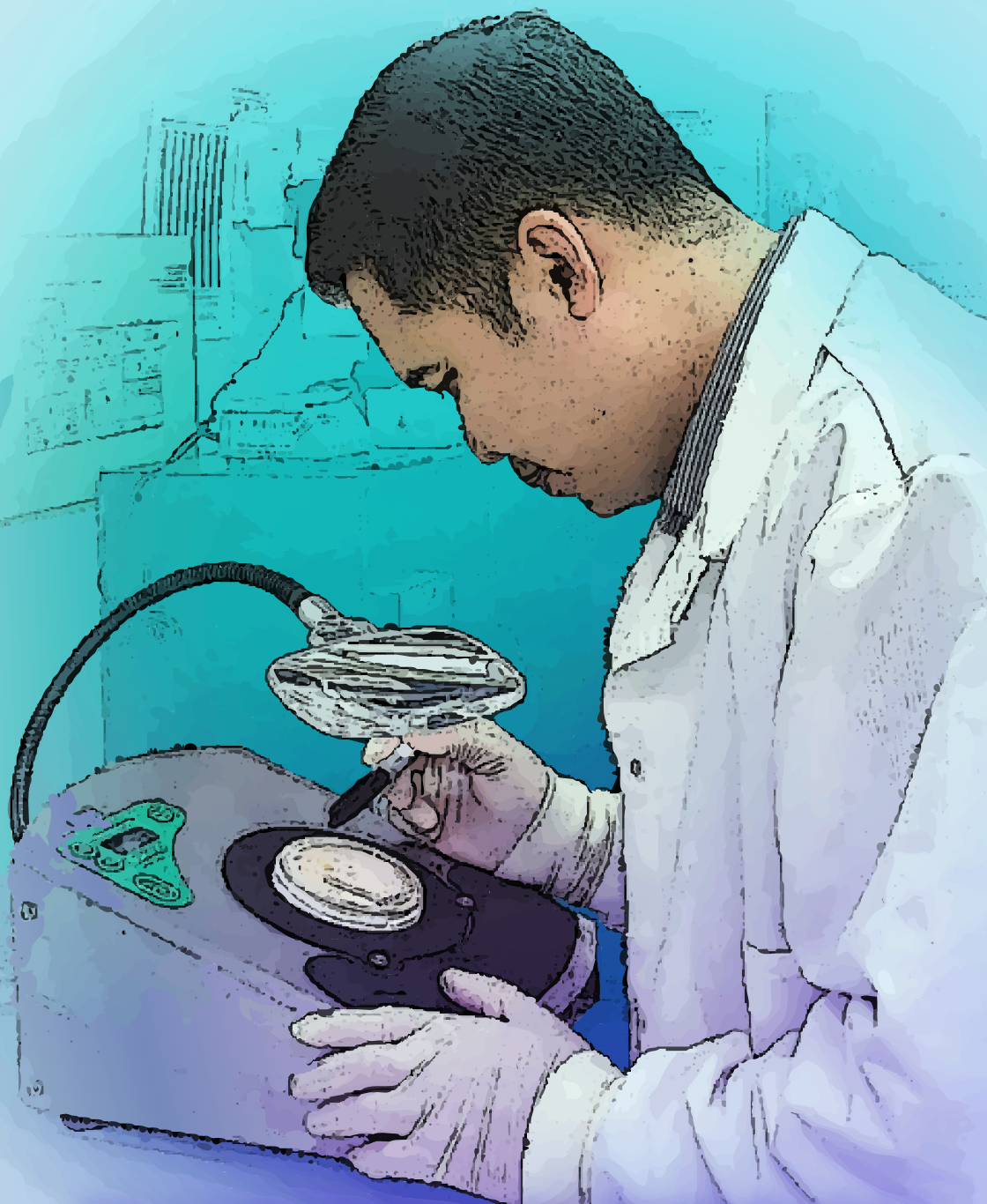


i-NUKLEAR

ILMU . IDEA . INFORMASI



TRANSFORMASI TEKNOLOGI
NUKLEAR DALAM PERUBATAN

Sejarah

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

PUSPATI telah diletakkan di bawah Kementerian Sains, Teknologi dan Alam Sekitar (MOSTE). Tahun 1983 merupakan detik penting bagi agensi apabila diberikan identiti baru iaitu Unit Tenaga Nuklear (UTN). Serentak dengan itu, UTN telah dipindahkan dari MOSTE ke Jabatan Perdana Menteri (JPM). Ini memberi impak yang besar kepada peranan agensi kerana buat pertama kalinya aktiviti nuklear yang melibatkan perancangan polisi negara dan kegiatan operasi nuklear disatukan di bawah naungan JPM. Namun pada 27 Oktober 1990, UTN telah dipindahkan semula ke MOSTE. Jemaah Menteri dalam mesyuaratnya pada 10 Ogos 1994, telah meluluskan pertukaran nama UTN kepada Institut Penyelidikan Teknologi Nuklear Malaysia (MINT).

Logo baru juga telah diperkenalkan pada 22 Oktober 1994 ketika Hari Pelanggan MINT, yang juga julung kali diadakan. Bagi memberi arah hala yang lebih jelas, visi MINT diperkemas kepada mempertingkatkan pembangunan dan daya saing ekonomi negara melalui kecemerlangan dalam teknologi nuklear. Pada 13 April 2005 sekali lagi agensi mengalami perubahan entiti apabila digazet dengan nama baru iaitu Agensi Nuklear Malaysia (Nuklear Malaysia). Kini Nuklear Malaysia terus melebarkan sayap dalam mengembangkan R, D & C bagi menyokong aspirasi negara.

Peranan

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

Pencapaian cemerlang Nuklear Malaysia adalah bersandarkan pengalaman 53 tahun dalam pelbagai pembangunan S&T nuklear, serta 43 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.

isikandungan

Tinta Ketua Pengarah **iv**
& Dari Meja Editor

BICARA TEKNOLOGI 2
Inovasi Nuklear:
Mengubah Landskap Perubatan Moden

JEJAK TEKNOLOGI 8
Evolusi Perubatan Nuklear di Malaysia:
Sorotan Sejarah dan Implikasinya dalam
Penjagaan Kesihatan

FOKUS 12
Teknologi Nuklear untuk Kesihatan

PROJEK R&D 16
Teknologi Nuklear dalam Perubatan:
Dari Makmal ke Harapan Pesakit

KISAH KEJAYAAN 1 20
Transformasi Perubatan Nuklear:
Inisiatif Strategik RMK-11 dan RMK-12

KISAH KEJAYAAN 2 22
Inovasi Perubatan Nuklear: Samarium-153
EDTMP untuk Melegakan Kesakitan Pesakit
Kanser Tulang

NUKLEAR UNTUK RAKYAT 24
Menyingkap Manfaat Teknologi
Nuklear dalam Perubatan

GARIS MASA 28
Transformasi Perubatan
Nuklear Negara

PENAUNG

Dr. Muhammad Rawi bin Mohamed Zin

KETUA EDITOR

Normazlin binti Ismail

EDITOR

Dr. Muhammad Rawi bin Mohamed Zin
Ts. Dr. Mohd Rodzi bin Ali
Dr. Haizum Ruzanna binti Sahar

PENYELARAS

Dr. Haizum Ruzanna binti Sahar

PENULIS

Ts. Dr. Mohd Rodzi bin Ali
Wan Hamirul Bahrin b. Wan Kamal
Dr. Zainah binti Adam
Fazliana Mohd Saaya
Muhammad Hanaffi bin Mohamad Mokhtar
Dr. Azahari bin Kasbollah
Siti Selina binti Abdul Hamid
Dr. Ng Yen

PEREKA GRAFIK

Norhidayah binti Jait

JURUFOTO

Nor Hasimah binti Hashim
Zulhilmy bin Mohamad Latif

DITERBITKAN OLEH:

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

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.

Tinta Ketua Pengarah

Assalamualaikum dan Salam Sejahtera,

Aplikasi teknologi nuklear dalam perubatan di Malaysia bermula dengan penggunaan sinar-X untuk pengimejan sebelum berkembang kepada teknologi perubatan nuklear yang lebih menyeluruh sejak era 1960-an. Pembangunan kemudahan perubatan nuklear makin meningkat sehingga suatu ketika kita upaya menghasilkan sendiri radioisotop perubatan hasil daripada pembinaan dan pengoperasian Reaktor TRIGA PUSPATI (RTP). Perkembangan teknologi perubatan nuklear begitu pesat sehingga sistem kesihatan negara bergantung kuat terhadap teknologi ini, khususnya dalam aspek diagnosis dan rawatan berasaskan pengimejan.

Pada masa kini, walaupun RTP tidak mampu lagi menghasilkan banyak radioisotop perubatan, penghasilan radioisotop perubatan terus berkembang dengan kemajuan teknologi pengimejan nuklear dan penghasilan radiofarmaseutikal. Penyelidikan radioisotop perubatan diteruskan termasuk dalam meningkatkan keupayaan pengesanan awal penyakit serta rawatan bersasar, terutamanya bagi kes kanser dan penyakit kronik. Seiring pelaksanaan Dasar Teknologi Nuklear Negara (DTNN) 2030, Malaysia berada pada landasan kukuh untuk memperluas kapasiti perubatan nuklear dan muncul sebagai hab serantau dalam penjagaan kesihatan berteknologi tinggi berasaskan nuklear. Usaha untuk menjadi hab akan menjadi kenyataan jika mesin Siklotron atau Reaktor Pelbagai Guna dibangunkan dengan jayanya. Dijangkakan, hab berkenaan akan memberikan manfaat terus kepada rakyat.

Dr. Muhammad Rawi bin Mohamed Zin

Ketua Pengarah
Agensi Nuklear Malaysia



Dari meja editor

Perubatan nuklear kini muncul sebagai komponen penting dalam penjagaan kesihatan moden dengan keupayaannya menggabungkan fungsi diagnostik dan terapeutik secara serentak. Melalui penggunaan radioisotop dan radiofarmaseutikal, teknologi ini membolehkan penilaian fungsi fisiologi organ secara langsung, sekali gus membantu pengesanan awal penyakit seperti kanser, penyakit jantung dan gangguan neurologi. Pendekatan rawatan bersasar yang ditawarkan, termasuk terapi radioisotop dan aplikasi teranostik, bukan sahaja meningkatkan keberkesanan rawatan malah mengurangkan kesan sampingan, selari dengan konsep rawatan terarah dan perubatan berasaskan keperluan individu pesakit.

Bagi memastikan kelestarian dan kemajuan bidang ini, pembangunan perubatan nuklear negara perlu disokong oleh ekosistem yang menyeluruh merangkumi kemudahan penyelidikan, pengkomersialan teknologi, pembangunan modal insan dan sistem pengawalseliaan yang cekap. Kerjasama strategik antara institusi akademik, hospital, pusat penyelidikan dan industri amat penting bagi mengurangkan kebergantungan kepada import serta membuka peluang ekonomi baharu melalui eksport. Dengan sokongan dasar yang seimbang dan pelaburan berterusan dalam kepakaran tempatan, Malaysia berpotensi menjadi hab serantau perubatan nuklear yang berdaya saing dan mampan.

Normazlin binti Ismail

Ketua Editor
Majalah i-Nuklear



Sains

hari ini adalah
teknologi
di masa depan

-Edward Teller

Inovasi Nuklear: Mengubah Landskap Perubatan Moden

Oleh : Ts. Mohd Rodzi Ali, PhD



Soalan 1: Bagaimana perkembangan teknologi perubatan nuklear di Malaysia dalam beberapa tahun kebelakangan ini? Dan apakah kesan perkembangan ini terhadap sistem penjagaan kesihatan di negara kita?

Penggunaan teknologi nuklear dalam perubatan di Malaysia telah bermula sejak penghujung abad ke-19, apabila sinar-X mula digunakan di Hospital Taiping menjadikannya hospital pertama di negara ini yang menggunakan teknologi tersebut untuk tujuan perubatan. Penggunaan mesin sinar-X kemudiannya diperluas ke Hospital Umum Kuala Lumpur memperlihatkan permulaan era baharu dalam diagnosis berasaskan pengimejan. Selepas itu, bidang perubatan nuklear yang menggunakan bahan radioisotop mula berkembang sekitar tahun 1960-an, apabila Hospital Besar Kuala Lumpur membuka jabatan perubatan nuklear pertama pada tahun 1962. Ketika itu, penggunaannya masih terhad kepada rawatan penyakit tiroid dan darah melalui radioisotop iodin-131 dan fosforus-32, sebelum berkembang kepada pengimejan organ menggunakan aurium-198.

Perkembangan perubatan nuklear kemudiannya didorong oleh dua faktor utama iaitu ketersediaan bahan radioisotop dan mesin pengimbas. Permintaan terhadap radioisotop perubatan telah wujud walaupun negara masih belum memiliki reaktor sendiri untuk penghasilan bahan tersebut. Namun begitu, penggunaan radioisotop seperti teknetium-99m membolehkan pengimejan organ dalaman menggunakan kamera gama telah dilaksanakan secara meluas. Satu detik penting dalam sejarah perubatan nuklear negara berlaku apabila pembinaan reaktor TRIGA PUSPATI pada tahun 1982 membolehkan Malaysia menghasilkan sendiri radioisotop seperti iodin-131, fosforus-32, samarium-153, holmium-166 dan teknetium-99m. Ini bukan sahaja menjamin bekalan radioisotop dalam negara, malah memastikan kesinambungan rawatan dan diagnostik di hospital tempatan.

Kemajuan teknologi pengimejan nuklear di Malaysia semakin ketara pada dekad 1980-an dengan pengenalan kamera gama di beberapa hospital utama seperti Hospital Universiti, Hospital UKM dan Hospital USM. Teknologi ini kemudiannya berkembang kepada gabungan sistem pengimejan seperti PET-CT, SPECT-CT dan SPECT/MRI, yang mampu menghasilkan imej lebih terperinci dan tepat bagi tujuan pengesanan awal penyakit. Melalui Dasar Teknologi Nuklear Negara (DTNN), Malaysia meletakkan sasaran untuk membangunkan hab pengeluaran radioisotop perubatan tempatan bagi memenuhi keperluan 29 pusat perubatan nuklear di seluruh negara — merangkumi 11 fasiliti kerajaan dan 18 fasiliti swasta — dengan kapasiti sebanyak 40 mesin pengimbas, termasuk 20 SPECT dan 22 PET.

