



PERANGKAT PEMBELAJARAN DAN MATERI KELAS KOLABORASI MERDEKA BELAJAR - SKEMA PRAKTISI MENGAJAR BATCH 4

Proteksi Radiasi

TIM DOSEN PENGAJAR:

Erlinda Ratnasari Putri, M.Si.

Dr. Pratiwi Sri Wardani, M.Kes.

PRAKTISI:

Fatimah K. Hentihu, M.Si.

PT. Nusantara Sebelas Medika -

RS. Lavalette Malang

SEMESTER GENAP
2023/2024



**IMPLEMENTATION OF ARRANGEMENT
ANTARA
PROGRAM STUDI S-1 FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS MULAWARMAN
DENGAN
PRAKTISI PT. NUSANTARA SEBELAS MEDIKA–RS LAVALETTE
TENTANG
PELAKSANAAN PROGRAM PRAKTISI MENGAJAR
ANGKATAN 4 TAHUN 2024**

Nomor : 959/UN17.7/KS/2024

Berdasarkan Perjanjian Kerja Sama antara Direktorat Sumber Daya, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 1181/E4/DT.01.342/2024 dan Universitas Mulawarman Nomor 70 TAHUN 2024 tentang Pelaksanaan Program Praktisi Mengajar Angkatan 4 Tahun 2024, serta Keputusan Rektor Universitas Mulawarman Nomor 1109/UN17/HK.02.03/2024 tentang Praktisi Pada Program Praktisi Mengajar Angkatan 4 Tahun 2024, maka pada hari ini **Jum'at**, tanggal **lima** bulan **April** tahun **dua ribu dua puluh empat (05/04/2024)**, yang bertanda tangan di bawah ini :

1. **Nama** : Dr. Rahmawati Munir, M.Si.
NIP : 19801201 200604 2 001
Pangkat/Golongan : Penata/IIIc
Jabatan : Koordinator Program Studi S-1 Fisika
Alamat : Samarinda, Indonesia
Telepon : 081350833476

Dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Program Studi S-1 Fisika, berkedudukan di Jl. Barong Tongkok No.04 Kampus Universitas Mulawarman, Gunung Kelua Samarinda, Kalimantan Timur yang selanjutnya disebut **PIHAK KESATU**.

2. **Nama** : Fatimah Kunti Hentihu, M.Si.
NRP/NIP/NIK : -
Pangkat/Golongan : -
Jabatan : Fisikawan Medik
Alamat : Malang, Indonesia
Telepon : 085330963030

Dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama praktisi di Universitas Mulawarman yang selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

Selanjutnya **PIHAK KESATU** dan **PIHAK KEDUA** secara bersama-sama disebut **PARA PIHAK**. Para pihak sepakat untuk mengadakan Perjanjian Implementasi Kerjasama / *Implementation of Arrangement* Program Praktisi Mengajar, yang diatur dalam dalam Pasal-Pasal sebagai berikut:

PASAL 1 MAKSUD DAN TUJUAN

Kerjasama ini bertujuan untuk meningkatkan proses dan mutu pembelajaran pada mata kuliah Proteksi Radiasi, Program Studi S-1 Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang diampu oleh Dosen atas nama Erlinda Ratnasari Putri, S.Si., M.Si.

PASAL 2 RUANG LINGKUP DAN WAKTU PELAKSANAAN

- (1) Ruang lingkup perjanjian ini adalah pembelajaran Mata Kuliah Proteksi Radiasi **PIHAK KESATU** yang diberikan oleh **PIHAK KEDUA** sehingga mahasiswa memiliki pengalaman belajar yang lebih dinamis, kompetitif, kolaboratif, dan partisipatif untuk memperoleh pengetahuan, keterampilan, serta kompetensi yang diperlukan untuk mengembangkan kemampuan agar mampu menghadapi dinamika yang terjadi di dunia kerja, khususnya dalam bidang Proteksi Radiasi.
- (2) Pelaksanaan Kerjasama pada Semester Genap Tahun Akademik 2023/2024 yang dilaksanakan selama 12 jam dengan jadwal pelaksanaan sebagai berikut:

Pertemuan Ke	Tanggal	Lama Pertemuan (jam dan menit)	Minggu Ke	Topik/ Bahan Kajian	Bentuk Pertemuan	Keterangan (Daring/ Luring)
1	05 April 2024	2 jam 8 menit	10	Shielding radiasi dan perkiraan dosis untuk CT	Kuliah Latihan Soal	Daring
2	26 April 2024	2 jam 5 menit	11	Shielding radiasi untuk radioterapi	Presentasi Kuliah	Daring
3	3 Mei 2024	2 jam 5 menit	12	Shielding radiasi untuk brakiterapi	Kuliah Latihan Soal	Daring
4	10 Mei 2024	2 jam 13 menit	13	Shielding radiasi untuk kedokteran nuklir (diagnostik)	Kuliah Latihan Soal	Daring
5	17 Mei 2024	2 jam 6 menit	14	Shielding radiasi kedokteran nuklir (lab)	Presentasi Diskusi	Daring
6	31 Mei 2024	2 jam 10 menit	15	Tugas besar berkelompok (PjBL)	Presentasi Diskusi	Daring

- (3) Kegiatan kelas kolaborasi dilaksanakan secara daring melalui *platform Zoom Meeting* dan tempat kegiatan disiapkan oleh **PIHAK KESATU**.

PASAL 3 HAK DAN KEWAJIBAN

- (1) Hak dan Kewajiban **PIHAK KESATU** meliputi:
 - a. **PIHAK KESATU** berkewajiban memberikan fasilitas sarana dan prasarana pembelajaran agar **PIHAK KEDUA** dapat melaksanakan kewajiban.
 - b. **PIHAK KESATU** berhak mendapatkan nilai atas hasil evaluasi pembelajaran.

- (2) Hak dan Kewajiban **PIHAK KEDUA** meliputi:
- PIHAK KEDUA** berkewajiban memberikan pengalaman sebagai praktisi/ professional/ peneliti bidang Proteksi Radiasi.
 - PIHAK KEDUA** berkewajiban memberikan penilaian kepada mahasiswa peserta program Praktisi Mengajar.
 - PIHAK KEDUA** berhak mendapat informasi terkait mekanisme pembelajaran Mata Kuliah Proteksi Radiasi.

PASAL 4 PEMBIAYAAN

- Seluruh biaya kegiatan yang dilaksanakan pada program Praktisi Mengajar ditanggung oleh Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Tahun Anggaran 2024 yang diserahkan ke Universitas Mulawarman dalam bentuk Dana Kelolaan Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP).
- PIHAK KEDUA** dengan tipe kontribusi tidak menerima honor (Pro Bono) maka tidak mendapatkan biaya pekerjaan sebagai dosen praktisi.
- PIHAK KEDUA** dengan tipe kontribusi menerima honor maka biaya pekerjaan adalah sebesar Rp 900.000 (Sembilan ratus ribu rupiah) per jam mengajar sebagai dosen praktisi belum termasuk pajak yang dibebankan kepada pihak kedua.
- Dasar Pengenaan Pajak (DPP) dan besaran pajak yang dibebankan sesuai dengan PPH 21 dengan rincian sebagai berikut:
 - Non PNS NPWP : DPP 50% dengan tarif pajak sebesar 5% dari DPP
 - Non PNS non NPWP : DPP 50% dengan tarif pajak sebesar 6% dari DPP
 - PNS Golongan II NPWP : DPP 100% dengan tarif pajak sebesar 0% dari DPP
 - PNS Golongan II non NPWP : DPP 100% dengan tarif pajak sebesar 0% dari DPP
 - PNS Golongan III NPWP : DPP 100% dengan tarif pajak sebesar 5% dari DPP
 - PNS Golongan III non NPWP : DPP 100% dengan tarif pajak sebesar 6% dari DPP
 - PNS Golongan IV NPWP : DPP 100% dengan tarif pajak sebesar 15% dari DPP
 - PNS Golongan IV non NPWP : DPP 100% dengan tarif pajak sebesar 18% dari DPP
 - WNA non NPWP : DPP 100% dengan tarif pajak sebesar 20% dari DPP
- Dalam perjanjian ini **PIHAK KEDUA** dengan tipe kontribusi menerima honor, maka pembayaran biaya pekerjaan sebagaimana dimaksud pada Pasal 4 ayat (3) akan dilakukan oleh **PIHAK KESATU** kepada **PIHAK KEDUA** secara sekaligus sebesar **Rp. 10.800.000 (sepuluh juta delapan ratus ribu rupiah)** dan dipotong pajak 5% dari DPP 50% sesuai pasal 4 ayat (4) sehingga menjadi sebesar **Rp. 10.530.000 (Sepuluh juta lima ratus tiga puluh ribu rupiah)**.
- Biaya pekerjaan dibayarkan setelah menyerahkan / menyelesaikan kelas kolaborasi Praktisi Mengajar Angkatan 4 Semester Genap 2023/2024, yang dinyatakan dengan terselesaikannya output yang diharapkan, laporan akhir kelas kolaborasi dan *logbook* Penyelesaian yang disetujui oleh **PIHAK KESATU**.
- Pembayaran oleh **PIHAK KESATU** kepada **PIHAK KEDUA** dilakukan melalui:
Nama Pemilik Rekening : Fatimah Kunti Hentihu
Nomor Rekening : 1742 0100 1359 508
Nama Bank : Bank Rakyat Indonesia (BRI)

PASAL 5 JANGKA WAKTU

- (1) Perjanjian ini berlaku untuk jangka waktu 1 (satu) semester, terhitung sejak ditandatanganinya Perjanjian ini, dan dapat diperpanjang berdasarkan kesepakatan **PARA PIHAK**.
- (2) Dalam hal salah satu **PIHAK** bermaksud memperpanjang jangka waktu sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) di atas, maka **PIHAK** tersebut wajib memberitahukan kepada **PIHAK** lainnya selambat-lambatnya dalam jangka waktu 1 (satu) bulan sebelum berakhirnya jangka waktu Perjanjian ini.
 - a. Jangka waktu pelaksanaan pekerjaan Kegiatan Praktisi Mengajar Angkatan 4 Tahun 2024 ini ditetapkan selama 12 Jam yang dimulai pada tanggal 5 April 2024 sampai 22 Juli 2024.
 - b. Jangka waktu Rancangan Pelaksanaan Kegiatan ini sejak ditandatangani Perjanjian ini sampai dengan 14 hari setelah selesai penyelenggaraan kegiatan praktisi mengajar.
 - c. Laporan kegiatan diselesaikan maksimal 14 hari setelah selesai pelaksanaan kegiatan praktisi mengajar.

PASAL 6 PERSELISIHAN

- (1) Apabila dikemudian hari terjadi perselisihan di antara **PARA PIHAK** dalam melaksanakan perjanjian ini, penyelesaian perselisihan dilakukan secara musyawarah untuk mufakat.
- (2) Apabila dengan cara sebagaimana dimaksud pada ayat (1) tidak dapat diselesaikan, maka **PARA PIHAK** sepakat untuk menyelesaikannya melalui Pengadilan.

PASAL 7 FORCE MAJEURE

- (1) Untuk keperluan perjanjian ini, Keadaan kahar (*force majeure*) adalah keadaan yang terjadi di luar kekuasaan atau kemampuan manusia yang dapat menghambat, menunda, dan/atau menghentikan secara paksa satu atau lebih kegiatan praktisi, antara lain:
 - a. meninggal dunia
 - b. cacat total tetap, atau
 - c. bencana, baik bencana alam maupun sosial.
- (2) Tidak satu pihak pun bertanggung jawab atas kerugian yang di derita oleh pihak lainnya yang disebabkan oleh *force majeure*.
- (3) Pelaksanaan kewajiban suatu pihak yang terkena force majeure patut ditangguhkan sepanjang dan untuk jangka waktu selama pelaksanaan tersebut terhambat *force majeure*.

PASAL 8 PEMBATALAN

Perjanjian ini akan dibatalkan apabila:

- (1) **PIHAK KEDUA** menderita sakit yang berakibat tidak dapat melakukan tugas dan tanggung jawab yang telah disepakati.
- (2) **PIHAK KEDUA** meninggal dunia.
- (3) Kelas kolaborasi tidak terlaksana sama sekali.

PASAL 9 LAIN-LAIN

- (1) Hal-hal yang dianggap perlu dan belum diatur di dalam *Implementation of Arrangement* ini akan diatur dan ditetapkan oleh **PARA PIHAK** dengan (addendum) yang akan menjadi bagian yang tidak terpisahkan dan mempunyai kekuatan hukum yang sama dengan *Implementation of Arrangement* ini.
- (2) Apabila terdapat perbedaan penafsiran dalam pelaksanaan *Implementation of Arrangement* ini, maka penyelesaiannya dilakukan bersama-sama dengan cara musyawarah untuk mufakat oleh **PARA PIHAK**.

PASAL 10 PENUTUP

Implementation of Arrangement ini dibuat dan ditandatangani oleh **PARA PIHAK** dalam rangkap 2 (dua) masing-masing bermeterai cukup, serta mempunyai kekuatan hukum dan mengikat untuk **PARA PIHAK**.

Samarinda, 5 April 2024
PIHAK KESATU,



Dr. Rahmawati Munir, M.Si.
Program Studi S-1 Fisika
Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Mulawarman

Malang, 5 April 2024
PIHAK KEDUA,



Fatimah Kunti Hentihu, M.Si.
Fisikawan Medik
PT. Nusantara Sebelas Medika –
RS Lavalette

PASAL 8 PEMBATALAN

Perjanjian ini akan dibatalkan apabila:

- (1) **PIHAK KEDUA** menderita sakit yang berakibat tidak dapat melakukan tugas dan tanggung jawab yang telah disepakati.
- (2) **PIHAK KEDUA** meninggal dunia.
- (3) Kelas kolaborasi tidak terlaksana sama sekali.

PASAL 9 LAIN-LAIN

- (1) Hal-hal yang dianggap perlu dan belum diatur di dalam *Implementation of Arrangement* ini akan diatur dan ditetapkan oleh **PARA PIHAK** dengan (addendum) yang akan menjadi bagian yang tidak terpisahkan dan mempunyai kekuatan hukum yang sama dengan *Implementation of Arrangement* ini.
- (2) Apabila terdapat perbedaan penafsiran dalam pelaksanaan *Implementation of Arrangement* ini, maka penyelesaiannya dilakukan bersama-sama dengan cara musyawarah untuk mufakat oleh **PARA PIHAK**.

PASAL 10 PENUTUP

Implementation of Arrangement ini dibuat dan ditandatangani oleh **PARA PIHAK** dalam rangkap 2 (dua) masing-masing bermeterai cukup, serta mempunyai kekuatan hukum dan mengikat untuk **PARA PIHAK**.

Samarinda, 5 April 2024
PIHAK KESATU,



Dr. Rahmawati Munir, M.Si.
Program Studi S-1 Fisika
Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Mulawarman

Malang, 5 April 2024
PIHAK KEDUA,

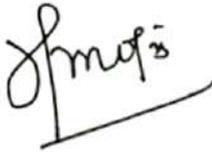


Fatimah Kunti Hentihu, M.Si.
Fisikawan Medik
PT. Nusantara Sebelas Medika –
RS Lavalette

PROTEKSI RADIASI

	KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI UNIVERSITAS MULAWARMAN FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM PROGRAM STUDI FISIKA	No. Dokumen	
		Tanggal Terbit	
		Nomor Revisi	

RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER

Mata Kuliah	Kode Mata Kuliah	Rumpun Mata Kuliah	Bobot (SKS)	Semester	Tgl. Penyusunan
Proteksi Radiasi	190704603P065	Fisika	3	VI	28 Juni 2024
Otorisasi / Pengesahan	Koordinator Mata Kuliah		TIM Pengampu Mata Kuliah		Koordinator Program Studi
	 Erlinda Ratnasari Putri, M.Si. NIP. 199303172020122019	 Dr. Pratiwi Sri Wardani, M.Kes. NIP. 196409011990032001	 Dr. Rahmawati Munir, M.Si. NIP. 198012012006042001		
Capaian Pembelajaran (CP)	Capaian Pembelajaran Lulusan Program Studi (CPL-PRODI) yang Dibebankan Pada Mata Kuliah				
	CPL 10	Menguasai konsep teoritis dan azas-azas pokok fisika klasik dan fisika modern untuk pemecahan masalah suatu sistem fisis.			
	CPL 11	Mampu mengaplikasikan konsep-konsep dan azas-azas pokok fisika serta teknologi pada bidang keahlian			

		tertentu, seperti: fisika teori, fisika material, fisika elektronika dan instrumentasi, fisika medik, geofisika dan oseanografi fisis.
	Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK)	
	Setelah menyelesaikan mata kuliah ini, mahasiswa mampu menerapkan prinsip proteksi radiasi pada penggunaan radiasi pengion dan non pengion dalam pelayanan kesehatan sesuai standar profesi fisikawan medis.	
PIP yang Diintegrasikan		
Deskripsi Mata Kuliah	Setelah menyelesaikan mata kuliah ini, mahasiswa mampu menerapkan prinsip proteksi radiasi pada penggunaan radiasi pengion dan non pengion dalam layanan kesehatan sesuai standar profesi fisikawan medis. Metode pengajaran akan dilakukan dengan metode pembelajaran berbasis kasus dan diskusi kelompok kecil dengan diskusi dan presentasi kelompok.	
Referensi	<ol style="list-style-type: none"> 1. ICRP No. 60. 1990 <i>Recommendations of International Commission on Radiological Protection</i>, Elsevier Science, 1990. 2. Herman Cember, <i>Introduction to Health Physics</i>. 2nd ed., Pergamon Press Inc. New York, NY. 1983. 3. RL. Kathren, <i>Radiation Protection</i>, Adam Hilger LTD., Bristol, 1985. 4. D. A. Gollnick. <i>Basic Radiation Protection Technology</i>. 2nd ed., Pacific Radiation Corporation, Altadena, CA, 1993. 5. C. J. Martin and D. G. Sutton, <i>Practical Radiation Protection in Healthcare</i>, Oxford: Oxford University Press, 2015. 6. EUROPEAN COMMISSION, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT 	

<p>PROGRAMME, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, Vienna: IAEA, 2014.</p> <p>7. ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4), 2007.</p> <p>8. Undang-Undang No.10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran.</p> <p>9. Peraturan Pemerintah No.33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif.</p> <p>10. Peraturan Pemerintah No.29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion Dan Bahan Nuklir.</p> <p>11. Peraturan Presiden RI No.80 Tahun 1993 tentang Pengesahan Amendment of Article VI of The Statute of The International Atomic Energy Agency.</p> <p>12. D. G. Sutton et al., <i>Radiation Shielding for Diagnostic Radiology</i>, London: The British Institute of Radiology, 2012.</p> <p>13. NCRP, Report No. 147 - Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities, Bethesda: NCRP, 2004.</p> <p>14. NCRP, Report No. 151 - Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities, Bethesda: NCRP, 2005.</p> <p>15. P. H. McGinley, <i>Shielding Techniques for Radiation Oncology Facilities</i>, Madison: Medical Physics Publishing, 2002.</p> <p>16. IAEA, Safety Report Series No. 40 <i>Applying Radiation Safety Standards in Nuclear Medicine</i>. Vienna: IAEA, 2005.</p> <p>17. M. T. Madsen et al., <i>AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements</i>, Medical Physics (33), 2006.</p>									
Media Pembelajaran		Perangkat lunak :				Perangkat keras :			
		Zoom, Google Meet, Google Drive				Laptop, LCD			
Mata Kuliah Prayarat (Jika ada)		Fisika Radiologi dan Dosimetri							
Pertemuan ke	Sub-CPMK	Indikator	Bahan Kajian	Strategi Pembelajaran (Model dan Metode)	Pengalaman Belajar Mahasiswa	Penilaian			Referensi
						Jenis	Kriteria	Bobot (%)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	Mahasiswa mampu menjelaskan penggunaan radiasi pengion dan non-pengion dalam layanan	Menjelaskan 1. Penggunaan radiasi dalam layanan	Penggunaan radiasi pada kedokteran dan aspek peraturan proteksi radiasi	Ceramah, diskusi, dan tanya jawab Case Method /Direct Case	1. Orientasi pembelajaran 2. Berdasarkan penggalian	Rubrik Partisipasi dan rubrik penilaian	Ketepatan menjelaskan 1. Penggunaan radiasi	7 %	[5]-[11]

	kesehatan dan peraturannya.	<p>kesehatan</p> <p>a. Pengenalan fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional</p> <p>b. Pengenalan fasilitas radioterapi</p> <p>c. Pengenalan fasilitas kedokteran nuklir</p> <p>2. Peraturan proteksi radiasi untuk layanan kesehatan</p> <p>a. ICRP 103</p> <p>b. Peraturan internasional (IAEA Basic Safety Series)</p> <p>c. Peraturan nasional (UU, Peraturan Presiden, BAPETEN)</p>		<p>1. Menetapkan kasus</p> <p>2. Menganalisis kasus</p> <p>3. Menemukan secara mandiri informasi, data, dan literatur</p> <p>4. Mahasiswa menentukan langkah penyelesaian dari kasus yang telah diberikan</p>	<p>permasalahan dan kasus yang diberikan</p> <p>3. Pratinjau konten</p> <p>4. Mengkaji konsep dasar penggunaan radiasi dalam layanan kesehatan dan peraturan proteksi radiasi untuk layanan kesehatan melalui metode ekspositori dan tanya jawab</p> <p>5. Mendiskusikan teori yang dipelajari, membahas kasus, menjawab pertanyaan atau membahas permasalahan/ tugas</p> <p>6. Mencari dan mengumpulkan informasi</p>	<p>proses dan karya non-Tes: Penilaian proses dan karya</p>	<p>dalam layanan kesehatan</p> <p>a. Pengenalan fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional</p> <p>b. Pengenalan fasilitas radioterapi</p> <p>c. Pengenalan fasilitas kedokteran nuklir</p> <p>2. Peraturan proteksi radiasi untuk layanan kesehatan</p> <p>a. ICRP 103</p> <p>b. Peraturan internasional (IAEA Basic Safety Series)</p> <p>c. Peraturan</p>		
--	-----------------------------	---	--	---	--	---	--	--	--

							nasional (UU, Peraturan Presiden, BAPETEN)		
2	Mahasiswa mampu menjelaskan prinsip perlindungan terhadap radiasi pengion dalam layanan kesehatan.	Menjelaskan dan prinsip proteksi radiasi pada layanan kesehatan 1. Teori dan prinsip proteksi radiasi pada layanan kesehatan a. Prinsip proteksi radiasi klinis (justifikasi, optimisasi, dan limitasi) b. <i>Dose limit</i> dan limitasi c. Prinsip ALARA d. Resiko radiasi 2. Proteksi radiasi operasional a. Penentuan area radiasi b. Klasifikasi area staf dan publik pada layanan	Prinsip proteksi radiasi	Ceramah, diskusi, dan tanya jawab Case Method /Direct Case 1. Menetapkan kasus 2. Menganalisis kasus 3. Menemukan secara mandiri informasi, data, dan literatur 4. Mahasiswa menentukan langkah penyelesaian dari kasus yang telah diberikan	1. Orientasi pembelajaran 2. Berdasarkan penggalan permasalahan dan kasus yang diberikan 3. Pratinjau konten 4. Mengkaji konsep dasar teori dan prinsip proteksi radiasi pada layanan kesehatan dan proteksi radiasi operasional melalui metode ekspositori dan tanya jawab 5. Mendiskusikan teori yang dipelajari, membahas kasus, menjawab pertanyaan atau membahas permasalahan/tugas 6. Mencari dan mengumpulkan informasi	Rubrik Partisipasi dan rubrik penilaian proses dan karya non-Tes: Penilaian proses dan karya	Ketepatan menjelaskan 1. Teori dan prinsip proteksi radiasi pada layanan kesehatan a. Prinsip proteksi radiasi klinis (justifikasi, optimisasi, dan limitasi) b. <i>Dose limit</i> dan limitasi c. Prinsip ALARA d. Resiko radiasi 2. Proteksi radiasi operasional a. Penentuan area	7 %	[5]

		klinis					radiasi b. Klasifikasi area staf dan publik pada layanan klinis		
3	Mahasiswa mampu menjelaskan prinsip perlindungan terhadap radiasi pengion dalam layanan kesehatan.	Menjelaskan pemantauan dosis a. Teori dan satuan b. Prasyarat <i>service</i> dosimetri personal c. Pemantauan radiasi eksternal dengan TLD, OSL, film, dan elektronik d. Pemantauan radiasi mata dan ekstremitas e. Pemantauan radiasi internal	Pemantauan dosis individu	Ceramah, diskusi, dan tanya jawab Case Method /Direct Case 1. Menetapkan kasus 2. Menganalisis kasus 3. Menemukan secara mandiri informasi, data, dan literatur 4. Mahasiswa menentukan langkah penyelesaian dari kasus yang telah diberikan	1. Orientasi pembelajaran 2. Berdasarkan penggalan permasalahan dan kasus yang diberikan 3. Pratinjau konten 4. Mengkaji konsep dasar pemantauan dosis melalui metode ekspositori dan tanya jawab 5. Mendiskusikan teori yang dipelajari, membahas kasus, menjawab pertanyaan atau membahas permasalahan/tugas 6. Mencari dan mengumpulkan informasi	Rubrik Partisipasi dan rubrik penilaian proses dan karya non-Tes: Penilaian proses dan karya	Ketepatan menjelaskan pemantauan dosis a. Teori dan satuan b. Prasyarat <i>service</i> dosimetri personal c. Pemantauan radiasi eksternal dengan TLD, OSL, film, dan elektronik d. Pemantauan radiasi mata dan ekstremitas e. Pemantauan radiasi internal	7 %	[5]
4	Mahasiswa mampu menjelaskan prinsip perlindungan terhadap radiasi pengion dalam	Menjelaskan pengendalian substansi radioaktif dalam	Prinsip pengendalian zat radioaktif	Ceramah, diskusi, dan tanya jawab Case Method /Direct Case	1. Orientasi pembelajaran 2. Berdasarkan penggalan	Rubrik Partisipasi dan rubrik penilaian	Ketepatan menjelaskan pengendalian substansi	7 %	[5]

	layanan kesehatan.	layanan kesehatan a. Penyimpanan dan penggunaan sumber radioaktif b. Limbah radioaktif c. Efek lingkungan dari limbah radioaktif d. Transportasi limbah radioaktif e. Injeksi radionuklida f. Kecelakaan radiasi dalam klinik		1. Menetapkan kasus 2. Menganalisis kasus 3. Menemukan secara mandiri informasi, data, dan literatur 4. Mahasiswa menentukan langkah penyelesaian dari kasus yang telah diberikan	permasalahan dan kasus yang diberikan 3. Pratinjau konten 4. Mengkaji konsep dasar pengendalian substansi radioaktif dalam layanan kesehatan melalui metode ekspositori dan tanya jawab 5. Mendiskusikan teori yang dipelajari, membahas kasus, menjawab pertanyaan atau membahas permasalahan/ tugas 6. Mencari dan mengumpulkan informasi	proses dan karya non-Tes: Penilaian proses dan karya	radioaktif dalam layanan kesehatan a. Penyimpanan dan penggunaan sumber radioaktif b. Limbah radioaktif c. Efek lingkungan dari limbah radioaktif d. Transportasi limbah radioaktif e. Injeksi radionuklida f. Kecelakaan radiasi dalam klinik		
5	Mahasiswa mampu menjelaskan prinsip proteksi terhadap radiasi non pengion pada pelayanan kesehatan.	Menjelaskan prinsip proteksi radiasi untuk peralatan terapi non ionisasi a. Efek biologis dan proteksi LASER b. Efek biologis dan proteksi radiasi optik non koheren c. Efek biologis	Proteksi radiasi pada terapi radiasi non ionisasi	Ceramah, diskusi, dan tanya jawab Case Method /Direct Case 1. Menetapkan kasus 2. Menganalisis kasus 3. Menemukan secara mandiri informasi, data, dan literatur 4. Mahasiswa menentukan langkah penyelesaian dari kasus yang telah diberikan	1. Orientasi pembelajaran 2. Berdasarkan penggalian permasalahan dan kasus yang diberikan 3. Pratinjau konten 4. Mengkaji konsep dasar prinsip proteksi radiasi untuk peralatan terapi non ionisasi	Rubrik Partisipasi dan rubrik penilaian proses dan karya non-Tes: Penilaian proses dan karya	Ketepatan menjelaskan prinsip proteksi radiasi untuk peralatan terapi non ionisasi a. Efek biologis dan proteksi LASER	7 %	[5]

		dan proteksi medan elektromagnetik			melalui metode ekspositori dan tanya jawab 5. Mendiskusikan teori yang dipelajari, membahas kasus, menjawab pertanyaan atau membahas permasalahan/ tugas 6. Mencari dan mengumpulkan informasi		b. Efek biologis dan proteksi radiasi optik non koheren c. Efek biologis dan proteksi medan elektromagnetik		
6	Mahasiswa mampu menjelaskan prinsip proteksi terhadap radiasi non pengion pada pelayanan kesehatan.	Menjelaskan prinsip proteksi radiasi untuk peralatan diagnostik non ionisasi a. Efek biologis dan proteksi MRI b. Efek biologis dan proteksi USG	Proteksi radiasi untuk radiasi non ionisasi diagnostik	Ceramah, diskusi, dan tanya jawab Case Method /Direct Case 1. Menetapkan kasus 2. Menganalisis kasus 3. Menemukan secara mandiri informasi, data, dan literatur 4. Mahasiswa menentukan langkah penyelesaian dari kasus yang telah diberikan	1. Orientasi pembelajaran 2. Berdasarkan penggalian permasalahan dan kasus yang diberikan 3. Pratinjau konten 4. Mengkaji konsep dasar prinsip proteksi radiasi untuk peralatan diagnostik non ionisasi melalui metode ekspositori dan tanya jawab 5. Mendiskusikan teori yang dipelajari, membahas kasus, menjawab pertanyaan atau membahas permasalahan/ tugas 6. Mencari dan mengumpulkan	Rubrik Partisipasi dan rubrik penilaian proses dan karya non-Tes: Penilaian proses dan karya	Ketepatan menjelaskan prinsip proteksi radiasi untuk peralatan diagnostik non ionisasi a. Efek biologis dan proteksi MRI b. Efek biologis dan proteksi USG	7 %	[5]

