PERHIMPUNAN DOKTER SPESIALIS
ONKOLOGI RADIASI INDONESIA

PEDOMAN PERSIAPAN PENGADAAN BANGUNAN DAN PUSAT PELAYANAN RADIOTERAPI



MENGACU PADA
STANDAR INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA)

2018

10

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR 1

BAB I. PENDAHULUAN 3

BAB II. TAHAPAN PERSIAPAN 5

2.1. Kerangka Waktu 5

2.2. Persiapan Pembangunan 7

2.2.1. Konsultan Perencanaan 7

2.2.2. Kontraktor 7

2.2.3. Konsultan Pengawas 7

2.3. Perizinan 7

2.4. Alat Radioterapi 8

2.4.1. Imejing 10

2.4.2. *Treatment Planning System* 14

2.4.3. Perangkat Lunak Pesawat Radioterapi 14

2.4.4. Spesifikasi Pesawat Radioterapi 17

2.4.5 Alat Pengukur Penjamin Kualitas Pesawat Radioterapi 34

2.4.6. Alat Proteksi dan Keselamatan Radiasi 34

2.4.7. Alat dan Ruangan Penunjang Dalam Pelayanan Radioterapi .. 36

2.4.8. Spesifikasi kebutuhan alat-alat Radioterapi 37

2.5. *Bunker* 42

2.6. Asumsi Perkiraan Biaya 58

BAB III. PEDOMAN UMUM KERJASAMA BOT (BUILD OPERATE TRANSFER) 59

3.1. Pengadaan Langsung Oleh Rumah Sakit 59

3.2. Pengadaan Melalui Kerjasama *Build Operate Transfer* (BOT) 59

3.2.1.Karakterisik Konsep Kerjasama 59

3.2.2. Syarat Kerjasama 60

3.2.3. Prosedur Kerjasama 60

3.2.4. Konsep Kerjasama 61

3.3. Pengadaan Melalui Kerjasama Operasional (KSO) 61

3.3.1. Kondisi Persyaratan dan Pengadaan Alat Kedokteran Brakhiterapi Iridium 192 61

3.3.2.Kondisi Persyaratan Pengadaan Alat Kedokteran Satu Set *Linear Accelerator* 64

3.3.3.Kondisi Persyaratan Pengadaan Alat Kedokteran Cobalt-60 68

3.3.4.Kondisi Persyaratan Pengadaan Alat Kedokteran Simulator atau CT Simulator 71

3.4. Rencana Investasi dengan Sistem KSO 73

KATA PENGANTAR

Insidens kanker meningkat seiring dengan peningkatan angka harapan hidup dan tingkat kesejahteraan hidup manusia. Sesuai data dari *World Health Organization* (WHO) dan *International Agency for Research on Cancer* (IARC), ditemukan kurang lebih 10 juta kasus baru kanker di dunia per tahun, dan diperkirakan jumlah tersebut akan terus meningkat menjadi 15 juta kasus baru per tahun di tahun 2015, dimana dua pertiga kasus akan terjadi di negara berkembang, termasuk Indonesia.

Setengah dari kasus kanker membutuhkan radioterapi, baik sebagai terapi primer maupun bagian dari keseluruhan modalitas terapi pengobatan, ataupun pada kasus rekurensi serta pengobatan paliatif. Berdasarkan Riset Kesehatan Dasar oleh Kementerian Kesehatan tahun 2013, prevalensi kanker di Indonesia adalah 1.4 per 1.000 penduduk dengan kurang lebih 50-60% penderita membutuhkan terapi radiasi.
Pelayanan radioterapi merupakan pelayanan kesehatan yang kompleks karena memerlukan peran multidisiplin, multivokasi, menggunakan peralatan yang rumit dengan teknologi terbaru dan membutuhkan sumber radiasi berenergi sangat tinggi (mencapai 20 MV), serta tidak berbau, berasa dan berwarna, akan tetapi mempunyai dampak efek biologik jangka panjang yang menetap.

Selaras dengan upaya meningkatkan derajat kesehatan masyarakat secara nasional, khususnya penatalaksanaan pada penderita kanker, maka pusat pusat pelayanan radioterapi mengutamakan pelayanan yang berkualitas tinggi, paripurna, terintegrasi dengan disiplin ilmu lain, bertanggungjawab secara profesi dan berlandaskan pada etika kedokteran yang mengikuti perkembangan IPTEK sesuai *Evidence Based Medicine* (EBM) dan *Value Based Medicine* (VBM) dengan memperhatikan efektivitas, efisiensi dan kesehatan/keselamatan kerja, termasuk diantaranya perlindungan radiasi terhadap pasien, petugas dan lingkungan.

Buku pedoman ini mengacu pada *IAEA Human Health Reports No.10, Radiotherapy Facilities: Master Planning dan Concept Design Consideration* dengan tujuan untuk memberikan gambaran secara umum pemabangunan fasilitas radioterapi mulai dari perencanaan sampai dengan operasional pelayanan dan konsep bisnis kerjasama operasional dengan investor.

BAB I
PENDAHULUAN

Pelayanan radioterapi merupakan pelayanan yang sangat kompleks sehingga diperlukan suatu pedoman yang dapat digunakan dalam perencanaan pembangunan radioterapi. Pedoman ini menyediakan kerangka waktu kerja untuk pembangunan, pengembangan dan pengelolaan radioterapi.

Untuk pembangunan fasilitas radioterapi dibutuhkan penataan dengan pertimbanagan yang sangat cermat karena peran dari radioterapi sangat penting dalam tata laksana kanker multidisiplin. Salah satu yang perlu diperhatikan dengan baik adalah pembangunan *bunker* dan penempatan pesawat radioterapi. Hal ini membutuhkan pengawasan yang sangat profesional mulai dari saat awal desain sampai selesainya tahapan konstruksi, sehingga dapat memberikan keamanan dan kenyamanan dalam memberikan pelayanan radioterapi kepada masyarakat.

Oleh negara, Badan Pengawas Tenaga Nulir (BAPETEN) diberi mandat untuk menyetujui desain akhir sebelum konstruksi dan untuk memberi izin fasilitas sebelum dimulainya pelayanan kepada pasien. Oleh karena itu, dalam membangun fasilitas radioterapi harus memenuhi syarat-syarat yang sudah diatur oleh BAPETEN sehingga pembangunan pesawat radioterapi dapat berjalan sesuai dengan kerangka waktu.

BAB II

TAHAP PERSIAPAN

Pembangunan fasilitas radioterapi memerlukan beberapa tahap persiapan yang diperkirakan membutuhkan waktu dan sumber daya yang tidak sedikit, sehingga dalam mempersiapkan fasilitas radioterapi memerlukan pertimbangan dan strategi khusus. Berikut adalah penjelasan mengenai persiapan pembanguan fasilitas radioterapi.

2.1 Kerangka Waktu

Perencanaan waktu ini dibutuhkan untuk menjadi pedoman dan tolak ukur dalam pembangunan fasilitas radioterapi sehingga dapat memperkirakan waktu yang diperlukan untuk memulai proses perizinan, proses pelelangan, pelatihan sumber daya manusia, instalasi alat, sampai dengan pelayanan radioterapi. Menyelesaikan keseluruhan proses secara tepat waktu dan sesuai dengan perencanaan memberikan banyak manfaat, terutama dari sisi keuangan dan pelayanan. Berikut adalah contoh tabel waktu. (tabel 2.1.)

Tabel 2.1. Perencanaan Waktu Pembangunan Fasilitas Radioterapi

No	Tahapan - tahapan	Instansi	Estimasi Waktu (bulan)																	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	perencanaan dari konsultan perencana dan kontraktor	On Site	Persiapan (konsultan perencana, desain ruangan, kerja sama MOU dengan RSCM, Kontraktor membuat gambar dan RAB, perhitungan shielding bunker, Pendaftaran pelatihan PPR dan PKSR, dan kelengkapan dokumen-dokumen perizinan																	
2	izin KRK	Dinas																		
3	Izin IMB	Dinas																		
4	Izin Konstruksi Bapeten	BAPETEN																		
5	Petugas Proteksi Radiasi Medik Tingkat 1	BATAN																		
6	Petugas keamanan Sumber Radioaktif	BATAN																		
7	pembangunan Bunker	On Site																		
8	Pelatihan Fisika Medik, RTT dan petugas Mouldroom di Radioterapi (BKM RSCM)	RSCM																		
9	Instalasi Linac	On Site																		
10	Instalasi Cobalt	On Site																		
11	Instalasi Brachyterapi	On Site																		
12	Accepten test dan Komisioning LINAC	On Site																		
13	Accepten test dan Komisioning Cobalt	On Site																		
14	Accepten test dan Komisioning Brachyterapi	On Site																		
15	Survey Paparan Lingkungan fasilitas	On Site																		
16	Training staf	On Site/ke																		
17	Kalibrasi BATAN Linac, cobalt dan brachyterapi	BAPETEN																		
18	Verifikasi dan uji coba paparan lingkungan bunker BAPE	ON site																		
19	Izin pemanfaatan/operasional	BAPETEN																		
20	Uji coba ke pasien (mulai pelayanan)	On Site																		Pelayanan

2.2 Persiapan Pembangunan

2.2.1 Konsultan Perencanaan

Untuk mendesain dan membangun fasilitas radioterapi dibutuhkan konsultan yang memahami prinsip utama suatu *bunker,* memiliki pengalaman dalam melakukan perencanaan membangun *bunker* dan fasilitas radioterapi. Konsultan tersebut harus mempunyai staff ahli diantaranya adalah tenaga fisika medis yang dapat melakukan perhitungan *shielding bunker* sesuai dengan perizinan konstruksi BAPETEN.

2.2.2 Kontraktor

Kontraktor yang akan dipilih untuk membangun *bunker* dan fasilitas lainnya disarankan telah memiliki pengalaman pembangunan *bunker* dan fasilitas radioterapi. Kami juga menyarankan untuk memilih kontraktor yang memiliki riwayat kerja yang baik, memahami prinsip utama konstruksi yang di tentukan oleh BAPETEN, dan dapat membuat pedomanan jaminan mutu tahap konstruksi.

2.2.3 Konsultan Pengawas

Pengawas dalam konstruksi memiliki peranan penting dalam menjamin kualitas struktur dan pembangunan yang sesuai dengan kerangka waktu. Diharapakan pengawas tersebut memiliki pengalaman pengawasan pembangunan **bunker** dan fasilitas radioterapi sebelumnya. Mempunyai staff ahli diantaranya adalah tenaga fisika medis untuk mengawasi pada saat persiapan dan pengecoran.

2.3. Perizinan

Setelah mendapatkan konsultan perencana dan kontraktor, hal yang sangat penting adalah mengirim Staff untuk mengikuti pelatihan Petugas Proteksi Radiasi (PPR) Medik Tingkat.1, dengan lulusan minimal D3 eksakta. Pelatihan tersebut diselenggarakan oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional dan masa pelatihannya selama 3 minggu. Seluruh persyaratan dan registrasi dapat diakses melalui http://diklatnuklir.batan.go.id/daftar_ppr.php. karena Surat Izin Bekerja (SIB) Petugas Proteksi Radiasi (PPR) Medik Tingkat.1 ini dibutuhkan untuk membuat permohonan

perizinan konstruksi pembangunan *bunker* radioterapi di BAPETEN. Jika izin ini belum dikeluarkan maka pembangunan *bunker* belum dapat dimulai. Seluruh persyaratan dan panduan perizinan dapat diakses melalui http://balis.bapeten.go.id/.

2.4. Alat Radioterapi

Terapi radiasi adalah pengobatan kanker yang menggunakan sinar pengion, dan telah menjadi modalitas penting dalam penatalaksanaan kanker. Sekitar 50-60% jenis kanker memerlukan terapi radiasi sebagai terapi utama atau terapi tambahan. Kemajuan teknologi memberikan dampak yang sangat pesat dalam perkembangan alat dan teknik radioterapi, dimulai dari teknik penyinaran sederhana 2D sampai IMRT, VMAT, SRS, SBRT/SRT. Sehingga untuk mendapatkan alat yang tepat dan sesuai diperlukan pertimbangan sebagai berikut: populasi penduduk, morfologi dan topografi kanker terbanyak di wilayah kerja fasilitas radioterapi tersebut.

Apabila rumah sakit yang akan merencanakan pembangunan fasilitas radioterapi telah memiliki system *cancer registry* sebelumnya, maka hal tersebut dapat memberikan gambaran penting dalam menentukan alat yang akan digunakan secara tepat. Apabila rumah sakit tersebut belum memiliki system *cancer registry* dapat menggunakan panduan sebagai berikut:

Tabel 2.2 **ESTIMASI BEBAN PASIEN**

Total Pasien Kanker Baru (Jenis dan Jumlah)			
Primary site	**Jumlah (2013)**	**Jumlah (2014)**	**Jumlah (2015)**

Tabel 2.3

Staging Distribution	
Primary site	**Stadium tersering**

Tabel 2.4.

Jumlah Kunjungan				
Primary site	**Rawat Jalan**	**Rawat Inap**	**Pembedahan**	**Kemoterapi**

Tabel 2.5

Spesialisasi Terkait Onkologi	
Bidang Keilmuan	**Jumlah**
Penyakit Dalam	
Hemato Onkologi	
Bedah Onkologi	
Pulmonologi	
Patologi Anatomi	

Secara garis besar, dalam membangun fasilitas radioterapi memerlukan 5 (lima) kategori kebutuhan dasar meliputi :

1. Imejing
2. *Treatment Planning System*
3. Pesawat Radioterapi
4. Alat pengukur penjamin kualitas pesawat radioterapi
5. Alat proteksi dan keselamatan Radiasi
6. Alat penunjang terapi radiasi

Kebutuhan dasar ini merupakan komponen alat yang saling berhubungan dan tidak dapat terpisahkan untuk dapat memberikan pelayanan radioterapi yang optimal dan sesuai dengan standard.

2.4.1. Imejing

Seluruh spesifikasi performa dari CT Simulator yang akan digunakan untuk pelayanan radioterapi harus memenuhi standar dari IEC. Pada dasarnya perangkat *CT scan* yang digunakan untuk pelayanan radioterapi tidak berbeda dengan *CT scan* untuk prosedur diagnostik, namun terdapat spesifikasi khusus pada CT simulator yaitu: *moving* laser coronal, sagittal, axial dan meja pemeriksaan yang datar. Spesifikasi yang diberikan oleh IEC merupakan standart minimal yang harus dipenuhi, namun kondisi tersebut harus disesuaikan dengan kapasitas dan kualitas pelayanan sehingga diperlukan spesifikasi CT

simulator yang berperforma tinggi. Tetapi saat ini CT simulator yang tersedia dan ditawarkan oleh penyedia pada umumnya sudah memenuhi standar.