Sumbangan perubatan nuklear terhadap sistem kesihatan negara adalah amat signifikan, khususnya dalam pengurusan penyakit seperti kanser dan pelbagai penyakit kronik. Keupayaan untuk membuat diagnosis awal dan merancang rawatan bersasar telah meningkatkan kadar kelangsungan hidup pesakit secara ketara. Malaysia kini dilihat bukan sahaja sebagai pengguna teknologi, malah berpotensi menjadi peneraju dalam bidang ini di peringkat serantau. Dengan pembangunan teknologi terkini seperti siklotron untuk penghasilan radiofarmaseutikal canggih, perubatan nuklear tempatan dijangka akan terus berkembang dan memperkukuh kedudukan negara sebagai pusat kecemerlangan dalam penjagaan kesihatan moden di Asia Tenggara.

Soalan 2: Apakah peranan teknologi nuklear dalam sektor perubatan dan bagaimana ia menyumbang kepada kemajuan penjagaan kesihatan moden?

Perubatan nuklear memainkan peranan penting dalam menggabungkan aspek diagnostik dan terapeutik dalam penjagaan kesihatan melalui penggunaan radioisotop dan radiofarmaseutikal. Teknologi ini membolehkan pengimejan fungsi fisiologi organ dalaman secara langsung, berbeza dengan kaedah konvensional yang hanya menggambarkan struktur fizikal (anatomi). Contohnya, pengimejan seperti SPECT dan PET membolehkan pengesanan gangguan metabolik dan aliran darah yang menjadi petunjuk awal pelbagai penyakit seperti kanser, penyakit jantung dan gangguan neurologi. Ini menjadikan perubatan nuklear bukan sahaja digunakan untuk mengesan penyakit, tetapi juga membantu doktor membuat keputusan rawatan dengan lebih cepat dan tepat.

Dalam aspek terapeutik, perubatan nuklear membawa pendekatan rawatan yang lebih bersasar dan tidak memerlukan pembedahan terbuka melalui penggunaan radioisotop dan radiofarmaseutikal terapeutik. Rawatan seperti terapi iodin-131 untuk tiroid, lutetium-177 untuk tumor neuroendokrin, dan radium-223 untuk metastasis tulang dalam kanser prostat membuktikan keupayaan bidang ini dalam menyerang sel-sel penyakit secara terpilih sambil meminimumkan kerosakan kepada tisu sihat. Pendekatan ini bukan sahaja meningkatkan kadar penyembuhan, malah mengurangkan kesan sampingan berbanding terapi konvensional seperti kemoterapi. Tambahan pula, konsep teranostik, gabungan antara diagnosis dan terapi dalam satu radiofarmaseutikal, membuka ruang kepada rawatan yang lebih tepat dan efisien.

Apa yang lebih menarik, perubatan nuklear juga menyokong konsep rawatan personalisasi dan rawatan terarah, iaitu rawatan yang disesuaikan mengikut keperluan sebenar setiap pesakit. Sebagai contoh, doktor boleh menilai jenis radioisotop yang paling sesuai, dos yang optimum, dan sasaran rawatan yang paling tepat berdasarkan data pengimejan setiap individu. Ini menjadikan rawatan lebih tepat, cepat, dan mengurangkan kesan sampingan rawatan.

Soalan 3: Apakah teknologi perubatan nuklear yang telah dibangunkan oleh Nuklear Malaysia dan bagaimana sumbangan institusi ini terhadap kemajuan bidang perubatan nuklear di negara?

Agensi Nuklear Malaysia (Nuklear Malaysia), yang ditubuhkan pada 19 September 1972, telah merintis pembangunan teknologi nuklear di Malaysia melalui penyelidikan dan pembangunan yang komprehensif selama lebih lima dekad.

Salah satu pencapaian teknologi yang paling ketara ialah pembangunan dan pengendalian Reaktor TRIGA PUSPATI (RTP) sejak tahun 1982. Reaktor penyelidikan ini telah digunakan untuk pengeluaran radioisotop bagi kegunaan perubatan dan industri, menjadikan Malaysia antara negara pertama di Asia Tenggara yang mempunyai keupayaan pengeluaran radioisotop sendiri pada waktu tersebut.

Nuklear Malaysia telah membangunkan kemudahan pengeluaran radioisotop untuk menjalankan aktiviti penyelidikan dan pembangunan radioisotop, radiofarmaseutikal, dan kit radiofarmaseutikal. Dalam aspek inovasi teknologi, Nuklear Malaysia telah membangunkan pelbagai radioisotop dan kit radiofarmaseutikal yang disesuaikan dengan keperluan tempatan. Nuklear Malaysia ini telah menjalankan penyelidikan dalam penghasilan radiofarmaseutikal baharu, termasuk pembangunan teknik pelabelan untuk molekul biologi seperti peptida dan antibodi untuk aplikasi teranostik. Kerjasama dengan universiti tempatan telah membolehkan Nuklear Malaysia membangunkan protokol dan prosedur mengikut piawaian yang ditetapkan bagi memastikan keselamatan dan keberkesanan rawatan yang optimum. Penyelidikan ini juga meliputi pembangunan kaedah kawalan kualiti yang ketat untuk memastikan radiofarmaseutikal yang dihasilkan memenuhi piawaian antarabangsa yang tertinggi.

Pembangunan modal insan merupakan antara sumbangan utama Nuklear Malaysia dalam menyokong perkembangan bidang perubatan nuklear di negara ini. Institusi ini dilengkapi dengan kemudahan untuk menjalankan penyelidikan berkaitan radioisotop, pembangunan kit radiofarmaseutikal, dan kajian praklinikal bagi produk perubatan nuklear. Kemudahan ini telah dimanfaatkan oleh ramai pelajar dan pensyarah dari institusi pengajian tinggi awam dan swasta, termasuk mereka yang menjalankan penyelidikan dalam bidang teknologi perubatan.

Melalui sokongan ini, Nuklear Malaysia telah membantu melahirkan pakar dan penyelidik yang berpengetahuan dalam teknologi perubatan nuklear. Ramai dalam kalangan mereka kini terlibat dalam penyelidikan berkaitan penggunaan radioisotop, serta pembangunan kit radiofarmaseutikal baharu dan termaju yang memainkan peranan penting dalam diagnosis dan rawatan pelbagai penyakit lain secara lebih tepat dan moden.

Soalan 4: Bagaimanakah pembangunan kompetensi dan kepakaran dalam ekosistem teknologi perubatan nuklear dapat dijalankan secara holistik melalui latihan awal, pembangunan pakar bidang, dan pengurusan pengetahuan untuk meningkatkan penggunaan teknologi nuklear dalam perubatan?

Sebenarnya teknologi ini memerlukan kepakaran dan pengetahuan tinggi yang bermula dengan latihan awal yang komprehensif di peringkat universiti untuk melahirkan tenaga kerja yang mahir. Pendedahan dan latihan awal ini mestilah merangkumi pelbagai disiplin termasuk fizik perubatan, kimia nuklear, biologi, keselamatan radiologi, dan aplikasi klinikal perubatan nuklear. Institusi pengajian tinggi tempatan boleh memperkenalkan atau memperbanyakkan kurikulum khusus dalam perubatan nuklear pada peringkat ijazah

sarjana muda ataupun di peringkat pascasiswazah untuk kursus-kursus yang bersesuaian.

Program ini juga perlu melibatkan latihan praktikal di kemudahan perubatan nuklear yang sebenar seperti reaktor penyelidikan dan makmal radioisotop bagi membolehkan pelajar memahami seluruh rangkaian teknologi nuklear daripada pengeluaran radioisotop hingga aplikasi klinikal.

Tidak dinafikan pembangunan kepakaran peringkat lanjut juga diperlukan untuk melahirkan pakar bidang (subjectmatter experts) dalam pelbagai sub-bidang perubatan nuklear. Program fellowship atau sangkutan jangka pendek yang khusus dalam bidang seperti radiofarmasi. Institut Kanser Negara turut menyediakan latihan lanjutan kepada pegawai dan kakitangan yang terlibat dalam bidang perubatan nuklear.

Soalan 5: Apakah cabaran utama yang dihadapi oleh perubatan nuklear dalam ekosistem teknologi nuklear dan bagaimanakah cabaran ini boleh diatasi secara berkesan?

Ada beberapa cabaran besar yang perlu kita hadapi dalam membangunkan industri perubatan nuklear di Malaysia. Antara cabarannya adalah persepsi negatif masyarakat terhadap teknologi nuklear, apabila dikaitkan dengan risiko mendapat kanser. Padahal teknologi perubatan nuklear yang digunakan untuk mendiagnosis atau merawat penyakit adalah sangat selamat dan dos sinarnya lebih rendah daripada pemeriksaan X-ray biasa. Kekurangan pengetahuan dan kesedaran menyebabkan ramai pesakit menolak rawatan yang sebenarnya boleh menyelamatkan nyawa mereka. Malah ada juga pegawai perubatan sendiri yang masih belum yakin dengan teknologi ini. Oleh itu, program kesedaran dan pendidikan nuklear berterusan amat diperlukan untuk menjelaskan bahawa faedah teknologi ini jauh melebihi risiko yang minimal.

Membangunkan kemudahan untuk menghasilkan bahan radioaktif menggunakan teknologi siklotron atau reaktor memerlukan pelaburan yang tinggi. Peralatan pengimbas canggih seperti SPECT/CT atau PET/CT berharga berjuta-juta ringgit seunit. Belum lagi kos penyelenggaraan berterusan dan keperluan menggantikan peralatan dari masa ke masa. Cabaran utama bagi Malaysia untuk membangunkan teknologi ini adalah untuk mendapatkan sumber pembiayaan yang mencukupi dan berterusan. Selain daripada itu, peraturan keselamatan yang sangat ketat menghalang hasil penyelidikan digunakan ke atas pesakit. Proses kelulusan untuk membina kemudahan baharu boleh mengambil masa bertahun-tahun dengan dokumentasi yang sangat rumit dan menyeluruh. Setiap langkah perlu disemak berulang kali oleh pihak berkuasa. Kos untuk mematuhi semua piawaian keselamatan antarabangsa, termasuk pengurusan sisa radioaktif yang efisien juga agak membebankan.



Antara kit radiofarmaseutikal yang digunakan untuk diagnostik dan terapi



Penjana Tc-99 yang pernah dihasilkan di Nuklear Malaysia



Contoh Mesin PET/CT yang digunakan untuk diagnosis pesakit

Untuk mengatasi cabaran-cabaran ini, pendekatan menyeluruh diperlukan dalam beberapa aspek utama. Bagi menangani persepsi negatif masyarakat, strategi pendidikan awam melalui testimoni pesakit yang berjaya dirawat termasuk melibatkan doktor sebagai duta untuk meyakinkan pesakit tentang keselamatan prosedur ini. Masalah kos yang tinggi pula boleh diselesaikan melalui kerjasama strategik antara sektor awam dan swasta dengan insentif cukai, geran penyelidikan, model pembiayaan berperingkat, dan kerjasama dengan negara jiran untuk berkongsi kos pembangunan kemudahan.

Soalan 7: Apakah perancangan masa hadapan yang diperlukan untuk memastikan kelestarian penyelidikan dan penggunaan teknologi perubatan nuklear dalam sistem penjagaan kesihatan?

Yang pertama ialah membina kemudahan penyelidikan yang lengkap. Ini bermakna kita perlu ada makmal-makmal khusus untuk menghasilkan bahan radioaktif yang selamat untuk kegunaan perubatan, tempat untuk menguji kualiti produk, dan kemudahan untuk ujian awal sebelum digunakan ke atas pesakit. Projek seperti ini memerlukan kerjasama erat antara universiti tempatan, hospital, pusat penyelidikan dan syarikat swasta untuk sama-sama membangunkan produk perubatan nuklear yang termaju.

Aspek kedua melibatkan pengkomersialan atau bagaimana hendak menjadikan teknologi ini sebagai perniagaan yang menguntungkan. Di sini, kerjasama dan pemindahan teknologi kepada sektor industri amat penting bagi membantu proses pengeluaran radioisotop dan radiofarmaseutikal bermula dari peringkat pengeluaran hingga ke penghantaran produk kepada hospital-hospital di seluruh negara. Melalui kerjasama ini, Malaysia bukan sahaja dapat mengurangkan kebergantungan kepada bekalan import, malah berpeluang untuk mengeksport produk perubatan nuklear ke negara-negara luar. Bayangkan jika Malaysia boleh menjadi pusat utama serantau untuk teknologi ini, sudah tentu ia akan menjana ekonomi yang lumayan.

Ketiga ialah keperluan sumber manusia yang pakar dan terlatih untuk menjalankan penyelidikan ini. Malaysia memerlukan lebih ramai penyelidik nuklear dan pakar radiofarmaseutikal, dan teknologi perubatan serta jurutera reaktor yang mahir dalam bidang khusus ini. Program latihan khusus dan biasiswa untuk pelajar tempatan perlu dipertingkatkan terutamanya kerjasama dengan universiti antarabangsa yang terkemuka dalam bidang perubatan nuklear. Tanpa modal insan yang cukup dan berkelayakan, semua kemudahan canggih yang dibina tidak akan dapat digunakan secara optimum.