7	Mahasiswa mampu menerapkan prinsip proteksi terhadap radiasi non pengion pada pelayanan kesehatan.	Menjelaskan perhitungan efek biologis peralatan terapi non ionisasi a. Perhitungan jarak bahaya okular LASER b. Perhitungan radian, radian fluks, dan intensitas radiain untuk radiasi optik non koheren c. Medan elektromagnetik dan dosimetri SAR Menjelaskan perhitungan efek biologis peralatan diagnostik non ionisasi a. Perhitungan SAR untuk frekuensi radio di MRI b. Perhitungan tekanan akustik pada USG	Efek biologis pada radiasi non ionisasi untuk terapi dan diagnostik	Ceramah, diskusi, dan tanya jawab Case Method /Direct Case 1. Menetapkan kasus 2. Menganalisis kasus 3. Menemukan secara mandiri informasi, data, dan literatur 4. Mahasiswa menentukan langkah penyelesaian dari kasus yang telah diberikan	informasi 1. Orientasi pembelajaran 2. Berdasarkan penggalan permasalahan dan kasus yang diberikan 3. Pratinjau konten 4. Mengkaji konsep dasar perhitungan efek biologis peralatan terapi non ionisasi dan peralatan diagnostik non ionisasi melalui metode ekspositori dan tanya jawab 5. Mendiskusikan teori yang dipelajari, membahas kasus, menjawab pertanyaan atau membahas permasalahan/ tugas 6. Mencari dan mengumpulkan informasi	Rubrik Partisipasi dan rubrik penilaian proses dan karya non-Tes: Penilaian proses dan karya	Ketepatan Menjelaskan perhitungan efek biologis peralatan terapi non ionisasi a. Perhitungan jarak bahaya okular LASER b. Perhitungan radian, radian fluks, dan intensitas radiain untuk radiasi optik non koheren c. Medan elektromagnetik dan dosimetri SAR Menjelaskan perhitungan efek biologis peralatan diagnostik non ionisasi a. Perhitunga	7 %	[5]
---	--	---	---	--	--	--	--	-----	-----

							n SAR untuk frekuensi radio di MRI		
							b. Perhitungan tekanan akustik pada USG		
8	UTS								
9	Mahasiswa mampu menerapkan prinsip proteksi terhadap radiasi pengion pada pelayanan kesehatan.	Menjelaskan perhitungan <i>shielding</i> dan dosimetri pasien pada fasilitas diagnostik radiologi dan intervensional a. Metode perhitungan <i>shielding</i> untuk radiografi planar, radiografi umum, radiografi <i>mobile</i> , dan mamografi b. Metode perhitungan <i>shielding</i> untuk radiografi gigi, fluoroskopi konvensional dan intervensional.	<i>Shielding</i> radiasi peralatan radiologi diagnostik	Ceramah, diskusi, dan tanya jawab Project Based Learning (PjBL) 1. Menetapkan permasalahan 2. Menganalisis permasalahan 3. Menemukan secara mandiri informasi, data, dan literatur 4. Mahasiswa menentukan langkah penyelesaian dari permasalahan yang telah diberikan	1. Orientasi pembelajaran 2. Berdasarkan penggalan permasalahan dan kasus yang diberikan 3. Pratinjau konten 4. Mengkaji konsep dasar perhitungan <i>shielding</i> dan dosimetri pasien pada fasilitas diagnostik radiologi dan intervensional melalui metode ekspositori dan tanya jawab 5. Mendiskusikan teori yang dipelajari, membahas kasus, menjawab pertanyaan atau membahas permasalahan/tugas 6. Mencari dan mengumpulkan informasi	Rubrik Partisipasi dan rubrik penilaian proses dan karya non-Tes: Penilaian proses dan karya	Ketepatan menjelaskan perhitungan <i>shielding</i> dan dosimetri pasien pada fasilitas diagnostik radiologi dan intervensional a. Metode perhitungan <i>shielding</i> untuk radiografi planar, radiografi umum, radiografi <i>mobile</i> , dan mamografi b. Metode perhitungan <i>shielding</i>	7 %	[5] dan [12]

							untuk radiografi gigi, fluoroskopi konvensional dan intervensional		
10	Mahasiswa mampu menerapkan prinsip proteksi terhadap radiasi pengion pada pelayanan kesehatan.	Menjelaskan perhitungan <i>shielding</i> dan dosimetri pasien pada fasilitas diagnostik radiologi dan intervensional a. Metode perhitungan <i>shielding</i> untuk CT b. Perhitungan dosis dan konsep pengukuran untuk pasien radiologi diagnostik.	<i>Shielding</i> radiasi dan perkiraan dosis untuk CT	Ceramah, diskusi, dan tanya jawab Project Based Learning (PjBL) 1. Menetapkan permasalahan 2. Menganalisis permasalahan 3. Menemukan secara mandiri informasi, data, dan literatur 4. Mahasiswa menentukan langkah penyelesaian dari permasalahan yang telah diberikan	1. Orientasi pembelajaran 2. Berdasarkan penggalan permasalahan dan kasus yang diberikan 3. Pratinjau konten 4. Mengkaji konsep dasar perhitungan <i>shielding</i> dan dosimetri pasien pada fasilitas diagnostik radiologi dan intervensional melalui metode ekspositori dan tanya jawab 5. Mendiskusikan teori yang dipelajari, membahas kasus, menjawab pertanyaan atau membahas permasalahan/ tugas 6. Mencari dan mengumpulkan informasi	Rubrik Partisipasi dan rubrik penilaian proses dan karya non-Tes: Penilaian proses dan karya	Ketepatan menjelaskan perhitungan <i>shielding</i> dan dosimetri pasien pada fasilitas diagnostik radiologi dan intervensional a. Metode perhitungan <i>shielding</i> untuk CT b. Perhitungan dosis dan konsep pengukuran untuk pasien radiologi diagnostik	7 %	[5] dan [13]
11	Mahasiswa mampu menerapkan prinsip	Menjelaskan perhitungan	<i>Shielding</i> radiasi untuk radioterapi	Ceramah, diskusi, dan tanya jawab	1. Orientasi pembelajaran	Rubrik Partisipasi	Ketepatan menjelaskan	7 %	[5] dan [14]

	proteksi terhadap radiasi pengion pada pelayanan kesehatan.	<i>shielding</i> dan dosimetri pasien untuk fasilitas radioterapi a. Metode perhitungan <i>shielding</i> Co-60 b. Metode perhitungan <i>shielding</i> LINAC		Project Based Learning (PjBL) 1. Menetapkan permasalahan 2. Menganalisis permasalahan 3. Menemukan secara mandiri informasi, data, dan literatur 4. Mahasiswa menentukan langkah penyelesaian dari permasalahan yang telah diberikan	2. Berdasarkan penggalan permasalahan dan kasus yang diberikan 3. Pratinjau konten 4. Mengkaji konsep dasar perhitungan <i>shielding</i> dan dosimetri pasien untuk fasilitas radioterapi melalui metode ekspositori dan tanya jawab 5. Mendiskusikan teori yang dipelajari, membahas kasus, menjawab pertanyaan atau membahas permasalahan/ tugas 6. Mencari dan mengumpulkan informasi	dan rubrik penilaian proses dan karya non-Tes: Penilaian proses dan karya	perhitungan <i>shielding</i> dan dosimetri pasien untuk fasilitas radioterapi a. Metode perhitungan <i>shielding</i> Co-60 b. Metode perhitungan <i>shielding</i> LINAC		
12	Mahasiswa mampu menerapkan prinsip proteksi terhadap radiasi pengion pada pelayanan kesehatan.	Menjelaskan perhitungan <i>shielding</i> dan dosimetri pasien untuk fasilitas radioterapi a. Metode perhitungan <i>shielding</i> untuk brakiterapi b. Perhitungan dosis dan konsep pengukuran	<i>Shielding</i> radiasi untuk brakiterapi	Ceramah, diskusi, dan tanya jawab Project Based Learning (PjBL) 1. Menetapkan permasalahan 2. Menganalisis permasalahan 3. Menemukan secara mandiri informasi, data, dan literatur 4. Mahasiswa menentukan langkah penyelesaian dari permasalahan yang	1. Orientasi pembelajaran 2. Berdasarkan penggalan permasalahan dan kasus yang diberikan 3. Pratinjau konten 4. Mengkaji konsep dasar perhitungan <i>shielding</i> dan dosimetri pasien untuk fasilitas radioterapi melalui metode ekspositori	Rubrik Partisipasi dan rubrik penilaian proses dan karya non-Tes: Penilaian proses dan karya	Ketepatan menjelaskan perhitungan <i>shielding</i> dan dosimetri pasien untuk fasilitas radioterapi a. Metode perhitungan <i>shielding</i> untuk brakiterapi b. Perhitungan dosis dan	7 %	[5] dan [15]

		untuk pasien radioterapi		telah diberikan	dan tanya jawab 5. Mendiskusikan teori yang dipelajari, membahas kasus, menjawab pertanyaan atau membahas permasalahan/ tugas 6. Mencari dan mengumpulkan informasi		konsep pengukuran untuk pasien radioterapi		
13	Mahasiswa mampu menerapkan prinsip proteksi terhadap radiasi pengan pada pelayanan kesehatan.	Menjelaskan perhitungan <i>shielding</i> dan dosimetri pasien untuk fasilitas kedokteran nuklir a. Metode perhitungan <i>shielding</i> untuk kamera <i>gamma</i> dan SPECT b. Metode perhitungan <i>shielding</i> untuk PET	<i>Shielding</i> radiasi untuk kedokteran nuklir	Ceramah, diskusi, dan tanya jawab Project Based Learning (PjBL) 1. Menetapkan permasalahan 2. Menganalisis permasalahan 3. Menemukan secara mandiri informasi, data, dan literatur 4. Mahasiswa menentukan langkah penyelesaian dari permasalahan yang telah diberikan	1. Orientasi pembelajaran 2. Berdasarkan penggalan permasalahan dan kasus yang diberikan 3. Pratinjau konten 4. Mengkaji konsep dasar perhitungan <i>shielding</i> dan dosimetri pasien untuk fasilitas kedokteran nuklir melalui metode ekspositori dan tanya jawab 5. Mendiskusikan teori yang dipelajari, membahas kasus, menjawab pertanyaan atau membahas permasalahan/ tugas 6. Mencari dan mengumpulkan informasi	Rubrik Partisipasi dan rubrik penilaian proses dan karya non-Tes: Penilaian proses dan karya	Ketepatan menjelaskan perhitungan <i>shielding</i> dan dosimetri pasien untuk fasilitas kedokteran nuklir a. Metode perhitungan <i>shielding</i> untuk kamera <i>gamma</i> dan SPECT b. Metode perhitungan <i>shielding</i> untuk PET	7 %	[5] dan [16-17]
14	Mahasiswa mampu	Menjelaskan	<i>Shielding</i> radiasi	Ceramah, diskusi, dan	1. Orientasi	Rubrik	Ketepatan	8 %	[5] dan [16]

	menerapkan prinsip proteksi terhadap radiasi pengion pada pelayanan kesehatan.	perhitungan <i>shielding</i> dan dosimetri pasien untuk fasilitas kedokteran nuklir a. Proteksi radiasi untuk laboratorium radionuklida b. Perhitungan dosis internal pasien kedokteran nuklir dan konsep pengukuran	kedokteran nuklir	tanya jawab Project Based Learning (PjBL) 1. Menetapkan permasalahan 2. Menganalisis permasalahan 3. Menemukan secara mandiri informasi, data, dan literatur 4. Mahasiswa menentukan langkah penyelesaian dari permasalahan yang telah diberikan	pembelajaran 2. Berdasarkan penggalian permasalahan dan kasus yang diberikan 3. Pratinjau konten 4. Mengkaji konsep dasar perhitungan <i>shielding</i> dan dosimetri pasien untuk fasilitas kedokteran nuklir melalui metode ekspositori dan tanya jawab 5. Mendiskusikan teori yang dipelajari, membahas kasus, menjawab pertanyaan atau membahas permasalahan/ tugas 6. Mencari dan mengumpulkan informasi	Partisipasi dan rubrik penilaian proses dan karya non-Tes: Penilaian proses dan karya	menjelaskan perhitungan <i>shielding</i> dan dosimetri pasien untuk fasilitas kedokteran nuklir a. Proteksi radiasi untuk laboratorium radionuklida b. Perhitungan dosis internal pasien kedokteran nuklir dan konsep pengukuran		
15	Mahasiswa mampu menerapkan prinsip proteksi terhadap radiasi pengion pada pelayanan kesehatan.	Menjelaskan, menghitung <i>shielding</i> , dan membuat <i>design</i> ruangan sesuai permintaan pada masing-masing studi kasus.	Tugas besar berkelompok (PjBL)	Presentasi, diskusi, dan tanya jawab Project Based Learning (PjBL) 1. Menetapkan permasalahan 2. Menganalisis permasalahan 3. Menemukan secara mandiri informasi, data, dan literatur 4. Mahasiswa	1. Orientasi pembelajaran 2. Berdasarkan penggalian permasalahan dan kasus yang diberikan 3. Pratinjau konten 4. Mengkaji konsep dasar perhitungan <i>shielding</i> dan pembuatan <i>design</i>	Rubrik Partisipasi dan rubrik penilaian proses dan karya non-Tes: Penilaian proses dan karya	Ketepatan menjelaskan, <i>shielding</i> , dan membuat <i>design</i> ruangan sesuai permintaan pada masing-masing studi kasus.	8 %	[5], [12]-[17]

				menentukan langkah penyelesaian dari permasalahan yang telah diberikan	ruangan sesuai permintaan pada masing-masing studi kasus melalui metode ekspositori dan tanya jawab 5. Mendiskusikan teori yang dipelajari, membahas kasus, menjawab pertanyaan atau membahas permasalahan/ tugas 6. Mencari dan mengumpulkan informasi				
16	UAS								

Praktisi



Fatimah Kunti Hentihu, M.Si.

Dosen Pengampu Mata Kuliah



Erlinda Ratnasari Putri, M.Si.

Samarinda, 28 Juni 2024
Koordinator Program Studi



Dr. Rahmawati Munir, M.Si.

SHIELDING CT SCAN

*Mata Kuliah: Fisika Kesehatan
dan Proteksi Radiasi*



FATIMAH KUNTI HENTIHU, M.Si

Definisi

- Keselamatan Radiasi Pengion di Bidang Medik yang selanjutnya disebut **Keselamatan Radiasi** adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi pasien, pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi.
- **Proteksi Radiasi** adalah tindakan yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh radiasi yang merusak akibat paparan radiasi.
- Pesawat Sinar-X **CT-Scan** adalah pesawat sinar-X yang menggunakan metode pencitraan tomografi dengan proses digital untuk membuat citra 3 (tiga) dimensi organ internal tubuh dari akuisisi sejumlah citra 2 (dua) dimensi.



SALINAN

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
REPUBLIK INDONESIA

PERATURAN BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 4 TAHUN 2020
TENTANG
KESELAMATAN RADIASI PADA PENGGUNAAN PESAWAT SINAR-X
DALAM RADIOLOGI DIAGNOSTIK DAN INTERVENSIONAL

Pemanfaatan radiasi menerapkan prinsip proteksi radiasi berikut:

- a) **Justifikasi** : pemanfaatan radiasi didasarkan pada pertimbangan bahwa **manfaat** yang diperoleh jauh **lebih besar** dari risiko bahaya radiasi yang ditimbulkan.
- b) **Limitasi dosis** : penerapan Nilai Batas Dosis (NBD)
- c) **Optimisasi** : didasarkan pada upaya agar paparan radiasi yang diterima Pekerja Radiasi, pasien, dan anggota masyarakat serendah mungkin yang dapat dicapai. **ALARA** (*As Low As Reasonably Achievable*)



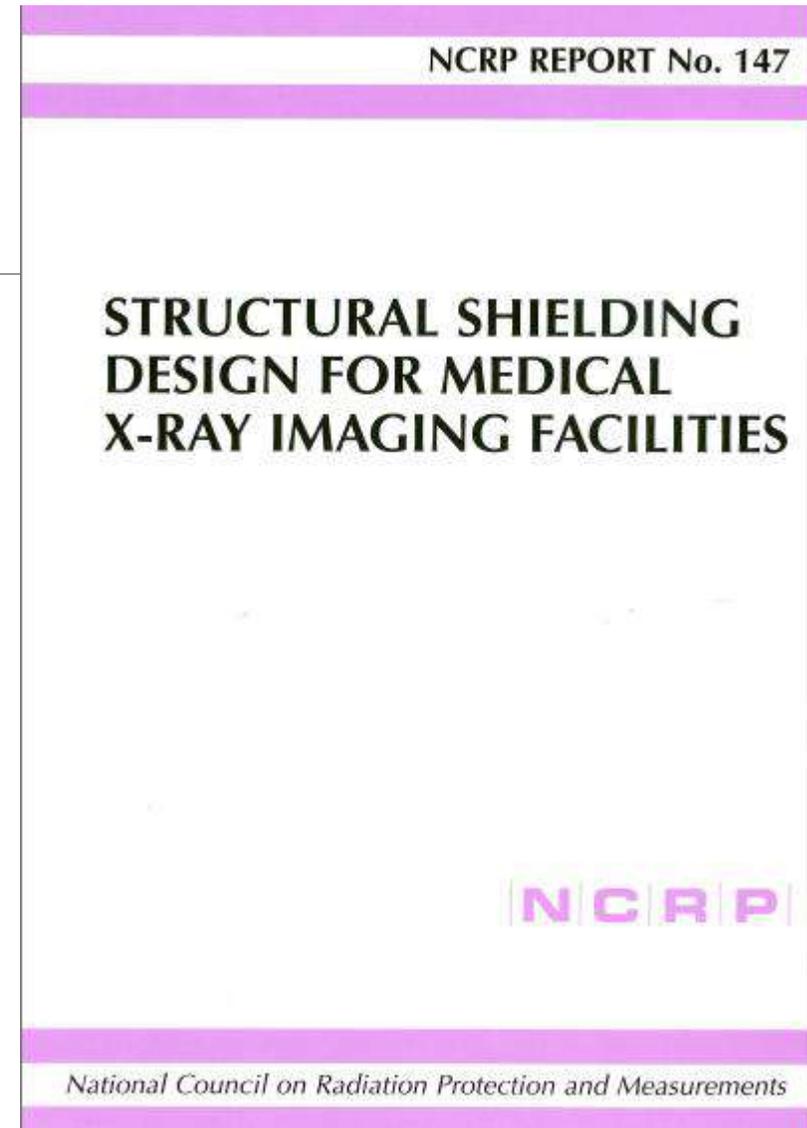
SALINAN

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
REPUBLIK INDONESIA

PERATURAN BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 4 TAHUN 2020
TENTANG
KESELAMATAN RADIASI PADA PENGGUNAAN PESAWAT SINAR-X
DALAM RADIOLOGI DIAGNOSTIK DAN INTERVENSIONAL

Paparan radiasi yang diterima oleh individu bergantung pada:

1. **Jarak** antara **individu** dengan sumber **radiasi**
2. **Waktu** yang diperlukan oleh **individu** untuk bekerja dalam area **radiasi**
3. **Shielding/Perisai** antara **individu** dengan sumber **radiasi**



Desain Goal dan Batas Dosis

NCRP-147

- Pembagian area menjadi **controlled area** dan **uncontrolled area**
- **Controlled area**: area yang ditempati oleh pekerja radiasi yang menggunakan personal dosimeter
- **Uncontrolled area**: area yang ditempati oleh individu selain pekerja radiasi, seperti keluarga pasien atau masyarakat umum
- Recommendation for controlled areas—Shielding design goal (P) (in air kerma): 0.1 mGy/week (5 mGy/y) =
- Recommendation for uncontrolled areas—Shielding design goal (P) (in air kerma): 0.02 mGy/week (1 mGy/y)

Perba BAPETEN No 4 thn 2020

- Pembagian daerah kerja menjadi **daerah pengendalian** dan **daerah supervisi**
- **Daerah pengendalian** meliputi ruang penyinaran/ruang CT Scan
- **Daerah Supervisi** merupakan daerah di sekitar ruangan pesawat sinar-X
- NBD yang ditetapkan oleh BAPETEN yaitu 20 mSv/thn untuk pekerja radiasi dan 1 mSv/thn untuk publik
- **Berapa besar NBD jika dikonversi menjadi $\mu\text{Sv}/\text{jam}$? (Asumsi 50 minggu/thn, 5 hari/minggu, dan 8 jam/hari)**
- BAPETEN merekomendasikan pekerja radiasi menerima $< 7,5 \mu\text{Sv}/\text{jam}$

ASUMSI DALAM DESAIN SHIELDING (NCRP 147)

- The significant attenuation of the primary beam by the patient is neglected. The patient attenuates the primary beam by a factor of 10 to 100.
- The calculations of recommended barrier thickness always assume perpendicular incidence of the radiation. If not assumed, the effect would vary in magnitude, but would always be a reduction in the transmission through the barrier for x rays that have nonperpendicular incidence.
- The shielding design calculation often ignores the presence of materials (*e.g.*, lead fluoroscopy curtains, personnel wearing lead aprons, ceiling mounted shields, equipment cabinets, etc.) in the path of the radiation other than the specified shielding material. If the additional materials were included, the effects would vary in magnitude, but the net effect would be a reduction in transmission due to the additional materials.
- The leakage radiation from x-ray equipment is assumed to be at the maximum value allowed by the federal standard for the leakage radiation technique factors for the x-ray device (*i.e.*, 0.876 mGy h^{-1} air kerma) (100 mR h^{-1} exposure)

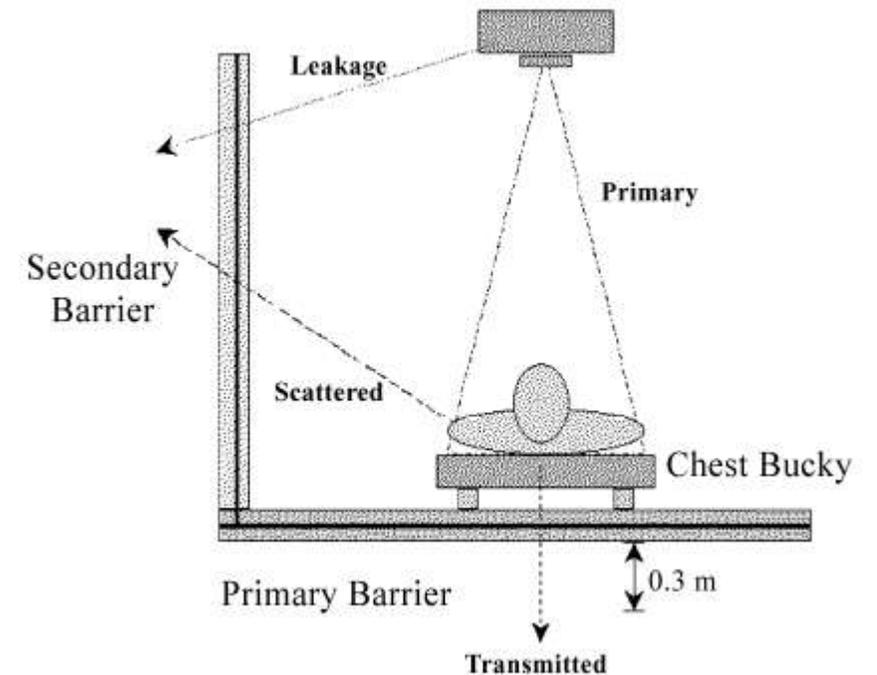
(FDA, 2003a). In clinical practice, leakage radiation is much less than this value,³ since Food and Drug Administration (FDA, 2003a) leakage technique factors are not typically employed for examination of patients. If the maximum value were not assumed, the effect would be a reduction in leakage radiation and its contribution to secondary radiation.

- The field size and phantom used for scattered radiation calculations yield conservatively high values of scattered radiation. If a more likely field size and phantom were used, the contribution to scattered radiation would be reduced by a factor of approximately four.
- The recommended occupancy factors for uncontrolled areas are conservatively high. For example, very few people spend 100 percent of their time in their office. If more likely occupancy factors were used, the effect would vary in magnitude, but would always result in a reduction in the amount of exposure received by an individual located in an uncontrolled area.

-
- Lead shielding is fabricated in sheets of specific standard thicknesses. If shielding calculations require a value greater than a standard thickness, the next available greater standard thickness will typically be specified. This added thickness provides an increased measure of protection. The effect of using the next greater standard thickness (Section 2.3.1.1, Figure 2.3) in place of the actual barrier thickness would vary in magnitude, but would always result in a significant reduction in transmission through the barrier.
 - The minimum distance to the occupied area from a shielded wall is assumed to be 0.3 m. This is typically a conservatively safe estimate for most walls and especially for doors. If a value >0.3 m were assumed, the effect would vary, but radiation levels decrease rapidly with increasing distance.

NCRP 147

- **Primary radiation** : radiation emitted directly from the x-ray tube that is used for patient imaging
- **Primary barrier** is a wall, ceiling, floor or other structure that will intercept radiation emitted directly from the x-ray tube. Its function is to attenuate the useful beam to appropriate shielding design goals.
- **Secondary radiation** consists of x rays scattered from the patient and other objects such as the imaging hardware and leakage radiation from the protective housing of the x-ray tube.
- **Secondary barrier** is a wall, ceiling, floor or other structure that will intercept and attenuate leakage and scattered radiations to the appropriate shielding design goal.



NCRP 147

Computed tomography (CT) employs a collimated x-ray fan-beam that is intercepted by the patient and by the detector array. Consequently, only secondary radiation is incident on protective barriers. The operating potential, typically in the range of 80 to 140 kVp, as well as the workload are much higher than for general radiography or fluoroscopy. Due to the potential for a large amount of secondary radiation, floors, walls and ceilings need special consideration. Additionally, scattered and leakage radiations from CT systems are not isotropic. Although radiation levels in the direction of the gantry are much less than the radiation levels along the axis of the patient table, the model used in this Report assumes a conservatively safe isotropic scattered-radiation distribution. This is an important consideration if a replacement unit has a different orientation.