Berikut pedoman spesifikasi umum CT simulator yang sudah sesuai dengan standart pelayanan radioterapi :

CT Simulator (Non 4D)

Applicable Scenarios:

Eligible Manufacturer / Type: **Target Budget**

Maintenance cost (range estimate, per year)

No	Nama Alat Kedokteran/Spesifikasi Setara	
1	**CT Scanner**	
	Design	**Whole body spiral, multi-slice CT**
	Image acquisition	Minimum 16 slice per rotasi
2	**Gantry**	
	Aperture width	Minimum 80 cm
	Scan field of view	Minimum 50 cm
	Extended field of view	Minimum 70 cm
	Positioning indicators accuracy	+/- 1 mm atau lebih baik
3	**Couch**	
	Material	**Carbon Fibre, flat bed type**
	Dimensions	**Minimum 235 x 40 cm**
	Movement Range (Horizontal)	170 cm atau lebih
	Movement Speed	Variable, maximum speed sekurang-kurangnya 100 mm/second
	Movement accuracy (reproducibility)	+/- 0.25 mm atau lebih baik
	Scan range	Minimum 120 cm
	Maximum weight allowance (without any change in performance specification)	Minimum 180 cm
5	**X-Ray System**	
	Design	**High frequency X-Ray generator**
	Power rating	**Minimum 50 kW**
	Tube potential	**Kvp mencakup rentang 80-140 kV**
	Tube current	**mA mencakup rentang 30-400 mA, step size 5 mA atau lebih baik**
	Peak anode heat dissipation rate	**Minimum 800 kHU/min atau lebih baik**
	X-ray tube focal spot	**Dual focal spots (sebutkan ukuran focal spot)**
6	**Detectors**	
	Design	**High performance, low noise, high data density, active response data acquisition system**
	Detector type	**Solid state**
	Calibration need	**Free from the need for repeated calibrations**
	Detector number	**Multiple detector rows capable of acquiring minimum of 16 slices at a time**
7	**Scan Parameters**	
	Slice thickness	Sub-milimeter
	Scan speed	0.6 detik atau kurang untuk satu rotasi 360 derajat
	Retrospective reconstruction	Possible on raw data files, with change in parameters (e.g. FOV)
	Helical scan distance	Starting with cold tube, maximum helical scan distance using 3 mm imaged slice thickness and pitch of 1.5 should be 1500 mm or more
	Scan mode	Sekurang – kurangnya SPR, aksial, spiral
	SPR Scan Mode	Sekurang-kurangnya 1500 mm (panjang), 500 mm (lebar)
	SPR Scan Acquisition	Possible to obtain SPR from AP or PA or L to R or R to L directions
	Reproducibility of scanning protocol from SPR	+/- 3 mm or better
	Accuracy of distance measurements in SPR (at isocenter)	Twice pixel dimension
	Pitch	Different selection of pitch possible, from 0.5 to 3 in 0.1 increments (sebutkan rentang pitch yang tersedia)
	Automatic mA control software	Available to automatically adjust mA for patient size, adjust mA along Z-Axis, and modulate mA during rotation
	Informasi tambahan	Single run coverage, table scannable range

8	**Image Quality**	
	Reconstruction matrix	Sekurang-kurangnya 256 x 256
	Simultaneous operations during scanning (multi tasking)	It must be possible to perform routine analysis, archiving / hard copying, and/or data transfer during scanning
	High contrast spatial resolution	At least 15 lp/cm maximum at 0% modulation transfer function (MTF)
	Low contrast detectability	5 mm or less at 0.3% using adequate phantom on 10 mm slice
	CT Number accuracy	Better than 0+/- 4 HU for water and -1000 +/- 5 HU for air
9	**Computer System for the CT Scanner**	
	Console	High end main computer system
	Monitor	Two monitors configuration at the console, 19" or larger TFT flat screen LCD Monitors or better, one for acquisition and one for review and processing
	Hard disk capacity of main computer system	500 GB or larger
	Hard disk capacity for image storage	Available to store a minimum of 500,000 512x512 images (state maximum possible hard disk capacity)
	DVD Writer	Provided, for providing copies of individual studies
	Hardware and consummables for archiving	(DVD / DAT cartridges) specified and provided
	DICOM Compliance	DICOM 3.0 Print Service class as user, DICOM 3.0 Storage class as user, DICOM 3.0 Storage class as provider, DICOM 3.0 Send/Receive, DICOM 3.0 Query / Retrieve service class as user, DICOM 3.0 Query / Retrieve Service class as provider. Please provide DICOM compliance statement.
10	**Accessories**	
	Audio	Bi-directional speaker communication must be provided between operator and patient
	Quality control equipment	Necessary phantoms to check the image quality and calibration of CT Scanner provided, in addition to a phantom to check the accuracy of the position of the external radiotherapy lasers
	Conventional in-built lasers or light beams	Available by design
	External Radiotherapy Laser System	An external radiotherapy laser system for patient alignment, marking and isocentre localisation shall be provided, which includes a movable sagittal laser and fixed or moveable lateral lasers. These lasers should be easily adjustable and have good positional stability over time. Laser projection should be at least 50 cm along patient plane.
	UPS	On line UPS with MF batteries for the backup of the entire system for at least 30 minutes
	LASER Camera	A dry laser camera is to be provided
	Lead glass	At least 120 cm x 150 cm (control console's window is 110 x 120 cm) with lead equivalent in compliance to national regulations
	Dose computation and display	The system should display CTDIw and DLP
	CT Simulation software	Provided, with fast reconstruction of transverse slices to any section, automatic skin outlining, automatic lung/bone outlining, semi-automatic outlining critical structures/vital organs, user friendly target outlining (accurate interpolation / ease of editing), volumetric growing of margins using true 3D volume growing algorithm
	Markings	All safety markings either in English or Indonesian
13	**Quality Requirements**	
		The system shall be manufactured, shipped and installed in accordance to the contractor's ISO or an equivalent quality assurance system, as documented in writing
		The system shall be tested prior to shipment for conformance with manufacturer's performance specifications and minimum requirements
16	**Installation**	**The contractor shall be responsible for the installation of the procured system, without additional costs to the user.**
		The system shall be tested together with the end user to demonstrate that the System's performance meets both the manufacturer's performance specifications and the minimum requirements specified in this document. The results of this testing process shall be documented in an acceptance protocol to be signed by the end user.
	Training	**Training shall be provided on-site to end user's staffs for routine equipment operations and maintenance immediately after the installation**
	Other documents	**Two complete sets of operation and servicing manuals and technical drawings in the English language**
	Warranty	**CT Simulator and all components shall be covered by standard warranty including parts and labour, starting from the date of successful on-site acceptance. Warranty shall also cover hardware and software, including further upgrades and updates.**

	Maintenance	Contract price includes full maintenance services during warranty period, which includes preventive maintenance, on-call interventions, any software update/upgrade for the system that will be become As part of on-site acceptance, contractor shall provide preventive maintenance plan as well as the contacts of service representative / office for on-call maintenance intervention
	Uptime and Penalties	Minimum uptime of 97% (excluding outages for maintenance or causes external to the System) Uptime is calculated on a basis of 250 operating days per year Should the down time exceed 2 working days cumulative on a six months basis (summing up the hours), this amount shall be added as extension of the corresponding maintenance period

2.4.2. *Treatment Planning System*

Treatment Planning System (TPS) pada umumnya sudah termasuk dalam paket pembelian pesawat radioterapi. Perlu dipastikan adalah jumlah *work station (planning and contouring station)* yang diberikan dan harus sesuai dengan rencana kapasitas pelayanan. Spesifikasi mengenai TPS terdapat dalam spesifikasi pesawat radioterapi.

2.4.3. Pesawat Radioterapi

Pesawat yang akan dipilih harus pesawat yang menggunakan perangkat lunak yang berbasis 3D planning dan *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT), mempunyai program yang terpisah, dan algoritma. Bila perhitungan dosis absolut/waktu penyinaran dilakukan, maka sistem perangkat lunak harus menyediakan secara rinci semua koreksi untuk wedges, tray, decay serta konstanta fisik seperti : faktor gamma, half life (paruh waktu) dan lain-lain.

2.4.3.1. Persyaratan Perangkat Lunak *Linear Accelerator* (Linac)

Akselerator linear dan perencanaan 3-Dimensi dan IMRT membutuhkan perangkat lunak TPS dengan kemampuan sebagai berikut:

- Mempunyai akses untuk transfer Data Image dari CT Simulator/MRI/PET Scan ke TPS
- Memiliki algoritma untuk planning dengan inverse
- Melakukan perhitungan dan planning elektron
- Melakukan perhitungan planning kombinasi sinar foton dan elektron
- Melakukan perhitungan planning kombinasi radiasi eksternal dan brakhiterapi
- Melakukan perhitungan dengan wedge baik static, dynamic dan motoric
- Dukungan untuk perencanaan *Multi Leaf Collimator* (MLC)
- Menyimpan dan memanggil kembali data yang telah disimpan

- Dapat melakukan pengiriman data planning ke pesawat LINAC
- Dapat menghasilkan citra DRR yang dapat dicetak dan dikirim ke pesawat LINAC untuk di verifikasi
- Dapat menerima dan mengirimkan data citra ke TPS lain
- Menghitung koreksi inhomogenitas dan non standar SSD

2.4.3.2. Persyaratan Cobalt-60

Terapi radiasi eksternal dengan Cobalt-60 membutuhkan perangkat lunak yang dapat:

- Mempunyai akses untuk transfer Data Image dari CT Simulator/MRI/PET Scan ke TPS
- Membuat kontur
- Mengubah (modifikasi) kontur sesuai peletakan bolus
- Memodifikasi ketebalan, dan densitas bolus
- Membuat planning SSD, SAD dan ARC Therapy
- Membuat planning 2D
- Membuat planning 3D
- Melakukan perhitungan untuk 1 atau lebih berkas radiasi eksterna
- Melakukan perhitungan untuk lapangan simetris dan asimetris
- Membuat perencanaan dengan blok
- Koreksi tissue inhomogeneity (heterogenitas jaringan)
- Melakukan perhitungan wedge
- Melakukan rekostruksi gambar digital dari lapangan sinar (DRR)
- Menyimpan dan memanggil kembali data yang telah disimpan.

2.4.3.3. Persyaratan Perangkat Lunak Brakhiterapi

Brakhiterapi membutuhkan perangkat lunak yang dapat:

- Mempunyai akses untuk transfer Data Image dari CT Simulator/MRI/PET Scan ke TPS
- Koreksi terhadap filtrasi sumber.
- Memberi dukungan pada berbagai aplikator dan jarum implan yang sesuai dengan peralatan brakhiterapi.
- Melakukan perhitungan dosis pada target dan organ at risk.
- Memperhitungkan nilai aktivitas setiap waktu
- Melakukan perencanaan Brakhiterapi 2D
- Dapat melakukan pengiriman data planning ke pesawat Brakhiterapi

Berikut adalah spesifikasi untuk alat radioterapi :

2.4.4. Spesifikasi Pesawat Radioterapi

2.4.4.1 Spesifikasi Single Energi

LINEAR ACCELERATOR, SINGLE ENERGY ROTATIONAL IMRT (VMAT)

Applicable Scenarios:	**Dedicated IMRT machine** **Mostly non Abdominal / Pelvic locations (predominantly Head/Neck)** **Mostly curative (>60-70% curative)** **Conservative estimate of workloads: 8000 treatment sessions / year regardless of 3D / IMRT load, assuming dynamic IMRT delivery**

No	Nama Alat Kedokteran/Spesifikasi Setara	
1	**Beams**	
	Photon energies nominal	Single photon energy 6 MV
	Maximum dose rate	Sekurang-kurangnya 300 MU / min, dapat disesuaikan (adjustable)
	Fieldsize Range	0.5cm x 0.5cm hingga 40cm x 40cm
	Electron spot size	< 3 mm
	Penumbra (20-80%, d10 SSD 90 cm)	< 8 mm
	Head leakage	Sesuai IEC 60601 2 1
2	**Dosimetry System**	
	Construction	Dual independent closed ionization chambers
	Reproducibility	1% or better
	Safety features	Interlock / treatment termination
3	**Wedge Filter**	
	Type	**Automatic wedge/Dynamic wedge/physical wedge**
	Angle Range	**Variable 0 - 60 °**
	Maximum field size with wedge	Sekurang-kurangnya 30 x 40 cm
4	**Beam shaping block - Multileaf Collimator (MLC)**	
	Type	MLC Digital, terintegrasi dengan treatment head, kontrol terintegrasi dengan linac control software di linac control system
	Leaf Number	Sekurang-kurangnya 80 leafs (2 set of 40 leafs)
	Pitch	Proyeksi lebar bilah maksimal 1 cm di bidang isocenter
	Maximum Field size at isocenter with MLC	Sama dengan luas lapangan maksimal
	Dynamic MLC	MLC bergerak selama proses IMRT
5	**Mechanical**	
	Isocentric height from floor	**Maksimal 130 cm**
	Isocentric clearance (jarak antara treatment head dengan isocenter)	**Minimal 40 cm**
6	**Gantry**	
	Rotation range	**Minimal ±180°**
	Distance from target to isocenter	**100 cm ±0.2cm**
	Mechanical and radiation isocenter accuracy with rotation of radiation head and gantry	**< 1 mm**
	Radiation accuracy at isocenter	**Maksimal 2 mm diameter sphere**
	Rotation speed	**Dapat mencapai 1 rpm**
	Readout accuracy	**+/- 0.5° (Digital dan Mekanikal)**