Evolusi Perubatan Nuklear di Malaysia: Sorotan Sejarah dan Implikasinya dalam Penjagaan Kesihatan

Oleh: Wan Hamirul Bahrin Wan Kamal

Teknologi nuklear dalam perubatan di Malaysia telah bermula dengan penggunaan sinar-X di Hospital Taiping pada tahun 1897. Penggunaan mesin sinar-X kemudiannya diperluas ke Hospital Umum Kuala Lumpur pada tahun 1910 dan Hospital Seremban pada tahun 1927, bermulanya era baharu bidang perubatan berasaskan pengimejan. Selepas itu, bidang perubatan nuklear yang menggunakan bahan radioisotop bermula apabila Hospital Besar Kuala Lumpur membuka jabatan perubatan nuklear pertama pada tahun 1962. Ketika itu, penggunaannya masih terhad kepada rawatan penyakit berkaitan dengan kelenjar tiroid dan darah menggunakan bahan radioisotop Iodin-131 (I-131) dan fosforus-32 (P-32), sebelum berkembang kepada pengimejan organ menggunakan Aurum-198 (Au-198). Kompleks Pusat Pengajian Sains Perubatan ditempatkan di Kubang Kerian pula dibina pada 1977 di bawah Kementerian Kesihatan Malaysia (KKM) seterusnya diambil alih oleh Hospital Universiti Sains Malaysia, USM (Cawangan Kubang Kerian, Kelantan).

Perubatan nuklear adalah satu cabang di dalam bidang perubatan yang diasaskan pada awal 1930-an. Perubatan nuklear menggunakan sinaran mengion untuk memperoleh maklumat berdasarkan imej mengenai anatomi manusia dan fungsi organ-organ tertentu. Bidang ini unik kerana dapat menunjukkan struktur secara anatomi organ dan juga dapat memberikan maklumat mengenai fisiologi dan biokimia organ tersebut.

Di bawah KKM, pusat perubatan nuklear seperti Jabatan Perubatan Nuklear di Hospital Kuala Lumpur (HKL) dan Institut Kanser Negara (IKN) bagi zon di lembah Klang, Hospital Pulau Pinang (HPP) bagi zon utara, Hospital Sultanah Aminah Johor Bharu (HSAJB) bagi zon selatan, Hospital Wanita dan Kanak-kanak Sabah (HWKKS) dan Hospital Umum Sarawak (HUS). Manakala bagi pusat perubatan nuklear di bawah Kementerian Pengajian Tinggi (KPT) seperti Hospital USM Kubang Kerian (HUSM) bagi zon pantai timur, Hospital Canselor Tuanku Muhriz (HCTM) di Cheras, Hospital Sultan Abdul Aziz Shah (HSAAS) UPM di Serdang, Pusat Perubatan Universiti Malaya (PPUM) UM

di Petaling Jaya dan Institut Perubatan dan Pergigian Termaju (IPPT) USM di Kepala Batas, Pulau Pinang. Perubatan nuklear juga turut dipraktikkan di Institut Jantung Negara (IJN).

Perkembangan perubatan nuklear di hospital kerajaan didapati sangat pesat dengan penaiktarafan kemudahan SPECT/CT dan PET/CT bagi memenuhi permintaan pengimejan kegagalan organ dan kanser. Sebagai contoh, Jabatan Perubatan Nuklear HKL pada 2022 telah berjaya memperolehi dua unit kamera SPECT/CT di samping menaik taraf sebahagian makmal dan kemudahan di bangunan sedia ada. Ini meningkatkan lagi kapasiti penyediaan bahan radiofarmaseutikal seterusnya menambahbaik kapasiti dan kualiti rawatan kepada pesakit yang semakin bertambah.

Selain dari hospital kerajaan, terdapat pusat perubatan nuklear swasta seperti di Sunway Medical Centre (SMC), Thomson Hospital Kota Damansara dan Subang Jaya Medical Centre (SJMC) di Selangor. Manakala di Wilayah Persekutuan pula terdapat di Pantai Hospital Kuala Lumpur, National Cancer Society Malaysia (NCSM) dan Gleneagles Hospital Kuala Lumpur.

dacryscintigraphy, kajian *Meckel's Diverticulum*, *reflux cystogram*, kajian MIBG (meta-iodobenzylguanidine), kajian perfusi arteri paru-paru, kajian *gastrointestinal bleeding* (penandaan Tc-99m dan sel darah merah, kajian *sulphur colloid*). Manakala kaedah terapeutik melibatkan rawatan di mana bahan radioaktif dalam bentuk cecair diberikan kepada pesakit melalui suntikan atau secara oral (minum). Sebagai contoh penggunaan I-131 bagi kanser kelenjar tiroid.

Selain hospital kerajaan dan swasta, terdapat juga kemudahan dari teknologi siklotron yang berupaya menghasilkan bahan-bahan radiofarmaseutikal untuk dibekalkan secara harian mengikut keperluan pesakit. Mesin siklotron adalah pemecut zarah yang boleh digunakan untuk menghasilkan bahan radioaktif untuk kegunaan pelbagai aplikasi seperti dalam bidang perubatan, industri, alam sekitar dan pertanian. Mesin siklotron bersaiz 16.5 MeV yang dimiliki oleh IKN berupaya menghasilkan produk radiofarmaseutikal



Kamera SPECT/CT baru telah siap dipasang dan diuji di HKL



Pusat Pengajian Sains Perubatan di Kubang Kerian mula beroperasi dalam tahun 1990-an

Di antara perkhidmatan yang disediakan di Jabatan Perubatan Nuklear HKL ialah diagnostik dan terapeutik untuk masalah kegagalan organ dan rawatan kanser. Kaedah diagnostik merangkumi perkhidmatan pengimejan menggunakan bahan radiofarmaseutikal seperti Tc^{99m}-DTPA (diethylene triamine penta acetate acid), Tc^{99m}-MAG3 (mertiatide (disodium[N-[N-[N-(mercaptoacetyl) glycol] glycinato (2-) - N,N',N'',S']oxotechnetate (2-)), Tc^{99m}-DMSA (dimercapto succinic acid) untuk tujuan pengimejan buah pinggang. Pengimejan kelenjar tiroid menggunakan I-131 dan *whole body*, tulang Tc^{99m}-MDP (medronate diphosphonate acid) dan Tc^{99m}-HDP (sodium oxidronate), jantung Tc^{99m}-TETROFOSMIN (1,2-bis(bis(2-ethoxyethyl) phosphino) ethane), *parathyroid*, *hepatobiliary* (hati), kajian

iaitu [18Flourine]FDG (*Fluorodeoxyglucose*), [68Ga] Ga-PSMA (*Plasma Specific Membrane Antigen*) dan [18F]-PSMA. IKN juga membekalkan bahan radiofarmaseutikal ke pusat perubatan nuklear yang lain. Manakala Hospital Beacon di Petaling Jaya, Selangor memiliki mesin siklotron hanya menghasilkan [18Flourine]FDG untuk pasaran tempatan. Bio Molecular Industries Sdn Bhd, sebuah syarikat swasta di Bandar Baru Enstek, Negeri Sembilan juga berupaya menghasilkan [18Flourine]FDG untuk pasaran tempatan.

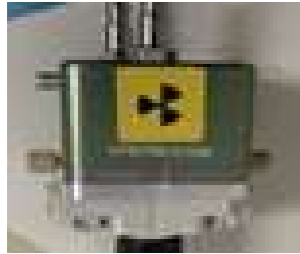
Bermula pada tahun 2020, kemudahan siklotron di IKN semakin maju dengan

October 2020

November 2020

December 2020

Jan/Feb 2021



Gallium-68 Target Port Installed



GE FASTlab2 Developer Synthesis Module Installed



Quality control equipment upgraded and installed



Online training on the production of Gallium-68 peptides

Kronologi perkembangan setelah pemasangan target port (Zinc) di IKN

pertambahan target port (*liquid target, Zinc*) yang membolehkannya ini mengeluarkan bahan radioisotop Gallium-68 (Ga-68). Penaiktarafan ini dapat mengurangkan kos perbelanjaan IKN yang tidak lagi perlu membeli penjana Germanium-68/Gallium-68 (⁶⁸Ge/⁶⁸Ga) yang mahal. Pada tahun 2022, IKN telah berjaya menghasilkan sejumlah 58 pengeluaran ⁶⁸Ga-PSMA dan 60 pengeluaran ⁶⁸Ga-DOTATATE dengan kaedah sintesis.

Selain dari penggunaan teknologi siklotron bagi penghasilan bahan radiofarmaseutikal, penjana seperti ⁶⁸Ge/⁶⁸Ga dan Molybdenum-99/Technetium-99m (⁹⁹Mo/^{Tc99m}) digunakan secara meluas di pusat perubatan nuklear. Namun begitu, penjana tersebut diperolehi secara import dari luar negara seperti Eropah, Amerika Syarikat, Turki dan lain-lain. Penjana ⁶⁸Ge/⁶⁸Ga digunakan bersama sistem sintesis (*synthesizer*) bagi menghasilkan bahan radiofarmaseutikal seperti ⁶⁸Ga-PSMA, ⁶⁸Ga-DOTATATE untuk kegunaan pengimejan kanser. Manakala penjana ⁹⁹Mo/^{Tc99m} digunakan bagi mendapatkan cecair Tc-99m dan secara langsung digunakan bersama "*cold kits*" seperti kit DTPA, MDP (medronate diphosphonate), DMSA, MIBI (methoxy isobutyl isonitrile), TETROFOSMIN dan lain-lain bagi kegunaan pengimejan kegagalan organ dan kanser. Implikasi yang sangat besar terhadap perkembangan bidang perubatan nuklear di Malaysia secara umumnya dengan pertambahan jumlah bahan radiofarmaseutikal secara sintesis dan pertambahan bilangan kamera pengimejan.

Sejarah perubatan nuklear di Nuklear Malaysia pula bermula sejak reaktor nuklear iaitu Reaktor TRIGA Puspati (RTP) mula beroperasi sekitar 1980-an dengan aktiviti-aktiviti penghasilan bahan radioisotop untuk kegunaan dalam perubatan nuklear seperti Mo-99 (Tc-99m), I-131,



Ujian mikrobiologi ke atas produk akhir radiofarmaseutikal

Ho-166, Sm-153, P-32 dan sebagainya. Bahagian Teknologi Perubatan (BTP) atau dahulunya dikenali sebagai Jabatan Isotop telah berjaya menghasilkan Tc-99m menggunakan kaedah pemisahan cecair organik methyl ethyl ketone (MEK).

Namun begitu, penghasilan cecair Tc-99m dari kaedah ini merupakan satu proses yang agak sukar. Pengendali terpaksa mula bekerja seawal jam dua hingga tiga pagi bagi memproses cecair Mo-99 yang terhasil dari reaktor nuklear, seterusnya prosedur pemisahan cecair tulen Tc-99m diperolehi dari teknik kromatografi cecair. Pada peringkat akhir, cecair Tc-99m tulen yang terhasil akan diuji tahap kawalan mutu kimia dan radiokimia sebelum membekalkannya ke pusat perubatan nuklear. Evolusi penggunaan penjana ⁹⁹Mo/^{Tc99m} telah memudahkan penghasilan cecair tulen Tc-99m iaitu dengan hanya melakukan proses elusi dari penjana, di mana cecair tulen Tc-99m diperolehi setiap 24 jam untuk tempoh penggunaan penjana tersebut selama seminggu.

Pada ketika itu juga penghasilan beberapa kit radiofarmaseutikal berasaskan Tc-99m seperti MDP, DTPA, ECD (ethyl cysteinyl dimer), HMPAO (hexamethyl propylene amine oxime) dan sebagainya berjaya dihasilkan. Dalam tahun 1990-an, BTP berjaya membekalkan penjana ⁹⁹Mo/^{Tc99m} ke seluruh tanah air merangkumi lembah Klang, zon utara (Hospital Pulau Pinang, HPP), zon pantai timur (Hospital Universiti Sains Malaysia, HUSM), zon selatan (Hospital Sultanah Aminah, HSA) termasuklah Sarawak (Hospital Umum Sarawak, HUS). Namun begitu, akibat proses penuaan, kebanyakan kemudahan utama pengeluaran penjana ⁹⁹Mo/^{Tc99m} telah dihentikan kerana tidak lagi boleh mematuhi keperluan GMP.

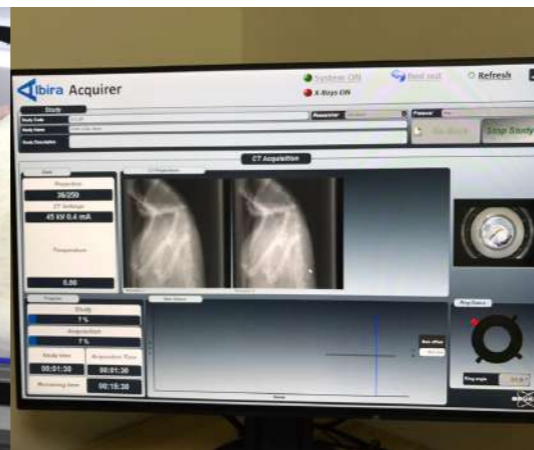
Bermula pada tahun 2021 hingga 2024, Nuklear Malaysia berjaya memperolehi peruntukan RMK12 bagi menaiktaraf makmal dan kemudahan teknologi perubatan nuklear termasuklah beberapa makmal penyelidikan dan pembangunan serta satu kemudahan pengeluaran kit radiofarmaseutikal. Penaiktarafan kemudahan kajian pra-klinikal haiwan makmal juga penting bagi tujuan mendapatkan data kajian berkaitan dengan penyebaran bahan radiofarmaseutikal dalam sistem haiwan dalam bentuk pengimejan dan data sebaran (*biodistribution study*). Bagi tujuan ini, beberapa pembelian peralatan canggih telah dibuat seperti kamera SPECT/CT khusus digunakan ke atas haiwan makmal.



Mesin freeze dryer untuk penghasilan kit radiofarmaseutikal



Ujian mikrobiologi ke atas produk akhir radiofarmaseutikal



Kit pengimejan DTPA dan kit rawatan paliatif tulang EDTMP keluaran Nuklear Malaysia

Teknologi Nuklear dalam Pengawalan Penyakit Berjangkit: Pencegahan, Pengesanan dan Rawatan

Penyakit berjangkit ialah penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisma seperti bakteria, virus, kulat atau parasit, dan boleh menular antara individu dan haiwan. Penyakit berjangkit merupakan ancaman besar kepada kesihatan global kerana boleh merebak dengan cepat di dalam sesebuah komuniti serta boleh merentasi sempadan sehingga mewujudkan wabak dan pandemik. Wabak COVID-19, sindrom pernafasan akut teruk (SARS) dan ebola adalah antara penyakit berjangkit yang menyebabkan morbiditi dan kematian berskala besar.