Perhitungan shielding (NCRP 147)

Terminologi

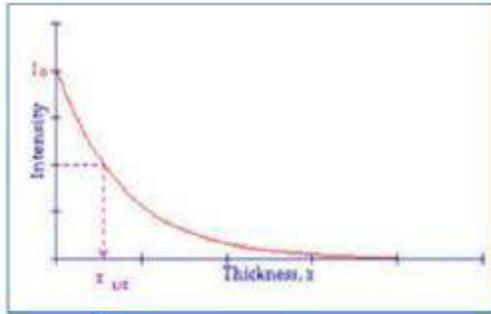
- **Shielding design goal (P)** : kerma udara yang digunakan dalam perhitungan desain dan untuk mengevaluasi penahan radiasi.
- **Distance to the occupied area (d)** : jarak antara penahan radiasi dengan organ sensitive terdekat dari individu. Biasanya diasumsikan 0,3 m dari dinding, 0,5 m dari atas lantai (jika sumber radiasi ada di ruangan di bawahnya), dan 1,7 m dari atas lantai (jika sumber radiasi ada di ruangan di atasnya)
- **Occupancy Factors (T)** : rata-rata waktu maksimum individu terkena paparan sinar-X di titik perhitungan, dengan asumsi unit sinar-X digunakan acak selama seminggu

TABLE 4.1—Suggested occupancy factors^a (for use as a guide in planning shielding where other occupancy data are not available).

Location	Occupancy Factor (T)
Administrative or clerical offices; laboratories, pharmacies and other work areas fully occupied by an individual; receptionist areas, attended waiting rooms, children's indoor play areas, adjacent x-ray rooms, film reading areas, nurse's stations, x-ray control rooms	1
Rooms used for patient examinations and treatments	1/2
Corridors, patient rooms, employee lounges, staff rest rooms	1/5
Corridor doors ^b	1/8
Public toilets, unattended vending areas, storage rooms, outdoor areas with seating, unattended waiting rooms, patient holding areas	1/20
Outdoor areas with only transient pedestrian or vehicular traffic, unattended parking lots, vehicular drop off areas (unattended), attics, stairways, unattended elevators, janitor's closets	1/40

-
- **Workload and workload distribution** : integral waktu dari arus tabung sinar-X selama periode tertentu dan biasanya dinyatakan dalam satuan miliampere-menit. Periode waktu yang umum digunakan untuk *workload* adalah dalam satu minggu.
 - **Use factor** : fraksi workload primary radiation yang diarahkan ke suatu primary barrier tertentu. Nilai U akan bergantung pada jenis radiasi dan penghalang/barrier.
 - **Primary barrier** didesain untuk mengatenuasi primary radiation untuk dicapai/diperoleh shielding goal (P)
 - **Secondary barrier** membatasi air kerma dari radiasi hambur maupun bocor agar diperoleh dosis sama dengan atau lebih rendah dari shielding goal

Prinsip Dasar Perhitungan Perisai Radiasi



Penurunan intensitas radiasi gamma setelah melalui penahan mengikuti persamaan:

$$I = I_0 \times e^{-\mu x}$$

Jika:

$$x = \text{HVL}$$

$$\text{HVL} = \frac{0,693}{\mu}$$

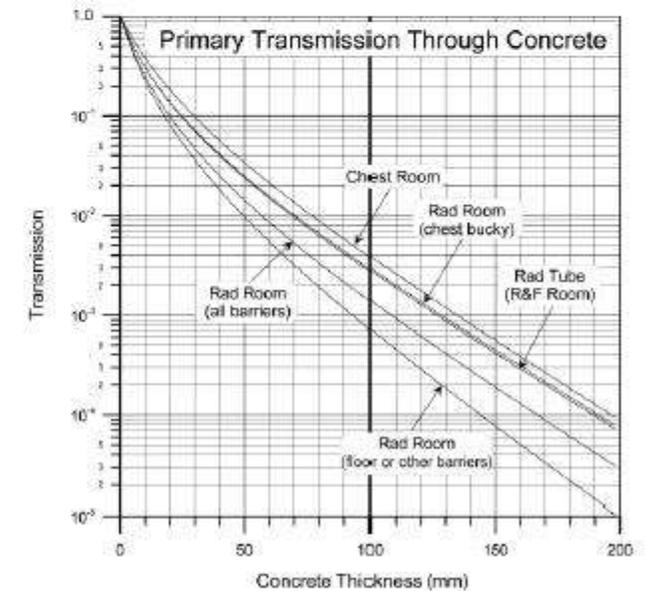
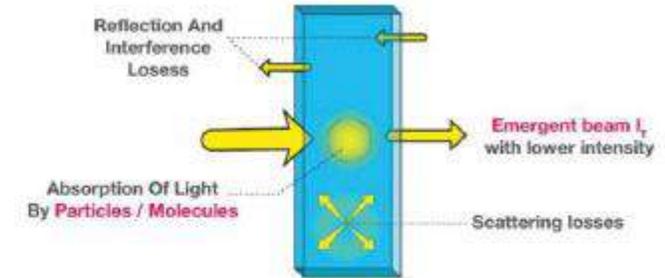
I : Intensitas radiasi setelah melalui penahan

I₀ : Intensitas radiasi mula-mula (sebelum melalui penahan)

μ : koefisien atenuasi

x : ketebalan penahan

HVL : Half Value Layer, ketebalan yang dibutuhkan agar intensitas setelah melalui penahan menjadi **setengah** dari intensitas mula-mula



Sumber: PPT Ade Rizki Setiadi "Desain Perisai Radiasi Ruang CT Scan : Teori dan Praktikal"

Perhitungan Desain – Metode CTDI (NCRP 147)

Hanya mempertimbangkan radiasi sekunder (hamburan dan bocor) karena radiasi primer akan teratenuasi oleh tubuh pasien, detektor dan material pada gantry.

For an axial or helical scan series consisting of N_R total rotations, the scattered air kerma at 1 m for a given phantom diameter is expected to be proportional to the line integral of the accumulated absorbed dose $D(z)$ along the axial direction z [*i.e.*, the dose-line integral (DLI)]

$$K_S^1 = \kappa \int_{-\infty}^{\infty} D(z) dz = \kappa DLI = \kappa N_R \int_{-\infty}^{\infty} f(z) dz$$

where κ is a proportionality constant and $f(z)$ is the dose profile resulting from a single axial rotation (with no phantom motion).

The standard CT dosimetry phantoms (FDA, 2003d; Shope *et al.*, 1981) are assumed in this Report to reasonably represent a head and body, insofar as scattered radiation from a patient is concerned. These phantoms are 16 and 32 cm diameter acrylic cylinders for the head and body, respectively, with a length of approximately 15 cm.

The computed tomography dose index ($CTDI_{100}$) measured with a single axial rotation using a 10 cm (100 mm) long ionization chamber (in units of air kerma) is defined (EC, 1999; IEC, 2002) as:

$$CTDI_{100} = \frac{1}{T_b} \int_{-5 \text{ cm}}^{5 \text{ cm}} f(z) dz \quad (5.2)$$

where T_b is the nominal beam width on the axis of rotation (for multi-slice scanners where n slices of width T_n are acquired per rotation, $T_b = nT_n$).

Thus, the scattered air kerma per patient at 1 m can be approximated by:

$$K_S^1 = \kappa DLI \approx \kappa N_R T_b CTDI_{100}, \quad (5.3)$$

where the DLI is analogous to dose-length product (DLP), but refers only to a single axis within the phantom, either the central axis or at the phantom periphery.

This can be expressed in terms of the length of patient scanned $L = N_R b$, where b is the scan interval for axial scans and $b = v\tau$ is the table advance per rotation for helical scans.

$$K_S^1 = \kappa \frac{L}{p} CTDI_{100}, \quad (5.4)$$

In this Report, the peripheral phantom axis 1 cm below the surface is used as the reference axis. The scatter fraction per centimeter (κ) for the peripheral axis of the FDA (2003d) head and body phantoms has been measured and the following values were obtained:¹²

$$\kappa_{\text{head}} = 9 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1} \quad (5.5a)$$

$$\kappa_{\text{body}} = 3 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}. \quad (5.5b)$$

The barrier transmission factor [$B_{\text{sec}}(x_{\text{barrier}})$] that reduces $K_{\text{sec}}(0)$ (the air kerma from unshielded secondary radiation at a distance d_{sec}) to P/T for secondary radiation is:

$$B_{\text{sec}}(x_{\text{barrier}}) = \left(\frac{P}{T}\right) \frac{d_{\text{sec}}^2}{K_{\text{sec}}^1 N}. \quad (4.9)$$

If ${}_nCTDI_{100}$ is defined as the $CTDI_{100}$ normalized per mAs , then:

$$K_{\text{sec}}^1 = \kappa N_R T_b mAs {}_nCTDI_{100} = \kappa \frac{L}{p} mAs {}_nCTDI_{100}. \quad (5.6)$$

$CTDI_{100}$ values are also obtainable from the manufacturers, however, care should be taken not to confuse $CTDI_{100}$ with $CTDI_{\text{FDA}}$ (FDA, 2003d), which is also provided (often as an unsubscripted $CTDI$) (McNitt-Gray, 2002).

$$x_{\text{barrier}} = \frac{1}{\alpha \gamma} \ln \left[\frac{\left(\frac{N T K_{\text{sec}}^1}{P d_{\text{sec}}^2}\right)^\gamma + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right], \quad x = \frac{1}{\alpha \gamma} \ln \left(\frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right).$$

TABLE A.1—Fits of transmission for broad primary x-ray beams (for lead, concrete, gypsum wallboard, steel, plate glass, and wood) to Equation A.2 (thickness x is input in millimeters).

kVp^b	Lead			Concrete ^a			Gypsum Wallboard		
	α (mm ⁻¹)	β (mm ⁻¹)	γ	α (mm ⁻¹)	β (mm ⁻¹)	γ	α (mm ⁻¹)	β (mm ⁻¹)	γ
25	4.952×10^1	1.940×10^2	3.037×10^{-1}	3.904×10^{-1}	1.645	2.757×10^{-1}	1.576×10^{-1}	7.175×10^{-1}	3.048×10^{-1}
30	3.880×10^1	1.780×10^2	3.473×10^{-1}	3.173×10^{-1}	1.698	3.593×10^{-1}	1.208×10^{-1}	7.043×10^{-1}	3.613×10^{-1}
35	2.955×10^1	1.647×10^2	3.948×10^{-1}	2.528×10^{-1}	1.807	4.648×10^{-1}	8.878×10^{-2}	6.988×10^{-1}	4.245×10^{-1}
40				1.297×10^{-1}	1.780×10^{-1}	2.189×10^{-1}			
45				1.095×10^{-1}	1.741×10^{-1}	2.269×10^{-1}			
50	8.801	2.728×10^1	2.957×10^{-1}	9.032×10^{-2}	1.712×10^{-1}	2.324×10^{-1}	3.883×10^{-2}	8.730×10^{-2}	5.105×10^{-1}
55	7.839	2.592×10^1	3.499×10^{-1}	7.422×10^{-2}	1.697×10^{-1}	2.454×10^{-1}	3.419×10^{-2}	8.315×10^{-2}	5.606×10^{-1}
60	6.951	2.489×10^1	4.198×10^{-1}	6.251×10^{-2}	1.692×10^{-1}	2.733×10^{-1}	2.985×10^{-2}	7.961×10^{-2}	6.169×10^{-1}
65	6.130	2.409×10^1	5.019×10^{-1}	5.528×10^{-2}	1.696×10^{-1}	3.217×10^{-1}	2.609×10^{-2}	7.597×10^{-2}	6.756×10^{-1}
70	5.369	2.349×10^1	5.881×10^{-1}	5.087×10^{-2}	1.696×10^{-1}	3.847×10^{-1}	2.302×10^{-2}	7.163×10^{-2}	7.299×10^{-1}
75	4.666	2.269×10^1	6.618×10^{-1}	4.797×10^{-2}	1.663×10^{-1}	4.492×10^{-1}	2.066×10^{-2}	6.649×10^{-2}	7.750×10^{-1}
80	4.040	2.169×10^1	7.187×10^{-1}	4.583×10^{-2}	1.549×10^{-1}	4.926×10^{-1}	1.886×10^{-2}	6.093×10^{-2}	8.103×10^{-1}
85	3.504	2.037×10^1	7.550×10^{-1}	4.398×10^{-2}	1.348×10^{-1}	4.943×10^{-1}	1.746×10^{-2}	5.558×10^{-2}	8.392×10^{-1}
90	3.067	1.883×10^1	7.726×10^{-1}	4.228×10^{-2}	1.137×10^{-1}	4.690×10^{-1}	1.633×10^{-2}	5.039×10^{-2}	8.585×10^{-1}
95	2.731	1.707×10^1	7.714×10^{-1}	4.068×10^{-2}	9.705×10^{-2}	4.406×10^{-1}	1.543×10^{-2}	4.571×10^{-2}	8.763×10^{-1}
100	2.500	1.528×10^1	7.557×10^{-1}	3.925×10^{-2}	8.567×10^{-2}	4.273×10^{-1}	1.466×10^{-2}	4.171×10^{-2}	8.939×10^{-1}
105	2.364	1.341×10^1	7.239×10^{-1}	3.808×10^{-2}	7.862×10^{-2}	4.394×10^{-1}	1.397×10^{-2}	3.815×10^{-2}	9.080×10^{-1}
110	2.296	1.170×10^1	6.827×10^{-1}	3.715×10^{-2}	7.436×10^{-2}	4.752×10^{-1}	1.336×10^{-2}	3.521×10^{-2}	9.244×10^{-1}
115	2.265	1.021×10^1	6.363×10^{-1}	3.636×10^{-2}	7.201×10^{-2}	5.319×10^{-1}	1.283×10^{-2}	3.271×10^{-2}	9.423×10^{-1}
120	2.246	8.950	5.873×10^{-1}	3.566×10^{-2}	7.109×10^{-2}	6.073×10^{-1}	1.235×10^{-2}	3.047×10^{-2}	9.566×10^{-1}
125	2.219	7.923	5.386×10^{-1}	3.502×10^{-2}	7.113×10^{-2}	6.974×10^{-1}	1.192×10^{-2}	2.863×10^{-2}	9.684×10^{-1}
130	2.170	7.094	4.909×10^{-1}	3.445×10^{-2}	7.160×10^{-2}	7.969×10^{-1}	1.155×10^{-2}	2.702×10^{-2}	9.802×10^{-1}
135	2.102	6.450	4.469×10^{-1}	3.394×10^{-2}	7.263×10^{-2}	9.099×10^{-1}	1.122×10^{-2}	2.561×10^{-2}	9.901×10^{-1}
140	2.009	5.916	4.018×10^{-1}	3.345×10^{-2}	7.476×10^{-2}	1.047	1.088×10^{-2}	2.436×10^{-2}	9.964×10^{-1}
145	1.895	5.498	3.580×10^{-1}	3.296×10^{-2}	7.875×10^{-2}	1.224	1.056×10^{-2}	2.313×10^{-2}	9.987×10^{-1}
150	1.757	5.177	3.156×10^{-1}	3.243×10^{-2}	8.599×10^{-2}	1.467	1.030×10^{-2}	2.198×10^{-2}	1.013

Soal

Example: As a simplified illustrative example using $CTDI_{100}$, consider a multi-slice scanner. The site anticipates a workload of 100 patients per 40 h week, of which 60 patients receive one body scan and 40 patients receive one head scan. The average technique is 120 kVp, with $T_b = 2$ cm (*e.g.*, four 5 mm slices are acquired per rotation),

with an average scan length L for a head scan of 20 cm at 300 mAs and a pitch of unity, and $L = 50$ cm for a body scan at 250 mAs using a pitch of 1.35. The $nCTDI_{100}$ values are 0.223 and 0.138 mGy mAs⁻¹ for a head and body scan, respectively.

1. Tentukan nilai K_{sec} pada jarak 1 m
2. Tentukan nilai K_{sec} pada jarak 3 m dari isosenter
3. Tentukan Barrier transmission (B)
4. Tentukan tebal barrier yang diperlukan (x)

Perhitungan Desain – Dose Length Product (NCRP 147)

$$DLP = CTDI_{vol} L \qquad CTDI_{vol} = \frac{1/3 CTDI_{100, center} + 2/3 CTDI_{100, periphery}}{p}$$

the length of patient scanned L is given by:

$$L = N_R b$$

Assuming that the $CTDI_{100}$ for the peripheral axis in the body phantom is twice that of the central axis, and that the $CTDI_{100}$ for the two axes are equal in the head phantom, the relevant equations become:

$$K_{sec}^I (\text{head}) = \kappa_{head} DLP \qquad (5.10a)$$

$$K_{sec}^I (\text{body}) = 1.2 \kappa_{body} DLP \qquad (5.10b)$$

TABLE 5.2—Currently suggested default DLP values per procedure.^{a,b,c}
For use as a guide in planning shielding in cases where facility-specific DLP values are not available.

Procedure	$CTDI_{vol}$ (mGy)	Scan Length (L) (cm)	DLP (mGy cm)
Head	60	20	1,200
Chest	15	35	525
Abdomen	25	25	625
Pelvis	25	20	500
Body average (chest, abdomen or pelvis)			550

Soal

Example: Assume that 150 “body” procedures and 30 head procedures are performed weekly at a site, with 40 percent of both head and body procedures having a pre- and post-contrast scan. The area to be protected is a fully-occupied real estate office behind an adjoining wall 3 m from the CT unit isocenter.

1. Tentukan nilai K_{sec} pada jarak 1 m
2. Tentukan nilai K_{sec} pada jarak 3 m dari isosenter
3. Tentukan Barrier transmission (B)
4. Tentukan tebal barrier yang diperlukan (x)

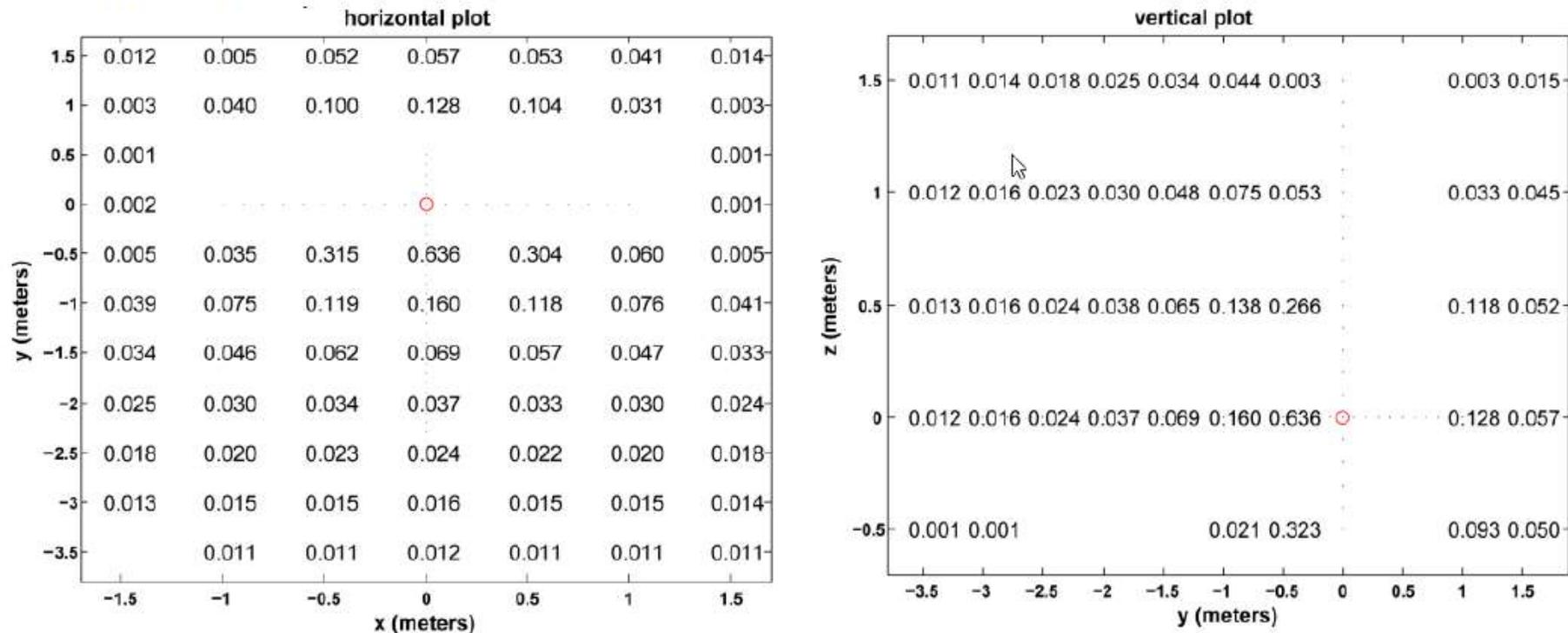
Di asumsikan 40% pasien menggunakan kontras, maka terdapat pengali 1.4

Perhitungan Desain – *Isodose Map* (NCRP

147

3. Metode Dose mapping

Mapping dose diperoleh berdasarkan simulasi pengukuran CTDI phantom body dengan protocol QA Axial Body 2D pada kolimasi maksimum $64 \times 0,625 = 40$ mm dan pada 140 kVp, 570 mAs, 2 siklus pada bidang horizontal dan vertikal sepanjang sumbu system. (satuan uGy/mAS)



Sumber: PPT Ade Rizki Setiadi “Desain Perisai Radiasi Ruang CT Scan : Teori dan Praktikal”

TERIMA KASIH

SHIELDING FASILITAS RADIOTERAPI

*Mata Kuliah: Fisika Kesehatan dan
Proteksi Radiasi*

FATIMAH KUNTI HENTIHU, M.Si

Definisi

Keselamatan Radiasi Pengion di Bidang Medik yang selanjutnya disebut Keselamatan Radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi pasien, pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya Radiasi.

Proteksi Radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh Radiasi yang merusak akibat Paparan Radiasi.

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



KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
REPUBLIK INDONESIA

PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
NOMOR 3 TAHUN 2013
TENTANG
KESELAMATAN RADIASI DALAM
PENGUNAAN RADIOTERAPI



NCRP REPORT No. 151



**STRUCTURAL SHIELDING
DESIGN AND EVALUATION
FOR MEGAVOLTAGE
X- AND GAMMA-RAY
RADIOTHERAPY FACILITIES**

Primary barrier

For an adequate barrier the ratio of the dose equivalent transmitted through the barrier to the shielding design goal (P) needs to be less than or equal to one. Hence the transmission factor of the primary barrier (B_{pri}) that will reduce the radiation field to an acceptable level is given by Equation 2.1.

$$B_{\text{pri}} = \frac{P d_{\text{pri}}^2}{WUT} \quad (2.1)$$

In Equation 2.1:⁵

P = shielding design goal (expressed as dose equivalent) beyond the barrier and is usually given for a weekly time frame (Sv week^{-1})

d_{pri} = distance from the x-ray target to the point protected (meters)

W = workload or photon absorbed dose delivered at 1 m from the x-ray target per week (Gy week^{-1})⁶

U = use factor or fraction of the workload that the primary beam is directed at the barrier in question

T = occupancy factor for the protected location or fraction of the workweek that a person is present beyond the barrier. This location is usually assumed to be 0.3 m beyond the barrier in question (see Table B.1 in Appendix B for recommended occupancy values)

Number of TVLs

Barrier thickness

$$n = -\log(B_{\text{pri}})$$

$$t_{\text{barrier}} = TVL_1 + (n - 1) TVL_e$$

The first (TVL_1) and equilibrium (TVL_e) tenth-value layers of the desired material are used to account for the spectral changes in the radiation as it penetrates the barrier. Thus, when a barrier thickness (t) is greater than the first TVL_1 , the total transmission factor (B) is given by

$$\begin{aligned} B &= (10^{-1}) 10^{-\left[\frac{(t - TVL_1)}{TVL_e}\right]} \\ &= 10^{-\left\{1 + \left[\frac{(t - TVL_1)}{TVL_e}\right]\right\}} \end{aligned}$$

TABLE B.2—Primary-barrier TVLs for ordinary concrete (2.35 g cm^{-3}), steel (7.87 g cm^{-3}), and lead (11.35 g cm^{-3}) (suggested values in centimeters).^a

Endpoint Energy (MV) ^b	Material	TVL ₁ (cm)	TVL _e (cm)
4	Concrete	35	30
	Steel	9.9	9.9
	Lead	5.7	5.7
6	Concrete	37	33
	Steel	10	10
	Lead	5.7	5.7
10	Concrete	41	37
	Steel	11	11
	Lead	5.7	5.7
15	Concrete	44	41
	Steel	11	11
	Lead	5.7	5.7

Perhitungan lebar dinding primer

Diagonal lapangan terbesar pada dinding (d_n) ditambah 30 cm disetiap ujung sisinya.

Linac dengan luas lapangan terbesar 4(

meter

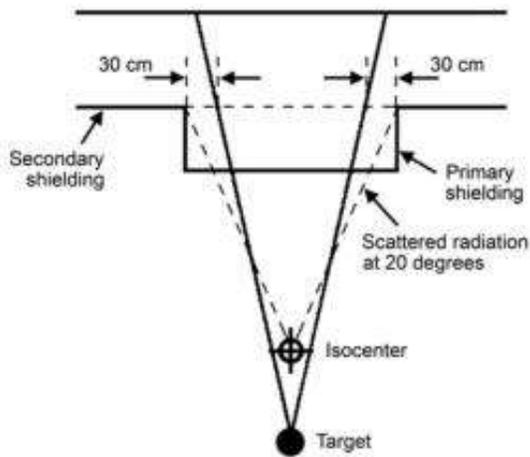


Fig. 2.4a. Width of primary barrier protruding into the room.

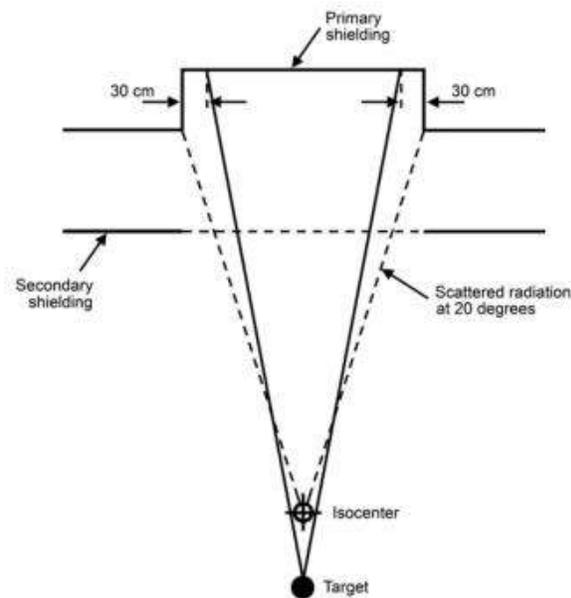


Fig. 2.4b. Arrangement for the primary barrier when the inside is continuous.

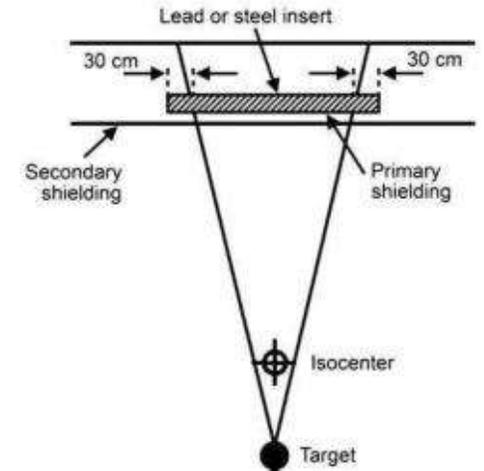


Fig. 2.4c. Arrangement for the primary barrier when lead or steel is used to maintain a uniform wall thickness.

Secondary barrier – Patient scatter

The barrier transmission needed for radiation scattered by the patient (B_{ps}) is given by Equation 2.7.

$$B_{ps} = \frac{P}{aWT} d_{sca}^2 d_{sec}^2 \frac{400}{F} \quad (2.7)$$

In Equation 2.7, the symbols P , W and T are as defined earlier (Section 2.2.1) and:

d_{sca} = distance from the x-ray target to the patient or scattering surface (meters)

d_{sec} = distance from the scattering object to the point protected (meters)

a = scatter fraction or fraction of the primary-beam absorbed dose that scatters from the patient at a particular angle (see Table B.4 in Appendix B)

F = field area at mid-depth of the patient at 1 m (cm^2)

and the value 400 assumes the scatter fractions are normalized to those measured for a 20 cm × 20 cm field size. The distances d_{sca} and d_{sec} , and the Area F are shown in Figure 2.6.

