elektromagnetik seperti sinaran gama. Radionuklid yang sama akan membebaskan jenis sinaran yang sama dengan kuantiti tenaga yang tertentu berserta tempoh penyepaian (separuh hayat) yang unik. Sifat ini telah menjadi pencirian cap jari bagi sesuatu radionuklid. Sebagai contoh, radionuklid ^3H dengan separuh hayat 12.35 ± 0.01 tahun akan mengeluarkan sinaran beta dengan tenaga maksimum 18.59 ± 0.06 keV sepanjang tempoh penyepaiannya. Sifat unik tersebut tidak akan berubah mengikut keadaan fizikal bahan atau proses pengendalian. Oleh kerana sifat unik radionuklid sebegini, ia membolehkan pelbagai teknik analisis nuklear (NAT) dibangunkan untuk menentukan aras keradioaktifan dalam pelbagai sampel dan menghubungkaitkannya dengan paras pencemaran dalam alam sekitar dan makanan.

Justeru, Kumpulan Radiokimia dan Alam Sekitar (RAS) di Bahagian Teknologi Sisa dan Alam Sekitar (BAS) adalah satu unit di Agensi Nuklear Malaysia yang bertanggungjawab mengukur pelbagai jenis sinaran mengion untuk menentukan radionuklid yang terdapat dalam sampel. Ia adalah satu-satunya makmal kerajaan yang mempunyai keupayaan pengukuran tersebut. Antara peralatan nuklear utama yang terdapat di kumpulan RAS adalah seperti Sistem Spektrometri Alfa, Sistem Spektrometri Gama, Pembilang Alfa-Beta dan Pembilang Sintilasi Cecair.

N DI MALAYSIA



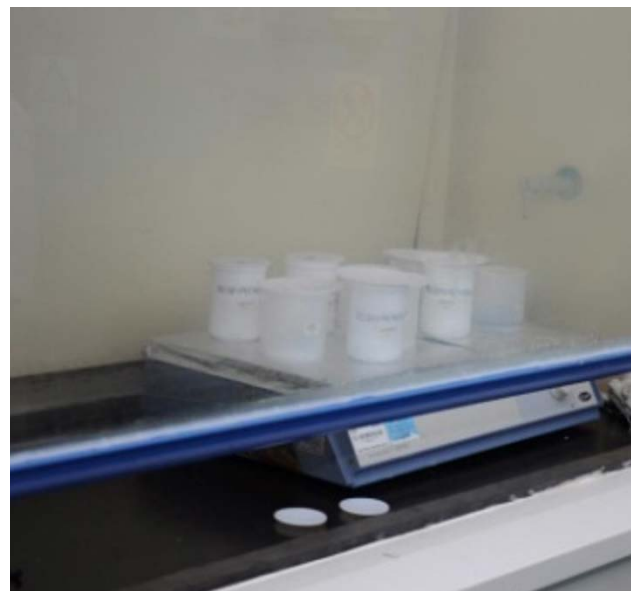
Sistem spektroskopi alfa adalah teknik yang digunakan secara meluas untuk pengenalpastian dan kuantifikasi radionuklid pemancar alfa seperti ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am dll. Zarah alfa dipancarkan dengan ciri tenaga diskret bagi transformasi tertentu, tetapi nilai tenaganya akan bertindih dengan zarah-zarah alfa lain dalam julat 4 – 8 MeV. Oleh itu, semasa penentuan pemancar alfa, sampel perlu terlebih dahulu dicernakan melalui proses kimia untuk mengasingkan radionuklid sasaran daripada radionuklid lain demi mengurangkan masalah pertindihan puncak-puncak zarah alfa. Ion-ion radionuklid sasaran kemudian akan dimendapkan ke atas kepingan disk logam / plastik / kertas turas dan diukur untuk tempoh antara 1 – 10 hari dalam kebuk vakum sistem spektrometri alfa, kerana kehadiran lapisan udara boleh menghalang pergerakan zarah alfa ke pengesan alfa.

Sistem spektrometri gama pula adalah teknik pengukuran berdasarkan sinaran gama yang dipancarkan daripada sesuatu sampel seperti ^{40}K , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir dll. Operasi spektrometri gama adalah berdasarkan tiga interaksi asas sinaran dengan jirim, iaitu kesan photoelektrik, serakan Compton dan pengeluaran pasangan sinaran. Kombinasi tiga mekanisme tersebut membolehkan satu spektrum terbentuk semasa pengukuran. Setiap tenaga gama adalah unik dan diskret. Maka lokasi kedudukan puncak boleh digunakan untuk mengenal pasti jenis radionuklid manakala saiz puncak adalah berkadar dengan kuantitinya. Kelebihan teknik gama berbanding dengan teknik lain adalah sampel boleh dimasukkan ke dalam bekas dan terus diukur tanpa perlu melalui proses kimia terlebih dahulu. Ini disebabkan oleh kuasa penembusan sinaran gama yang tinggi dan tenaga gama yang diskret. Oleh itu ia membolehkan pengukuran pelbagai pemancar gama boleh dilakukan secara serentak dalam satu sampel yang sama menerusi satu pengukuran sahaja.

Pembilang alfa-beta pula adalah teknik pengukuran secara kuantitatif jumlah pemancar alfa dan jumlah pemancar beta yang terdapat di dalam sesuatu sampel. Teknik ini kebiasaannya merupakan teknik penyaringan untuk mengetahui paras keradioaktifan samada nilainya tinggi atau rendah tanpa memerlukan identifikasi individu pemancar alfa atau pemancar beta. Sebagai contoh, piawaian air minuman mengikut Badan Kesihatan Sedunia (WHO) menetapkan aras alfa dan



Sistem spektrometri alfa



Pencernaan sampel alfa



Penyediaan sampel gama



beta dalam air minuman masing-masing tidak boleh melebihi 0.5 Bq/l dan 1.0 Bq/l tanpa perlu dinyatakan jenis radionuklid. Namun begitu, dengan menggabungkan proses pemisahan kimia, keradioaktifan sesetengah pemancar beta seperti ^{90}Sr , ^{210}Pb yang telah ditulenkan dan diasingkan dari radionuklid lain dapat juga diukur dengan menggunakan teknik ini.

Sementara itu, pembilang sintilasi cecair adalah teknik yang paling sensitif dan digunakan secara meluas untuk pengesanan dan kuantifikasi keradioaktifan. Teknik pengukuran ini boleh digunakan untuk semua bentuk pelepasan pereputan nuklear. Pembilang sintilasi cecair ialah teknik analisis yang mengukur keaktifan radionuklid daripada kadar foton cahaya yang dipancarkan oleh sampel jenis cecair. Sampel dalam bentuk cecair akan dicampurkan dengan larutan kilauan (koktel) ke dalam satu vial sebelum diukur. Sinaran dari sampel akan diserap oleh larutan kilauan dan menghasilkan foton cahaya mengikut perkadaran, yang akan dikesan oleh pengganda tiub foton dan boleh diukur. Sama seperti teknik alfa, proses penyulingan dan pengasingan radionuklid sasaran perlu dilakukan terlebih dahulu untuk mengelakkan pertindihan puncak sinaran. Teknik ini sering digunakan untuk pengukuran radionuklid seperti ^3H , ^{14}C , ^{32}P dan ^{226}Ra .

Dalam usaha memastikan keselamatan dan kesihatan awam serta kelestarian alam sekitar, Kumpulan RAS memainkan peranan penting dengan menjalankan pelbagai kajian dan pemantauan secara berkala menerusi projek-projek penyelidikan dan projek-projek kerjasama. Kumpulan RAS turut menjalankan penyelidikan untuk menambah baik kaedah analisis secara berterusan bagi memastikan ketepatan pengukuran yang dilakukan dan mencapai piawaian antarabangsa. Dengan mengaplikasi salah satu atau kombinasi beberapa teknik analisis nuklear yang dinyatakan di atas, maka ia boleh digunakan untuk menentukan aras keradioaktifan dan pencemaran dalam sampel persekitaran termasuk di dalam makanan. Teknik-teknik analisis nuklear tersebut banyak digunakan untuk pemantauan makanan ketika kejadian loji janakuasa nuklear Chernobyl dan Fukushima serta pemantauan radiologi



Sistem spektrometri gama

persekitaran seperti dalam isu projek *Asian Rare Earth*, projek Lynas dan lombong bauksit di Bukit Goh, Pahang. Selain itu, kumpulan RAS turut terlibat dalam memberikan khidmat nasihat dan konsultasi kepada agensi-agensi kerajaan serta pihak industri dalam menangani isu-isu berkaitan keradioaktifan dan pencemaran alam sekitar dan makanan.

