

i-NUKLEAR

ILMU . IDEA . INFORMASI

Teknologi Pengurusan Sisa Radioaktif

*Jaminan Keselamatan
Merentas Gerbang
Generasi*



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 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 49 tahun dalam pelbagai pembangunan S&T nuklear, serta 39 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 **iv**
& Dari Meja Editor

Bual Bicara : Pengurusan Sisa **2-9**
Radioaktif di Malaysia, Selamat atau
Tidak?

Fokus 1 : Keperluan Polisi dan Strategi **10-13**
dalam Pengurusan Sisa Radioaktif di
Malaysia

Fokus 2 : Teknologi Pelupusan Lubang **14-17**
Gerek: Penyelesaian Sisa DSRS bagi
Negara bukan Kuasa Nuklear

Fokus 3 : Teknologi Pelupusan **18-21**
Sisa Radioaktif: Kaedah Termaju
Antarabangsa yang Terbukti Selamat

Fokus 4 : Teknologi Pelupusan **22-25**
Repositori Dekat Permukaan: Halatuju
Baharu Pelupusan Sisa Radioaktif di
Malaysia

Fokus 5 : Teknologi Pelupusan: Ciri dan **26-27**
Kesesuaian Batuan Plutonik dalam
Menempatkan Kemudahan Pelupusan

Fokus 6 : Teknologi Pelupusan Efluen **28-31**
Beradioaktif: Kaedah Pemendakan dan
Pengentalan

Fokus 7 : Teknologi Pelupusan Efluen **32-36**
Beradioaktif Terawat: Konsep Pencairan
dan Penyebaran

Fokus 8 : Penambahbaikan Berterusan **37-39**
Pengurusan DSRS dan Sisa Radioaktif
di Agensi Nuklear Malaysia

Fokus 9 : Pengurusan DSRS: Alat **40-43**
Penangkap Kilat Terpakai

Pendapat Umum **44**

PENAUNG

Ts. Dr. Siti A'iasah binti Hashim

EDITOR KANAN

Habibah binti Adnan

EDITOR

Normazlin binti Ismail

PENYELARAS

Mohd Sha Affandi bin Md Aripin

PENULIS

Dr. Norasalwa binti Zakaria

Ahmad Khairulikram bin Zahari

Mohd Zahiruddin bin Jaafar

Nazran bin Harun

Nurayu binti Ibrahim

Nurul Wahida binti Ahmad Khairuddin

Rafizi bin Salihuddin

Rohyiza binti Baan

Kang Wee Siang

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.

Editorial

Tinta Ketua Pengarah

Sisa radioaktif terhasil daripada sebarang aktiviti yang melibatkan kuasa nuklear atau bukan kuasa nuklear termasuklah perlombongan dan pemprosesan mineral. Seperti bahan sisa lain, sisa radioaktif perlu diuruskan dengan betul dan selamat agar keselamatan dan kesihatan orang awam dan alam sekitar tidak terjejas ketika ini dan tidak membebankan generasi akan datang. Justeru, Nuklear Malaysia selaku peneraju dalam bidang pengurusan sisa radioaktif telah diberi kepercayaan untuk mengurus sisa radioaktif di Malaysia.

Ts. Dr. Siti A'iasah binti Hashim

Ketua Pengarah
Agensi Nuklear Malaysia



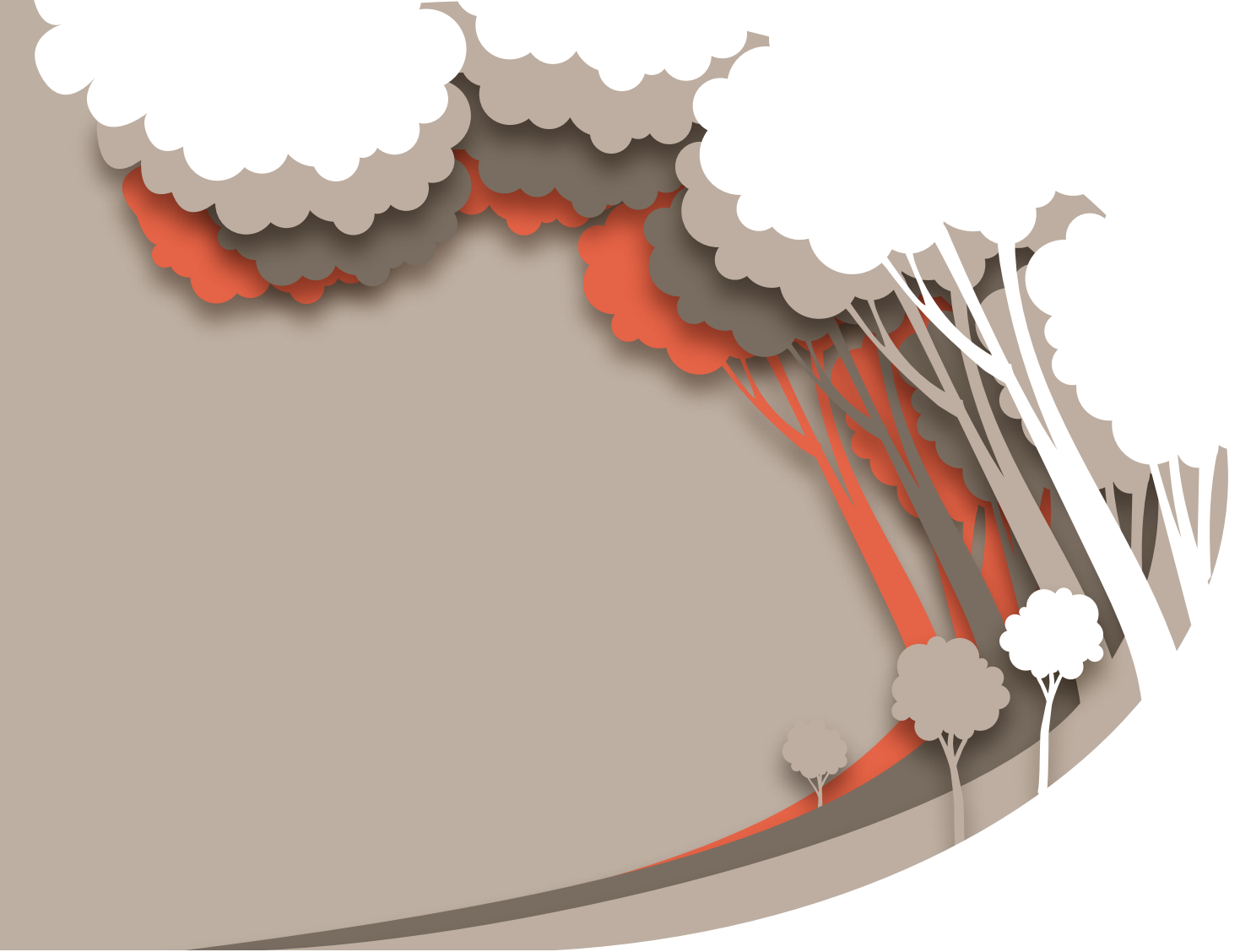
Dari meja editor



Sisa radioaktif menjadi tema untuk keluaran i-Nuklear kali ini kerana ianya isu penting yang selalu ditanya oleh orang awam kepada Nuklear Malaysia. Ramai yang menganggap sisa radioaktif hanya terhasil daripada aktiviti operasi nuklear sahaja. Umumnya sisa radioaktif turut dijana dari pelbagai aktiviti lain, seperti dari hospital dan industri. Kerisauan awam ada asasnya, kerana sisa radioaktif mempunyai hayat tersendiri, dari sela masa minit kepada jutaan tahun. Namun di Malaysia, ketika ini kita hanya menghasilkan sisa radioaktif tahap rendah. Penyimpanan yang selamat adalah aspek penting dalam pengurusan sisa radioaktif dan keperluan ini meningkat saban tahun. Sudah sampai masanya Malaysia perlu memikirkan strategi dan lokasi baharu bagi tujuan penstoran bagi memastikan ketersediaan kemudahan untuk menampung pertambahan *volume* akan datang seiring dengan kemajuan bidang perubatan dan perindustrian. Dalam hal ini, Nuklear Malaysia sentiasa bersedia menjadi barisan hadapan membantu kerajaan bagi menambahbaik polisi sedia ada dan menyediakan kepakaran untuk mengenalpasti pembaharuan yang diperlukan.

Habibah binti Adnan

Pengarah
Bahagian Pengurusan Maklumat
Agensi Nuklear Malaysia



Selamat Hari Alam Sekitar

5 Jun 2021

Pengurusan Sisa Radioa Malaysia, **Selamat ata**

Norzehan Ngadiron

Dr. Norasalwa Zakaria adalah nama yang tidak asing lagi dalam bidang pengurusan sisa radioaktif. Susuk penyelidik ini mempunyai kepakaran dalam bidang sisa radioaktif khususnya pengurusan DSRS - *Disused Sealed Radioactive Source* di rantau Asia Pasifik yang diiktiraf oleh IAEA . Ikuti temu bual bersama beliau bagi mengupas lebih lanjut topik berkaitan pengurusan sisa radioaktif di Malaysia.

Boleh terangkan secara ringkas apakah yang dimaksudkan dengan sisa radioktif?

Sisa radioaktif adalah bahan radioaktif yang tidak digunakan lagi dan tidak bertujuan digunakan semula. Bermakna, jika kita ada satu bahan yang asalnya beradioaktif, seperti penangkap kilat yang mengandungi radionuklid *Americium* atau *Radium*, dan tidak lagi digunakan, maka penangkap kilat tersebut menjadi sisa radioaktif mengandungi punca terkepada *Americium* atau *Radium*.

Tetapi sisa radioaktif juga terdiri daripada suatu benda yang tercemar dengan bahan radioaktif ataupun mengandungi radionuklid beradioaktif daripada proses yang dijalankan. Benda-benda tersebut, apabila dilupuskan, juga dikategorikan sebagai sisa radioaktif.



ktif di u Tidak?



Bagaimana bermulanya pengurusan sisa radioaktif di Malaysia?

Pengurusan sisa radioaktif bermula di Malaysia sejak Agensi Nuklear Malaysia (dahulunya dikenali sebagai PUSPATI) ditubuhkan. Manakala loji pertama pengurusan sisa ialah loji rawatan efluen (LLETP) dibangunkan pada tahun 1982. Sejak ditubuhkan, operasi penyelidikan dan pembangunan di Nuklear Malaysia semakin berkembang dan lebih banyak kemudahan mula dibuka. Nuklear Malaysia juga diiktiraf sebagai Pusat Pengurusan Sisa Radioaktif Kebangsaan yang berfungsi untuk mengendalikan sebarang aktiviti berkaitan pengurusan sisa radioaktif seperti perkhidmatan pungutan sisa, perkhidmatan perundingan, penyelidikan dan pembangunan, perawatan sisa dan juga pelupusan.

Nuklear Malaysia bukan sahaja bertanggungjawab untuk menguruskan sisa radioaktif di agensi ini sahaja, bahkan juga sisa radioaktif daripada sektor luar yang menggunakan sumber radioaktif dalam operasi pengeluaran mereka. Fokus utama Nuklear Malaysia dalam aspek pengurusan sisa radioaktif, khusus kepada sisa daripada punca radioaktif terkedap kerana banyak digunakan di Malaysia. Manakala bahan radioaktif semula jadi (NORM) seperti yang terhasil daripada kilang pemprosesan mineral nadir bumi (*rare earth*), cari gali minyak atau perlombongan tidak dikendalikan oleh agensi ini kerana terhasil dalam kuantiti yang sangat banyak dan mempunyai kaedah pengurusan yang tersendiri.

*“Perkara
yang paling
dikhuatiri adalah
munculnya ‘an
overnight
expert’...”*

Bagaimana Nuklear Malaysia memainkan peranan dalam pengurusan sisa radioaktif di Malaysia?

Mana-mana industri sekali pun pasti akan menghasilkan sisa, tidak ada yang terkecuali atau boleh dipanggil 'sisa sifar', Begitu juga industri atau perusahaan yang menggunakan bahan radioaktif, akhirnya mesti akan menghasilkan sisa radioaktif yang perlu diuruskan dengan teratur bagi menjamin keselamatan manusia dan alam sekitar.

Bagi memantapkan pengurusan sisa radioaktif di Malaysia, Nuklear Malaysia dari tahun ke tahun sentiasa berusaha meningkatkan tahap kepatuhan pada perundangan, pelaksanaan dan amalan yang diguna pakai mengikut amalan antarabangsa. Usaha secara berterusan ini perlu sentiasa dibuat bagi melonjak tinggi kualiti pengurusan sisa radioaktif di Malaysia.

Rentetan itu, Nuklear Malaysia sedang berusaha membangunkan satu kemudahan pelupusan repositori kebangsaan di Malaysia menjelang tahun 2040. Perancangan bagi penyediaan kemudahan ini dirangka dengan mengkhusus kepada gambaran kuantiti sisa radioaktif yang dihasilkan pada masa ini dan

"Kita tidak boleh menyimpulkan atau menyamaratakan bahawa semua sisa radioaktif adalah sama kerana sisa radioaktif terdiri daripada beberapa jenis."



Antara usaha beliau ialah menaiktaraf Loji Rawatan Efluen Aras Rendah

jangkaan pada masa hadapan. Namun, tidak termasuk keperluan sekiranya Malaysia mempunyai loji janakuasa nuklear kerana loji ini akan menghasilkan sisa radioaktif dengan kuantiti yang lebih banyak dengan keradioaktifan yang lebih tinggi.

Nuklear Malaysia juga mempunyai teknologi yang sedang diusahakan iaitu projek pelupusan lubang gerek atau *Borehole Disposal*. Pada masa hadapan, kita menjangkakan akan melupuskan bahan api nuklear yang sedang digunakan dalam reaktor penyelidikan Triga PUSPATI, maka pengalaman yang diperolehi daripada projek *Borehole Disposal* sekarang ini sangat relevan dan berharga apabila sisa bahan api nuklear tersebut perlu dilupuskan dalam negara sebagai pilihan terakhir sekiranya tidak dapat dipulangkan ke negara pengeluarannya iaitu Amerika Syarikat. Boleh dikatakan bahawa Nuklear Malaysia sedang membina kapasiti dan teknologi untuk mengendalikan sisa radioaktif paras sederhana dan sisa bahan api nuklear suatu masa nanti.



Gambar diterima terkedap



ah dengan menambah modaliti rawatan efluen mengandungi partikel alfa



Gambar dirakam ketika memberi penerangan mengenai sisa DSRS. Sisa jenis ini banyak diterima di Pusat Pengurusan Sisa Radioaktif Kebangsaan, terdiri daripada bahan radioaktif terkedap yang dilupuskan oleh pengguna seperti yang terdapat dalam tolok-tolok pengujian, pengesan asap dan alat bantu mengajar



ar dirakam ketika memberi penerangan mengenai sisa DSRS. Sisa jenis ini banyak di Pusat Pengurusan Sisa Radioaktif Kebangsaan, terdiri daripada bahan radioaktif yang dilupuskan oleh pengguna seperti yang terdapat dalam tolok-tolok pengujian, pengesan asap dan alat bantu mengajar

Apakah jenis sisa radioaktif yang terdapat di Malaysia?

