

Pengurusan Sisa Radioaktif dan Bahan Api Nuklear Terpakai

Mohd Zaidi Ibrahim



Tahun 1982 merupakan tahun penting dalam sejarah pengurusan sisa radioaktif negara. Hal ini dikatakan demikian kerana buat pertama kalinya sisa radioaktif mendapat perhatian masyarakat Malaysia apabila terdapat dakwaan bahawa berlaku pencemaran sisa radioaktif di sebuah negeri di negara ini.

Semenjak peristiwa itu, masyarakat sering dihantui dengan kesan buruk akibat terdedah kepada sisa radioaktif seperti penyakit kanser, kecacatan semasa kelahiran dan pencemaran alam sekitar. Hal ini disebabkan oleh kebanyakan orang tidak mengetahui bahawa sebenarnya sisa radioaktif boleh diurus dengan selamat.

Apakah Sisa Radioaktif?

Sisa radioaktif ialah bahan yang mengandungi radionuklid atau tercemar dengan radionuklid pada kepekatan atau aktiviti yang lebih tinggi daripada aras pembersihan (*clearance level*) yang ditetapkan oleh pihak berkuasa kawal selia di sesebuah negara. Bahan radioaktif tersebut terdiri daripada bahan yang tidak

digunakan lagi dan tidak bertujuan untuk digunakan semula.

Antara punca utama penghasilan sisa radioaktif termasuklah operasi nuklear reaktor dan pemprosesan semula bahan api nuklear terpakai yang menghasilkan pelbagai jenis sisa radioaktif. Bagi negara yang mempunyai reaktor nuklear komersial atau negara kuasa nuklear, kebanyakan sisa radioaktif berasal daripada aktiviti penjanaan elektrik dan ketenteraan. Secara umumnya, sisa radioaktif di Malaysia terhasil daripada aktiviti seperti perubatan, pembuatan, penyelidikan, pertanian, penerokaan, dan pemprosesan mineral, serta cari gali minyak dan gas.

Industri minyak dan gas banyak menghasilkan sisa radioaktif. Aktiviti mencari gali minyak dan gas melibatkan penggunaan punca radioaktif terkepad seperti Sesium-137 dan Amerisium-242/Berilium. Punca radioaktif terkepad ialah bahan radioaktif yang diletakkan di dalam bekas yang berintegriti tinggi supaya sinaran radiasi bahan tersebut dimanfaatkan sambil bahan di dalamnya tidak terlepas keluar dan membahayakan

alam sekitar. Punca radioaktif terkepad ini banyak digunakan dalam bidang perubatan, industri dan penyelidikan. Apabila tidak lagi digunakan, punca radioaktif ini diisytiharkan sebagai punca radioaktif terpakai atau *disused sealed radioactive sources* (DSRS).

Sementara itu, aktiviti cari gali, perlombongan dan pemprosesan minyak dan gas menghasilkan sisa bahan radioaktif semula jadi (NORM) dalam bentuk enap cemar, kerak paip, sedimen, penapis terpakai, dan lain-lain. Di Malaysia, enap cemar minyak dikecualikan daripada kawalan pihak kawal selia sisa radioaktif, iaitu Lembaga Perlesenan Tenaga Atom (LPTA), namun begitu dikelaskan sebagai sisa terjadual yang dikawal oleh Jabatan Alam Sekitar (JAS).

Pemprosesan mineral yang mengandungi bahan radioaktif seperti monazit dan ilmenit bagi tujuan menghasilkan sebatian titanium oksida dan unsur nadir bumi turut menghasilkan sisa NORM sebagai hasil sampingan. Sisa radioaktif yang terhasil adalah berisi padu besar, tetapi beraktiviti rendah (bergantung pada sumber mineral). Perlombongan



Peralatan yang mengandungi DSRS.

uranium, timah dan besi juga menghasilkan tahi lombong yang mengandungi NORM dalam bentuk enap cemar dan sangga. Walau bagaimanapun, tiada aktiviti perlombongan dan pemproses uranium di Malaysia.