Pengawalan penyakit berjangkit melibatkan beberapa kaedah iaitu pencegahan, pengesanan dan rawatan seperti berikut:

PENCEGAHAN	PENGESANAN	RAWATAN
Vaksinasi dan kawalan vektor patogen	Kaedah imunologi untuk mengesan antibodi penyakit	Terapi konvensional menggunakan ubat-ubatan moden

Memfaatkan Teknologi Nuklear

Teknologi nuklear juga boleh digunakan untuk kawalan penyakit berjangkit. Kaedah ini memanfaatkan sifat unik sinaran dan isotop dalam proses pencegahan, pengesanan dan rawatan penyakit berjangkit.

Pencegahan

Vaksin adalah bahan biologi yang dihasilkan daripada sebahagian atau keseluruhan struktur patogen (virus atau bakteria) yang telah dimatikan atau dilemahkan. Vaksin membantu sistem imun dengan melatih antibodi untuk mengenal pasti patogen tertentu supaya sistem imun cukup bersedia apabila tiba masapathogen sebenar menyerang badan manusia.

Kebiasaannya bahan kimia seperti formaldehyde dan beta-propiolactone digunakan untuk penghasilan vaksin tak teraktif. Namun, penggunaan bahan kimia ini pernah dikaitkan dengan masalah vaksin yang kurang berkesan dan boleh menyebabkan alergi kepada penerima. Radiasi gamma boleh digunakan untuk menggantikan penggunaan bahan kimia di mana sinaran gamma hanya akan memusnahkan DNA patogen tetapi masih mengekalkan struktur antigen. Ini akan mengekalkan sifat imunogen patogen tersebut. Vaksin yang dihasilkan menggunakan teknologi nuklear dikatakan lebih selamat kerana tidak akan menghasilkan

bahan cemar kimia yang boleh mengakibatkan kesan sampingan kepada pengguna adalah seperti vaksin HIV, malaria, ebola dan salmonellosis. Di Malaysia masih belum ada vaksin yang dihasilkan menggunakan teknologi nuklear. Penyelidikan dan pembangunan vaksin di Agensi Nuklear Malaysia (Nuklear Malaysia) telah bermula sejak tahun 2023 dengan menggunakan virus Newcastle disease (NDV) sebagai model patogen. Di dapati iradiasi gamma pada dos rendah (5 kGy) dan dos tinggi (25 kGy) berupaya mengurangkan titer (jumlah) NDV kepada separuh (1/2) dan suku (1/4) daripada jumlah asal, masing-masing. Di dapati juga pendedahan kepada sinaran gamma tidak mengubah struktur teras NDV. Pemerhatian awal ini menunjukkan yang sinaran gamma boleh dijadikan kaedah alternatif bagi penghasilan vaksin.



Gambaran vaksin inactivated yang dihasilkan menggunakan sinaran gamma

Pengawalan vektor penyakit melalui teknik teknik serangga mandul (SIT): Melalui teknik ini, serangga jantan dibiakkan dalam jumlah besar di makmal dan kemudian dimandulkan menggunakan sinaran gamma. Serangga mandul ini kemudiannya akan dilepaskan ke persekitaran untuk mengawan dengan serangga betina. Oleh kerana sperma serangga jantan tersebut tidak subur, tiada keturunan akan terhasil. Ini akan mengurangkan populasi secara beransur-ansur. Nuklear Malaysia juga ada terlibat dalam penyelidikan pengawalan vektor penyakit menggunakan teknik SIT.

Pengesanan

Pengesanan jangkitan bakteria dalam tisu yang sukar dicapai dengan menggunakan kaedah konvensional seperti ultrasound, tomografi berkomputer (CT) dan pengimejan resonans magnetik (MRI) memberikan keputusan yang terhad terutamanya di peringkat awal jangkitan. Contohnya jangkitan pada tulang (osteomielitis), implan dan bagi kes demam tanpa punca. Faktor ini boleh mengakibatkan diagnosis yang kurang tepat dan penangguhan rawatan,



Kit radiofarmaseutikal disuntik ke dalam badan pesakit untuk mengesan jangkitan

Teknologi Nuklear untuk Kesihatan

Oleh : Zainah Adam, PhD & Fazliana Mohd Saaya

malahan dalam senario terburuk boleh membawa kepada kematian. Disinilah teknologi nuklear memainkan peranannya. Pengimejan nuklear boleh digunakan untuk mengenal pasti dengan tepat bahagian yang dijangkiti. Bahan radiofarmaseutikal seperti Tc^{99m}-ABX (antibiotik) digunakan untuk mengesan jangkitan dalam tisu yang sukar dicapai, dengan cara memvisualisasikan perubahan fisiologi sebelum perubahan struktur berlaku. Tc^{99m}-ABX ini akan berkumpul di kawasan bakteria aktif, lalu memancarkan sinaran gamma yang seterusnya akan dikesan oleh sistem kamera gamma. Melalui penganalisaan imej, doktor dapat mengenal pasti lokasi jangkitan. Kaedah ini juga membolehkan pemantauan tindak balas terhadap rawatan. Nuklear Malaysia kini sedang membangunkan Tc^{99m}-ABX untuk pengesanan jangkitan dengan menggunakan antibiotik kanamycin sebagai bahan pemacu.

Polymerase Chain Reaction (PCR) merujuk kepada istilah nuklear dalam konteks biologi iaitu bahan genetik DNA atau RNA, di mana bahan genetik ini merupakan bahan sasaran untuk pengesanan jangkitan. Semasa penularan wabak Covid-19, PCR menjadi kaedah utama bagi mengesan virus ini dalam sampel pesakit. Melalui kaedah PCR juga, bahan genetik virus akan digandakan bagi membolehkannya dikesan walaupun bagi

sampel dengan jumlah virus yang sangat sedikit.. Kaedah PCR adalah sangat tepat dan mampu mengesan jangkitan walaupun pada peringkat awal.

Kaedah Radioimmunoassay (RIA) pula telah lama digunakan untuk mengesan penyakit berjangkit seperti influenza, hepatitis dan *human immunodeficiency virus* (HIV). Kaedah ini adalah sangat sensitif dan menggunakan antigen spesifik yang ditandakan dengan bahan radioaktif seperti iodine-125 (¹²⁵I). Kompleks antigen-¹²⁵ seterusnya boleh mengesan kehadiran antibodi terhadap penyakit melalui sampel cecair dari badan pesakit.

Rawatan

Teknologi nuklear boleh digunakan sebagai rawatan alternatif untuk kes jangkitan kronik seperti osteomielitis yang sukar diubati dengan hanya menggunakan antibiotik. Radioterapi dengan menggunakan radionuklid yang disasarkan ke kawasan jangkitan untuk membunuh patogen atau sel tisu yang dijangkiti. Teranostik pula ialah gabungan terapi dan diagnostik. Dalam rawatan penyakit berjangkit, agen teranostik berasaskan radioisotop sedang dibangunkan untuk mengesan dan membunuh patogen. Contohnya, radioisotop yang ditandakan pada antibodi spesifik patogen boleh mengesan lokasi jangkitan melalui pengimejan nuklear dan membunuh mikroorganisma dengan sinaran terarah.

Pembangunan Agen Radio Pelindung Melalui Intervensi Farmasiutikal: Nilai Tambah kepada Perlindungan dan Kawalan Kecemasan Radiasi Sedia Ada

Perlindungan sinaran secara umumnya lebih tertumpu kepada perlindungan fizikal, kawalan kejuruteraan dan Prosedur Operasi Standard (SOP).

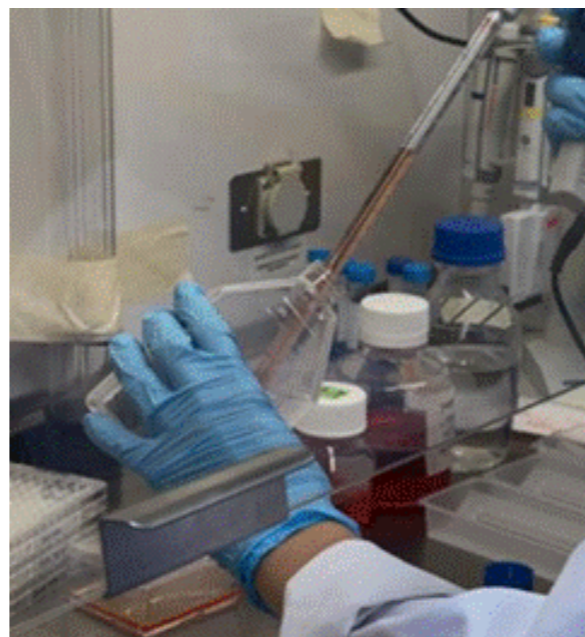
Intervensi farmasiutikal adalah merupakan satu bentuk langkah atau strategi kawalan dalaman melalui penggunaan produk perubatan bagi tujuan mencegah, mengurangkan atau merawat kecederaan yang berpunca dari dedahan pada sinaran.

Bahan atau ubat yang digunakan boleh melindungi sel dan tisu tubuh daripada kesan sinaran. Bahan ini terdiri daripada sebatian atau formulasi dari molekul sintetik (contohnya Amifostine) atau pun bahan aktif dari sumber tumbuhan dengan ciri-ciri khusus seperti kandungan *phenolic* yang tinggi, bersifat antioksidan dan berkesan dalam merawat penyakit bawaan radikal bebas seperti artritis, *Parkinson* dan sebagainya.

Produk perubatan ini dibangunkan dalam bentuk sediaan oral atau suntikan yang melibatkan beberapa kaedah dan inovasi dalam farmasiutikal seperti formulasi ubat, sistem penghantaran ubat (*drug delivery system*), nanopartikel, kapsul pelepasan terkawal, atau kombinasi bahan aktif yang dioptimumkan. Pembangunan agen radiopelindung ini mempunyai dwi fungsi berbeza. Pertama adalah untuk penggunaan perlindungan jangka masa panjang bagi pesakit kanser yang menjalani radioterapi dan pekerja yang terdedah kepada sinaran. Agen radiopelindung

ini melindungi sel-sel normal tubuh daripada pendedahan dos rendah secara kumulatif dan bagi pekerja sinaran. Agen ini juga mengurangkan kerosakan pada tisu normal tanpa menjejaskan keberkesanan rawatan radioterapi bagi pesakit kanser. Sasaran kedua, pembangunan agen ini adalah untuk digunakan sebagai *medical countermeasure* (MCM) semasa kecemasan sinaran atau situasi bencana seperti kemalangan nuklear, kebocoran sumber radioaktif industri atau letupan radiologi (*dirty bomb*). Agen radiopelindung ini memberi perlindungan maksimum dalam masa yang singkat selepas atau sebelum pendedahan dos tinggi, selain mengurangkan risiko Sindrom Radiasi Akut (ARS) dan meningkatkan kepada peluang pemulihan tisu. Penggunaan agen ini merupakan langkah tindak balas segera untuk mengurangkan risiko kesihatan, kecacatan jangka panjang, dan kematian.

Nuklear Malaysia telah bergerak aktif dalam projek pembangunan Agen Radiopelindung selamalmatahunanmelalui penyelidikan di makmal. Menggunakan sumber biodiversiti tempatan sebagai bahan kajian, pelbagai ujian ketoksikan dan ujian pra klinikal secara *in vitro* dan *in vivo* telah dijalankan. Kini memasuki



Kajian Radiopelindung di Makmal melibatkan sel kultur dan embrio zebrafish

fasa kedua kajian melibatkan integrasi alat pengesan dos dedahan secara biologi bersama kecanggihan teknologi pintar AI, sebagai salah satu *medical countermeasure* (MCM) yang berkesan dan efektif di bawah 'payung besar' *Radiation countermeasure* (RCM).

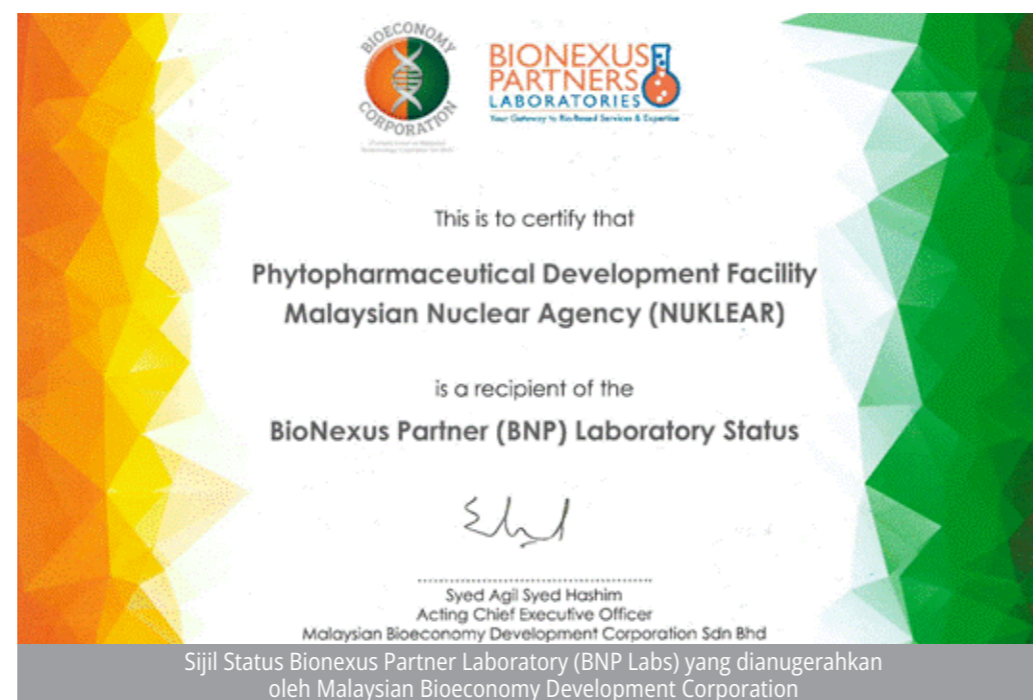
Inovasi Berterusan

Nuklear Malaysia kini sedang menjalankan projek penyelidikan dan pembangunan derivatif *chalcone* sintetik untuk digunakan sebagai agen terapeutik bagi merawat kanser kolon. Kajian awal menunjukkan yang derivatif *chalcone* pada kepekatan rendah (16 microgram/ml) mampu mematikan atau merencat proliferasi sel kanser kolon secara signifikan. Mekanisma pematian sel kanser kolon oleh *chalcone* adalah melalui tindakbalas *apoptosis*. *Chalcone* yang berpotensi untuk dibangunkan sebagai agen teranostik bagi mengesan dan merawat kanser kolon.

