

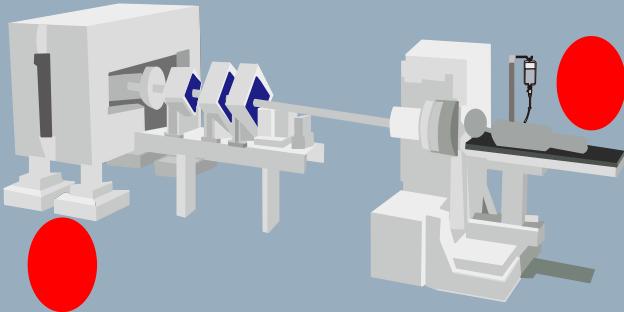
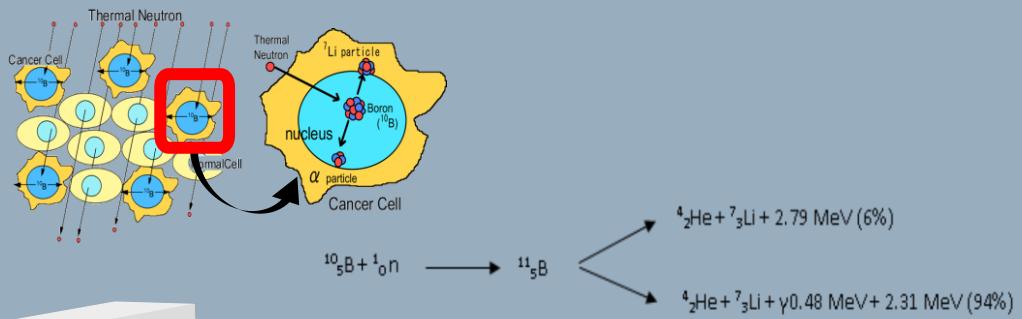
10-ATN DALAM KEDOKTERAN

Zaenal ABIDIN



Aplikasi teknik nuklir dalam kedokteran





POKOK BAHASAN

- I. PEMBANGKIT RADIASI PENGION
- II. RADIOLOGI
- III. RADIOTERAPI
- IV. KEDOKTERAN NUKLIR
- V. FISIKA MEDIS

Bidang kedokteran dapat dibedakan menjadi 2 macam

Radiologi, yaitu aplikasi teknologi nuklir dalam bidang kedokteran yang memanfaatkan sumber radiasi tertutup (sealed source) ataupun sumber radiasi yang dibangkitkan dengan bantuan peralatan, misalnya penggunaan jarum berupa sumber radiasi Co⁶⁰, Ra²²⁶, sinar-X dan linear accelerator (linac).

Radiologi :diagnostik dan Intervensional. (diagnostik:penggunaan sinar X utk diagnosis, interventional: sinar x utk memandu prosedur perkutaneus spt biopsi, pengeluaran cairan, pemasukan kateter, pelebaran saluran/pembuluh darah)

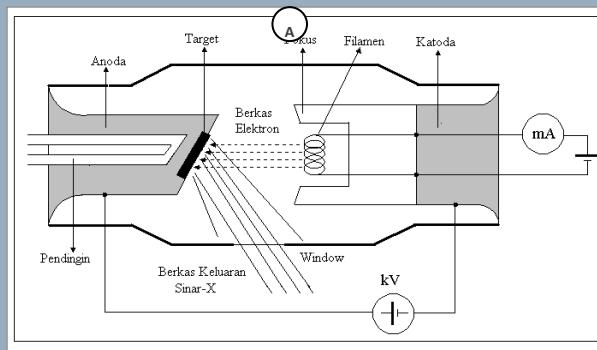
Kedokteran nuklir, yaitu aplikasi teknologi nuklir dalam bidang kedokteran yang memanfaatkan sumber radiasi terbuka (unsealed source), misalnya penggunaan sumber radioaktif I¹³¹, P³², Tc^{99m}, dan lain sebagainya.



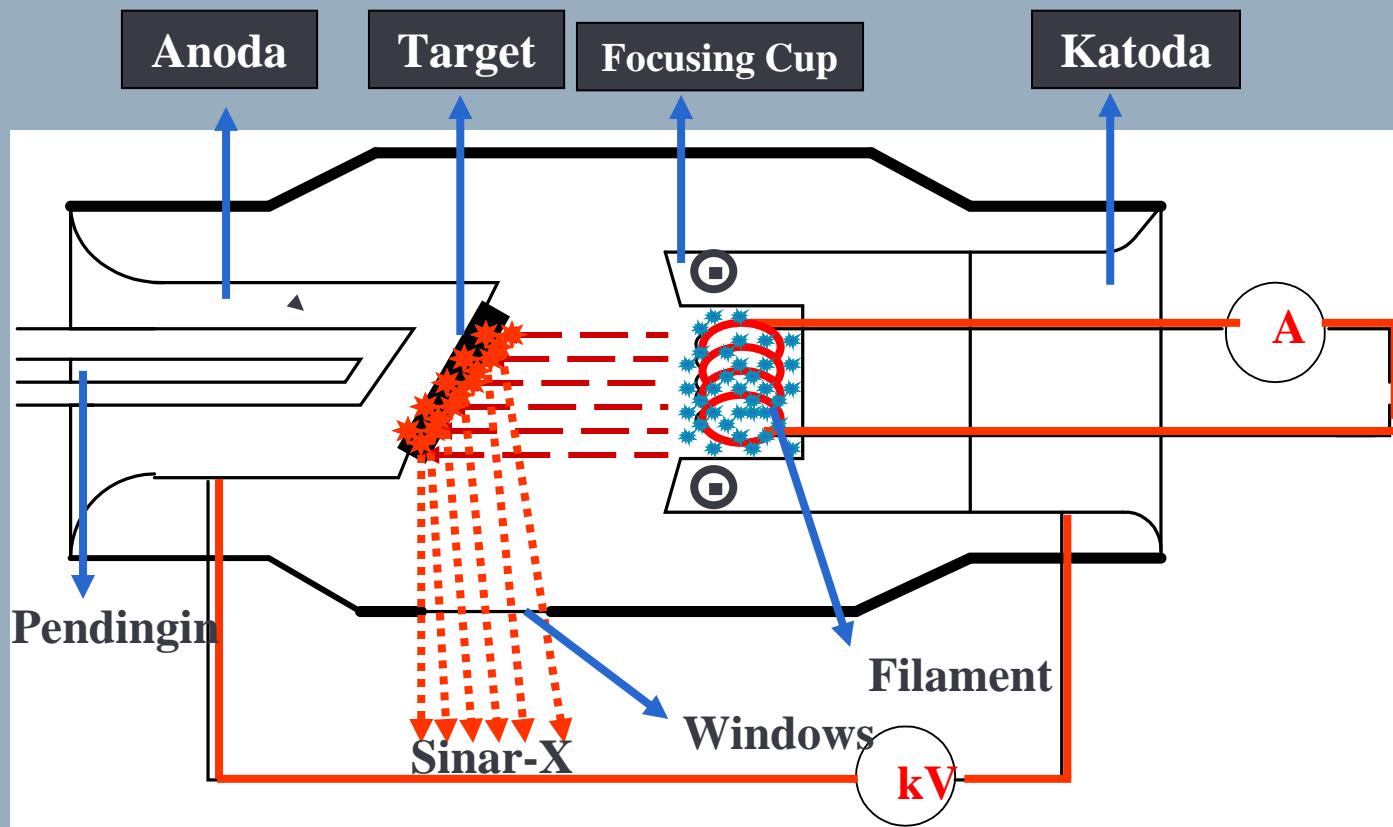
I. PEMBANGKIT RADIASI PENGION

PESAWAT SINAR-X

Pesawat sinar-X umumnya terdiri dari komponen: tabung sinar-X, generator tegangan tinggi, panel kontrol, dan peralatan penunjang (misal kolimator, *cassete holder*, meja, dll).



Komponen tabung sinar-X



Pesawat Sinar-X dan Proses Pembangkitan Sinar-X

PESAWAT SINAR-X



PORTABLE



MOBILE



STATIONARY



Jenis Pesawat Sinar-X

Meliputi:

1. Pesawat sinar-X diagnostik
2. Pesawat sinar-X interventional
3. Pesawat sinar-X penunjang radioterapi
4. Pesawat sinar-X penunjang kedokteran nuklir



Jenis Pesawat Sinar-X

1. Untuk Diagnostik:

- Pesawat Sinar-X *Mobile* (ruangan dan *mobile station*)
- Pesawat Sinar-X Terpasang Tetap
- Pesawat Sinar-X Tomografi
- Pesawat Sinar-X Pengukur Densitas Tulang
- Pesawat Sinar-X Penunjang ESWL (*Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy*) (C-Arm dan konvensional)
- Pesawat Sinar-X C-Arm Penunjang Bedah;
- Pesawat Sinar-X Mamografi,
- Pesawat Sinar-X Kedokteran Gigi
- Pesawat Sinar-X Fluoroskopi; dan
- Pesawat Sinar-X CT-Scan.

Jenis Pesawat Sinar-X

2. Untuk Intervensional:

- a. Pesawat Sinar-X Fluoroskopi;
- b. Pesawat Sinar-X CT-Scan Fluoroskopi;
- c. Pesawat Sinar-X C-Arm/U-Arm Angiografi; dan
- d. Pesawat Sinar-X CT-Scan Angiografi.

Jenis Pesawat Sinar-X

3. Untuk penunjang radioterapi:
 - a. Pesawat Sinar-X Simulator
 - b. Pesawat Sinar-X CT-Scan untuk simulator
 - c. Pesawat Sinar-X C-Arm untuk brakiterapi

Jenis Pesawat Sinar-X

4. Untuk penunjang kedokteran nuklir:
Pesawat Sinar-X CT-Scan

PESAWAT SINAR-X *MOBILE DALAM MOBILE STATION*



0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21

PESAWAT SINAR-X MAMOGRAFI

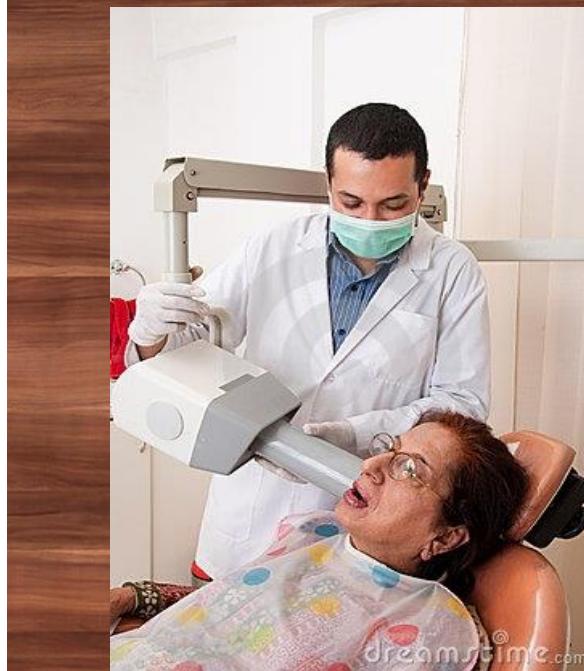


0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21

PESAWAT SINAR-X KEDOKTERAN GIGI



0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21



dreamstime.com



PESAWAT SINAR-X FLUOROSKOPI



KONVENTSIONAL



C-ARM

PESAWAT CT SCAN



Kualitas dan Kuantitas sinar-X

Kualitas Sinar-X

Kemampuan sinar-X menembus material

Ditentukan oleh: kV dan Filter

Kuantitas sinar-X

Intensitas (jumlah radiasi/satuan waktu) sinar-X
persatuan luas

Ditentukan oleh: mA, Nomor Atom Target dan kV

FASILITAS RUANGAN

Disain bangunan fasilitas pesawat sinar-X harus memenuhi persyaratan:

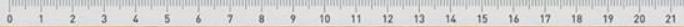
- a. Pembatas dosis untuk pekerja radiasi untuk dinding ruangan dan pintu yang berbatasan langsung dengan ruang kerja pekerja radiasi
- b. Pembatas dosis untuk anggota masyarakat untuk dinding ruangan dan pintu yang berbatasan langsung dengan akses anggota masyarakat



FASILITAS RUANGAN

Fasilitas ruang pesawat sinar-X harus memenuhi persyaratan:

1. Ukuran ruangan pesawat sinar-X harus sesuai dengan ketentuan yang berlaku
2. Jika ruangan memiliki jendela, maka jendela ruangan paling kurang terletak pada ketinggian 2 m dari lantai.
3. Dinding ruangan untuk semua jenis pesawat sinar-X terbuat dari bata merah ketebalan 25 cm atau beton dengan kerapatan jenis $2,2 \text{ g/cm}^3$ dengan ketebalan 20 cm atau setara dengan 2 mm timah hitam (Pb), dan pintu ruangan pesawat sinar-X harus dilapisi dengan timah hitam dengan ketebalan tertentu.



FASILITAS RUANGAN

Fasilitas pesawat sinar-X harus memenuhi persyaratan :

4. Kamar gelap atau alat pengolahan film.
5. Ruang tunggu pasien.
6. Ruang ganti pakaian.
7. Tanda radiasi, poster peringatan bahaya radiasi, dan lampu merah.

II. RADIOLOGI

Pesawat Sinar-X

Radiodiagnostik; kegiatan penunjang diagnostik menggunakan perangkat radiasi sinar pengion (sinar x), untuk melihat fungsi tubuh secara anatomi. Ahli dalam bidang ini dikenal sebagai radiolog (Sp.Rad).

SEJARAH

- > Bidang radiologi
 - * C. Roentgen, seorang fisikawan Jerman pada tahun 1895.
 - * 15 th > muncul kasus penyakit tumor dan kanker kulit ??
 - * Dosis yang aman bagi manusia ???
 - * Pakaian pelindung radiasi, jas apron
 - * International Commission on Radiological Protection (ICRP) ditetapkanlah dosis radiasi yang diizinkan pada tahun 1928.

ANALISIS IN-VIVO

Radioisotop dimasukkan ke dalam tubuh pasien melalui

1. mulut (diminum),
2. urat nadi darah (disuntikkan)
3. paru-paru (dihirup lewat hidung),

OUT-PUT

IN-VIVO

Citra atau gambar dari organ atau bagian tubuh pasien dapat diperoleh dengan bantuan peralatan yang dinamakan kamera gamma, atau kamera positron disebut **teknik imaging**.

Kurva-kurva kinetika radioisotop dalam organ atau bagian tubuh tertentu merupakan angka-angka yang menggambarkan akumulasi radioisotop di dalam organ tubuh tersebut.