Pengurusan DSRS perlu dilaksanakan dengan pematuhan kepada piawaian keselamatan yang ketat dan amalan selamat antarabangsa. Pengurusan DSRS amat penting kepada negara yang mempunyai sedikit sisa radioaktif berbahaya. Pilihan pengurusan DSRS termasuklah penghantaran balik kepada pembekal, pengurusan di dalam negara dan

penyelesaian pada peringkat antarabangsa yang bergantung pada polisi sesebuah negara.

Pengelasan Sisa Radioaktif

Pengelasan sisa radioaktif merupakan langkah penting bagi memudahkan pemilihan kaedah pengurusan yang sesuai dengan sisa radioaktif tersebut. Kebanyakan negara menggunakan kaedah pengelasan berdasarkan konsep pengelasan yang dicadangkan oleh Agensi Tenaga Atom Antarabangsa (IAEA). Sisa radioaktif biasanya dikelaskan kepada sisa aras sangat rendah (VLLW), sisa aras

rendah (LLW), sisa aras sederhana (ILW) atau sisa aras tinggi (HLW), bergantung pada aras keradioaktifannya dan bersesuaian dengan kaedah pelupusan yang diperlukan.

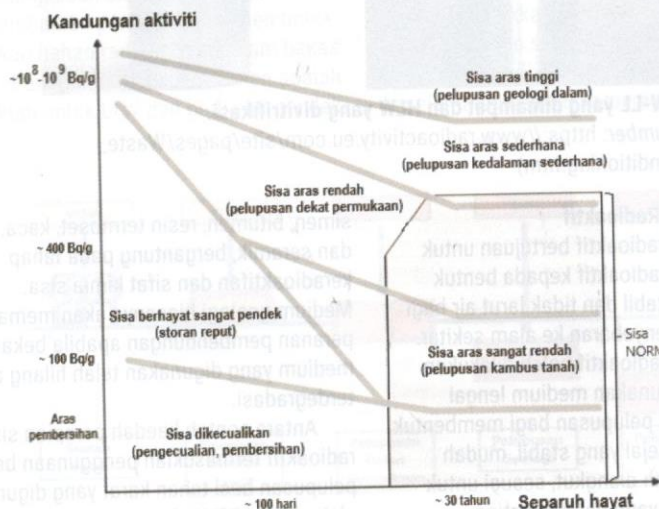
Sebahagian besar HLW terdiri daripada bahan api terpakai dari reaktor nuklear. HLW juga terhasil daripada penghasilan bahan nuklear dan pemprosesan semula bahan api nuklear terpakai. Walaupun HLW membentuk sebahagian kecil daripada jumlah keseluruhan sisa, HLW menyumbang kepada sebahagian besar radioaktiviti. Bentuk sisa nuklear yang paling kuat ini perlu disimpan dengan selamat hingga satu juta tahun.

Polisi dan Strategi Pengurusan Sisa Radioaktif

Polisi pengurusan sisa ialah matlamat atau keperluan yang ditetapkan oleh kerajaan untuk keselamatan pengurusan bahan api terpakai dan sisa radioaktif di samping menentukan peranan dan tanggungjawab pihak yang terlibat dalam pengurusan sisa. Strategi pengurusan sisa pula ialah cara untuk mencapai matlamat dan keperluan yang ditetapkan dalam polisi tersebut. Strategi pengurusan sisa biasanya dibangunkan oleh pemilik atau pengendali sisa yang berkaitan.

Setiap negara harus mempunyai polisi dan strategi untuk mengurus bahan api terpakai dan sisa radioaktifnya bagi melindungi individu, masyarakat dan alam sekitar daripada kesan sinaran mengion berbahaya, sama ada pada masa sekarang dan masa hadapan. Bagi memastikan keberkesanan pelaksanaannya, kerajaan harus mewujudkan rangka kerja perundangan dan kawal selia, termasuklah penetapan badan kawal selia bebas untuk menguatkuasakan peraturan yang berkaitan.