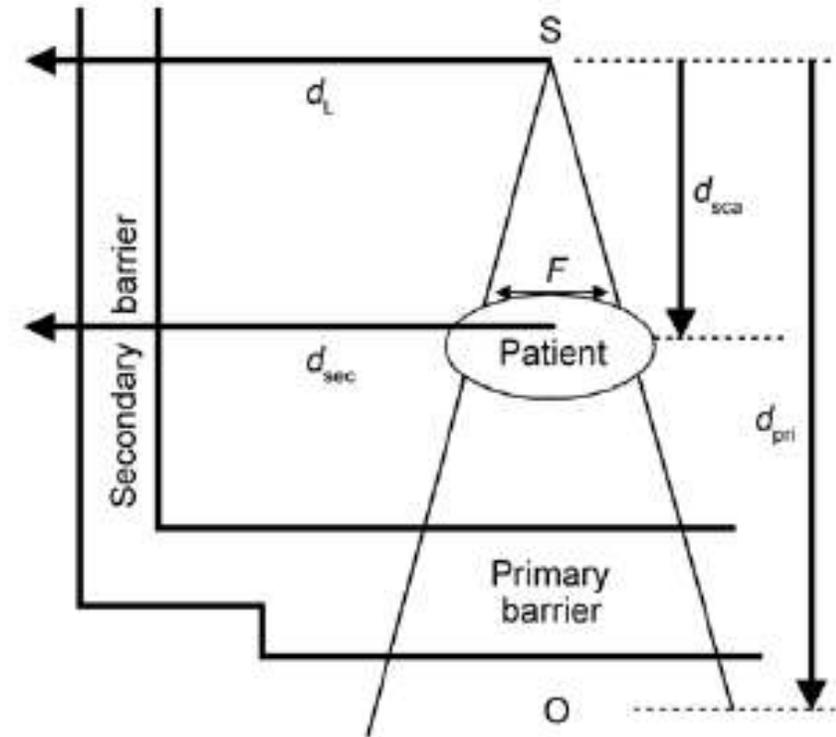


Fig. 2.6. Room layout showing distances associated with patient-scattered (d_{sca} , d_{sec}) and leakage radiations (d_L).

Secondary barrier – Leakage

The barrier transmission of leakage radiation alone (B_L) is given by Equation 2.8.

$$B_L = \frac{P d_L^2}{10^{-3} W T} \quad (2.8)$$

In Equation 2.8, the factor 10^{-3} arises from the assumption that leakage radiation from the accelerator head is 0.1 % of the useful beam. The use factor again is taken as one, and d_L is measured from the isocenter if it can be assumed that the accelerator gantry angles used are, on average, symmetric.

Door & Maze

The radiation reaching the maze door is due to scattering of photons from the room surfaces and patient as well as direct penetration of head-leakage radiation through the inner maze Wall Z. These components are given as follows:

H_S = dose equivalent per week due to scatter of the primary beam from the room surfaces

H_{1S} = dose equivalent per week due to head-leakage photons scattered by the room surfaces

H_{ps} = dose equivalent per week due to primary beam scattered from the patient

H_{LT} = dose equivalent per week due to leakage radiation which is transmitted through the inner maze wall

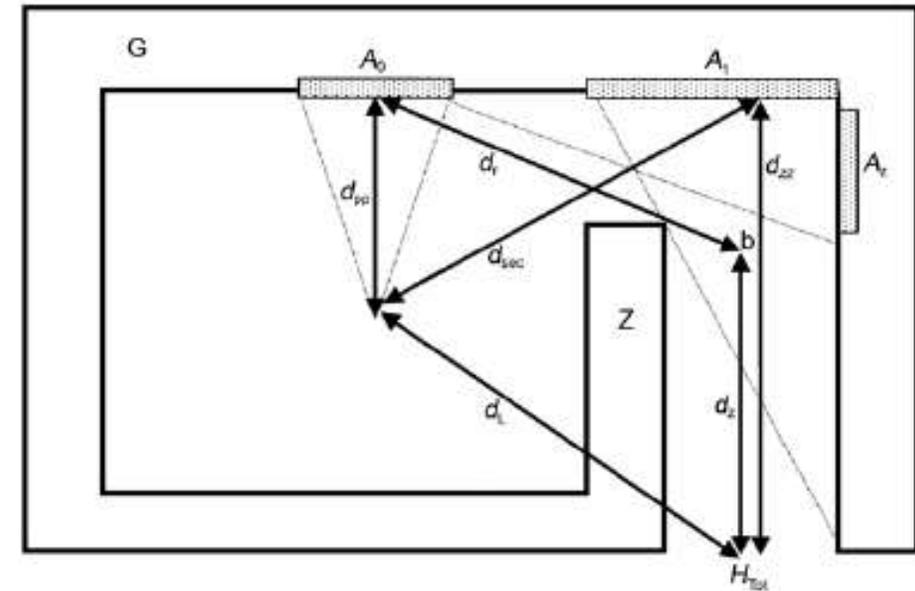


Fig. 2.7. General room layout for definition of parameters used in maze door shielding (see Figure 7.1 for more detail).

$$H_S = \frac{W U_G \alpha_0 A_0 \alpha_z A_z}{(d_h d_r d_z)^2} \quad (2.9)$$

In Equation 2.9:

H_S = dose equivalent per week at the maze door due to scattering of the primary beam from Wall G

W = workload (Gy week⁻¹)

U_G = use factor for the Wall G

α_0 = reflection coefficient at the first scattering surface A_0

A_0 = beam area at the first scattering surface (m²)

α_z = reflection coefficient for second reflection from the maze surface A_z (an energy of 0.5 MeV is usually assumed)

A_z = cross-sectional area of maze inner entry projected onto the maze wall from the perspective of the irradiated primary barrier A_0 (m²)

d_h = perpendicular distance from the target to the first reflection surface [equal to d_{pp} (perpendicular distance from isocenter to the wall, see Figure 2.7) plus 1 m] (meters)

d_r = distance from beam center at the first reflection, past the edge of the inner maze wall, to Point b on the mid-line of the maze (meters)

d_z = centerline distance along the maze from Point b to the maze door (meters)

$$H_{LS} = \frac{L_f W_L U_G \alpha_1 A_1}{(d_{sec} d_{zz})^2} \quad (2.10)$$

In Equation 2.10:

H_{LS} = dose equivalent per week at maze door due to single-scattered head-leakage radiation

L_f = head-leakage radiation ratio at 1 m from the target [taken as 1/1,000 or 0.1 % per the IEC (2002) requirement]

W_L = workload for leakage radiation (Gy week^{-1}) (which can be different than the primary workload as discussed in Section 3.2.2)

U_G = use factor for the Wall G

α_1 = reflection coefficient for scatter of leakage radiation from Wall G

A_1 = area of Wall G that can be seen from the maze door (m^2)

d_{sec} = distance from the target to the maze centerline at Wall G (meters) [note this may be measured from the iso-center as representing the average target position]

d_{zz} = centerline distance along the maze (meters)

$$H_{ps} = \frac{a(\theta) W U_G \left(\frac{F}{400} \right) \alpha_1 A_1}{(d_{sca} d_{sec} d_{zz})^2} \quad (2.11)$$

In Equation 2.11:

H_{ps} = dose equivalent per week at the maze door due to patient-scattered radiation

$a(\theta)$ = scatter fraction for patient-scattered radiation at angle θ (from Table B.4 in Appendix B)

W = workload for the primary beam (Gy week⁻¹)

U_G = use factor for the Wall G

F = field area at mid-depth of the patient at 1 m (cm²)

α_1 = reflection coefficient for Wall G for the patient-scattered radiation

A_1 = area of Wall G that can be seen from the outer maze entrance (m²)

d_{sca} = distance from the target to the patient (meters)

d_{sec} = distance from the patient to Wall G at the maze centerline (meters)

d_{zz} = centerline distance along the maze length from the scattering surface A_1 to the door (meters)

$$H_{LT} = \frac{L_f W_L U_G B}{d_L^2}$$

H_{LT} = dose equivalent per week at the maze door due to leakage radiation which is transmitted through the inner maze wall

L_f = head-leakage radiation ratio, which is taken as a conservatively safe value of 10^{-3} of the useful beam

W_L = workload for leakage radiation (Gy week^{-1}) (which can be different than the primary workload as discussed in Section 3.2.2)

U_G = use factor for the gantry orientation G

B = transmission factor for Wall Z along the oblique path traced by d_L

d_L = distance from the target to the center of the maze door through the inner maze wall (meters).

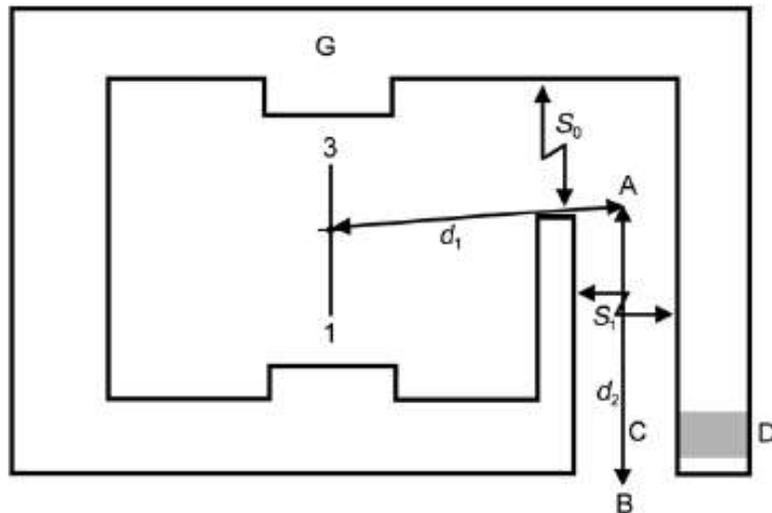
$$H_G = f H_S + H_{LS} + H_{ps} + H_{LT}$$

For example, f has a value of ~0.25 for 6 to 10 MV x rays when the field size is $(40 \times 40) \text{ cm}^2$ and a $(40 \times 40 \times 40) \text{ cm}^3$ phantom is utilized (McGinley and James, 1997).

Finally, when the use factors for the major beam directions (0, 90, 180 and 270 degrees) are each taken as one-quarter, the total dose equivalent (H_{Tot}) at the maze door from photon leakage radiation and scattered radiation is not simply $4 H_G$, but is estimated as $2.64 H_G$ (McGinley, 2002), where a quality factor of unity is assigned for the photons from low-energy accelerators ($\leq 10 \text{ MV}$).

$$H_{Tot} = 2.64 H_G \quad (2.14)$$

Untuk Linac yang menghasilkan foton berenergi tinggi > 10MV, pada shielding pintu perlu mempertimbangkan dominasi neutron captured gamma dan fotoneutron.



$$h_{\varphi} = K \varphi_A 10^{-\left(\frac{d_2}{TVD}\right)} \quad (2.15)$$

In Equation 2.15:

K = ratio of the neutron capture gamma-ray dose equivalent (sievert) to the total neutron fluence at Location A in Figure 2.8 (an average value of 6.9×10^{-16} Sv m² per unit neutron fluence was found for K based on measurements carried out at 22 accelerator facilities)¹⁰

φ_A = total neutron fluence (m⁻²) at Location A per unit absorbed dose (gray) of x rays at the isocenter

d_2 = distance from Location A to the door (meters)

TVD = tenth-value distance¹¹ having a value of ~5.4 m for x-ray beams in the range of 18 to 25 MV, and a value of ~3.9 m for 15 MV x-ray beams

Fig. 2.8. Room layout for calculating neutron capture gamma-ray and neutron dose equivalents at the maze door.

The total neutron fluence at the inside maze entrance (Location A in Figure 2.8) per unit absorbed dose from x rays at the isocenter can be evaluated by use of Equation 2.16 (McCall *et al.*, 1999; NCRP, 1984).

$$\varphi_A = \frac{\beta Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4 \beta Q_n}{2\pi S_r} + \frac{1.3 Q_n}{2\pi S_r} \quad (2.16)$$

In Equation 2.16, the three terms represent the direct, scattered and thermal neutron components, respectively; and:

β = transmission factor for neutrons that penetrate the head shielding (one for lead and 0.85 for tungsten head shielding)

d_1 = distance from the isocenter to Location A in Figure 2.8 (meters)

Q_n = neutron source strength in neutrons emitted from the accelerator head per gray of x-ray absorbed dose at the isocenter

S_r = total surface area of the treatment room (m²)

The weekly dose equivalent at the door due to neutron capture gamma rays (H_{cg}), in sievert per week, is then the product of the workload for leakage radiation (W_L) and h_φ :

$$H_{cg} = W_L h_\varphi \quad (2.17)$$

sured data to give Equation 2.19 for the neutron dose equivalent along the maze length.

$$H_{n,D} = 2.4 \times 10^{-15} \varphi_A \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \left[1.64 \times 10^{-\left(\frac{d_2}{1.9}\right)} + 10^{-\left(\frac{d_2}{TVD}\right)} \right] \quad (2.19)$$

In Equation 2.19:

$H_{n,D}$ = neutron dose equivalent at the maze entrance in sievert per unit absorbed dose of x rays (gray) at the isocenter and thus the constant has units of Sv n⁻¹ m²

φ_A = neutron fluence per unit absorbed dose of photons (m⁻² Gy⁻¹) at the isocenter as given by Equation 2.16

S_0/S_1 = ratio of the inner maze entrance cross-sectional area to the cross-sectional area along the maze (Figure 2.8)

TVD = tenth-value distance (meters) that varies as the square root of the cross-sectional area along the maze S_1 (m²), *i.e.*:

$$TVD = 2.06 \sqrt{S_1} \quad (2.20)$$

The weekly dose equivalent (sievert per week) (H_n) at the door due to neutrons is thus given by:

$$H_n = W_L H_{n,D} \quad (2.21)$$

and W_L is the weekly leakage-radiation workload.

2.4.2.3 Total Dose Equivalent at the Maze Door. The total weekly dose equivalent at the external maze entrance (H_w) is then the sum of all the components from the leakage and scattered radiations (Equation 2.14), the neutron capture gamma rays (Equation 2.17) and the neutrons (Equation 2.21):

$$H_w = H_{Tot} + H_{cg} + H_n \quad (2.22)$$

to prevent neutrons from leaving the treatment room and entering the maze:

1. reduce the opening at the inside maze entrance;
2. add a light-weight door containing a thermal neutron absorber (boron 9 % by weight) at the inside maze entrance; and
3. place a BPE (5 % boron) door at the inside maze entrance.

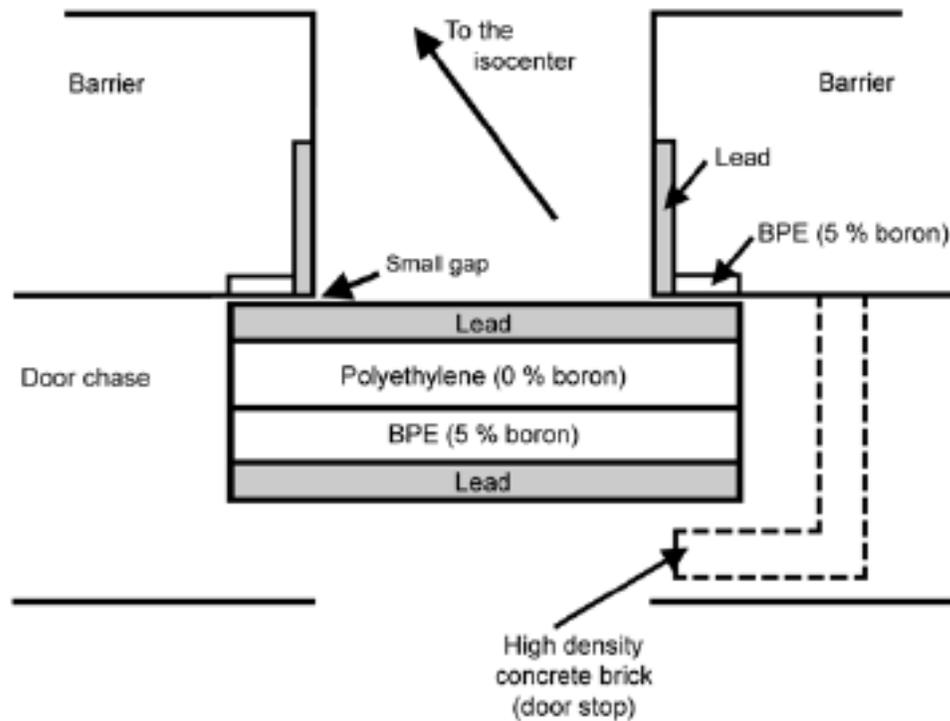


TABLE 2.1—Dose-equivalent rate due to neutron capture gamma rays and neutrons at the outside maze entrance per unit absorbed-dose rate of x rays at the isocenter of a nominal 18 MV accelerator (McGinley and Miner, 1995).^a

Dose-equivalent rate (Sv h ⁻¹) per unit absorbed-dose rate (Gy h ⁻¹) of x rays at isocenter (Sv Gy ⁻¹)			
Type of Maze and Door	Neutron Capture Gamma Rays	Neutrons	Total (neutrons plus gamma rays)
Conventional	5.8×10^{-7}	17.4×10^{-7}	23.3×10^{-7}
Reduced inner opening	2.6×10^{-7}	5.8×10^{-7}	8.4×10^{-7}
Inner boron door	1.9×10^{-7}	4.8×10^{-7}	6.7×10^{-7}
Inner BPE door	1.0×10^{-7}	1.5×10^{-7}	2.6×10^{-7}

^aNeutron dose-equivalent rates were measured using a rem-meter calibrated with a heavy water-moderated ²⁵²Cf neutron source.

SHIELDING FASILITAS BRAKITERAPI

*Mata Kuliah: Fisika Kesehatan dan
Proteksi Radiasi*

FATIMAH KUNTI HENTIHU, M.Si

Definisi

Keselamatan Radiasi Pengion di Bidang Medik yang selanjutnya disebut Keselamatan Radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi pasien, pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya Radiasi.

Proteksi Radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh Radiasi yang merusak akibat Paparan Radiasi.

Brakhiterapi adalah jenis Radioterapi jarak dekat yang diberikan secara manual atau *Remote Afterloading*.



KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
REPUBLIK INDONESIA

PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
NOMOR 3 TAHUN 2013
TENTANG
KESELAMATAN RADIASI DALAM
PENGUNAAN RADIOTERAPI

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

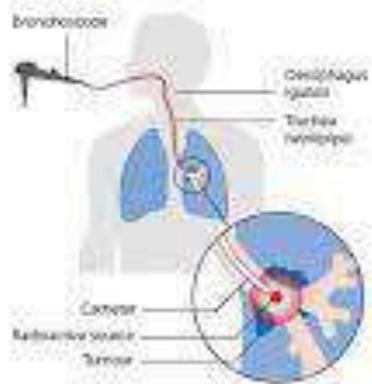
Brakhiterapi Manual Implan Permanen adalah jenis Brakhiterapi Manual laju Dosis rendah yang dipasang secara permanen pada tumor.

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

HOW DOES RADIOTHERAPY WORK?

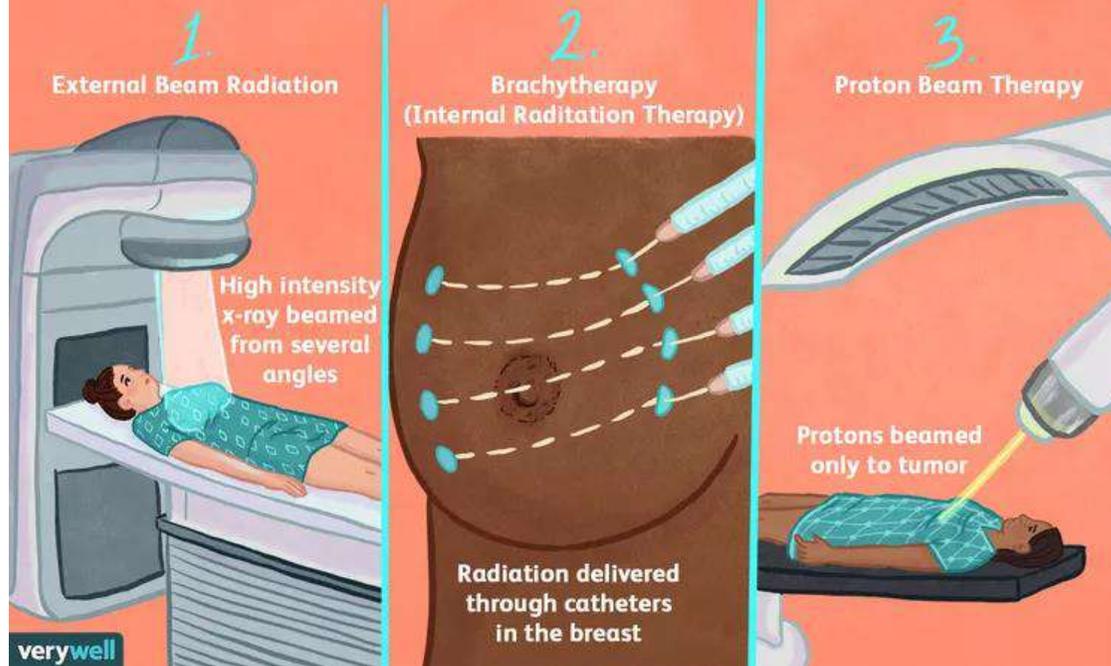


EXTERNAL BEAM RADIOTHERAPY



BRACHYTHERAPY

Types of Radiation



Safety Reports Series

No. 47

Radiation Protection in the Design of Radiotherapy Facilities

8.4. CALCULATION METHODS

To determine the required attenuation of the primary barriers, Eq. (5) is used. For brachytherapy the workload W is based on the dose delivered per treatment and the number of treatments:

$$W = \text{RAKR} \times A \times t \times n \quad (33)$$

where

- RAKR is the reference air kerma rate for a source of unit activity;
- A is the total activity (activity per source \times number of sources);
- t is the average duration of treatment in hours;
- n is the number of treatments per week.

Similarly, the dose rate D_0 will be given by:

$$D_0 = \text{RAKR} \times A \quad (35)$$

A modified version of Eq. (5) for brachytherapy shielding may be written as:

$$B = \frac{Pd^2}{RAKR \times A \times t \times n \times T} \quad (37)$$

where

- P is the design limit;
- d is the distance, in m, from the exposed source position to the point of interest outside the barrier;
- T is the occupancy of the area outside the barrier.

8.6. DATA

TABLE 19. EXAMPLES OF TREATMENT TYPES AND TYPICAL CONCRETE BARRIER THICKNESSES AT 3 m FROM A RADIATION SOURCE [3]

Treatment type	Nuclide	Activity (GBq)	Concrete thickness (mm) to reduce dose rate to	
			$7.5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	$2.5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$
MDR afterloading	Caesium-137	22.2	280	360
HDR afterloading	Cobalt-60	185	680	770
LDR afterloading	Iridium-192	37	310	360
HDR afterloading	Iridium-192	370	440	510

TABLE 20. PHYSICAL DATA OF SOME NUCLIDES USED FOR BRACHYTHERAPY

Nuclide	Mean photon energy (MeV)	Half-life	RAKR ($\mu\text{Gy} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$)
Co-60	1.25	5.27 a	0.308
I-125	0.028	60.1 d	0.034
Cs-137	0.662	30.0 a	0.077
Ir-192	0.37	74.0 d	0.111
Au-198	0.42	64.7 h	0.056
Ra-226	0.78	1600 a	0.195

TABLE 21. COMPUTED VALUES OF BRACHYTHERAPY TISSUE AIR RATIO ($F_2(D, \theta)$) FOR PATH LENGTH OF 10 cm IN WATER [45]

Nuclide	Co-60	Cs-137	Ir-192	Au-198	Ra-226
Tissue air ratio	0.81	0.86	0.93	0.90	0.86

TABLE 22. APPROXIMATE VALUES OF HALF AND TENTH VALUE LAYERS BASED ON LARGE ATTENUATION FOR RADIONUCLIDES USED IN BRACHYTHERAPY [2] (APPENDIX D, FIGS 11–13^a)

Nuclide	Lead		Steel		Concrete	
	HVL (mm)	TVL (mm)	HVL (mm)	TVL (mm)	HVL (mm)	TVL (mm)
Co-60	12 (HVL ₁ = 15)	41	21 (HVL ₁ = 35)	71 (TVL ₁ = 87)	62	218 (TVL ₁ = 245)
I-125 [46]	0.03	0.1	—	—	—	—
Cs-137	6.5	22	16 (HVL ₁ = 30)	53 (TVL ₁ = 69)	48	175
Ir-192	6	16	13 (HVL ₁ = 19)	43 (TVL ₁ = 49)	43	152
Au-198	3.3	11 ^b	—	—	41	142
Ra-226	16.6	45	22 (HVL ₁ = 35)	76 (TVL ₁ = 86)	69	240

TABLE 23. HALF VALUE LAYERS AND TENTH VALUE LAYERS FOR 90° SCATTERING FROM GAMMA RAYS [47]

Nuclide		HVL	TVL ₁	TVL ₂	TVL ₃
Cobalt-60	Lead	1.3	6.5	11.1	—
	Concrete	44	142	141	122
Caesium-137	Lead	0.6	3.2	5.5	7.0
	Concrete	37	84	122	123

Latihan menghitung

Cek gdrive – Materi PM

Latihan Braki

SHIELDING FASILITAS KEDOKTERAN NUKLIR (Diagnostik)

*Mata Kuliah: Fisika Kesehatan dan
Proteksi Radiasi*

FATIMAH KUNTI HENTIHU, M.Si

Definisi

Keselamatan Radiasi Pengion di Bidang Medik yang selanjutnya disebut Keselamatan Radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi pasien, pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya Radiasi.

Proteksi Radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh Radiasi yang merusak akibat Paparan Radiasi.

Kedokteran Nuklir adalah kegiatan pelayanan kedokteran spesialisik yang menggunakan sumber radioaktif terbuka dari disintegrasi inti berupa radionuklida dan/atau Radiofarmaka untuk tujuan diagnostik, terapi, dan penelitian medik klinik, yang didasarkan



SALINAN

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
REPUBLIK INDONESIA

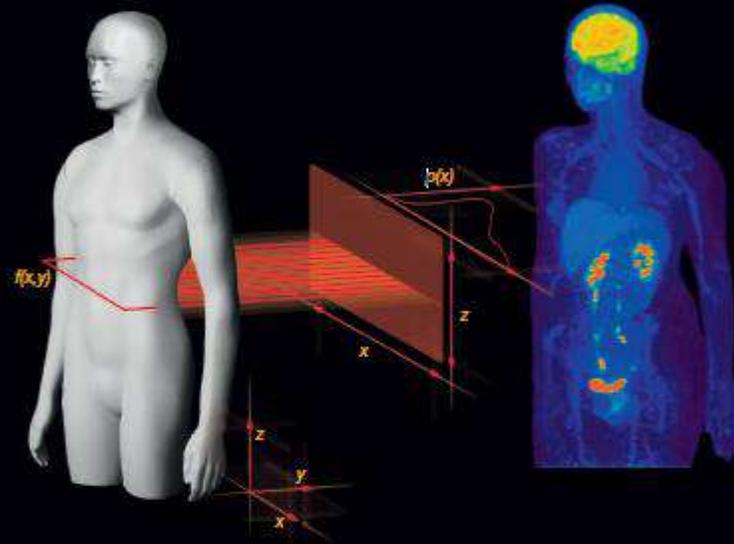
PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
NOMOR 17 TAHUN 2012
TENTANG
KESELAMATAN RADIASI DALAM KEDOKTERAN NUKLIR

DENGAN RAHMAT TUHAN YANG MAHA ESA

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,

Nuclear Medicine Physics

A Handbook for Teachers and Students



D.L. Bailey
J.L. Humm
A. Todd-Pokropek
A. van Aswegen
Technical Editors



3.2 BASIC PRINCIPLES OF RADIATION PROTECTION

3.2.1 The ICRP system of radiological protection

Types of Exposure Situations

- **Planned exposure situations**
- **Emergency exposure situations**
- **Existing exposure situations**

The use of radiation in Nuclear Medicine is a **planned exposure situation**.