ANALISIS IN-VITRO

- > Bagian organ tubuh pasien diambil dan direaksikan dengan radioisotop bertanda untuk kemudian dianalisis dengan detektor radiasi, sehingga dapat diketahui jenis kandungan di dalam organ tubuh tersebut.

- > Misalnya, melalui darah yang diambil dari tubuh pasien yang direaksikan dengan radioisotop maka akan diketahui kandungan-kandungan hormon tertentu dalam darah pasien, seperti insulin, tiroksin, dsb.

OUT-PUT

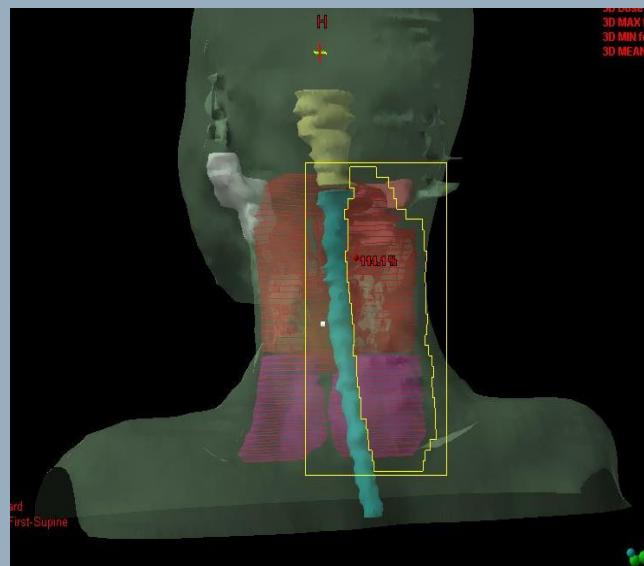
IN-VITRO

- > Tingkat radioaktivitas yang terdapat dalam contoh bahan biologis yang diambil dari tubuh pasien setelah direaksikan radioisotop, misalnya darah atau urine, dicacah memakai piranti detektor nuklir (dinamakan juga teknik non-imaging).

Perbedaan pencitraan pada radiologi dan kedokteran nuklir

Perihal	Radiologi	Kedokteran nuklir
Sumber radiasi	Sumber radiasi tertutup, atau alat pembangkit radiasi	Sumber radiasi terbuka
Pembentukan citra	Transmisi radiasi, perbedaan daya tembus radiasi oleh organ tubuh	Emisi radiasi, perbedaan akumulasi radioisotop pada organ tubuh
Informasi yang diperoleh	Keadaan anatomis dan morfologis organ tubuh	Keadaan fungsional dari organ tubuh

III. RADIOTERAPI



PENGERTIAN RADIOTERAPI

Radioterapi:
modalitas pengobatan dengan menggunakan Zat Radioaktif Terbungkus dan/atau Pembangkit Radiasi Pengion.

Perka Bapeten No. 3 tahun 2013
Tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Radioterapi

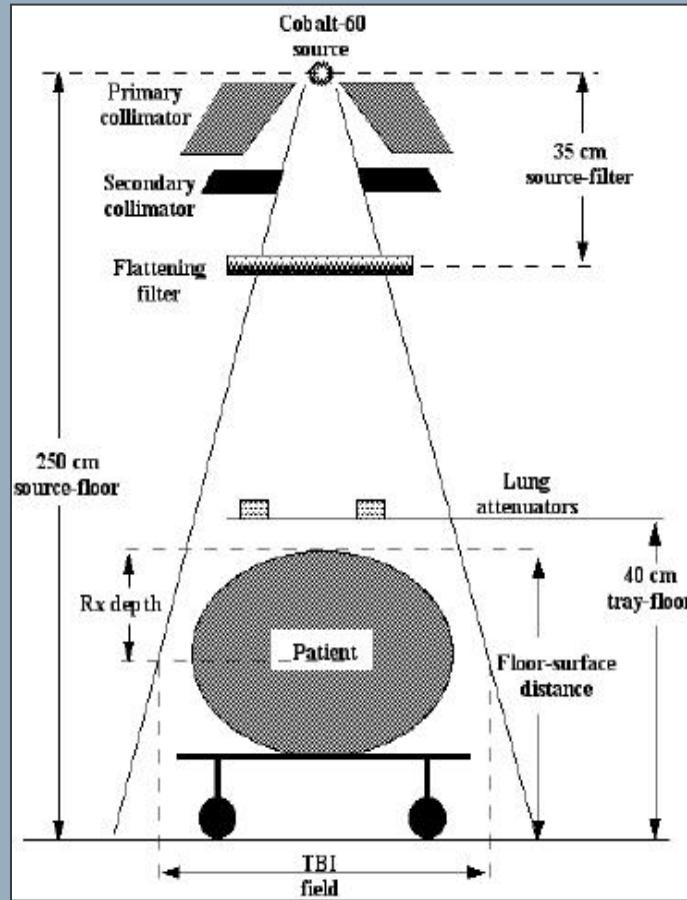
Radioterapi; kegiatan terapi radiasi eksternal dengan sumber radiasi tertutup, menggunakan teknik penyinaran secara fraksinasi. dalam bentuk brakiterapi maupun teleterapi. Ahli dalam bidang ini dikenal sebagai radioonkolog(Sp.Rad.Onk).

PENGGUNAAN RADIOTERAPI

1. Terapi Eksternal adalah jenis radioterapi dengan peralatan pemancar berkas radiasi berada pada jarak tertentu di luar tubuh manusia.
2. Brakhiterapi adalah jenis radioterapi jarak dekat yang diberikan secara manual atau *remote afterloading*.

I. TERAPI EKSTERNAL

a. Prinsip Kerja



b. Sumber radiasi dan peralatan yang digunakan

1. Zat radioaktif :

- teleterapi Co-60,
- *gamma knife*

2. Sinar-X :

- Pesawat sinar-X superfisial
- Pesawat sinar-X ortovolt

3. Berkas elektron dan/ atau sinar-X energi tinggi:

- *Linear Accelerator*
- *Cyberknife*

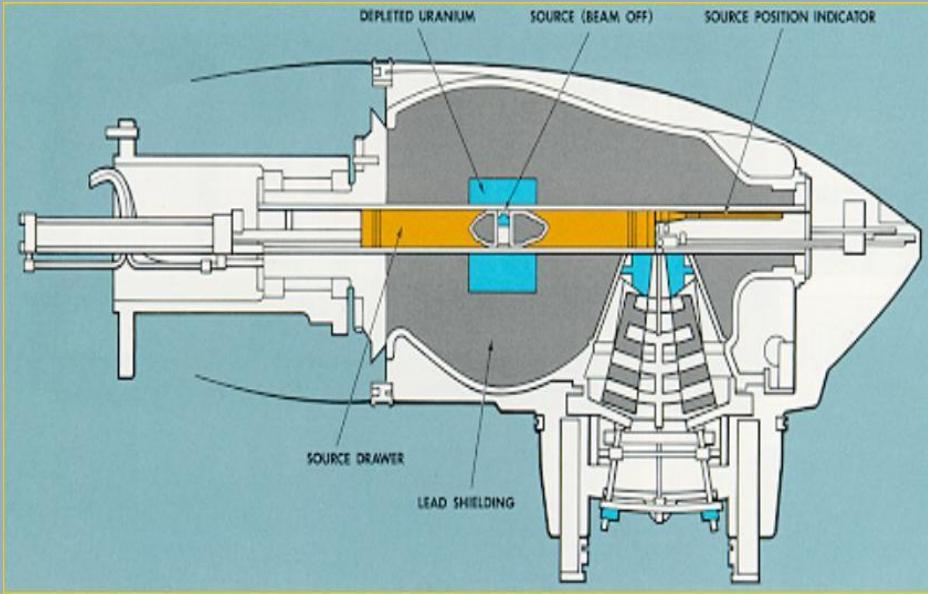
ZAT RADIOAKTIF

1. Teleterapi Co-60



Sumber radiasi dan peralatan

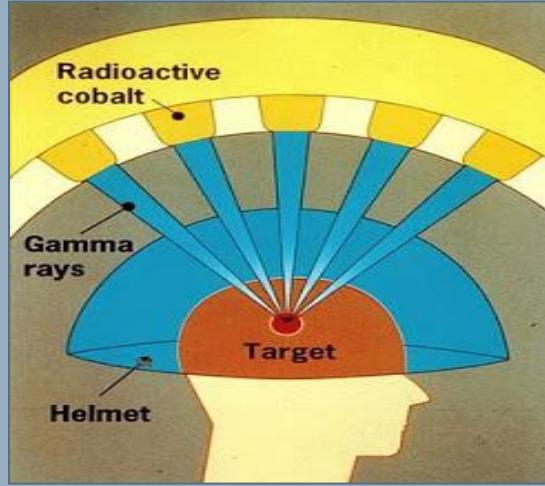
- Aktivitas sumber Co-60 lebih dari 1000 Ci
- Pesawat teleterapi gamma terdiri dari bagian utama
 - *gantry stand;*
 - *head source/ radiation head;*
 - *collimator assembly;*
 - *distance indicator;*
 - *control (treatment room controls*
 - dan *control consule);*
 - serta peralatan penunjang
- Energi foton sekitar 1,25 MeV
(memiliki 2 buah energi 1,17 MeV dan 1,33 MeV)



Sistem Mekanisme Pemindahan Sumber dalam *Head* Co-60

2. Gamma Knife



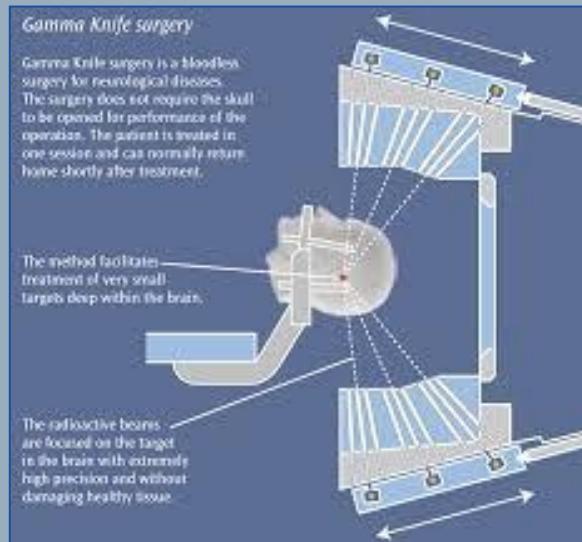


- *Gamma knife* adalah pesawat terapi eksternal yang menggunakan sumber radiasi gamma untuk pengobatan kanker dengan metode radiasi stereotaktik.
- Umumnya digunakan untuk terapi kanker atau tumor di otak atau di kepala

Sumber radiasi dan peralatan

Gamma Knife menggunakan :

- 201 buah Co-60 dengan aktivitas sekitar 30 Ci (1,1TBq)
- Sumber radiasi disusun melingkar dengan berkas radiasi diarahkan ke target



PESAWAT SINAR-X

1. Pesawat Sinar-X Superficial



Sumber radiasi dan peralatan

- Pesawat Sinar-X Superfisial adalah pesawat terapi eksternal yang menggunakan tabung sinar-X untuk pengobatan pada permukaan kulit atau mata (kedalaman sekitar 5 mm)
- Tegangan kerja : 50-150 kV
- Arus tabung : 5 – 8 mA
- SSD : 15 – 20 cm
- Filter : 1 – 6 mm Al
- Membutuhkan konus
- Pengaturan dosis menggunakan arus (mA), waktu (s), atau mAS

2. Pesawat Sinar-X Orthovolt



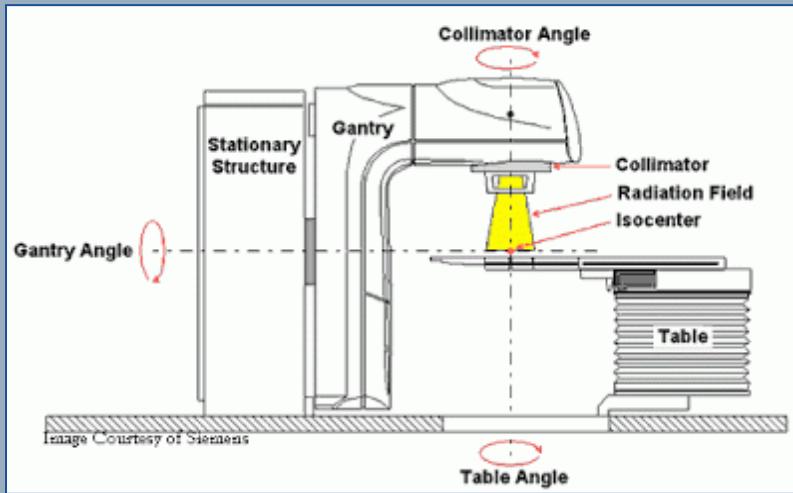
Sumber radiasi dan peralatan

- Pesawat Sinar-X Ortovolt adalah pesawat terapi eksternal yang menggunakan tabung sinar-X, untuk pengobatan pada jaringan dengan kedalaman sekitar 4 cm sampai 6 cm dari permukaan kulit
- Tegangan kerja : 150 - 500 kV (operasional : 200 – 300 kV)
- Arus tabung : 10 – 20 mA
- SSD : 50 cm
- Filter : 1 – 4 mm Cu
- Membutuhkan konus
- Pengaturan dosis menggunakan arus (mA), waktu (s), atau mAS

BERKAS ELEKTRON dan/ atau SINAR-X ENERGI TINGGI

1. Pesawat LINAC



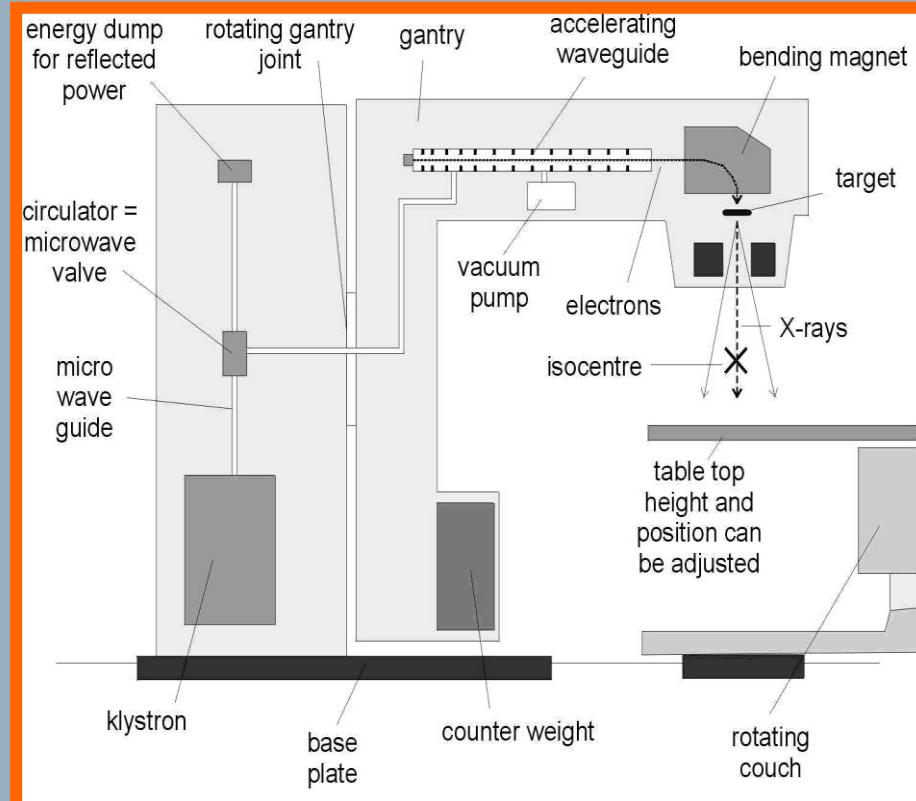


Linear Accelerator (LINAC) adalah pesawat terapi eksternal yang menggunakan tabung lurus tempat partikel bermuatan (elektron) mendapat peningkatan energi akibat osilasi medan elektromagnetik sehingga menghasilkan berkas elektron dan/atau sinar-X energi tinggi

Sumber radiasi dan peralatan

- sumber radiasi:
 - elektron berenergi tinggi (MeV) yang dipercepat secara linear : 4 – 22 MeV
 - foton : 6 dan 10 MV
- jenis pesawat LINAC :
 - berkas elektron dan berkas foton (*dual mode*);
 - dua berkas foton; atau
 - lima atau lebih berkas energi elektron.