Pihak yang menghasilkan sisa radioaktif biasanya bertanggungjawab untuk pengurusan sisa, termasuklah dari segi kewangan bagi memastikan sisa radioaktif diurus dengan betul dan selamat. Kerajaan pula bertanggungjawab ke atas sisa radioaktif yang tiada pemilik seperti sisa radioaktif daripada kemudahan dan aktiviti lepas serta punca piatu.



Skim pengelasan sisa radioaktif yang diguna pakai di Malaysia berasaskan konsep pengelasan yang dicadangkan oleh IAEA.

Polisi pengurusan sisa menetapkan keperluan perlindungan fizikal dan kawalan keselamatan kemudahan, meminimumkan penjejakan sisa radioaktif termasuklah melalui kitar semula dan penggunaan semula, syarat import dan/atau eksport serta penggunaan konsep aras pembersihan untuk pelepasan daripada kawalan kawal selia yang merangkumi bahan api terpakai, DSRS, sisa NORM, dan semua jenis sisa radioaktif yang perlu dikawal selia.

Polisi pengurusan bahan api terpakai perlu menjelaskan sama ada bahan api terpakai dianggap sebagai sumber yang akan diproses semula atau sisa yang perlu dilupus atau dipulangkan kepada pembekal. Kebanyakan negara menyimpan bahan api terpakai sementara menunggu untuk membuat pilihan tersebut. Dalam kes bahan api terpakai daripada reaktor penyelidikan, polisi pemulangan kepada pembekal sering digunakan. Polisi pengurusan bahan api terpakai juga menentukan keperluan pelibatan orang ramai dalam rancangan pengurusan sisa radioaktif. Pada masa ini, kebanyakan negara cenderung terhadap dasar keterbukaan dan ketelusan berhubung dengan pengurusan sisa radioaktif.

Di Malaysia, pengurusan sisa radioaktif bermula sejak Agensi Nuklear Malaysia (Nuklear Malaysia) ditubuhkan. 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 dengan pengurusan sisa radioaktif seperti perkhidmatan pungutan sisa, perkhidmatan perundingan, penyelidikan dan pembangunan, perawatan sisa, dan pelupusan. Nuklear Malaysia bukan sahaja bertanggungjawab untuk mengurus sisa radioaktif di agensi, bahkan sisa radioaktif daripada sektor luar yang menggunakan sumber radioaktif dalam operasi pengeluaran mereka.

Rawatan Sisa Radioaktif

Rawatan sisa radioaktif merupakan proses penting bagi memastikan sisa radioaktif berada dalam bentuk yang selamat dari segi

fizikal, kimia dan radiologi, terutamanya untuk tujuan penstoran dan pelepasan ke persekitaran. Terdapat pelbagai kaedah untuk merawat sisa radioaktif. Rawatan yang biasa digunakan dalam pengurusan sisa radioaktif adalah seperti yang berikut:

1. Penyahcemaran: Proses penting bagi mengurangkan penghasilan sisa radioaktif melalui kaedah guna semula atau kitar semula atau pembersihan.
2. Pemampatan: Proses untuk mengurangkan isi padu sisa radioaktif bagi menjimatkan ruang penstoran dan mematuhi kriteria pelupusan. Sisa dalam bentuk pepejal boleh mampat perlu dimampat untuk memudahkan perapian serta memberikan kestabilan dan penjimatan ruang kemudahan pelupusan.
3. Pengeringan: Proses ini tertakluk kepada pengurusan sisa berbentuk cecair yang tidak sesuai untuk penstoran mahupun pelupusan. Proses

yang biasa digunakan untuk merawat sisa radioaktif cecair ialah pertukaran ion/penyerapan, pemendakan kimia, penyejatan atau turasan ultra/osmosis terbalik.

4. Pemejalan sisa: Sisa dalam bentuk yang tidak stabil secara fizikal seperti lilin, minyak, enap cemar, dan sebagainya perlu ditukarkan kepada bentuk pepejal yang stabil. Pemejalan sisa dibuat dengan mencampurkan bahan yang sesuai seperti polimer, penyerap, simen, dan sebagainya.
5. Pembungkusan: Pembungkusan sangat penting dalam rawatan sisa radioaktif tetapi bergantung pada proses pengurusan yang akan dilalui. Kebanyakan sisa radioaktif memerlukan pembungkusan di dalam bekas untuk memudahkan pengendalian serta memenuhi kriteria pengangkutan, penstoran dan pelupusan yang selamat.