7	**Collimator**	
	Rotation range	Minimum ±150°
	Rotation speed	Dapat mencapai minimal 1 rpm
	Control	Local dan remote
	Digital scale Accuracy	±0.5°
	Mechanical scale Accuracy	±0.5°
	Asymetric collimator	Ya (Diafragma X dan Y)
	Collimator overtravel	Minimal 10 cm melewati central axis
	Lain-lain	Lampu lapangan radiasi (field defining light), optical range finder / optical distance indicator, cross-wires+wedge orientation.
8	**Pasien Treatment Table/Couch**	
	Range of movement:	
	Longitudinal Movement range	Minimal 100 cm
	Lateral Movement range	Minimal +/- 25cm
	Vertical Movement range	Tinggi meja terendah tidak lebih dari 66 cm Tinggi meja tertinggi tidak kurang dari 169 cm
	Column rotation range	Minimal +/- 100 derajat
	Material	Materi radiolusen, non metal, indexing system
	Couch Lift / Maximum Patient Load	minimal 200 kg
	Motion control	hand pendants & couch side panels
	Backup / Manual movement in treatment failure	Tersedia
9	**Console/Desktop**	
	Standards Compliance	Full DICOM RT Compliance
	Console/Desktop Hardwares	Sesuai spesifikasi recommended (bukan spesifikasi minimal) untuk versi terbaru software linac yang tersedia saat ini (Complies with recommended specifications for latest version of the linac softwares)
	Linac Console / Desktop Control Software	Versi terbaru yang tersedia saat ini (Latest version /update)
10	**Accessories**	
	CCTV/camera	2 units: 1 with "wide angle" and 1 with zoom remote
	In room monitor	Available
	Laser for patient centering	3 set laser di ruang pesawat ; 2 di dinding 1 di plafon Tebal garis laser 1mm atau kurang
	Patient intercom system	Available
	Indexed trays for customized shielding blocks	Available (50 piece)
	Graticule tray for portal imaging	Available
	Mechanical front pointer	Available
	Control/function keypad	Available
11	**Electrical Power**	Voltage stabilizer included
12	**Cooling system**	Water Chiller - closed circuit system
13	**Electronic Portal Imaging (EPID)**	
	Detector	Amorphous silicon detector
	Planar MV Imaging	
	Active imaging area	Minimal 30 x 30 cm
	Max Field of View	Minimal 25 x 25 cm
	Image quality	
	Pixel resolution	minimum 768 x 768
	Image resolution	minimum 14 bit
	Pixel size at isocentre	Maksimal 0.5 mm
	Spatial resolution	9 lp/cm with the test object at the isocentre.
	Minimum imaging dose	Tidak lebih dari 4 MU
	Mechanical	
	Offset movement	Motorised, minimal +/- 11.5 cm offset pada arah longitudinal dan lateral
	Patient clearance	Minimal 90cm
	Retractable	Yes
	Include a collision avoidance system.	Available
	Isocentric stability	Maksimal 2mm
	Patient selection	
	Auto patient select option	Available

	Image manipulation	
	Single, double and multiple image acquisition mode	Available
	Movie loop playback	Available
	Image scaling methods and conventions	Available
	Patient, treatment and field definition	Available
	Adjust brightness and contrast, noise correction function	Available
	Invert black on white (air and bone display inversion)	Available
	View, edit, delete and print images and patient details	Available
	Callibration function	Available
	Image review	
	2D image registration	Available
	Automatic field edge detection	Available
	On- and off-line enhancement and registration of the images	Available
	On-line images for patient positioning verification	Available
	Off-line review and approval of images	Available
	Connectivity	
	DICOM RT Image support	Available
14	**Oncology Information System , including:**	
	Hardware:	1 Server 1 DCM Namer 2 User Workstations (diluar work stasion TPS dan CT Simulator) 1 treatment room communication hardware
	Software:	Patient Database Record&Verify E-chart Schedule Image Review
15	**Lisensi**	
	TPS for dynamic arc (VMAT/Rapid Arc/Smart Arc) IMRT Delivery	Available
	Epid workflow & Image registration	Available
	Control system license for 3D and step&shoot IMRT delivery	Available
	R&V license for 3D and step&shoot IMRT delivery and plan import from TPS	Available
	R & V Machine license for dynamic arc IMRT delivery (VMAT/Rapid Arc/Smart Arc)	Available
	System licenses for commissioning	Available
	Oncology Information System license for database, R&V, E-chart, schedule and image review	Available
16	**Installation**	**Uji Fungsi, Uji coba, Pengukuran paparan radiasi dan uji kesesuaian, kesediaan untuk membantu commisioning**
17	**Training**	**User application training (on site) untuk Radiografer Radioterapi, Fisika Medik, Teknik dan Dr Spesialis Onkologi Radiasi**

2.4.4.2. Spesifikasi Multi Energi

LINEAR ACCELERATOR, MULTI-ENERGY ROTATIONAL IMRT (VMAT)

Applicable Scenarios:

Single machine centre
Large proportion of abdominal / pelvic tumors
Balanced (40-60% curative)

Dynamic arc IMRT optional depending on Curative / Palliative mix

Conservative estimate of workloads: 8000 treatment sessions / year, assuming 20-30% static gantry IMRT. If dynamic arc IMRT delivery is used, can keep 8000 regardless of IMRT proportion.

No	Nama Alat Kedokteran/Spesifikasi Setara	
1	**Beams**	
	Photon energies nominal	Dual Photon Energy 6 & 10 MV
	Maximum dose rate	Sekurang-kurangnya 300 MU / min, dapat disesuaikan (adjustable)
	Fieldsize Range	0.5cm x 0.5cm hingga 40cm x 40cm
	Electron spot size	< 3 mm
	Penumbra (20-80%, d10 SSD 90 cm)	< 8 mm
	Head leakage	Sesuai IEC 60601 2 1
	Electron energies	at least 5 energies between 4 MeV and 25 MeV
2	**Dosimetry System**	
	Construction	Dual independent closed ionization chambers
	Reproducibility	1% or better
	Safety features	Interlock / treatment termination
3	**Wedge Filter**	
	Type	**Automatic wedge/Dynamic wedge/physical wedge**
	Angle Range	**Variable 0 - 60 °**
	Maximum field size with wedge	Sekurang-kurangnya 30 x 40 cm
4	**Beam shaping block - Multileaf Collimator (MLC)**	
	Type	MLC Digital, terintegrasi dengan treatment head, kontrol terintegrasi dengan linac control software di linac control system
	Leaf Number	Sekurang-kurangnya 80 leafs (2 set of 40 leafs)
	Pitch	Proyeksi lebar bilah maksimal 1 cm di bidang isocenter
	Maximum Field size at isocenter with MLC	Sama dengan luas lapangan maksimal
	Dynamic MLC	MLC bergerak selama proses IMRT
5	**Mechanical**	
	Isocentric height from floor	**Maksimal 130 cm**
	Isocentric clearance (jarak antara treatment head dengan isocenter)	**Minimal 40 cm**
6	**Gantry**	
	Rotation range	**Minimal ±180°**
	Distance from target to isocenter	**100 cm ±0.2cm**
	Mechanical and radiation isocenter accuracy with rotation of radiation head and gantry	**< 1 mm**

	Radiation accuracy at isocenter	**Maksimal 2 mm diameter sphere**
	Rotation speed	**Dapat mencapai 1 rpm**
	Readout accuracy	**+/- 0.5° (Digital dan Mekanikal)**
7	**Collimator**	
	Rotation range	Minimum ±150°
	Rotation speed	Dapat mencapai minimal 1 rpm
	Control	Local dan remote
	Digital scale Accuracy	±0.5°
	Mechanical scale Accuracy	±0.5°
	Asymetric collimator	Ya (Diafragma X dan Y)
	Collimator overtravel	Minimal 10 cm melewati central axis
	Lain-lain	Lampu lapangan radiasi (field defining light), optical range finder / optical distance indicator, cross-wires+wedge orientation.
8	**Pasien Treatment Table/Couch**	
	Range of movement:	
	Longitudinal Movement range	Minimal 100 cm
	Lateral Movement range	Minimal +/- 25cm
	Vertical Movement range	Tinggi meja terendah tidak lebih dari 66 cm Tinggi meja tertinggi tidak kurang dari 169 cm
	Column rotation range	Minimal +/- 100 derajat
	Material	Materi radiolusen, non metal, indexing system
	Couch Lift / Maximum Patient Load	minimal 200 kg
	Motion control	hand pendants & couch side panels
	Backup / Manual movement in treatment failure	Tersedia
9	**Console/Desktop**	
	Standards Compliance	Full DICOM RT Compliance
	Console/Desktop Hardwares	Sesuai spesifikasi recommended (bukan spesifikasi minimal) untuk versi terbaru software linac yang tersedia saat ini (Complies with recommended specifications for latest version of the linac softwares)
	Linac Console / Desktop Control Software	Versi terbaru yang tersedia saat ini (Latest version /update)
10	**Accessories**	
	CCTV/camera	2 units: 1 with "wide angle" and 1 with zoom remote
	In room monitor	Available
	Laser for patient centering	3 set laser di ruang pesawat ; 2 di dinding 1 di plafon Tebal garis laser 1mm atau kurang
	Patient intercom system	Available
	Indexed trays for customized shielding blocks	Available (50 piece)
	Graticule tray for portal imaging	Available
	Electron Applicators	Available
	Electron block cutter	Available
	Mechanical front pointer	Available
	Control/function keypad	Available
11	**Electrical Power**	Voltage stabilizer included
12	**Cooling system**	Water Chiller - closed circuit system
13	**Electronic Portal Imaging (EPID)**	
	Detector	Amorphous silicon detector
	Planar MV Imaging	
	Active imaging area	Minimal 30 x 30 cm
	Max Field of View	Minimal 25 x 25 cm
	Image quality	
	Pixel resolution	minimum 768 x 768
	Image resolution	minimum 14 bit
	Pixel size at isocentre	Maksimal 0.5 mm
	Spatial resolution	9 lp/cm with the test object at the isocentre.
	Minimum imaging dose	Tidak lebih dari 4 MU
	Mechanical	
	Offset movement	Motorised, minimal +/- 11.5 cm offset pada arah longitudinal dan lateral
	Patient clearance	Minimal 90cm
	Retractable	Yes
	Include a collision avoidance system.	Available
	Isocentric stability	Maksimal 2mm
	Patient selection	
	Auto patient select option	Available

	Image manipulation	
	Single, double and multiple image acquisition mode	Available
	Movie loop playback	Available
	Image scaling methods and conventions	Available
	Patient, treatment and field definition	Available
	Adjust brightness and contrast, noise correction function	Available
	Invert black on white (air and bone display inversion)	Available
	View, edit, delete and print images and patient details	Available
	Callibration function	Available
	Image review	
	2D image registration	Available
	Automatic field edge detection	Available
	On- and off-line enhancement and registration of the images	Available
	On-line images for patient positioning verification	Available
	Off-line review and approval of images	Available
	Connectivity	
	DICOM RT Image support	Available
14	**Oncology Information System , including:**	
	Hardware:	1 Server 1 DCM Namer 2 User Workstations (diluar work stasion TPS dan CT Simulator) 1 treatment room communication hardware
	Software:	Patient Database Record&Verify E-chart Schedule Image Review
15	**Lisensi**	
	Treatment Planning System for 3D, Static Gantry IMRT and Rotational IMRT	Included
	Target Delineation & Plan Review Workstation	Included
	Epid workflow & Image registration	Available
	Control system license for 3D and step&shoot IMRT delivery	Available
	R&V license for 3D and step&shoot IMRT delivery and plan import from TPS	Available
	R & V Machine license for dynamic arc IMRT delivery (VMAT/Rapid Arc/Smart Arc)	Available
	System licenses for commissioning	Available
	Oncology Information System license for database, R&V, E-chart, schedule and image review	Available
16	**Installation**	**Uji Fungsi, Uji coba, Pengukuran paparan radiasi dan uji kesesuaian, kesediaan untuk membantu commisioning**
17	**Training**	**User application training (on site) untuk Radiografer Radioterapi, Fisika Medik, Teknik dan Dr Spesialis Onkologi Radiasi**

2.4.4.3 Spesifikasi Brakhiterapi

Nama Barang	Spesifikasi Umum		Satuan
Brachytherapy	**a. High dose rate After loading system (after loader + control unit)**		1 Unit
	Type	**High Dose Rate Remote Afterloading Brachytherapy System**	
	Capability	Multi Channel High Dose Rate (HDR)	
	Usage	Intracavitary, Intraluminal, Interstitial, Interaoperative, surface mould radiation therapy.	
	Medical Protocols Documentation	Publications in internal journals concerning the protocol results and uses of the tendered system shall be submitted	
	Certification	should have an ISO 9001 and FDA certification and must conform to EMC directives	
	Treatment Unit		
	Channels	Multichannel indexer with a minimum of 9 channels and can be upgraded at a later time to higher number of channels	
	Verification	Verification of channel number and applicator connection using automatic / optical	
	Check Cable Capability	a. Should be able to do complete system check automatically prior to treatment b. Able to use "Dummy" as source to allow simulation of particular source locations	
	Source & Check Cable drive	Available	
	Needles of 18 gauge (1.3mm diameter)	Available	
	Movement	Treatment unit should be on wheels for easy mobility within the room	

	Telescopic head	Treatment unit should have a telescopic head to adjust for various heights		
	Stepper motors	The system should have separate stepper motors to control the dummy check cable and Source cable.		
	Safe source container	shall comply with International safety regulations		
	Source retraction	In an event of emergency / power failure, the source should be able to be retracted by the following methods: - By an independent DC motor as primary backup method - Manual source retraction through hand crank as secondary backup method		
	Radiation detector	Treatment unit must have a (built-in) integrated radiation detector (GM Tube type)		
	Battery back up	The system must have battery back up and indicator of battery condition.		
	Control Unit			
	Hardware	Stand alone and independent PC based control unit with color monitor, keyboard, mouse, printer (for hardcopy)		
	Console & Interface	Control unit console must be user friendly including graphical user interface. Extensive reporting facility are required.		
	Self-testing	Should have a self-testing feature for system check, indexer/RAM and battery		
	Data storage	Control unit must allow storage of multiple standards and keep track of patients fractionated treatment.		
	Access	Must be limited access to authorised users with Password protection		
	Decay correction	The treatment times must be automatically corrected for the decay of the source		
	Dwell position	Multiple dwell positions at not more than 2.5 mm increments for the source in each channel		

	Treatment Length & step source	Treatment length of up to at least 40 cm should be possible with/without source step adjustments		
	Status code	Online extensive display of status codes with an indication of the action required		
	Display	Provides information on step position & corresponding dwell time to 0.1 sec and Total reference air Kerma (TRAK)		
	Protection	Built-in protection circuit to prevent treatment without proper applicator connection and/or proper indexer locking		
	Log book and events	Control unit must contain built-in log book and all events should be recorded		

	b. Treatment Planning System 3D Brachytherapy		1	unit
	1. Minimum Hardware Specification			
	Workstation with minimum specification:		1	pcs
	Processor	minimum Intel Xeon 3600/5600 or E3/E5 series		
	Memory	minimum 6GB DDR3 ECC memory		
	Hard Disk	minimum 2 hard disks 7200 rpm: 1 HDD with minimum capacity of 300 GB or 80 GB solid state disk, and 1 high capacity HDD with minimum capacity of 500GB		
	Digital Image Input	Available via DICOM and scanner		
	Flatbed Scanner (A3):	- High performance 2400 dpi - Large format scanner with transparency unit - Can scan x-ray films bigger than 12inch x 16inch	1	pcs
	Monitor	Flat monitor with an advanced drawing tablet should include interactive pen for 3D contouring organ at risk and image fusion directly on the monitor	1	pcs
	Multicolor Printer (A3)	Colour printer with capability output size A4/A3	1	pcs
	Backup Data	Minimum 1 TB external hard drive storage capacity	1	pcs
	UPS	Power Supply back up for Workstation, scanner dan printer	1	pcs
	2. Brachytherapy Threatment Planning System 3D Features for Brachytherapy Treatment Planning System 3D:		1	pcs
	Software:	brachytherapy planning software with highly conformal plans in an efficient workflow to increase plan accuracy and reduce planning time.		