Sumber radiasi dan peralatan



Sumber radiasi dan peralatan (lanjutan)

Stand

- *Klystron* atau *magnetron*, pembangkit dan penguat gelombang mikro
- *Pemandu gelombang* yang di dalamnya dilengkapi sirkulator
- *Sirkulator*, untuk menghindari berbaliknya gelombang mikro ke klistron
- *Sistem pendingin*, untuk menjaga temperatur tetap stabil dan mencegah terjadinya kondensasi dari uap udara atau gelembung udara.

Gantry

- Struktur pemercepat elektron, yang di dalamnya terdapat modulator (pencatu daya tinggi).
- *Electron Gun (cathode)*, sebagai sumber elektron
- *Bending magnet*, sebagai pembawa berkas elektron
- *Treatment head*, di dalamnya terdapat alat yang membentuk berkas radiasi dan alat monitor.
- *Beam stopper*, menyerap berkas radiasi sehingga mengurangi persyaratan proteksi shielding ruang penyinaran, tebal dinding dan pintu ruangan.

Sumber radiasi dan peralatan (lanjutan)

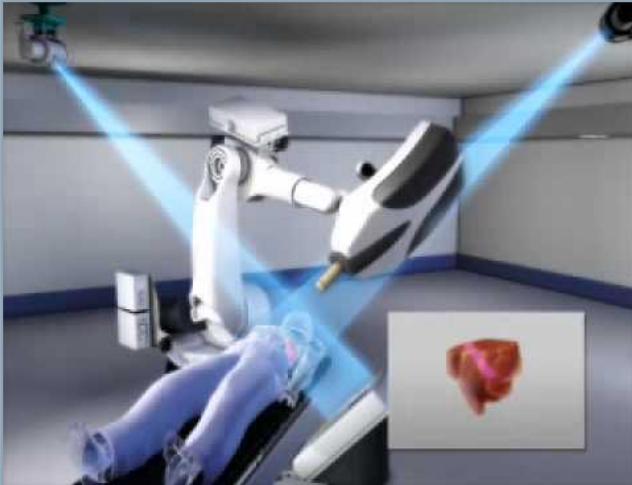
Peralatan Penunjang

- Panel Kontrol
- Modulator kabinet
- CCTV, Audio,
- Card rack cabinet :
 - Filter,
 - Aplikator (berkas elektron),
 - Pb dll.

2. Cyber knife

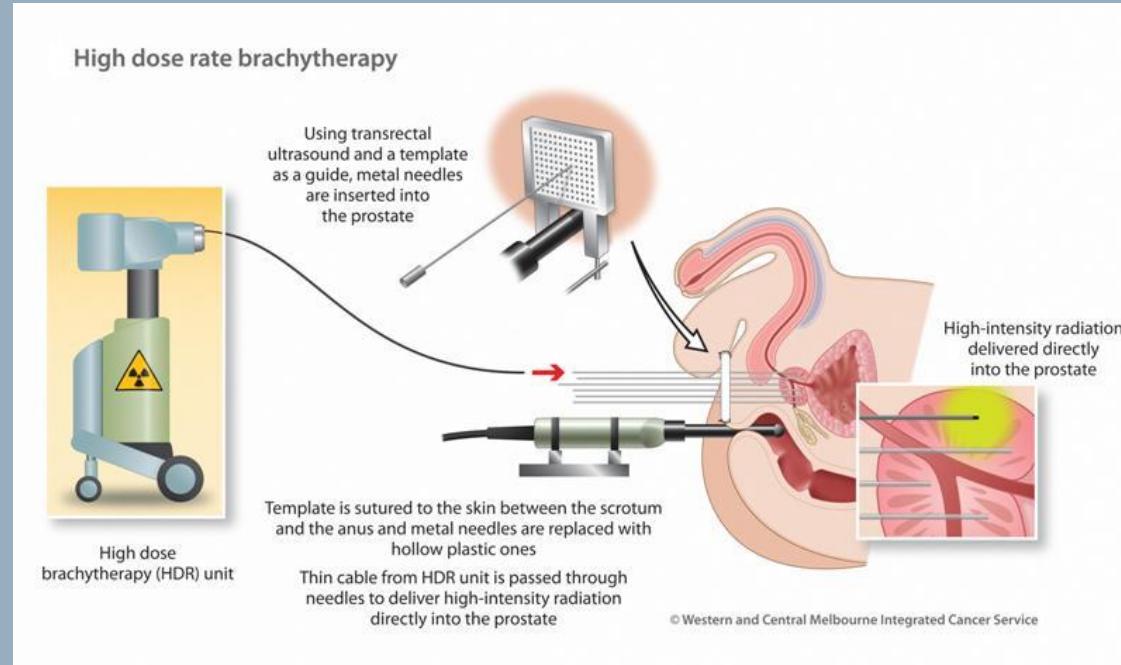


Sumber radiasi dan peralatan



Cyberknife adalah pesawat Linac yang menggunakan teknologi robot untuk pengobatan kanker dengan metode radiasi stereotaktik

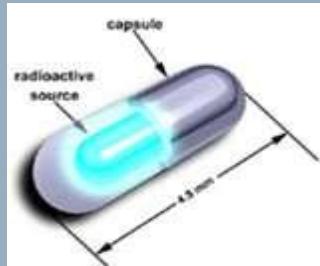
II. BRAKHITERAPI



Prinsip Brakhiterapi

Sumber radiasi dan peralatan

- sumber radiasi : Ra-226, Cs-137, Ir-192, Au-198 dan I-125.



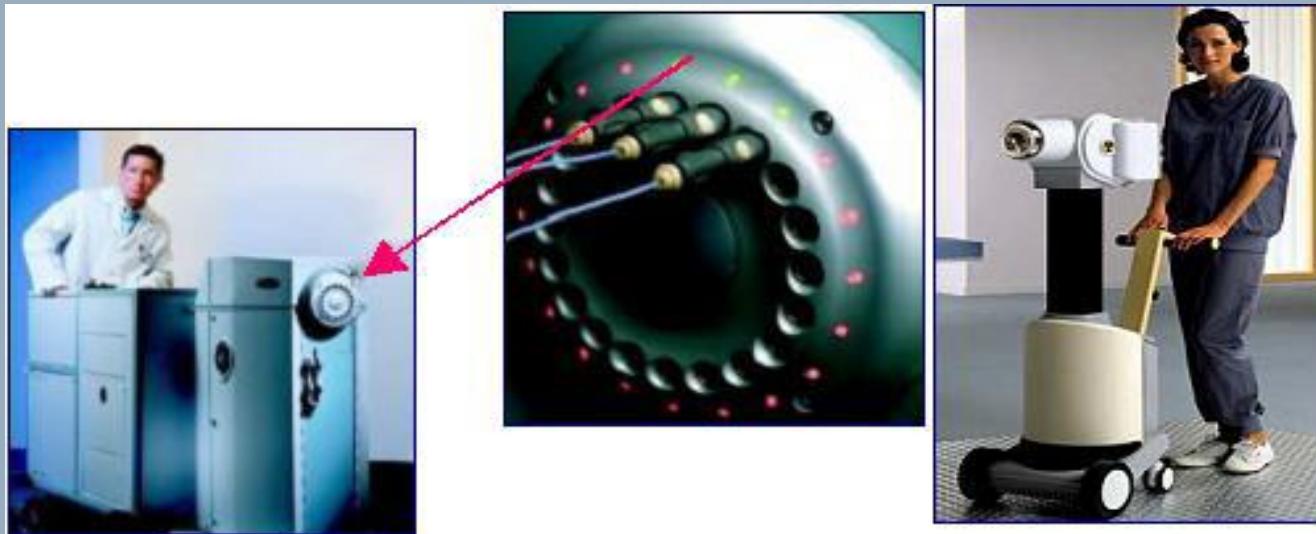
Tabel 1. Sumber Radioaktif Brakiterapi Manual

No	Sumber Radioaktif	Waktu Paro ($T_{1/2}$)	Energi (MeV)	Jenis Radiasi	Aktivitas (mCi)
1	Ra-226	1624 tahun	0,2 – 2,4	Gamma	2 – 30
2	Cs-137	30 tahun	0,66	Gamma	1,5 – 60
3	Co-60	5,4 tahun	1,17 & 1,33	Gamma	6 – 14
4	Rn-222	3,83 hari	0,2 – 2,4	Gamma	2 – 30
5	Ta-182	115 hari	0,05 – 1,24	Gamma	orde sd puluhan
6	Ir-192	74 hari	0,136 – 1,062	Gamma	20 – 75
7	Au-198	2,7 hari	0,41	Gamma	75 – 200
8	I-125	60 hari	0,035	Gamma	40
9	Sr-90	28 tahun	2,27	Beta	0,3

METODE BRAKHITERAPI

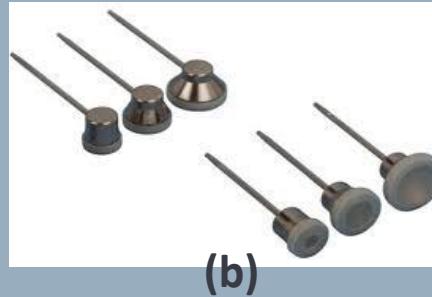
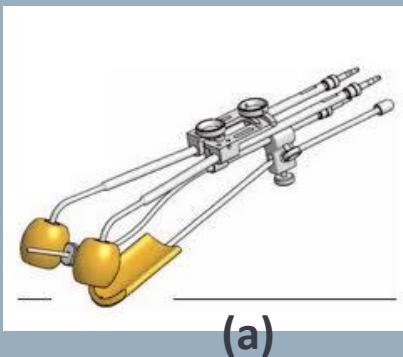
Brakhiterapi **Manual** adalah jenis brakhiterapi dengan zat radioaktif yang dimasukkan secara manual ke dalam atau menempel pada tumor

Brakhiterapi **Remote Afterloading** adalah jenis Brakhiterapi yang menggunakan perangkat kendali jarak jauh yang dikendalikan komputer untuk memasukkan Zat Radioaktif Terbungkus ke dalam aplikator yang telah dipasang dalam tubuh pasien.



Unit Brakiterapi *Remote Afterloading*

APLIKATOR BRAKITERAPI



Applicator khusus untuk (a) prostate; (b) skin dan surface;
(c) bronchoscopic; dan (d) cervix cancer

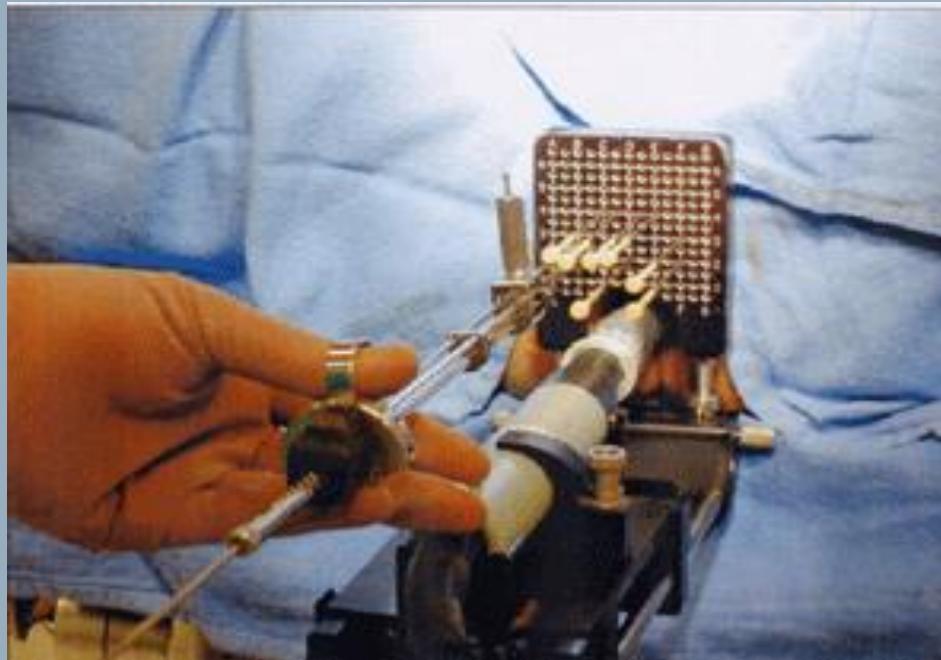
Teknik Brakiterapi

Teknik *interstitial* atau *implant* adalah sumber dimasukkan atau ditanam langsung ke dalam jaringan tumor dengan cara pembedahan.