Terdapat beberapa sumber sisa radioaktif di Malaysia iaitu sisa operasi dari proses pengeluaran, penyelidikan dan pendidikan seperti sisa organan tercampur, *effluen*, tisu, sarung tangan dan sebagainya. Sumber sisa yang lain ialah sisa punca radioaktif terkedap, sisa penyahtauliahian kemudahan, dan sisa dari pemulihan kawasan tercemar. Lazimnya, sisa-sisa tersebut merupakan sisa radioaktif jenis aras sangat rendah dan rendah (*very low level waste, low level waste*), tetapi terdapat juga sesetengah sisa yang jika dikumpulkan jumlah keradioaktifan boleh mencapai tahap sisa paras sederhana, khususnya daripada punca terkedap.

Nuklear Malaysia mempunyai senarai pengguna teknologi nuklear dan senarai pelanggan yang menggunakan khidmatnya untuk melupuskan sisa radioaktif. Misalnya dari sektor industri minyak dan gas, pembuatan, makanan dan minuman, yang lazimnya menggunakan bahan radioaktif dalam bentuk tolok pengukuran untuk operasi pengeluaran

mereka. Selain itu, kami juga menerima sisa radioaktif daripada sektor perubatan yang menggunakan bahan radioaktif untuk tujuan rawatan dan diagnostik.

Bagi memberikan perkhidmatan yang terbaik kepada para pelanggan, Nuklear Malaysia menyediakan kepakaran bermula dari proses pungutan sehinggalah ke proses pelupusan sisa radioaktif tersebut. Bagaimanapun, para pelanggan juga mempunyai pilihan untuk melantik syarikat lain bagi menguruskan pembungkusan dan pengangkutan, namun sisa tersebut tetap akan dihantar ke agensi ini untuk diuruskan selanjutnya. Ini kerana Nuklear Malaysia adalah satu-satunya agensi yang dilesenkan untuk menguruskan sisa ini.

Apa tindakan selanjutnya bagi memastikan repositori sisa radioaktif di agensi ini mencukupi dan memenuhi piawaian yang ditetapkan?

Setakat ini kita hanya mampu menyimpan sisa radioaktif yang diuruskan sehingga kemudahan pelupusan seperti repositori dan *Borehole Disposal* berjaya dibina. Dalam erti kata lain, kita amalkan kaedah penstoran jangka panjang.

Selain sebuah kemudahan penstoran yang tersedia, pada tahun 2018, Nuklear Malaysia membuka dua lagi tempat penyimpanan sisa radioaktif. Salah satunya adalah bagi menyimpan sisa pepejal yang tercemar (bacaan dos adalah rendah) bertujuan untuk mengasingkan dan mengelakkan berlakunya pencemaran dan pencemaran-silang (*cross-contamination*) di stor utama yang turut menyimpan banyak bahan radioaktif lain. Manakala sebuah lagi kemudahan stor masih di peringkat pembinaan dan dijangka siap pada akhir tahun ini, insya-Allah.



Susuk yang sentiasa bersemangat apabila



Terus mendalami ilmu demi sumbangan kepakaran kepada negara dan ummah



Kerjasama berpasukan sentiasa dititikberatkan dalam Unit WasTeC untuk kelicinan urusan pengurusan sisa radioaktif



membicarakan isu-isu pengurusan sisa radioaktif

Turut dibuka adalah satu kawasan kerja khas bagi memudahkan proses pencirian sisa radioaktif yang diterima daripada pelanggan. Ini menunjukkan bahawa ruang kawasan amat penting dan amat diperlukan apabila kita bercakap mengenai usaha menguruskan sisa radioaktif dengan efisien untuk jangka masa panjang.

Bagaimana kekeliruan dan salah faham dalam kalangan masyarakat di antara sisa radioaktif dengan sisa kimia boleh berlaku?

Saya rasa ia bergantung pada paradigma dan sudut pandang yang terbentuk apabila masyarakat terdedah dan mendengar berita seperti insiden kemalangan nuklear dan kemalangan kimia. Perkara pertama yang paling penting adalah kita harus faham bahawa kita tidak boleh menyimpulkan atau menyamaratakan bahawa semua sisa radioaktif adalah sama kerana sisa radioaktif terdiri daripada beberapa jenis iaitu sisa paras sangat rendah, rendah, sederhana, dan tinggi, seperti yang disebutkan sebelum ini. pengurusan sisa radioaktif ini juga perlu mengikut jenis sisa radioaktif tersebut. Kita tidak boleh semudah itu menyatakan semua sisa radioaktif boleh menyebabkan kesan radiologi yang teruk kepada manusia dan alam sekitar.

Satu perkara yang unik berkaitan sisa radioaktif ini berbanding sisa kimia adalah keradioaktifnya boleh menyusut. Oleh kerana itu, sisa radioaktif boleh disimpan di pusat penyimpanan yang dikhaskan untuk satu tempoh tertentu, dan kemudiannya dikategorikan sebagai sisa bersih serta dilupuskan sebagai sisa konvensional. Sifat bahan radioaktif juga berbeza dengan bahan kimia, yang mana sisa radioaktif tiada bau, tiada rasa dan sinaran juga tidak boleh dilihat.

Apakah yang paling dikhuatiri tentang sisa radioaktif?

Apabila melihat kepada situasi masa kini, perkara yang paling dikhuatiri adalah munculnya *'an overnight expert'*. Maklumat yang diperolehi daripada media sosial, disalah tafsir, difahami secara tidak tepat, dan diaplikasikan secara salah. Hasilnya adalah gambaran yang tidak benar sama sekali berkaitan pengurusan sisa radioaktif. Kita tidak mahu berlakunya timbul rasa tidak senang tentang sisa radioaktif dalam kalangan masyarakat dek kerana sikap individu yang tidak bertanggungjawab seperti ini. Oleh itu, sangat penting masyarakat merujuk kepada agensi dan pegawai yang tepat agar maklumat yang diterima juga tidak tersasar dari maksud sebenar.

“Berharap agar masyarakat menanamkan rasa yakin dengan kepakaran yang ada di Nuklear Malaysia dalam pengurusan sisa radioaktif di Malaysia”



Dr. Norasulwa sewaktu menyelaraskan operasi Ops Kepala yang melibatkan pelbagai agensi kerajaan

Benarkah sisa radioaktif boleh memberikan kesan kepada manusia dan alam sekitar?

Jika sisa radioaktif tidak diuruskan secara selamat dan mapan, sudah pasti akan mendatangkan kesan kepada manusia dan alam sekitar. Maka dengan sebab itulah, sisa radioaktif mestilah dilupuskan secara kekal akhirnya. Terdapat tiga prinsip pelupusan sisa radioaktif yang perlu diketahui iaitu simpan dan susut (khas untuk sisa radioaktif yang berhayat pendek), cair dan serak (khas untuk sisa radioaktif dalam bentuk bendalir) dan pekat dan bendung. Prinsip pelupusan ini dibenarkan kerana dibuktikan secara saintifik tidak mendatangkan kesan dan risiko

kepada keselamatan manusia dalam alam sekitar. Adalah menjadi amalan di Malaysia segala aktiviti yang melibatkan pengurusan sisa radioaktif itu dilesenkan dan dikawalselia. Jadi pastinya setiap proses pelupusan ini mematuhi kawalan perundangan dan sentiasa di paras had yang dibenarkan oleh undang-undang negara.

Apakah harapan berkaitan pengurusan sisa radioaktif di Malaysia?

Apabila kita membincangkan topik berkaitan pengurusan sisa radioaktif, perkara ini boleh menjadisatu isuyang sensitif atau juga polemik. Namun, seperti yang telah saya maklumkan di atas, adalah menjadi tanggungjawab kita sebagai masyarakat untuk mendapatkan maklumat yang tepat dan kefahaman yang sebenar berkaitan pengurusan sisa radioaktif. Hal ini bagi mengelakkan daripada berlakunya pembaziran sumber (masa, kewangan dan sumber manusia) dalam kita menguruskan sisa radioaktif ini. Saya berharap sisa radioaktif ini bukan sahaja dapat difahami dengan sangat baik, tetapi juga berharap agar masyarakat menanamkan rasa yakin dengan kepakaran yang ada di Nuklear Malaysia dalam pengurusan sisa radioaktif di Malaysia. Nuklear Malaysia sentiasa bersedia untuk berkongsi maklumat berkaitan pengurusan sisa radioaktif dengan masyarakat.



Dr. Norasulwa sentiasa turun padang bersama-sama menjalankan kerja-kerja pengurusan sisa radioaktif



PROFIL

Nama	: Dr. Norasalwa Zakaria
Jawatan	: Pegawai Penyelidik (Q52)
Posisi Tertinggi	: Pengurus Pusat Pembangunan Teknologi Sisa selama 8 tahun, sejak 2013
Bil Tahun Berkhidmat	: 19 tahun
Tarikh Lahir	: 17 Julai 1976
Tempat Lahir	: Kluang, Johor
Bilangan Adik-beradik	: 2 orang
Anak ke berapa	: Kedua (Bongsu)
Nama suami	: Dr. Mohamad Annuar Assadat Husain
Bilangan anak	: 3 orang

TAHAP PENDIDIKAN

- PhD dalam bidang Kejuruteraan Mekanikal (2011)
- *Master of Science* (Alam Sekitar dan Kawalan Pencemaran) (2001)
- *Bachelor of Engineering* (Hons) Kejuruteraan Kimia (1998)

ANUGERAH

- Penerima Biasiswa Kecil Persekutuan, Biasiswa Pendidikan MAR, Biasiswa *National Science Foundation* anjuran MOSTI dan Hadiah Latihan Persekutuan MOSTI-JPA
- Menerima Anugerah Kecemerlangan tahun 2005 dan 2013

PENCAPAIAN

- Pakar pengurusan radioaktif oleh IAEA, beliau telah melaksanakan serta mengetuai misi pakar IAEA di beberapa negara di rantau Asia-Pasifik
- Menggagotai Jawatankuasa Pemandu (*Steering Committee*) di IAEA mewakili negara tanpa kuasa nuklear
- Mengetuai pelbagai projek penyelidikan dan pembangunan infrastruktur pengurusan sisa radioaktif
- Menggagotai pelbagai jawatankuasa teknikal di peringkat Nuklear Malaysia, MOSTI, LPTA, KKM dan lain-lain
- Menyumbang kepakaran melalui ceramah, pensyarah jemputan untuk jabatan kerajaan, universiti dan orang awam



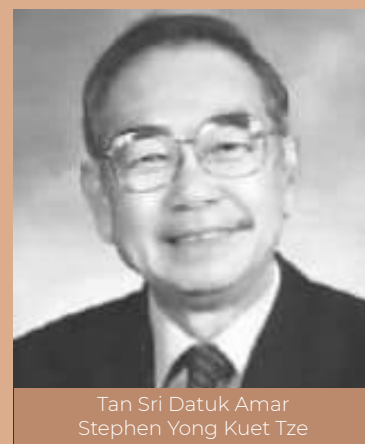
Keperluan **Polisi dan Strategi** dalam Pengurusan Sisa Radioaktif di Malaysia

Ahmad Khairulikram Zahari
Norasulwa Zakaria, PhD
Kang Wee Siang



Penggunaan teknologi nuklear di Malaysia bermula seawal tahun 1897 bagi tujuan perubatan di Hospital Taiping, Perak, hanya dua tahun selepas penemuan sinar-X oleh Wilhelm Conrad Röntgen. Malaysia juga mempunyai sejarah perlombongan bijih timah yang lama, iaitu semenjak tahun 1824. Aktiviti perlombongan dan penggunaan teknologi tentulah akan menghasilkan sisa pada akhirnya. Sisa sampingan perlombongan bijih timah contohnya, menghasilkan amang yang terdiri dari mineral Monazite dan Xenotime yang mana kedua-duanya mempunyai unsur torium dan uranium. Proses pemisahan dan penulenan mineral pula secara tidak langsung memekatkan keaktifan dua unsur ini sehingga tergolong sebagai bahan radioaktif menurut takrifan undang-undang.

Jelaslah bahawa penghasilan sisa radioaktif di negara ini bukanlah satu perkara baharu. Malahan, telah dijana sebelum ahli-ahli sains mempunyai pengetahuan tentang keradioaktifan unsur-unsur tersebut.



Tan Sri Datuk Amar
Stephen Yong Kuet Tze

Nuklear Malaysia memberi tumpuan kepada aspek pengurusan sisa radioaktif sejak dari mula penubuhannya pada tahun 1972, di mana ketika itu jabatan ini dikenali sebagai PUSPATI. Ini dibuktikan dengan ketersediaan fasiliti pengurusan sisa radioaktif ketika kompleks PUSPATI siap dibina pada tahun 1982. Sejak itu, peranan yang dimainkan menjadi lebih luas dan besar terutama apabila isu-isu sisa radioaktif semakin mendapat perhatian umum. Semasa perasmian mesyuarat kumpulan kerja Perjanjian Kerjasama Serantau (RCA) ke-4, bersempena ulang tahun kesepuluh perjanjian tersebut pada 16 Jun 1982, Menteri Sains, Teknologi dan Alam Sekitar (MOSTE), Tan Sri Datuk Amar Stephen Yong Kuet Tze mengumumkan penarafan Pusat Rawatan Sisa Radioaktif PUSPATI kepada sebuah Pusat Pengurusan Radioaktif Kebangsaan. Penarafan ini bertepatan dengan status PUSPATI sebagai satu-satunya agensi yang dipertanggungjawabkan dalam menguruskan sisa radioaktif di Malaysia dengan dilengkapi kemudahan pengurusan sisa serta tenaga kerja yang terlatih. Aspek pengurusan sisa radioaktif sememangnya telah dititikberatkan sejak awal penubuhan PUSPATI dengan pembinaan fasiliti pengurusan sisa radioaktif.



Fasiliti pengurusan sisa radioaktif (latar depan gambar) yang telah tersedia seiring pembinaan kompleks PUSPATI pada tahun 1982

Bagi tujuan pengawalan penggunaan bahan radioaktif dan pelupusan sisa radioaktif di Malaysia, Akta Pelesenan Tenaga Atom 1984 (Akta 304) telah dibangunkan dan kemudiannya diperkukuhkan dengan Peraturan-peraturan Pelesenan Tenaga Atom (Pengurusan Sisa Radioaktif) P.U(A)274, diwartakan pada tahun 2011 bertujuan mengawalselia aktiviti-aktiviti berhubung pengurusan sisa radioaktif. Walaupun begitu, masih terdapat keperluan untuk menggariskan strategi dan halatuju yang jelas dan mapan dalam urusan pengurusan sisa radioaktif negara. Peraturan sedia ada memberi fokus kepada pengendalian dan operasi seperti kawalan penjaan sisa radioaktif, guna dan kitar semula punca radioaktif, pemulangan punca terkedap terpakai ke negara asal, pemindahan sisa ke pusat pengurusan sisa radioaktif kebangsaan dan akhir sekali pembuangan dan pelupusan sisa radioaktif.