	2D and 3D Image	Must process 2D and 3D images taken from X-ray, CT, MR, and PET/CT for image registration		
	Image Registration / Fusion	Multiple methods for image registration must be provided		
	Film based reconstruction methods	The following X-Ray reconstruction technique are required: - Orthogonal - Isocentric - Variable Angle - Semiorthogonal - Multiple image set - Independent point test to verify reconstruction set-up - Reconstruction results back-projected onto projective datasheets - Adaptation of reconstruction data at any time in clinical workflow		
	3D contouring on fused images	The following tools are required : - Slider to scroll between images - Spyglass On multilayer image from different modalities, capacity to open a "visual hole" to the nest layer below for better countouring - Checkerboard, rectangle and blended images display - Continuous or poligon drawing - Countouring on transverse, sagittal and coronal planes - Countouring on any arbitary plane - Countour extrapolation and interpolation - Boolean operation (Union, Substraction) - User friendly automatic countouring tool		

		- Rapid Volume countouring - Distance and angles measuring tools - "Brush" or "Pearl" contouring tool		
	Applicator Modeling	Modeling tool for highly accurate modeling of gynecology applicator in CT/MR data set and X-Ray film should has features : - Applicator library - Support gynecology applicators, including shielded applicators - Support projective films, CT and MR data - Measured source paths for ring applicator		
	Dose Calculation	Dose Calculation based on AAPM TG-43 and TG-186 - Maximum active length of not more than 2 cm shorter than treatment length (active length not less than 38 cm for a unit with 40 cm maximum treatment length) - Maximum implant size of at least twice the number of channels (at least 36 catheters for a 18-channel unit, etc) - Display of source strenght and apparent source activity at calibration date and current date		
	Dose Optimization	- Should able to do forward optimization manual, geometrical, graphical and dose point - Should include inverse planning with dwell time deviation constraint		
	Dose Evaluation	Available for plan evaluation and analysis with following features: - Real-time DVH - Live dose display tool in any plane and 3D - Cold and hot spot display on any slice		

		- Cold and hot spot display in 3D view - Multiple plan comparison - Synchronized plans comparison	
	Reporting	Treatment plan report should has capabilities : - Treatment plan printout - Output manager - Hardcopy isodose distributions - User defined scaling - Source decay tables - Screenshots of current view	
	DICOM Connectivity	Able to import digital images from X-ray, CT and MRI through DICOM connectivity. DICOM conformance statement must be provided	

	c. Applicators for treatment		**1 Set**
	Gynecology	Minimum 1 set of Interstitial CT/MR Cervix Applicator set (Utrecht or equivalent) with intrauterine tube diameter 4mm Minimum 1 set of Cervix Applicator (preferably Rotterdam / RRTI) set with intrauterine angle 30 degree Minimum 1 set Vienna Ring CT/MR Applicator set with diameter ring size approximately in the range of 25-30 mm Minimum 1 set of Vaginal CT/MR Multi Channel Applicator Set Minimum 1 set Nasopharyngeal Applicator (Rotterdam or its equivalent) Minimum 1 set of Endometrial Applicator (Rotte or equivalent) with complete set of sizes from 20-50 mm
	Prostate, Rectum & Bladder	Minimum 1 set of Perineal Interstitial Template Applicator Set (MUPIT or its equivalent) with needle diameter < 2 mm
	Skin & Surface	Minimum 1 set of Surface Mould / Flap Applicator
	Interstitial	Minimum 1 set of Interstitial Needles of < 2mm diameter
	Flexible Implant	Minimum 1 set of Flexible Implant Tube, 6F, 30cm which can be cut to appropriate end length
	Treatment Tube	- Gyn Transfer tube Set should be available - Gyn Transfer tube Set Ct/MR should be available - Transfer tube set (flexible) compatible with applicators should be available - Transfer Tube set for Needles should be available

	Catheter set Marker set Guiding Tube Obturator	Treatment tubes to connect all Applicators should be of constant length to prevent stretching and slippage and must have quick fit safety connections - Catheter Set compatible with applicators are required - X-ray catheter set CT/MR Gyn for CT/MR tubes are required - X-ray catheter set for all afterloader with 30cm leght are required CT and MR Line marker Guiding tube ovoid set for interstitial Insertion obturator for needles, with handle, must be provided	
	d. Brachy Radiation Protection & QA tools	Independent room radiation monitor Source position check device Ionisation chamber for source calibration 3D Reconstruction tools Source position simulator	**1 Set**

	e. Source alocation for 7 year operational		
	Source	The source must be a single High-Dose-Rate source with active length of less than 4mm. For Iridium source, the activity should not be less than 10,000 mCi upon delivery.	
	Connection	Source cable connection must be tested to withstand adequately large number of transfers per source during the expected duration of source utilization (at least twice the number of estimated source transfers of 7 patients at 5 transfers per patient until time of 30% of initial source activity)	
	Source cable	Can be bent up to a curve of minimum 1cm radius	
	Multi strand	The source cable must be a multi strand with small diameter (< 1 mm)	
	Movement	The source cable should move forward with an accuracy of + 1mm and must be controlled by stepper motors	
	Source drive	The source drive out length from indexer should at least be 1500 mm.	
	Activity Supply Iridium-192 radioactive sources	New source must be supplied before the old source reaches 30% of initial activity	
	Source handling	The delivery Iridium sources, must include: On site delivery (Bapeten approval) Removal and dispatching of old source Preventive maintenance inspection at each source replacement	

	f. Training and support Training Assistance	 Training in usage of the Afterloader, Treatment Planning System, and include clinical training for 3D Brachytherapy Contractor/vendor shall provide assistance for : TPS initial set up 3D brachytherapy planning Document preparation prior to application for "izin konstruksi" Document preparation prior to application for "izin pemanfaatan"	
	g. Supporting equipment Treatment Table	Patient table designed for Brachy	**2 Pcs**

2.4.5. Alat Pengukur Penjamin Kualitas Pesawat Radioterapi

Jaminan kualitas pada radioterapi terdiri dari beberapa prosedur yang dapat menjamin dosis target seusai, meminimalkan dosis yang diterima jaringan normal,. Keseluruhan tersebut membutuhkan alat ukur yang terstandard dan terkalibrasi yang diakui. Berikut adalah alat-alat yang dibutuhkan dalam menjamin kualitas

Spesifikasi Alat Ukur Output Pesawat LINAC dengan Teknik 3D dan IMRT :

1. RFA (Radiation Field Analyzer) + detektor(field dan reference) *continous scan*
2. Holder untuk detektor ion chamber dan detektor Roos (untuk elektron)
3. Mendapatkan lisensi software untuk absolute dan relatif, sehingga RFA dapat mengerjakan pengukuran absolute dan relatif.
4. Untuk LINAC yang menggunakan teknik 3D tidakmemerlukan alat verifikasi teknik IMRT.
5. IMRT syarat wajib harus punya alat verifikasi IMRT
6. Detektor yang baik untuk mengukur lapangan kecil
7. Elektrometer
8. Sumber stabil untuk pemeriksaan kestabilan detektor

2.4.6. Alat Proteksi dan Keselamatan Radiasi

Proteksi radiasi tidak hanya penting untuk pasien, tetapi juga untuk para staff yang bekerja berdekatan dengan sumber radiasi/ materi radioaktif, lingkungan sekitar tempat pelayanan radioterapi, dan juga proteksi terhadap sumber radiasi itu sendiri. Keselamatan radiasi harus mencapai standart yang maksimal mulai dari proses lisensi suatu instalasi yang harus disetujui oleh BAPETEN, proses pembangunan dan pengembangan radioterapi, dan proses pelayanan. Sehingga dibutuhkan sumber daya manusia yang memiliki kompetensi sebagai petugas proteksi radiasi medik tingkat I. selain hal tersebut diatas PPR Medik Tingkat 1 dibutuhkan untuk perizinan BAPETEN seperti izin konstruksi bunker dan pemanfaatan pesawat radioterapi.

Berikut adalah alat-alat yang dibutuhkan dalam menjamin keselamatan radiasi

1. Survey meter
2. Statik Survey meter (untuk ruang Brakhiterapi dan Cobalt-60)
3. Apron
4. TLD Badge
5. Dosimeter saku

2.4.7. Alat dan Ruangan Penunjang Dalam Pelayanan Radioterapi

KEBUTUHAN UTAMA														
No.	**Modalitas**	**Energy**	**Penunjang**							**Alat Fixasi**	**Alat Ukur**	**UPS**	**Proteksi Radiasi**	**SDM**
1	Linear Accelerator (LINAC) dengan Epid	single Energi	Ct-Scan Simulator	Treatment Planning System (TPS)	Mouldroom	none	none	none	none	Masker, Blue bag, dan base plate	untuk pelayanan dengan teknik 3d butuh RFA + detektor (feild dan reference), sedangkan untuk pelayanan dengan IMRT butuh	UPS	Surveymeter, Apron, Longtang, Kontainer Source, Surveymeter statik, CCTV dan Interlock, TLD Badge	Dokter Spesialis Onkologi Radiasi, Fisika Medis, Radioterapis/ Radiografer, teknik Medik, Perawat, petugas Mouldroom
2	Linear Accelerator (LINAC) dengan Epid	dual Energi dengan elektron												
3	Cobalt 60	Source Co-60												
4	Brachyterapi 3d	Iridium atau Cobalt				Ruang persiapan	Ruang Pasang aplikator (R.Prosedur)	Ruang Lepas Aplikator	Ruang Pemulihan	Aplikator Bawaan dari pembelian pesawat	aktifitas Source, cek posisi source, detektor, dll			

2.4.8. Spesifikasi kebutuhan alat-alat Radioterapi

I. LINAC

No	alat	jumlah	LINAC 3D with EPID	LINAC IMRT/VMAT with EPID/CBCT	LINAC 3D/IMRT/VMAT/SRS/SRT/SBRT with EPID & CBCT	Keterangan
1	LINAC Tipe:		+	+	+	
	Lisence IMRT atau VMAT dengan TPS	1 set				e-catalog
	Chiller					
	cctv and intercom					
	stabilizer 100KVA					
	UPS 120 KvA	1	+	+	+	e-catalog
2	QA & QC					
	Cone Beam CT QA (jika memiliki Cone beam CT)	1		-/+	+	Lelang
	Relative Dosimetry System	2	+	+	+	e-catalog
	CT-density calibration phantom	1	+	+	+	Lelang
	Absolut Dosimetry dan phantom absolut dosimetri	2	+	+	+	e-catalog
	slab water phantom	1	+	+	+	Lelang
	small field dosimetry (diode atau microchamber atau diamond)	2			+	Lelang
	daily fantom check (mekanik, laser dan isocenter)*	1	+	+	+	Lelang
	daily detector (output dan profil konstansi cek)	2	+	+	+	Lelang
	IMRT Dosimetry including rotational delivery	1		+	+	e-catalog

	EPID QA*	1	+	+	+	Lelang
	Invivo Dosimeter*	1		+	+	Lelang
	Survey Meter neurton	1	+	+	+	Lelang
	Survey Meter foton	2	+	+	+	e-catalog
	IMRT Phantom	1		+	+	Lelang
	Film Radiochromic*	2 box pertahun		+	+	Lelang
	Software reader Film radiochromic*	1		+	+	Lelang
	Sumber QA Ion Chamber	2		+	+	Lelang
	Scanner *	1		+	+	e-catalog
	Digi Sense Thermometer	1	+	+	+	Lelang
	Termo hgyrometer	1	+	+	+	e-catalog
	Anthropomorphic phantom*	1			+	Lelang
	end to end test phantom (dengan 3 densitas yang berbeda : soft tissue, lung, dan bone)	1		+	+	Lelang
	mini phantom	1	+	+	+	Lelang
	Digitize	1	+	+	+	Lelang
	Altimeter Barometer	1	+	+	+	Estimasi
3	FIKSASI PASIEN					
	Base Plate Head & Neck	2 set	+	+	+	Lelang
	Pillow/Cushion : Head (dengan bermacam posisi), Knee, Footrest	2 set	+	+	+	Lelang
	Mask : 3 Point for head, 5-7 Point for Head and Neck	20 set	+	+	+	Lelang
	Shoulder Retractor	2 set	+	+	+	Lelang
	Brest & Thorax (inclinator)	2 set	+	+	+	Lelang
	Body Fix For SBRT (blue bag)	10 set			+	Lelang
	Vacum Cushion	1			+	Lelang

4	MOULDING - styrofoam cutter - alloy dispenser/melted - water cooled refrigerating plat - casting frame for styrofoam block - alloy cerro 70 degree 50kg - styrofoam block ukuran 300x300x80 mm 28 pcs per box - bolus	1 set	+	+	+	e-catalog
5	PERSONAL DOSIMETRY	5	+	+	+	Lelang
6	TLD Badges	50	+	+	+	Lelang
7	LEAD APRON	6	+	+	+	Lelang
8	THYROID COLLAR*	2		+	+	Lelang
9	KACA MATA PB*	2			+	Lelang
10	SARUNG TANGAN PB*	2			+	Lelang
11	BOLUS	1 set	+	+	+	Lelang
	Jumlah:					