Makmal Penyelidikan, Analisis dan Pengiktirafan

Aktiviti penyelidikan dan pembangunan teknologi berkaitan farmaseutikal di Nuklear Malaysia dijalankan di Makmal Fitokimia, Makmal Kimia Analisis, Makmal Molekular, Makmal Histologi, Makmal Toksikologi, Makmal Kultur Sel, Makmal Triple-TOF, Makmal Radiolabeling, Rumah Haiwan dan lain-lain. Kesemua makmal ini telah dibangunkan pada tahun 2012 dengan menggunakan peruntukan pembangunan RMK11, dan dilengkapi dengan peralatan saintifik yang diperlukan dalam projek di atas. Selain penyelidikan, makmal ini menyediakan khidmat analisis ujian farmaseutikal seperti ujian toksisiti, ujian anti-diabetik, ujian anti-kanser, ujian anti-oksidan, pemprofilan bahan fitokimia, pemiawaian produk farmaseutikal dan lain-lain untuk universiti awam dan swasta, institut penyelidikan awam dan juga syarikat pengeluar produk herba.

Sejak tahun 2017, lebih 50 pelanggan telah menggunakan khidmat analisis farmaseutikal ini. Makmal-makmal di fasiliti ini telah dianugerahkan status *Bionexus Partner Laboratory* (BNP Labs) oleh *Malaysian Bioeconomy Development Corporation* sejak tahun 2016. Status ini telah diperbaharui pada tahun 2022 dan sah sehingga tahun 2027. Status BNP Labs ini memperakui keupayaan fasiliti dan kepakaran Nuklear Malaysia dalam khidmat analisis farmaseutikal.



Sijil Status Bionexus Partner Laboratory (BNP Labs) yang dianugerahkan oleh Malaysian Bioeconomy Development Corporation



Chalcone dan potensinya sebagai agen radiofarmaseutikal baharu

Teknologi Nuklear dalam Perubatan: Dari Makmal ke Harapan Pesakit



Oleh: Muhammad Hanaffi Mohamad

Apabila mendengar perkataan nuklear, ramai yang terus terbayang tentang pengeboman Hiroshima dan Nagasaki, tenaga atom, reaktor nuklear atau filem-filem sains fiksyen yang penuh dengan aksi letupan dan kematian. Namun, apa yang mungkin kurang diketahui ialah teknologi nuklear sebenarnya sudah lama membantu kehidupan manusia termasuk dalam bidang perubatan. Di Malaysia, salah satu institusi yang memainkan peranan penting dalam bidang ini ialah Agensi Nuklear Malaysia (Nuklear Malaysia), melalui Bahagian Teknologi Perubatan (BTP).

BTP bukan sahaja menjalankan penyelidikan, tetapi juga menghasilkan 'ubat-ubatan' bersifat radioaktif khas yang dikenali sebagai radiofarmaseutikal. Radiofarmaseutikal ini digunakan untuk mendiagnosis penyakit, merawat kanser, serta memberi kelegaan kepada pesakit yang mengalami kesakitan kronik. Artikel ini akan membawa anda menyelami proses penyelidikan dijalankan, produk-produk dihasilkan serta bagaimana teknologi nuklear memberi sinar harapan kepada manusia sejagat.

Apakah Itu Radiofarmaseutikal?

Kedengaran seperti satu istilah yang rumit dan janggal, namun sebenarnya boleh difahami dengan mudah. Radiofarmaseutikal adalah 'ubat' khas yang mengandungi dua komponen utama seperti:

Radioisotop

Bahan yang mengeluarkan sinaran radioaktif (contohnya Technetium-99m (Tc-99m), Iodin-131 (I-131), atau Samarium-153 (Sm-153)).

Pembawa (carrier)

Bahan yang biasanya terdiri daripada bahan kimia, peptida, atau antibodi yang membawa radioisotop ke sasaran dalam tubuh manusia.

Apabila dimasukkan ke dalam badan manusia, radiofarmaseutikal akan bergerak ke organ sasaran. Sebagai contoh dalam rawatan kanser tiroid, pesakit akan menelan kapsul I-131 atau menyedut secara oral larutan yang mengandungi I-131. Bahan ini akan terkumpul di kelenjar tiroid. Seterusnya dengan menggunakan kamera khas, doktor akan dapat melihat keadaan organ tersebut dan menentukan rawatan yang sesuai dan tepat. Radiofarmaseutikal bukan sahaja dapat berfungsi sebagai "mata" untuk doktor "melihat" penyakit, tetapi juga sebagai "senjata" untuk menyerang sel kanser tanpa menjejaskan organ lain yang sihat.

Penyelidikan di Bahagian Teknologi Perubatan

Bahagian Teknologi Perubatan menjalankan pelbagai aktiviti penyelidikan dan pembangunan (P&P) yang memberi manfaat besar kepada pesakit. Antara penyelidikan utama yang dijalankan termasuk:

- Penghasilan kapsul Iodin-131 – digunakan untuk mengesan dan merawat kanser tiroid.
- Penghasilan Samarium-153 (ethylenediamine tetramethylene phosphonate) (EDTMP) – ubat radioaktif/radiofarmaseutikal yang membantu mengurangkan kesakitan tulang akibat kanser.
- Penghasilan kit diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA) dan EDTMP– digunakan untuk mengesan kanser pada tulang dan buah pinggang.

Kit DTPA dan EDTMP mungkin kedengaran agak teknikal, tetapi sebenarnya kit ini adalah sejenis "alat bantu" dalam bidang perubatan nuklear yang memudahkan doktor melihat dengan lebih jelas keadaan organ tertentu dalam badan manusia. DTPA biasanya digunakan untuk menguji fungsi buah pinggang, contohnya untuk mengetahui sama ada kedua-dua buah pinggang berfungsi dengan baik atau jika ada halangan dalam aliran urin. Dengan menggunakan kamera pengesan sinaran, "peta pergerakan" bahan radioaktif tersebut di dalam badan pesakit akan dapat membantu doktor mengenalpasti masalah di organ sasaran.

Sementara itu, kit EDTMP pula lebih banyak digunakan untuk mengesan penyakit yang melibatkan tulang, seperti kanser yang merebak ke tulang atau masalah tulang yang lain. Bahan ini akan berkumpul di bahagian tulang yang bermasalah, lalu memudahkan doktor mengenalpasti kawasan yang perlu diberi perhatian. Tanpa kit radiofarmaseutikal seperti ini, agak sukar untuk doktor mengenalpasti masalah di dalam badan

manusia jika hanya dengan pemeriksaan biasa. Jadi, bolehlah dianggap kit DTPA dan EDTMP ini sebagai "penanda khas" yang membantu mendedahkan masalah tersembunyi pada buah pinggang dan tulang, supaya rawatan yang lebih tepat dapat diberikan kepada pesakit.

Penghasilan Kromium-51 EDTA (Cr-51 EDTA) untuk diagnosis tahap fungsi renal (buah pinggang) - Radioisotop Kromium-51 (Cr-51) yang akan dicampurkan bersama EDTA, sejenis bahan pengikat logam (metal chelating agent), digunakan dalam ujian fungsi buah pinggang kerana bahan ini boleh bergerak di dalam darah melepasi buah pinggang dan dikeluarkan melalui urin. Maklumat yang dikumpulkan seterusnya akan dianalisis untuk melihat tahap 'kesihatan' buah pinggang seseorang.

Selain aktiviti P&P, BTP turut menyediakan pelbagai perkhidmatan sokongan seperti pemasangan Iridium-192 untuk industri, ujian mikrobiologi (BIOTEST), analisis aberasi kromosom (BIODOS), analisis kimia dan biologi molekul, serta ujian ketoksikan bahan semula jadi. Keupayaan ini diperkukuh dengan kemudahan berteknologi tinggi termasuk rumah haiwan kajian, makmal khas, dan sistem pengimejan seperti kamera gama, imbasan tomografi pancaran positron-tomografi berkomputer (PET-CT) dan tomografi berkomputer pelepasan foton tunggal/tomografi berkomputer (SPECT-CT).

Samarium-153: Harapan Baharu untuk Pesakit Kanser

Salah satu kepentingan teknologi perubatan nuklear ialah penggunaan Samarium-153 Lexidronam (Sm-153 EDTMP) sebagai rawatan paliatif untuk pesakit kanser tulang tahap akhir yang mengalami kesakitan teruk akibat penularan kanser dalam tubuh. Dalam rawatan konvensional, pesakit diberi morfin untuk mengurangkan kesakitan yang dialami. Namun, morfin boleh menyebabkan keadaan mengantuk yang berterusan, halusinasi, dan seterusnya boleh menjejaskan kualiti hidup pesakit. Sm-153 EDTMP boleh menjadi alternatif yang lebih baik berbanding penggunaan morfin.

Apabila pesakit disuntik dengan Sm-153 EDTMP, bahan radiofarmaseutikal ini akan berkumpul pada bahagian tulang yang mempunyai kanser. Radioisotop Sm-153 mengeluarkan sinaran beta yang membantu mengurangkan rasa sakit. Dalam masa kira-kira seminggu selepas suntikan, ramai pesakit telah melaporkan kesakitan mereka semakin berkurangan, dan kesannya boleh bertahan selama beberapa bulan. Lebih penting lagi, pesakit dapat menjalani kehidupan yang lebih berkualiti. Mereka boleh bergerak lebih bebas, berinteraksi dengan keluarga, dan menjalani rawatan lain tanpa gangguan kesakitan melampau.



Kit-kit EDTMP untuk digunakan bersama radionuklid Sm-153 dalam rawatan paliatif kanser tulang

Kapsul Iodin-131: Si Kecil yang Berkuasa

Selain Sm-153, satu lagi radioisotop yang penting ialah Iodin-131. Radioisotop ini amat berguna dalam rawatan kanser tiroid. Kelenjar tiroid, yang terletak di leher, boleh menjadi terlalu aktif (hipertiroid) atau membesar (goiter). I-131 membantu dengan dua cara:

Rawatan

sinaran beta yang dikeluarkan mampu "membunuh" sel tiroid yang bermasalah.

Diagnosis

Sinaran gama yang dipancarkan oleh I-131 membolehkan doktor melihat keadaan tiroid di dalam badan pesakit menggunakan kamera khas.

Di Malaysia, I-131 biasanya diberikan dalam bentuk kapsul atau cecair yang tidak berbau, tidak berwarna dan mudah ditelan. Selepas diambil secara oral, sebahagian daripada I-131 akan terkumpul di tiroid, sementara yang selebihnya akan dikeluarkan dari badan melalui pembuangan urin. Walaupun pada mulanya ramai pesakit berasa bimbang kerana perkataan "radioaktif", rawatan ini sebenarnya telah digunakan dengan selamat selama lebih 60 tahun di seluruh dunia.

Penyelidikan Baharu: Manik Biodegradasi untuk Kanser Hati

Satu lagi penyelidikan menarik yang sedang dilaksanakan di BTP ialah penggunaan manik kecil biodegradasi yang boleh menjadi pembawa (carrier) gabungan di antara sinaran radioaktif dan juga bahan kemoterapi ke hati pesakit. Penyelidikan ini menggunakan gabungan Sm-152 dengan bahan kemoterapi Doxorubicin yang terkandung di dalam manik yang diperbuat daripada bahan semula jadi.

Kelebihan kajian ini termasuklah:

- Memberi rawatan berganda (sinaran dan ubat) dalam satu prosedur.
- Lebih selamat kerana manik ini tidak bersifat radioaktif sehingga diaktifkan sebelum digunakan.
- Boleh dipantau menggunakan imbasan kerana manik ini akan kelihatan dalam kamera pengimejan.
- Larut dengan sendiri dalam badan selepas rawatan, jadi tiada objek kekal dalam tubuh pesakit.

Walaupun penyelidikan ini masih di peringkat kajian, teknik ini berpotensi menjadi rawatan lebih murah, berkesan, dan mesra pesakit. Projek penyelidikan ini dilaksanakan kerjasama di antara universiti Taylor's Malaysia dan Bahagian Teknologi Perubatan.