Pengenalan Akta 304 juga telah memberikan satu punca kuasa kepada pusat pengurusan sisa radioaktif kebangsaan khususnya dan pihak-pihak berkepentingan lain amnya dalam menyokong aktiviti pengurusan sisa radioaktif. Sebagai contoh, OPSKepalayangtelahberlangsungbaru-baru ini tidak akan terhasil tanpa halatuju pengurusan sisa radioaktif yang dititikberatkan oleh pihak kerajaan. OPS Kepala adalah gelaran kepada satu operasi pemindahan unit kepala beradioaktiviti tinggi alat teleterapi yang telah dinyahtauliah dari hospital Queen Elizabeth II di Kota Kinabalu, Sabah ke Agensi Nuklear Malaysia. Operasi bersepadu ini telah disertai oleh Kementerian Kesihatan Malaysia

(KKM), khususnya Bahagian Kawalselia Radiasi Perubatan (BKRP), Hospital Queen Elizabeth II dan Jabatan Kesihatan Negeri Sabah. Misi ini turut disokong oleh pihak Polis Diraja Malaysia (PDRM) merangkumi Unit Trafik dan Unit Cawangan Khas dari Ibu Pejabat Kontinjen Selangor dan Sabah yang telah menawarkan sokongan iringan bersenjata, Pejabat Ketua Pegawai Keselamatan Kerajaan Malaysia (CGSO) dan Lembaga Pelesenan Tenaga Atom (LPTA) yang menjamin keselamatan sinaran sepanjang proses pemindahan berlangsung. Pengangkutan udara bagi memindahkan unit kepala ke semenanjung Malaysia pula telah disediakan oleh pihak Tentera Udara Diraja Malaysia (TUDM).



Sekalip
kerajaan,

Sumb
https



Kerjasama



...un tidak menentang pembangunan teknologi nuklear yang dilaksanakan pihak
rata-rata masyarakat tidak akan menerimanya untuk dibina berhampiran kawasan
tempat tinggal mereka sehingga tercetuslah sindrom NIMBY

er: Activists Protest Plans to Bury Nuclear Waste at San Onofre State Beach - 21 Nov 2017 -
s://www.ocweekly.com/activists-protest-san-onofre-nuclear-waste-burial-plans-8585808/]



pelbagai agensi menjayakan OPS Kepala

Pengurusan sisa radioaktif memerlukan perancangan jangka pendek, jangka sederhana dan jangka panjang, sesuai dengan sifat unsur radioaktif yang mempunyai jangka hayat pendek, sederhana ataupun panjang, selain perlu mengambil kira kandungan kepekatan keaktifan yang berbeza-beza. Perancangan perlu dibuat secara tersusun, mempunyai objektif yang jelas dan strategi yang terperinci serta formulasi oleh dasar atau polisi yang ditetapkan oleh kerajaan. Dalam banyak keadaan, pengurusan isu radioaktif merupakan isu yang sensitif kepada masyarakat sehingga wujud sindrom seperti *NIMBY* (*Not in My Backyard*) atau *BANANA* (*Built Absolutely Nothing Anywhere Near Anything*). Maka, polisi yang jelas adalah sangat penting sebagai wadah komunikasi antara pihak berkepentingan terutamanya masyarakat dalam hal yang membabitkan pengurusan sisa radioaktif, khususnya isu pelupusan sisa.

Antara lain yang diperincikan dalam sesebuah polisi sisa radioaktif ialah tanggungjawab setiap pihak terbabit seperti kerajaan, pengguna teknologi nuklear yang menjana sisa secara langsung atau tidak langsung dan organisasi pengurusan sisa. Peruntukan juga merupakan elemen yang penting, kerana ketersediaan sumber seperti kewangan dan kepakaran perlu dirancang dan dijamin tersedia bagi kelancaran pelaksanaan aktiviti pengurusan sisa.

Malaysia kini sedang dalam usahaewartakan polisi berkaitan pengurusan sisa radioaktif termasuk sisa bahan api nuklear. Semoga dengan adanya polisi tersebut, infrastruktur yang diperlukan untuk pengurusan sisa radioaktif menjadi lebih kukuh, dan amalan terhadap keselamatan terus dipertingkatkan seterusnya menjadikan masyarakat lebih cakna terhadap isu-isu berkaitan pelupusan sisa radioaktif.

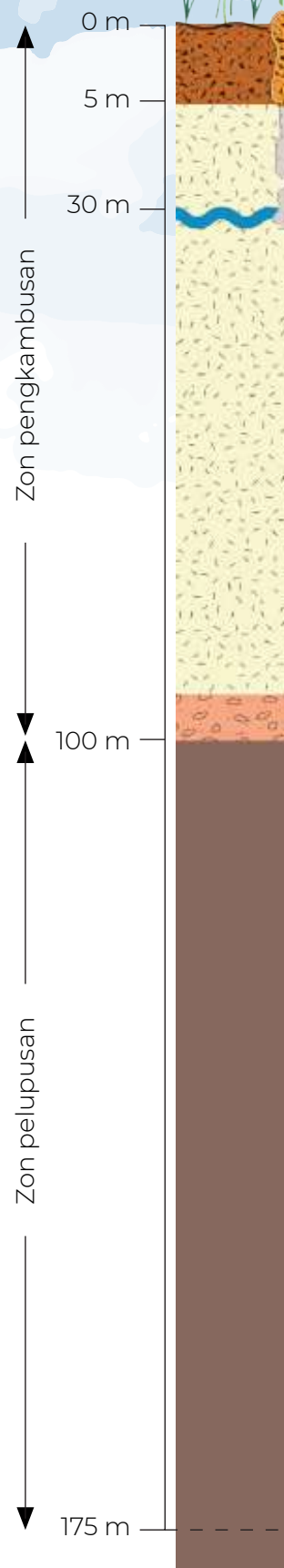
Sisa radioaktif seringkali menjadi isu perdebatan dalam kalangan masyarakat. Perdebatan ini meliputi persoalan tentang bagaimana sisa radioaktif diuruskan, dilupuskan serta kesan sampingan kepada manusia dan alam sekitar. Oleh itu, objektif utama pengurusan sisa radioaktif adalah untuk melindungi manusia dan persekitarannya dari kesan sinaran mengion yang tidak diingini kepada generasi sekarang dan akan datang.

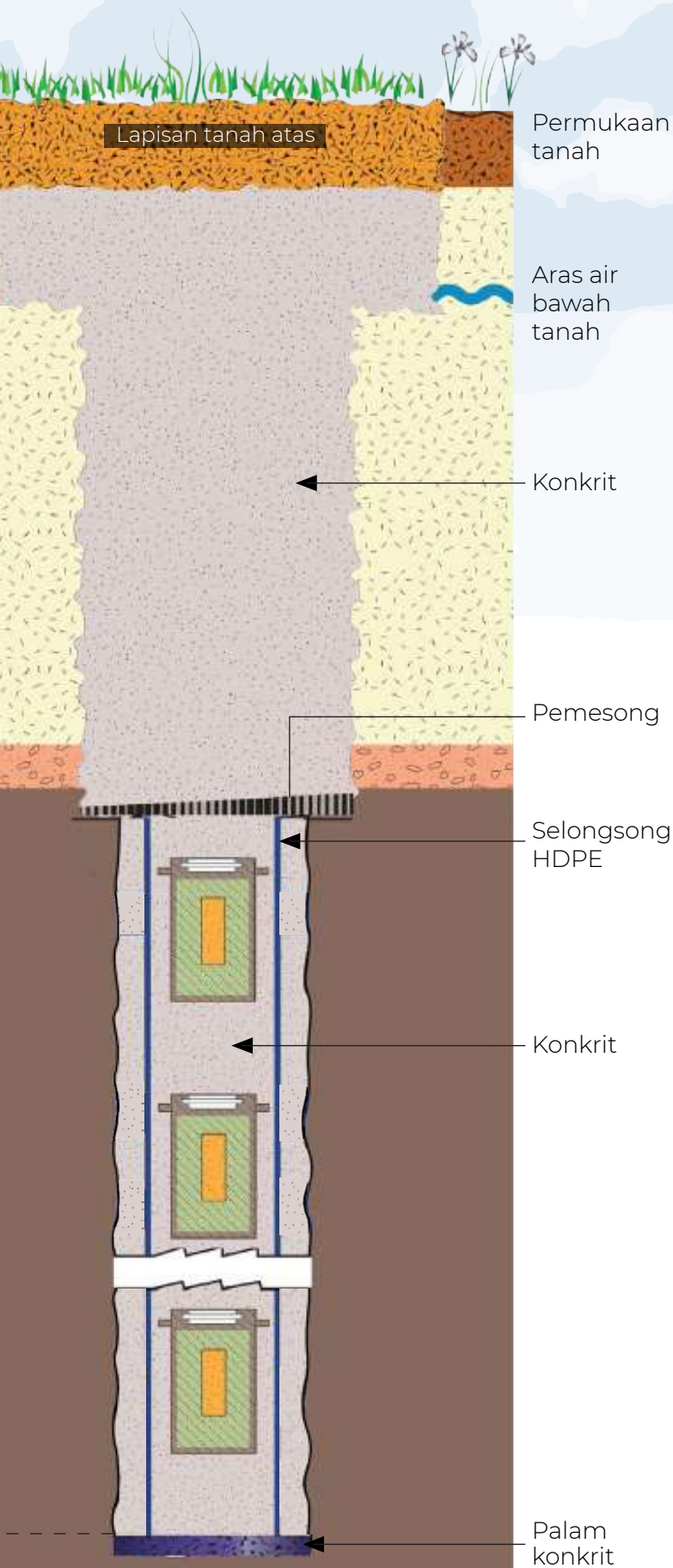
Sejajar dengan matlamat itu, Waste Technology Development Centre (WasTeC), Nuklear Malaysia telah ditubuhkan untuk melindungi pekerja dan penduduk di kawasan sekitarnya dari risiko sinaran mengion dan juga memelihara alam sekitar melalui pengurusan sisa radioaktif yang berkesan. Sisa radioaktif datang dari tiga punca utama iaitu melalui kegiatan janakuasa nuklear, sinaran radiasi bukan nuklear, aktiviti perlombongan dan pemprosesan. Salah satu bentuk sisa radioaktif adalah punca radioaktif terkedap (*Sealed Radioactive Source*).

Punca radioaktif terkedap adalah bahan-bahan radioaktif yang diletakkan dalam bekas yang berintegriti tinggi supaya sinaran radiasi bahan tersebut dimanfaatkan sambil bahan di dalamnya tidak terlepas keluar dan membahayakan alam sekitar. Punca radioaktif terkedap ini banyak digunakan di dalam bidang perubatan, industri dan penyelidikan. Apabila tidak lagi digunakan, punca radioaktif ini diisytiharkan sebagai punca radioaktif terpakai atau *Disused Sealed Radioactive Sources* (DSRS) dan diuruskan sebagai sisa radioaktif.

Teknologi Pelupusan Lubang Gerek: Penyelesaian Sisa DSRS bagi Negara bukan Kuasa Nuklear

Nurul Wahida Ahmad Khairuddin





Pengurusan DSRS perlu dilaksanakan dengan pematuan kepada piawaian keselamatan yang ketat dan amalan selamat antarabangsa. Penyimpanan di kemudahan yang selamat dan terkawal boleh dianggap sebagai pilihan pengurusan akhir yang memadai untuk DSRS yang berjangka hayat pendek iaitu dapat yang mereput ke tahap yang tidak berbahaya dalam masa yang singkat atau beberapa tahun. Walau bagaimanapun, kebanyakan DSRS mempunyai hayat panjang dan pilihan pelupusan yang sesuai seperti teknologi lubang gerek diperlukan. Kemudahan pelupusan lubang gerek memenuhi kriteria pembendungan (*containment*) dan pengasingan (*isolation*) yang perlu ada di setiap kemudahan pelupusan sisa radioaktif.



Contoh pembekas yang mengandungi DSRS yang diterima oleh WasTeC bagi kerja-kerja pelupusan

Teknologi pelupusan lubang gerek adalah teknologi yang disyorkan IAEA bagi negara-negara bukan tenaga nuklear seperti Malaysia. Teknologi ini secara relatifnya lebih ekonomik untuk dibina, selamat dan sesuai untuk inventori sisa yang kecil. Ruang tapak yang digunakan untuk tujuan ini adalah minima. Pemilihan tapak yang sesuai di dalam batuan yang kukuh seperti granit dapat menjamin pembendungan dan isolasi serta menghindar pencerobohan untuk ribuan tahun lamanya.

*Rajah tidak mengikut skala

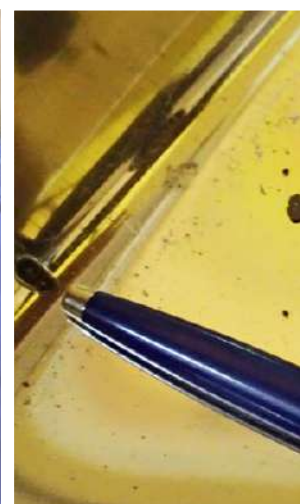
sep pelupusan DSRS menggunakan teknologi lubang gerek



Pembekas DSRS dibuka bagi mengeluarkan punca terkedap



Pengeluaran punca terkedap dilakukan dengan perlindungan oleh bongkah timah bagi mengurangkan dedahan kepada sinaran mengion



Contoh punca terkedap dari per

Buat masa ini, Nuklear Malaysia hanya menguruskan sisa radioaktif dari peringkat pengumpulan hinggalah ke peringkat penyimpanan. DSRS ini beserta sisa radioaktif jenis lain disimpan dalam kemudahan penyimpanan sementara di lokasi lingkungan kawasan terkawal agensi ini. Oleh sebab itu, DSRS yang terkumpul dan disimpan di Nuklear Malaysia sejak tahun 1985 telah mencecah lebih 15,000 unit. Pada masa akan datang, kemudahan penyimpanan ini tidak lagi akan mampu menampung bilangan DSRS terkumpul yang semakin banyak. Justeru, kemudahan pelupusan kekal perlu dibangunkan dengan segera.



Kerja-kerja penggerudian bagi tujuan pencirian tapak

Realisasi kepada ikhtiar tersebut telah bermula semenjak tahun 2013. Projek pelupusan lubang gerek bagi sisa DSRS ini memberi tumpuan kepada DSRS kategori 3 sehingga 5 sahaja. Projek pembangunan ini dimulakan dengan kerja kajian pemilihan tapak, seterusnya pencirian tapak, penggalian dan pembinaan kemudahan pelupusan dan akhir sekali pelupusan dan penutupan. Pada ketika ini, Nuklear Malaysia telah selesai menjalankan kerja pencirian sisa, kajian keselamatan, pemilihan dan pencirian tapak serta pengkondisian sisa. Projek ini telah memperoleh lesen membina dan mengoperasi pada 30 Julai 2019. Fasa seterusnya adalah pembinaan dan kerja-kerja pelupusan, yang akan dimulakan selepas perjanjian tiga hala antara Nuklear Malaysia-IAEA-Kontraktor dimeterai.



Kerja-kerja ujian resistiviti bagi tujuan



ap yang dikeluarkan
mbekas



Punca terkedap dikumpulkan di dalam kapsul mengikut
jenis radionuklid dan tahap sinaran



an pencirian tapak

Jaminan keselamatan bagi kemudahan yang akan dibina ini telah dibuat dengan simulasi berkomputer bagi meramal dos dedahan yang diterima untuk jangka tempoh yang panjang. Beberapa situasi kegagalan kemudahan telah diambil kira dan diperolehi bagi kesemua kegagalan yang berkemungkinan berlaku, tiada dedahan melebihi had yang dibenarkan.