ILW-LL yang dimampat dan HLW yang divitrifikasi.

(Sumber: https://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Waste_Conditioning.htm)

Perapian Sisa Radioaktif

Perapian sisa radioaktif bertujuan untuk menukar sisa radioaktif kepada bentuk pepejal yang stabil dan tidak larut air bagi menghalang penyebaran ke alam sekitar. Perapian sisa radioaktif boleh dilakukan dengan menggunakan medium lengai di dalam bekas pelupusan bagi membentuk bungkusan pepejal yang stabil, mudah dikendali, mudah diangkut, sesuai untuk penstoran, dan yang paling penting mematuhi kriteria untuk pelupusan.

Pelbagai medium boleh digunakan untuk perapian sisa radioaktif, termasuklah

simen, bitumen, resin termoset, kaca, dan seramik, bergantung pada tahap keradioaktifan dan sifat kimia sisa. Medium geologi biasanya akan memainkan peranan pembendungan apabila bekas dan medium yang digunakan telah hilang atau terdegradasi.

Antara contoh kaedah perapian sisa radioaktif termasuklah penggunaan bekas pelupusan besi tahan karat yang digunakan oleh pihak AREVA, Perancis untuk perapian sisa aras pertengahan berhayat panjang (ILW-LL) dan HLW. Kaca borosilikat yang sangat tahan terhadap haba dan sinaran



LLW yang dirapi dengan menggunakan simen.

(Sumber: https://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Waste_Conditioning.htm)

digunakan untuk vitrifikasi HLW yang terhasil daripada aktiviti pemrosesan semula bahan api nuklear terpakai. Kaca ini kemudiannya dimasukkan ke dalam bekas keluli tahan karat bagi memudahkan pengendaliannya. Struktur sisa yang telah divitrifikasi sangat tahan terhadap interaksi dengan air bawah tanah.

ILW-LL yang lebih banyak dihasilkan daripada HLW boleh dirapikan dengan bitumen atau konkrit dan dipadatkan atau diletakkan di dalam bekas keluli tahan karat, kaedah yang sama seperti yang digunakan untuk sisa vitrifikasi. Pihak AREVA, Perancis misalnya menggunakan simen untuk merapi LLW. Keratan rentas bungkusan sisa bersimen ini menggambarkan penggunaan simen untuk merapikan bahan radioaktif di dalam bekas konkrit. Penggunaan medium simen adalah mencukupi untuk LLW dan berhayat pendek.

LLW hanya mengandungi sedikit bahan radioaktif. Pemampatan merupakan kaedah yang berkesan untuk mengurangkan jumlah isi padu LLW. Penggunaan simen, bitumen atau resin membolehkan LLW dirapikan di dalam drum.

Penstoran Sisa Radioaktif

Penstoran merupakan kemudahan yang paling penting dalam pengurusan sisa radioaktif. Hal ini dikatakan demikian kerana hampir pada setiap tahap pengurusan, sisa radioaktif memerlukan penstoran.

Kawasan penstoran sisa radioaktif merupakan kawasan larangan yang tidak boleh diakses tanpa kebenaran bagi mengelakkan berlakunya kecurian, kehilangan dan sabotaj. Kawasan penstoran perlu dilengkapi dengan peralatan keselamatan seperti kamera pemantauan,

dua lapis pagar keselamatan, pengesanan pergerakan, dan kawalan akses yang bersesuaian dengan tahap keselamatan yang diperlukan.