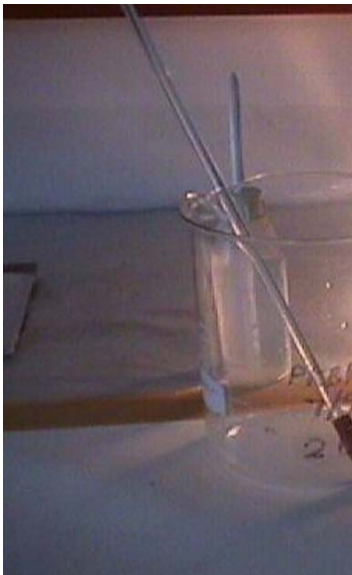
Dalam persekitaran kita, kesan daripada ujian senjata nuklear sekitar tahun 1945 hingga 1980 telah mengakibatkan pemendapan hasil pembelahan nuklear dan hasil pengaktifan neutron di permukaan bumi yang dikenali sebagai guguran radioaktif. Guguran radioaktif ini terdiri daripada pelbagai radionuklid yang mempunyai separuh-hayat tersendiri daripada harian hingga tahunan. Sebahagian radionuklid guguran seperti beryllium-7 (^7Be), plumbum tidak tersokong ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$), cesium-137 (^{137}Cs) serta isotop plutonium dijadikan sebagai penyurih dalam penyelidikan hakisan dan pemendapan tanah sebagai salah satu strategi pemantauan dan pemuliharaan kawasan tadahan. Pengukuran kadar hakisan tanah dijalankan dengan mengambil kira perubahan kepekatan radionuklid dalam sampel tanah di kawasan hakisan serta kawasan tidak terhakis. Ini kerana, radionuklid akan bergerak bersama-sama dengan partikel tanah yang dibawa oleh air hujan atau aliran permukaan. Kehadiran radionuklid dalam tanah membolehkan pemantauan jangka panjang terhadap hakisan dan kesan aktiviti manusia terhadap persekitaran tanah. Pemantauan kadar peluruhan radionuklid dan perubahan dalam taburan di persekitaran tanah menyumbang kepada data yang berguna dalam pengurusan tanah yang berkesan.

Jadual 1: Ringkasan radionuklid yang digunakan sebagai penyurih hakisan dan pemendapan tanah

Radionuklid	Asal	Kumpulan jadual berkala	Separuh-hayat	Skala aplikasi
^{137}Cs	Antropogenik	Logam alkali	30.2 tahun	Plot hingga lembangan besar
$^{239+240}\text{Pu}$	Antropogenik	Aktinid	24110 tahun (^{239}Pu) 6561 tahun (^{240}Pu)	Tertumpu (contoh; padang)
^{210}Pb	Geogenik semula jadi	Logam pos-transisi	22.8 tahun	Plot ke lembangan
^7Be	Geogenik semula jadi	Logam alkali bumi	53.3 hari	Plot ke padang



Pem



Penyedia



Vial sar



Pembilang alfa-beta



Pembilang sampel air minum



Pembilang sampel sintilasi cecair

Dengan keupayaan yang dimiliki, Kumpulan RAS tidak hanya tertumpu kepada pengukuran dan pemantauan, tetapi juga berperanan dalam pendidikan dan latihan. Kumpulan RAS menyediakan program latihan kepada para penyelidik, felo antarabangsa, pelajar universiti, dan kakitangan awam/industri bagi meningkatkan pemahaman dan kemahiran mereka dalam bidang analisis radiokimia dan pengukuran keradioaktifan. Program-program ini bertujuan untuk melahirkan lebih ramai pakar dalam bidang tersebut serta memastikan amalan pengurusan keradioaktifan yang selamat dan berkesan dapat diterapkan dalam pelbagai sektor.

Secara keseluruhannya, RAS di Nuklear Malaysia memainkan peranan yang amat penting dalam memastikan keselamatan dan kesihatan awam. Menerusi penggunaan teknik-teknik analisis nuklear yang tepat, pemantauan dan kawalan tahap keradioaktifan dalam persekitaran kita dapat dilaksanakan, sekaligus memastikan kesejahteraan masyarakat dan kelestarian alam sekitar adalah sentiasa terpelihara.



Pembilang sintilasi cecair

Keradioaktifan SUMBER, PUNCA, KESAN DAN PE

Oleh : Norfaizal Mohamed, Noor Fadzilah Yusof, PhD, Nooradilah Abdullah, Nurul Assyikeen Md Jaffary, PhD, Mohd Zuhair Mohd Sanusi & Yii Mei Wo

Keradioaktifan marin memainkan peranan penting dalam membentuk ekosistem yang sistematik dan memberi impak kepada interaksi antara manusia dan laut. Keradioaktifan marin telah menjadi perhatian dalam beberapa dekad kebelakangan ini kerana mempunyai kesan terhadap kesihatan persekitaran. Bahan radioaktif boleh memasuki persekitaran marin melalui pelbagai sumber, sama ada secara semula jadi atau buatan manusia (antropogenik). Memahami punca, tingkah laku dan akibat dedahan kepada bahan radioaktif marin diperlukan dalam usaha pemantauan dan pengurusan lautan yang berkesan.

Sumber dan Punca Keradioaktifan Marin

Keradioaktifan dalam persekitaran marin adalah fenomena yang kompleks. Walaupun bahan radioaktif semula jadi sentiasa ada di lautan, aktiviti manusia telah menyumbang kepada pertumbuhan bahan radioaktif sejak abad yang lalu. Interaksi antara sinar kosmik dengan molekul udara menghasilkan radionuklid kosmogenik seperti karbon-14, berilium-10, dan tritium yang akhirnya masuk ke lautan melalui pemendakan dan laluan sungai. Radionuklid primordial daripada unsur-unsur seperti kalium-40, uranium-238, dan torium-232 juga merupakan penyumbang kepada keradioaktifan marin kerana telah wujud sejak pembentukan bumi. Kalium-40 khususnya, menyumbang kepada keradioaktifan marin kerana kandungannya yang tinggi dalam air laut. Manakala pereputan uranium dan torium dalam sedimen dasar laut menghasilkan satu siri pereputan radionuklid, termasuk radium-226 dan polonium-210, yang boleh mempengaruhi rantai makanan laut.

Sumber antropogenik pula adalah bahan radioaktif yang dihasilkan oleh ujian senjata nuklear yang dilakukan pada tahun 1950-an dan 1960-an. Ujian senjata nuklear telah menghasilkan sejumlah besar radionuklid buatan ke dalam alam sekitar, termasuk sesium-137 dan strontium-90. Bencana nuklear seperti Chernobyl pada tahun 1986 dan kemalangan nuklear Fukushima Daiichi pada tahun 2011 turut mengakibatkan pelepasan bahan radioaktif ke dalam persekitaran marin. Selain itu, pengeluaran terkawal bahan radioaktif di loji janakuasa nuklear dan kemudahan pemprosesan semula bahan api nuklear secara rutin turut melepaskan sejumlah kecil efluen radioaktif ke perairan pantai di bawah kawalan pengawalseliaan yang ketat. Sisa radioaktif daripada perubatan, aplikasi industri, serta pengekstrakan minyak dan gas juga boleh menyumbang kepada keradioaktifan marin secara minimal.

Marin: PEMANTAUAN



Tingkah Laku (Kelakuan) Kesan Keradioaktifan Marin

Taburan dan tingkah laku radionuklid (Jadual 1) dalam persekitaran marin berkelakuan seragam dan dipengaruhi oleh faktor proses fizik, kimia dan biologi. Proses fizik seperti arus laut, percampuran, dan stratifikasi boleh menjejaskan pengangkutan dan pencairan sesuatu bahan radioaktif. Sifat kimia, seperti kadar keterlarutan dan kereaktifan radionuklid, menentukan tempoh masa keberadaan mereka dalam air laut dan kecenderungan untuk dikaitkan dengan zarah atau sedimen. Proses biologi juga memainkan peranan dengan sesetengah radionuklid boleh tertumpu dalam organisma marin melalui bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam rantai makanan.

Memahami tingkah laku geokimia radionuklid dapat menentukan dan meneliti pergerakan radionuklid dalam sistem marin bagi membantu pemantauan alam sekitar dan penilaian risiko. Keradioaktifan marin boleh memberi kesan buruk kepada organisma dan ekosistem marin. Proses bioakumulasi boleh membawa kepada potensi risiko kesihatan melalui organisma yang berada dalam rantai makanan, termasuk manusia. Pendedahan kepada tahap keradioaktifan yang tinggi boleh menyebabkan mutasi genetik, keabnormalan pembiakan dan masalah kesihatan lain dalam organisma marin. Kesan keradioaktifan marin ke atas ekosistem dan kesihatan manusia adalah bergantung kepada dos serapan dan berbeza-beza antara individu.

Jadual 1 Tingkah laku geokimia radionuklid dalam persekitaran marin boleh dikelaskan kepada empat kategori utama:

Tingkah laku geokimia	Sifat	Contoh radionuklid
Konservatif	Berkelakuan seperti garam terlarut dalam air laut. Ia mempunyai masa tinggal yang lama dan relatifnya bertaburan secara seragam di seluruh lautan. Radionuklid ini sangat larut, mempunyai interaksi minimum dengan zarah dan bercampur di dalam turus air.	sesium, strontium, iodin
Nutrien	Berkelakuan serupa nutrien biologi seperti nitrogen, fosforus dan silikon. Penyebaran radionuklid ini dipengaruhi oleh proses biologi dan ianya diambil oleh organisma dan menunjukkan profil menegak yang serupa dengan nutrien.	polonium, berilium, plutonium
Garut (Scavenged)	Dikeluarkan dengan cepat daripada turus air dengan penjerapan pada zarah yang tenggelam. Radionuklid ini mempunyai tempoh masa keberadaan yang singkat di dalam air laut, menunjukkan kepekatan yang semakin berkurangan dengan kedalaman dan kebiasaannya digunakan sebagai pengesan untuk fluks zarah.	torium, plumbum, iodin
Kawalan Redoks	Sensitif kepada keadaan pengurangan pengoksidaan dalam persekitaran marin. Tingkah laku mereka boleh berubah secara mendadak bergantung pada keadaan redoks. Radionuklid ini boleh mengubah keadaan pengoksidaan dan beralih antara fasa terlarut dan zarah.	iodin, uranium, plutonium



Pengambilan air laut



Pengambilan sedimen laut



Pengambilan ikan



Tahap latar belakang keradioaktifan semasa di kebanyakan kawasan lautan dianggap masih berisiko rendah bagi hidupan marin dan manusia. Manakala untuk kawasan yang mempunyai kepekatan yang lebih tinggi, seperti berhampiran tapak kemalangan, boleh menimbulkan risiko yang ketara kepada organisma marin, yang berpotensi menyebabkan kerosakan genetik, merendahkan kejayaan pembiakan dan meningkatkan kematian. Kesan keradioaktifan marin ke atas ekosistem dan kesihatan manusia bergantung kepada faktor kepekatan radionuklid, jenis radionuklid, dan laluan pendedahan. Laluan utama untuk pendedahan kepada manusia adalah melalui pengambilan makanan laut. Walaupun kebanyakan makanan laut masih selamat, spesies tertentu dari kawasan tercemar mungkin berpotensi untuk mengumpul tahap radionuklid yang lebih tinggi dan berisiko kepada manusia.