Misadministration, spills or other incidents/accidents can give rise to potential exposure, which however falls under the planned exposure situation as their occurrence is considered in the granting of the exposure authorization.



3.2 BASIC PRINCIPLES OF RADIATION PROTECTION

3.2.1 The ICRP system of radiological protection

Categories of Exposure

- **Medical exposure:** patients undergoing exposure for medical diagnosis or treatment; individuals helping in the support and comfort of patients, and by volunteers in a programme of biomedical research
- **Occupational exposure:** workers exposed in the course of their work
- **Public exposure:** exposure incurred by members of the public from all exposure situations, but excluding any occupational and medical exposure

In a Nuclear Medicine facility all these exposures occur:

patients, staff occupied in performing nuclear medicine procedures, people present in the nuclear medicine facility (staff or member of the public), carers and comforters of patients, volunteers in research projects



3.4 FACILITY DESIGN

Milestones

- Safety of sources
- Optimization of protection for staff and the general public
- Prevention of uncontrolled spread of contamination
- Maintenance of low background where most needed
- Fulfilment of national requirements regarding pharmaceutical work



3.4 FACILITY DESIGN

3.4.1 Location and general layout

Location of the nuclear medicine facility:

- Readily accessible, especially for outpatients
- Far away from radiotherapy sources or other strong sources of ionizing radiation (e.g. cyclotron) which could interfere with the measuring equipment
- Separated from the isolation wards for patients treated with radiopharmaceuticals

Layout of the nuclear medicine facility:

- Separation between work areas and patient areas
- Rooms for radiopharmaceutical preparation far away from measurement rooms and patient waiting rooms
- Low activity areas close to the entrance, high activity areas to the opposite side
- Transport of unsealed sources within the facility as short as possible
- Uncontrolled spread of contamination reduced to the lowest level achievable



3.4 FACILITY DESIGN

3.4.2 General building requirements

ICRP categorization of hazards

According to the type of work to be performed and the radionuclides (and their activity) to be used, the ICRP provides criteria to categorize the different rooms of the facility as **LOW, MEDIUM or HIGH hazard areas**



According to the hazard level, indications are provided regarding the needs of ventilation, plumbing, and the materials to be used for walls, floors and work-benches.



3.4 FACILITY DESIGN

3.4.2 General building requirements

Risk of contamination

Aiming to avoid the spread of contamination and to facilitate the cleaning in case of contamination:

- The floors and work-benches should be finished with an impermeable material, washable, resistant to chemical damage and with all joints sealed
- The floor cover should be curved to the wall
- The wall should also be easy to clean
- The chairs and beds in high hazard areas should be easy to decontaminate (still paying attention to the comfort of the patients)



3.4 FACILITY DESIGN

3.4.2 General building requirements

Unsealed aerosol/gas sources

- To be produced and handled in rooms with an appropriate ventilation system including:

fume hood

laminar air flow cabinet / glove box

- The ventilation system may also be needed in the examination room, depending on the radiopharmaceutical used to perform ventilation scintigraphy (see Chapter 9)



3.4 FACILITY DESIGN

3.4.2 General building requirements

Waste release to the sewer – if allowed by the regulatory body

- Aqueous waste: dedicated sink
 easy to decontaminate
- Injected patients: separate bathroom, exclusive use for patients
 warn patients to sit down, flush the toilet, wash hands
 materials easy to decontaminate
- Drain-pipes from the nuclear medicine facility should go as directly as possible to the main building sewer or, if required by the regulatory body, directed to a delay tank (especially from isolation wards for patients undergoing radionuclide therapy)



3.4 FACILITY DESIGN

3.4.3 Source security and storage

For a safe handling of the sources:

- Security system to prevent theft, loss, unauthorized use or damage
- Only authorized personnel can order radionuclides
- Routines for delivery, unpacking, safe handling and storage
- It should be possible to trace any source, even if it leaves the facility in a patient
- The regulatory body must be promptly informed in case of stolen or lost source
- If the source is not in use, it must be stored
- Consider the possible consequences of an accidental fire and take steps to minimize the risk (e.g. not hold highly flammable or reactive materials in the facility, activate a liaison with the local firefighting authority)



3.4 FACILITY DESIGN

3.4.4 Structural shielding

Calculation of the barriers:

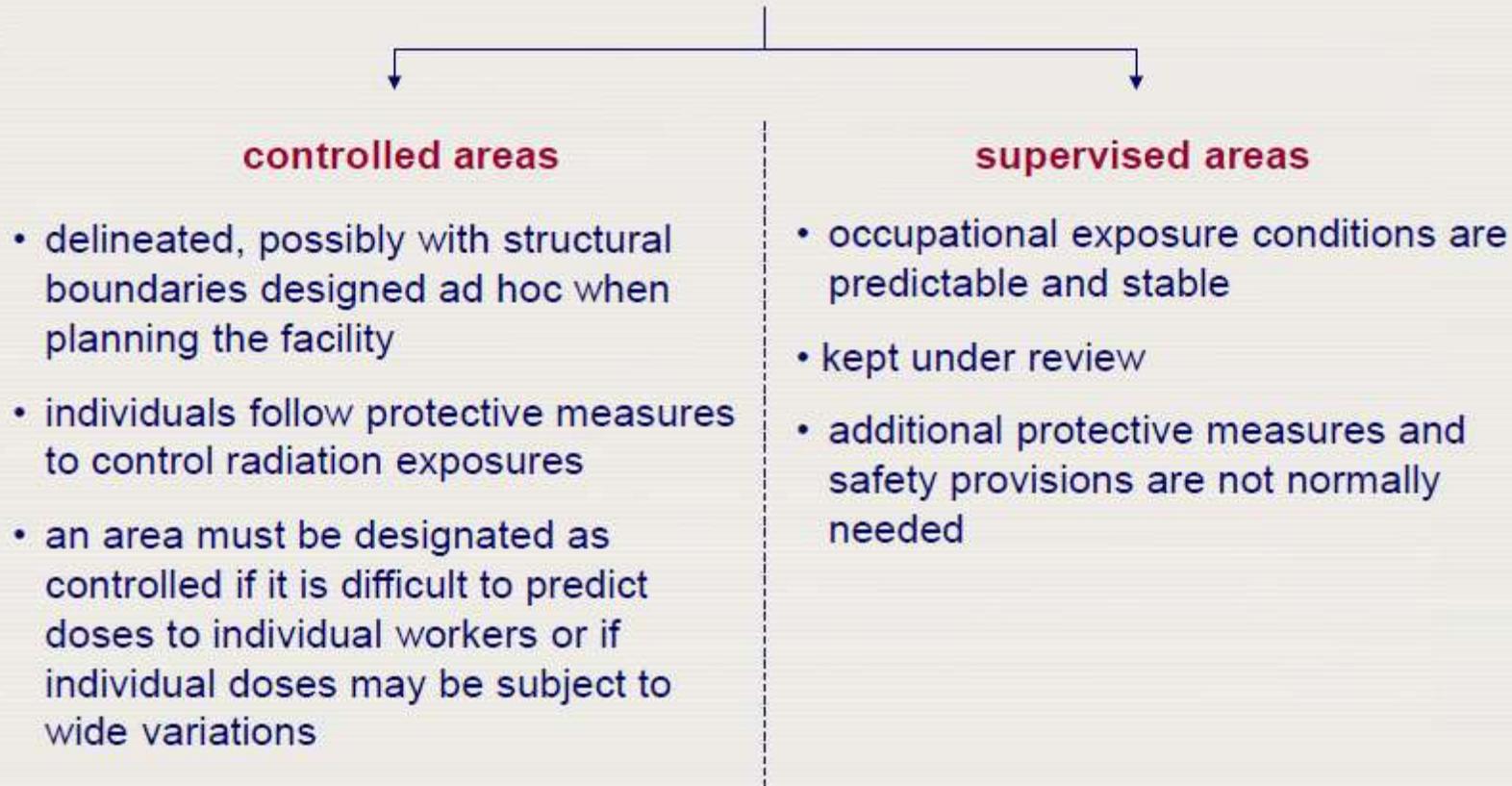
- Fundamental in case of busy facilities where high activities are handled and many patients are waiting and examined (e.g: PET/CT facility)
- Accurate barrier calculation, including walls, floor, ceiling, made by a qualified medical physicist or qualified expert when designing the facility (at planning stage)
- Radiation survey routinely performed to ensure the correctness of the calculation and the shielding efficacy
- Incorrect barriers are dangerous and correcting them later can be very expensive



3.4 FACILITY DESIGN

3.4.5 Classification of workplaces

The **BSS** requires classification into



3.4 FACILITY DESIGN

3.4.5 Classification of workplaces

In a Nuclear Medicine facility

- rooms for preparation, storage (including radioactive waste) and injection of the radiopharmaceuticals
- imaging rooms and waiting areas for injected patients (due to the potential risk of contamination)
- areas housing patients undergoing therapy with radiopharmaceuticals

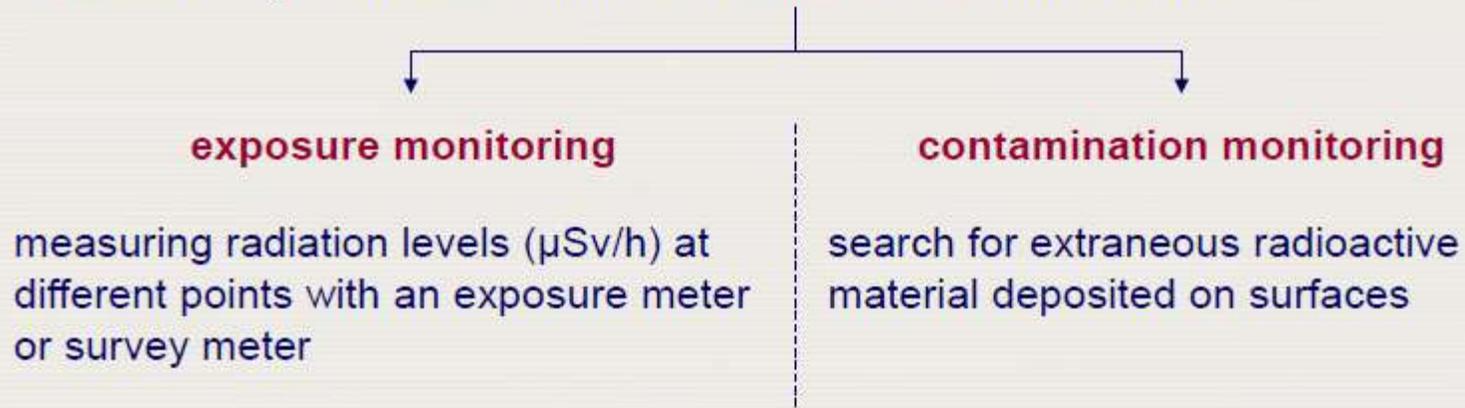
controlled areas



3.4 FACILITY DESIGN

3.4.6 Workplace monitoring

To check the presence of radiation or radioactive contamination



- The RPO indicates the places where routine monitoring should be performed and defines the investigation levels
- A member of the staff – well trained in handling the instrument - should be appointed for this task
- The results must be recorded and investigated in case the investigation levels are exceeded



3.4 FACILITY DESIGN

3.4.7 Radioactive waste

Features of radioactive waste

- activity: high (e.g. Technetium generator) / low (e.g. biomedical procedures, research)
- half-life: long / short
- form: solid / liquid / gaseous

The licensee is responsible for a **safe management** of the radioactive waste



- making adequate plans since the early stages of any project involving radioactive materials
- in full compliance with all relevant regulations
- asking for the supervision of the RPO



3.4 FACILITY DESIGN

3.4.7 Radioactive waste

Good practices

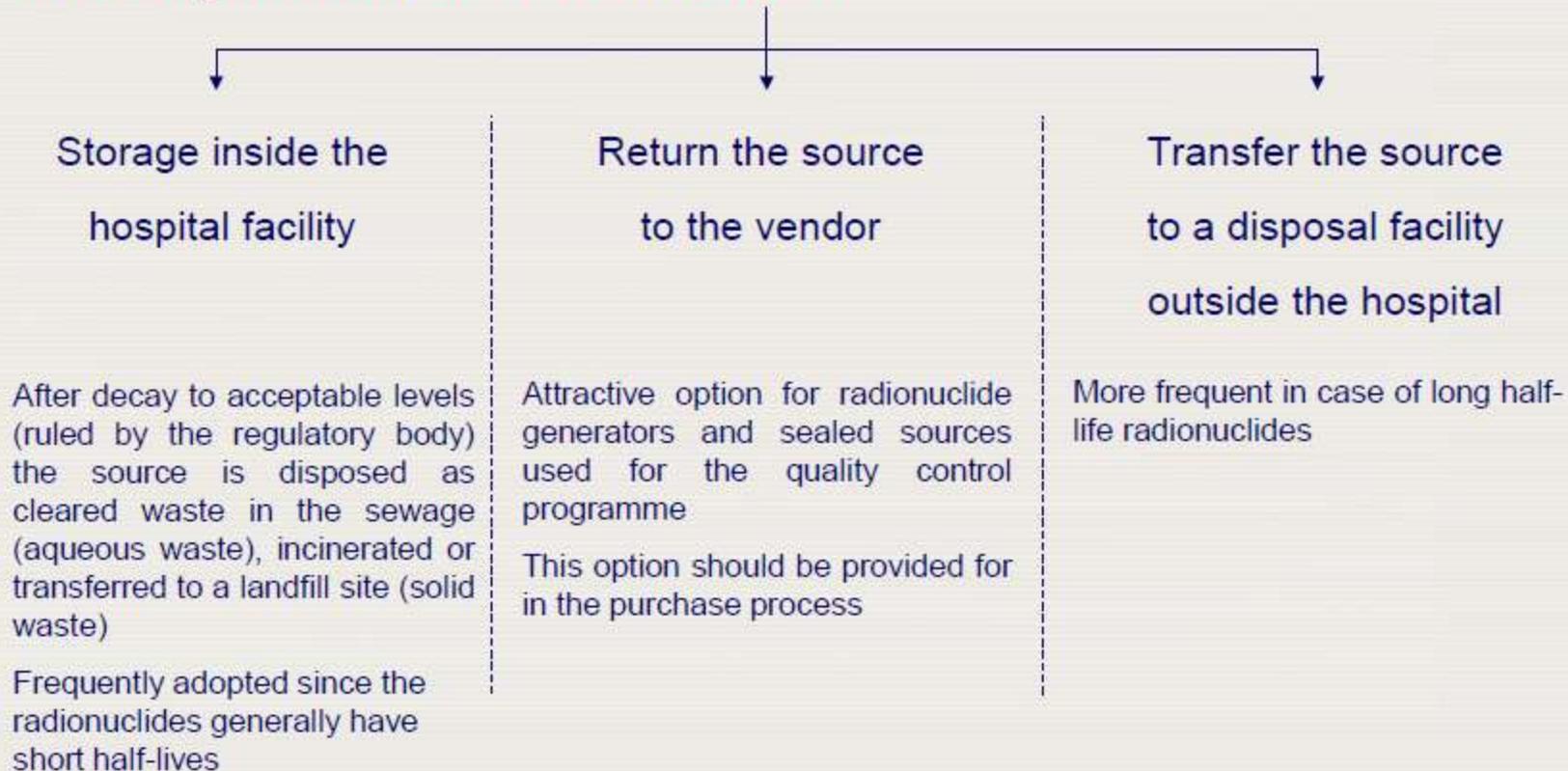
- Containers for different types of radioactive waste available in the areas where the waste is generated
- Label each container indicating the radionuclide, physical form, activity and external dose rate.
- Pack properly to avoid material leakage during storage.
- Keep record of origin of the waste.
- Biological waste should be refrigerated or put in a freezer
- Availability of a room for ad interim storage of radioactive materials (locked, properly indicated and, if necessary, ventilated)



3.4 FACILITY DESIGN

3.4.7 Radioactive waste

Final disposal of the radioactive waste



3.7 MEDICAL EXPOSURE

3.7.2 Optimization of protection

Optimization of procedures which have been justified:

Diagnostic procedures

- Minimum patient exposure needed to achieve the clinical purpose of the procedure
- Respect of relevant norms regarding acceptable image quality established by professional bodies
- Respect of Diagnostic Reference Levels (DRLs)

Therapeutic procedures

The radionuclide and administered activity are selected so that

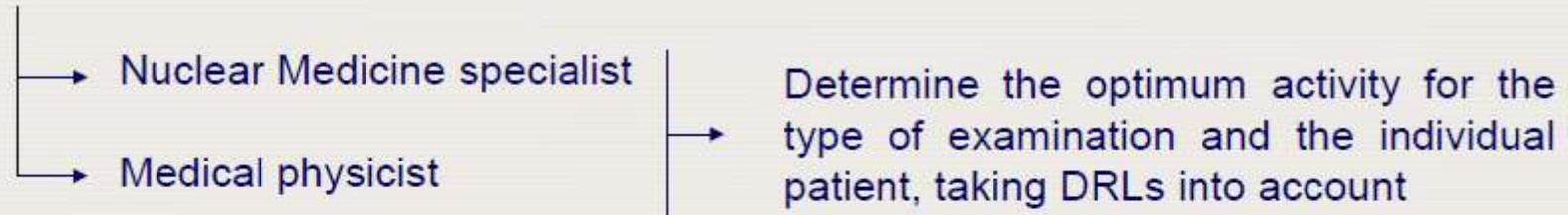
- the radiopharmaceutical is primarily localized in the organ(s) of interest
- the activity in the rest of the body is kept as low as reasonably achievable



3.7 MEDICAL EXPOSURE

3.7.2.1 Administered activity and radiopharmaceuticals

Diagnostic procedures



depending on:

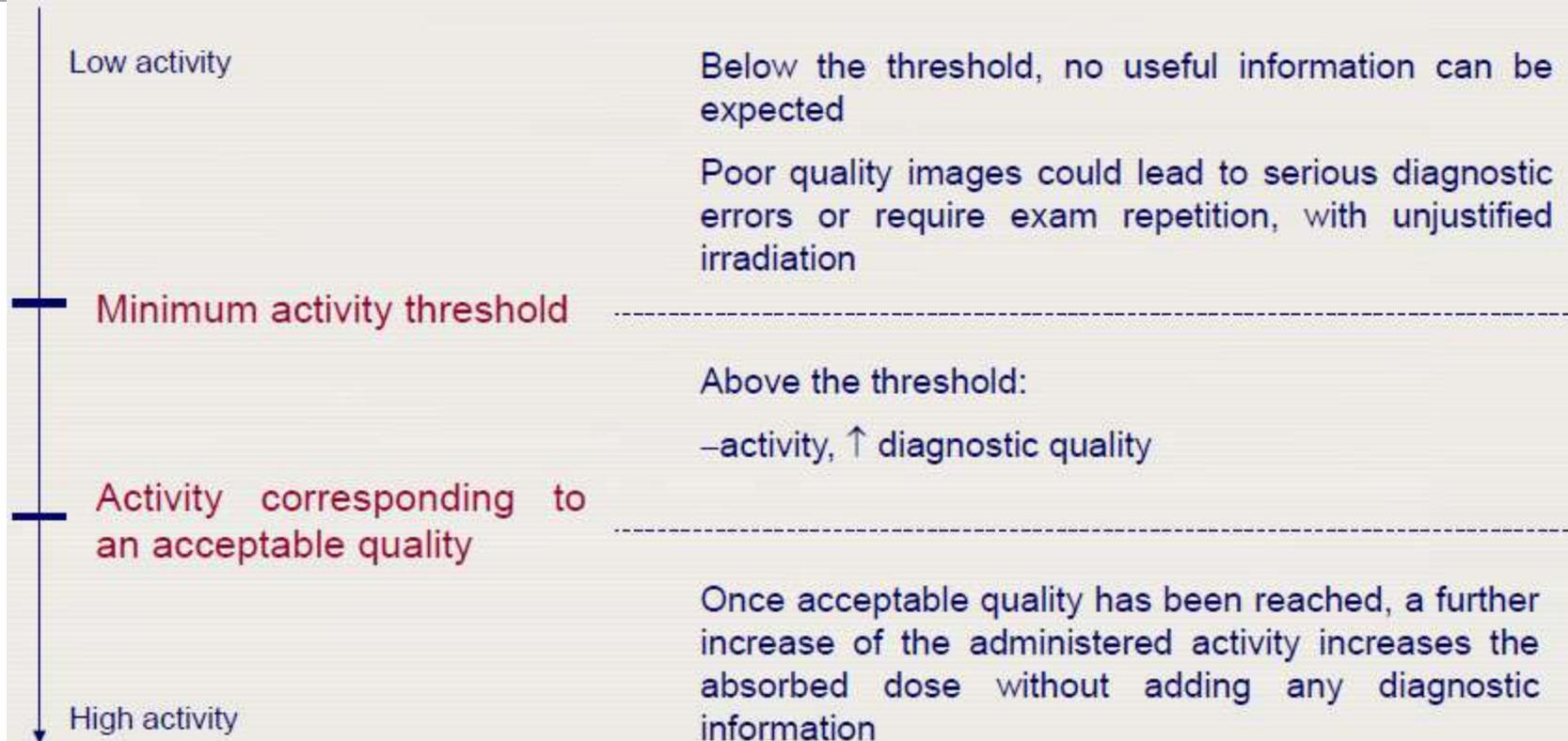
- patient body build and weight
- patient's metabolic characteristics and clinical conditions
- type of equipment used
- type of study (static, dynamic, tomographic, ...)
- examination time



3.7 MEDICAL EXPOSURE

3.7.2.1 Administered activity and radiopharmaceuticals

Diagnostic procedures – Administered activity:



3.7 MEDICAL EXPOSURE

3.7.2.1 Administered activity and radiopharmaceuticals

Diagnostic procedures – Choice of the radiopharmaceutical:

If more than one radiopharmaceutical can be used for a procedure, consideration must be given to:

- physical, chemical, biological properties
- availability of the pharmaceutical
- shelf life
- instrumentation and relative costs
- choice of approved manufacturers and distributors, following national and international requirements

→ The final value of the administered activity must be determined and recorded, to allow the calculation of the organ absorbed doses and the effective dose



3.7 MEDICAL EXPOSURE

3.7.2.2 Optimization of protection in procedures

Patient undergoing
a **diagnostic** procedure → to be kept fully informed and motivated

- Before administration: interview about possible pregnancy, small children at home, breast-feeding or other relevant questions which may have implications on the procedure
- Check the request to confirm that the right examination, radiopharmaceutical and activity are going to be dispensed
- It may be necessary to immobilize / sedate children in order to complete successfully the examination
- Old patients with pain: increasing the administered activity to reduce examination time may be considered
- Ensure that the equipment work within the conditions established by technical specifications



Controlling Personnel Doses

- Time
 - Plan workflow to administer activity after other things are taken care of
 - Be efficient and share high dose duties
- Distance
 - Use remote monitoring
- Shielding
 - Syringe shields and injection systems
 - Structural shielding

Exposure in PET Clinic Operations

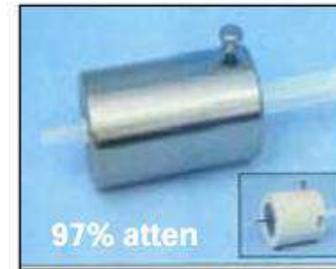
- Radiopharmaceuticals
 - Receipt
 - Disposal
 - Storage
- Patient Contact
 - Consultation
 - Injections
 - Positioning
 - Foley Catheters
 - Care for the Claustrophobic Patient
 - Pediatric Population
 - Evaluation of Sedation

Syringe Shields

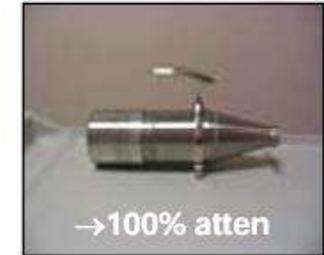
Gaard Lock



Z-PET



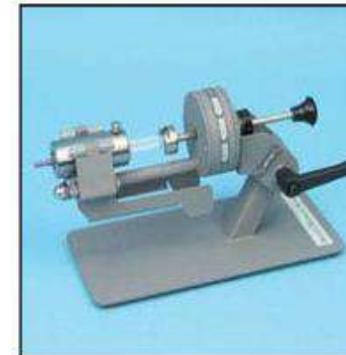
UT MDACC based on Cardinal Health's



Angel Shield Injector (Pinestar)



Manual Injector (Biodex)



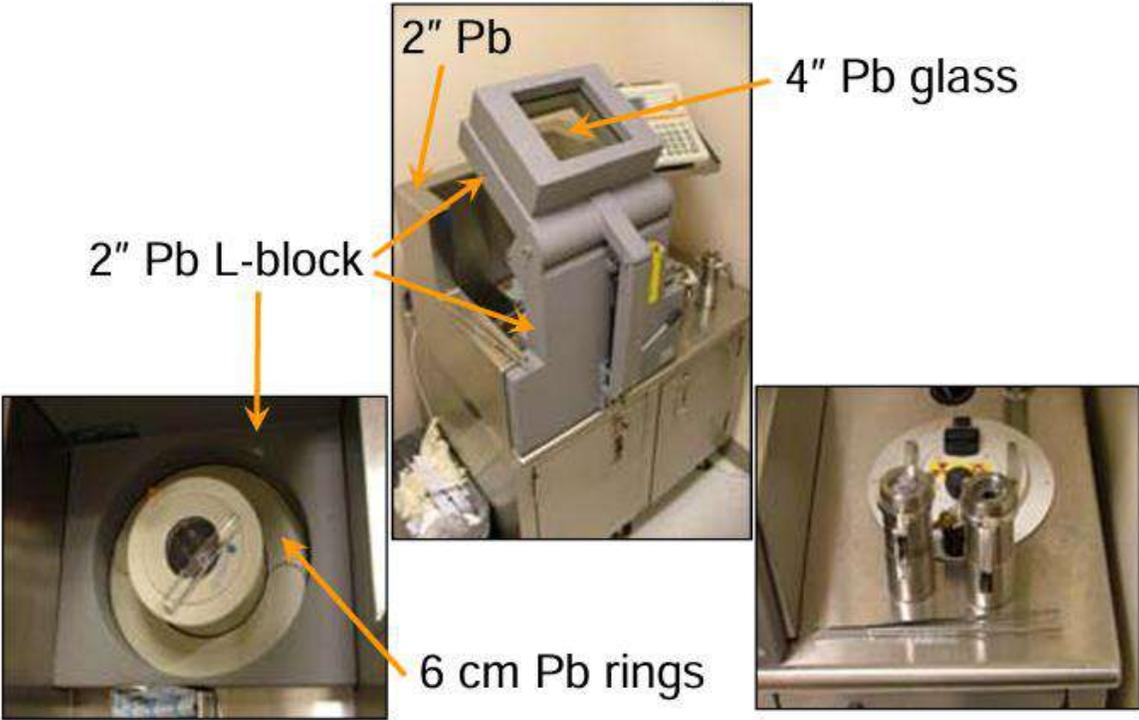
Infusion System (MEDRAD)



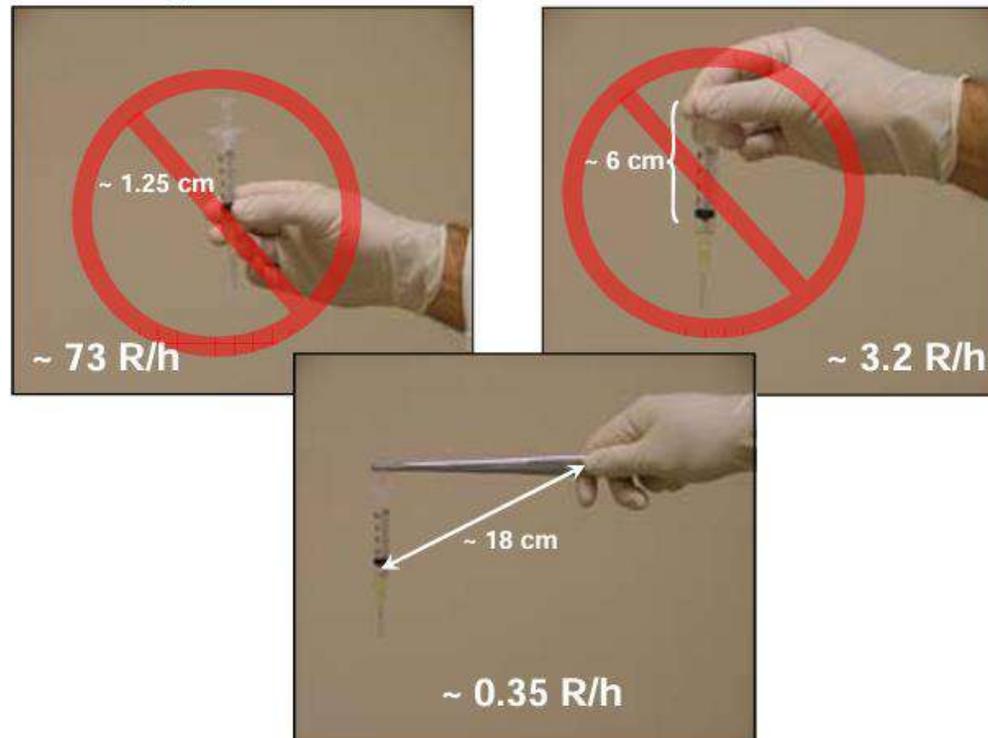
Delivery of Unit Doses



PET Dose Assay Station



Exposure Rate (20 mCi ^{18}F)



Site Planning

- Layout
 - Flow of Patients
 - Flow of Other Sources
 - Flow of Personnel
- Proximity of Other Instruments
- Proximity of Uncontrolled Space
- Future Proofing

Uptake Rooms

- For F-18 FDG imaging, two or three uptake rooms are needed to support a single scanner.
- As scanners become more efficient, this number will increase since the uptake time for FDG will not change.
- Uptake rooms should be quiet and dark.
- Remote monitoring via CCTV, intercoms or mirrors is desirable.
- Uptake rooms should be shielded to protect personnel working with a patient prior to injection.