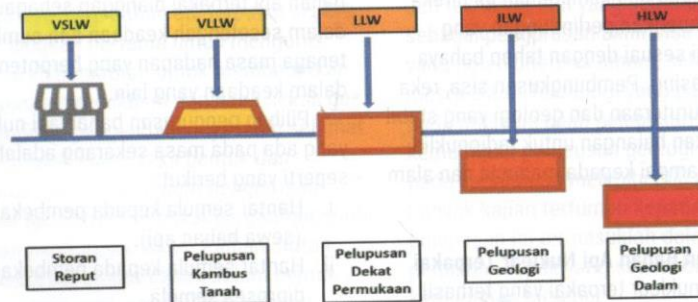
Pelupusan Sisa Radioaktif

Pelupusan sisa radioaktif bermaksud penempatan sisa radioaktif atau efluen yang dibuang secara terus. Objektif pelupusan sisa adalah untuk mengasingkan sisa daripada manusia dan alam sekitar serta membendung kemasukan radionuklid ke dalam sistem biosfera. Terdapat beberapa kaedah pelupusan yang selamat bagi sisa radioaktif, bermula daripada pelupusan geologi sehinggalah pelupusan berhampiran permukaan dan pelepasan terus ke alam sekitar.

Kawasan penstoran sisa radioaktif merupakan kawasan larangan yang tidak boleh diakses tanpa kebenaran bagi mengelakkan berlakunya kecurian, kehilangan dan sabotaj.

Sisa berhayat sangat pendek (VSLW) hanya memerlukan penstoran reput untuk membolehkan kandungan radioaktiviti mereput ke aras pembersihan dan sisa boleh dilupuskan sebagai sisa terjadual atau sampah biasa. VLLW pula hanya memerlukan kaedah pelupusan kambus tanah di permukaan yang ringkas tanpa memerlukan penghalang kejuruteraan untuk melindungi orang awam dan alam sekitar daripada terdedah secara terus kepada radiasi.

Seterusnya, LLW memerlukan pelupusan dekat permukaan dengan sisa dan dirapikan di dalam bekas dengan penghalang kejuruteraan bagi melindungi orang awam dan alam sekitar daripada



Kaedah pelupusan selamat mengikut kelas sisa radioaktif.

dua lapis pagar keselamatan, pengesan pergerakan dan kawalan akses yang disesuaikan dengan tahap keselamatan yang diperlukan.

Pelupusan Sisa Radioaktif
Pelupusan sisa radioaktif bermaksud penghapusan sisa radioaktif atau elemen yang dibuang secara terus. Objekti-

nya adalah untuk memastikan bahawa sisa tersebut tidak menimbulkan ancaman kepada kesihatan manusia dan alam sekitar. Pelupusan ini melibatkan pemindahan dan pemusnahan sisa radioaktif, biasanya dengan menggunakan teknologi pemusnahan yang selamat.

Pelupusan geologi merupakan pelupusan dengan menggunakan bahan-bahan yang stabil dan tahan lama untuk menyimpan sisa radioaktif. Pelupusan geologi ini melibatkan pemindahan dan pemusnahan sisa radioaktif ke dalam lapisan geologi yang stabil.

Pelupusan geologi ini melibatkan pemindahan dan pemusnahan sisa radioaktif ke dalam lapisan geologi yang stabil. Pelupusan geologi ini melibatkan pemindahan dan pemusnahan sisa radioaktif ke dalam lapisan geologi yang stabil.

Pelupusan geologi ini melibatkan pemindahan dan pemusnahan sisa radioaktif ke dalam lapisan geologi yang stabil. Pelupusan geologi ini melibatkan pemindahan dan pemusnahan sisa radioaktif ke dalam lapisan geologi yang stabil.

Pelupusan geologi ini melibatkan pemindahan dan pemusnahan sisa radioaktif ke dalam lapisan geologi yang stabil. Pelupusan geologi ini melibatkan pemindahan dan pemusnahan sisa radioaktif ke dalam lapisan geologi yang stabil.

Pelupusan geologi ini melibatkan pemindahan dan pemusnahan sisa radioaktif ke dalam lapisan geologi yang stabil. Pelupusan geologi ini melibatkan pemindahan dan pemusnahan sisa radioaktif ke dalam lapisan geologi yang stabil.