Pemantauan Keradioaktifan Marin di Malaysia



Pemantauan keradioaktifan marin dijalankan untuk menilai risiko alam sekitar dan memastikan keselamatan ekosistem marin serta populasi manusia terjaga. Program pemantauan melibatkan pengumpulan dan analisis sampel air laut, sedimen, biota dan mengukur tahap kepekatan isotop radioaktif. Data analisis tersebut digunakan untuk mengesan pengedaran dan tingkah laku bahan radioaktif dalam persekitaran marin, menilai potensi risiko kepada kesihatan manusia, dan membantu pihak berkuasa dalam membuat keputusan kawal selia. Di Malaysia, usaha pemantauan keradioaktifan marin adalah sebahagian daripada komitmen negara terhadap keselamatan dan kelestarian alam sekitar. Makmal Radiokimia dan Alam Sekitar (RAS), Bahagian Teknologi Sisa dan Alam Sekitar di Agensi Nuklear Malaysia telah diwartakan sebagai makmal ujian keradioaktifan dalam Akta Makanan 1983. Makmal ini dilengkapi dengan sumber manusia yang mahir dan peralatan canggih untuk menjalankan analisis seperti spektrometri gama, spektrometri alfa, pembilang alfa beta, dan pembilang sintilasi cecair yang digunakan untuk mengukur kepekatan radionuklid dalam sampel air laut, sedimen, dan biota marin.



Penyediaan sampel di makmal

Kapasiti dan keupayaan yang ada telah memainkan peranan penting dalam usaha pemantauan dan kajian kesan sinaran terhadap persekitaran marin secara serantau dan global, dalam memastikan keselamatan ekosistem marin dan kesihatan awam terjaga. Melalui pemantauan yang berterusan dan analisis yang tepat, sebarang peningkatan dalam tahap keradioaktifan dapat dikesan awal, membolehkan tindakan pemulihan diambil dengan segera. Malaysia turut membantu agensi antarabangsa seperti Agensi Tenaga Atom Antarabangsa (IAEA) mengumpul serta berkongsi data mengenai kepekatan radionuklid dalam air laut, sedimen, dan organisma marin serta menyumbang di peringkat antarabangsa kepada Pangkalan Data Radioaktiviti Marin Global (MARIS).

Sebagai kesimpulan, keradioaktifan marin ialah satu bidang kajian yang panjang dan sentiasa berkembang. Walaupun sumber semula jadi menyumbang dengan ketara kepada tahap latar belakang dalam persekitaran marin, input antropogenik juga telah mengubah landskap radioaktif lautan kita. Penggunaan tenaga nuklear yang terus berkembang mendorong supaya pengurusan keradioaktifan marin akan terus dijalankan. Penyelidikan dan pemantauan yang berterusan adalah penting untuk memahami implikasi jangka panjang keradioaktifan marin dan membolehkan dasar yang lebih berkesan diperkenalkan bagi melindungi ekosistem marin dan kesihatan manusia. Memandangkan komuniti global terus bergantung pada lautan untuk makanan, tenaga dan sumber, adalah penting mengekalkan pendekatan yang seimbang terhadap keradioaktifan marin untuk pengurusan lautan yang mapan.



Pengenalanpastian Sumber Tanah atau Sedimen di Kawasan Tadahan

Oleh : Jalal Sharib @ Sarip

Agensi Tenaga Atom Antarabangsa (IAEA) telah memperkenalkan teknik mengenalpastian sumber sedimen menggunakan teknik isotop stabil sebatian khusus atau *compound specific stable isotope (CSSI)*. Sedimen datangnya daripada tanah di kawasan aliran air atau daripada saluran, tebing sungai dan persisiran pantai. Pembentukan sedimen berlaku secara semula jadi seperti tanah runtuh, mendapan glasier dan pergerakan, seperti abu gunung berapi. Sumber sedimen bergerak terus ke sungai hingga menyebabkan dasar sungai terkambus, eutrofikasi perairan, kesan merbahaya sedimen terhadap biota dan kemusnahan infrastruktur sungai. *The United States Environmental Protection Agency (USEPA)* telah mengenal pasti sedimen antara 10 punca utama kerosakan biologi dalam ekosistem air tawar. Tambahan lagi, pencemaran sedimen adalah satu daripada tekanan yang paling relevan kepada badan air yang menghalang matlamat arahan rangka kerja air tahun 2015 di Eropah.

Pemulihan sungai, tasik atau kawasan tadahan menjadi efisien setelah sumbangan sedimen daripada sumber asal dan kaitannya terhadap penggunaan tanah yang berbeza ditangani. Dua pendekatan iaitu teknik geokimia yang berasaskan data komposisi unsur dan cap jari (*fingerprinting*) isotop. Walau bagaimanapun, kedua-dua pendekatan tersebut begitu terhad kepada tetapan tadahan tertentu yang berdasarkan kepada dua faktor iaitu:

1. Pembentukan geologi yang dibezakan dengan baik (sekurang-kurangnya dua) dan/atau
2. Anjakan temporal yang ketara daripada C3 ke C4 tumbuh-tumbuhan.

Justeru itu, penggunaan teknik isotop stabil khusus sebatian (CSSI) yang bertindak sebagai penandabio (*biomarker*) terhadap organik tanah dapat membezakan sumber asal tanah daripada penggunaan tanah yang berbeza, dan pengetahuan yang diperoleh daripada CSSI ini seterusnya boleh mengukuhkan keberkesanan langkah pemuliharaan tanah.

Sedimen teras dan permukaan yang diambil akan dicampurkan dalam baldi menggunakan alatan tangan pengikis logam (Rajah 1). Sampel hendaklah dicampur dengan baik supaya dapat mewakili tapak kajian. Selepas campuran, rawatan lanjut dilakukan seperti dikeringkan dalam ketuhar pada suhu 45 - 60 °C sehingga berat kering tetap, dikisar halus dan diayak sebelum di analisis untuk ¹³C. Prosedur penyediaan analisis ¹³C asid lemak dan terbitan asid lemak kepada asid lemak metil ester (*FAMES*) bagi memastikan hasil kajian analisis ¹³C diperolehi.

Persediaan untuk Analisis ¹³C Asid Lemak

Pelarut yang digunakan dalam prosedur ini adalah Diklorometana (DCM) dengan ketulenan yang sangat tinggi. Manakala, alat Kromatografi Cecair Berprestasi Tinggi (HPLC) atau penyulingan berganda dan sel Pengekstrak Pelarut Dipercepat (ASE) mesti terlebih dahulu dibersihkan bagi memastikan ia tidak mengganggu keputusan analisis kemudian. Kebiasaannya, pengekstrakan penggoncangan mengambil masa 24 jam jika dibandingkan hanya 6 - 8 jam dengan menggunakan ultrasonik. Selepas itu, sampel direndam terlebih dahulu dalam 100 ml DCM dan kemudian ditapis untuk proses pembuangan tanah. Pelarut ini kemudian disejat kepada kekeringan sepenuhnya dengan menggunakan alat Penyejat Buchi.

Terbitan Asid Lemak kepada Asid Lemak Metil Ester (FAMES)

Ekstrak kering dilarutkan dengan 2 ml DCM dan dipindah ke dalam tiub vial tindakbalas berskru 10 ml dengan pipet Pasteur bersih. Larutan 5% *Boron trifluorida* (BF_3) dalam metanol sebanyak 2 ml ditambah dan tiub diskru dengan ketat sebelum dimasukkan ke dalam ketuhar pada suhu 70°C selama 20 minit. Selepas itu, 2 ml campuran heksana/DCM (4:1) ditambah dan larutan diadunkan pada pengadun Vortex selama 2 minit. Seterusnya, tiub diletakkan di atas blok pemanas aluminium pada 40°C dengan aliran perlahan gas nitrogen kering melalui jarum ke dalam permukaan pelarut bagi mengurangkan heksana. Ianya kemudiannya akan dibawa ke makmal analisis bagi mengukur kandungan ^{13}C FAMES.

Analisis Isotop Stabil Khusus Sebatian (CSIA)

Kumpulan metil (CH_3) ditambah kepada asid lemak untuk menghasilkan FAME yang akan mempunyai nilai isotop berbeza daripada asid lemak dengan memperbetulkan terlebih dahulu terhadap pencirian (*signature*) isotop FAMES. Pembetulan ini adalah untuk penambahan kumpulan metil tunggal, namun ia mesti dilakukan bagi setiap asid lemak dalam setiap sampel. Ini boleh dilakukan dengan cepat dalam hamparan menggunakan persamaan mudah:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}} = \frac{\delta^{13}\text{C}_{\text{FAME}} - (1 - X)\delta^{13}\text{C}_{\text{Methanol}}}{X}$$

FA dan X adalah merupakan asid lemak dan sumbangan pecahan asid Lemak (FA) kepada FAME. Ini boleh dikira daripada jumlah bilangan karbon dalam molekul FA dibahagikan dengan bilangan atom karbon dalam FAME yang diperolehi daripada FA. Contohnya, asid Stearik FA ($\text{C}_{18:0}$) menghasilkan FAME, *Methyl Stearate*, yang mempunyai satu karbon tambahan (19 atom karbon) dan dengan itu nilai X ialah $18/19$ atau 0.9474.