Kajian terhadap mutu kapsul I-131

Kawalan Kualiti: Menjamin Keselamatan Pesakit

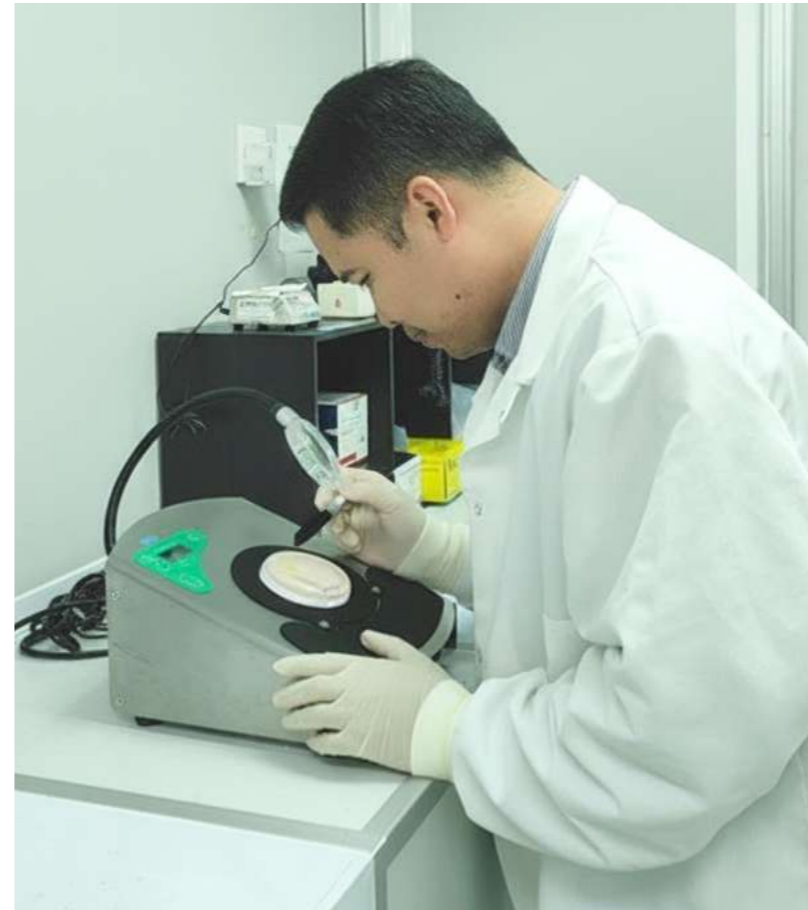
Setiap bahan radioaktif (radiofarmaseutikal) perlu melalui proses kawalan kualiti yang ketat. Di BTP, semua produk yang terlibat akan diuji mengikut piawaian antarabangsa seperti piawaian rujukan British Pharmacopoeia dan United States Pharmacopoeia. Antara ujian penting yang dijalankan termasuk:

Ketulenan radiokimia : mesti melebihi 95% bagi kapsul I-131 dan 99% bagi Sm-153

Apabila disebut tentang ketulenan radiokimia melebihi 95% atau 99%, maksudnya ialah ubat radioaktif yang digunakan untuk pesakit mestilah benar-benar dalam kandungan/ketulenan yang sepatutnya, tanpa banyak "bahan asing" yang boleh mengganggu. Bayangkan kita membeli madu asli, jika ketulennannya rendah mungkin madu ini telah bercampur dengan gula atau bahan lain, maka khasiatnya akan berkurangan. Begitu juga dengan kapsul I-131 dan Sm-153, jika ketulennannya tinggi, doktor akan lebih yakin bahawa bahan radioaktif itu adalah tulen dan dapat berfungsi dengan tepat pada sasarannya dalam badan pesakit, sama ada untuk rawatan atau ujian. Ringkasnya, tahap ketulenan yang tinggi memberi keyakinan bahawa pesakit menerima rawatan yang lebih selamat, berkesan dan boleh dipercayai.

Pengenalpastian radioisotop : menggunakan spektroskopi gama

Proses ini boleh digambarkan seperti kita mengenal pasti suara seseorang dalam majlis keramaian. Setiap radioisotop ada "suara khas" atau tanda unik dalam bentuk sinaran gama, dan alat yang dipanggil spektroskopi gama ini berfungsi seperti telinga yang sangat peka untuk membezakannya. Dengan cara ini, para saintis boleh pastikan bahan radioaktif yang digunakan betul dan tidak tertukar dengan yang lain. Kepentingannya besar untuk memberi jaminan kepada kita bahawa rawatan atau ujian perubatan telah menggunakan radioisotop yang tepat, betul, selamat dan berkesan.



Ujian mikrobiologi ke atas produk akhir radiofarmaseutikal



Ujian ketulenan radionuklidik menggunakan spektroskopi gama memastikan radionuklid yang terlibat adalah tulen dan memenuhi spesifikasi

Kiraan zarah dalam cecair : untuk memastikan tiada partikel berbahaya dalam ubat suntikan

Kiraan zarah dalam cecair adalah satu ujian penting yang dilakukan ke atas ubat suntikan sebelum diberikan kepada pesakit. Ujian ini bertujuan untuk memastikan cecair ubat benar-benar bersih daripada partikel halus atau bendasing yang tidak sepatutnya ada. Bendasing yang masuk ke dalam badan melalui suntikan cecair amat membahayakan pesakit. Oleh itu, ujian ini ibarat "saringan keselamatan" terakhir yang menjamin ubat berada dalam keadaan paling selamat untuk digunakan.

Dengan adanya kiraan zarah dalam cecair, pesakit boleh menerima suntikan tanpa rasa bimbang tentang risiko partikel tersembunyi. Walaupun mata kasar kita tidak dapat melihat zarah-zarah kecil ini, peralatan saintifik khas dapat mengiranya dengan tepat. Ujian ini menunjukkan betapa telitinya langkah keselamatan yang diambil dalam bidang perubatan, kerana setiap butiran kecil pun diambil kira demi menjaga keselamatan pesakit. Ringkasnya, kiraan zarah cecair memberi keyakinan bahawa ubat yang masuk ke dalam tubuh adalah bersih, berkualiti tinggi, dan benar-benar selamat.

Ujian peruraian kapsul kapsul I-131 mesti hancur dalam masa 15 minit selepas ditelan

Ujian ini penting untuk memastikan kapsul radioaktif seperti I-131 dapat hancur dengan cepat dalam perut pesakit, iaitu dalam masa 15 minit selepas ditelan. Kapsul I-131 mesti larut kurang daripada 15 minit bagi memastikan radionuklid dilepaskan dengan cepat dan diserap secara konsisten oleh kelenjar tiroid, sekali gus menjamin dos terapeutik yang tepat, keberkesanan rawatan, dan keselamatan pesakit serta mengekalkan kualiti dan keseragaman formulasi radiofarmaseutikal. Explain 15 minit (mengikut piawaian NPRA) Ringkasnya, ujian ini ibarat jaminan bahawa "kulit kapsul" hanya sekadar pembungkus, manakala isinya telah benar-benar sampai ke destinasi dalam badan pesakit seperti yang diharapkan.

Teknologi Nuklear : Sinar Harapan Masa Depan dalam Perubatan

Teknologi nuklear dalam perubatan bukan lagi sesuatu yang asing atau menakutkan. Di Malaysia, teknologi ini telah menjadi sebahagian daripada usaha penting dalam meningkatkan tahap kesihatan rakyat, khususnya untuk diagnosis dan rawatan kanser.

Langkah ke hadapan bagi teknologi nuklear perubatan di Malaysia memfokuskan kepada pemantapan aktiviti penyelidikan dan pembangunan (R&D) untuk menghasilkan rawatan yang lebih murah, berkesan, dan mesra pesakit, seperti projek manik biodegradasi untuk kanser hati yang mampu melarut sendiri dalam badan. Selain itu, usaha ini bertujuan meningkatkan kualiti hidup pesakit kronik dengan menyediakan alternatif yang lebih baik kepada morfin melalui penggunaan radiofarmaseutikal seperti Samarium-153 agar pesakit dapat bergerak bebas tanpa gangguan kesakitan melampau. Masa depan bidang ini turut dipacu oleh kerjasama strategik antara Agensi Nuklear Malaysia dengan universiti serta hospital tempatan, sambil mengekalkan piawaian kawalan kualiti antarabangsa yang sangat ketat bagi menjamin keselamatan setiap produk. Secara keseluruhannya, hala tuju ini bermatlamat untuk mengubah persepsi masyarakat terhadap teknologi nuklear daripada sesuatu yang menakutkan kepada sebuah "sinar harapan" yang kritikal dalam menyelamatkan nyawa dan meningkatkan taraf kesihatan insan.

Malaysia sedang mengalami revolusi dalam perubatan nuklear melalui pelaksanaan projek transformatif di bawah Rancangan Malaysia Kesebelas (RMK-11) dan Rancangan Malaysia Kedua Belas (RMK-12). Inisiatif ini bukan sekadar peningkatan infrastruktur, tetapi langkah strategik untuk menjadikan Malaysia sebagai salah satu hab perubatan nuklear di rantau Asia Tenggara.

Perubatan nuklear telah berkembang pesat sebagai modaliti diagnostik dan terapeutik kritikal dalam sistem penjagaan kesihatan moden. Dengan demografi populasi yang semakin tua dan peningkatan jumlah kes kanser di Malaysia, keperluan untuk teknologi perubatan nuklear yang canggih telah menjadi semakin mendesak.

Bahagian Teknologi Perubatan (BTP) secara proaktifnya telah mengambil inisiatif untuk menaik taraf kemudahan penyelidikan yang terdapat di BTP bagi membangunkan teknologi perubatan nuklear yang lebih ke hadapan. Penaiktarafan ini dibiayai oleh peruntukan RMK-11 dan RMK-12 yang berjumlah hampir RM28 juta.

Transformasi Perubatan Nuklear: Inisiatif Strategik RMK-11 dan RMK-12

Oleh : Azahari Kasbollah, PhD

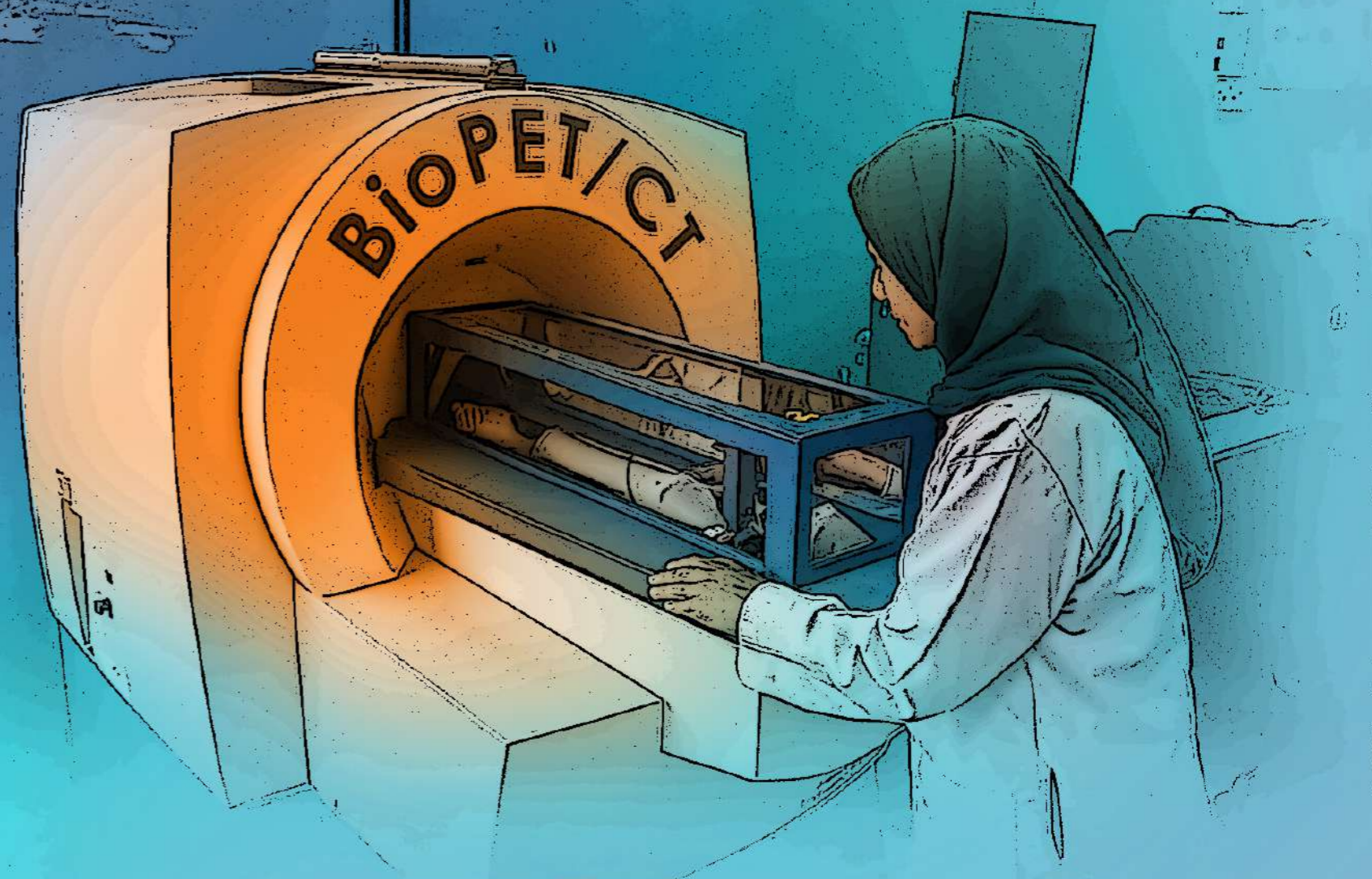
Peningkatan Kemudahan Pengeluaran Radioisotop : RMK-11 RP3 Keperluan Kritikal untuk Pemodekan

Projek penaiktarafan kemudahan pengeluaran radioisotop untuk perubatan nuklear di bawah RMK-11 RP3 menandakan era baharu dalam teknologi perubatan nuklear negara. Teknetium-99m (Tc-99m) merupakan radioisotop yang paling banyak digunakan dalam perubatan nuklear di seluruh dunia, menyumbang hampir 80% daripada semua prosedur pengimejan nuklear. Isotop ini ideal untuk pengimejan perubatan kerana mempunyai separuh hayat yang sesuai (6 jam), memancarkan sinar gamma yang optimum untuk pengimejan, dan tidak meninggalkan radioaktiviti berpanjangan dalam badan pesakit. Di Malaysia, kemudahan pengeluaran penjana radioisotop Tc-99m yang terdapat di Agensi Nuklear Malaysia (Nuklear Malaysia) telah beroperasi lebih tiga dekad. Kemudahan ini tidak mematuhi piawaian Amalan Pengilangan Baik (GMP). Oleh yang demikian, penaiktarafan kemudahan berkaitan amat kritikal untuk memastikan keselamatan dan kualiti pengeluaran.

Pematuhan Piawaian Antarabangsa

Penaiktarafan kemudahan teknologi perubatan ini penting untuk memenuhi keperluan pelesenan GMP mengikut piawaian yang ditetapkan oleh Agensi Regulatori Farmasi Negara (NPRA) dan Akta Pelesenan Tenaga Atom 1984 (Akta 304). Pematuhan terhadap piawaian antarabangsa ini penting untuk memastikan radioisotop yang dihasilkan memenuhi keperluan keselamatan dan kualiti yang ketat.