Adjacencies

- Nuclear medicine equipment including gamma cameras and well counters should be protected from PET by shielding or distance.
- PET patients should have a dedicated toilet that does not require their walking near sensitive instruments.
- Assume the worst for adjacent areas not under the licensee's control.

Unshielded Dose Rates

- 20 $\mu\text{Sv/hr}$ (2 mrem/hr) is the dose rate from an unshielded point source of F-18 at
 - 1 cm from 14 kBq (378 μCi)
 - 10 cm from 1.4 MBq (37.8 μCi)
 - 1 m from 140 MBq (3.78 mCi)
 - 2 m from 559 MBq (15.1 mCi)
- Since PET sources are relatively steady, the “2 mrem in any one hour” rule is usually covered by the weekly limits.
- CT could be an issue if PET protection is afforded mainly by distance, rather than shielding.

Weekly Limits

- We shield public areas to 2 mrem/wk (20 $\mu\text{Sv/wk}$) and controlled areas to 10 mrem/wk (100 $\mu\text{Sv/wk}$).
- The actual public exposure is practically much lower because most public areas are well below 20 $\mu\text{Sv/wk}$ when the worst spots are at 20 $\mu\text{Sv/wk}$.

Occupancy Factors

- NCRP 147 gives modern occupancy factor recommendations.
- Fractional occupancy factors make sense for public areas.
- NCRP 49 clearly states that unity occupancy factors should be used in controlled areas.
- The example in TG108 has $T=0.25$ for a controlled corridor.

Shielding

- Structural shielding is typically necessary for clinical PET facilities.
- AAPM Task Group 108 Report and several talks from the AAPM Summer School 2007 address shielding in greater detail than we can here.
- A neglected area is the shielding offered by the PET/CT instrument itself.

Persamaan 1: (faktor koreksi peluruhan)

$$F_u = \exp\left(\frac{-0,693 \times t_u}{T_{1/2}}\right)$$

Dengan t_u = waktu uptake (jam) dan $T_{1/2}$ = waktu paro (jam)

Persamaan 2: (faktor koreksi laju dosis)

$$R_t = \frac{D(t)}{\dot{D}(0) \times t} = 1,443 \times \frac{T_{1/2}}{t} \times \left[1 - \exp\left(\frac{-0,693 \times t}{T_{1/2}}\right)\right]$$

Dengan:

$D(t)$ = dosis total (μSv) selama waktu t pada jarak 1 meter dari pasien,

$\dot{D}(0)$ = laju dosis ($\mu\text{Sv/jam}$) pada jarak 1 meter, yang dihasilkan dari perkalian antara konstanta laju dosis dengan aktivitas nuklida A_0 (MBq) yang diberikan ke pasien.

T = waktu yang dibutuhkan dalam scan atau pencitraan (jam)

Persamaan 3: (dosis total $D(t)$ dalam μSv)

Dari persamaan 1 dan 2 diperoleh nilai dosis total, $D(t)$ pada jarak d meter dari pasien selama pencitraan gamma kamera per pasien :

$$D(t) = \dot{D}(0) \times t \times R_t \times \frac{F_u}{d^2}$$

Dengan:

$D(t)$ = dosis total (μSv) selama waktu t pada jarak d meter dari pasien,

$\dot{D}(0)$ = laju dosis ($\mu\text{Sv/jam}$) pada jarak 1 meter, yang dihasilkan dari perkalian antara konstanta laju dosis dengan aktivitas nuklida A_0 (MBq) yang diberikan ke pasien.

t = waktu yang dibutuhkan dalam scan atau pencitraan (jam)

Jika akan digunakan untuk mengetahui tebal shielding yang dibutuhkan maka harus dipadukan dengan beberapa faktor berikut:

1. Beban kerja jumlah pasien per minggu (N_w)
2. Faktor okupansi (T)
3. Nilai shielding design goal (P) atau nilai pembatas dosis dalam tahap disain.

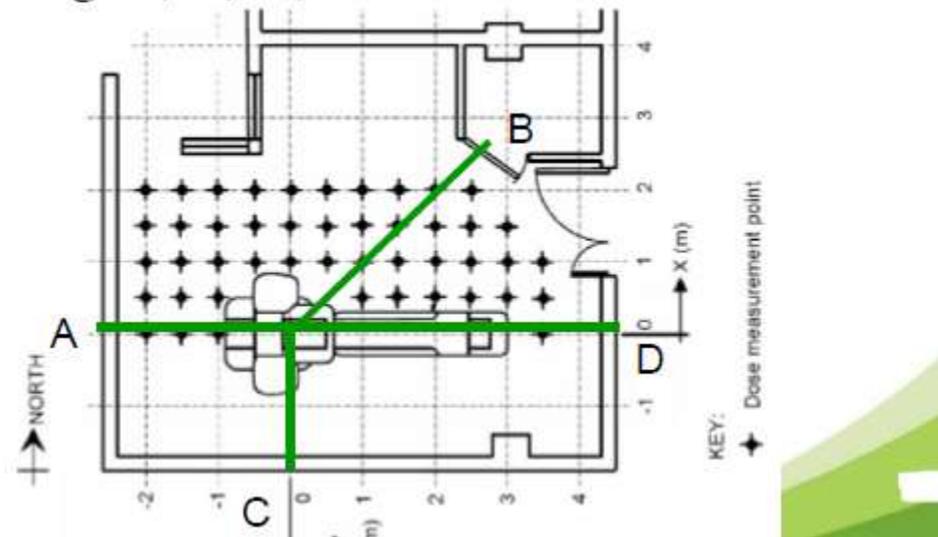
Sesuai dengan Perka BAPETEN No. 17 Tahun 2012:

Daerah	Nilai P atau Pembatas dosis disain ($\mu\text{Sv}/\text{minggu}$)
Pekerja radiasi	200
Anggota masyarakat	10

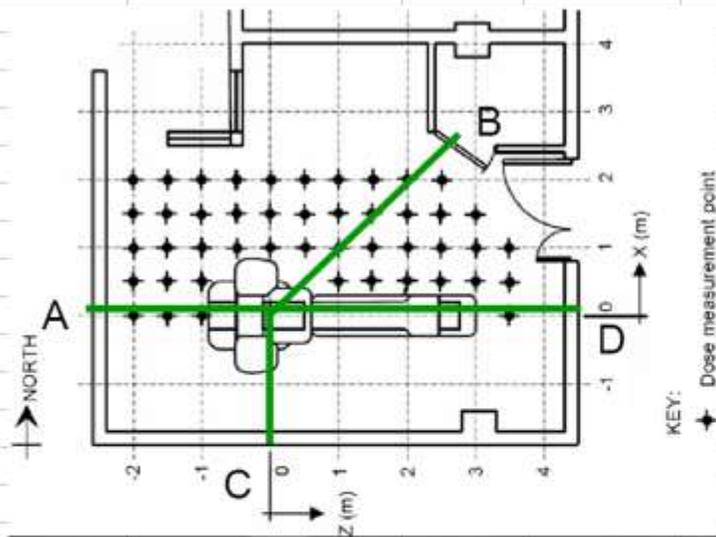
$$B = \frac{P}{D(t) \times T \times N_w}$$

1. Sebuah radionuklida Tc-99m digunakan untuk pelayanan kedokteran nuklir dengan beban kerja 55 pasien per minggu. Aktivitas yang diberikan per pasien sebesar 500 MBq. Pasien dilakukan scanning setelah 1 jam 30 menit dengan waktu scan 20 menit. jarak ke dinding B 530 cm dari pasien (jarak ke dinding terluar 500 cm + jarak ke titik perhitungan 30 cm). hitung tebal dinding A, B, C, dan D!

- Dinding A untuk koridor dengan faktor okupansi (T) 2 jam/hari
- Dinding B untuk operator dg T 8 jam/hari
- Dinding C ruang konsultasi dg T 4 jam/hari
- Dinding D ruang tunggu dg T 3 jam per hari



1 Diketahui : Sebuah fasilitas kedokteran nuklir menggunakan radionuklida Tc-99m



$$F_u = \exp\left(\frac{-0,693 \times t_u}{T_{1/2}}\right)$$

$$R_t = \frac{D(t)}{\dot{D}(0) \times t} = 1,443 \times \frac{T_{1/2}}{t} \times \left[1 - \exp\left(\frac{-0,693 \times t}{T_{1/2}}\right)\right]$$

$$D(t) = \dot{D}(0) \times t \times R_t \times \frac{F_u}{d^2}$$

$$B = \frac{P}{D(t) \times T \times N_w}$$

Jika pakai shielding Pb:

$$\text{Tebal Pb (mm)} = (-6,537 \times \ln(B)) + 0,6939$$

Jika pakai shielding beton:

$$\text{Tebal Beton (cm)} = (-6,925 \times \ln(B)) + 2,65$$

Sesuai dengan Perka BAPETEN No. 17 Tahun 2012:

Daerah	Nilai P atau Pembatas dosis disain (μSv/minggu)
Pekerja radiasi	200
Anggota masyarakat	10

Waktu paruh ($T_{1/2}$) = 6,02 jam

Waktu uptake (t_u) = 1,5 jam

Waktu scan (t) = 0,33 jam

Aktivitas (A) = 500 MBq

Beban kerja (N_w) = 55 pasien/mgg

Tc-99m typical dose rate at 1 m from patient = 0,0075 μSv jam⁻¹/MBq

Asumsi satu minggu 5 hari kerja, dan satu hari 8 jam kerja.

$F_u = 0,841$

$R_t = 0,98$

$\dot{D}(0) = 3,75$ μSv/jam

Lokasi	Kategori Daerah	Faktor Okupansi (T)	Pembatas Dosis (P)	d	D (t)	B	Tebal Pb	Tebal Beton
			($\mu\text{Sv/mgg}$)	(m)	($\mu\text{Sv/m}^2$)		(cm)	(cm)
A	Anggota masyarakat	0,25	10	2,91	0,12	5,97E+00	-10,98	-9,72
B	Pekerja radiasi	1	200	5,3	0,04	9,90E+01	-29,34	-29,17
	Anggota masyarakat	1	10	5,3	0,04	4,95E+00	-9,76	-8,43
C	Anggota masyarakat	0,5	10	2,28	0,20	1,83E+00	-3,25	-1,53
D	Anggota Masyarakat	0,375	10	4,89	0,04	1,12E+01	-15,12	-14,11

2. Sebuah ruang uptake untuk layanan FDG sedang didesain dengan beban kerja 25 pasien/minggu. FDG yang dibutuhkan adalah 600 MBq per pasien. Waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk uptake selama 2 jam. Jarak antara pasien dengan personil di ruang sebelahnya 5 meter. Hitung berapa tebal dinding yang dibutuhkan jika personil tersebut berada diposisinya selama 7 jam/hari.
3. Jika anda diminta mendisain ruang PET dengan ukuran 6 x 10 meter. Posisi center dari PET tepat di tengah ruangan. Satu sisi ruang untuk operator, satu sisi untuk anggota masyarakat dan 2 sisi lainnya koridor. Bagaimana bentuk disain yang akan dibuat dan berapa ketebalan tiap dinding. Data: lama uptake 2 jam dan scan tiap pasien 35 menit. Beban kerja 50 pasien/minggu dan 555 MBq tiap pasien.

4. Sebuah hotlab digunakan untuk bekerja dengan iodine (I).

Radiouklida	$T_{1/2}$	TVL (mmPb)	(Sv/h)/TBq @ 1m	Aktivitas (MBq)
I-131	8,04 hari	11	6,38E-02	1,01E+02
I-132	2,3 jam	31	3,52E-01	2,26E+02
I-133	20,8 jam	22	9,80E-02	1,99E+02

Yang dibutuhkan untuk layanan adalah I-131, sehingga perlu proses pemisahan di lemari asam. Lemari asam dilapisi timbal dan memiliki ukuran lebar 50 cm dan panjang 100 cm. personil bekerja pada jarak 50 cm dari sumber. Hitung:

- tebal timbal yang dibutuhkan jika faktor okupansinya 5 jam/hari.
- Tebal dinding ruang hotlab jika jarak terdekat lemari asam ke dinding luar 250 cm dengan titik perhitungan 30 cm dari dinding luar untuk ruang tunggu (3 jam/hari) .

F-18 Shielding by the Patient

- TG108 recommends assuming 36% absorption by the patient based upon an analysis of published external measurements of patients.
- TG108 sanity checks this with the MIRD whole body absorbed fraction (MIRD Pamphlet 5, revised – 34% for 500 keV photons).
- Using the penetrating and non-penetrating energies in the MIRD decay scheme and the 70 kg WB S-value from the Olinda software for F-18 gives 30% absorption of photons.

TG 108 Shielding Approach

- Calculate a “reduction factor,” R_t , that converts the initial activity or dose rate at the start of a interval to the average quantity during that interval.
- Calculate the weekly dose using the patient-shielded initial activity, the duration of the event, the number of events a week, and the dose reduction factor.
- Calculate the required transmission factor of a barrier by incorporating the occupancy factor and the weekly dose limit.
- Convert the transmission factor to a thickness of a particular material using the Monte Carlo simulation results in Table IV or the fits of the Archer equations to them.

AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements

Mark T. Madsen

Radiology, University of Iowa

Jon A. Anderson

Radiology, University of Texas Southwest Texas Medical Center at Dallas

James R. Halama

Nuclear medicine, Loyola University Medical Center

Jeff Kleck

Attainia, Inc.

Douglas J. Simpkin

Radiology, St. Luke's Medical Center

John R. Votaw

Radiology, Emory University

Richard E. Wendt III

University of Texas MD Anderson Cancer Center

Lawrence E. Williams

Radiology, City of Hope Medical Center

Michael V. Yester

Radiology, University of Alabama at Birmingham Medical Center

Radioactive decay

Because PET tracers have short half-lives, the total radiation dose received over a time period t , $D(t)$, is less than the product of the initial dose rate and time $[\dot{D}(0) \times t]$. The reduction factor, R_t , is calculated as

$$\begin{aligned} R_t &= D(t)/[\dot{D}(0) \times t] \\ &= 1.443 \times (T_{1/2}/t) \times [1 - \exp(-0.693t/T_{1/2})]. \end{aligned} \quad (1)$$

For F-18, this corresponds to R_t factors of 0.91, 0.83, and 0.76 for $t=30$, 60, and 90 min, respectively.

TABLE VI. Summary of dose parameters.

Parameter	Definition	Formulation
A_0	Administered activity (MBq)	
t	Time (h)	
t_U	Uptake time (h)	
t_I	Imaging time (h)	
$D(t)$	Total dose for time t (μSv)	
$D(0)$	Initial dose rate ($\mu\text{Sv/h}$)	
$T_{1/2}$	Radionuclide half-life (h)	
R_t	Dose reduction factor over time t	$=1.443 \times (T_{1/2}/t) \times [1 - \exp(-0.693t/T_{1/2})]$
R_{tU}	Dose reduction factor over uptake time time t	$=1.443 \times (T_{1/2}/t_U) \times (1 - \exp(-0.693t_U/T_{1/2}))$
R_{tI}	Dose reduction factor over imaging time t	$=1.443 \times (T_{1/2}/t_I) \times [1 - \exp(-0.693t_I/T_{1/2})]$
N_w	Number of patients per week	
d	Distance from source to barrier (m)	
F_U	Uptake time decay factor (μSv)	$=\exp[-0.693t_U/T_{1/2}]$
T	Occupancy factor	
P	Weekly dose limit	
	Transmission factor (uptake room)	$=10.9 \times P \times d^2/[T \times N_w \times A_0 \times t_U(h) \times R_{tU}]$
	Transmission factor (scanner room)	$=12.8 \times P \times d^2/[T \times N_w \times A_0 \times F_U \times t_I(h) \times R_{tI}]$

Regulatory limits

The federal code of regulations 10 CFR20 establishes the dose limits in controlled radiation areas and uncontrolled areas open to the general public. Under these regulations, the facility must be shielded so that the effective dose equivalent in uncontrolled areas does not exceed 1 mSv/year or 20 μSv in any 1 h. The 1 mSv/year limit implies a weekly dose limit of 20 μSv , and this limit becomes the determining factor for shielding calculations in uncontrolled areas. The occupational dose limit in controlled areas is 50 mSv/year. Most shielding calculations use a target level of 5 mSv/year in controlled areas to be consistent with ALARA recommendations.

UPTAKE ROOM CALCULATION

Patients undergoing PET scans need to be kept in a quiet resting state prior to imaging to reduce uptake in the skeletal muscles. This uptake time varies from clinic to clinic, but is usually in the range of 30–90 min. The total dose at a point d meters from the patient during the uptake time (t_U) is

$$D(t_U) = 0.092 \mu\text{Sv m}^2/\text{MBq h} \times A_o(\text{MBq}) \times t_U(\text{h}) \times R_{tU}/d(\text{m})^2. \quad (2)$$

If N_W patients are scanned per week, the total weekly dose is

$$0.092 \mu\text{Sv m}^2/\text{MBq h} \times N_W \times A_o(\text{MBq}) \times t_U(\text{h}) \times R_{tU}/d(\text{m})^2. \quad (3)$$

Thus, the transmission factor (B) required is

$$B = 10.9 \times P \times d(\text{m})^2 / (T \times N_W \times A_o(\text{MBq}) \times t_U[\text{h}] \times R_{tU}). \quad (4)$$

T is the occupancy factor and P is the weekly dose limit in μSv . In the US, $P=20 \mu\text{Sv}$ for uncontrolled areas, corresponding to the 1 mSv/year limit to the general public and $P=100 \mu\text{Sv}$ for ALARA levels in controlled areas. Thus, for uncontrolled areas

$$B = 218 \times d(\text{m})^2 / [T \times N_W \times A_o(\text{MBq}) \times t_U(\text{h}) \times R_{tU}] \quad (5)$$

$$= 5.89 \times d(\text{m})^2 / [T \times N_W \times A_o(\text{mCi}) \times t_U(\text{h}) \times R_{tU}]. \quad (6)$$

And, for controlled areas at ALARA levels

$$B = 1090 \times d^2 / [T \times N_W \times A_o(\text{MBq}) \times t_U(\text{h}) \times R_{tU}] \quad (7)$$

$$= 29.5 \times d^2 / [T \times N_W \times A_o(\text{mCi}) \times t_U(\text{h}) \times R_{tU}]. \quad (8)$$

Example 1

What is the transmission factor required for an uncontrolled area [occupancy factor (T)=1] at a point 4 m from the patient chair in an uptake room? Assume patients are administered 555 MBq of F-18 FDG, there are 40 patients per week, and the uptake time is 1 h.

TABLE IV. Broadbeam transmission factors at 511 keV in lead, concrete, iron.

Thickness ^{a, b}	Transmission Factors		
	Lead	Concrete ^c	Iron
0	1.0000	1.0000	1.0000
1	0.8912	0.9583	0.7484
2	0.7873	0.9088	0.5325
3	0.6905	0.8519	0.3614
4	0.6021	0.7889	0.2353
5	0.5227	0.7218	0.1479
6	0.4522	0.6528	0.0905
7	0.3903	0.5842	0.0542
8	0.3362	0.5180	0.0319
9	0.2892	0.4558	0.0186
10	0.2485	0.3987	0.0107
12	0.1831	0.3008	0.0035
14	0.1347	0.2243	0.0011
16	0.0990	0.1662	0.0004
18	0.0728	0.1227	0.0001
20	0.0535	0.0904	
25	0.0247	0.0419	
30	0.0114	0.0194	
40	0.0024	0.0042	
50	0.0005	0.0009	

IMAGING ROOM CALCULATION

If the most conservative approach is taken, where no shielding from the tomograph is assumed, then the calculation of shielding for the tomograph room is similar to the uptake area calculation. Because of the delay required by the uptake phase between the administration of the radiopharmaceutical and the actual imaging, the activity in the patient is decreased by $F_U = \exp[-0.693 \times T_U(\text{min})/110]$, where T_U is the uptake time. In most cases the patient will void prior to imaging, removing approximately 15% of the administered activity and thereby decreasing the dose rate by 0.85. The weekly dose at a distance d from the source is calculated as

$$0.092 \mu\text{Sv m}^2/\text{MBq h} \times N_W \times A_o(\text{MBq}) \times 0.85 \times F_U \times t_I(h) \times R_{II}/d(\text{m})^2, \quad (9)$$

The transmission factor is given as

$$B = 10.9 \times P \times d(\text{m})^2 / (T \times N_W \times A_o(\text{MBq}) \times 0.85 \times F_U t_I(h) \times R_{II}). \quad (10)$$

Thus, the transmission factor for uncontrolled areas is

$$B = 256 \times d(\text{m})^2 / [T \times N_W \times A_o(\text{MBq}) \times F_U \times t_I(h) \times R_{II}]. \quad (11)$$

And, for controlled areas at ALARA levels

$$B = 1280 \times d^2 / [T \times N_W \times A_o(\text{MBq}) \times F_U \times t_I(h) \times R_{II}]. \quad (12)$$

The decay factor for F-18 at 1 h F_U is equal to $\exp(-0.693 \times 60/110) = 0.68$.

Example 2

What is the weekly dose equivalent to a point 3 m from the patient during the PET imaging procedure? Patients are administered 555 MBq of F-18 FDG and there are 40 patients per week. The uptake time is 60 min and the average imaging time is 30 min.

What is the transmission factor [occupancy factor (T)=1]?

Example 3

Figure 4 shows an example of a PET facility layout that will image 40 patients per week with an average administered activity of 555 MBq. The uptake time is 1 h and the imaging time is 30 min for each study. Table VII gives information on the distances from potential sources in the uptake room and PET tomograph room to points of interest, along with the target weekly dose values and occupancy factors. The calculations for the weekly doses and the corresponding transmission factors are also included in Table VII. The required lead shielding for the uptake and scanner rooms is given in Table VIII.

Uncontrolled Corridor

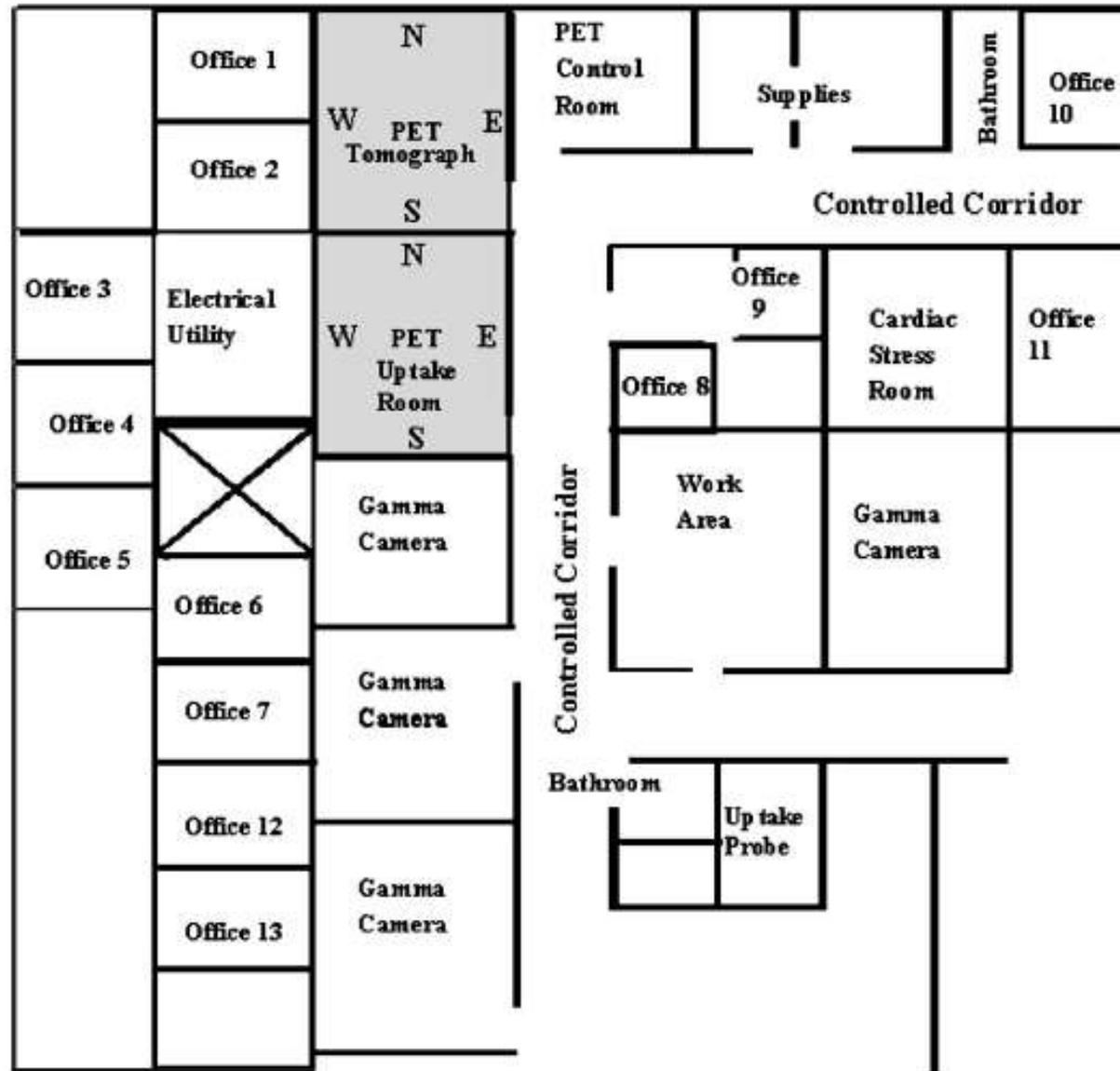


TABLE VIII. Lead shielding requirements for example PET facility (Fig. 4).

Walls	Uptake room Shielding (mm Pb)	Tomographroom Shielding (mmPb)
N	0	0
E	5	3
S	5	0
W	2	12.1

TABLE VII. Sample calculation for a dedicated PET Facility (Fig. 4). This calculation is based on the following assumptions: 40 patients per week, 555 MBq administration, 1 h uptake, and 30 min imaging time. Transmission data are measured with sources built into the camera that do not significantly increase the exposure of personnel.