Pelupusan geologi ini melibatkan pemindahan dan pemusnahan sisa radioaktif ke dalam lapisan geologi yang stabil. Pelupusan geologi ini melibatkan pemindahan dan pemusnahan sisa radioaktif ke dalam lapisan geologi yang stabil.

Pelupusan geologi ini melibatkan pemindahan dan pemusnahan sisa radioaktif ke dalam lapisan geologi yang stabil. Pelupusan geologi ini melibatkan pemindahan dan pemusnahan sisa radioaktif ke dalam lapisan geologi yang stabil.

Pelupusan geologi ini melibatkan pemindahan dan pemusnahan sisa radioaktif ke dalam lapisan geologi yang stabil. Pelupusan geologi ini melibatkan pemindahan dan pemusnahan sisa radioaktif ke dalam lapisan geologi yang stabil.



terdedah secara langsung kepada radiasi dan melalui rantaian makanan. Pelupusan dekat permukaan merupakan kemudahan pelupusan yang paling banyak beroperasi. Kemudahan ini biasanya digunakan untuk LLW dan ILW hayat pendek dengan separuh hayat hingga 30 tahun sahaja.

Sementara itu, ILW memerlukan sisa dirapi dan kemudahan pelupusan dengan penghalang kejuruteraan pada kedalaman melebihi 30 meter (pelupusan geologi). Untuk HLW pula, sisa ini memerlukan perapian dan kemudahan pelupusan dengan penghalang kejuruteraan pada kedalaman melebihi 300 meter (pelupusan geologi

dalam). Kedua-dua kemudahan ini direka untuk memberikan perlindungan yang lebih tinggi sesuai dengan tahap bahaya masing-masing. Pembungkusan sisa, reka bentuk kejuruteraan dan geologi yang stabil menyediakan halangan untuk radionuklid daripada sampai kepada manusia dan alam sekitar.

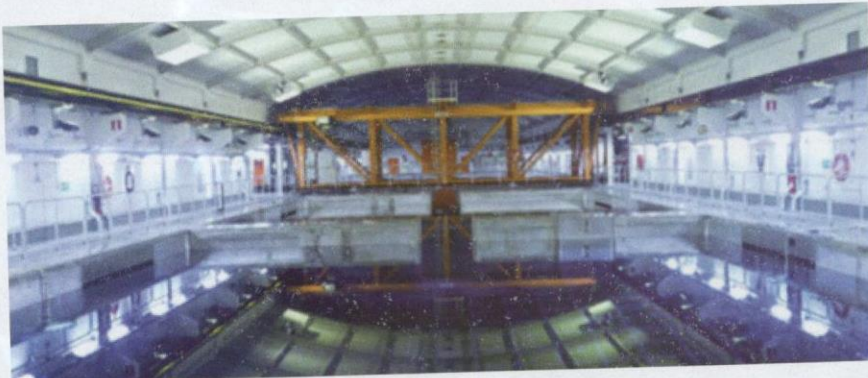
Pengurusan Bahan Api Nuklear Terpakai

Bahan api nuklear terpakai yang terhasil daripada operasi semua jenis reaktor nuklear perlu diurus dengan selamat selepas dikeluarkan daripada teras reaktor. Bergantung pada polisi sesebuah negara,

bahan api terpakai dianggap sebagai sisa dalam sesetengah keadaan dan sumber tenaga masa hadapan yang berpotensi dalam keadaan yang lain.

Pilihan pengurusan bahan api nuklear yang ada pada masa sekarang adalah seperti yang berikut:

- i. Hantar semula kepada pembekal (sewa bahan api).
- ii. Hantar semula kepada pembekal untuk diproses semula.
- iii. Pemrosesan semula.
- iv. Pelupusan terus ke dalam repositori sisa radioaktif.
- v. Pilihan terbuka.



Kolam penstoran basah.

(Sumber: <https://www.stimson.org/2021/geological-disposal-and-spent-nuclear-fuel/>)



Bekas penstoran kering.