Pemodekan kemudahan perubatan nuklear ini dapat mengurangkan kebergantungan negara kepada bekalan luar. Faktor ini penting dalam meningkatkan ketahanan dan kesinambungan bekalan perubatan nuklear negara. Bukan sekadar memenuhi keperluan domestik, malah ia dapat membuka peluang negara untuk menjadi pengeksport bekalan perubatan berasaskan teknologi nuklear seperti penjana Tc-99m ini kepada negara lain dan sekaligus membantu meningkatkan sumber pendapatan negara.



Revolusi Radiofarmaseutikal: RMK-11 RP4 Menangani Cabaran Infrastruktur Lapuk

Projek Pembangunan Kemudahan Radiofarmaseutikal Termaju untuk Pengesanan dan Terapi Kanser merupakan pelaburan strategik dalam menangani masalah infrastruktur lapuk yang dihadapi oleh Nuklear Malaysia. Sebahagian besar kemudahan dan peralatan makmal telah digunakan sejak dari 1980-an. Peralatan ini telah berusia lebih daripada 40 tahun dan tidak dapat memenuhi keperluan teknologi moden.

Bukan sekadar isu teknikal, hal ini merupakan penghalang utama terhadap keupayaan Malaysia untuk membangunkan radiofarmaseutikal yang relevan secara klinikal. Dalam era perubatan personalisasi dan terapi terarah, keupayaan untuk membangunkan radiofarmaseutikal termaju adalah kritikal bagi memastikan rakyat Malaysia mendapat akses kepada rawatan perubatan terkini.

Inovasi dalam Onkologi Nuklear

Fokus projek ini kepada pengesanan dan terapi kanser mencerminkan keperluan mendesak dalam menangani peningkatan kes kanser yang membimbangkan di Malaysia. Radiofarmaseutikal termaju membolehkan pendekatan terarah untuk mengesan kanser pada peringkat awal bagi rawatan yang lebih efektif dengan kesan sampingan yang minimal.

Teknologi radiofarmaseutikal termaju seperti pengesan Positron Emission Tomography (PET) dan agen terapeutik terarah alfa/beta mewakili teknologi baharu dalam bidang onkologi. Malaysia perlu berada di barisan hadapan dalam bidang ini untuk memastikan rakyat mendapat manfaat daripada kemajuan perubatan terkini.



Kemudahan Single Positron Emission Tomography - Computed Tomography (SPECT-CT) Camera untuk penyelidikan di Nuklear Malaysia



Kemudahan Pengeluaran Generator Tc-99m di Nuklear Malaysia pada Tahun 1993



Gambaran Makmal Pengeluaran Radioisotop yang bertaraf GMP



Kemudahan Pengeluaran Generator Tc-99m dengan penarafan GMP di Nuklear Malaysia pada Tahun 2015

Menaik Taraf Kemudahan Pengeluaran Kit Radiofarmaseutikal Visi Kemandirian Teknologi

Penaiktarafan kemudahan pengeluaran kit radiofarmaseutikal di bawah RMK 12 RP1 mewakili visi jangka panjang Malaysia untuk mencapai kemandirian dalam teknologi radiofarmaseutikal. Kemudahan ini dinaik taraf untuk peningkatan keupayaan penyelidikan dan pembangunan (P&P) serta pengeluaran kit radiofarmaseutikal dalam negara seterusnya menjadi pemangkin pemindahan teknologi ini kepada sektor swasta. Pengkomersialan ini sekaligus dapat membuka peluang ekonomi baharu berasaskan teknologi perubatan nuklear dan menjadi salah satu pemangkin kemajuan industri negara.

Strategi ini mencerminkan pemahaman yang mendalam terhadap kepentingan ekosistem inovasi yang lengkap dari penyelidikan asas hingga pengkomersialan, dari makmal ke pasaran. Pengkomersialan teknologi ini mampu memacu industri radiofarmaseutikal tempatan yang berdaya saing.

Pembangunan kemudahan ini bukan hanya akan meningkatkan keupayaan saintifik negara, bahkan membolehkan Malaysia menjadi hab bioteknologi dan perubatan termaju di rantau ini selaras dengan aspirasi Dasar Teknologi Nuklear Negara (DTNN).

Naik Taraf Kemudahan Pengeluaran Radioisotop: RMK-12 RP5

Projek menaik taraf kemudahan pengeluaran bahan radioisotop dan perolehan peralatan saintifik di bawah RMK-12 RP5 melengkapkan ekosistem perubatan nuklear di Malaysia. Projek ini mengambil pendekatan holistik dengan memfokuskan kepada keseluruhan rantaian nilai produk - dari pengeluaran hingga analisis bahan radioisotop.

Penekanan kepada keperluan pengeluaran, penyelidikan, latihan dan perkhidmatan ujian mencerminkan kefahaman komprehensif terhadap keperluan industri. Ini penting untuk memastikan Malaysia tidak hanya mempunyai keupayaan pengeluaran, tetapi juga ekosistem sokongan yang lengkap.

Kesimpulan dan Prospek Masa Hadapan

Pelaksanaan projek penaiktarafan kemudahan pengeluaran radioisotop dan radiofarmaseutikal ini menunjukkan komitmen Malaysia yang kukuh terhadap pembangunan sektor perubatan nuklear. Dengan pelaburan strategik ini, Malaysia berpotensi mengurangkan pergantungan kepada import, meningkatkan akses rakyat kepada teknologi perubatan termaju, dan menempatkan negara sebagai pemain utama dalam industri perubatan nuklear global.

Kejayaan inisiatif ini akan memberi manfaat bukan sahaja kepada sistem kesihatan Malaysia, tetapi juga memacu kemajuan ekonomi negara melalui eksport teknologi dan perkhidmatan kepada pasaran antarabangsa serta pengurangan kebergantungan import bekalan perubatan dari negara luar. Langkah ini mencerminkan komitmen Malaysia untuk menjadi sebuah negara yang maju dan berdaya saing dalam teknologi perubatan nuklear.

Inovasi Perubatan Nuklear: Samarium-153 EDTMP untuk Melegakan Kesakitan Pesakit Kanser Tulang

Oleh : Azahari bin Kasbollah, PhD

Pengenalan

Kanser merupakan penyakit yang disebabkan oleh pertumbuhan sel-sel abnormal yang tidak terkawal dalam badan. Penyakit ini berpunca daripada kegagalan sistem imun berfungsi dengan baik. Kanser yang tidak dirawat segera boleh menyebabkan kematian.

Penyakit kanser menyumbang kepada satu perempat daripada jumlah kematian di negara maju. Jenis kanser yang paling biasa ialah kanser prostat, paru-paru dan payudara. Jenis lain termasuklah kanser hati, kolon atau kolorektal, pundi kencing, ovari, endometrium, tulang, kulit dan leukemia.

Statistik Kanser di Malaysia

Di Malaysia, jumlah pesakit kanser meningkat daripada 32,000 kes baharu pada tahun 2008 kepada 37,400 pada tahun 2012. Bilangan ini dijangka meningkat kepada 56,932 pada tahun 2025. Jumlah kematian akibat kanser ialah 20,100 orang pada tahun 2008 dan meningkat kepada 21,700 kematian pada tahun 2012 atau kira-kira 60 orang sehari berbanding kematian akibat denggi iaitu kira-kira 60 orang setahun.

Patofisiologi Kanser

Kanser bermula apabila sel-sel di bahagian badan tertentu mula tumbuh di luar kawalan. Pertumbuhan sel kanser berbeza daripada pertumbuhan sel normal. Sel kanser tidak mati,

sebaliknya terus berkembang dan membentuk sel baharu yang abnormal. Sel-sel kanser juga boleh menyerang dan tumbuh dalam tisu-tisu lain, sesuatu yang tidak dapat dilakukan oleh sel normal. Sel kanser ini boleh merebak ke bahagian badan lain di mana ia boleh berkembang dan membentuk tumor baharu. Proses ini berlaku apabila sel kanser memasuki saluran darah atau saluran limfa badan. Proses penyebaran kanser ini dikenali sebagai metastasis.

Pengurusan Kesakitan pada Pesakit Kanser Kronik

Pesakit yang menghadapi kanser akan berada pada tahap kronik apabila sel kanser telah merebak ke seluruh badan dan memberikan kesan kesakitan serta nyeri pada tulang pesakit. Lazimnya, pesakit akan diberikan analgesik jenis morfin bagi kes-kes kanser terminal ini untuk mengurangkan rasa kesakitan dan nyeri pada tulang. Ia bertindak menghalang isyarat kecederaan daripada dihantar ke otak dan seterusnya menghalang otak daripada menerima isyarat kesakitan.

Walau bagaimanapun, antara kesan sampingan analgesik jenis morfin ini ialah menyebabkan pesakit tidak cergas, sering mengantuk dan sentiasa berhalusinasi. Oleh kerana kesakitan kronik boleh menimbulkan pelbagai gejala seperti kemurungan dan keletihan yang boleh mengakibatkan kegagalan rawatan, tiada pilihan lain selain membekalkan ubat penahan sakit yang bersesuaian dengan keadaan pesakit untuk menyerap rasa kesakitan. Doktor juga amat berhati-hati untuk tidak memberikan dos yang berlebihan seperti morfin, lebih-lebih lagi jika keadaan jantung, buah pinggang atau hati pesakit berisiko tinggi untuk gagal.

Samarium-153 Lexidronam (Sm-153 EDTMP)

Samarium-153 Lexidronam (nama kimia: Samarium-153-ethylenediamine tetramethylene phosphonate, singkatan: Samarium-153 EDTMP), juga dikenali dengan jenama *Quadramet*, ialah sebatian kompleks radiofarmaseutikal daripada radioisotop samarium-153 dengan bahan kimia EDTMP. Samarium-153 Lexidronam digunakan untuk membantu melegakan kesakitan tulang (rawatan paliatif kanser tulang) bagi pesakit yang menghadapi kanser tahap kronik (terminal). Ia telah diluluskan oleh FDA Amerika Syarikat sebagai "rawatan paliatif tulang". Ia bukanlah penyembuh tetapi lebih kepada perawatan paliatif untuk melegakan rasa sakit dan bisa-bisa pada tulang pesakit kanser di mana sel kanser telah merebak hingga ke tulang pesakit.



Contoh mesin pengimbas (kamera gamma) untuk pengimejan badan pesakit kanser



Imej dari mesin pengimbas (kamera gamma) menunjukkan sel kanser telah merebak hingga ke tulang pesakit



Radioisotop Samarium-153 yang dilabelkan dengan EDTMP

Radiofarmaseutikal ini disuntik secara intravena dan kemudian akan beredar ke seluruh badan sebelum bertumpu di kawasan kanser tulang. Samarium-153 akan mengeluarkan pemancar beta yang membantu memberikan kelegaan kesakitan. Samarium-153 Lexidronam akan dikumuh melalui air kencing selepas suntikan intravena. Dalam tempoh enam jam pertama, hampir 35% daripada Samarium-153 Lexidronam akan dikumuh melalui air kencing.

Sifat-sifat Radioisotop Samarium-153

Samarium-153 dihasilkan oleh reaktor melalui pengaktifan neutron daripada bahan mentah Samarium-152 trioksida. Samarium-152 trioksida merupakan isotop yang stabil. Samarium-153 mempunyai separuh hayat selama 46.3 jam. Tidak seperti Strontium-89 yang merupakan pemancar beta tulen, Samarium-153 mengeluarkan kedua-dua zarah beta yang berfungsi untuk mengurangkan kesakitan tulang akibat kanser dan sinar gamma yang berfungsi sebagai agen pengimejan serta membolehkan pesakit menjalani pengimejan melalui kamera gamma. Tenaga purata zarah beta bagi Samarium-153 ialah 233 keV. Zarah beta Samarium-153 bergerak sejauh maksimum 3.0 mm dalam tisu lembut dan 1.7 mm dalam tulang. Sifat-sifat Samarium-153 ini amat sesuai untuk rawatan terapi bagi mengurangkan kesakitan dan bisa-bisa tulang kepada pesakit akibat serangan kanser.

Keberkesanan Rawatan

Lazimnya, kesakitan daripada kanser tulang mula berkurangan pada minggu pertama setelah diberi suntikan radiofarmaseutikal Samarium-153 Lexidronam dan ia boleh bertahan hingga beberapa bulan. Dos suntikan radiofarmaseutikal ini adalah berdasarkan berat badan pesakit iaitu sekitar 1 mCi/kg berat badan.

Pengeluaran Tempatan

Bahagian Teknologi Perubatan (BTP), Agensi Nuklear Malaysia mampu menghasilkan radioisotop Samarium-153 menggunakan reaktor TRIGA. Sebelum ini dilaporkan bahawa penyinaran pernah dilakukan selama enam jam pada fluks neutron $0.6 \times 10^{13} \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ dan kekuatan aktiviti yang diperoleh ialah sekitar 17 mCi/mg Samarium trioksida. Jumlah ini mencukupi untuk digunakan dalam perubatan nuklear di hospital.

Tambahan juga, BTP turut berjaya menghasilkan kit radiofarmaseutikal EDTMP dalam bentuk *freeze-dried* iaitu secara pengeringan beku di makmal pengeluaran kit di Bahagian Teknologi Perubatan, Agensi Nuklear Malaysia.

Penyediaan dan Kawalan Kualiti

Penglabelan radioisotop Samarium-153 dengan EDTMP ini agak mudah dengan inkubasi radioisotop Samarium-153 dengan EDTMP selama 30 minit dalam pH yang tinggi (pH yang lebih rendah akan menyebabkan pemendakan radiofarmaseutikal tersebut). Ujian kawalan kualiti termasuk ujian pH akhir, ketulenan radionuklid, ketulenan radiokimia, ujian steriliti dan endotoksin, kajian farmakokinetik in vivo menggunakan tikus dan kajian kestabilan in vitro.

Kesimpulan

Samarium-153 Lexidronam ialah radioisotop Samarium-153 yang dilabelkan dengan EDTMP dan digunakan dalam rawatan terapi untuk mengurangkan kesakitan serta rasa nyeri atau bisa-bisa pada tulang akibat serangan penyakit kanser. Rawatan ini hanya boleh diberikan kepada pesakit di bawah pengawasan doktor yang bertauliah serta mempunyai latihan khusus dalam bidang perubatan nuklear.