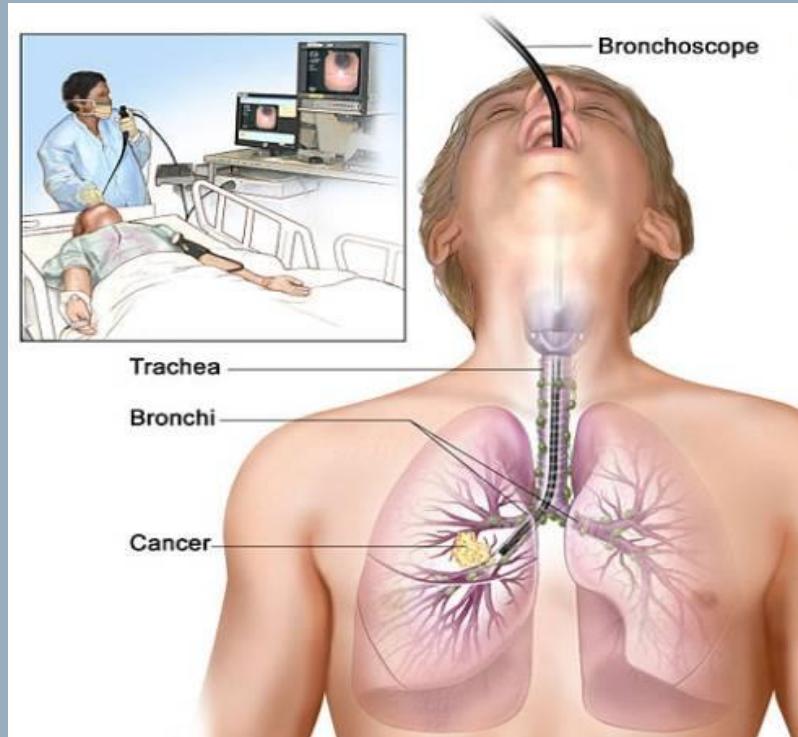
Teknik *intracavitory* atau *intraluminal* adalah pemasangan sumber yang dimasukkan ke dalam tubuh dengan menggunakan alat bantu seperti, kateter melalui lubang mulut, dan hidung, atau sumber tetap dibiarkan berada di dalam tubuh pasien.

Teknik *superficial* atau *surface* adalah pemasangan dengan cara menempelkan sumber di atas permukaan tumor atau pada kulit dan sifat pemasangan sumber adalah pemasangan tetap.

Teknik *interstitial* atau *implant*



Teknik *intracavitary* atau *intraluminal*



Teknik superficial atau surface



Brakiterapi *Remote Afterloading*

Berdasarkan laju dosis (*dose rate*) sumber yang digunakan, brakiterapi remote afterloading dapat dikelompokkan menjadi

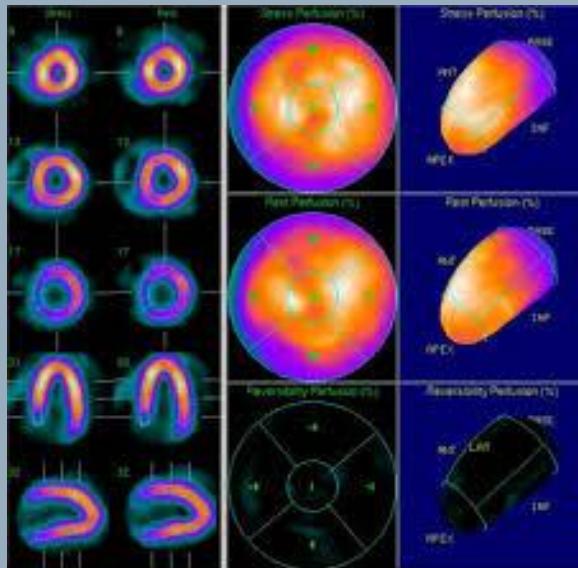
- *Low dose rate (LDR)* : Range dose rate 30-100 cGy/jam, dan waktu penyinaran 20-50 jam.
- *Medium dose rate (MDR)* : Range dose rate 100-200 cGy/jam, waktu penyinaran 1-20 jam
- *High dose rate (HDR)* : Range dose rate > 2000 cGy/jam atau > 33 cGy/menit, waktu penyinaran 1-60 menit secara bertahap misalnya 15 menit/penyinaran

FASILITAS PENUNJANG

Fasilitas penunjang instalasi radioterapi yang perlu dilengkapi adalah :

- Simulator,
- TPS (*Treatment Planning System*), dan
- *Mould Room.*

III. KEDOKTERAN NUKLIR



PENGERTIAN

Kedokteran Nuklir :

kegiatan pelayanan kedokteran spesialistik yang menggunakan sumber radioaktif terbuka dari disintegrasi inti berupa radionuklida dan/atau radiofarmaka untuk tujuan diagnostik, terapi, dan penelitian medik klinik, yang didasarkan pada proses fisiologik, patofisiologik, dan metabolisme.

Perka Bapeten No. 17 tahun 2012
tentang Tentang Keselamatan Radiasi dalam Kedokteran Nuklir

METODA KEDOKTERAN NUKLIR

- **Kedokteran Nuklir *Diagnostik in Vivo*** : metoda kedokteran yang dalam kegiatannya menggunakan radionuklida dan/atau radiofarmaka yang dimasukkan ke dalam tubuh pasien untuk tujuan diagnostik
 - non imaging*
 - imaging*
- **Kedokteran Nuklir *Diagnostik in Vitro*** : metoda kedokteran yang dalam kegiatannya menggunakan radionuklida dan/atau radiofarmaka yang dilakukan **di luar tubuh pasien** untuk tujuan diagnostik melalui pemeriksaan spesimen biologis pasien
- **Kedokteran Nuklir Terapi** adalah metoda kedokteran yang dalam kegiatannya menggunakan radionuklida dan/atau radiofarmaka yang dimasukkan ke dalam tubuh pasien untuk tujuan terapi

Sumber radiasi dan peralatan

Radioisotop :

I-131, Tc-99m, Tl-201, Ga-67, In-111, F18,
I-125, Sm-153, Y-90, Rh, Sr-90

Kit farmaka adalah bahan non - radiasi yang digunakan untuk bahan pencampur sebagai alat untuk mencapai organ target yang akan dinilai:

MDP, DTPA, MAG3, MIBI, *Tetrofosmin, Infekton, ECD, IDA, Mebrofenin, Sulfur colloid*

Sumber radiasi dan peralatan (lanjutan)

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

T A B L E 9.2

Half-Lives of Selected Radioisotopes

Name	Symbol	Half-Life
Carbon-14	$^{14}_6\text{C}$	5730 years
Cobalt-60	$^{60}_{27}\text{Co}$	5.3 years
Hydrogen-3	$^{3}_1\text{H}$	12.3 years
Iodine-131	$^{131}_{53}\text{I}$	8.1 days
Iron-59	$^{59}_{26}\text{Fe}$	45 days
Molybdenum-99	$^{99}_{42}\text{Mo}$	67 hours
Sodium-24	$^{24}_{11}\text{Na}$	15 hours
Strontium-90	$^{90}_{38}\text{Sr}$	28 years
Technetium-99m	$^{99\text{m}}_{43}\text{Tc}$	6 hours
Uranium-235	$^{235}_{92}\text{U}$	710 million years

Hot laboratorium

Tempat preparasi dan penyimpanan radioisotop, kit farmaka dan radiofarmaka, termasuk sisa pemakaian ditunggu sampai waktu luruh tercapai



Kit
Radiofarmak
a



Dose Calibrator



Generator Tc-99m

Siklotron

Penghasil radiofarmaka untuk PET → menghasilkan netron

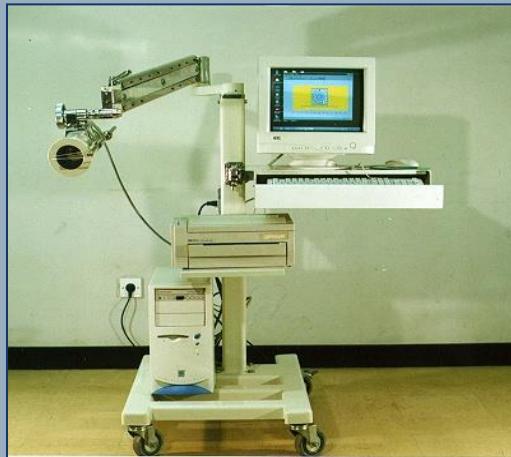


Sumber radiasi dan peralatan (lanjutan)

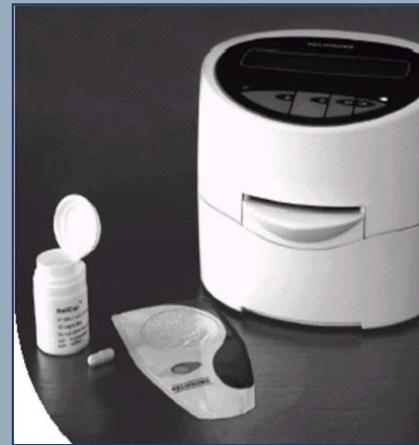
Peralatan *non imaging*:



RENOGRAF



TIROID UPTAKE



HELI PROBE

Sumber radiasi dan peralatan (lanjutan)

Peralatan *imaging*



KAMERA GAMMA

Sumber radiasi dan peralatan (lanjutan)

Peralatan *imaging*



KAMERA PET

Sumber radiasi dan peralatan (lanjutan)

Peralatan *imaging*



KAMERA PET/ SCAN

CONTOH SUMBER RADIASI DAN RADIOISOTOP SERTA APLIKASINYA DALAM BIDANG KEDOKTERAN

- > Jarum Ra²²⁶ dan Co⁶⁰ (??)

Kedua sumber radiasi gamma tersebut digunakan pada terapi penyakit kanker.

- > Pesawat sinar-X (pesawat Roentgen)

Pesawat ini digunakan untuk diagnosis penyakit melalui citra dari film hasil roentgen.

TEKNIK ANALISIS AKTIVASI NEUTRON (AAN)

- > Teknik ini dapat dipakai untuk menentukan kandungan mineral yang ada di dalam tubuh manusia, seperti serum darah, rambut dan kuku
- > terutama unsur-unsur yang terdapat dalam tubuh dan dalam jumlah sangat kecil (kelumit/trace)

Contoh : Co, Cr, F, Fe, Mn, Se, Zn)

- * Kelebihan teknik ini terletak pada sifatnya yang tidak merusak dan kepekaannya yang sangat tinggi.
- * Dalam teknik ini, bahan biologi yang diperiksa ditembakai dengan neutron dalam reaktor nuklir.

APLIKASI AAN

- > Kedokteran forensik, Yaitu mengetahui penyebab kematian seseorang, walaupun sudah mati/terkubur cukup lama.

Contoh,

*Napoleon Bonaparte yang dibuang ke pulau St. Helena yang meninggal pada tahun 1821, diduga Napoleon mati karena diracun (???)

* Rambut → AAN → Arsen (As)

(siapa peracun Napoleon ???)

PENENTUAN KERAPATAN TULANG DENGAN BONE DENSITOMETER

- > Pengukuran kerapatan tulang dilakukan dengan cara menyinari tulang dengan radiasi gamma atau radiasi sinar-X.
 - * Berdasarkan banyaknya radiasi gamma atau sinar-X yang diserap dan diteruskan oleh tulang yang diperiksa, maka dapat ditentukan konsentrasi mineral kalsium dalam tulang.
 - * Perhitungan dilakukan dengan komputer yang sudah diprogram /kalibrasi untuk standar kalsium pada piranti bone densitometer
 - * Teknik ini bermanfaat untuk membantu diagnosis kekeroposan tulang (osteoporosis) yang menyerang wanita pada masa menopause sehingga tulang mudah patah.

THREE DIMENSIONAL CONFORMAL RADIOTHERAPY (3D – CRT) (PISAU GAMMA)

- > Terapi ini menggunakan pesawat pemercepat partikel generasi mutakhir yang telah dimungkinkan untuk melakukan radioterapi kanker dengan sangat presisi dan tingkat keselamatan yang tinggi.
- > Kelebihan alat ini sangat selektif untuk membatasi bentuk jaringan tumor yang akan dikenai radiasi. Cara ini dapat memfokuskan serta memberikan paparan radiasi dengan dosis tepat pada target.
- > Dengan teknologi 3D-CRT ini sejak tahun 1985 telah dikenal sebagai metode pembedahan dengan menggunakan radiasi pengion sebagai "pisau bedah" atau "gamma knife".
- > Melalui teknik ini kasus-kasus tumor ganas yang sukar diambil dengan pisau bedah konvensional dapat diatasi dengan baik oleh pisau gamma ini, bahkan tanpa perlu membuka kulit pasien dan tidak merusak jaringan di luar target

RADIOISOTOP Tc^{99m} DALAM BENTUK SULPHUR KOLOIDAL Tc^{99m} .