(Sumber: <https://worksthatwork.com/3/message-to-the-future/share/e8758f8c69f28bb2a0a1ff8d8a91196e>)

Mana-mana pilihan pengurusan bahan api nuklear terpakai akan melibatkan penstoran bahan api terpakai. Tempoh masa untuk penstoran boleh berbeza-beza, dari beberapa bulan hingga beberapa dekad, dan bergantung pada strategi pengurusan yang digunakan. Sebagai contohnya, bagi bahan api terpakai seperti HLW, langkah pertama untuk mengurus HLW ialah penstoran untuk membenarkan pereputan radioaktiviti dan haba sekali gus menjadikan pengendaliannya lebih selamat.

Tempoh masa, reka bentuk dan susunan penstoran dalam pengurusan bahan api nuklear terpakai bergantung pada pilihan pengurusan akhir. Pilihan storan termasuklah storan basah dalam bentuk kolam simpanan, storan kering dalam kemudahan atau di dalam bekas simpanan yang dibina untuk tujuan ini. Bekas simpanan bahan api nuklear terpakai boleh diletakkan di kawasan yang ditetapkan

di tapak reaktor atau di bangunan penyimpanan. Sebilangan reka bentuk bekas simpanan bahan api nuklear terpakai telah dibangunkan dengan berbeza-beza untuk simpanan basah dan kering.

Selain kaedah penstoran bagi bahan api nuklear terpakai, terdapat banyak kaedah dan teknologi lain yang sedang dikaji sebagai pengurusan akhir sisa radioaktif yang boleh diterima umum, selamat dan mesra alam. Teknologi yang paling digemari pada masa ini ialah pelupusan ke dalam kemudahan pelupusan geologi dalam pada kedalaman melebihi 300 meter. Kini, banyak kajian tertumpu kepada teknologi pelupusan ini termasuklah dalam aspek pemilihan tapak yang sesuai bagi membina kemudahan tersebut.

Di Finland, syarikat Posiva telah mencadangkan konsep pelupusan bahan api terpakai dibungkus di dalam tong tembaga dan ditanam dalam batuan

dasar Olkiluoto pada kedalaman sekitar 400 meter. Sweden juga menggunakan konsep yang hampir sama, iaitu bekas tembaga dengan sisipan keluli digunakan untuk melupuskan bahan api terpakai. Selepas menempatkan bekas tersebut pada kedalaman kira-kira 500 meter dalam batuan dasar, bekas itu akan dilitupi dengan bentonit untuk membendung radioaktiviti yang sangat tinggi dalam bahan api terpakai untuk tempoh masa yang sangat lama.

Bahan api terpakai boleh diproses untuk mengitar semula uranium dan plutonium yang terkandung di dalamnya. Beberapa HLW cecair yang terhasil semasa pemrosesan semula perlu divitrifikasi dalam kaca dan disimpan sementara menunggu pelupusan.

ILW yang mengandungi radioisotop berhayat panjang boleh disimpan, sementara menunggu pelupusan ke dalam kemudahan pelupusan geologi pada kedalaman melebihi 30 meter. Sesetengah negara melupuskan ILW yang mengandungi radioisotop jangka pendek dalam kemudahan pelupusan berhampiran permukaan, seperti yang digunakan untuk pelupusan LLW.

Satu daripada pemangkin kejayaan pengurusan sisa radioaktif yang selamat dan sistematik bergantung pada perancangan yang teliti dan terkehadapan. Pengurusan sisa radioaktif yang selamat adalah sangat penting untuk memastikan kelestarian kegiatan ekonomi yang menghasilkan sisa radioaktif seperti industri minyak dan gas, industri pemrosesan mineral, perubatan, penyelidikan, perlombongan, dan penggunaan peralatan berteknologi tinggi yang sangat penting dalam kehidupan manusia serta ekonomi sesebuah negara.

Boleh dikatakan sisa radioaktif merupakan hasil sampingan yang tidak dapat dielakkan. Semakin maju sesebuah negara, semakin banyak sisa radioaktif yang dihasilkan. Untuk memastikan pengurusan bahan api terpakai dan sisa radioaktif yang selamat dan optimum dari segi teknikal dan kos efektif, polisi serta strategi pengurusan yang sesuai amatlah diperlukan. ¹⁴