Teknologi pelupusan ini secara relatifnya adalah baharu dan Malaysia dengan bangganya menjadi peneraju kepada teknologi ini apabila terbinanya kemudahan pelupusan lubang gerek untuk DSRS yang pertama di dunia kelak. Kemudahan pelupusan lubang gerek yang dibangunkan bersama Nuklear Malaysia dan IAEA adalah pilihan pelupusan sisa radioaktif yang selamat dan terjamin. Bukan sahaja ringkas, menjimatkan, malah yang paling penting adalah menjamin keselamatan manusia dan alam sekitar untuk tempoh masa yang panjang selari dengan peruntukan perundangan kerajaan Malaysia iaitu Akta Perlesenan Tenaga Atom (Akta 304).



Kapsul dikimpal sebagai sebahagian dari langkah
membendung dan mengasing sisa radioaktif yang dilupuskan



Keadaan kapsul yang telah dikimpal

TEKNOLOGI PELUPUSAN SISA RADIOAKTIF:

Kaedah Termaju Antarabangsa
yang Terbukti Selamat

Norosalwa Zakaria, PhD

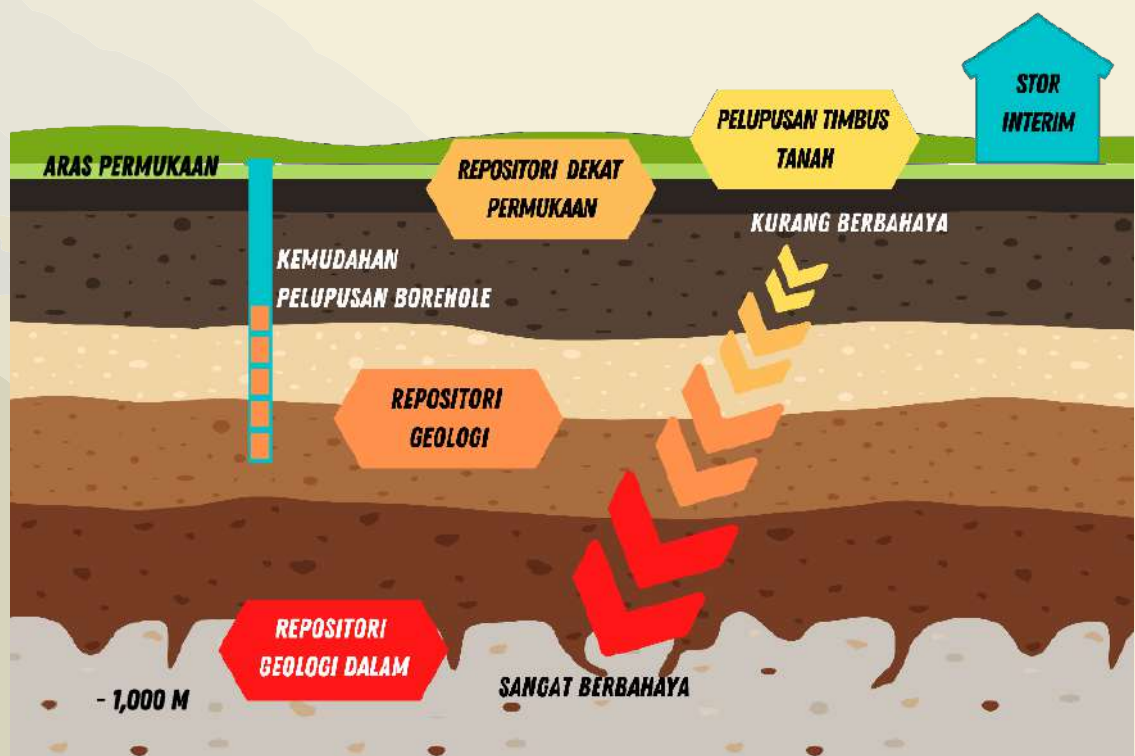
Repositori sisa radioaktif merujuk kepada fasiliti pelupusan fizikal. Ia direkabentuk berdasarkan konsep bendung (*contain*) dan asingkan (*isolation*) di mana matlamat utama adalah untuk meminimumkan sebaran dan penghijrahan radionuklid ke biosfera.

Pemilihan teknologi yang digunakan bagi melupuskan sisa radioaktif adalah berkait rapat dengan jenis, bentuk, separuh hayat dan tahap radiasi sesuatu sisa tersebut. Oleh yang demikian, teknologi pelupusan direkabentuk khusus bagi sesuatu jenis sisa. Sebagai contoh, sisa jenis punca radioaktif terkedapsesuaidilupuskan dalam pelupusan lubang gerek atau *borehole*, manakala sisa aras sangat rendah seperti sisa NORM (sisa yang hanya mengandungi bahan radioaktif tabii) dikhaskan kepada pelupusan timbus tanah

(*landfill*). Seterusnya, terdapat juga repositori dekat permukaan untuk pelupusan sisa radioaktif aras rendah, repositori geologi untuk pelupusan sisa aras sederhana dan repositori geologi dalam untuk pelupusan sisa radioaktif aras tinggi.

Pelupusan timbus tanah adalah seperti yang diamalkan untuk pelupusan sisa domestik dan industri. Rekabentuknya ringkas, mempunyai lapisan seperti geotekstil, tanah liat atau polietilena untuk mengawal resapan air bawah tanah. Teknologi ini sesuai digunakan untuk sisa aras sangat rendah (VLLW) seperti sisa dari kilang Lynas dengan kandungan kepekatan torium hanya 6 Bq/g.

Manakala pelupusan atas permukaan melibatkan struktur kejuruteraan dan dibina atas sehingga beberapa puluh meter kedalaman dari aras permukaan. Aspek keselamatan jangka masa panjang dicapai menerusi kombinasi hadangan semulanjadi dan hadangan kejuruteraan. Sebagai contoh, repositori sisa torium yang dibangunkan khas bagi melupuskan sisa radioaktif daripada kilang Asian Rare Earth mengaplikasi teknologi



lustrasi kedalaman jenis repositori pelupusan sisa radioaktif yang bergantung kepada tahap bahaya

pelupusan dekat permukaan. Kandungan keradioaktifan dalam 196,700 ton sisa torium tersebut ialah dalam julat 7.4 hingga 670 Bq/q. Selain daripada sisa torium yang dikelaskan sebagai sisa aras rendah, terdapat juga sisa aras sangat rendah yang terbit daripada runtutan bangunan kilang dan tanah yang dikorek dari tapak binaan kilang tersebut. Keseluruhan repositori ini dilitupi oleh sistem penutupan terdiri daripada tanah liat dan granit setebal 2.1 meter.

Negara-negara kuasa nuklear mempunyai kemudahan repositori dekat permukaan yang beroperasi seperti di United Kingdom, USA, Sepanyol, Perancis, Jepun, Sweden, Republik Czech dan banyak lagi. Manakala, banyak negara bukan kuasa nuklear seperti Australia dan Indonesia sedang dalam proses untuk membangunkan kemudahan serupa.

Kemudahan pelupusan aras pertengahan, juga dikenali sebagai pelupusan geologi, direkabentuk khas untuk melupuskan sisa aras pertengahan. Rekabentuk terperinci adalah lebih komprehensif dan bergantung kepada sifat sisa radioaktif dan persekitaran geologi di mana sisa itu akan dilupuskan. Struktur geologi akan membantu untuk menahan dan melambatkan pergerakan radionuklid dari fasiliti pelupusan ke biosfera. Kemudahan ini didasarkan pada kedalaman melebihi 100 meter, oleh itu menuntut disiplin



Kemudahan pelupusan sisa radi
Sumber: https://roma.repubblica.it/cronaca/2021/04/06/provincia_di_viterbo_-295537533/jamplacion-almac



Kemudahan pelupusan sisa radioaktif aras rendah dan sederhana di El Cabril, Sepanyol
Sumber: <https://cordopolis.eldiario.es/cordoba-hoy/provincia/iu->



Salah satu contoh kemudahan pelupusan dekat permukaan yang terletak di Rokkasho-mura, Jepun
Sumber: www.jnfl.co.jp



radioaktif di Vaalputs, Afrika Selatan
https://www.8news.co.za/news/scorie_nucleari_sogin_in_lazio_22_siti_tutti_in_nuclear-cabril-exige-alternativas_1_8005629.html



h
 rechaza-



teknikal seperti kejuruteraan perlombongan antaranya. Salah satu contoh kemudahan pelupusan aras pertengahan ialah seperti yang terdapat di Korea Selatan di mana kemudahan ini dibina 80 meter bawah aras laut.

Satu lagi teknologi pelupusan yang terdapat untuk pengurusan sisa radioaktif ialah pelupusan geologi dalam. Finland menerajui pembinaan pelupusan geologi dalam yang dibangunkan di Olkiluoto, khusus untuk pelupusan sisa bahan api nuklear yang merupakan sisa radioaktif aras tinggi. Struktur ini

terletak 450 meter bawah aras permukaan dan telah mula dibina pada tahun 2019, dan dijangka beroperasi pada tahun 2023.

Jelaslah, bahawa setiap jenis sisa radioaktif mempunyai teknologi bagi menguruskan dan melupuskan sisa tersebut dengan selamat, terjamin, buat masa sekarang dan juga masa hadapan yang panjang. Malah, teknologi yang dibangunkan adalah berkadar dengan risiko sesuatu sisa agar sumber yang digunakan untuk urusan pelupusan dapat digembeleng secara optimum tanpa menjejaskan aspek keselamatan dan kesejahteraan manusia dan alam sekitar.



Repositori sisa torium Asian Rare Earth (ARE)
 di Mukim Belanja, Perak
 Sumber: Google Earth



Teknologi Pelupusan Repositori Dekat Permukaan: Hala Tuju Baharu Pelupusan Sisa Radioaktif di Malaysia

*Nurayu Ibrahim
Norasalwa Zakaria, PhD*

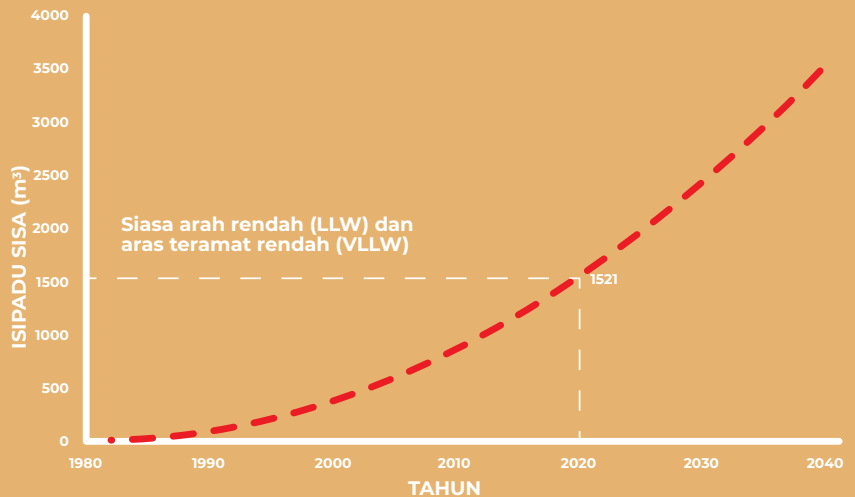
Kemudahan Re
(Sebelum

Loji R

Banguna

Pusat Ma

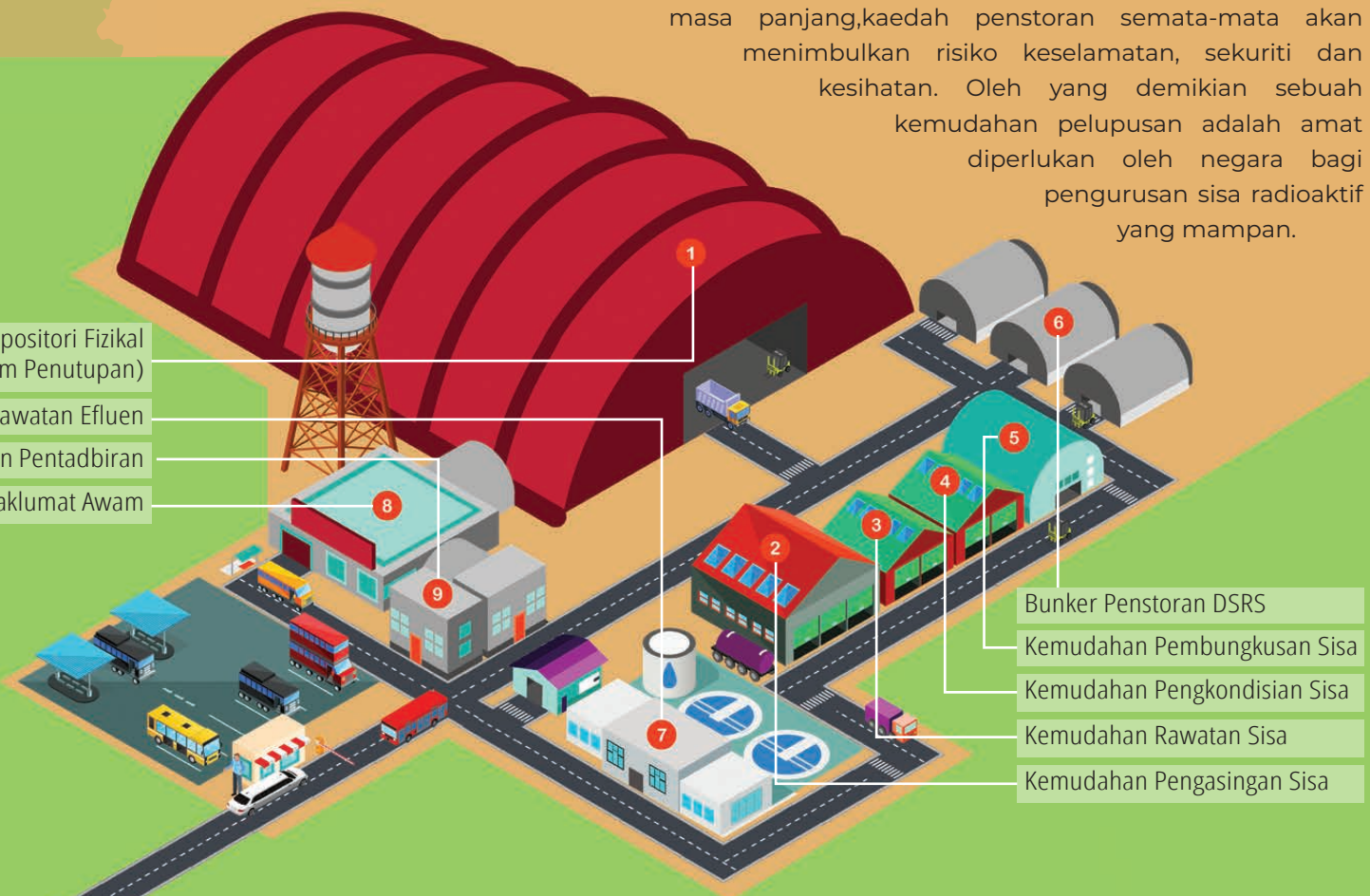
Sebuah kemudahan repositori kebangsaan diperlukan bagi melupuskan sisa radioaktif yang diuruskan oleh Nuklear Malaysia yang turut berperanan sebagai Pusat Pengurusan Sisa Radioaktif Kebangsaan. Hasrat untuk membangunkan kemudahan repositori kebangsaan ini diutarakan pada tahun 2003 dan telah turut mendapat persetujuan daripada Majlis Jemaah Menteri pada ketika itu. Kemudahan pelupusan ini diperlukan memandangkan jumlah sisa radioaktif yang terkumpul di Nuklear Malaysia untuk dilupuskan terus meningkat saban tahun. Perancangan penutupan dan penyahtauliah reaktor TRIGA Puspati di Nuklear Malaysia dalam sepuluh ke lima belas tahun ke hadapan dijangka akan



Repositori sisa torium Asian Rare Earth (ARE)
Kuantiti sisa radioaktif dalam penyimpanan Pusat Pengurusan

meningkatkan lagi jumlah sisa radioaktif yang perlu dilupuskan dalam jumlah yang besar.