Analisis isotop sebatian khusus (CSIA) adalah dengan melibatkan pengukuran nisbah isotop karbon, ^{13}C dan/atau hidrogen, ^2H bagi sebatian yang menarik daripada punca tanah dan punca sedimen terampai daripada sungai atau tasik (sebagai campuran) dengan menggunakan model campuran IsoSource (*IsoSource Mixing Model*).



Alatan tangan pengikis logam untuk persampelan

Model campuran IsoSource

Perisian ini digunakan untuk mengenal pasti sumbangan sumber tanah dan sedimen yang berbeza kepada campuran. Justeru itu, pengguna dikehendaki memasukkan nilai isotop sumber/campuran, kenaikan sumber, dan toleransi keseimbangan jisim (Rajah 2). Setelah selesai, IsoSource dapat menjana fail output yang terdiri daripada semua kombinasi sumber dan statistik deskriptif setiap pengedaran sumber untuk analisis. Pemprosesan data untuk CSSI dengan menggunakan model pencampuran multivariat ini bagi menghasilkan dan mengenal pasti punca sedimen tadahan asal (purata, min, maks, persentil dan sisihan piawai) diterangkan secara deskriptif. Pendekatan statistik ini termasuk bilangan penyelesaian, purata kenaikan histogram dalam julat antara 0.0 dan 1.0 untuk setiap sumber. Manakala, nilai sisihan piawai tentang purata, minimum dan maksimum adalah sebanyak 1 peratus, 50 persentil dan 99 persentil. Sebaliknya, perisian membandingkan data CSSI daripada sumber sedimen dengan sedimen (bercampur) untuk mencari sumber sedimen adalah perlu untuk mencirikan sumber sedimen berpotensi dalam kawasan tadahan. Ianya boleh dibandingkan dengan sumber berpotensi menggunakan satu set sifat isotop stabil,¹³C yang boleh diukur dalam kedua-duanya.

File Calc Print Data View Graph Exit About Help

Title:

Increment: %

Tolerance:

ISOTOPES	
	87Sr/86Sr
Mixtures	0.7080
SOURCES	
basalt	0.7034
sea-salt	0.7092
dust	0.7180

IsoSource Mixing Model

Kesimpulannya, kaedah CSSI merupakan teknik yang sangat berguna dan sesuai untuk diaplikasikan dalam menentukan sumber atau punca sumbangan sedimen dari kawasan yang terdedah kepada hakisan terutamanya di kawasan yang mempunyai aktiviti pertanian yang tinggi ke kawasan tadahan. Oleh yang demikian, pengetahuan tentang interaksi pemacu geomorfologi di kawasan tadahan berhubung dengan hakisan tanah dan degradasi tanah telah dibangunkan oleh banyak kajian di seluruh dunia dan seterusnya boleh digunakan sebagai rujukan semasa dan akan datang.

Bahan Radioaktif SEMULA JADI (NORM)

Oleh : Mohd Izwan Abdul Adziz





Semua mineral dan bahan mentah mengandung radionuklid semula jadi. Radionuklid yang paling penting dari segi perlindungan sinaran adalah yang terdapat dalam siri peluruhan uranium-238 (^{238}U) dan torium-232 (^{232}Th). Dalam kebanyakan aktiviti manusia yang melibatkan penggunaan mineral dan bahan mentah ini, tahap pendedahan kepada radionuklid tersebut adalah tidak jauh berbeza daripada tahap latar belakang biasa, yang tidak menimbulkan kebimbangan yang serius dari segi keselamatan sinaran. Walau bagaimanapun, terdapat aktiviti manusia tertentu yang boleh meningkatkan pendedahan kepada radionuklid secara ketara. Ini termasuk proses-proses industri tertentu seperti pengekstrakan mineral, pengolahan logam, dan penghasilan bahan binaan.

Pendedahan yang tinggi kepada radionuklid ini memerlukan pemantauan yang teliti serta kawalan yang ketat mengikut peraturan dan undang-undang yang telah ditetapkan. Bahan yang menyebabkan peningkatan pendedahan kepada radionuklid semula jadi ini dikenali sebagai Bahan Radioaktif Semula jadi (*Naturally Occurring Radioactive Material*, NORM). Pengetahuan mengenai ini penting kepada masyarakat umum supaya langkah-langkah keselamatan dan perlindungan sinaran boleh diambil dengan sewajarnya oleh setiap individu. Ini termasuk pemantauan maklumat aktiviti, pelaksanaan peraturan ketat, dan pendidikan kepada masyarakat mengenai cara-cara untuk mengurangkan pendedahan kepada radionuklid semula jadi dalam kehidupan seharian lebih berkesan. NORM merujuk kepada bahan radioaktif semula jadi yang kepekatan radionuklidnya meningkat disebabkan oleh aktiviti manusia.

Unsur-unsur radioaktif berumur panjang seperti uranium, torium, dan kalium serta hasil pereputannya, seperti radium dan radon, adalah contoh NORM. Unsur berkenaan sentiasa ada dalam kerak bumi, atmosfera, dan tertumpu di kawasan perlombongan bijih uranium. Istilah NORM digunakan untuk membezakan 'bahan radioaktif semula jadi' daripada sumber radioaktif yang dihasilkan oleh aktiviti manusia (*anthropogenic*), seperti contoh yang dihasilkan dalam loji janakuasa nuklear dan mesin siklotron.

Sumber-sumber NORM

Sumber-sumber NORM boleh diklasifikasikan kepada dua kategori iaitu daratan (terrestrial) dan kosmogenik. Sumber kategori daratan terdiri daripada bahan radioaktif yang terbentuk di dalam kerak dan mantel bumi. Pendedahan kepada bahan ini boleh meningkat disebabkan oleh aktiviti manusia. Bahan-bahan ini mungkin terdiri daripada unsur-unsur semula jadi seperti uranium dan torium, atau hasil pereputannya, yang membentuk sebahagian daripada siri rantai pereputan seperti kalium-40 (^{40}K). Dua siri rantai pereputan yang menyumbang kepada nuklid dalam NORM ialah siri torium dan siri uranium.

NORM kosmogenik terbentuk melalui interaksi nuklear antara beberapa gas dalam atmosfera bumi dengan sinaran kosmik. Kebanyakan sinaran kosmik diarahkan oleh medan magnet bumi atau diserap oleh atmosfera, menyebabkan hanya sedikit yang sampai ke permukaan bumi. Radionuklid kosmogenik menyumbang lebih banyak kepada dos sinaran pada latitud yang rendah berbanding dengan sinar kosmik itu sendiri. Di latitud yang lebih tinggi, dos sinaran daripada kedua-dua sumber meningkat, yang bermakna penduduk di kawasan berbukit dan penumpang penerbangan mengalami banyak dedahan berbanding dengan orang lain.

Kebiasaannya, NORM kosmogenik memberikan sumbangan dos sinaran yang sedikit – mungkin hanya beberapa puluh mikrosievert setahun. Sebaliknya, NORM daratan – terutamanya radon – menyumbang kepada sebahagian besar dos sinaran semula jadi, biasanya melebihi 1000 mikrosievert (1 mSv) setahun.

Jadual 1: Ciri-ciri radiologi NORM kosmogenik

Nuklid	Mod Pereputan	Sepuluh hayat
C-14	β -	5700 tahun
H-3 (Tritium)	β -	12.32 tahun
Na-22	β + dan elektron	2.6 tahun
Be-7	elektron	53.22 hari

Bagaimana Radionuklid Disebar?

NORM yang berbentuk molekul udara bergerak/berpindah melalui persekitaran dan boleh masuk ke dalam badan hidupan melalui banyak kaedah laluan yang berbeza. Memahami kaedah laluan tersebut membolehkan kita mengambil tindakan untuk mengelakkan pendedahan kepada sinaran. Justeru, meminimumkan pendedahan kepada sinaran tambahan hasil daripada aktiviti manusia.

Laluan Pergerakan Radionuklid:

1. Melalui Udara: Molekul udara radionuklid boleh dibawa oleh angin dan tersebar ke kawasan atmosfera.
2. Dalam Air: Radionuklid boleh bergerak melalui air tanah dan air permukaan, masuk ke dalam sistem bekalan air.
3. Melalui Rantai Makanan: Radionuklid boleh diserap oleh tumbuh-tumbuhan, dimakan oleh haiwan, dan seterusnya masuk ke dalam tubuh manusia melalui daging haiwan yang dimakan.

Cara Radionuklid Memasuki Tubuh Manusia:

1. Makan atau Minum: Mengambil makanan atau minuman yang mengandungi radionuklid.
2. Penyedutan: Menghirup udara yang mengandungi zarah radioaktif.
3. Penyerapan Melalui Kulit: Dalam keadaan tertentu, radionuklid boleh memasuki badan melalui kulit.