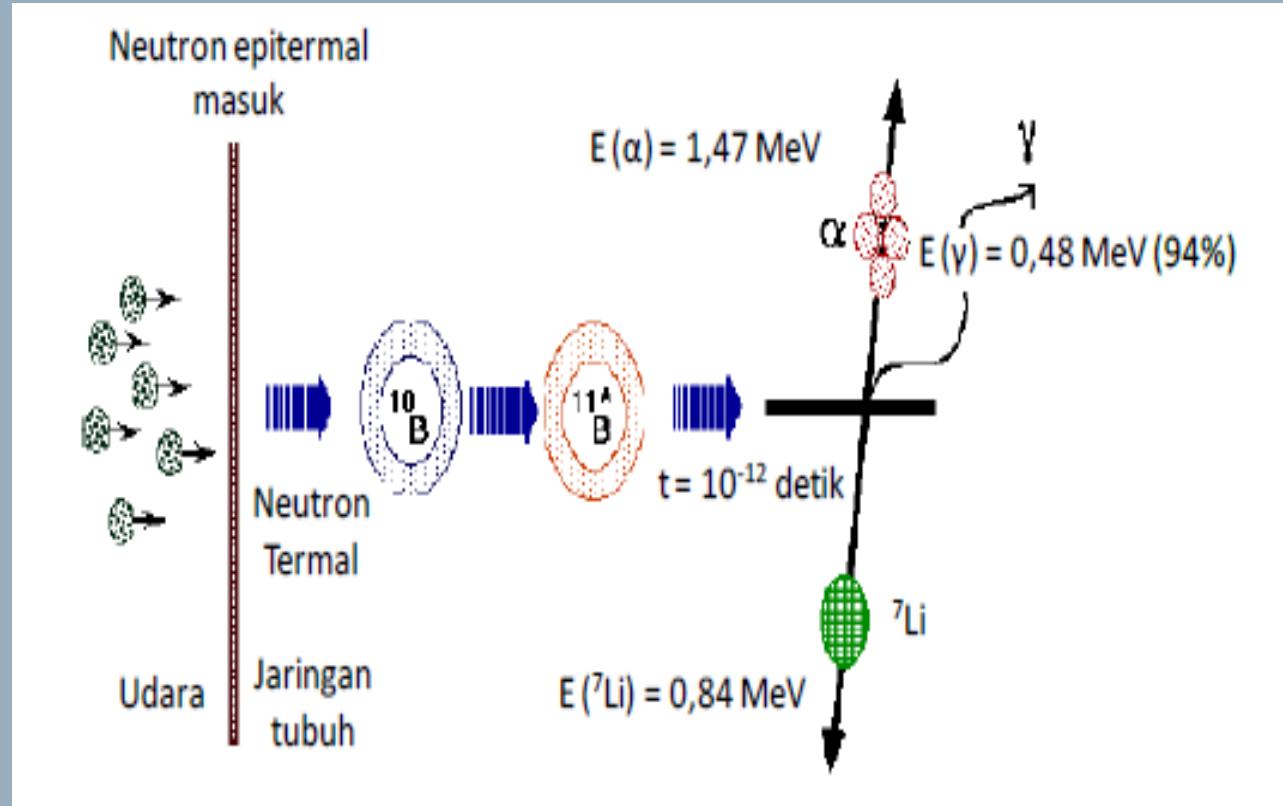
- > Tc^{99m} -makrokoloid : digunakan untuk menatah paru-paru.
- > Tc^{99m} -Fe kompleks : banyak dipakai untuk penatahan ginjal.
- > Tc^{99m} -serum albumin : untuk penatahan jantung dan placentea.
- > Tc^{99m} -portechnetat : digunakan untuk menatah otak.
- > Tc^{99m} -rythrocit : dipakai untuk penatahan limpa.

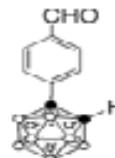
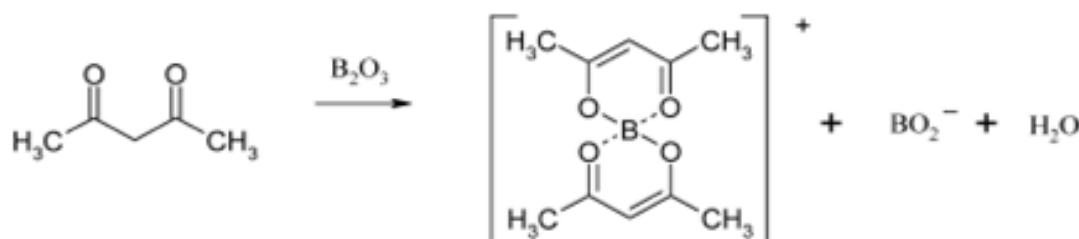
KELEBIHAN RADIOISOTOP Tc^{99m}

- > Hampir semua organ tubuh manusia dapat ditatah dengan radioisotop Tc^{99m} ini.
- > Radioisotop Tc^{99m} banyak digunakan karena waktunya paronya relatif pendek, yaitu 6 jam, sehingga tidak menimbulkan dampak radiasi dalam tubuh manusia dan dapat keluar melalui sekreta.
- > Saingan Tc^{99m} adalah In^{113m} (Indium), dengan umur paro 102 menit

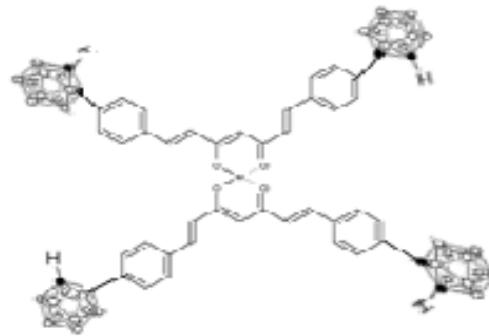
BNCT (BORON NEUTRON CAPTURE CANCER THERAPY)

Kanker adalah tumor ganas yang tumbuh akibat pembelahan sel yang tidak normal dan tidak terkontrol, proyeksi World Health Organization (WHO) tahun 2030 jumlah penderita kanker di Indonesia sangat tinggi dan pengobatannya hingga sampai saat ini belum menjangkau sampai sel akar kanker lokal. Untuk itu salah satu metode terapi yang dapat menjangkau sel akar kanker adalah metode BNCT





n-butylamine



HCl



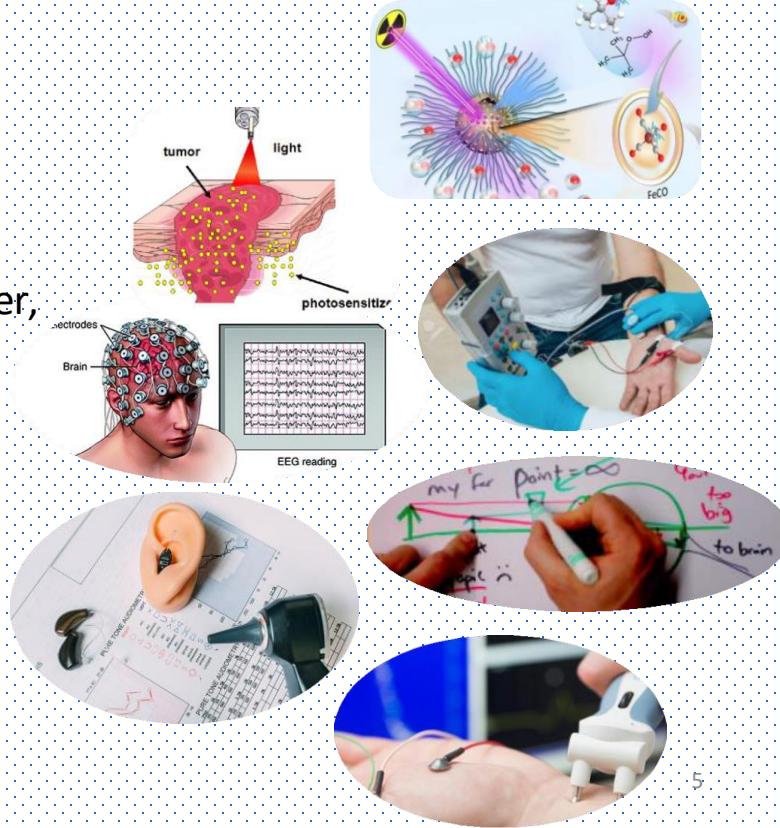
Fisika Medis

Fisika Medis adalah cabang terapan ilmu Fisika yang menggunakan prinsip, metode dan filosofi fisika dalam praktik dan penelitian untuk pencegahan, diagnosis dan pengobatan penyakit dengan tujuan meningkatkan kesehatan dan kesejahteraan masyarakat.

Fisika Medis dikelompokkan menjadi beberapa sub-bidang (spesialisasi), yakni Fisika Radioterapi, Fisika Radiologi Diagnostik dan Intervensional, dan Fisika Imajing Kedokteran Nuklir. Bidang-bidang ini juga terkait erat dengan bidang ilmu lainnya seperti Biofisika, Teknik Biomedika dan Fisika Kesehatan.

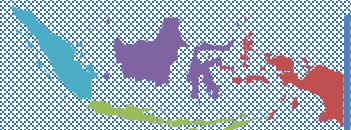
Ruang Lingkup

- Fisika Medis:
 - Radiasi Pengion: Sinar-X, radiasi gamma, neutron, partikel (α , β , proton, Carbon)
 - Radiasi non pengion: Laser, Ultrasound, Magnetic Resonansi
 - Optik
 - Mekanik
 - Audio
 - Elektromedical: Fungsi otot, otak dan saraf



Gambar dari berbagai sumber

Fisika Medis



Pencitraan medik



This image is licensed under CC BY-SA



Radioterapi



Kedokteran
nuklir



Keselamatan dan Proteksi
radiasi



Dosimetri dan Simulasi

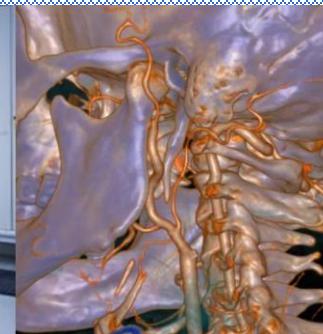
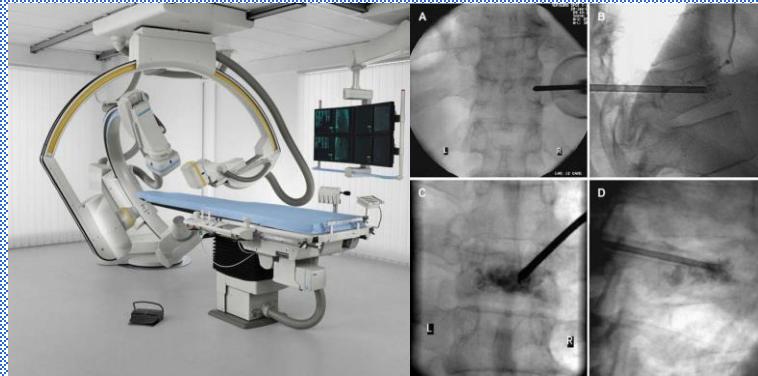
Profesi Fisikawan
Medis Radiasi di
Indonesia

Aktifitas

Medical physicists are involved with the application of medical physics principles and techniques for **prevention, treatment and diagnosis of human disorders, illnesses and disabilities, and the protection of the patients, staff and members of the public from ionizing and non-ionizing radiation hazards.** The role and responsibilities of medical physicists may be oriented toward **clinical service** (which includes **technical** and **radiation safety aspects**), **management, education, and research and development.**

Peran dan tanggung jawab: Radiodiagnostik dan interventional

- Jenis pemanfaatan:
 - Pesawat radiodiagnostik dan Interventional
 - CT-scan, Mammography, Dental (CBCT-Panoramik-Intraoral), Radiografi umum dan Fluoroskopi



Peran dan tanggung jawab: Radiodiagnostik dan interventional

- ✓ Membuat perencanaan fasilitas bersama dengan radiologis dan petugas proteksi radiasi
- ✓ Menyiapkan spesifikasi teknis peralatan pencitraan yang memenuhi standar proteksi
- ✓ Melakukan reviu dan partisipasi dalam perencanaan pengembangan layanan, operasional, pembuatan kebijakan dan prosedur. Melaksanakan uji keberterimaan dan *commissioning* peralatan;
- ✓ Membuat dan melaksanakan program jaminan kualitas fasilitas
- ✓ Supervisi perawatan alat
- ✓ Bertanggung jawab terhadap kalibrasi alat ukur dan detektor
- ✓ Melaksanakan asesmen terhadap dosis radiasi pasien
- ✓ Berpartisipasi dalam pembuatan protokol optimasi dosis pasien
- ✓ Berpartisipasi dalam penyelidikan dan investigasi pada kejadian diluar kebiasaan dan kecelakaan radiasi
- ✓ Memberikan kontribusi dalam pelatihan proteksi radiasi

Peran dan tanggung jawab: Radiodiagnostik dan interventional

- Kolaborasi Riset:
 - Optimasi dosis dan kualitas citra
 - Metode pengolahan citra
 - Biomarker modalitas radiasi sinar-X
 - Contrast agent
 - Ultrafast photon counting detector

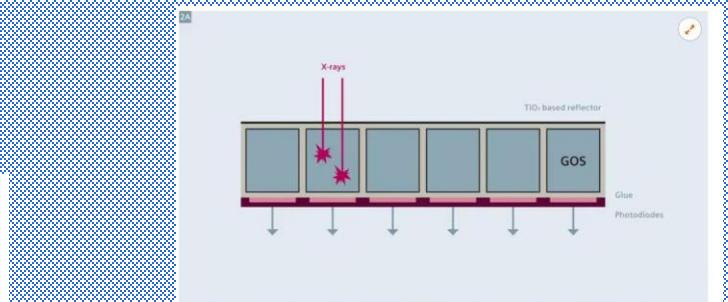
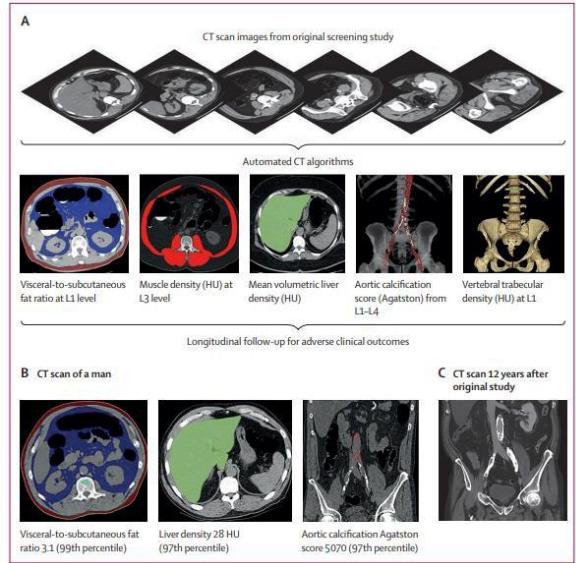


Fig. 2A: Energy-integrating detectors convert X-rays into an electrical signal in a two-step process: First, a scintillator layer (GOS) converts X-rays into visible light. Photodiodes then convert light into an electrical current.