Keperluan bagi repositori sisa radioaktif termaktub dalam Akta 304, Seksyen 28 yang membenarkan pihak berkuasa mengarahkan pemegang lesen membetulkan keadaan sekiranya didapati tidak ada kemudahan yang mencukupi termasuk bagi melupus sisa radioaktif dengan selamatnya. Pada masa sekarang, kesemua sisa radioaktif dari seluruh Malaysia, kecuali sisa NORM, dikumpul dan distor di Agensi Nuklear Malaysia. Untuk jangka masa panjang, kaedah penstoran semata-mata akan menimbulkan risiko keselamatan, sekuriti dan kesihatan. Oleh yang demikian sebuah kemudahan pelupusan adalah amat diperlukan oleh negara bagi pengurusan sisa radioaktif yang mampan.



Gambaran konsep Kompleks Pengurusan Sisa Radioaktif Kebangsaan

Sebagai permulaan, projek pembangunan Kemudahan Repositori Kebangsaan tersenarai di dalam Inisiatif Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi (MOSTI) bagi tahun 2021. Proses membangunkan sebuah repositori sisa radioaktif adalah rumit dan kompleks terutama bagi repositori yang melupuskan sisa aras rendah, aras sederhana dan aras tinggi. Ia perlu mengikut metodologi dan standard tertentu, dan menuntut perancangan jangka panjang yang rapi dan menyeluruh. Garis masa yang ditunjukkan di bawah ini, memberikan gambaran asas aktiviti-aktiviti utama yang perlu dijalankan ke arah penubuhan sesebuah kemudahan repositori pelupusan sisa radioaktif. Dalam contoh yang ditunjukkan ini, kemudahan repositori dicadangkan dibina di dalam sebuah Kompleks Pengurusan Sisa. Untuk repositori tersebut mula beroperasi pada tahun 2040, kerja-kerja kajian, penyelidikan, perlesenan dan lain-lain yang berkenaan bermula sekurang-kurangnya 20 tahun lebih awal.

Bagi kemudahan repositori pelupusan yang dicadangkan, Agensi Nuklear Malaysia memilih tapak batuan granit dan sisa pula akan dilupuskan pada kedalaman tidak lebih daripada 50 m dari aras permukaan. Pemilihan tapak yang sesuai di kawasan batuan yang kukuh seperti granit disokong pula dengan hadangan kejuruteraan, dapat menjamin pembendungan dan pengasingan sisa untuk tempoh masa yang panjang. Maka, aspek teknikal seperti kedudukan air bawah tanah, jarak dengan sungai terhampir, sejarah pergerakan sismik, jenis batuan malah status guna tanah dan jarak dengan penempatan diperhalusi dan dianalisa dalam sesuatu kajian berkaitan pembangunan repositori sisa radioaktif. Yang pasti, kemudahan sebegini tidak akan dibina di kawasan-kawasan seperti berikut:

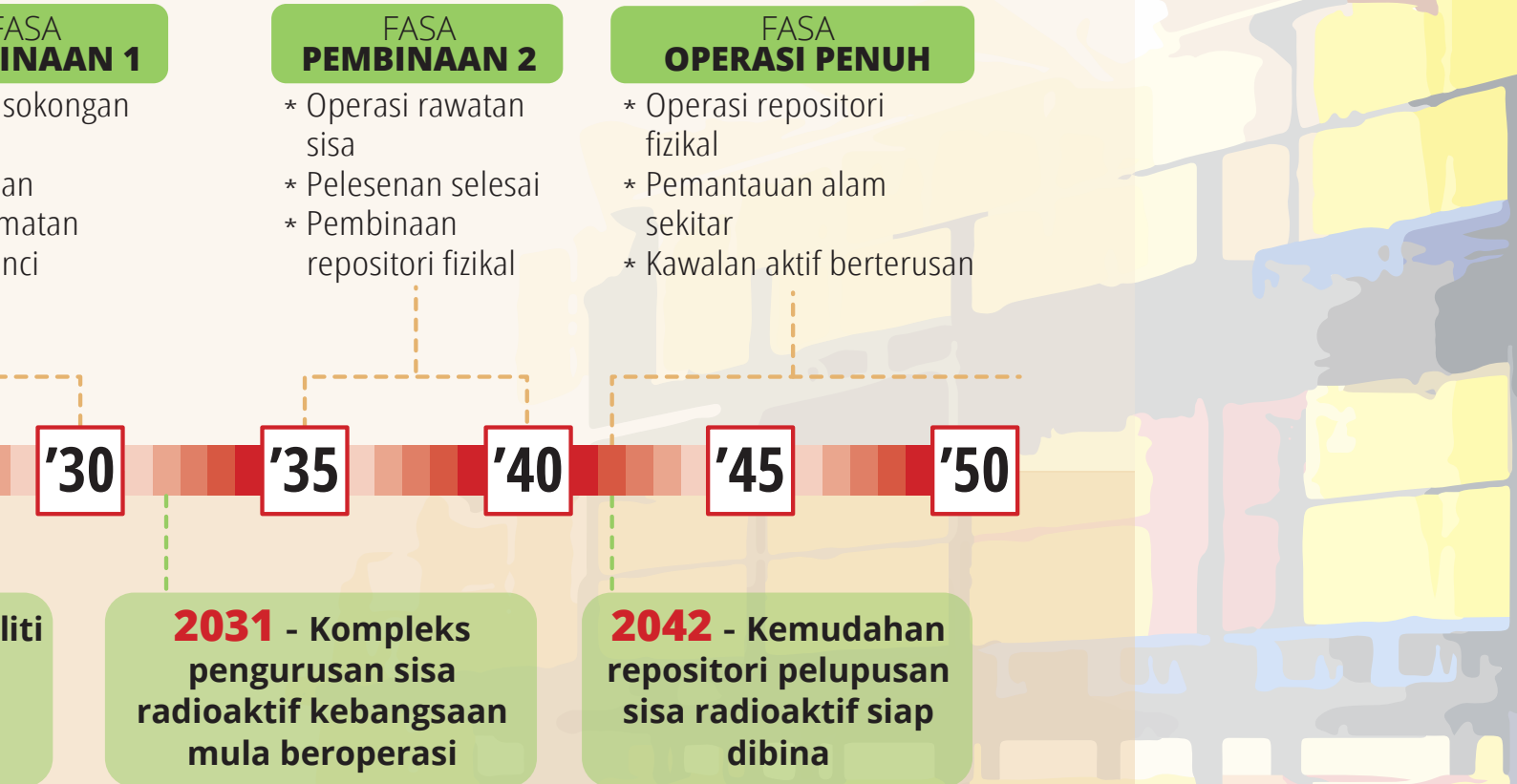
- Tanah yang dilindungi, mempunyai nilai ekonomi dan keselamatan.
- Tanah hutan yang diwartakan, taman negara, kawasan bersejarah, kawasan berkepentingan arkeologi dan badan air permukaan.
- Kawasan pulau atas sebab pelancongan dan keperihatinan orang ramai mengenai pengangkutan sisa radioaktif di kawasan laut.



Garis masa

Seperti yang disebutkan, repositori ini dicadang untuk dibina dalam Kompleks Pengurusan Sisa Radioaktif Kebangsaan. Anggaran keluasan bagi keseluruhan Kompleks ini ialah 20 hektar. Dua jenis repositori akan dibina disini kelak iaitu repositori dekat permukaan bagi melupuskan sisa aras rendah, dan repositori timbus tanah bagi sisa aras sangat rendah.

Walaupun bagaimanapun repositori hanyalah sebahagian sahaja daripada keseluruhan kompleks. Daripada gambaran



pembangunan Kompleks Pengurusan Sisa Radioaktif Kebangsaan

perspektif yang ditunjukkan di sini, selain daripada kemudahan repositori, terdapat juga pelbagai bangunan dan fasiliti lain didirikan untuk merawat dan mengkondisi sisa, bangunan stor, dan pusat latihan yang akan turut dibina di sini. Kemudahan penstoran sisa di Kompleks ini akan menyimpan sisa radioaktif yang telah dirawat secara terkawal sebelum ia dilupuskan. Makmal penyelidikan teknologi pengurusan sisa pula akan dimanfaatkan bagi memacu pembangunan teknologi perawatan dan pelupusan sisa radioaktif di Malaysia. Untuk memastikan proses ketelusan digarap dalam proses pembangunan kemudahan repositori, satu pusat keterlibatan awam juga dirancang untuk didirikan di pusat ini.

Pembangunan Kemudahan Repositori Kebangsaan adalah pelengkap dalam kitaran teknologi nuklear kerana menawarkan sistem pengurusan sisa radioaktif yang terancang dan mampan. Ini secara langsung akan dapat meningkatkan keyakinan rakyat terhadap kemampuan penyelidik tempatan khususnya dan negara amnya dalam memanfaatkan teknologi nuklear dalam pembangunan sosioekonomi negara.

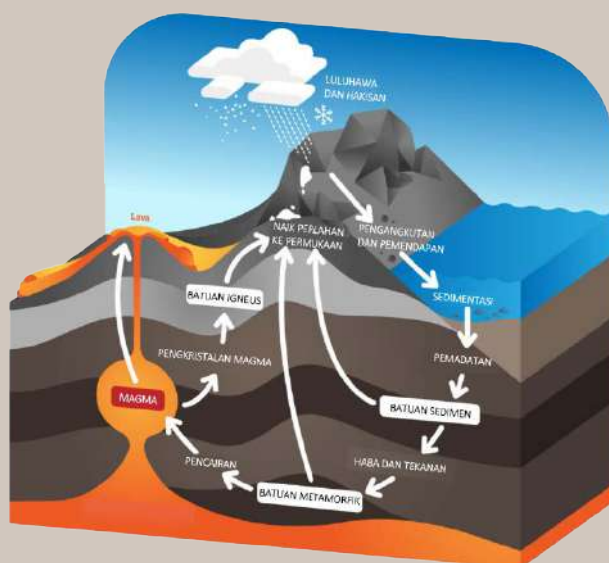
Teknologi Pelupusan: Ciri dan Kesesuaian Batuan Plutonik dalam Menempatkan Kemudahan Pelupusan

Nazran Harun

Objektif pelupusan sisa adalah untuk mengasingkan sisa dari manusia dan alam sekitar, dan membendung kemasukan radionuklid ke dalam sistem biosfera. Sistem pembendungan yang baik dapat memberi masa kepada radionuklid di dalam pakej sisa untuk mereput ke tahap yang selamat terlebih dahulu sebelum terbebas ke alam sekitar melalui proses hakisan semulajadi. Elemen pembendungan terdiri daripada beberapa lapis hadangan kejuruteraan dan hadangan semulajadi iaitu formasi geologi sedia ada di tapak kemudahan pelupusan itu dibina.

Menurut standard IAEA, sesuatu kemudahan pelupusan hendaklah berupaya memberikan fungsi pembendungan dan pengasingan selama sekurang-kurangnya beberapa ratus tahun untuk sisa berhayat pendek dan ribuan tahun untuk sisa aras sederhana dan tinggi. Dalam keadaan sedemikian, sisa yang lupuskan tidak akan dapat diceroboh oleh manusia dan haiwan manakala pembendungan berfungsi merencatkan penyebaran radionuklid keluar dari sistem pelupusan yang dibina. Standard berkaitan pelupusan yang diterbitkan oleh IAEA boleh dirujuk dalam:

- Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste Specific Safety Guide No. SSG-29,*
- Disposal of Radioactive Waste No. SSR 5*



Skematik kitaran batu

Sumber: <https://www.science-sparks.com/edible-rocks-rock-investigation/>

Oleh yang demikian, pemilihan jenis batuan sebagai perumah sesuatu kemudahan pelupusan sisa amat penting bagi memastikan fungsi pembendungan dan pengasingan dipenuhi. Batuan terdiri daripada tiga jenis utama iaitu:

- batuan igneus,
- batuan sedimen dan,
- batuan metamorfik.

Batuan igneus adalah batuan yang terhasil daripada lava dan magma. Ia terbentuk akibat penyejukan magma secara perlahan-lahan dalam kerak bumi dan menghasilkan batuan berhablur kasar. Batuan ini dipanggil sebagai batuan igneus rejahan atau plutonik. Batuan igneus juga boleh terbentuk daripada letusan gunung berapi yang menyejuk secara cepat, menghasilkan batuan berhablur halus. Batuan ini dipanggil sebagai batuan igneus letusan (volkanik). Contoh batuan igneus ialah granit yang banyak terdapat di Malaysia.