Menyingkap Manfaat Teknologi Nuklear dalam Perubatan

Oleh : Siti Selina Abdul Hamid

Apabila disebut tentang nuklear, tidak dapat dinafikan bahawa masyarakat masih mempunyai stigma negatif dan mengaitkannya dengan bom atom serta nuklear seperti di Chernobyl dan Fukushima. Namun, persepsi ini perlu diubah kerana penggunaan teknologi nuklear telah banyak memberikan pelbagai manfaat besar dalam kehidupan seharian. Sudah tiba masanya untuk orang awam melihat teknologi nuklear melalui kaca mata yang lebih luas berdasarkan fakta, ilmu dan kefahaman, bukan semata-mata ketakutan yang diwarisi. Artikel ini akan menyingkap bagaimana teknologi nuklear memberikan manfaat secara langsung dan tidak langsung kepada rakyat, melalui pelbagai aspek pembangunan negara seperti pendidikan, peluang pekerjaan, perubatan, perindustrian dan pertanian.

Persepsi dan pemahaman masyarakat terhadap teknologi nuklear tidak akan berubah tanpa pendedahan dan pendidikan yang jelas dan sahih. Pemahaman ini boleh diubah namun haruslah bermula dari sistem pendidikan formal terutamanya di peringkat sekolah lagi. Pentingnya pendedahan awal di sekolah terhadap asas sains nuklear seperti struktur atom, tenaga dan sinaran akan menjadikan pelajar lebih memahami bagaimana teknologi nuklear memberi manfaat dalam kehidupan seharian, serta sumbangannya kepada kemajuan negara. Penglibatan awal ini bukan sahaja menanam minat pelajar terhadap bidang sains dan teknologi, malah membentuk generasi yang berfikir kritis dan terbuka terhadap teknologi baru termasuk teknologi nuklear.

Manakala di peringkat pengajian tinggi, institusi pendidikan tempatan telah pun menawarkan program pengajian yang khusus dalam bidang teknologi nuklear seperti sains, kejuruteraan dan tenaga nuklear serta radiologi dan keselamatan sinaran antara institusi yang berkaitan adalah Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) Universiti Teknologi Malaysia (UTM), Universiti Sains Malaysia (USM), Universiti Tenaga Nasional (UNITEN). Terdapat juga beberapa institusi lain yang menyerapkan kurikulum berkaitan sains nuklear di dalam program pengajian mereka. Perlu dititikberatkan juga kepada pelajar-pelajar bahawa program pengajian yang ditawarkan di peringkat universiti berkaitan teknologi nuklear merupakan salah satu laluan profesional yang mempunyai prospek cerah untuk kerjaya masa hadapan.



Lawatan sambil belajar di Reaktor TRIGA Puspati, Agensi Nuklear Malaysia

Dengan perkembangan teknologi nuklear, peluang pekerjaan semakin meluas. Graduan berpeluang bekerja sebagai jurutera nuklear, ahli fizik perubatan, pegawai perlindungan sinaran, pakar dosimetri, penyelidik dan pensyarah serta pelbagai lagi cabang kerjaya dalam bidang perubatan, perindustrian, pembuatan, pertanian dan lain-lain.

Sumbangan teknologi nuklear yang paling besar dalam kehidupan seharian manusia ialah dalam bidang perubatan, khususnya dalam penjagaan kesihatan, pengesanan dan rawatan penyakit. Bidang ini dikenali sebagai perubatan nuklear, iaitu satu cabang sains kesihatan yang menggunakan bahan radioaktif atau radioisotop untuk tujuan perubatan yang tidak invasif, berkesan, dan boleh menyelamatkan nyawa. Berbeza dengan persepsi umum yang sering mengaitkan sinaran dengan risiko kesihatan, teknologi nuklear dalam perubatan dikawal secara ketat dan digunakan dalam dos yang sangat kecil serta dengan protokol keselamatan yang ketat, menjadikannya selamat untuk pesakit dan kakitangan perubatan. Antara alat yang digunakan adalah Positron Emission Tomography (PET) dan Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT).

Teknologi nuklear membawa perubahan besar dalam dunia diagnostik moden, membolehkan pengesanan penyakit pada peringkat awal, sekali gus meningkatkan keberkesanan rawatan. Selain pengesanan awal penyakit, teknologi perubatan nuklear juga digunakan untuk rawatan terutamanya radioterapi bagi kanser seperti tiroid, mulut, usus dan lain-lain. Penggunaan



Lawatan sambil belajar di Reaktor TRIGA Puspati, Agensi Nuklear Malaysia

sinaran mengion melalui terapi sinaran luaran seperti linear accelerator (LINAC) dan terapi sinaran dalaman (Iodin-131 dan Iridium-192), mampu memusnahkan sel-sel kanser. Terapi terarah berasaskan nuklear, seperti penggunaan Lutetium-177 untuk kanser neuroendokrin pula adalah sejenis rawatan yang lebih khusus dan kurang kesan sampingan berbanding rawatan konvensional seperti kimoterapi.

Di Malaysia, penggunaan teknologi nuklear dalam perubatan di hospital kerajaan dan swasta semakin berkembang sejajar dengan kemajuan teknologi. Antara perintis dan peneraju dalam bidang perubatan nuklear adalah Hospital Kuala Lumpur (HKL) Institut Kanser Negara (IKN), Pusat Perubatan Universiti Malaya (PPUM), Subang Medical Centre, Beacon Hospital dan lain-lain. Kesan positifnya bukan sahaja dari sudut perubatan, malahan dapat meningkatkan tahap kesihatan dan kualiti hidup rakyat Malaysia sejajar dengan hasrat yang digariskan dalam Dasar Teknologi Nuklear Negara (DTNN).

Teknologi nuklear bukanlah satu ancaman, tetapi satu peluang. Dengan pendidikan yang betul, dasar keselamatan yang ketat, dan penyertaan aktif dalam bidang pengajian dan industri, rakyat Malaysia boleh menikmati manfaat teknologi ini secara selamat dan berkesan. "Nuklear untuk Rakyat" bukan sekadar slogan, tetapi visi dan misi masa hadapan negara yang lebih mampan, sihat, dan berdaya saing dari segi teknologi dan ekonomi.



Program MSc Radiation and Nuclear Safety, UKM



Lawatan sambil belajar di Reaktor TRIGA Puspati, Agensi Nuklear Malaysia

Transformasi Teknologi Nuklear dalam Perubatan di Malaysia

Oleh : Ng Yen, PhD

Teknologi nuklear dalam bidang perubatan di Malaysia telah berkembang secara signifikan sejak diperkenalkan pada pertengahan abad ke-20. Pada tahun 1897, mesin sinar-X untuk perubatan yang pertama di Malaysia telah dihadiahkan kepada Hospital Ipoh, Perak, sempena perayaan Jubli Intan Queen Victoria. Selepas itu, beberapa hospital utama juga telah memperolehi mesin sinar-X. Berikut adalah garis masa dan perincian sejarah perkembangan perubatan nuklear di Malaysia:

Pengenalan Awal

- 1957: Penubuhan **Institut Penyelidikan Atom Tun Ismail (PUSPATI)** sebagai institusi pertama untuk penyelidikan sains dan tenaga nuklear
- Penggunaan awal radioisotop untuk tujuan penyelidikan dan rawatan mula diperkenalkan di hospital-hospital kerajaan.



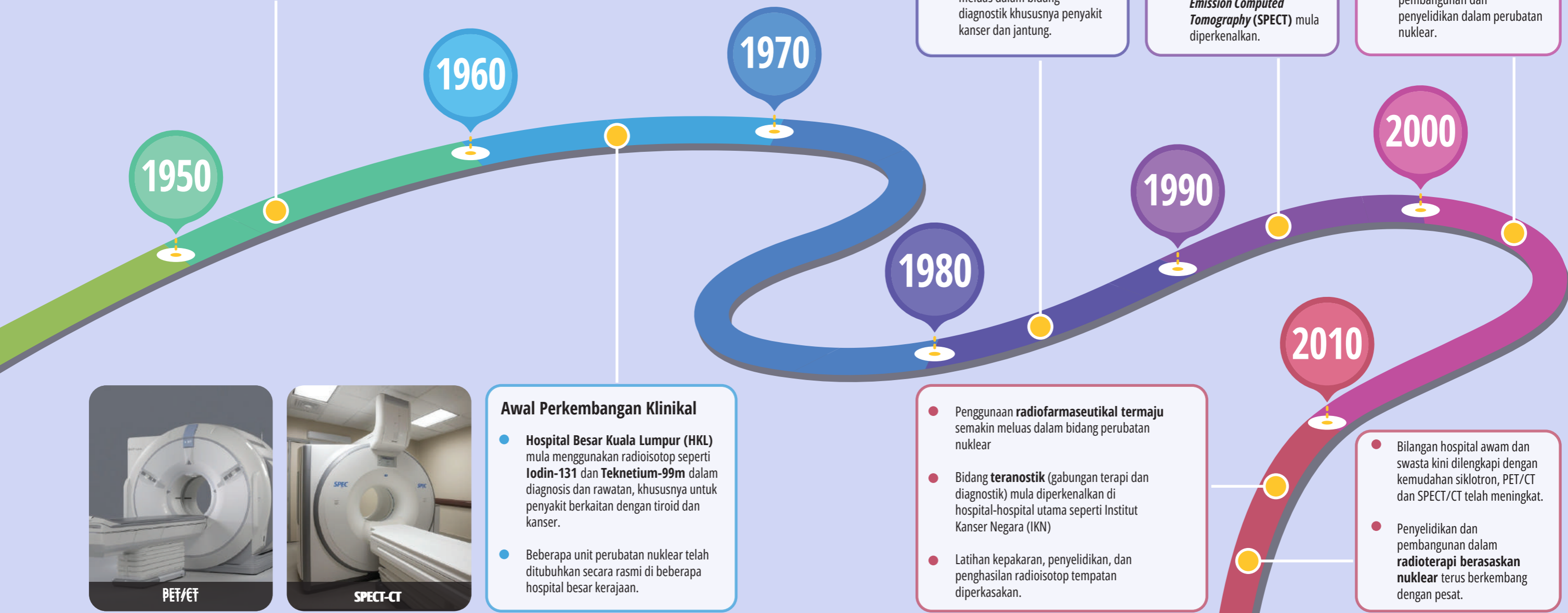
- **Agensi Nuklear Malaysia (Nuklear Malaysia)** (dahulu dikenali sebagai PUSPATI), telah menjadi pusat utama penyelidikan nuklear di Malaysia.
- Penggunaan **kamera gamma** mula berkembang secara meluas dalam bidang diagnostik khususnya penyakit kanser dan jantung.

Pendidikan & Latihan

- **Program latihan formal** untuk pegawai perubatan nuklear diperkenalkan, termasuk kolaborasi dengan universiti tempatan dan luar negara.
- Penggunaan **Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT)** mula diperkenalkan.

Transformasi Teknologi Penghasilan radioisotop untuk perubatan

- Siklotron pertama telah mula digunakan untuk menghasilkan radioisotop perubatan **PET/CT** yang menyumbang kepada perkembangan pesat diagnosis kanser dalam negara.
- Beberapa pusat pengeluaran radioisotop menggunakan siklotron di Semenanjung Malaysia telah dibangunkan untuk menampung keperluan hospital.
- Kerjasama antara Nuklear Malaysia dan institusi kesihatan serta akademik meningkatkan projek pembangunan dan penyelidikan dalam perubatan nuklear.



Awal Perkembangan Klinikal

- **Hospital Besar Kuala Lumpur (HKL)** mula menggunakan radioisotop seperti **Iodin-131** dan **Teknetium-99m** dalam diagnosis dan rawatan, khususnya untuk penyakit berkaitan dengan tiroid dan kanser.
- Beberapa unit perubatan nuklear telah ditubuhkan secara rasmi di beberapa hospital besar kerajaan.

- Penggunaan **radiofarmaseutikal termaju** semakin meluas dalam bidang perubatan nuklear
- Bidang **teranostik** (gabungan terapi dan diagnostik) mula diperkenalkan di hospital-hospital utama seperti Institut Kanser Negara (IKN)
- Latihan kepakaran, penyelidikan, dan penghasilan radioisotop tempatan diperkasakan.

- Bilangan hospital awam dan swasta kini dilengkapi dengan kemudahan siklotron, PET/CT dan SPECT/CT telah meningkat.
- Penyelidikan dan pembangunan dalam **radioterapi berasaskan nuklear** terus berkembang dengan pesat.

Hospital dan Institusi Utama



Klinikal

Hospital Besar Kuala Lumpur (HKL)



Penyelidikan dan pembangunan

Agensi Nuklear Malaysia (Nuklear Malaysia)



Pengajian tinggi dan latihan

Universiti (UKM, UM, UPM dan USM)



Kawal selia dalam aspek keselamatan radiasi

Jabatan Tenaga Atom (JTA)

Cabaran dan Masa Depan



Cabaran Utama:

Kos peralatan yang semakin tinggi dan keperluan untuk tenaga profesional yang mahir.



Prospek Masa Depan:

Perkembangan dalam **teranostik** untuk rawatan yang lebih jitu dan berkesan.



Matlamat:

Malaysia berpotensi menjadi pusat kecemerlangan perubatan nuklear di rantau ini.



Pusat Perubatan Nuklear di Hospital Awam pada 1950-an



KEMENTERIAN SAINS,
TEKNOLOGI DAN INOVASI
MINISTRY OF SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION



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 Penilaian Bahan

Jaminan Kualiti

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

Sterilisasi Bukan Kimia

1. Penyinaran Gamma
2. Penyinaran Elektron

Latihan

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

Agensi Nuklear Malaysia (Nuklear Malaysia)

PRODUK

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

RUNDING CARA

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

Untuk maklumat lanjut sila hubungi:

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

U/P : Dr. 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



FOLLOW US



i-NUKLEAR
ILMU . IDEA . INFORMASI



AGENSI NUKLEAR MALAYSIA
Bangi, 43000 Kajang, Selangor Darul Ehsan

Agensi Nuklear Malaysia

@agensinuklearmalaysia133

nuklearmalaysiaofficial

@NuklearM