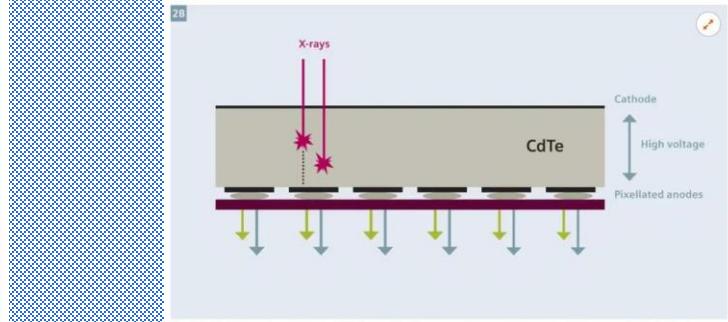


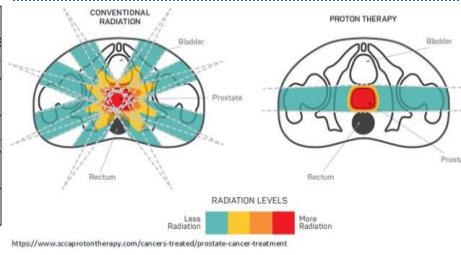
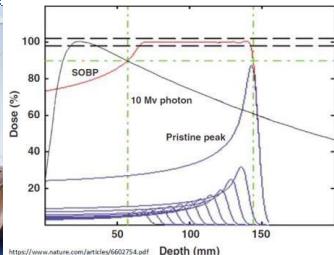
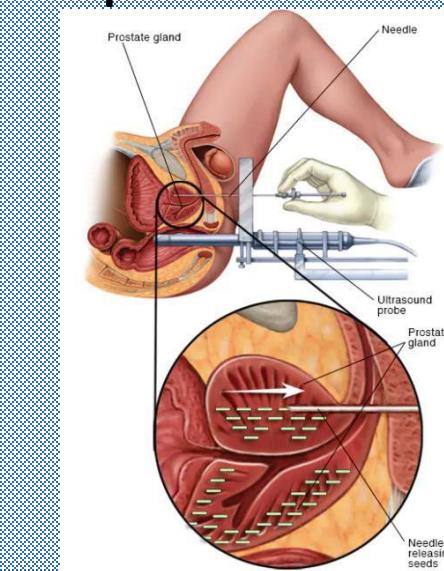
Fig. 2B: Certain materials (e.g., CdTe) can directly convert X-rays into an electrical current. Each photon can be detected individually and its energy can be measured.

Peran dan tanggung jawab: Radioterapi

- Memastikan secara reguler faktor kalibrasi alat radioterapi pada saat komisioning tetap sama pada saat digunakan untuk pasien
- Memastikan ketepatan perhitungan dosis yang diberikan ke pasien tepat dan akurat
- Membuat perencanaan fasilitas bersama dengan radio onkologis dan petugas proteksi radiasi
- Menyiapkan spesifikasi teknis peralatan radioterapi yang memenuhi standar proteksi
- Melakukan reviu dan partisipasi dalam perencanaan pengembangan layanan, operasional, pembuatan kebijakan dan prosedur
- Melaksanakan uji keberterimaan dan *commissioning* peralatan;
- Membuat dan melaksanakan program jaminan kualitas fasilitas
- Supervisi perawatan alat
- Bertanggung jawab terhadap kalibrasi alat ukur dan detektor
- Melaksanakan asesmen terhadap dosis radiasi pasien
- Berpartisipasi dalam penyelidikan dan investigasi pada kejadian diluar kebiasaan dan kecelakaan radiasi
- Memberikan kontribusi dalam pelatihan proteksi radiasi

Peran dan tanggung jawab: Radioterapi

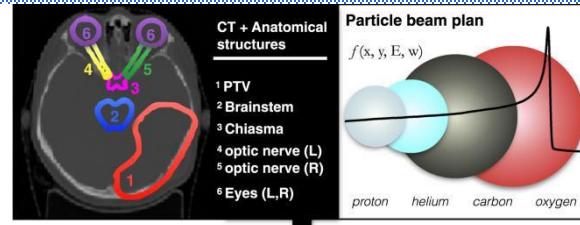
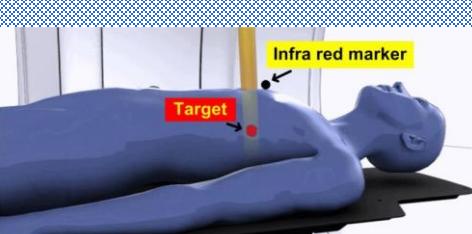
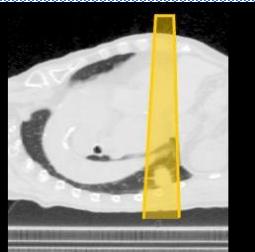
- Jenis pemanfaatan:
 - Radioterapi brakiterapi
 - Sumber radiasi didekatkan ke target/kanker
 - Radioterapi eksternal
 - Sumber radiasi berada di luar tubuh pasien
 - Linear accelerator energi photon 6, 10 dan 18 MV
 - Proton atau partikel akselerator



<https://www.nature.com/articles/6002754.pdf>

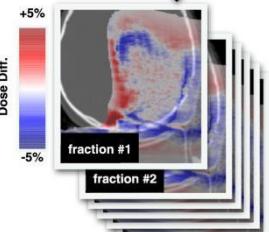
Peran dan tanggung jawab: Radioterapi

- Kolaborasi Riset:
 - Perhitungan dosis pada target kanker bergerak
 - Perhitungan dosis cepat berbasis GPU untuk terapi proton dan photon
 - Audit dosimeteri berbasis distribusi dosis 3 dimensi atau 4 dimensi

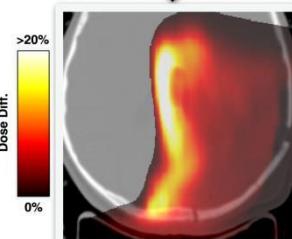


fast dose engine: **FRoG**

physical/delivery uncertainty



biological uncertainty



Peran dan tanggung jawab: Kedokteran nuklir

- Membuat perencanaan fasilitas bersama dengan radiologis dan petugas proteksi radiasi
- Menyiapkan spesifikasi teknis peralatan kedokteran nuklir yang memenuhi standar proteksi
- Melakukan reviu dan partisipasi dalam perencanaan pengembangan layanan, operasional, pembuatan kebijakan dan prosedur
- Melaksanakan uji keberterimaan dan *commissioning* peralatan;
- Membuat dan melaksankan program jaminan kualitas fasilitas
- Supervisi perawatan alat
- Bertanggung jawab terhadap kalibrasi alat ukur dan detektor
- Melaksanakan asesmen terhadap dosis radiasi pasien
- Berpartisipasi dalam pembuatan protokol optimasi dosis pasien
- Berpartisipasi dalam penyelidikan dan investigasi pada kejadian diluar kebiasaan dan kecelakaan radiasi
- Memberikan kontribusi dalam pelatihan proteksi radiasi

Peran dan tanggung jawab: Kedokteran nuklir

- Jenis pemanfaatan:
 - Terapi kedokteran nuklir
 - Pencitraan
 - Imaging based: Photon Emission Tomography (PET), Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT), kamera gamma
 - Non-Imaging Based: Renograph dan analisis Invitro, sentinel probe
 - Produksi Radioisotop
 - Cyclotron



Peran dan tanggung jawab: Kedokteran nuklir

PERSONALIZED

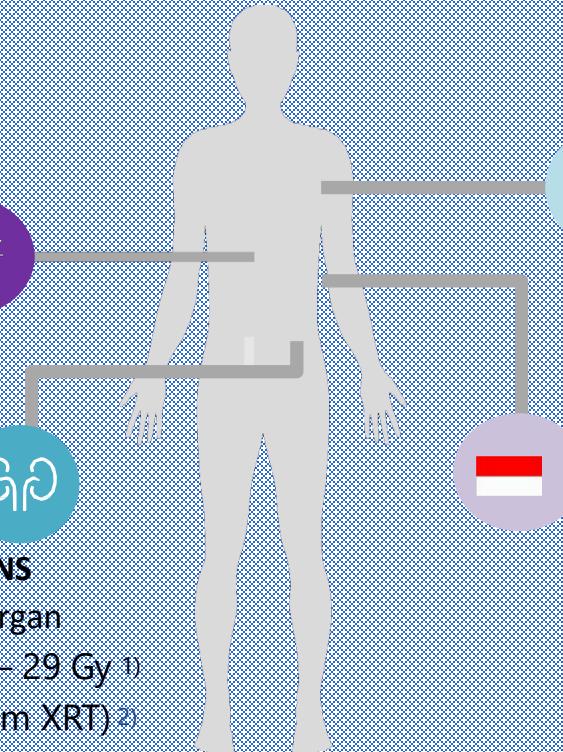
PATIENT DOSIMETRY

- one dose fits all will not give effective treatment
- Play role as treatment planning in RNT



CRITICAL ORGANS

- play role as dose limiting organ
- For kidney : between 27 – 29 Gy¹⁾ or 23 Gy (referred from XRT)²⁾



IAEA CRP E23005

Dosimetry in
Molecular
Radiotherapy for
Personalized Patient
Treatments

AIM THE STUDY

- First clinical use of ^{177}Lu
- investigate the organs affected by the administration of ^{177}Lu - PSMA
- Establishing dosimetry protocol in Indonesia

1. J. Ahlistedt, et al, International Journal Of Molecular Sciences, 16(12), (2015)

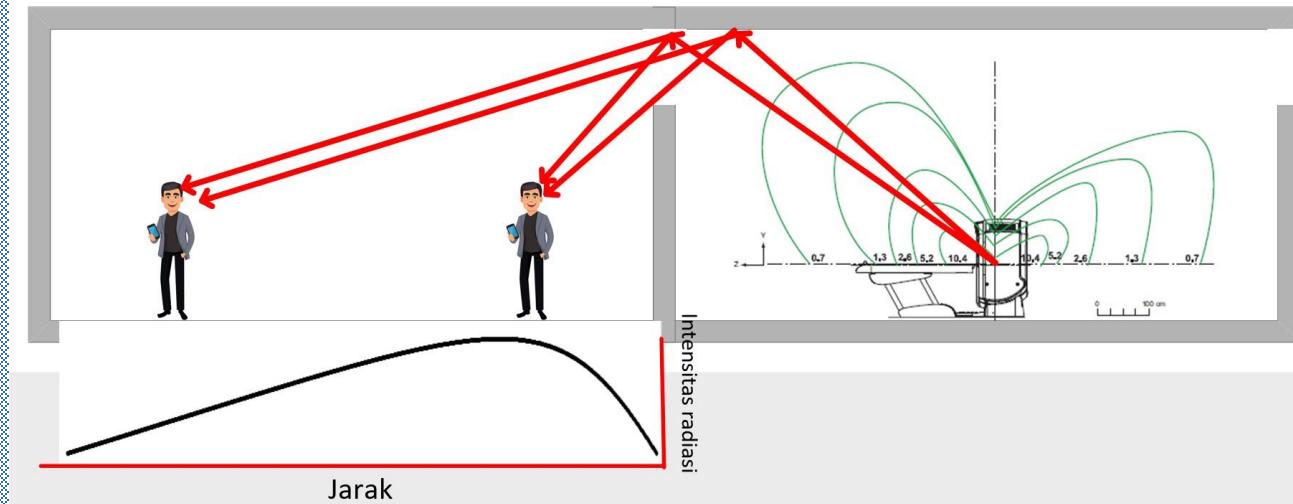
2. M. Konijnenberg M, et al, M. J. Nucl. Med.48, (2007)

Peran dan tanggung jawab: Keselamatan dan Proteksi Radiasi

- Memastikan pemanfaatan radiasi aman bagi lingkungan, pekerja dan masyarakat
- Membuat perencanaan fasilitas bersama dengan radiologis dan petugas proteksi radiasi
- Melakukan reviu dan partisipasi dalam perencanaan pengembangan layanan, operasional, pembuatan kebijakan
- dan prosedur
- Membuat dan melaksanakan program jaminan kualitas fasilitas
- Melaksanakan asesmen terhadap dosis radiasi pasien
- Melakukan pemantauan paparan radiasi di area sekitar fasilitas radiodiagnostik, radioterapi dan kedokteran nuklir

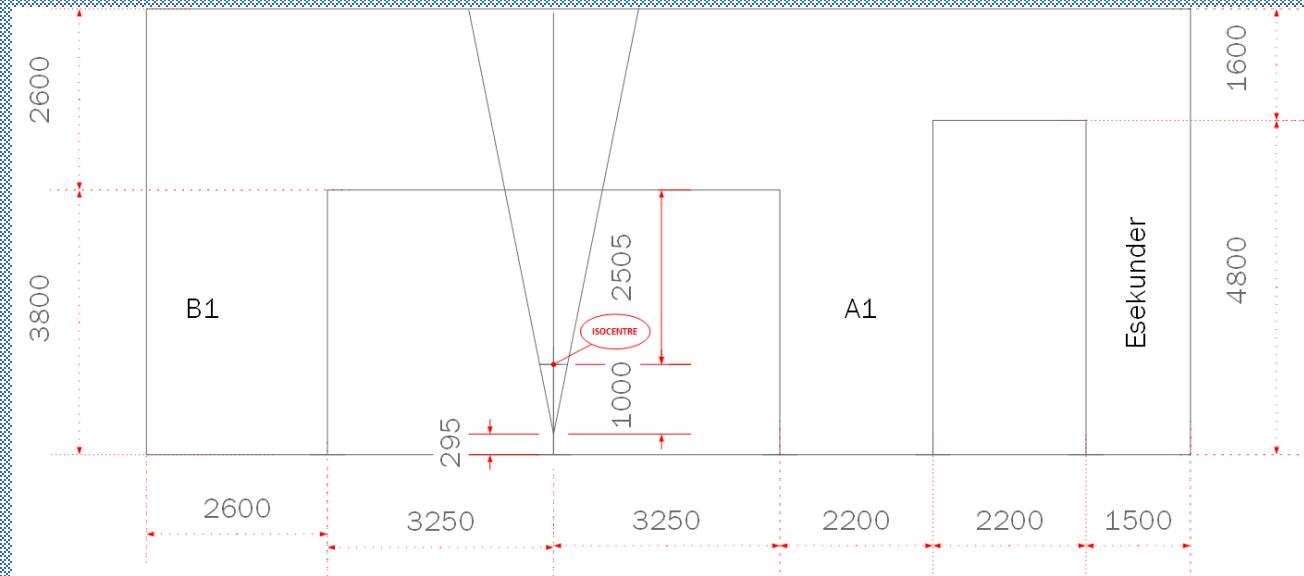
Peran dan tanggung jawab: Keselamatan dan Proteksi Radiasi