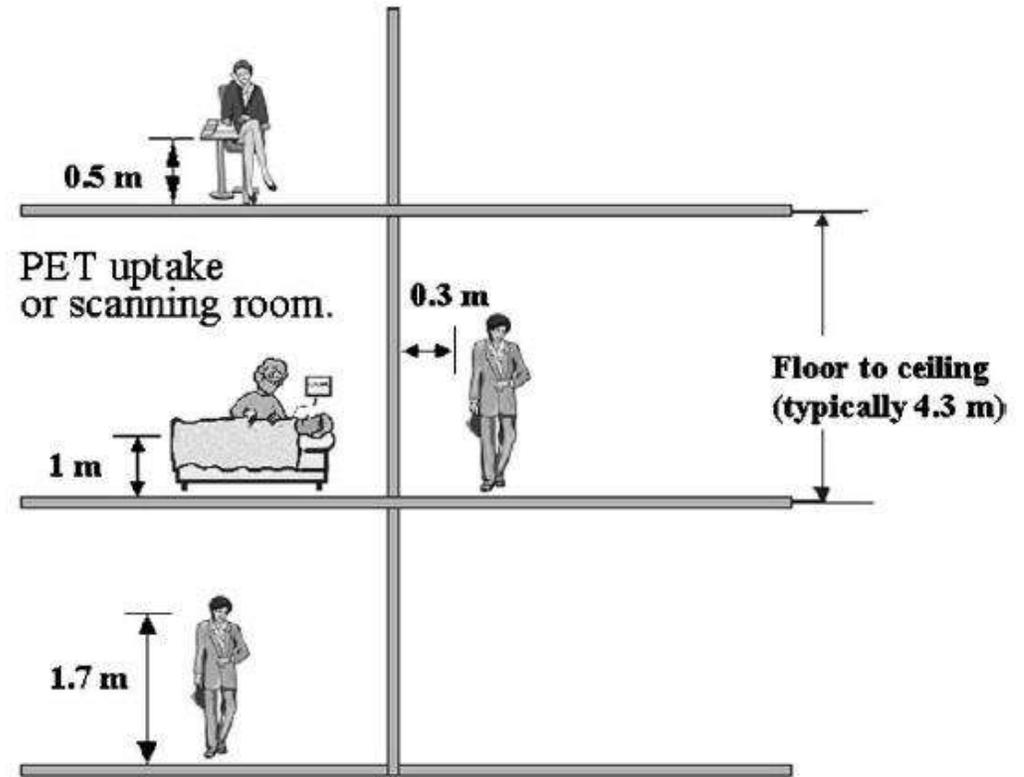
	Uptake distance	Tomograph distance	Weekly target dose	Occupancy	Weekly uptake	Weekly tomograph	Total ^a	Transmission
Room	(m)	(m)	(uSv)	Factor	Dose(uSv)	Dose(uSv)	Dose(uSv)	Factor
Office 1	8	3	20	1	27.1	70.1	97.2	0.206
Office 2	6	3	20	1	48.7	70.1	118.8	0.169
Office 3	8	7	20	1	27.1	12.9	40	0.500
Office 4	8.5	9	20	1	24	7.8	31.8	0.629
Office 5	8.5	11	20	1	24	5.2	29.2	0.685
Office 6	9.5	13	20	1	19.2	3.7	22.9	0.872
Office 7	12	15	20	1	12	2.8	14.8	^b
Office 8	7	8	20	1	35.4	9.9	45.3	0.442
Office 9	9	9	20	1	21.4	7.8	29.2	0.685
Corridor 1	2.5	2.5	100	0.25	277.8	101	378.8	^b
Corridor 2	9	4	20	0.25	21.6	39.6	60.2	^b
PET Control Room	9	2.5	100	1	21.4	101	122.4	0.817
Gamma Camera	3	10	100	1	192.7	6.3	199	0.503

^aThe total weekly dose is not modified by the occupancy factor, but the occupancy factor is included in the transmission factor calculation.

^bNo shielding is required for these points (calculated transmission factor is >1).

CALCULATION FOR ROOMS ABOVE AND BELOW THE PET FACILITY

Because the 511 keV annihilation photons are so penetrating, it is necessary to consider uncontrolled areas above and below the PET facility as well as those adjacent on the same level. Figure 5 shows generally accepted source and target distances that apply in these cases. Typically, one assumes that the patient (source of the activity) is 1 m above the floor. The dose rate is calculated at 0.5 m above the floor for rooms above the source, and at 1.7 m above the floor for rooms below the source.



Distances to be used in shielding calculations

Example 4

How much shielding is required for an uncontrolled room above a PET uptake room? Patients are administered 555 MBq of F-18 FDG, the uptake time is 1 h, and there are 40 patients per week. The floor-to-floor distance is 4.3 m and there is 10 cm of concrete between floors.

Example 5

How much shielding is required for an uncontrolled room below a PET uptake room? Patients are administered 555 MBq of F-18 FDG and there are 40 patients per week. The floor-to-floor distance is 4.3 m and there is 10 cm of concrete between floors.

Dose from patient injections

Because of the high dose constant associated with positron-emitting radionuclides, hand doses for individuals drawing up and administering PET radiopharmaceuticals can be substantial. The dose rate 5 cm from an unshielded syringe with 555 MBq of F-18 is 33 mSv/h. Tungsten syringe shields can reduce the hand dose by 88%, but the additional weight (nearly 0.8 kg) can make injections difficult. Other ways to reduce hand dose are to use automatic dispensing systems and to divide the injection responsibilities among the staff. The staff should develop procedures to minimize the time spent near the radioactive patient. As much as possible, information collection, explanations, and blood collection or other tests should be performed before radioactivity has been administered. Remote monitoring of the patients using video cameras can also be used to reduce the time technologists and nurses spend in close proximity to the patients.

Dose from patient positioning

At the time the patient is being positioned for imaging, the dose rate at 1 m is approximately 30 μ Sv/h assuming an administration of 555 MBq of F-18. In a busy clinic, a technologist or nurse could spend more than an hour a day within that range of a radioactive patient and thereby accumulate more than 7.5 mSv per year. The only reasonable way to lower this dose is to have enough staff so that the contact time between radioactive patients and any one staff member can be diluted.

Dose from patient imaging

During the patient image acquisition, at least one technologist is located at the PET system console where both the patient and the progress of the imaging study can be monitored. Ideally, the console area should be located more than 2 m away from the scanner to reduce the operator dose below ALARA levels.

Example 6

How far away should the control console of a PET scanner be from the patient in order that the dose to the operator be less than 5 mSv per year in a clinic that scans 40 patients per week with an average administered activity of 555 MBq, a 60 min uptake phase, and a 30 min scan time?

DISAIN SHIELDING UNTUK INSTALASI KEDOKTERAN NUKLIR



Rusmanto
P2STPFRZR BAPETEN
Gedung B LT. 5
r.rusmanto@bapeten.go.id
081 225 228 02

JAKARTA, 25 JANUARI 2018



Definisi

Peraturan Kepala BAPETEN No. 17 Tahun 2012:

- **Kedokteran Nuklir**

kegiatan pelayanan kedokteran spesialisik 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.

- **Instalasi Kedokteran Nuklir**

tempat dilakukannya pelayanan Kedokteran Nuklir.



Penggunaan Kedokteran Nuklir

1. Diagnostik *in Vitro*;
2. Diagnostik *in Vivo* dan/atau Penelitian Medik Klinik; dan/atau
3. Terapi.



Penggunaan Kedokteran Nuklir

1. 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.
2. Diagnostik *in Vivo* dan/atau Penelitian Medik Klinik; dan/atau
metoda kedokteran yang dalam kegiatannya menggunakan radionuklida dan/atau Radiofarmaka yang dimasukkan ke dalam tubuh pasien untuk tujuan diagnostik.



Penggunaan Kedokteran Nuklir

3. Penelitian Medik Klinik

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.

4. Terapi.

metoda kedokteran yang dalam kegiatannya menggunakan radionuklida dan/atau Radiofarmaka yang dimasukkan ke dalam tubuh pasien untuk tujuan terapi.



Fasilitas Ruangan

Fasilitas ruangan instalasi kedokteran nuklir harus didesain dan dikonstruksi dengan memperhitungkan prinsip proteksi radiasi.

Fasilitas ruangan kedokteran nuklir diagnostik in vitro paling kurang meliputi:

- a. ruang administrasi;
- b. ruang dokter dan personil; dan
- c. ruang pemeriksaan sampel.



Fasilitas Ruangan

Fasilitas ruangan kedokteran nuklir diagnostik in vivo dan/atau penelitian medik klinik paling kurang meliputi:

- a. ruang administrasi;
- b. ruang dokter dan personil;
- c. ruang proteksi dan keselamatan radiasi;
- d. ruang penyiapan, pencacahan, dan penyimpanan radionuklida dan/atau radiofarmaka;
- e. ruang *up take*;
- f. ruang pencitraan pasien;
- g. ruang pasien setelah pemberian radionuklida dan/atau radiofarmaka;
- h. ruang dekontaminasi yang dilengkapi shower dan pemantau kontaminasi; dan
- i. ruang penyimpanan sementara limbah radioaktif.



Fasilitas Ruangan

Fasilitas ruangan terapi paling kurang meliputi:

- a. ruang administrasi;
- b. ruang dokter dan personil;
- c. ruang proteksi dan keselamatan radiasi;
- d. ruang penyiapan, pencacahan, dan penyimpanan radionuklida dan/atau Radiofarmaka;
- e. ruang pemberian radionuklida dan/atau Radiofarmaka kepada pasien;
- f. ruang dekontaminasi yang dilengkapi shower dan pemantau kontaminasi;
- g. ruang isolasi yang dilengkapi toilet;
- h. ruang penyimpanan sementara limbah radioaktif; dan
- i. tempat pengolahan limbah radioaktif cair.



Implementasi Proteksi Radiasi

Secara umum implementasi proteksi radiasi melalui 3 cara, yaitu:

1. Mengatur jarak antara personil dengan sumber radiasi;
2. Meminimalkan waktu bekerja dengan radiasi; dan
3. Menggunakan *shielding* (penahan) radiasi.

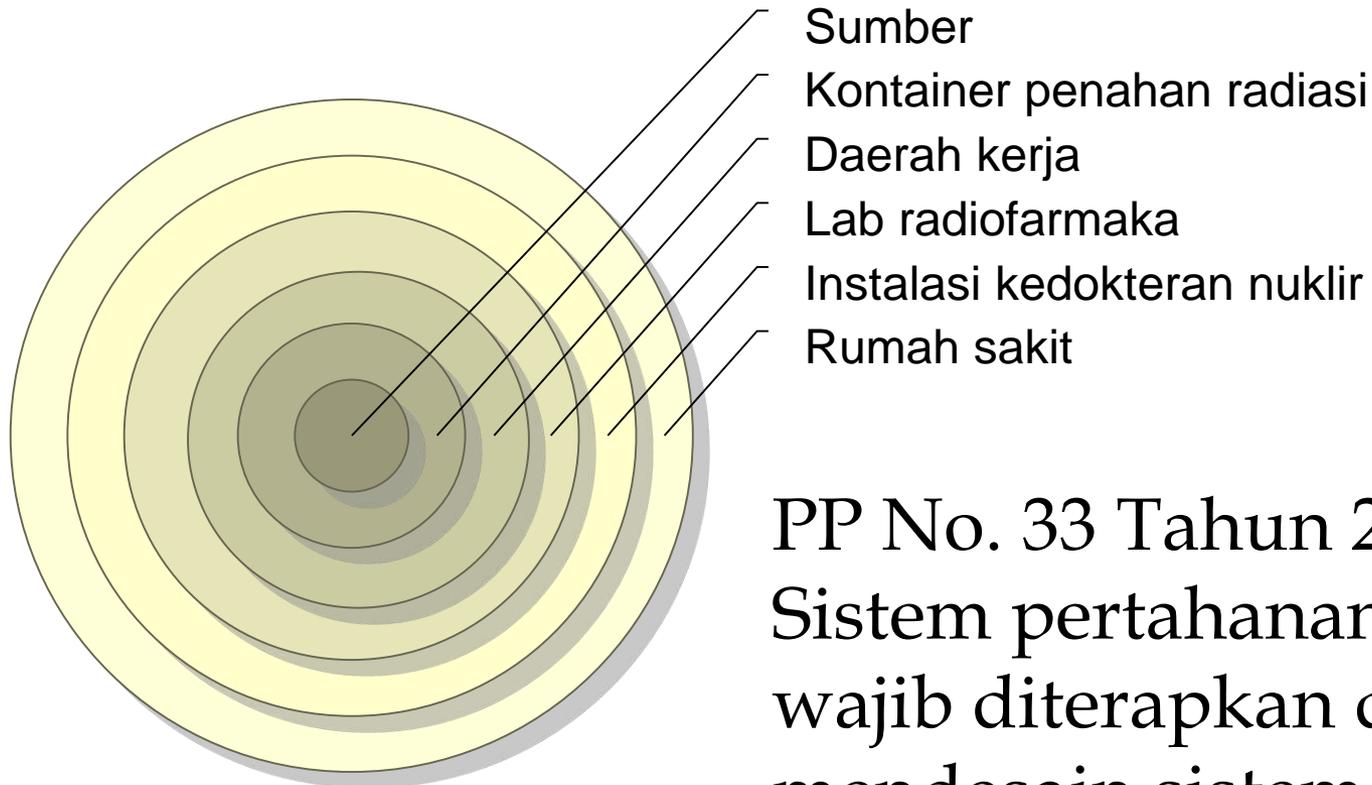


Disain Ruang pada Kedokteran Nuklir

Harus memperhatikan:

- Pertahanan berlapis (*Defense in depth*)
- Fasilitas
- Kategorisasi bahaya
- Lantai
- Ventilasi / Tata Kelola Udara
- Toilet pasien
- Layout instalasi kedokteran nuklir
- Peralatan keselamatan

Pertahanan berlapis



PP No. 33 Tahun 2007
Sistem pertahanan berlapis
wajib diterapkan dalam
mendesain sistem
keselamatan.



Pertahanan berlapis

Sistem pertahanan berlapis dimaksudkan untuk :

- a. mencegah terjadinya keadaan abnormal;
- b. mencegah agar keadaan abnormal tidak berlanjut menjadi kecelakaan dan mengembalikan sumber radioaktif ke kondisi yang aman bila keadaan abnormal masih terjadi; dan
- c. memitigasi akibat kecelakaan sehingga tidak membahayakan keselamatan pekerja, masyarakat dan perlindungan lingkungan hidup apabila kecelakaan masih terjadi.



Fasilitas

- Disain fasilitas harus mempertimbangkan jenis pekerjaan dan radionuklida yang digunakan dan aktivitasnya.
- Pekerja harus terlindung dari bahaya radiasi.
- Setiap fasilitas harus didisain untuk meminimalkan timbulnya bahaya radiasi eksternal, dan bahaya radiasi internal akibat masuknya radiofarmaka melalui saluran pencernaan maupun pernafasan, terutama untuk radiofarmaka yang mudah menguap.
- Fasilitas kedokteran nuklir dapat terdiri dari: daerah kerja dan daerah anggota masyarakat.



Fasilitas

- Selama penyiapan radiofarmaka harus dicegah timbulnya kontaminasi yang tidak diinginkan. Kontaminasi tersebut dapat berupa kontaminasi bahan kimia, radionuklida, partikulat, dan mikrobiologi.
- Lingkungan juga harus diproteksi dari pelepasan radionuklida yang berasal dari Radiofarmaka. Sebagian besar sumber radioaktif yang ditangani dalam bentuk sumber terbuka berpotensi menyebabkan kecelakaan dan tumpahan.



Kategorisasi bahaya

- Konsep 'kategorisasi bahaya' harus digunakan untuk menentukan kebutuhan khusus mengenai ventilasi, plumbing, bahan yang digunakan di dinding, lantai dan bangku kerja.
- Kategori bahaya harus didasarkan pada: perhitungan aktivitas menggunakan factor bobot.

Aktivitas	Kategori
< 50 MBq	Rendah
50 MBq – 50 GBq	Sedang
> 50 GBq	Tinggi



Kategorisasi bahaya

- Faktor bobot berdasarkan jenis kegiatan atau daerah kerja:

Jenis kegiatan	Faktor bobot
penyimpanan	0.01
Waste handling, imaging room (no injection), waiting area, patient bed area (diagnostic)	0.10
Local dispensing, radionuclide administration, imaging room (injection), simple preparation, patient bed area (therapy)	1.00
Complex preparation	10



Kategorisasi bahaya

Daerah bukan untuk pasien

Tingkat Bahaya tinggi

- Ruang preparasi dan dispense radiofarmaka
- Penyimpanan sementara limbah radioaktif

Tingkat Bahaya Sedang

- Ruang penyimpanan radionuklida

Tingkat Bahaya Rendah

- Ruang pengukuran sampel
- Ruang kerja radiokimia (RIA).
- Kantor.





Kategorisasi bahaya

Daerah untuk pasien

Tingkat Bahaya Tinggi

- Ruang pemberian radiofarmaka ke pasien.
- Ruanh pemeriksaan.
- Bangsal isolasi.

Tingkat Bahaya Sedang

- Ruang tunggu.
- Toilet pasien.

Tingkat Bahaya Rendah

- Resepsionis.



Lantai



- Bahan tahan air
- Mudah dicuci/dibersihkan.
- Tahan terhadap bahan kimia.
- Diselinapkan ke dinding 15 cm.
- Seluruh sambungan disegel.
- Menempel pada lantai.



Ventilasi / Tata Kelola Udara

- Tata kelola udara harus diperhatikan dalam membuat disain fasilitas.
- Aliran udara dibuat dari daerah yang kemungkinan berpotensi kontaminasi rendah ke daerah yang potensial kontaminasinya tinggi.
- Semua aliran udara di laboratorium harus dibuang melalui lemari asam dan tidak boleh diresirkulasi secara langsung maupun tidak langsung.
- *Hot cell* dalam laboratorium harus didisain memiliki tekanan negatif yang dapat dikendalikan.



Ventilasi / Tata Kelola Udara

- Besarnya tekanan negatif tergantung dari radiotoksitas dan tekanan uap dari radionuklida yang ditangani.
- Secara umum, tekanan negatif yang biasa dipilih adalah sekitar -200 sampai -500 pa.
- Aliran udara masuk (*inlet*) dan keluar (*outlet*) harus dipasang filter *High-Efficiency Particulate Air* (HEPA).
- Laju alir udara dalam *hot cell* harus dapat diatur minimal 0,5 m/s.

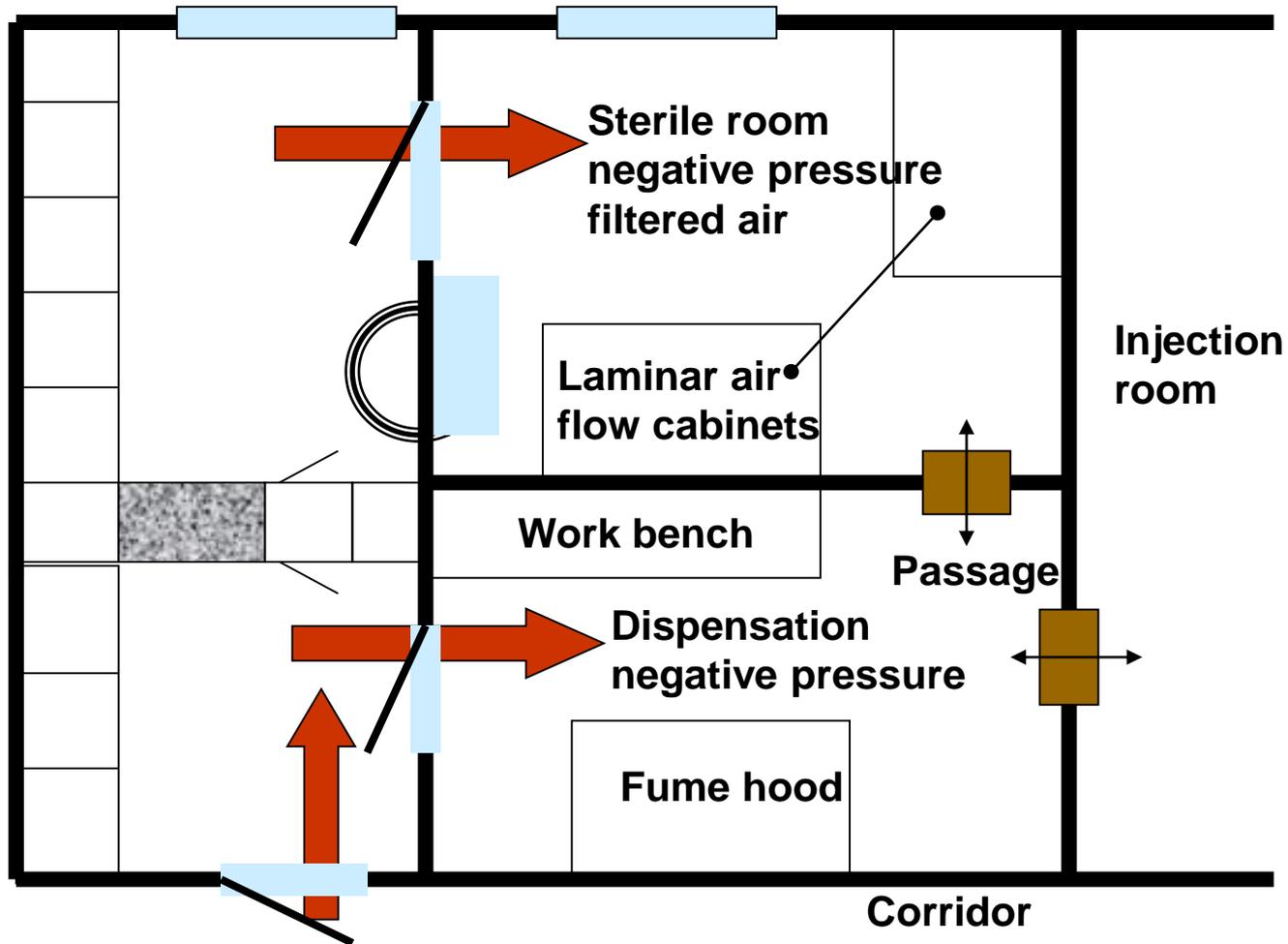


Ventilasi / Tata Kelola Udara

- Selain itu, perubahan laju alir udara harus mempertimbangkan persyaratan perpindahan panas dan laju yang tinggi untuk menjaga kondisi tetap aseptis.
- Pada keadaan beroperasi, laju perubahan udara yang diperbolehkan sehingga menjaga kondisi tetap aseptis adalah sekitar minimal 20 kali per jam.
- *Hot cell* juga harus dilengkapi dengan saluran untuk desinfektan (hidrogen pioksida) untuk membersihkan bagian dalam *hot cell*.



Ventilasi / Tata Kelola Udara





Toilet Pasien

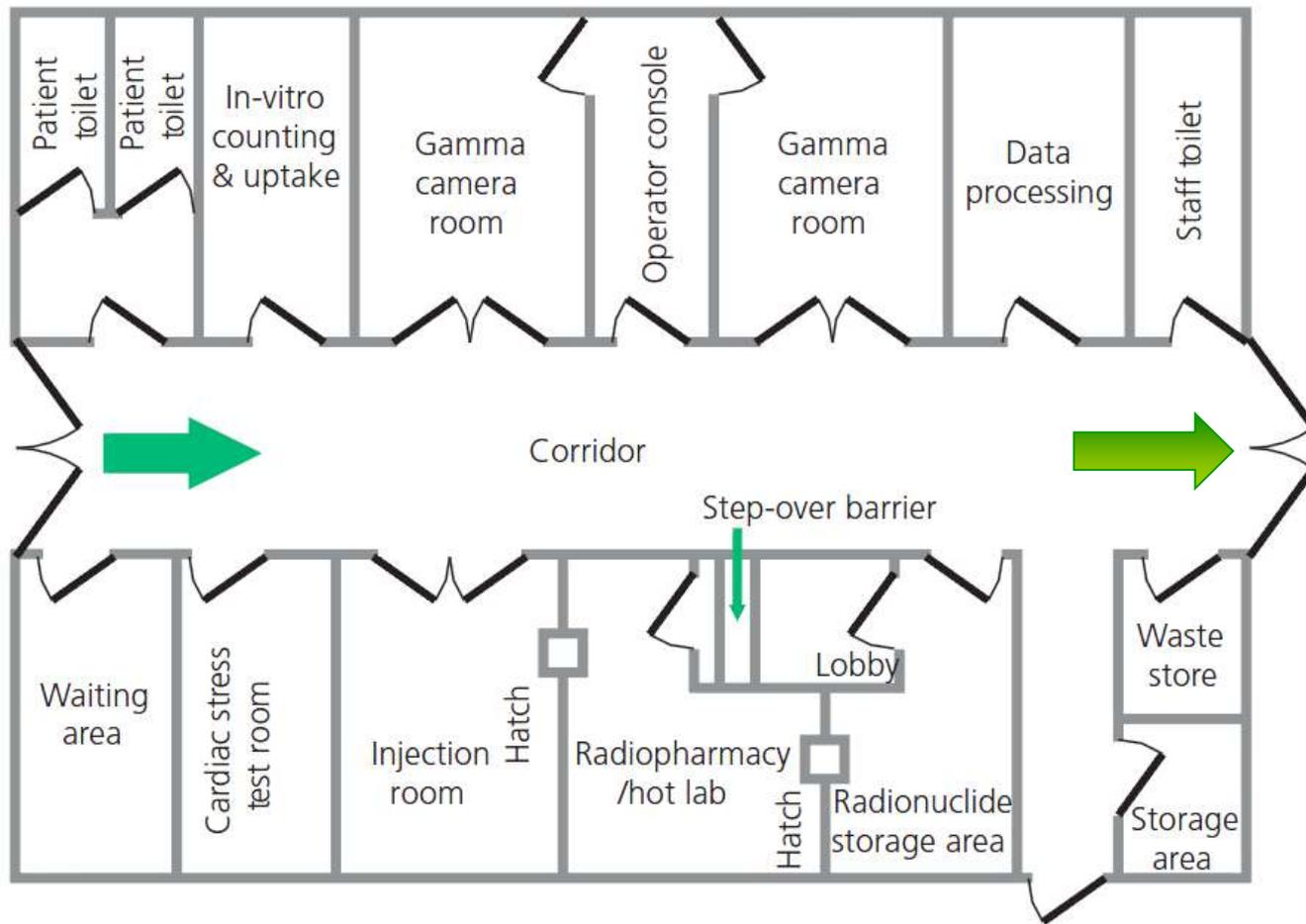
- Toilet untuk pasien yang belum atau sudah diberi radiofarmaka juga harus dibedakan dalam disain yaitu toilet biasa (cold toilet) dan toilet pasien radiofarmaka (hot toilet) .
- Hal ini dilakukan untuk mencegah kontaminasi dan penanganan limbah radioaktif.
- Diberi tanda yang meminta pasien untuk menyiram toilet dengan baik dan mencuci tangan, untuk memastikan dilusi bahan radioaktif dan meminimalkan kontaminasi.