II. BRACHITERAPY

no	alat	jumlah	Brakhiterapi 2D	Brakitherapi 3D	Keterangan
1	BRACHYTERAPY Tipe:				
	Brakiterapi Cobalt 60 dengan masing masing 3 set aplikator, jarum interstitial dan plate.	1	+	+	Lelang

	C-Arm X-ray & Floroskopi with CR / DR	1	+		Lelang
2	Kaset Dam for CR	1	+		Lelang
	Film Ruler*	2 box pertahun		+	Lelang
	Long Tang	1	+	+	Lelang
	Meja pasien brakhiterapi	5	+	+	Lelang
	cctv dan intercom	1	+	+	Lelang
	set alat bedah gynecologi	5	+	+	Lelang
	USG	1		+	Lelang
	Pasien Monitor/Bedside monitor	1	+	+	Lelang
	ventilator	1	+	+	Lelang
	Defibrillator	1	+	+	Lelang
	Unit Oksigen	1	+	+	Lelang
	Sterilisator	1	+	+	Lelang
	auto radiograph film	1	+	+	Lelang
	ruler check cable	1	+	+	Lelang
	well-type chamber	1	+	+	Lelang
	JUMLAH:				

III. CT SIMULATOR

NO	ALAT	JUMLAH	Non IGRT System	IGRT System	KETERANGAN
1	CT Simulator	1 set	+	+	e- catalog
	UPS 120 KvA	1	+	+	e- catalog
	Injektor	1	+	+	e- catalog
	Printer	1	+	+	e- catalog
	Dry Laser Image	1	+	+	e- catalog

	Couchtop for radioterapy	1	+	+	e- catalog
	Laser for posititioning patient (moving laser)	1	+	+	e- catalog
	Couch Plate	1	+	+	e- catalog
2	Fantom CTDI*	1		+	Lelang
	Fantom Catphan	1	+	+	Lelang
	Ion Chamber*	1		+	Lelang
	Virtual Simulation	1	+	+	Lelang
	laser phantom	1	+	+	Lelang
3	Breathing management System	1		+	Lelang
	Jumlah				

Note :

*** Dapat dilakukan pada saat pelayanan sudah berjalan**

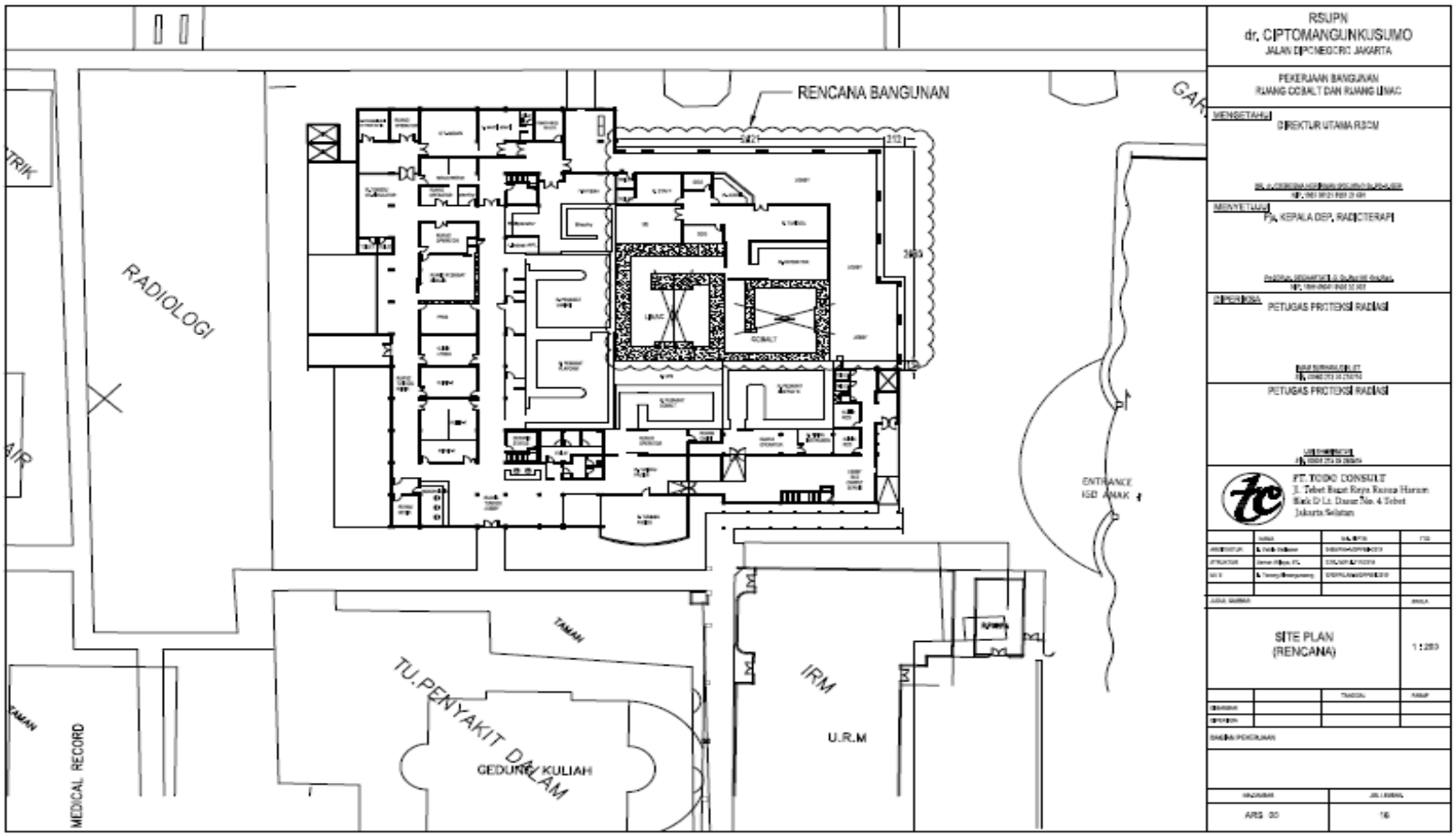
2.5. *BUNKER*

Untuk membangun fasilitas radioterapi diperlukan rancang bangun (*master plan*) yang memenuhi standar tata ruang sesuai dengan rekomendasi *National Council on Radiation Protection and Measurements* (NCRP) *Report* No.151 dan IAEA Safety Reports Series no. 47. Di samping itu pihak vendor yang punya alat juga harus memenuhi ketentuan BAPETEN termasuk dalam hal sistem kedaruratan. Ruang radioterapi (*bunker*) dan fasilitas penunjang lainnya memerlukan penataan yang baik, sehingga dapat menjamin keberlangsungan pelayanan dengan maksimal kepada pasien. *Bunker* berfungsi untuk mencegah paparan radiasi terhadap daerah sekitar, sehingga dalam pembangunanya diperlukan pengawasan oleh tenaga ahli untuk mencegah terjadinya kebocoran radiasi. Ukuran tebal dinding dan jarak antara dinding yang direkomendasikan berdasarkan perhitungan shielding yang mengacu kepada NCRP 151 atau SRS 47, dan untuk kerapatan struktur beton pada *bunker* adalah 2.35 g/cm^3.

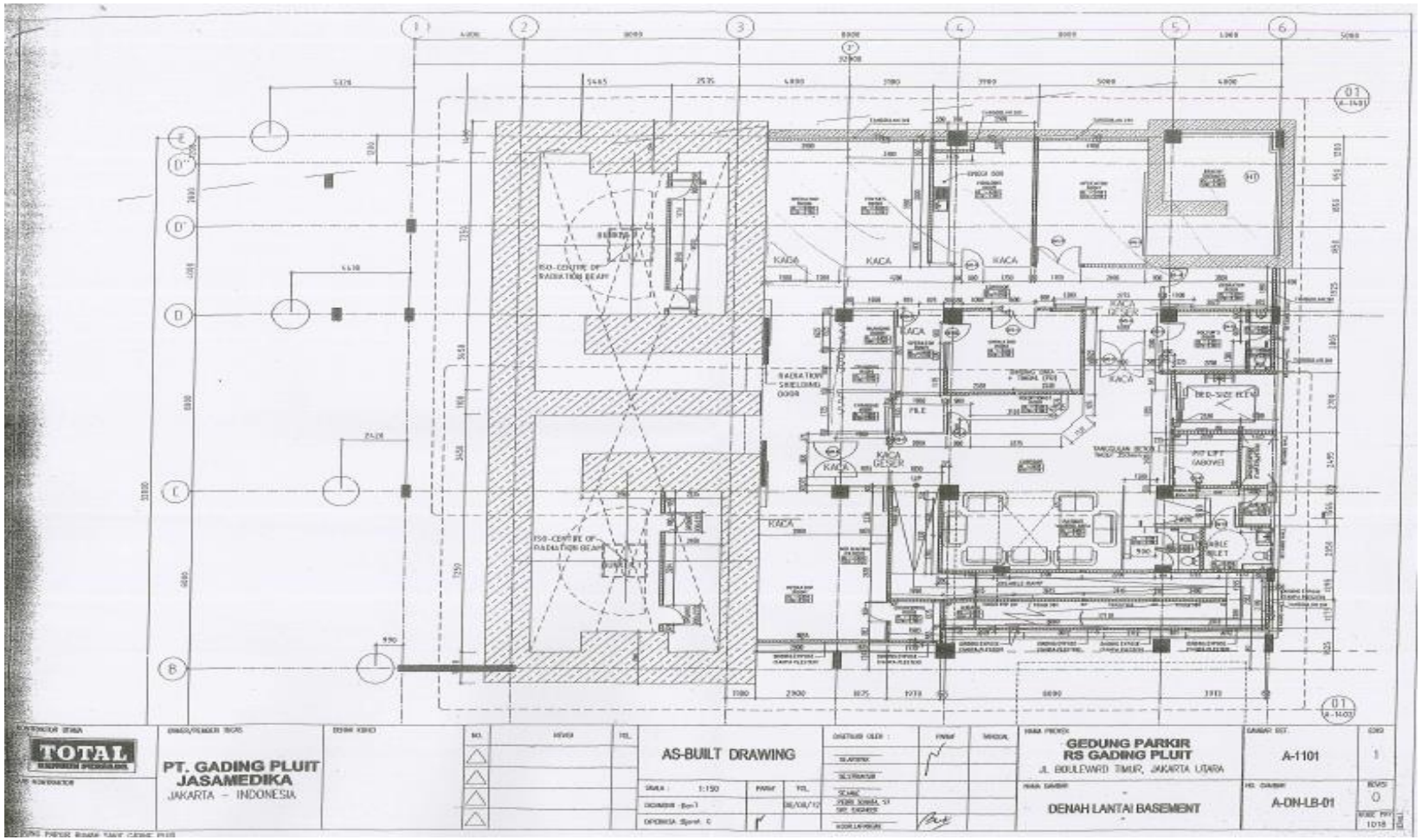
Untuk detail informasi lebih lanjut mengenai pembuatan fasilitas radioterapi dapat menggunakan rujukan dari IAEA Safety Reports Series no. 47. Sedangkan pedoman pembuatan fasilitas radioterapi sesuai dengan manufaktur pesawat penyinaran dapat merujuk kepada:

1. Designers Desk Reference Varian
2. Site Planning Construction and Electrical Information Elekta
3. Treatment Room Requirement for Teletherapy Cobalt-60 Best Theratronics LTD Canada
4. Building Technical Requirements-GWXJ80 Cobalt-60 Therapy Unit from Nuclear Power Institute of China 2007

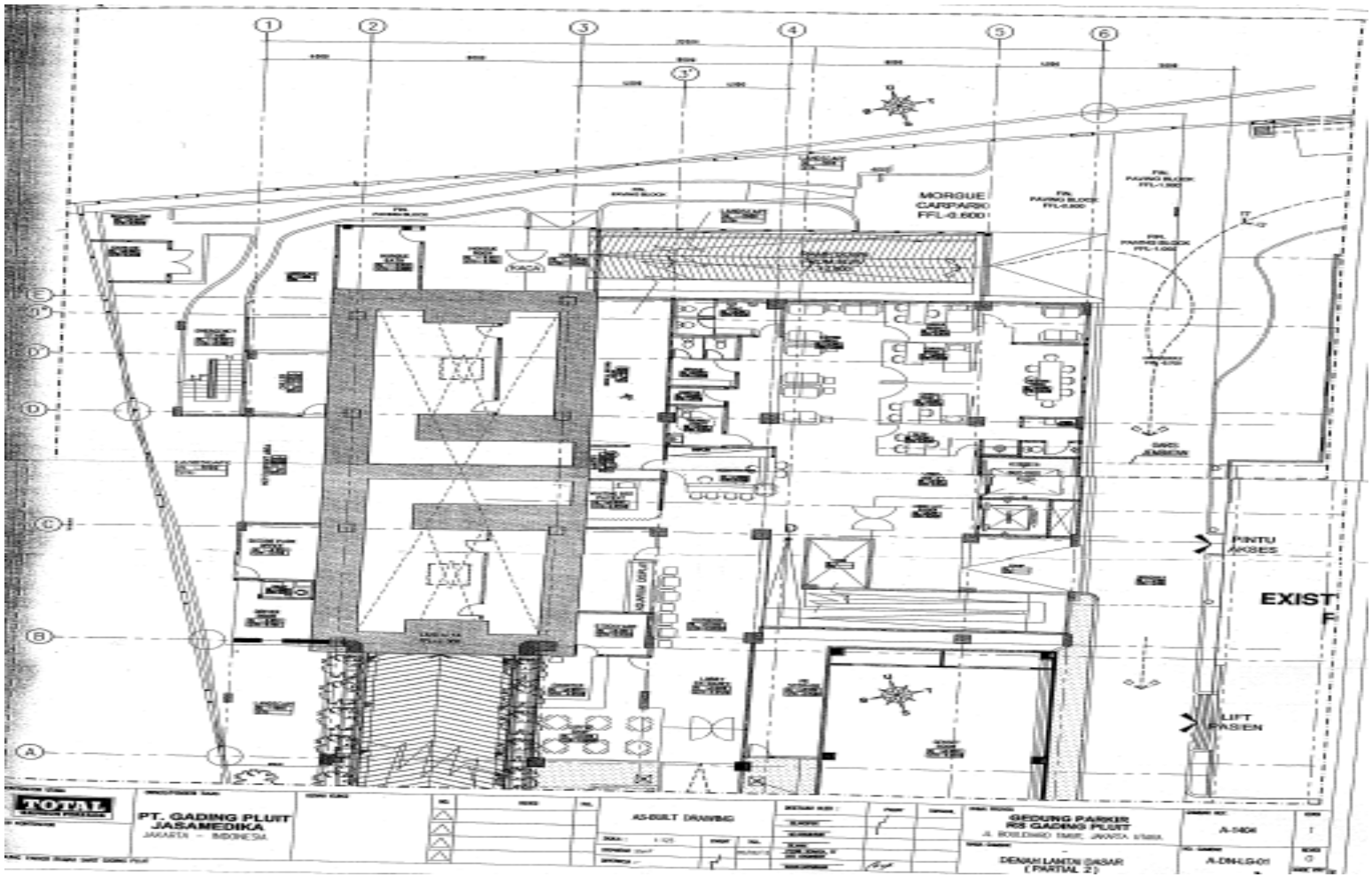
Berikut adalah contoh beberapa denah *bunker* :