Taburan batuan igneus di semenanjung Malaysia agak meluas dan merupakan tulang belakang kepada lembangan. Berdasarkan kajian oleh Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia pada tahun 2008, kawasan batuan igneus juga merupakan kawasan yang mempunyai potensi kandungan air bawah tanah yang rendah iaitu berjulat 0 hingga 5 m³/jam. Keadaan ini sekaligus bukan sahaja dapat membendung sisa tetapi kandungan air bawah tanah yang rendah dapat mengurangkan potensi penyebaran radionuklid melalui air



Jenis-jenis batuan igneus

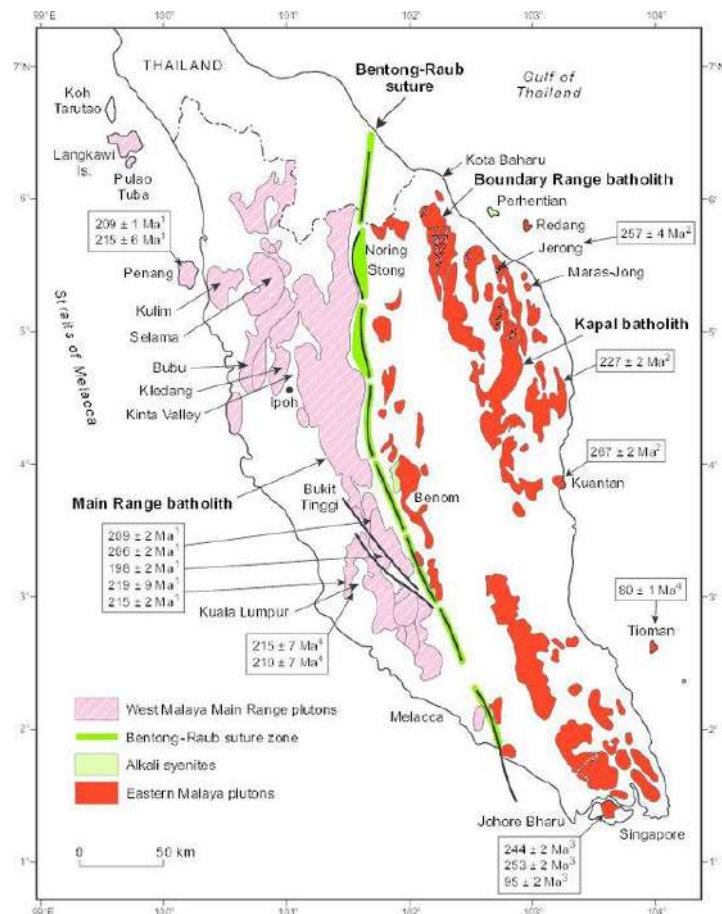
Sumber: <https://mineralseducationcoalition.org/>



Jenis-jenis batuan igneus

Sumber: <https://geology.com/rocks/scoria.shtml>

bawah tanah. Maka kawasan batuan igneus merupakan batuan perumah yang amat baik sebagai tapak untuk mendirikan kemudahan pelupusan sisa radioaktif bagi tujuan pengasingan dan pembendungan sisa radioaktif.



Taburan batuan igneous di semenanjung Malaysia terdiri dari dua pluton utama iaitu Plutonik Malaya Barat (merah jambu) dan Plutonik Malaya Timur (merah)

Sumber: M.P. Searle et. al. 2012

Penyelidik di Jepun mendapati bahawa batuan plutonik dikesan mempunyai kekonduksian hidraulik paling perlahan, kerana batuan ini mempunyai kecacatan struktur ira, liang dan rekahan yang kecil, maka pergerakan air bawah tanah melalui batuan ini terencat. Ini dapat melambatkan proses hakisan semulajadi berlaku. Batuan plutonik juga mempunyai tahap ketelapan yang paling rendah antara jenis-jenis batuan yang dikaji. Ciri ketelapan yang rendah mampu mengekang penyebaran radionuklid dengan lebih baik. Selain daripada itu, batuan plutonik mempunyai ciri kekonduksian haba yang tinggi. Batuan plutonik mempunyai nilai kekuatan yang sangat tinggi iaitu pada sekitar 110 Mpa iaitu jauh lebih tinggi dari jenis batuan lainnya, di mana ia mampu menampung berat hadangan kejuruteraan dan mengekalkan keutuhan fasiliti yang dibina.

Berdasarkan ciri-ciri yang dibincangkan, adalah jelas bahawa batuan plutonik merupakan ciri batuan yang paling sesuai bagi menempatkan fasiliti pelupusan sisa radioaktif. Malaysia amat beruntung kerana mempunyai formasi batu plutonik sebagai tapak bagi membina kemudahan pelupusan sisa radioaktif yang memenuhi ciri pembendungan dan pengasingan yang dikehendaki.



Ef Pemenc

Salah satu bentuk sisa radioaktif adalah dalam cecair. Sisa cecair beradioaktif datang dari industri perubatan, pendidikan, penyelidikan dan pembuatan. Sisa radioaktif cecair terbahagi kepada dua sifat utama iaitu akuas dan organan. Dalam pengertian mudah, sisa akuas adalah sisa cecair yang berasaskan air manakala sisa organan adalah sisa cecair yang berasaskan bahan kimia. Kedua-dua jenis sisa ini mempunyai kaedah pengurusan yang berbeza.

Selaku Pusat Pengurusan Sisa Radioaktif Kebangsaan, Nuklear Malaysia telah dipertanggungjawabkan bagi pengurusan kedua-dua jenis

sisa ini. Sisa cecair organik lazimnya diterima dari industri dan institusi luar. Sisa organik mempunyai dua kategori ancaman iaitu sinaran dan juga tahap ketoksikan. Justeru, mengurus sisa jenis ini perlu mengambil kira keduanya, dengan ancaman sinaran perlu dititikberatkan terlebih dahulu. Sinaran pada sisa ini dapat dihilangkan atau dikurangkan menerusi beberapa kaedah seperti pengekstrakan, pemprosesan semula dan simpanan pereputan. Hanya setelah tahap sinaran sisa ini dikurangkan ke tahap yang selamat, maka setelah itu, boleh diuruskan mengikut aturan sisa terjadual.



Sisa cecair organan beradu



Sisa cecair akuas atau lebih sinonim dengan terma sisa efluen pula kebiasaannya diterima dari kemudahan-kemudahan di Nuklear Malaysia termasuklah Reaktor TRIGA PUSPATI dan sinki sisa beradiasi dari makmal-makmal penyelidikan lainnya. Efluen yang tercemar tidak mempunyai tahap sinaran yang tinggi, namun masih perlu dipantau dan dirawat sekiranya perlu. Di dalam konsep pengurusan sisa radioaktif, peringkat perawatan adalah di mana isipadu sisa dikesilkan menjadi sekecil yang mungkin bagi memudahkan pengendalian dan menjimatkan ruang simpanan.

Nuklear Malaysia dilengkapi dengan kemudahan rawatan efluen yang dikenali sebagai Loji Rawatan Efluen Aras Rendah atau Low Level Effluent Treatment Plant (LLETTP). LLETTP telah dibina bersekalikan dengan Reaktor TRIGA Puspatri pada 1982 sebagai kelengkapan pengurusan efluen dari reaktor. Namun penggunaannya kini diperluaskan

Teknologi Pelupusan Efluen Beradioaktif: Kaedah Pemendakan dan Pengentalan

Ahmad Khairulikram Zahari



Radioaktif juga dikenali sebagai sisa tercampur berikutan terdapatnya jenis bahaya iaitu ketoksikan dan radiasi

merangkumi sinki-sinki sisa bersinaran (*hot sinki*) dan loji pemprosesan mineral. LLETTP menggunakan kaedah perawatan air yang konvensional namun berkesan untuk efluen yang tercemar dengan bahan sinaran. Proses ini dipanggil proses pemendakan (*coagulation*) dan pengentalan (*flocculation*).

Proses pemendakan dan pengentalan banyak digunakan dalam proses rawatan air bagi kegunaan awam termasuklah rawatan kumbahan, rawatan sisa industri, pembersihan air hujan, dan sebahagian dari proses penuliran air minuman. Proses ini digunakan secara meluas memandangkan prosedur rawatannya yang ringkas dan kos bahan rawatan yang murah.



Proses rawatan efluen di LLETP bermula dari tangki pengumpul di sebelah kanan dan seterusnya efluen dicampur dengan bahan kimia rawatan di dalam tangki pencampur di sebelah kiri

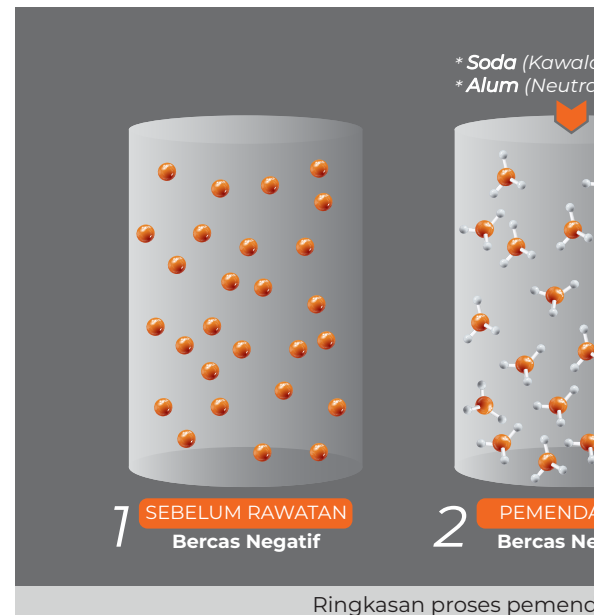


Proses mendakan berlaku di tangki mendakan dari efluen

Proses ini bagaimanapun juga sesuai untuk perawatan sisa efluen beradioaktif. Seperti sisa efluen lain, bahan cemar di dalam sisa efluen beradioaktif terdiri dari partikel yang terlarut dan terampai. Partikel-partikel ini bercas negatif dan saling menolak apabila menghampiri satu sama lain. Disebabkan itu, partikel-partikel ini tidak termendap dan sukar diasingkan dari medium akuas.

Rawatan melalui proses pemendakan berlaku apabila bahan kimia bercas positif dicampurkan ke dalam sisa efluen. Kehadiran cas positif dapat meneutralkan partikel-partikel bercas negatif lantas melenyapkan daya tolakan antara zarah bahan cemar menyebabkan penghasilan mendakan. Bahan kimia yang dikenali sebagai aluminium sulfida atau nama ringkasnya alum adalah bahan kimia yang paling biasa digunakan bagi tujuan ini. Alum adalah agen pemendak bersifat asid dan bagi mendapatkan hasil pemendakan maksimum, nilai pH sisa efluen perlulah dikawal terlebih dahulu sebelum rawatan. Kawalan pH ini boleh dilakukan dengan mencampurkan sisa efluen dengan bahan kimia beralkali seperti natrium bikarbonat atau lebih dikenali dengan panggilan ringkas iaitu soda sebelum dicampurkan dengan agen pemendak.

Walaupun tidak lagi menolak antara satu dengan yang lain, mendakan yang terhasil ini masih belum cukup untuk proses pemisahan atau penapisan yang berkesan berikutan saiz partikel yang masih terlalu kecil. Mendakan ini perlu digabungkan bersama menjadi koloid-koloid yang lebih besar. Penggabungan ini dinamakan sebagai proses pengentalan. Di dalam proses pengentalan, agen pengental contohnya Praestol ditambah di dalam efluen yang sedang dirawat. Agen pengental ini akan menggabungkan partikel-partikel mendakan dan membentuk mendakan yang lebih besar dan tumpat yang akan terkumpul ke dasar tangki rawatan dengan lebih mudah dengan tindakan graviti. Ini secara langsung memudahkan proses pemisahan mendakan tercemar dari medium akuas yang dirawat.

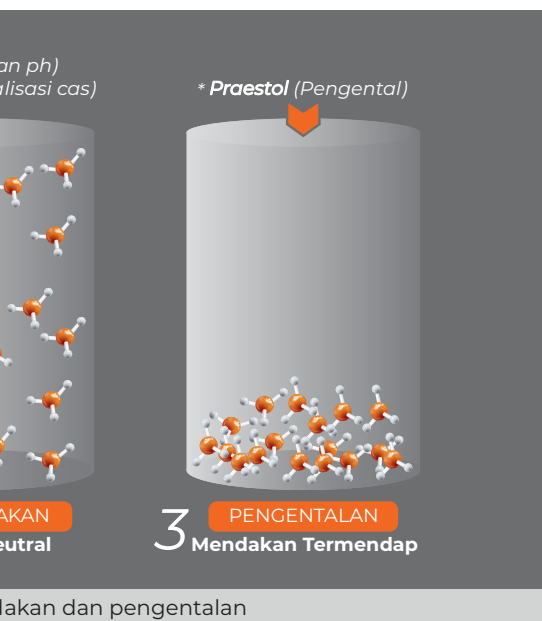


Mendapan yang telah terkumpul di dasar tangki rawatan kemudiannya diasingkan dari efluen yang telah dirawat, seterusnya dikeringkan dan disimpan. Efluen yang telah dirawat pula dipantau sekali lagi bagi memastikan unsur cemar telah dipisahkan dengan memuaskan sebelum dilepaskan ke alam sekitar.

Pada tahun 2019, LLETP telah dinaik taraf bagi menampung keperluan rawatan jenis sisa efluen baharu iaitu dari loji pemprosesan mineral yang baru dibina. Laluan rawatan baharu ini yang dinamakan



pemendak (kanan) dan seterusnya pemisahan terjadi di tangki pengendapan (kiri)



lakan dan pengentalan

sebagai laluan alfa, merupakan laluan rawatan tambahan kepada laluan rawatan gamma sedia ada. Namun begitu, kaedah perawatan bagi laluan baharu ini adalah masih sama iaitu menggunakan kaedah pemendakan dan pengentalan. Pemisahan laluan rawatan kepada dua laluan berasingan adalah supaya efluen mengandungi alfa tidak tercampur dengan efluen mengandungi beta dan gamma yang akan mengakibatkan pencemaran silang seterusnya merumitkan proses rawatan.



Mendakan yang diasingkan dari efluen yang dirawat dikeringkan di dalam kolam pengering suria

Beberapa percubaan awal dalam merawat sisa baharu ini didapati berkesan dalam merendahkan tahap cemaran di dalam efluen. Ini telah membuktikan bahawa kaedah pemendakan dan pengentalan adalah masih relevan dalam kaedah perawatan efluen beradioaktif.



Teknologi Efluen Beradioaktif Konsep Pencairan dan Penyebaran

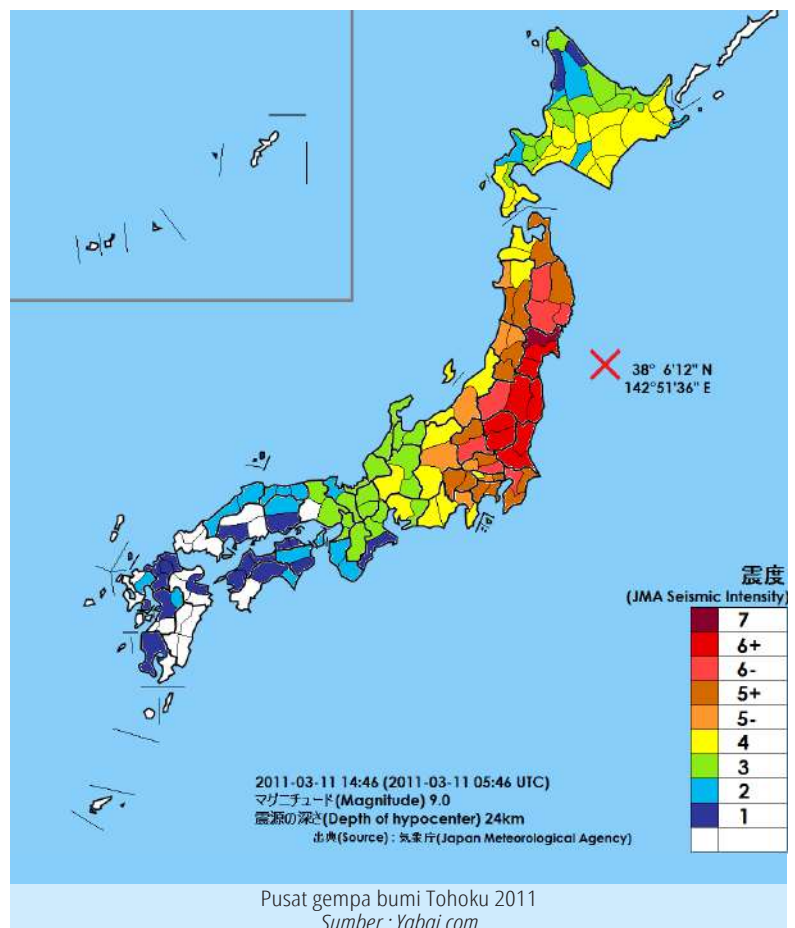


gi Pelupusan ktif Terawat: an di Fukushima

Rohyiza Baan



Gempa bumi berukuran 9.0 pada skala Richter yang melanda Jepun pada 11 Mac 2011 jam 14:46 waktu tempatan (05:46 GMT) telah mencetuskan tsunami yang dahsyat. Gempa bumi ini dikenali sebagai Gempa Bumi Besar Jepun Timur (*The Great East Japan Earthquake*) atau gempa bumi Tōhoku 2011 iaitu yang paling kuat pernah dicatatkan di Jepun. Akibatnya, tsunami besar telah melanda pulau utama Honshu, memusnahkan pekan-pekan pesisir pantai dan menyebabkan lebih dari 18,000 orang kehilangan nyawa. Kejadian ini juga menyebabkan plat dasar laut seluas 650 kilometer telah tersesar sejauh 50 meter secara mendatar dan 10 meter secara menegak. Kedudukan negara Jepun telah teralih beberapa meter ke timur dan pantai sekitar menurun sebanyak setengah meter.