Aktiviti persampelan yang dilaksanakan oleh Kumpulan Radio dan Alam Sekitar (RAS), Bahagian Teknologi Sisa dan Alam Sekitar

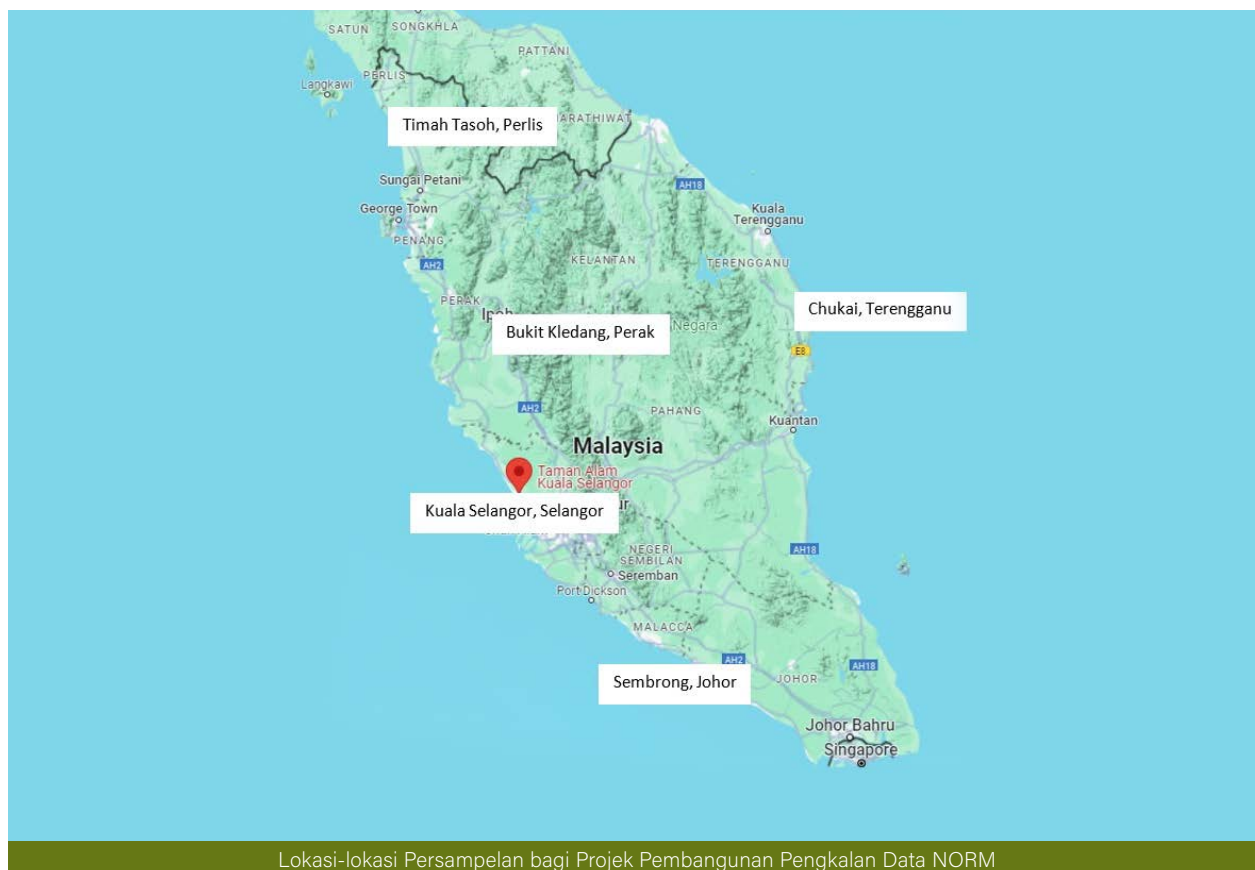


Mengapa Ini Penting? Dengan memahami bagaimana radionuklid bergerak melalui persekitaran dan memasuki tubuh kita, kita dapat mengambil langkah-langkah untuk melindungi diri kita. Langkah-langkah seperti pemantauan berterusan, pelaksanaan peraturan keselamatan, dan penyebaran maklumat kepada orang ramai mengenai cara-cara untuk mengurangkan pendedahan kepada sinaran. Dengan ini, kita dapat memastikan pendedahan kepada sinaran dapat diminimumkan.

Kajian yang Sedang Dijalankan Berkaitan NORM

Pembangunan pengkalan data NORM yang melibatkan persekitaran daratan, beberapa projek penyelidikan telah dan sedang dilaksanakan bermula sejak tahun 2015 meliputi kawasan tadahan air, kawasan pertanian dan peladangan, kawasan paya bakau, kawasan taman alam (*nature park*), kawasan aliran sungai dan kawasan bandar serta kawasan pendalaman. Lokasi projek penyelidikan berkaitan NORM ini adalah di sekitar Empangan Timah Tasoh di Perlis (2015-2018), di kawasan sekitar Fasiliti Repositori di Bukit Kledang, di Perak (2015-2017), di kawasan sekitar Empangan Sembrong, di Johor (2019-2021), di kawasan sekitar Taman Alam Kuala Selangor (KSNP) (2022-2024) dan di sekitar kawasan Perindustrian Chukai, di Terengganu (2025-2027) (Rajah 1). Kesemua lokasi-lokasi stesen penyelidikan ini mewakili zon-zon di utara, tengah, selatan, pantai barat dan pantai timur Semenanjung Malaysia.

Sebanyak 70 buah stesen persampelan yang telah ditentukan dan aktiviti persampelan telah dilaksanakan dalam beberapa fasa mewakili musim kering (*dry season*) dan musim basah (*wet season*). Kesemua sampel telah dianalisis dengan menggunakan kemudahan Sistem Pembilang Spektrometri Gama yang dilengkapi dengan pengesan Germanium Ketulenan Tinggi (HPGe detector). Radionuklid yang dianalisis adalah ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K . Data-data yang diperolehi juga digunakan untuk membuat penilaian dan menentukan indeks bahaya sinaran (*Radiation Hazard Index*) (kadar dos diserap, setara radium, indeks bahaya luaran, dan dos efektif tahunan) di kawasan kajian. Selain itu, data yang diperolehi akan digunakan untuk menghasilkan pemetaan NORM di kawasan kajian menggunakan perisian Sistem Maklumat Geografi (*Geographic Information System (GIS)*). Pemetaan ini penting kerana ia membantu mengenal pasti kawasan-kawasan yang mungkin terdedah kepada tahap sinaran yang lebih tinggi daripada biasa. Langkah-langkah keselamatan dan kesihatan boleh diambil untuk risiko sinaran terhadap orang ramai. Ini termasuk pemantauan berterusan, pelaksanaan peraturan keselamatan, dan penyediaan maklumat kepada orang awam mengenai cara-cara untuk mengurangkan pendedahan kepada sinaran.



Lokasi-lokasi Persampelan bagi Projek Pembangunan Pengkalan Data NORM

Pengurusan data ialah satu konsep bersepadu dan menyeluruh dalam pengumpulan rekod data, fail, laporan, persembahan pembentangan, perincian dan hasil analisis. Pengurusan data adalah perlu untuk mengemaskini maklumat kajian dalam memastikan kesinambungan data yang diperolehi. Pengurusan data yang strategik dirangka dan disusun khas untuk digunakan oleh organisasi atau individu dalam kebolehcapaian maklumat secara lebih berkesan. Sistem pengurusan data yang dibangunkan ini merupakan pakej perisian dengan atur cara komputer yang mengawal penciptaan, penyelenggaraan dan penggunaan pangkalan data. Dalam pembangunan pengurusan data melalui laman web, data pemantauan keradioaktif dan penilaian pencemaran alam sekitar adalah digunakan sebagai perintis.

Modul pemantauan radioaktif adalah alat yang digunakan oleh penyelidik untuk menguruskan data unsur-unsur radioaktif yang terdapat dalam air atau tanah. Kaedah pemantauan ini dipersembahkan dalam bentuk graf atau statistik. Manakala, modul penilaian pencemaran alam sekitar merupakan alat yang digunakan oleh penyelidik untuk menilai pencemaran alam sekitar yang berlaku di Malaysia. Penilaian ini berdasarkan data unsur dan logam berat yang dijadikan sebagai data utama, dipaparkan secara teratur dan kemas. Modul-modul ini bukan sahaja membantu dalam pengurusan data yang lebih baik, tetapi juga menyediakan asas yang kukuh untuk membuat keputusan berasaskan data dalam usaha melindungi dan memelihara alam sekitar di Malaysia.

Metodologi Air Terjun: Strategi dan Pendekatan

Metodologi Air Terjun adalah strategi dan pendekatan yang digunakan dalam pembangunan sistem pengurusan data berasaskan laman web. Rajah 1 memaparkan empat fasa yang terlibat dalam pembangunan sistem ini, iaitu Kajian dan Analisa, Reka bentuk, Pembangunan, dan Pengujian. Keempat-empat fasa ini berhubung kait rapat antara satu sama lain secara berterusan.

1. Kajian dan Analisa: Fasa ini melibatkan pengumpulan keperluan dan spesifikasi sistem. Penyelidik dan pemaju sistem perlu memahami keperluan pengguna dan menganalisa data yang sedia ada untuk memastikan keperluan tersebut dipenuhi.
2. Reka bentuk: Dalam fasa ini, struktur dan reka bentuk sistem dibangunkan berdasarkan keperluan yang dikumpulkan. Reka bentuk ini termasuk penentuan seni bina sistem, pangkalan data, dan antara muka pengguna.
3. Pembangunan: Fasa ini melibatkan penulisan kod dan pembangunan perisian berdasarkan reka bentuk yang telah dibuat. Pemaju sistem akan membina komponen-komponen sistem dan mengintegrasikannya menjadi satu sistem yang berfungsi.
4. Pengujian: Setelah pembangunan selesai, sistem akan diuji untuk memastikan ia berfungsi dengan baik dan memenuhi keperluan yang telah ditetapkan. Pengujian melibatkan pengecaman bug, kesilapan, dan penambahbaikan sebelum sistem dilancarkan.