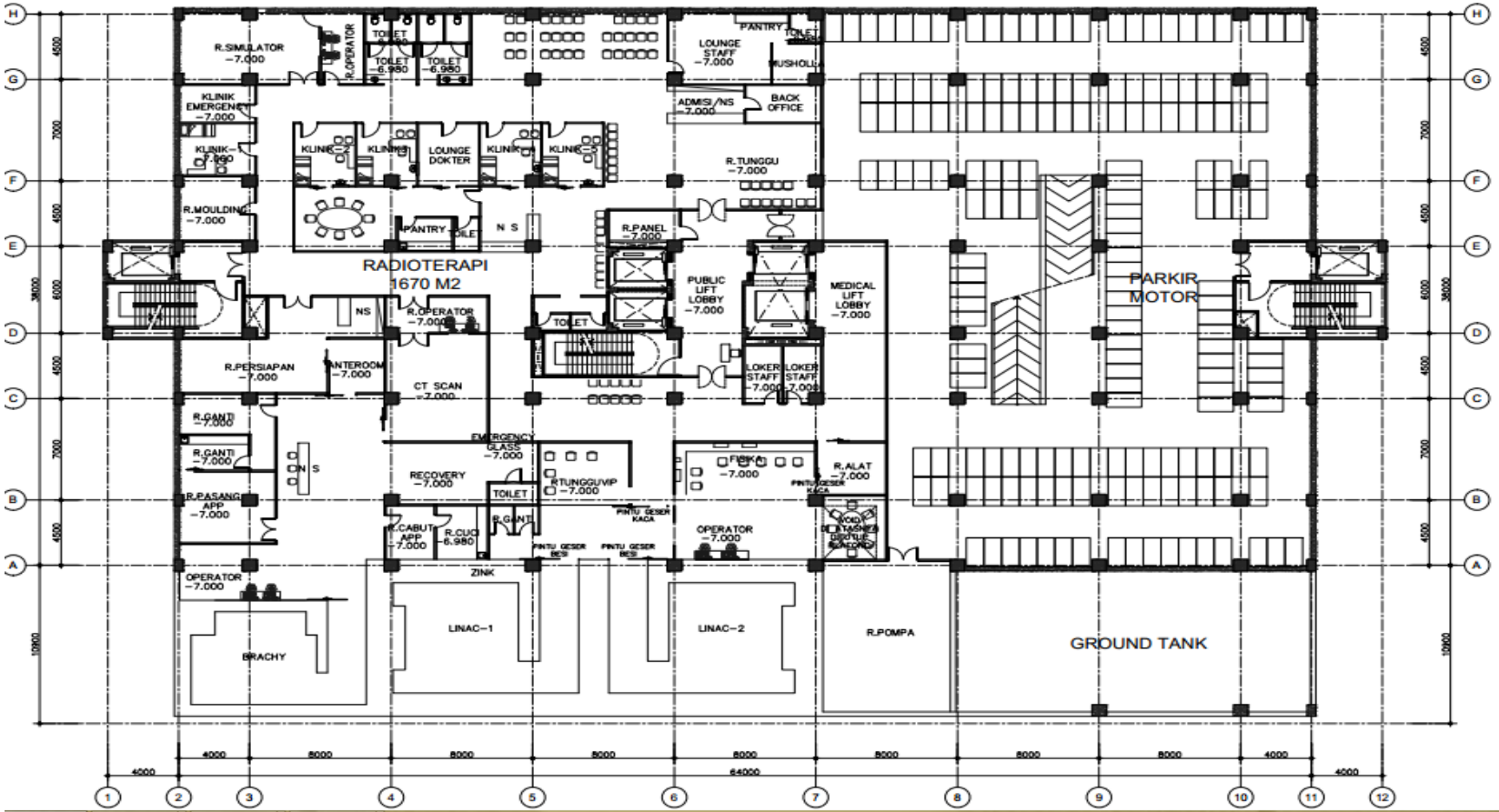
Gambar 2.5.1. Denah Radioterapi RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo



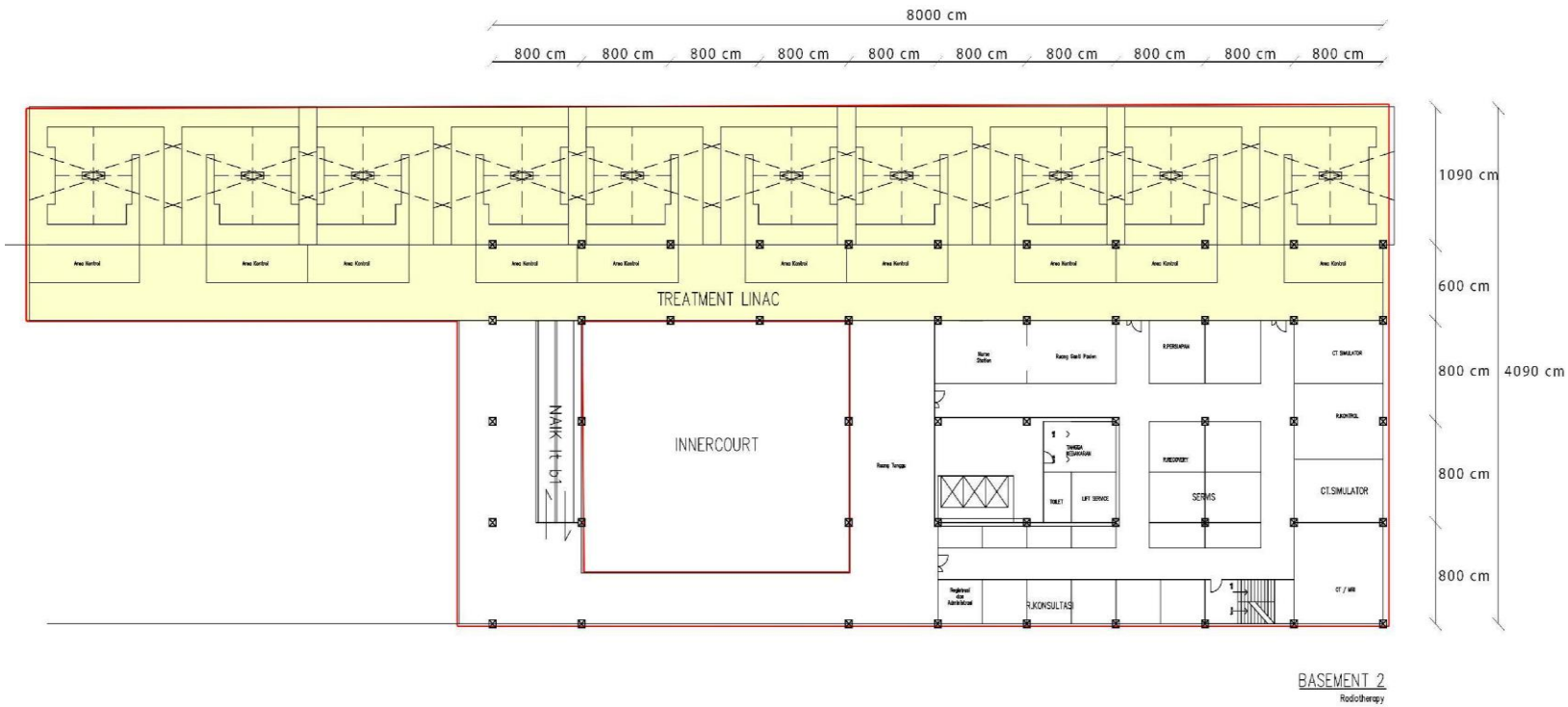
Gambar 2.5.2. Denah Radioterapi Rumah Sakit Gading Pluit



Gambar 2.5.3 Denah Radioterapi Rumah Sakit Gading Pluit



Gambar 2.5.4 Denah Radioterapi RS PELNI

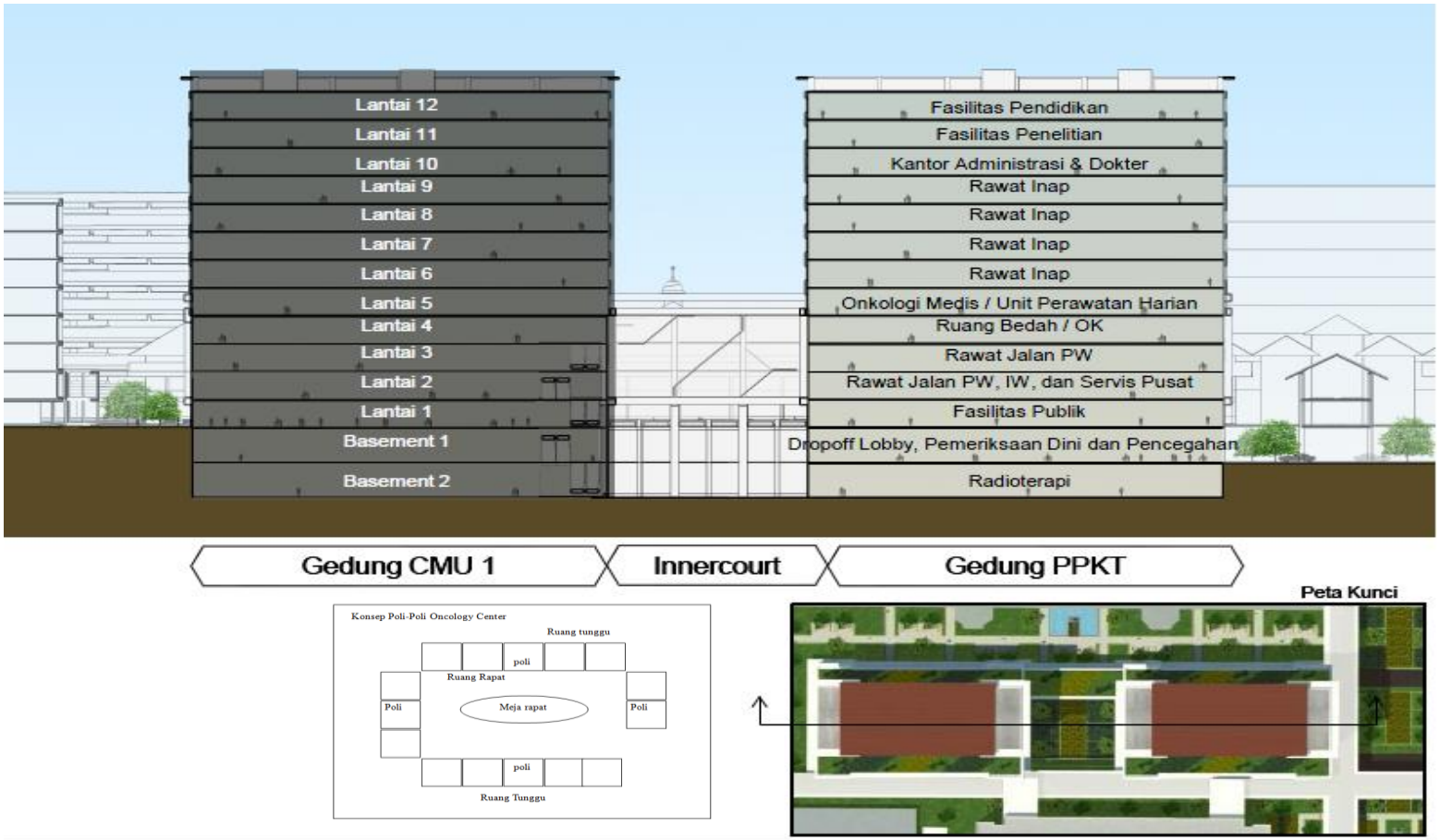


Luas Area dalam Garis Merah : 3567m²
Luas Area LINAC (arsir kuning) : 2055m²
Luas Area non-LINAC : 1512m²