Perencanaan fasilitas bunker CT scan

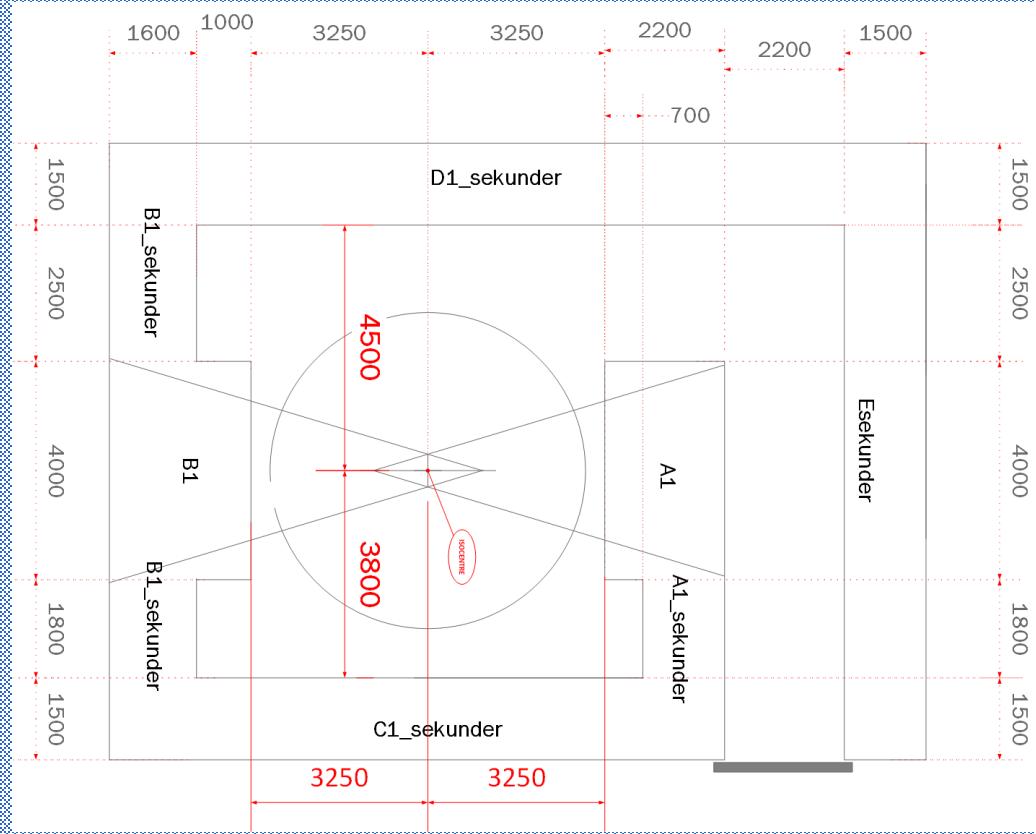


Peran dan tanggung jawab: Keselamatan dan Proteksi Radiasi

Perencanaan fasilitas bunker radioterapi linac

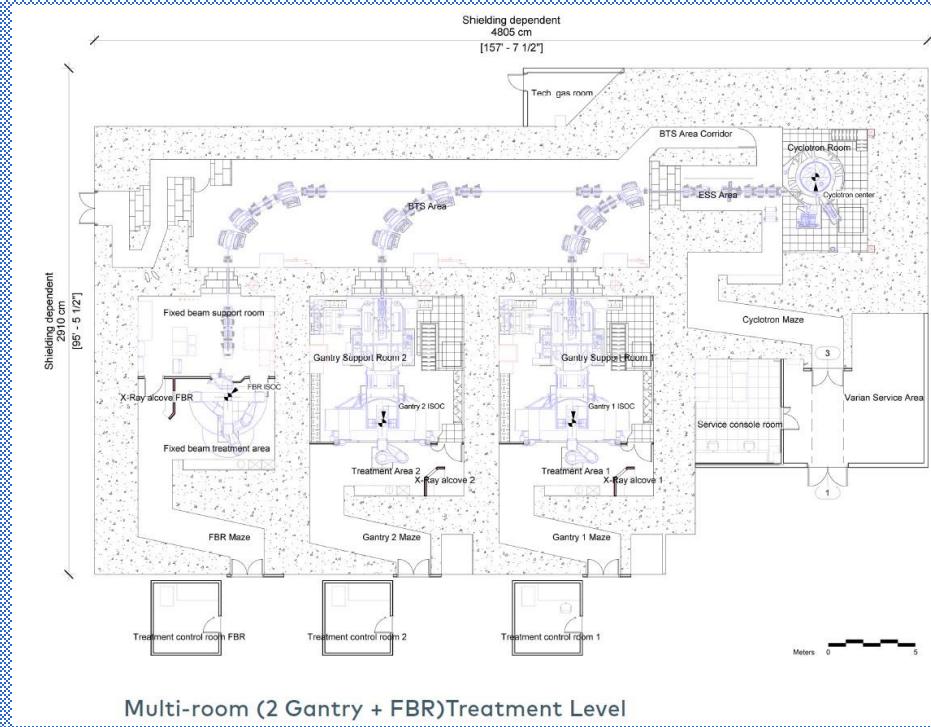


Peran dan tanggung jawab: Keselamatan dan Proteksi Radiasi



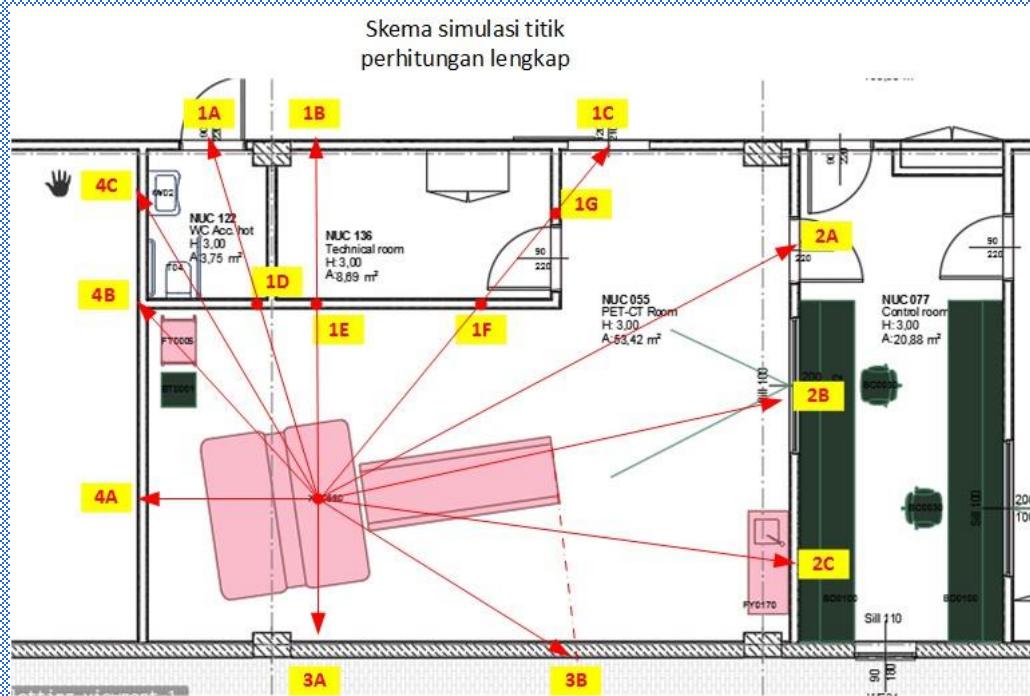
Peran dan tanggung jawab: Keselamatan dan Proteksi Radiasi

Perencanaan fasilitas bunker radioterapi proton



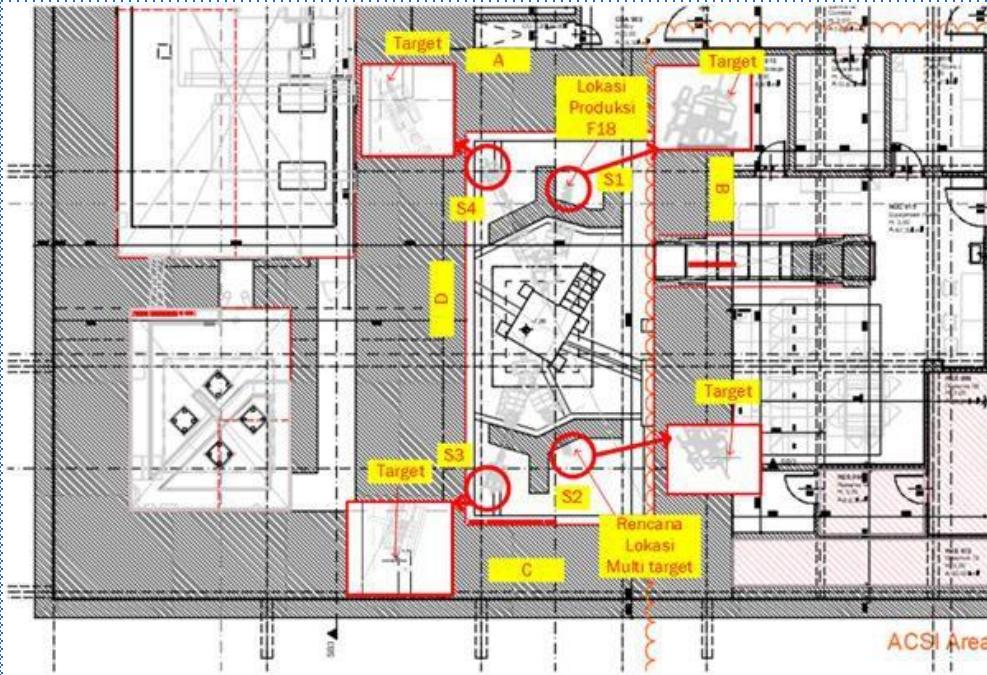
Peran dan tanggung jawab: Keselamatan dan Proteksi Radiasi

Perencanaan fasilitas Fasilitas PET CT



Peran dan tanggung jawab: Keselamatan dan Proteksi Radiasi

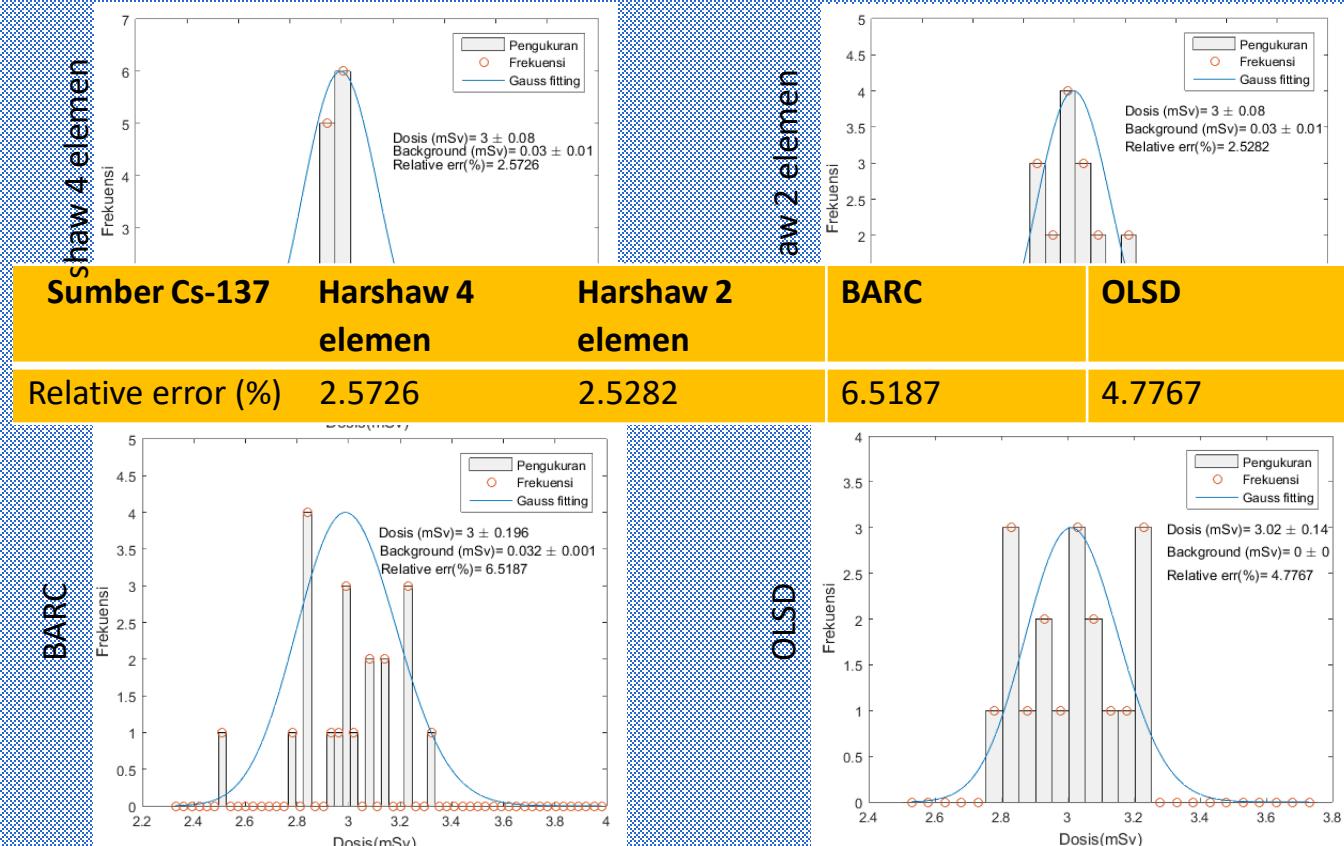
Perencanaan fasilitas bunker Cyclotron



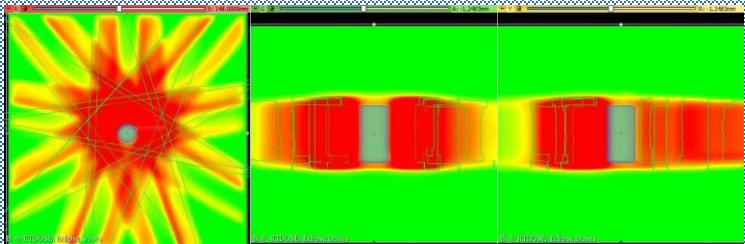
Keselamatan radiasi: pemantauan dosis personil



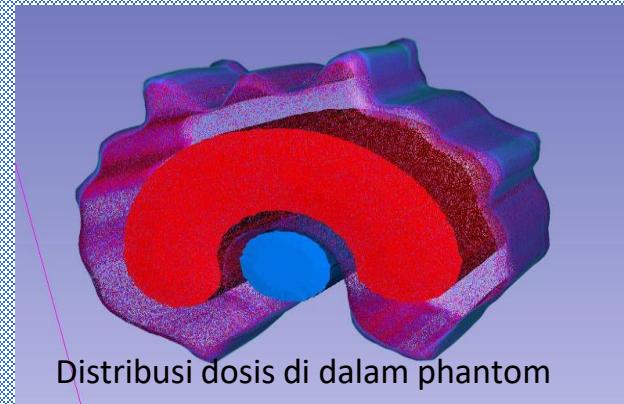
Perbandingan detektor pemantauan dosis personil