Te
Penila



Teknik Analisis Nuklear (NAT) dalam Pencemaran Alam Sekitar

Oleh : Mohd Faizun Khalid & Lakam Anak Mejus, PhD



Kajian & Analisa



Reka Bentuk



Pembangunan



Pengujian

Metodologi Air Terjun (*Waterfall Methodology*)

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'phpmyadmin'. The 'Structure' tab is selected, displaying the table structure for 'users'. The table has 11 columns: 'id' (primary key, integer, unsigned, auto-increment), 'email' (varchar(255), utf8mb4_general_ci), 'username' (varchar(255), utf8mb4_general_ci), 'status' (varchar(255), utf8mb4_general_ci), 'email_confirmed' (boolean, unsigned, zero), 'email_verification_code' (varchar(255), utf8mb4_general_ci), 'name' (varchar(255), utf8mb4_general_ci), 'last_name' (varchar(255), utf8mb4_general_ci), 'first_name' (varchar(255), utf8mb4_general_ci), 'last_login' (datetime, utf8mb4_general_ci), and 'created_at' (datetime, utf8mb4_general_ci). The interface includes a sidebar with navigation options like Home, Recent, Favorites, and a top navigation bar with tabs for Structure, SQL, Search, Insert, Export, Import, Privileges, and Operations.

XAMPP Control Panel v3.2.4 [Compiled: Jun 5th 2019]

XAMPP Control Panel v3.2.4

Modules

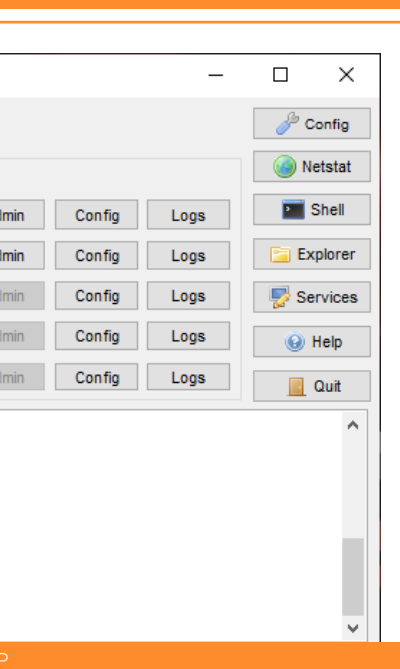
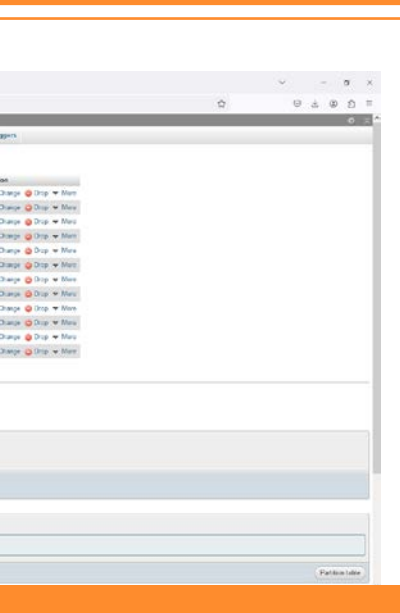
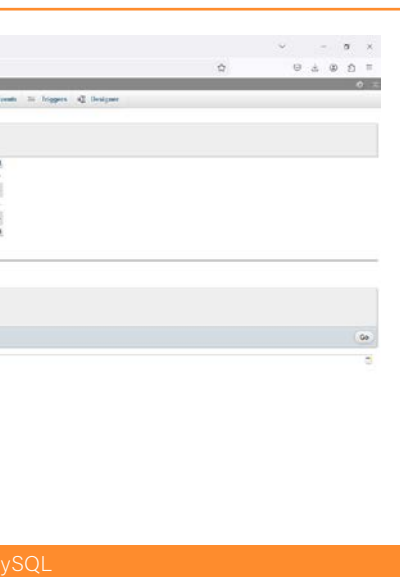
Service	Module	PID(s)	Port(s)	Actions
	Apache	1624 15892	80, 443	
	MySQL	10908	3306	
	FileZilla			
	Mercury			
	Tomcat			

3:33:30 PM [mysql] Attempting to start MySQL app...
 3:33:31 PM [mysql] Status change detected: running
 3:33:33 PM [Apache] Attempting to start Apache app...
 3:33:33 PM [Apache] Status change detected: running
 3:46:06 PM [mysql] Attempting to stop MySQL app...
 3:46:06 PM [mysql] Status change detected: stopped
 3:46:07 PM [mysql] Attempting to start MySQL app...
 3:46:07 PM [mysql] Status change detected: running

Panel Kawalan XAMPP

Panel Kawalan XAMPP

Modul pemantauan keradioaktifan adalah modul yang menggunakan data unsur radioaktif yang wujud



sumada di dalam air atau tanah. Modul ini berperan dalam mengumpulkan, menganalisis, dan memantau kehadiran unsur radioaktif untuk tujuan pemantauan kesehatan alam sekitar.

Modul penilaian pencemaran alam adalah modul yang menggunakan data unsur dan logam berat sebagai data utama untuk dipersembahkan secara sistematis dan memudahkan pemahaman pengguna. Modul ini membantu dalam menilai tahap pencemaran alam sekitar berdasarkan analisis data yang terkumpul, memberikan informasi yang diperlukan untuk pengambilan keputusan dalam menjaga kelestarian alam sekitar. Kedua modul ini berperan penting dalam memastikan pemantauan dan penilaian terhadap keadaan alam sekitar dapat dilakukan dengan efektif dan efisien.

Pengujian Modul Secara Unit dan Integrasi

Fasa yang terakhir ini akan menerangkan tentang dua jenis pengujian modul yang akan dijalankan, iaitu pengujian secara unit dan integrasi. Pengujian secara unit (*Unit Testing*) adalah proses pengujian terhadap modul secara individu untuk memastikan setiap fungsi dan komponen dalam modul berfungsi dengan betul dan mengikut spesifikasi yang ditetapkan.

Pengujian secara integrasi, sebaliknya, adalah proses pengujian yang dilakukan untuk menguji interaksi antara modul-modul yang berbeza. Pengujian ini bertujuan memeriksa keseluruhan sistem atau komponen yang lebih besar untuk memastikan semua modul berinteraksi dengan baik dan menghasilkan keluaran yang diharapkan.

Sebagai kesimpulannya, strategi dan pendekatan terbaik dalam menguruskan data daripada teknik analisis nuklear (NAT) untuk memantau tahap radioaktif dan menilai impak pencemaran alam sekitar telah dikaji. Keperluan untuk pendekatan yang terstruktur dan menyeluruh adalah sangat penting untuk memastikan data yang diperoleh tidak hanya relevan dan tepat, tetapi juga memberikan sumbangan yang besar dalam menjaga kelestarian alam sekitar dengan lebih efektif. Selain itu, pengurusan data yang efisien dan berkesan merupakan asas penting dalam mengekalkan kesinambungan dan ketepatan maklumat. Sistem pengurusan data yang terstruktur, termasuk modul pemantauan keradioaktifan dan modul penilaian pencemaran alam, dibangunkan untuk memudahkan pengumpulan, analisis, dan pelaporan data secara tepat waktu dan konsisten. Dengan melaksanakan strategi ini, diharapkan usaha dalam pemantauan dan penilaian pencemaran alam sekitar dapat dipertingkatkan, memberikan sumbangan yang signifikan dalam menjaga kelestarian alam sekitar untuk generasi akan datang.

PENGURUSAN SUMBER AIR NEGARA : TEKNIK ANALISIS NUKLEAR VS KONVENSIONAL

Oleh : Mohamad Muzamil Mohd Hashim & Mohamad Syahiran Mustaffa

Malaysia sedang menghadapi pelbagai cabaran dalam pengurusan sumber air akibat peningkatan populasi, urbanisasi, perubahan iklim, dan pencemaran. Antara cabaran utama berlakunya kekurangan sumber air bersih dan cabaran kualiti air yang berterusan. Untuk mengatasi masalah ini, pendekatan inovatif dan bersepadu diperlukan. Artikel ini meneroka penggunaan gabungan teknik analisis nuklear dan konvensional untuk meningkatkan pemahaman tentang sistem air tanah, menilai risiko pencemaran, dan mengoptimumkan penggunaan sumber air serta sekaligus memperkuat pengurusan sumber air negara. Kumpulan Aplikasi Penyurih Alam Sekitar (E-TAG) di bawah naungan Bahagian Teknologi Sisa dan Alam Sekitar (BAS) bergiat aktif menjalankan kajian hidrologi dan pengurusan sumber air di Malaysia. Kumpulan ini juga mempunyai peralatan saintifik dan kemudahan utama untuk mengukur dan menganalisa sampel yang di ambil di lapangan.

Teknik Isotop Hidrologi

Teknik analisis nuklear (NAT) seperti isotop hidrologi, digunakan untuk menjejaki sumber air, menentukan umur air, dan memahami interaksi antara air permukaan dan air tanah. Dalam kajian isotop hidrologi, isotop yang digunakan adalah isotop stabil dan isotop bersifat radioaktif. Isotop stabil seperti deuterium (^2H), oksigen-18 (^{18}O), sulphur-35 (^{35}S), nitrogen-15 (^{15}N) dan karbon-13 (^{13}C) digunakan dalam kajian hidrologi dan pengurusan sumber. Teknik ini juga berguna dalam memahami proses pengisian semula akuifer, interaksi antara air permukaan dan air bawah tanah, serta mengenal pasti sumber pencemaran.