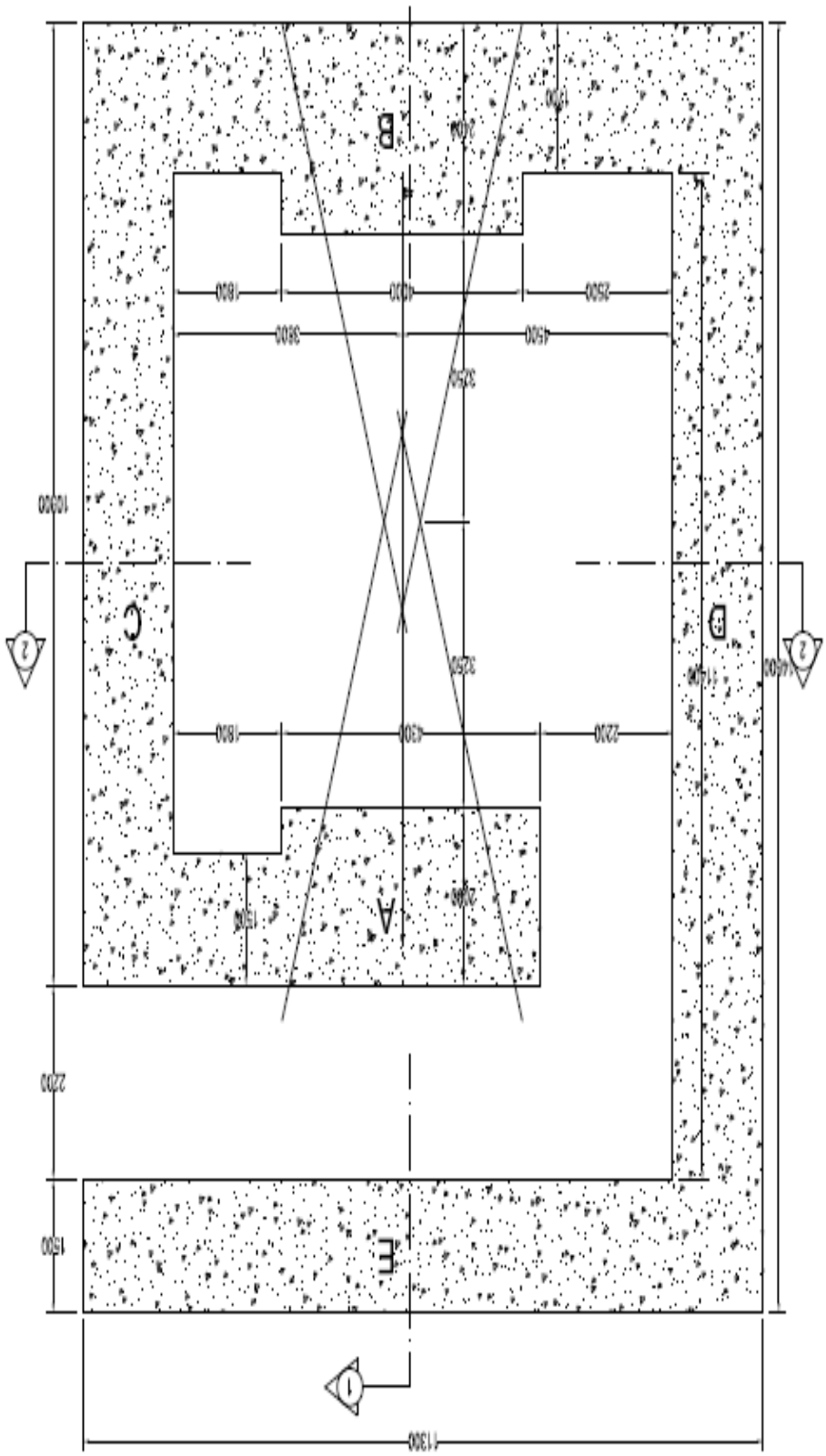
BASEMENT 2

Pada lantai ini direncanakan berupa fungsi radioterapi

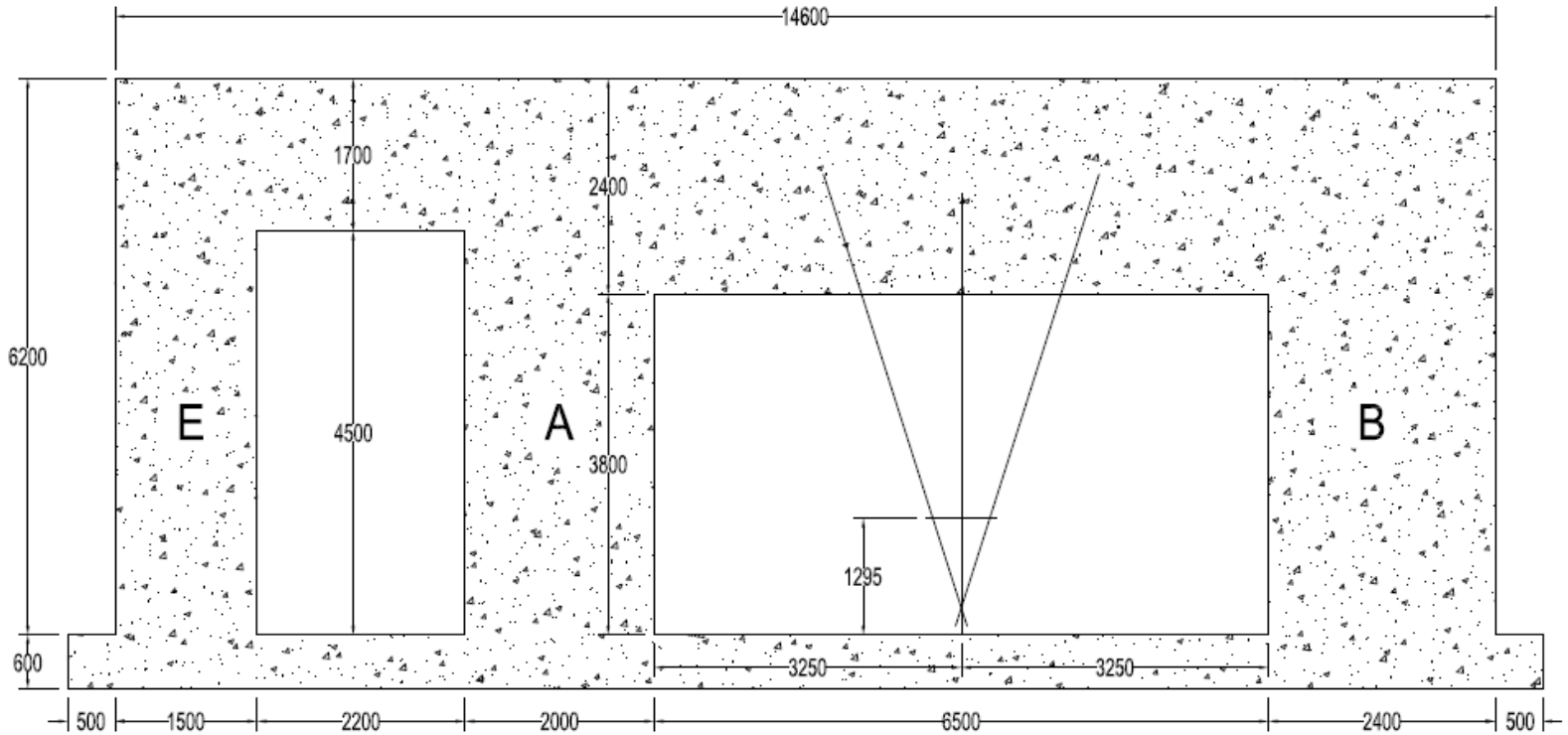
Gambar 2.5.5 Oncology Center RSUPN DR. Cipto Mangunkusumo



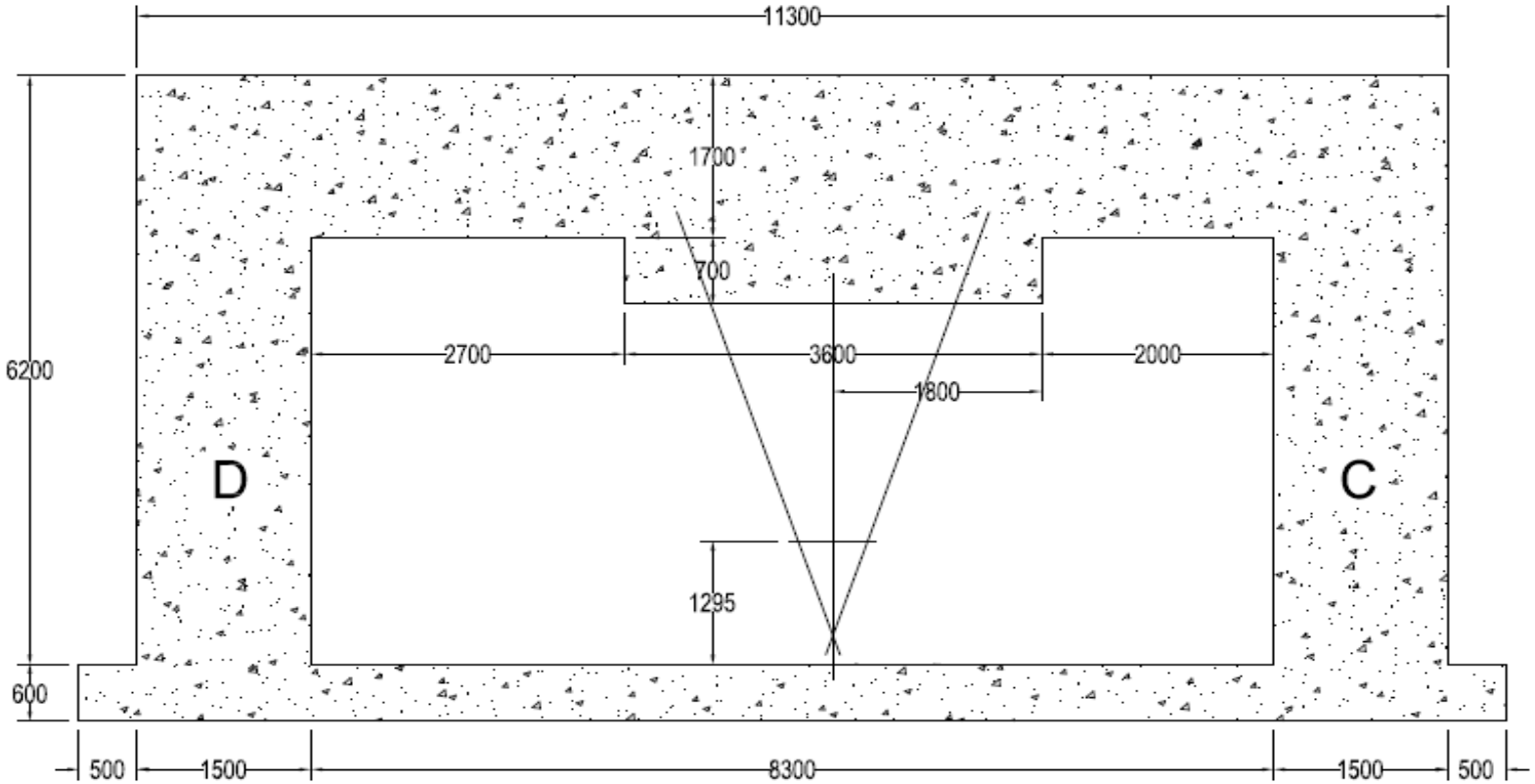
Gambar2.5.6 Oncology Center RSUPN DR.Cipto Mangunkusumo



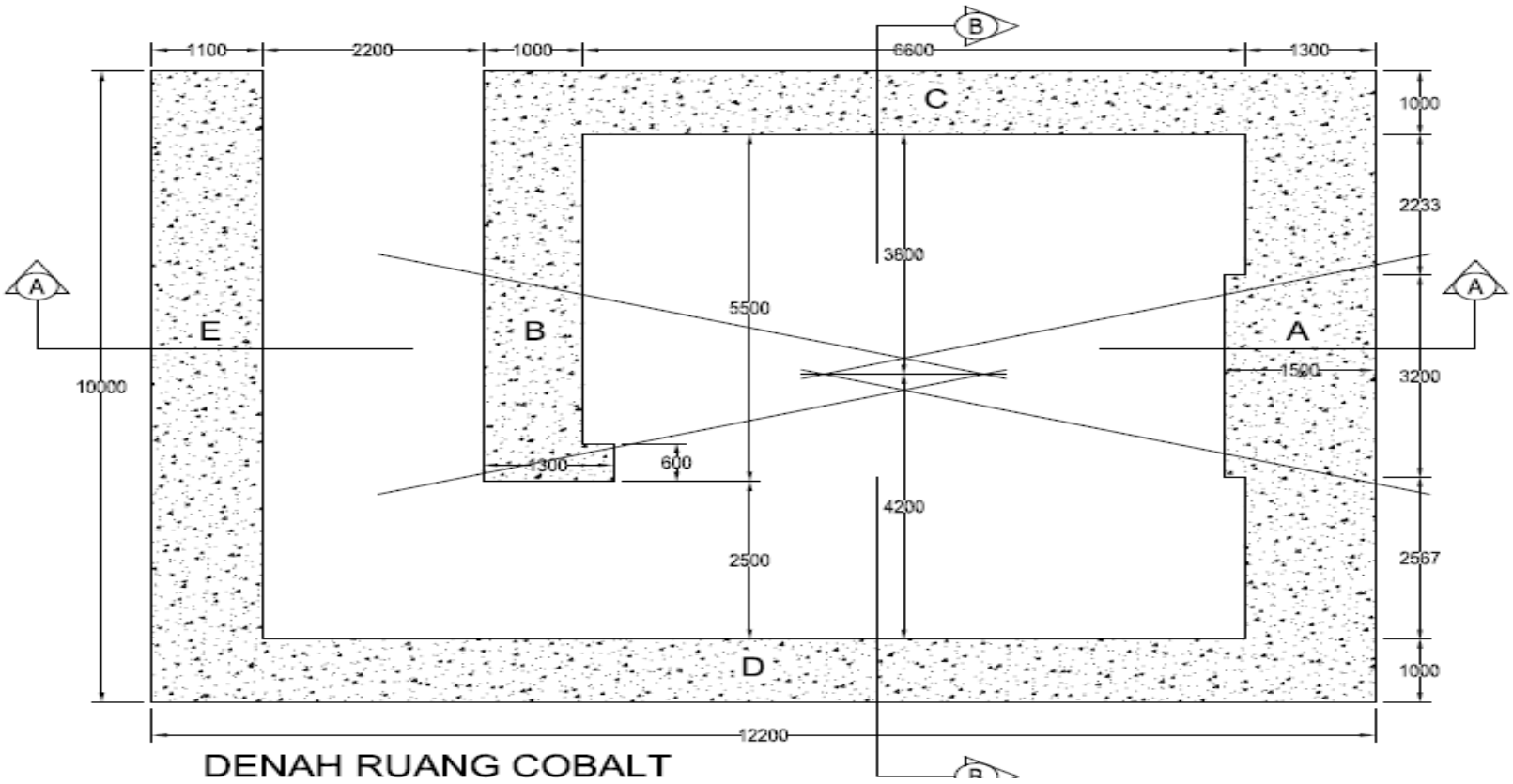
Gambar 2.5.7 Potongan atas *bunker* LINAC