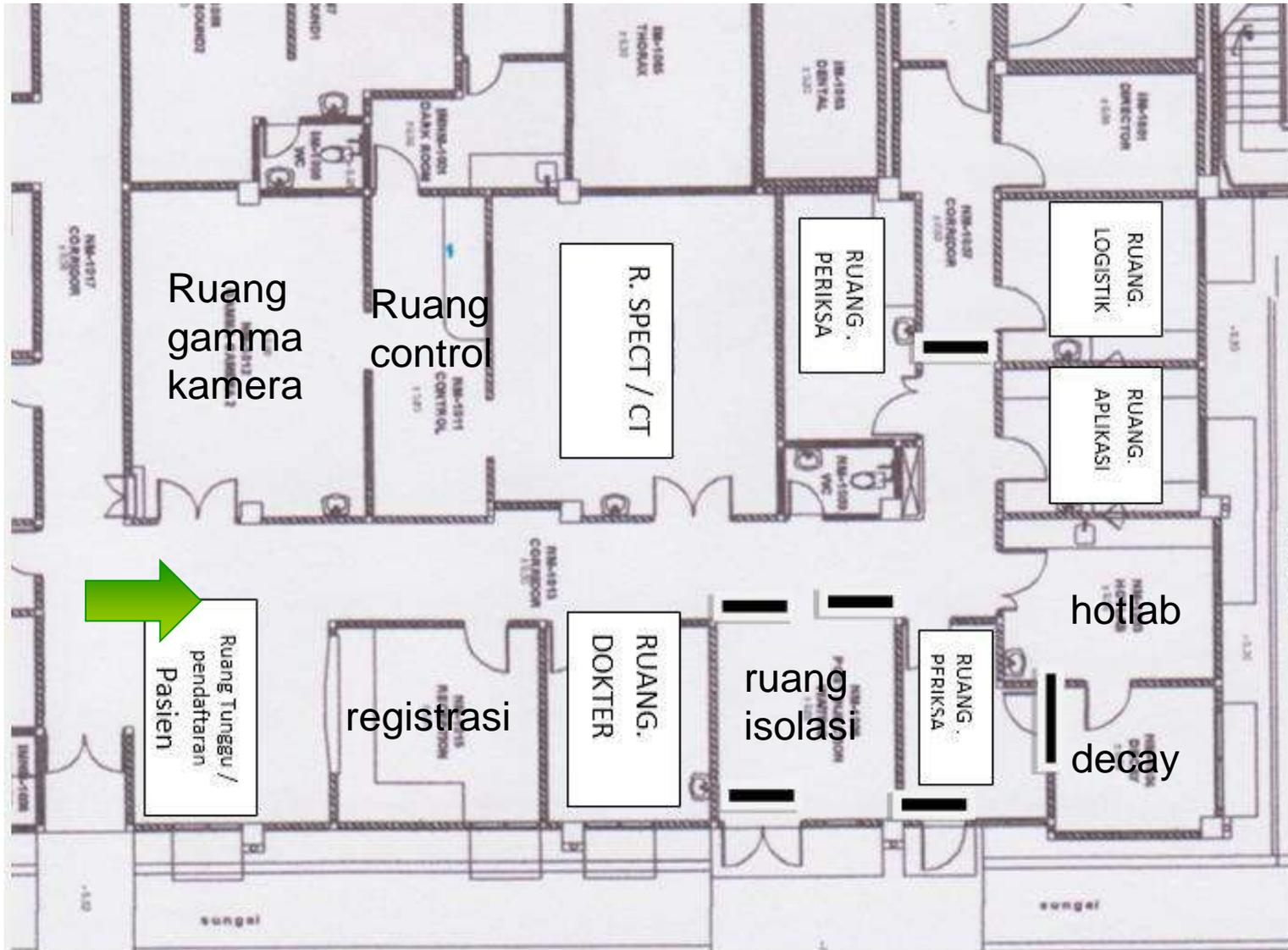
Layout instalasi kedokteran nuklir

Harus terdeskripsikan/tergambarkan alur daerah kerja dari yang tinggi ke rendah



Layout 1

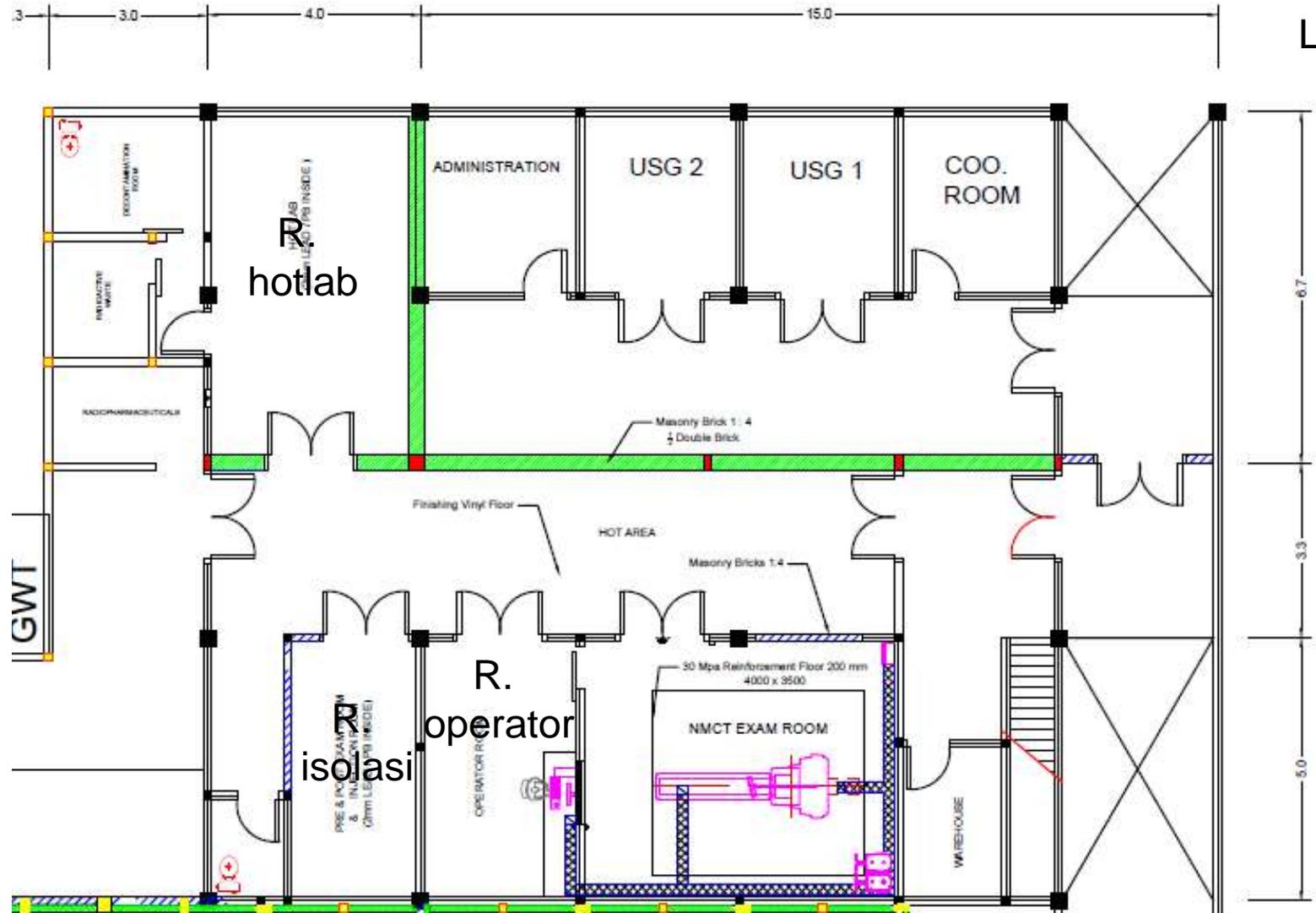
Layout instalasi kedokteran nuklir



Layout 2

Layout instalasi kedokteran nuklir

Layout 3





Peralatan Keselamatan

- shielding
- Pakaian pelindung.
- Alat untuk menangani zat radioaktif jarak jauh (long tong, lengan robot, dll).
- Kontainer untuk limbah radioaktif.
- Monitor laju dosis disertai dengan alarm.
- Monitor kontaminasi.
- Seperangkat alat dekontaminasi.
- label, tanda, dan rekaman.



Disain Shielding

Disain shielding untuk kedokteran nuklir dibagi menjadi 2 kategori:

1. Shielding dinding untuk berbagai ruangan radiasi
2. Shielding lokal untuk sumber radioaktif (seperti: botol timbal, syringe shield, kontainer, troli/kotak pembawa sumber).

Sumber radiasi di kedokteran nuklir juga terbagi menjadi 2 yaitu:

1. Zat radioaktif yang digunakan (radiofarmaka/radionuklida)
2. Pasien yang telah diberi zat radioaktif



Disain Shielding

- Perhitungan laju dosis dari zat radioaktif relatif lebih mudah dibandingkan dengan laju dosis dari pasien yang telah diberi zat radioaktif.
- Pada pasien, harus mempertimbangkan waktu paro fisika dan biologi, serta konstanta laju dosis radionuklida yang diberikan dan besarnya atenuasi pasien.
- Namun untuk menyederhanakan beberapa faktor tersebut, maka disediakan perkiraan konstanta laju dosis dari beberapa radionuklida dalam besaran $\mu\text{Sv}/\text{jam}/\text{MBq}$ pada jarak 1 meter.
- Misal: $\text{Tc-99m} = 0,0195 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}/\text{MBq} @ 1 \text{ meter}$ untuk sumber titik, dan $0,0075 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}/\text{MBq} @ 1$ untuk pasien.



Perhitungan Disain Shielding

Persamaan 1: (faktor koreksi peluruhan)

$$F_u = \exp\left(\frac{-0,693 \times t_u}{T_{1/2}}\right)$$

Dengan t_u = waktu uptake (jam) dan $T_{1/2}$ = waktu paro (jam)

Persamaan 2: (faktor koreksi laju dosis)

$$R_t = \frac{D(t)}{\dot{D}(0) \times t} = 1,443 \times \frac{T_{1/2}}{t} \times \left[1 - \exp\left(\frac{-0,693 \times t}{T_{1/2}}\right)\right]$$

Dengan:

$D(t)$ = dosis total (μSv) selama waktu t pada jarak 1 meter dari pasien,

$\dot{D}(0)$ = laju dosis ($\mu\text{Sv/jam}$) pada jarak 1 meter, yang dihasilkan dari perkalian antara konstanta laju dosis dengan aktivitas nuklida A_0 (MBq) yang diberikan ke pasien.

T = waktu yang dibutuhkan dalam scan atau pencitraan (jam)



Perhitungan Disain Shielding

Persamaan 3: (dosis total $D(t)$ dalam μSv)

Dari persamaan 1 dan 2 diperoleh nilai dosis total, $D(t)$ pada jarak d meter dari pasien selama pencitraan gamma kamera per pasien :

$$D(t) = \dot{D}(0) \times t \times R_t \times \frac{F_u}{d^2}$$

Dengan:

$D(t)$ = dosis total (μSv) selama waktu t pada jarak d meter dari pasien,

$\dot{D}(0)$ = laju dosis ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$) pada jarak 1 meter, yang dihasilkan dari perkalian antara konstanta laju dosis dengan aktivitas nuklida A_0 (MBq) yang diberikan ke pasien.

t = waktu yang dibutuhkan dalam scan atau pencitraan (jam)

Jika akan digunakan untuk mengetahui tebal shielding yang dibutuhkan maka harus dipadukan dengan beberapa faktor berikut:

1. Beban kerja jumlah pasien per minggu (N_w)
2. Faktor okupansi (T)
3. Nilai shielding design goal (P) atau nilai pembatas dosis dalam tahap disain.



Perhitungan Disain Shielding

Sesuai dengan Perka BAPETEN No. 17 Tahun 2012:

Daerah	Nilai P atau Pembatas dosis disain ($\mu\text{Sv}/\text{minggu}$)
Pekerja radiasi	200
Anggota masyarakat	10

$$B = \frac{P}{D(t) \times T \times N_w}$$



Perhitungan Disain Shielding

Khusus untuk yang menggunakan F-18

Selain persamaan 1 sampai 3 di slide sebelumnya, juga mempertimbangkan faktor reduksi karena batal sebelum scan = 0,85. Sehingga menjadi persamaan 4, dosis total selama scan atau pencitraan PET per pasien :

$$D(t) = \dot{D}(0) \times t \times R_t \times 0,85 \times \frac{F_u}{d^2}$$

Persamaan 5: (dosis pada ruang uptake PET, $D(tu)$ per pasien)

$$D(tu) = \dot{D}(0) \times t_u \times \frac{R_{tu}}{d^2}$$

dengan t_u = waktu uptake (jam), R_{tu} = faktor reduksi laju dosis selama uptake.

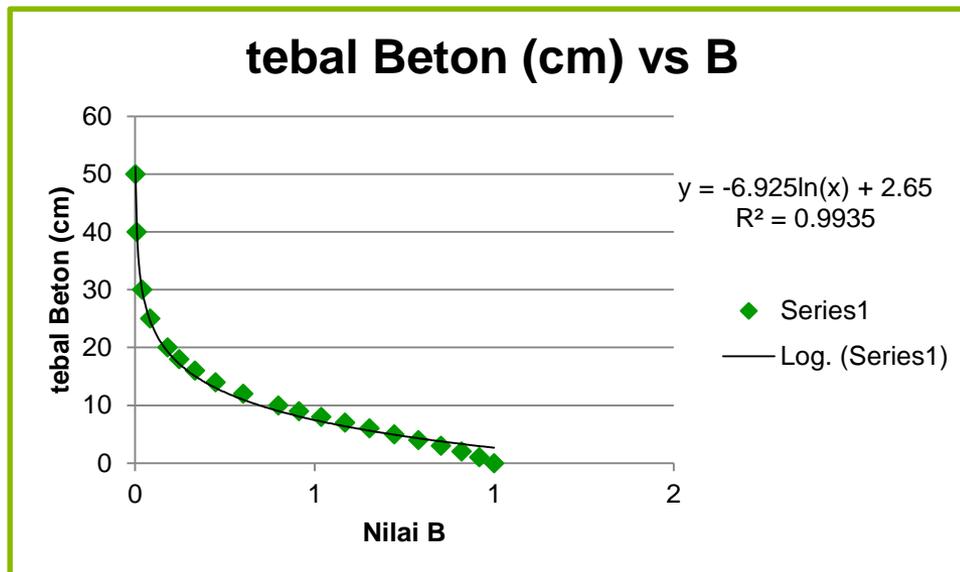
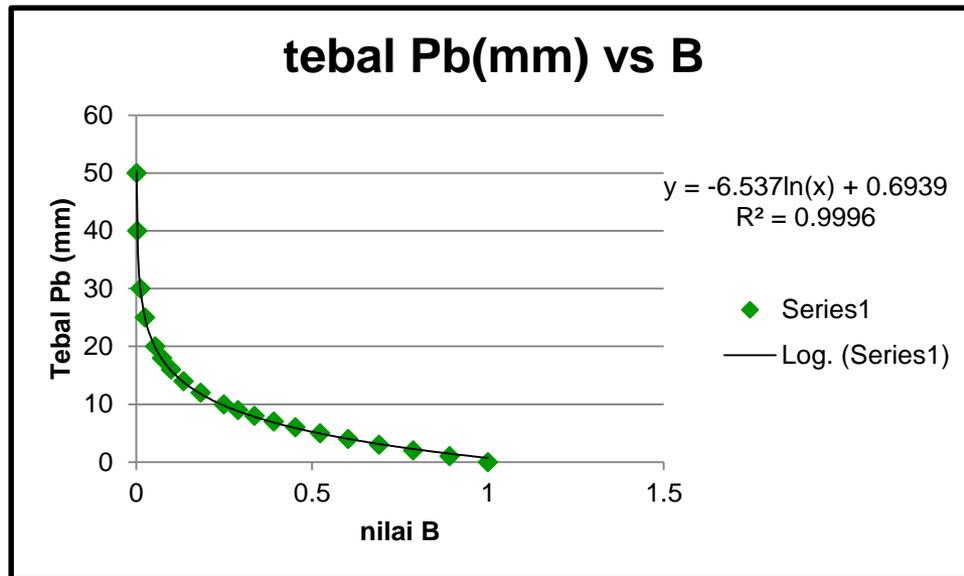
Nilai Transmisi B :

$$B = \frac{P}{D(t) \times T \times N_w}$$



Perhitungan Disain Shielding

Tebal Pb (mm) atau Beton (cm)	Nilai B	
	Pb	Beton
0	1	1
1	0,8912	0,9583
2	0,7873	0,9088
3	0,6905	0,8519
4	0,6021	0,7889
5	0,5227	0,7218
6	0,4522	0,6528
7	0,3903	0,5842
8	0,3362	0,518
9	0,2892	0,4558
10	0,2485	0,3987
12	0,1831	0,3008
14	0,1347	0,2243
16	0,099	0,1662
18	0,0728	0,1227
20	0,0535	0,0904
25	0,0247	0,0419
30	0,0114	0,0194
40	0,0024	0,0042
50	0,0005	0,0009





Perhitungan Disain Shielding

Dari Tabel dan interpolasi diperoleh:

Jika pakai shielding Pb:

$$\text{Tebal Pb (mm)} = (-6,537 \times \ln(B)) + 0,6939$$

Jika pakai shielding beton:

$$\text{Tebal Beton (cm)} = (-6,925 \times \ln(B)) + 2,65$$



Perhitungan Disain Shielding

Table D.2: Calculated instantaneous dose rates from radionuclides used for diagnosis (IPSM, 1991)

Radionuclide	Half Life	Typical Dose rates ($\mu\text{Sv h}^{-1}/\text{MBq}$) at 1 m from:	
		Point Source	Patient
^{67}Ga	78.1 h	0.028	0.011
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02 h	0.0195	0.0075
^{111}In	2.8 d	0.086	0.03
^{123}I	13 h	0.041	0.015
^{131}I	8.06 d	0.0575	0.023
^{133}Xe	5.3 d	0.135	0.006

Untuk F-18 = $0,092 \mu\text{Sv.m}^2/\text{MBq.h}$



Perhitungan Disain Shielding

Table D.3: Physical properties & effective dose equivalent dose rate constants of PET Radionuclides (AAPM, 2006)

Nuclide	Half life	Decay mode	Positron maxenergy (MeV)	Photon emission (keV)	Photons/decay	Dose rate constant ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{h}$)
^{11}C	20.4 min	β^+	0.96	511	2.00	0.148
^{13}N	10.0 min	β^+	1.19	511	2.00	0.148
^{15}O	2.0 min	β^+	1.72	511	2.00	0.148
^{18}F	109.8 min	β^+ , EC	0.63	511	1.93	0.143
^{64}Cu	12.7 h	β^- , β^+ , EC	0.65	511, 1346	0.38, 0.005	0.029
^{68}Ga	68.3 min	β^+ , EC	1.9	511	1.84	0.134
^{82}Rb	76 s	β^+ , EC	3.35	511, 776	1.90, 0.13	0.159
^{124}I	4.2 d	β^+ , EC	1.54, 2.17	511, 603, 1693	0.5, 0.62, 0.3	0.185



Perhitungan Disain Shielding

Table D.1: Half value thickness (mm lead) for radionuclides used in nuclear medicine

Radionuclide	Half Value Layer (mm lead) ^a	Tenth Value thickness (mm lead) ^b
¹²³ I	1.0 ^c	1.2
¹³³ Xe	0.2	≤0.7
²⁰¹ Tl	0.23	≤0.9
^{99m} Tc	0.3	0.9
⁶⁷ Ga	0.66	5.3
¹³¹ I	3.0	11
¹¹¹ In	1.3	2.5
⁸² Rb	6.0	-
¹⁵ O	5.5	17 ^c
¹¹ C	5.5	17 ^c
¹⁸ F	5.5	17 ^c
¹³ N	5.5	17 ^c
¹²⁵ I	-	≈0.06



Perhitungan Disain Shielding

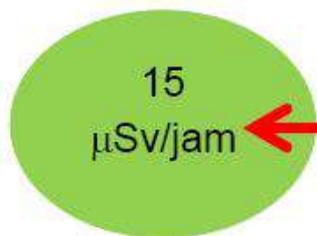
Perhitungan shielding dengan asumsi sumber titik.
misal: nuklida dalam vial plastik dianggap sebagai sumber titik:

$$\dot{D}_1 = \dot{D}_0 \frac{r_0^2}{r_1^2} \quad (\text{persamaan 6})$$

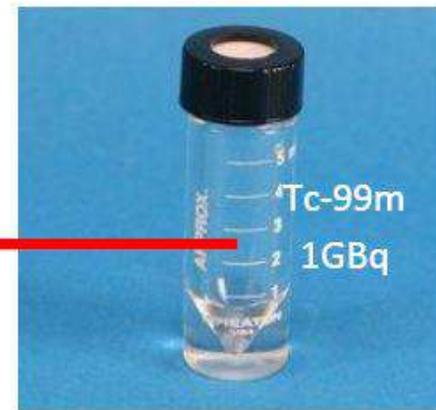
dengan:

\dot{D}_0 = laju dosis ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$) pada jarak $r_0 = 1$ meter

\dot{D}_1 = laju dosis ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$) pada jarak r_1 meter



1 meter



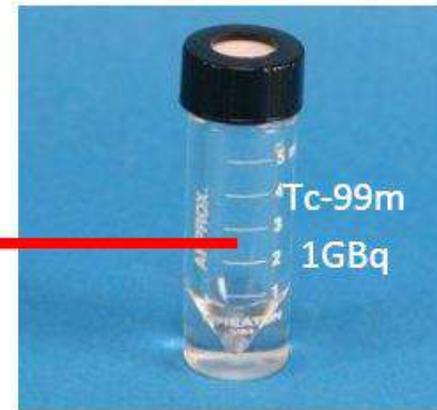


Perhitungan Disain Shielding

Sumber radioaktif Tc-99m dengan aktivitas 1 GBq jika ditempatkan pada vial yang tidak dilapisi penahan radiasi akan memberikan paparan radiasi eksternal sebesar $15 \mu\text{Sv/jam}$ pada jarak 1 meter dari sumber. Nilai itulah yang sering disebut dengan kuat sumber (*source strength*) atau konstanta gamma (*specific gamma constant*) Tc-99m.



1 meter





Perhitungan Disain Shielding

Sumber dalam vial dimasukkan dalam kontainer dengan tebal x mm, maka persamaan 6 akan dimodifikasi menjadi:

$$\dot{D}_1 = B \times \dot{D}_0 \times \frac{r_0^2}{r_1^2}$$

(persamaan 7)



0,5 m



dengan: B adalah faktor transmisi penahan radiasi.
korelasi nilai B dengan tebal penahan radiasi adalah:

$$n = -\log B$$
$$\text{tebal penahan radiasi (t)} = n \times \text{TVL}$$



Perhitungan Disain Shielding

- Jika ada lebih dari 1 buah radionuklida yang digunakan, maka dihitung untuk tiap sumber kebutuhan tebal penahan radiasinya.
- tebal penahan radiasi yang paling besar dibandingkan dengan yang terdekat dengannya, jika dari keduanya diperoleh selisih ketebalan penahan radiasi masih kurang dari 1 TVL maka ketebalan penahan yang terbesar harus ditambah dengan 1 HVL, yaitu:

$$\text{Tebal total} = t_{\text{terbesar}} + (0,301 \times \text{TVL})$$



Diskusi 1

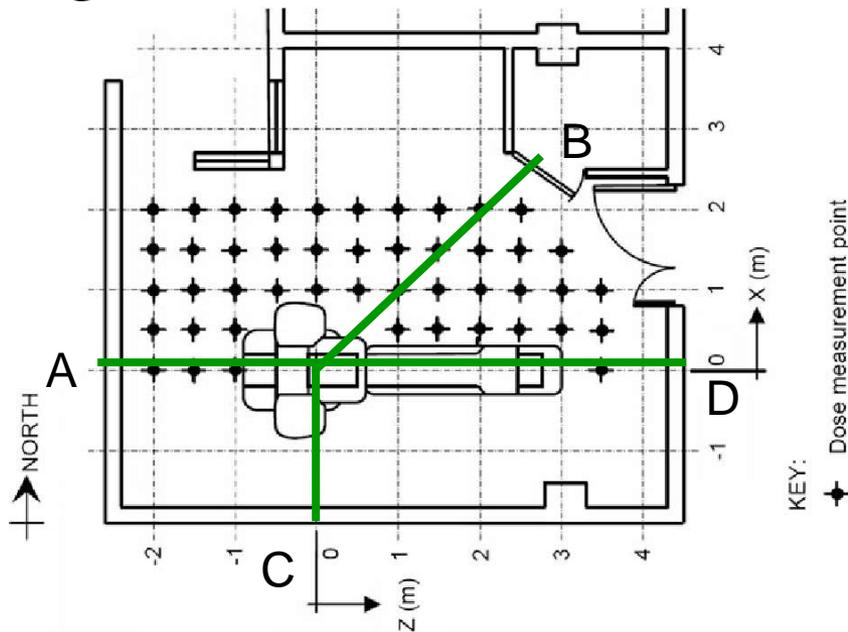
- Dari 2 layout (layout 1 dan 2) pada slide sebelumnya:
- Tentukan mana yang termasuk daerah kerja dan daerah anggota masyarakat.
 - apakah sudah menunjukkan adanya pembagian daerah kerja dengan benar? jelaskan
 - Pada layout 1, jika terjadi bencana misal kebakaran atau gempa, satu-satunya jalur evakuasi melalui koridor. Apa yang dapat anda rekomendasikan, jika:
 - a. Layout tidak dapat diubah
 - b. Layout dapat diubah
 - Pada layout 2, apa rekomendasi anda jika diminta melakukan perubahan disain terkait tata letak?



Diskusi 2

1. Sebuah radionuklida Tc-99m digunakan untuk pelayanan kedokteran nuklir dengan beban kerja 55 pasien per minggu. Aktivitas yang diberikan per pasien sebesar 500 MBq. Pasien dilakukan scanning setelah 1 jam 30 menit dengan waktu scan 20 menit. jarak ke dinding B 530 cm dari pasien (jarak ke dinding terluar 500 cm + jarak ke titik perhitungan 30 cm). hitung tebal dinding A, B, C, dan D!

- Dinding A untuk koridor dengan faktor okupansi (T) 2 jam/hari
- Dinding B untuk operator dg T 8 jam/hari
- Dinding C ruang konsultasi dg T 4 jam/hari
- Dinding D ruang tunggu dg T 3 jam per hari





Diskusi 2

2. Sebuah ruang uptake untuk layanan FDG sedang didesain dengan beban kerja 25 pasien/minggu. FDG yang dibutuhkan adalah 600 MBq per pasien. Waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk uptake selama 2 jam. Jarak antara pasien dengan personil di ruang sebelahnya 5 meter. Hitung berapa tebal dinding yang dibutuhkan jika personil tersebut berada diposisinya selama 7 jam/hari.
3. Jika anda diminta mendisain ruang PET dengan ukuran 6 x 10 meter. Posisi center dari PET tepat di tengah ruangan. Satu sisi ruang untuk operator, satu sisi untuk anggota masyarakat dan 2 sisi lainnya koridor. Bagaimana bentuk disain yang akan dibuat dan berapa ketebalan tiap dinding. Data: lama uptake 2 jam dan scan tiap pasien 35 menit. Beban kerja 50 pasien/minggu dan 555 MBq tiap pasien.



Diskusi 2

4. Sebuah hotlab digunakan untuk bekerja dengan iodine (I).

Radiouklida	$T_{1/2}$	TVL (mmPb)	(Sv/h)/TBq @ 1m	Aktivitas (MBq)
I-131	8,04 hari	11	6,38E-02	1,01E+02
I-132	2,3 jam	31	3,52E-01	2,26E+02
I-133	20,8 jam	22	9,80E-02	1,99E+02

Yang dibutuhkan untuk layanan adalah I-131, sehingga perlu proses pemisahan di lemari asam. Lemari asam dilapisi timbal dan memiliki ukuran lebar 50 cm dan panjang 100 cm. personil bekerja pada jarak 50 cm dari sumber. Hitung:

- tebal timbal yang dibutuhkan jika faktor okupansinya 5 jam/hari.
- Tebal dinding ruang hotlab jika jarak terdekat lemari asam ke dinding luar 250 cm dengan titik perhitungan 30 cm dari dinding luar untuk ruang tunggu (3 jam/hari) .



Pustaka

- PP No. 33 Tahun 2007
- Perka BAPETEN No. 17 Tahun 2012
- Radiological Protection Institute of Ireland, The Design of Diagnostic Medical Facilities where Ionising Radiation is used, A Code of Practice issued by the Radiological Protection Institute of Ireland, June 2009
- [https://gnsn.iaea.org/CSN/TRAINING_PACKAGES/Basic Radiation Safety Training/Day 8/Lecture 1 - Design Layout Shielding.pptx](https://gnsn.iaea.org/CSN/TRAINING_PACKAGES/Basic_Radiation_Safety_Training/Day_8/Lecture_1_-_Design_Layout_Shielding.pptx)
- Kajian Keselamatan Radiasi dalam Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka, 2015
- NCRP 151 Tahun 2005
- <http://researchcompliance.uc.edu/Libraries/Isotopes/Tc-99m.sflb.ashx>
- Practical training on shielding calculations, bahan workshop “National Coordination Meeting on The Radiation Protection and Safe Management of Radiopharmaceutical Production”, IAEA dan BAPETEN, September 2016, Jakarta



Terima kasih,
semoga bermanfaat.....