Tritium (^3H) adalah isotop radioaktif dengan separuh hayat sekitar 12.3 tahun. Ia digunakan untuk menjejaki masa perjalanan air dalam sistem hidrologi. Tritium digunakan untuk menentukan umur air bawah tanah yang berumur kurang daripada 50 tahun. Ini penting untuk memahami proses pengisian semula akuifer dan dinamik sistem air bawah tanah. Karbon-14 (^{14}C) adalah isotop radioaktif dengan separuh hayat sekitar 5,730 tahun. Ia digunakan untuk menentukan umur air bawah tanah yang berumur ribuan hingga puluhan ribu tahun.

Teknologi ini juga boleh digunakan untuk memantau dan menguruskan kualiti air dengan lebih tepat dan teliti. Bahagian Teknologi Sisa dan Alam Sekitar mempunyai kepakaran dan peralatan untuk mengukur isotop stabil dan radioaktif ini. Peralatan yang digunakan adalah *Liquid Water Isotop Analyzer (LWIA)*, *CO₂ Absorption Method* dan *Benzene Synthesis, Tritium Enrichment System (TES)* dan *Liquid Scintillation Counter (LSC)*.

Teknik Penyurih Sekitaran

Penyurih radioaktif buatan melibatkan penggunaan bahan radioaktif yang dimasukkan ke dalam sistem air. Teknik ini dapat membantu dalam kajian pengukuran halaju air, kadar luahan, menjejak laluan aliran, kadar pengisian semula, dan pencemaran air. Teknik ini memberikan data yang tepat mengenai pergerakan air dalam sistem hidrologi, membolehkan pengurusan yang lebih baik terhadap sumber air. Dengan adanya sistem pengesan radioaktif di lapangan, bahagian ini berkemampuan untuk menjalankan kajian melibatkan penggunaan bahan radioaktif untuk teknik penyurih sekitar ini.





Liquid Water Isotop Analyzer



Sistem Peng

Teknik Konvensional

Dalam kajian pengurusan sumber air di Malaysia, kaedah geofizik (Teknik keberintangan geo-elektrik) merupakan satu teknik konvensional yang penting. Teknik geoelektrik adalah teknik yang non-intrusif. Teknik ini tidak memerlukan penggerudian atau pengambilan sampel tanah secara langsung. Ini menjadikannya kaedah yang tidak merosakkan alam sekitar dan meminimumkan gangguan kepada persekitaran. Pengurusan sumber air dapat diperbaiki dengan menggunakan data dari teknik geoelektrik melalui beberapa cara seperti pemetaan struktur bawah tanah, penentuan kawasan potensi air tanah dan kedalaman akuifer, kawalan kualiti air tanah dan pemantauan sebarang perubahan yang berlaku di dalam akuifer.

Pemetaan struktur bawah tanah dilakukan dengan mengukur keberintangan bahan di bawah permukaan tanah untuk memahami struktur bawah permukaan tanah, termasuk lapisan batuan, retakan, dan zon-zon air tanah. Maklumat daripada pengukuran nilai keberintangan ini dapat digunakan untuk mengenalpasti kawasan potensi air tanah dan menentukan kedalaman sesebuah akuifer. Maklumat ini sangat penting untuk perancangan pengestrakan sumber air tanah secara mampan.

Teknik ini juga digunakan untuk mengesan pencemaran air tanah. Perubahan di dalam kualiti air tanah dapat dikenalpasti dengan mengukur keberintangan bahan di bawah permukaan. Data daripada pengukuran ini dapat membantu pihak pengurusan sumber air untuk mengambil tindakan sewajarnya untuk melindungi dan memulihkan kualiti air tanah.

Di samping itu, survei geo-elektrik boleh dilakukan dengan berulang untuk memantau sebarang perubahan yang berlaku pada kedalaman akuifer, struktur bawah tanah, dan kualiti air tanah. Secara tidak langsung, teknik ini membolehkan pihak pengurusan sumber air mengambil tindakan proaktif untuk mengoptimumkan penggunaan sumber air.



Co2 Absor



Tritium Enri



Analisis Radioaktif

Gabungan teknik analisis nuklear dan konvensional menawarkan pendekatan yang inovatif dan berkesan dalam pengurusan sumber air di Malaysia. Dengan mengintegrasikan data isotop dengan data konvensional, pengurusan sumber air dapat difahami dengan lebih baik secara dinamik mengenai sistem hidrologi. Ini termasuk mengenal pasti sumber dan laluan pencemaran, menilai keberkesanan langkah-langkah pemulihan, dan membuat ramalan yang lebih tepat mengenai ketersediaan air masa depan memastikan bekalan air yang mencukupi dan berkualiti untuk generasi akan datang.



Absorption Method



Liquid Scintillation Counter



Measurement System



Electrical Resistivity Tomography

Mengesan Pencemo di Bandaraya Kuala dengan Teknologi Nukle

Oleh : Md Suhaimi Elias, PhD

Kawasan Lembah Klang khususnya Kuala Lumpur, mempunyai kepadatan penduduk yang tinggi dan tumpuan kepada aktiviti perindustrian serta sosioekonomi negara. Oleh yang demikian, kualiti udara menjadi salah satu isu yang menjadi kebimbangan dan menarik perhatian penduduknya.

Dalam kajian untuk menentukan kualiti udara sesuatu kawasan, zarah udara (APM) bersaiz PM_{10} dan $PM_{2.5}$ menjadi perhatian kerana ia boleh memberi kesan yang ketara dan terus kepada kesihatan manusia. Keupayaan zarah udara bersaiz $PM_{2.5}$ dan yang lebih halus dapat memasuki paru-paru secara terus dan ini akan memberikan kesan secara langsung kepada kesihatan manusia, termasuk peningkatan penyakit asma, penyakit berkaitan paru-paru dan sebagainya. Contoh saiz zarah bahan-bahan pencemar udara boleh dilihat di dalam Jadual 1.

Jadual 1: Saiz zarah bahan pencemar udara

Ozon di permukaan bumi (O_3)	Habuk halus bersaiz kurang daripada 10 mikron (PM_{10})
Carbon Monoksida (CO)	
Nitrogen Dioksida (NO_2)	Habuk halus bersaiz kurang daripada 2.5 mikron ($PM_{2.5}$)
Sulphur Dioksida (SO_2)	

ran Udara Lumpur

ar



Teknologi Nuklear dalam Kajian Pencemaran Zarah Udara $PM_{2.5}$ dan PM_{10} di Bandaraya Kuala Lumpur

Salah satu manfaat teknologi nuklear adalah untuk menentukan kandungan kepekatan setiap unsur-unsur logam dalam bahan zarah udara (*Air Particulate Matter - APM*) serta kandungan zarah udara bersaiz PM_{10} dan $PM_{2.5}$. Bagi menjalankan kajian ini, Agensi Nuklear Malaysia (Nuklear Malaysia) telah menempatkan Stesen persampelan (*Gent stack monitor*) di bangunan Jabatan Muzium Malaysia (JMM), Kuala Lumpur, yang mewakili kawasan persampelan di Lembah Klang. Sampel zarah udara yang diambil seterusnya dianalisis menggunakan peralatan spektroskopi sinar-X sebaran tenaga (*Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF) Spectroscopy*) yang terdapat di Nuklear Malaysia.

Kajian ini dijalankan untuk mengenal pasti punca pencemaran dan pencirian cap jari (*fingerprint*) yang menyumbang kepada kriteria utama pencemaran kualiti udara di Malaysia. Penumpuan dilakukan kepada pemantauan dan analisis kandungan zarah udara PM_{10} , $PM_{2.5}$, dan unsur-unsur logam dalam sampel bahan zarah udara (*air particulate matter, APM*) bagi membantu pihak berkuasa dalam membangunkan Piawaian Kualiti Udara Ambien Malaysia (Malaysian Ambient Air Quality Standard - MAAQS), terutamanya untuk piawaian kandungan unsur-unsur logam dalam zarah udara.

Berdasarkan pencirian cap jari unsur-unsur logam yang diperolehi, terdapat lima sumber utama pencemaran zarah udara di Bandaraya Kuala Lumpur iaitu:

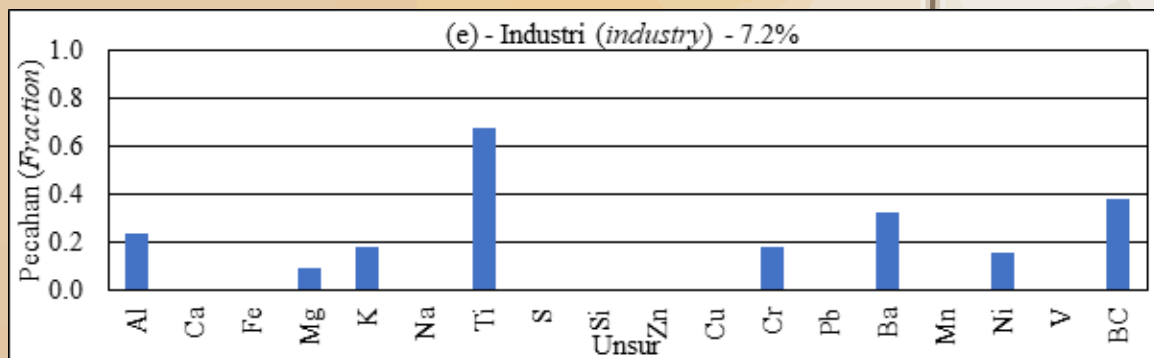
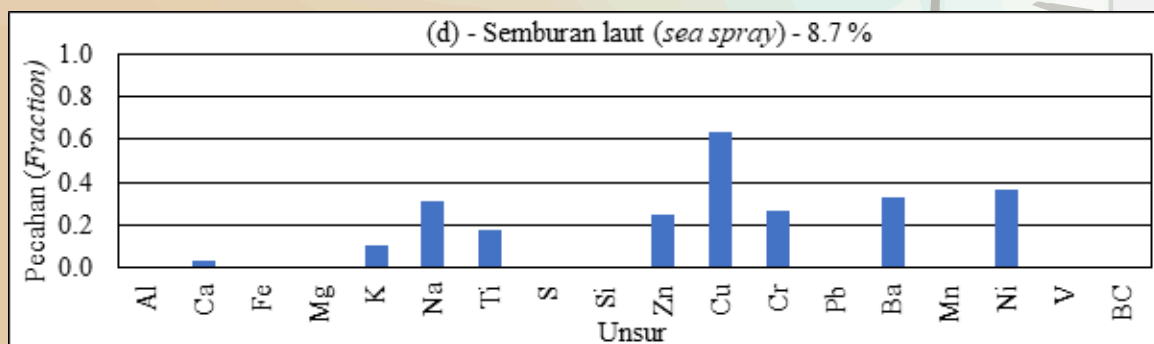
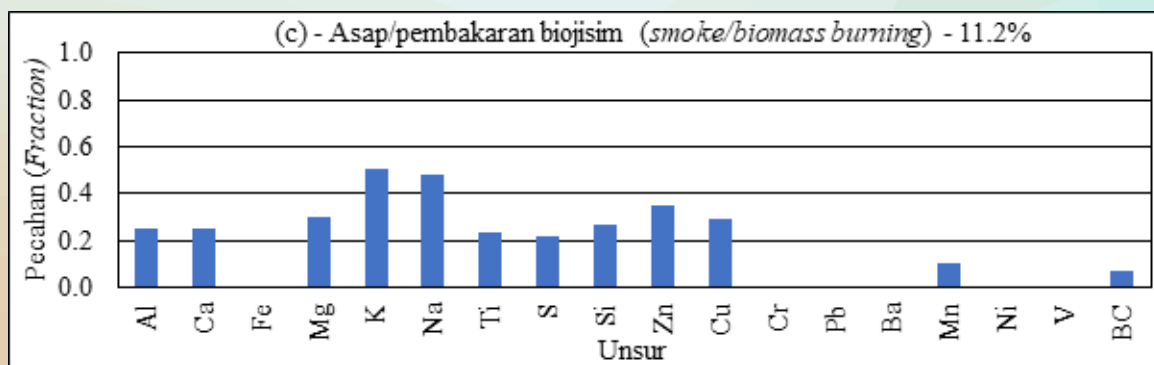
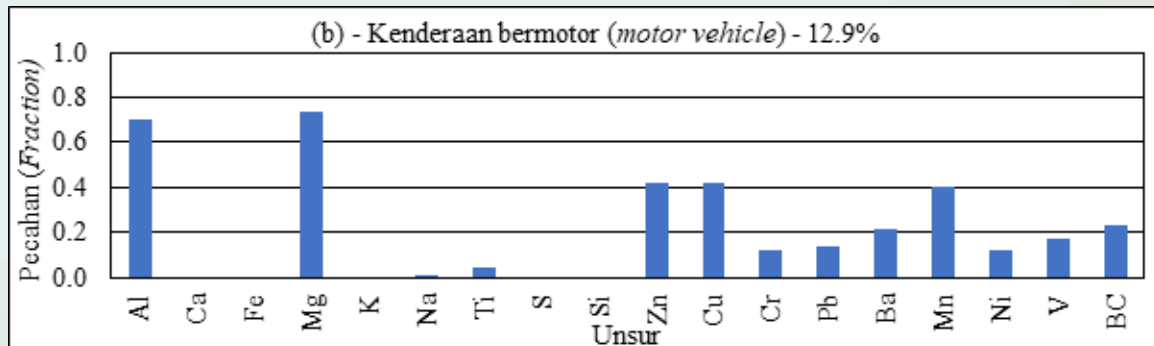
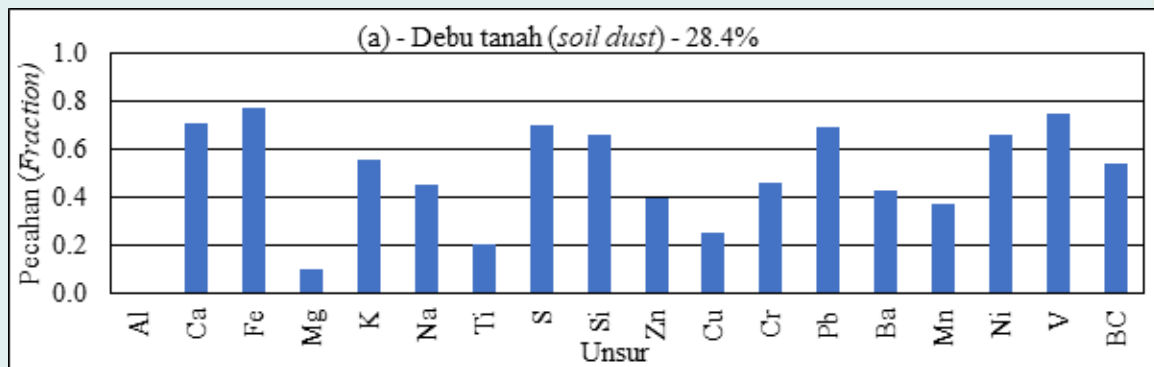


Kakitangan Nuklear Malaysia sedang memasang peralatan persampelan zarah udara



di Bandaraya Kuala Lumpur

BIL	SUMBER PENCEMARAN	KETERANGAN	PERATUS PENCEMARAN
1	Debu tanah	Mengandungi unsur-unsur utama seperti Ca, Fe, Na, K, S, dan Si. Debu tanah di Lembah Klang menunjukkan kepekatan tinggi untuk unsur-unsur seperti Ca, Fe, S, Si, Pb, Ni, dan V	28.4%
2	Kenderaan bermotor	Mengandungi unsur-unsur seperti Al, Mg, Zn, Cu, Mn, serta unsur lain seperti Cr, Pb, Ba, Mn, Ni, dan V. Kehadiran logam Zn dikaitkan dengan kenderaan bermotor kerana Zn banyak digunakan dalam pembuatan tayar. Unsur Ni biasanya berasal daripada petroleum dan produk petroleum. Pb boleh dihasilkan daripada enjin dua lejang dan juga ditambah dalam petrol sebagai antiknock.	12.9%
3	Asap atau pembakaran biojisim	Mengandungi unsur-unsur seperti K, Na, Zn, Al, Ca, Mg, Ti, S, Si, Cu, Mn, dan BC (karbon hitam). Kalium (K) adalah unsur utama yang dilepaskan dalam asap daripada pembakaran biojisim (tumbuhan), terutamanya pada suhu tinggi semasa kebakaran.	11.2%
4	Semburan laut (sea aerosol atau sea spray)	Mengandungi unsur-unsur seperti Na, Cu, Ba, dan Ni yang tinggi, diikuti oleh Ti, Zn, Cr dan K seperti yang digambarkan dalam Rajah 3(d). Kandungan unsur Na merupakan sumber daripada pelepasan semburan laut (sea spray). Penunjuk lain menunjukkan bahawa sumber pencemaran ini berasal daripada semburan laut, yang dibuktikan dengan ketiadaan unsur karbon hitam (BC).	8.7%
5	Aktiviti perindustrian	Mengandungi unsur-unsur seperti Al, Mg, K, Ti, Cr, Ba, Ni, dan BC (Rajah 3(e)). Sejumlah besar industri yang terlibat dalam pemprosesan logam, tersebar di sekitar Lembah Klang dan kawasan perindustrian utama seperti Kapar, Shah Alam, dan Petaling Jaya, yang terletak kira-kira 5 hingga 15 km dari tapak persampelan.	7.2%



Profil bagi pencirian capjari (*fingerprint*) bagi sumber pencemaran zarah udara di Bandaraya Kuala Lumpur



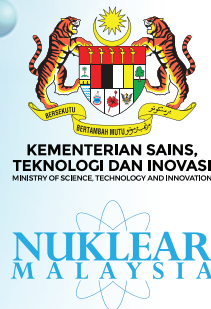
Berdasarkan kajian ini, dapat dikenal pasti bahawa sebahagian besar pencemaran udara di kawasan Kuala Lumpur dan Lembah Kelang berasal daripada debu tanah (28.4%), diikuti oleh sumbangan daripada kenderaan bermotor (12.9%), asap/pembakaran biojisim (11.2%), semburan laut (8.7%), dan industri (7.2%).



Sampel zarah udara yang diambil dari stesen persampelan di Pusat Bandaraya Kuala Lumpur



Alat EDXRF yang digunakan untuk analisis sampel zarah udara



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. Shukri Bin Mohd
Pengarah
Bahagian Pengkomersilan Teknologi

Tel : 03-8911 2000 Samb. 1608
Faks: 03-8911 2175

E-mail : shukri_mohd@nuclearmalaysia.gov.my

Website: www.nuclearmalaysia.gov.my

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



FOLLOW US





i-NUKLEAR

ILMU . IDEA . INFORMASI



AGENSI NUKLEAR MALAYSIA
Bangi, 43000 Kajang, Selangor Darul Ehsan