Peran dan tanggung jawab: Keselamatan dan Proteksi Radiasi



Verifikasi dosimetri memastikan
dosis yang diberikan disetiap
fasilitas terapi di seluruh Indonesia
diberikan dengan tepat



- Fisikawan medik memiliki tanggung jawab
 - Keselamatan: memastikan keselamatan dan proteksi terhadap pasien, pekerja dan lingkungan dalam pemanfaatan radiasi atau teknik nuklir dalam diagnosa atau pengobatan penyakit
 - Edukasi: mendidik personil terhadap keselamatan dan proteksi radiasi
 - Riset: mengembangkan metode diagnosa dan pengobatan

NUKLIR DIBIDANG KESEHATAN

KIT MIBI

Diagnosis fungsi jantung



Sm-153 EDTMP

Penghilang rasa sakit akibat kanker yang telah menyebar ke tulang



KIT MDP

Diagnosa kanker yang telah menyebar ke tulang



I-131 MIBG

Diagnosa dan terapi kanker + neuroblastoma



Nuclear
for Health

KIT DTPA

Diagnosis fungsi ginjal

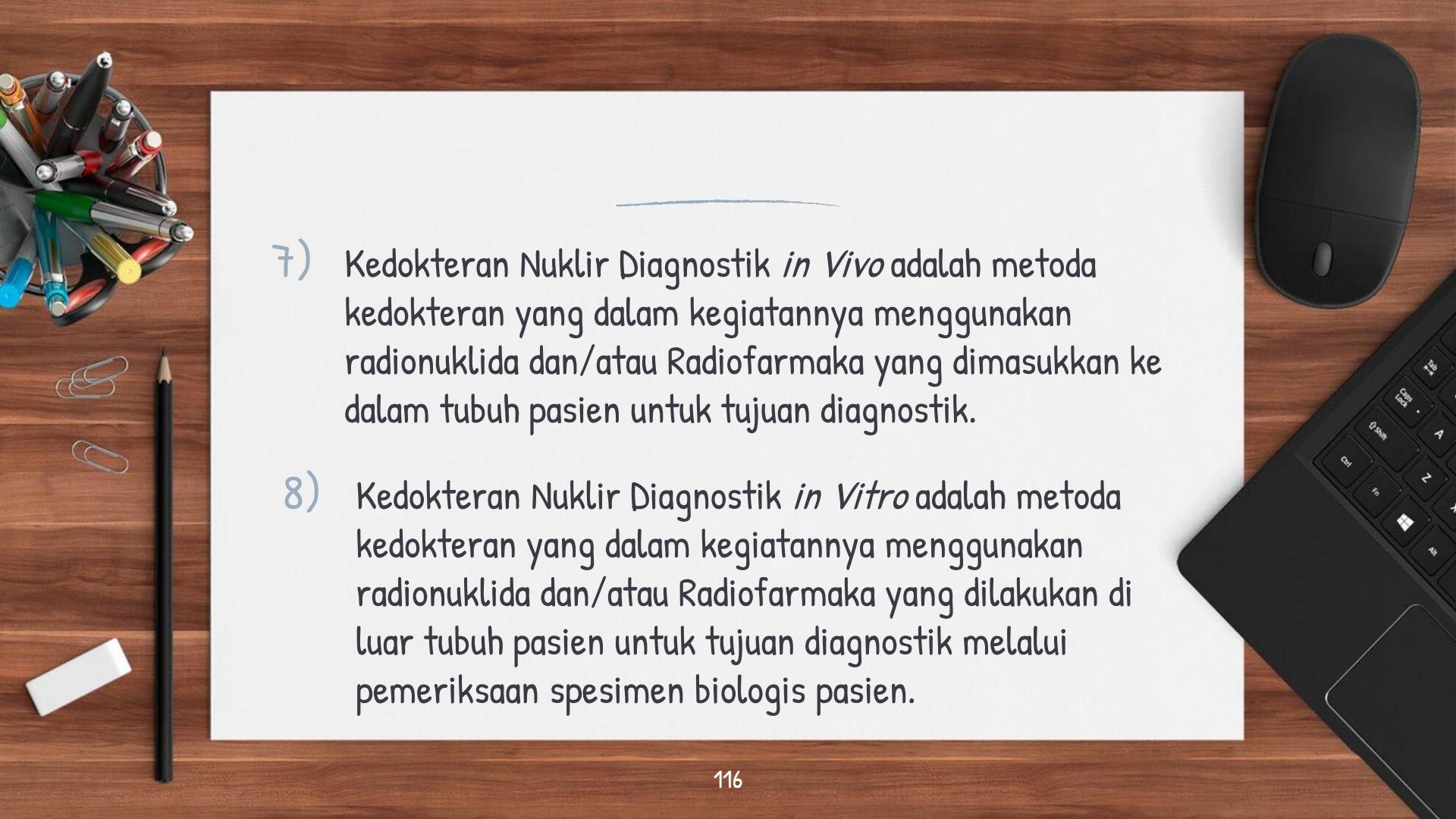


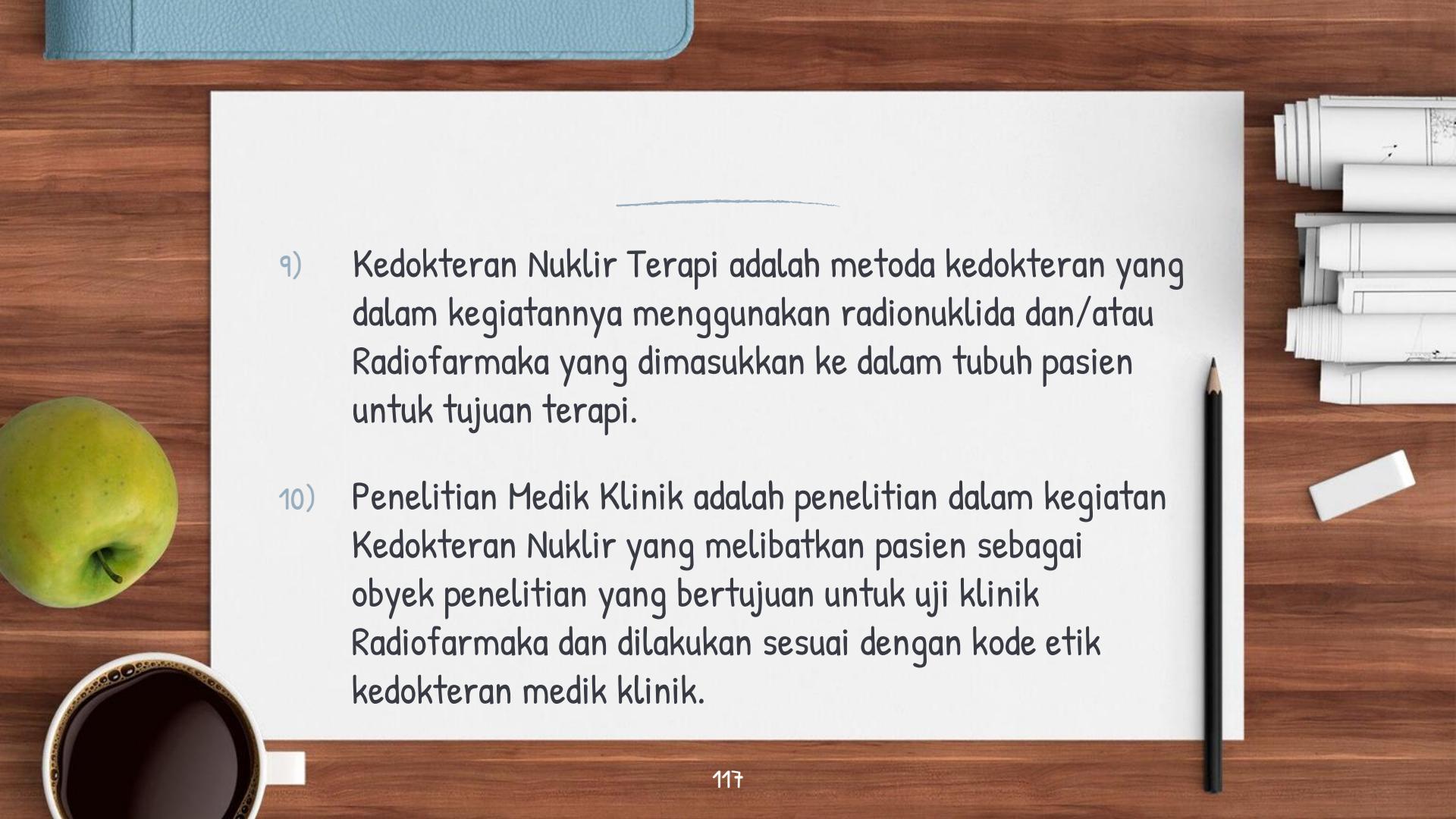
KIT TB Scan Kaef

Diagnosa Mycobacterium Tuberculosis di paru dan di luar paru



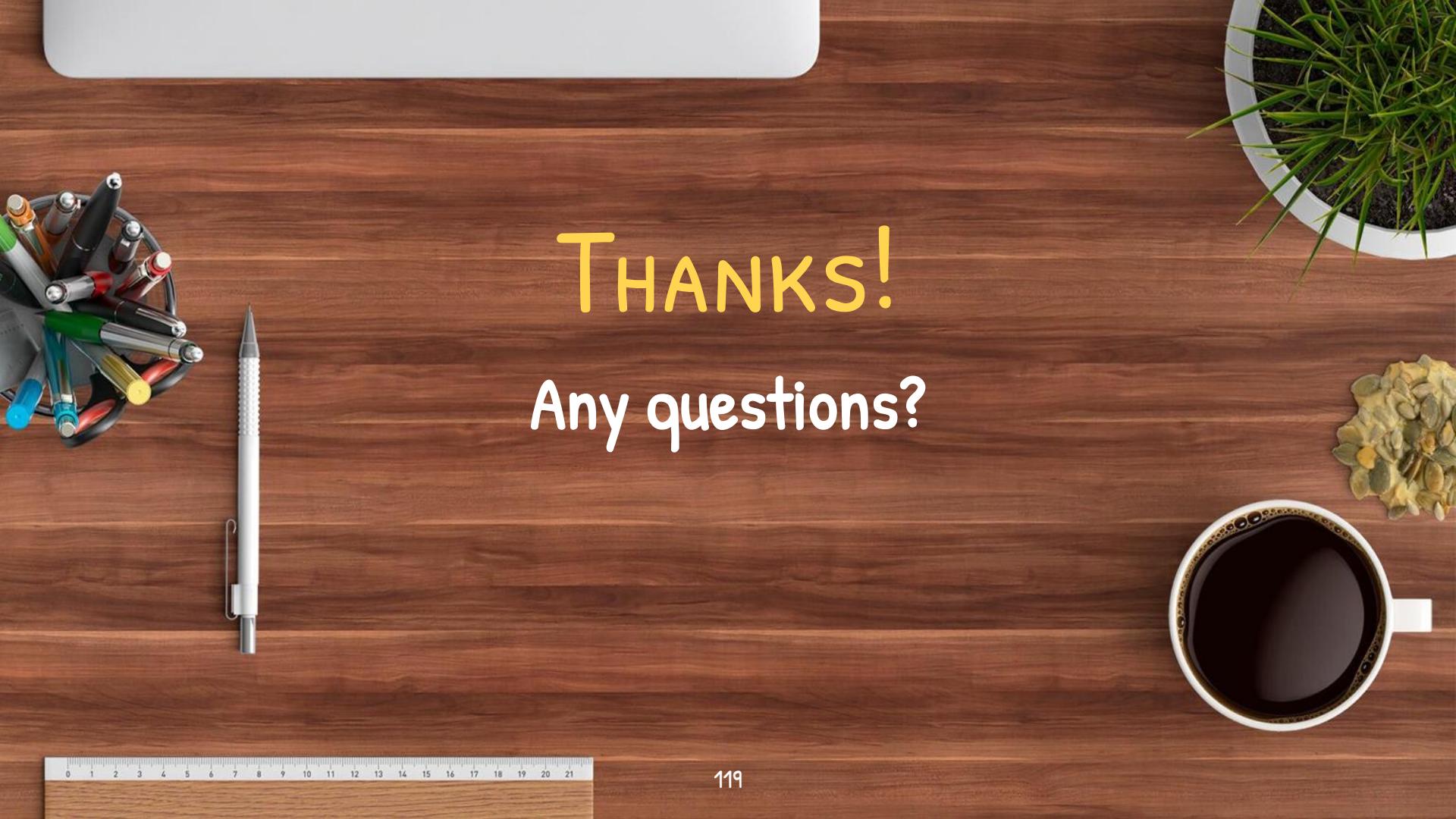
Produk-produk ini telah mendapat Nomor Izin Edar (NIE) dari BPOM

- 
- 7) Kedokteran Nuklir Diagnostik *in Vivo* adalah metoda kedokteran yang dalam kegiatannya menggunakan radionuklida dan/atau Radiofarmaka yang dimasukkan ke dalam tubuh pasien untuk tujuan diagnostik.
- 8) Kedokteran Nuklir Diagnostik *in Vitro* adalah metoda kedokteran yang dalam kegiatannya menggunakan radionuklida dan/atau Radiofarmaka yang dilakukan di luar tubuh pasien untuk tujuan diagnostik melalui pemeriksaan spesimen biologis pasien.

- 
- 9) Kedokteran Nuklir Terapi adalah metoda kedokteran yang dalam kegiatannya menggunakan radionuklida dan/atau Radiofarmaka yang dimasukkan ke dalam tubuh pasien untuk tujuan terapi.
- 10) Penelitian Medik Klinik adalah penelitian dalam kegiatan Kedokteran Nuklir yang melibatkan pasien sebagai obyek penelitian yang bertujuan untuk uji klinik Radiofarmaka dan dilakukan sesuai dengan kode etik kedokteran medik klinik.

Pasal 2

- 1) Peraturan Kepala BAPETEN ini mengatur tentang persyaratan izin, persyaratan Keselamatan Radiasi, Intervensi, Rekaman dan laporan dalam kegiatan penggunaan Kedokteran Nuklir.
- 2) Kegiatan penggunaan Kedokteran Nuklir sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilaksanakan di:
 - a. Instalasi Kedokteran Nuklir yang melakukan kegiatan Kedokteran Nuklir Diagnostik In Vitro, Diagnostik in Vivo, dan/atau Penelitian Medik Klinik, dan/atau Terapi; dan
 - b. laboratorium klinik yang melakukan kegiatan Kedokteran Nuklir Diagnostik in Vitro.



THANKS!

Any questions?