Tsunami dahsyat ini juga melanda Fukushima, pekan di mana terletaknya loji tenaga nuklear Fukushima Daiichi. Fukushima Daiichi yang terletak di tepi laut telah terkena impak tsunami ini dan menyebabkan sistem keselamatan gagal berfungsi. Ini seterusnya mengakibatkan letupan gas hidrogen dan mencairkan enam reaktor nuklear jenis air didih (*Boiling Water Reactor*). Kejadian ini telah mencetuskan bencana nuklear terbesar di Asia Pasifik dan merupakan titik permulaan krisis pencemaran nuklear akibat kerosakan dan pelepasan bahan radioaktif. Dianggarkan kira-kira sejumlah 770,000 TeraBq bahan radioaktif telah terlepas ke atmosfera. Pelepasan ini telah memaksa pihak berkuasa Jepun mengarahkan lebih dari 150,000 orang penduduk untuk berpindah keluar dari lingkungan 80 kilometer dari kawasan kejadian.



IAEA mengklasifikasikan kemalangan ini pada tahap tujuh iaitu tahap tertinggi dalam pengelasan kemalangan nuklear. Insiden ini adalah bencana nuklear terburuk dunia, selepas bencana Chernobyl yang berlaku pada 26 April 1986, 35 tahun lalu.

Kini, satu dekad telah berlalu. Kawasan yang terjejas dengan bahaya sinaran masih belum lagi selamat untuk didiami. *Tokyo Electric Power Company (TEPCO)* memaklumkan kepada kerajaan Jepun bahawa kerja-kerja pembersihan memerlukan masa hingga 40 tahun untuk selesai dan bakal menelan belanja sekitar 8 trilion Yen (300 bilion Ringgit Malaysia). Kerja-kerja pembersihan ini merangkumi pengumpulan tanah permukaan, perombakan bangunan reaktor dan pembersihan air bawah tanah serta air yang digunakan untuk menyejukkan teras reaktor. 1.25 juta tan air yang tercemar ini dirawat dan disimpan di dalam 1000 buah tangki yang ditempatkan di sekitar kawasan stesen janakuasa ini. Tangki-tangki ini kian bertambah dan semakin memenuhi ruang yang ada. Tambahan pula, ruang yang besar masih diperlukan untuk kerja-kerja menyahtauliahkan bangunan-bangunan reaktor dan fasiliti-fasiliti berkaitan.

Oleh yang demikian, pada 13 April 2021 yang lalu kerajaan Jepun telah mengumumkan satu keputusan untuk melepaskan air tercemar ini ke lautan Pasifik.





Tangki simpanan air terawat di kawasan loji janakuasa Fukushima Daiichi
 Sumber: <https://www.scmp.com/week-asia/politics/article/3130507/backlash-japans-fukushima-waste-water-plan-quietens-south-korea>

Seperti yang dijangka, keputusan ini telah mencetuskan reaksi negatif dari penduduk tempatan khususnya kumpulan nelayan dan pertubuhan alam sekitar. Keputusan Jepun itu juga turut menerima bantahan daripada negara serantau seperti Korea Utara, Korea Selatan, China dan Taiwan yang kebanyakannya risau akan kesan buruk bahan radioaktif ke atas ekosistem hidupan laut.

Namun begitu, selepas ditimbang tara, keputusan melepaskan air tercemar ke laut adalah pilihan paling realistik untuk pemulihan Fukushima. Keputusan ini perlu dibuat kerana ruang untuk penyimpanan air sisa tercemar dijangka mencapai kapasiti penuh menjelang tahun 2022.

Menurut TEPCO, air yang tercemar mengandungi sejumlah isotop radioaktif termasuk cesium, strontium, dan plutonium. Proses rawatan untuk menyingkirkan bahan

radioaktif ini dijalankan menggunakan Sistem Pemprosesan Cecair Termaju (*Advanced Liquid Processing System*) atau ALPS iaitu satu sistem penapisan menyeluruh bagi memenuhi piawaian penguatkuasaan antarabangsa. Namun, terdapat satu isotop radioaktif yang masih kekal di dalam air terawat iaitu tritium yang tidak dapat disingkirkan melalui strategi dan teknik sedia ada.

Oleh yang demikian, kerajaan Jepun merancang menangani isu ini dengan kaedah mencairkan kepekatan tritium di dalam air terawat ke tahap di bawah 1,500 Bq perliter. Nilai tersebut adalah 7 kali ganda lebih rendah dari had yang disyorkan mengikut garis panduan keselamatan air minuman oleh Pertubuhan Kesihatan Sedunia (WHO). Tahap ini juga adalah 40 lebih rendah dari had kepekatan yang dibenarkan bagi pelepasan sisa cecair radioaktif ke persekitaran yang telah ditetapkan di dalam Akta Penguatkuasaan Reaktor (*Reactors Regulation Act*), IAEA.

Di dalam perancangannya, TEPCO akan melepaskan air sisa terawat secara perlahan-lahan bermula pada tahun



Pemantauan yang dijalankan oleh pihak IAEA ke atas kerja-kerja penyahtauliah loji reaktor Fukushima pada 7 November 2018. Sumber: IAEA

2023. Pelepasan air ke lautan Pasifik secara beransur-ansur ini secara keseluruhannya akan mengambil masa kira-kira 30 tahun dan dijangka berakhir sebelum proses penyahtauliah kawasan loji selesai. IAEA juga mengeluarkan pendapat bahawa kaedah ini adalah selari dengan amalan loji tenaga nuklear biasa. Amerika Syarikat turut menyokong dan menyatakan rancangan pelepasan air buangan terawat itu seiring dengan standard keselamatan sinaran global.

Sungguhpun begitu, tidak semua negara berkongsi pendapat yang sama. Perancangan pelepasan ini mendapat bantahan yang tegas oleh negara-negara asia timur seperti Korea Utara, Korea Selatan dan China kerana dilihat berpotensi mengancam kesihatan penduduk dan alam sekitar sehingga diangkat ke Tribunal Antarabangsa Undang-Undang Laut (ITLOS). Negara-negara ini turut menuntut pampasan daripada kerajaan Jepun dan mendesak agar maklumat prosedur rawatan dan pembuangan air tercemar diberikan dengan telus.



Bantahan yang diadakan di Korea Selatan menekankan isu keselamatan makanan yang berkemungkinan terjejas. Sumber: SCMP

Sebagai anggota Program Alam Sekitar Pertubuhan Bangsa-Bangsa Bersatu (UNEP), Malaysia tidak terkecuali memberi pandangan tentang impak pelepasan air sisa terawat loji nuklear di peringkat antarabangsa. Walaupun tahap pencemaran air Fukushima berada di bawah had garis panduan antarabangsa, pelepasan air beradioaktif sekalipun dalam kuantiti yang sedikit tetapi berterusan dilihat mampu memberi kesan terhadap jaminan makanan sedunia.

Peny

Penambahbaikan Berterusan Pengurusan DSRS dan Sisa Radioaktif di Nuklear Malaysia

Norosalwa Zakaria, PhD



Kemudahan penstoran sementara bagi tujuan penyimpanan DSRS tahap tinggi yang dikenali sebagai DSRS Interim Storage II yang sedang dalam pembinaan



Ujian pengesanan ketebalan dan keberkesanan pemerisaian yang dijalankan di DSRS Interim Storage II menggunakan kaedah ujian tanpa musnah



Blok 33 yang merupakan stor sementara utama di Agensi Nuklear Malaysia

Salah satu pemangkin kejayaan pengurusan sisa radioaktif yang selamat dan sistematik bergantung kepada perancangan yang teliti dan terkehadapan. Perancangan yang sempurna seperti yang diamalkan oleh WasTeC merangkumi perancangan jangka pendek, sederhana dan panjang. Hasilnya dapat dilihat melalui pelbagai kejayaan yang dicapai serta

penyempurnaan projek-projek pembangunan dan aktiviti pengurusan. Sebagai contoh, usaha untuk menaik taraf kemudahan sedia ada di WasTeC telah giat dijalankan sejak tahun 2017 hingga 2020, di bawah dua pelan pembangunan negara iaitu Rancangan Malaysia ke 10 dan ke 11. Usaha ini didorong oleh faktor peningkatan jumlah sisa radioaktif yang diterima saban tahun dan kemudahan sedia ada bakal mencapai kapasiti yang maksimum. Usaha menaiktaraf ini juga adalah bagi membolehkan Nuklear Malaysia berfungsi sebagai pusat pengurusan sisa radioaktif kebangsaan dengan sepenuhnya hasil peningkatan kapasiti dan keupayaan pengurusan sisa radioaktif. Antara kemudahan baharu yang sedang dibina ialah stor penyimpanan sementara khusus punca radioaktif terkedap terpakai (DSRS) yang akan dikenali sebagai *DSRS Interim Storage II*. Kemudahan ini dijangka siap sepenuhnya pada akhir tahun 2021. Stor ini direka bentuk khusus bagi menyimpan DSRS beraktiviti tinggi atau pun mana-mana pakej sisa yang mempunyai bacaan kadar dos yang tinggi.



Penyenggaraan fasiliti sentiasa dilakukan bagi menjamin tahap keselamatan ruang pekerjaan

Selain daripada itu, WasTeC sentiasa mengambil inisiatif memperkemas, memperbaiki dan mempertingkatkan tahap keselamatan dan sekuriti kemudahan-kemudahan yang sedia ada yang lain. Sebagai contoh, kerja-kerja pengubahsuaian dilaksanakan di bangunan stor sementara utama di Blok 33 dengan penambahan sistem kren kekal



Ker...





bagi memudahkan penyusunan pakej-pakej sisa yang berat. Ini sekaligus dapat meningkatkan tahap keselamatan ruang kerja dan mengurangkan risiko dedahan kepada sinaran radioaktif serta kecederaan fizikal bagi operator pengurusan sisa terlibat.

Rutin pengurusan sisa radioaktif merangkumi kerja-kerja seperti pencirian, penyisihan, pemeriksaan, penyahcemaran, peleraian mesin dan alat, rawatan, dan pengkondisian. Pertambahan kuantiti yang diterima saban tahun, lebih banyak ruang dan kawasan yang diperlukan bagi membolehkan kerja-kerja tersebut dijalankan dengan lebih teratur, selamat dan mematuhi prosedur serta standard tertentu. Sehubungan itu, WasTeC berhasrat membuka beberapa lagi kawasan kerja

bagi melancarkan operasi rutin tersebut. Antara yang dirancang ialah ruang stor simpanan khusus bagi sisa radioaktif tercemar dan sisa radioaktif pepejal pukal, serta ruang simpanan sisa yang telah mencapai aras bersih atau susut. Bagi mencapai hasrat ini, beberapa kerja pengubahsuaian telah dilaksanakan, yang seterusnya akan dilesenkan mengikut kehendak perlesenan LPTA sebelum dapat menjalankan fungsi dan aktiviti yang dirancang.

Kemudahan lain yang telah turut diubahsuai ialah Loji Rawatan Efluen Aras Rendah (LLETP). Dalam pada itu, terdapat banyak lagi kemudahan yang diperlukan pada masa hadapan. Antara yang dirancang untuk dibina pada masa hadapan ialah loji rawatan sisa pepejal dan kemudahan pengendalian gas *krypton*. Turut dalam perancangan ialah kemudahan penyahtauliah (*decommissioning*) dalam rangka menyokong aktiviti penyahtauliah reaktor penyelidikan PUSPATI yang dijadualkan pada tahun 2035. Fasiliti ini dan kapasiti yang berkaitan perlu dibangunkan sebelum kerja-kerja penyahtauliah reaktor dimulakan. Kesemua perancangan ini memerlukan aturan yang rapi, dan usaha yang digembeleng secara berterusan sama ada dalam bentuk kepakaran teknikal, sumber peruntukan, polisi dan hala tuju jabatan dan negara amnya.



Kemudahan kren di dalam stor sementara utama yang memudahkan kerja penyusunan sisa dan punca radioaktif terpakai



Ruang stor simpanan sisa radioaktif tercemar dan pukal



Ruang simpanan sisa aras bersih

Pengurusan DSR Alat Penangkap Kilat Terpak

Rafizi Salihuddin

Alat penangkap kilat biasanya dipasang pada struktur bangunan yang tinggi. Ketika cuaca buruk, kilat yang terhasil akan menyambar pada terminal alat ini dan terus dialirkan ke bumi. Alat ini amat penting bagi mengelakkan kerosakan struktur bangunan dan melindungi peralatan elektrik dan elektronik. Pada zaman awalnya, alat penangkap kilat dimasukkan punca radioaktif yang lazimnya dari jenis penyinar alfa. Penyinar ini akan mengeluarkan sinaran mengion yang dikatakan mampu menambahkan konduktiviti udara disekelilingnya dan seterusnya meningkatkan kebarangkalian alat ini disambar kilat. Walaubagaimanapun, kajian keberkesanan yang dijalankan kemudiannya menunjukkan penggunaan punca radioaktif tidak memberi apa-apa kelebihan berbanding alat penangkap kilat biasa. Perkembangan ini telah menyebabkan pengharaman penggunaannya di kebanyakan negara.

WasTeC telah dipertanggungjawabkan untuk menerima serta mengumpul alat penangkap kilat yang mengandungi punca sinaran terkedap dari bangunan-bangunan di seluruh negara apabila kerajaan mengharamkan penggunaannya bermula Jun 1989. Pengharaman ini merangkumi segala



aktiviti mengenainya termasuklah penjualan, import dan penggunaan alat tersebut di seluruh Malaysia. Namun sehingga hari ini, dianggarkan masih terdapat sekitar 500 alat penangkap kilat lama yang masih terpasang di pelbagai bangunan. Ini adalah kerana kerja pengalihan penangkap kilat ini melibatkan risiko keselamatan dan kos yang tinggi.

Alat penangkap kilat ini perlu dibungkus dengan cara yang betul sebelum dihantar ke Nuklear Malaysia kerana terdapat kemungkinan bahawa bahan sinaran di dalamnya terbebas keluar setelah alat ini terdedah kepada elemen alam seperti hujan, panas dan petir selama bertahun-tahun lamanya. Pengendalian, pembungkusan dan pengangkutan alat penangkap kilat adalah tertakluk dibawah Peraturan Perlindungan Sinaran (Pengangkutan) tahun 1989, dan Peraturan Perlesenan Tenaga Atom

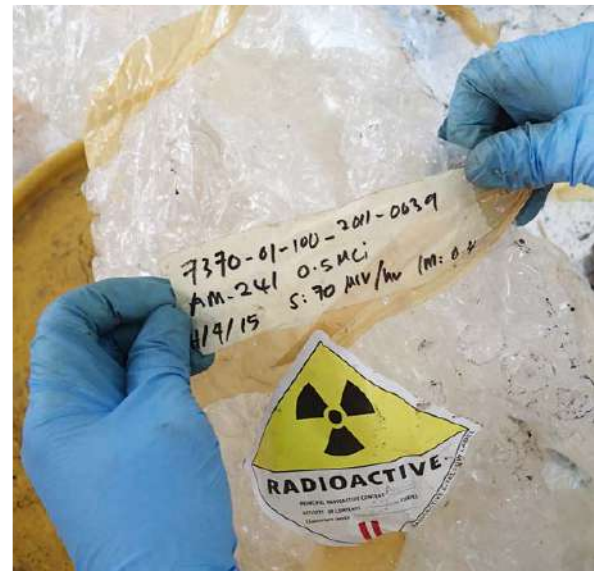
(Pengurusan Sisa Sinaran) tahun 2011 seperti yang digariskan oleh Lembaga Pelesenan Tenaga Atom (LPTA). Pengurusan alat ini melibatkan penanggalan bahagian kepala atau bekas pembendung yang mempunyai punca sinaran terkedap ini dikeluarkan dari komponen utamanya. Aktiviti ini harus dilakukan dengan teliti bagi mengelakkan punca sinaran tersebut mencemarkan permukaan lain. Bagi menjimatkan ruang penyimpanan, hanya punca sinaran tersebut serta bekas pembendungnya disimpan.

Aktiviti meleraikan penangkap kilat hendaklah dilakukan oleh operator terlatih, sama ada dari Nuklear Malaysia atau syarikat yang telah diberikan kebenaran oleh pihak LPTA. Seperti alatan lain yang mengandungi punca terkedap juga, komponen luar penangkap kilat bersinaran ini mempunyai beberapa maklumat yang menerangkan jenis radionuklid, nilai kesinaran asal, model, nombor siri dan tarikh pembikinan. Maklumat ini membantu pihak pengurusan sisa melakukan persediaan dan langkah pengendalian yang betul.



Contoh alat penangkap kilat yang telah ditanggalkan dari bangunan tinggi

Sehingga tahun 2016, fasiliti penyimpanan sementara kebangsaan di Nuklear Malaysia telah menempatkan sejumlah 149 unit alat penangkap kilat yang mana kesemuanya telah diceraikan dari komponen utama secara teliti oleh pekerja yang terlatih. Ini bertujuan menjimatkan ruang penyimpanan dengan hanya memilih bahagian beradioaktif. Bahagian ini diuruskan dan disimpan di dalam fasiliti penyimpanan yang dikawal rapi sementara menunggu pelupusan di kemudahan lubang gerek (*borehole disposal facility*) yang sedang dibangunkan.



Alat penangkap kilat terpakai yang diterima oleh Agensi Nuklear Malaysia dibungkus dengan baik bagi mengelakkan pencemaran dan maklumat yang lengkap



Aplikasi alat penangkap kilat yang terdedah kepada keadaan ekstrim menuntut supaya ia dibina dari bahan tahan lasak bagi melindungi punca radioaktif terkedap di dalamnya. Ini secara tidak langsung merumitkan kerja mengeluarkan punca terkedap ini

Sisa sinaran dikategorikan dalam beberapa tahap bergantung kepada hayat dan tahap sinaran. Alat penangkap kilat bersinaran yang telah ditanggalkan dari lokasi asal untuk tujuan pelupusan dikategorikan sebagai sisa sinaran tahap rendah tetapi berpotensi untuk mencetuskan pencemaran sinaran.



Alat penangkap kilat diceraikan untuk mengeluarkan punca terkedap di dalamnya



reaktor nuklear Malaysia
dilabel dengan



Maklumat yang terdapat pada bahagian badan alat penangkap kilat yang menerangkan jenis radionuklid, tahap aktiviti dan tahun pembuatan. Maklumat-maklumat ini adalah penting untuk kerja pengurusan sisa radioaktif



Contoh punca terkedap yang dikeluarkan dari alat penangkap kilat terpakai

Sumber sinaran yang telah ditanggalkan dari alat penangkap kilat dikumpulkan di dalam kapsul yang telah dikhaskan dan diasingkan mengikut jenis radionuklid. Setakat tahun 2017, jumlah punca radioaktif yang terkumpul dari alat penangkap kilat sahaja adalah sebanyak 647 unit. Jumlah ini adalah terdiri dari 417 unit Ra-226 dan 230 unit Am-241 yang dimuatkan dalam empat kapsul. Bagi tujuan rujukan pada masa akan datang satu sistem yang merekodkan maklumat DSRS ini telah dibangunkan, sistem ini telah berjaya merekodkan maklumat radioaktiviti, kadar dos, model asal penangkap kilat dan nombor siri setiap unit. Data ini amat penting untuk disimpan kerana akan digunakan dalam merancang reka bentuk dan ciri-ciri fasiliti pelupusan di masa akan datang.



nca radioaktif



Rekod inventori sisa radioaktif dan DSRS perlu seiring dengan kerja pengurusan sisa radioaktif bagi menjamin kelestarian sistem pengurusan untuk tempoh masa yang lama



Pengurusan sisa radioaktif di Malaysia amat penting kerana bahan-bahan radioaktif yang telah tidak digunakan lagi perlu diuruskan dengan baik dan sistematik. Ini kerana sisa radioaktif yang tidak diuruskan dengan baik boleh mengakibatkan ancaman keselamatan dan kemudaran kepada manusia serta alam sekitar. Tahniah kepada Nuklear Malaysia khususnya WasTeC kerana memberikan perkhidmatan yang sistematik dan terbaik.

Maimanah binti Muhamad,
Pegawai Sains Fizik,
Hospital Canselor Tuanku
Mukhriz

Di peringkat hospital, pengurusan sisa radioaktif dikendalikan oleh Pegawai Sains (Fizik). Sisa radioaktif perlu diasingkan mengikut jenis radioisotop. Ini kerana, setiap radioisotop mempunyai jangka separuh hayat yang berlainan. Sisa radioaktif disimpan dahulu di tempat yang telah dikhaskan untuk proses pereputan. Kebiasaannya, sisa radioaktif yang diuruskan diperingkat jabatan mempunyai separuh hayat yang sekejap. Yang pastinya, tempat yang telah dikhaskan ini perlulah tempat yang jauh dari laluan orang ramai. Selepas paras radiasi sisa tersebut di bawah had bacaan yang dibenarkan, barulah dilupuskan sebagai sisa am. Bagi sisa radioaktif yang mempunyai separuh hayat yang panjang, sisa tersebut diuruskan oleh agensi luar. Ini kerana hospital tidak mempunyai tempat khas untuk penyimpanan sisa radioaktif jenis tersebut. Sebagai contoh agensi yang boleh menguruskan sisa radioaktif tersebut ialah Nuklear Malaysia. Bayangkan jika pengurusan sisa radioaktif ini tidak diuruskan dengan cara yang betul. Jika diperingkat hospital, pastinya akan mendatangkan kemudaran kesihatan kepada pekerja konsesi (Radicare) yang akan mengambil sisa tersebut untuk tujuan pelupusan sisa am. Jika di luar dari hospital, pastinya juga mendatangkan kemudaran kesihatan kepada orang awam yang berada berdekatan dengan kawasan di mana sisa tersebut dibuang.

Nurul Nadiyah binti Rapie,
Pegawai Sains Fizik,
Hospital Kuala Lumpur



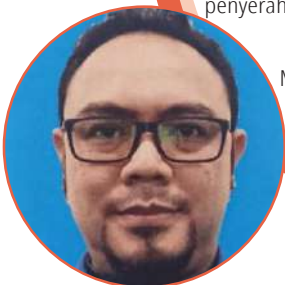
L P T A merupakan badan kawal selia penggunaan tenaga atom di Malaysia. Dalam pengurusan sisa radioaktif di Malaysia, LPTA berperanan dalam menyemak dan meluluskan permohonan pelupusan sisa radioaktif. Salah satu kaedah pelupusan bahan radioaktif ialah dengan memulangkan ke negara asal syarikat pengeluar bahan tersebut. Namun, jika syarikat pengeluar tersebut sudah tidak wujud maka boleh dipohon untuk dilupuskan oleh Nuklear Malaysia. Selain itu, bahan-bahan radioaktif yang disita dan tidak dituntut juga akan dipohon untuk dilupuskan ke Nuklear Malaysia. Oleh hal yang demikian, LPTA bekerjasama erat dengan Nuklear Malaysia dalam memastikan pelupusan sisa radioaktif dijalankan dengan selamat dan mematuhi akta dan peraturan yang ditetapkan selaras dengan objektif LPTA iaitu untuk memastikan penggunaan tenaga atom adalah selamat, terjamin dan dikawal guna demi melindungi masyarakat, pekerja dan alam sekitar.

Amirul Shazmie bin Jamaluddin,
Pegawai Sains, LPTA



Memberi banyak manfaat dan kemudahan pelupusan kepada syarikat kami selaku pemegang lesen LPTA kelas G dan H (Juruperunding). Banyak aktiviti pelupusan sisa radioaktif daripada klien kami yang memohon khidmat untuk menguruskan sisa radioaktif milik mereka mengikut perundangan. Selain itu, perkhidmatan pengurusan sisa oleh WasTeC dijalankan secara teratur dan sistematik bermula dari segi sebut harga, pembayaran fi pelupusan, komunikasi dengan kakitangan yang terlibat, penghantaran sisa radioaktif di kemudahan WasTeC dan sehingga kepada penyerahan dokumen penerimaan sisa radioaktif tersebut.

Muhammad Redzuan bin Tajuddin,
Penyelia Perlindungan Sinaran,
Alypz Sdn. Bhd.

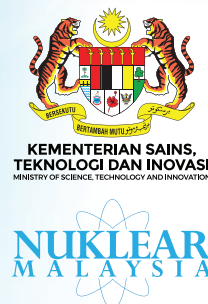
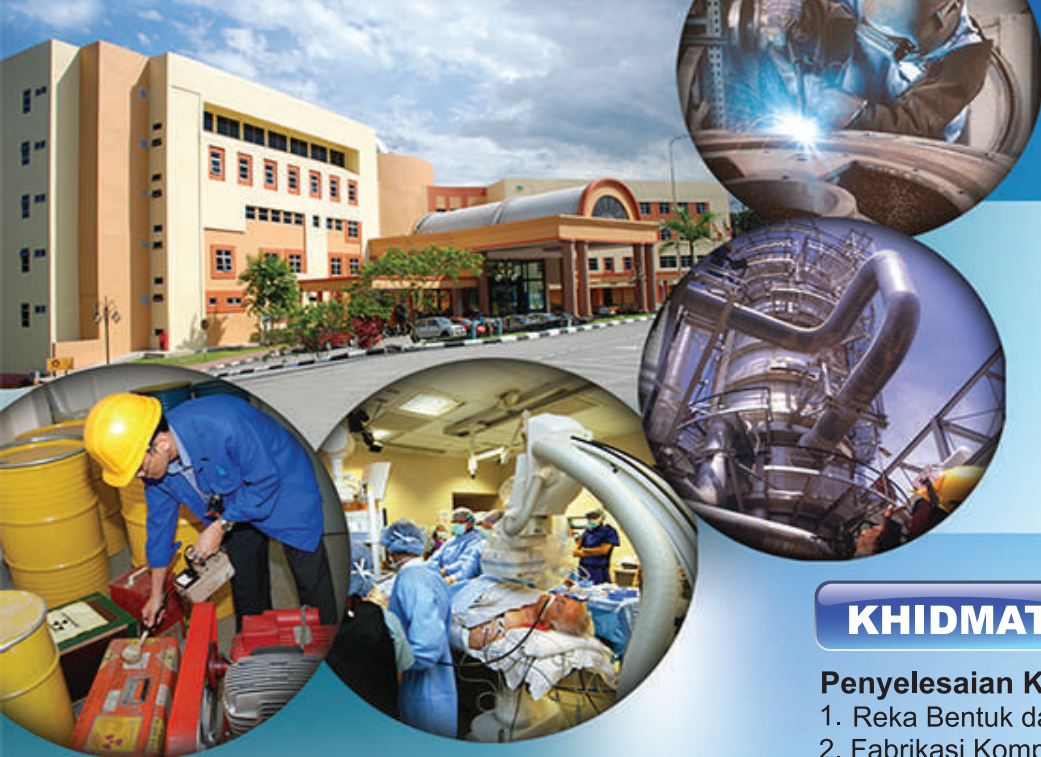


Kepentingan Pengurusan Sisa Radioaktif di Malaysia?

Pada pendapat saya, pengurusan sisa radioaktif di Malaysia adalah pada tahap yang terjamin keselamatannya terhadap orang awam dan alam sekitar. Nuklear Malaysia bertanggungjawab mengurus serta mengendalikan masalah-masalah berkaitan dengan sisa radioaktif. Dari sudut polisi dan gerak kerja pengurusan sisa radioaktif, Nuklear Malaysia memiliki kumpulan pengurusan khas yang cekap, efisien dan bertanggungjawab khusus kepada memudahkan cara dan mengurus sisa-sisa radioaktif yang dilaporkan. Meskipun wujud beberapa kekangan kemudahan dan kepakaran, Nuklear Malaysia mengatasinya dengan bertindak secara sinergi dengan kerjasama organisasi pengurusan sisa radioaktif lain mempunyai kepakaran tertentu untuk menyelesaikan masalah. Harapan saya, melalui sokongan dan tadbir yang urus yang baik, Nuklear Malaysia mampu melangkah lebih jauh dalam bidang pengurusan sisa radioaktif dan diperlukan suatu hari nanti sebagai pasukan khidmat nasihat wajib yang memiliki kepentingan dalam membuat keputusan dalam setiap organisasi, industri mahupun syarikat yang memiliki latar belakang yang berkaitan.

Muhammad Abdullah bin Md. Harashid,
Pelajar Latihan Industri, UKM





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



JOM
UPDATE INFO BERSAMA
NUKLEAR MALAYSIA



FOLLOW US



i-NUKLEAR

ILMU . IDEA . INFORMASI



KEMENTERIAN SAINS,
TEKNOLOGI DAN INOVASI



AGENSI NUKLEAR MALAYSIA
Bangi, 43000 Kajang, Selangor Darul Ehsan



Agensi Nuklear Malaysia



Agensi Nuklear Malaysia



nuklearmalaysia



@NuklearM



www.nuclearmalaysia.gov.my