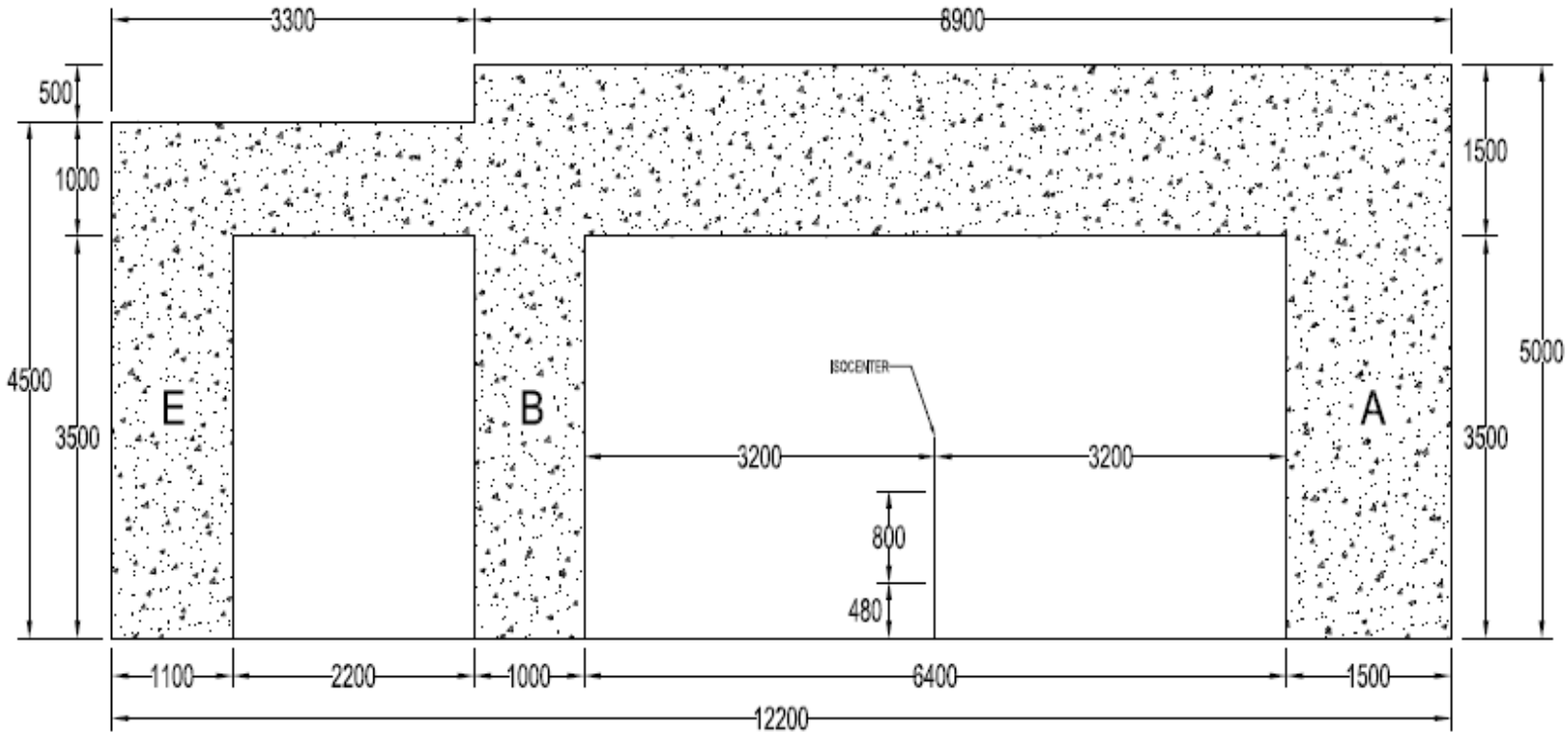
Gambar 2.5.8. Potongan depan bunker LINAC



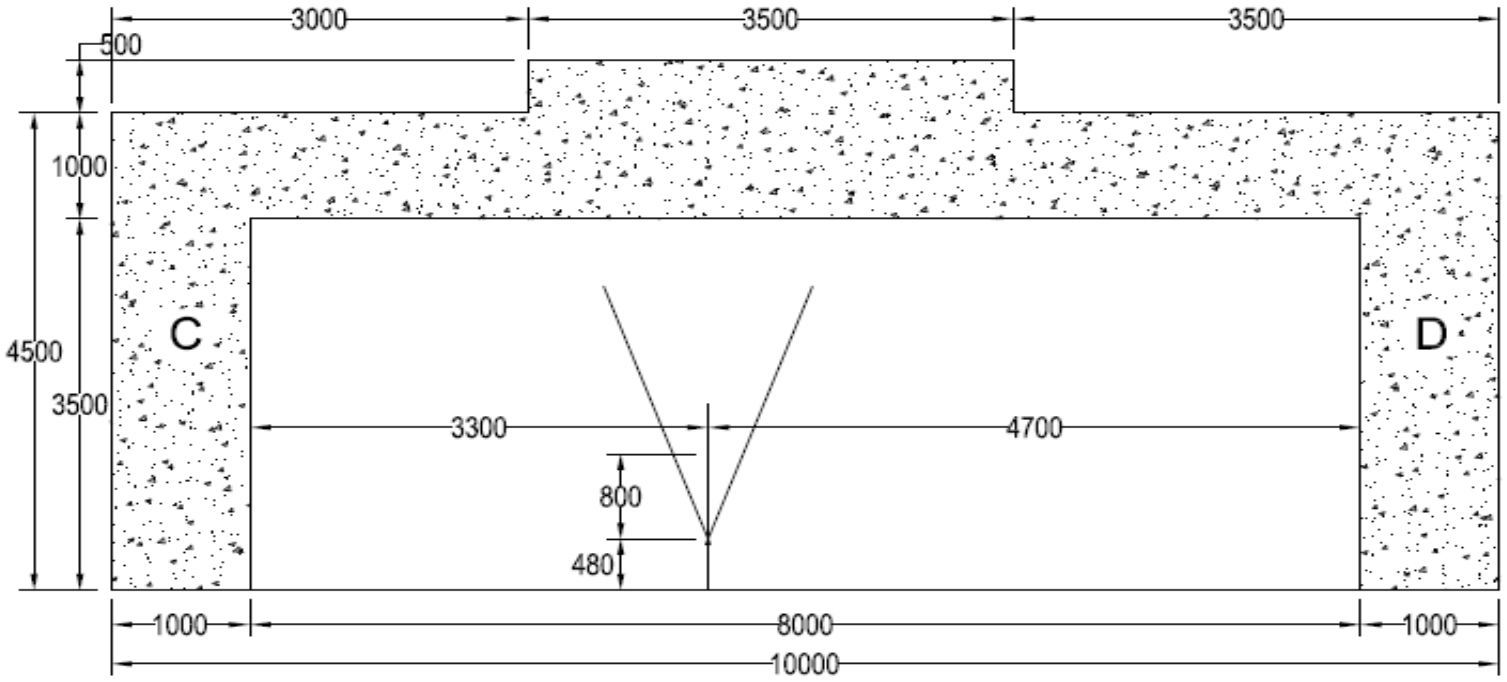
Gambar 2.5.9 Potongan samping *bunker* LINAC



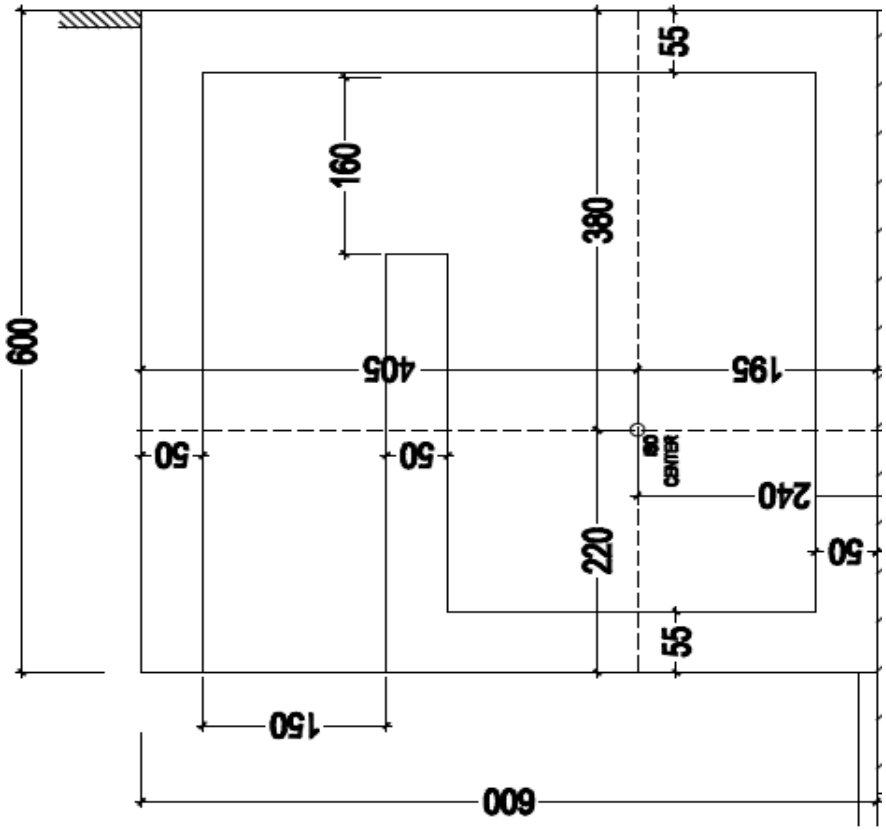
Gambar 2.5.10 *Bunker* Cobalt-60



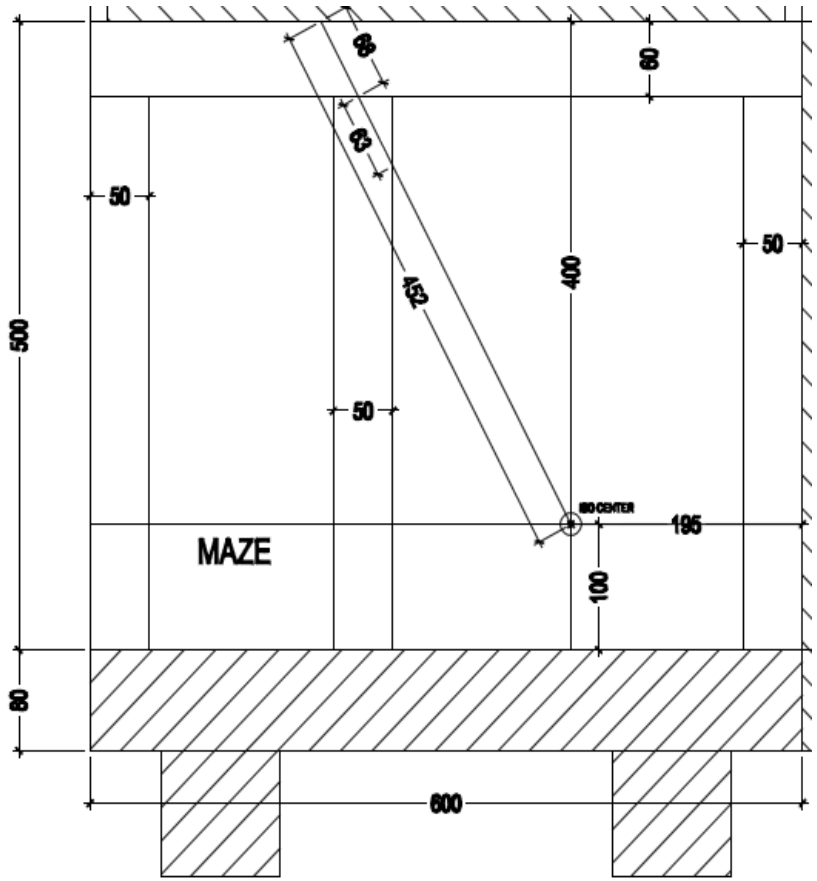
Gambar 2.5.11. Potongan atas *bunker* Cobalt-60



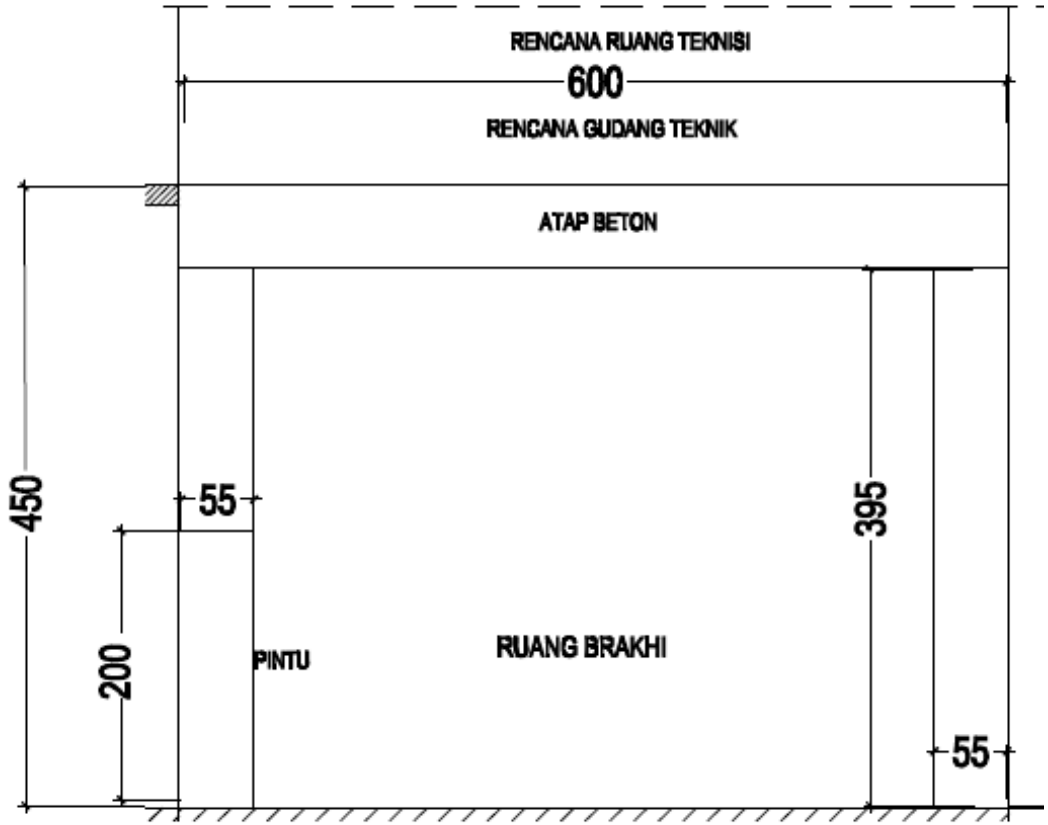
Gambar 2.5.12. Potongan depan *bunker* Cobalt-60



Gambar 2.5.13. Potongan samping *bunker* Cobalt-60



Gambar 2.5.14. Potongan depan *bunker 3D Brachytherapy*



Gambar 2.5.15. Potongan samping *bunker 3D Brachytherapy*

2.6. Asumsi Perkiraan Biaya

Setelah selesai melakukan perencanaan pembangunan fasilitas radioterapi, berikut ini kami berikan gambaran asumsi biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan fasilitas radioerapi.

ASUMSI PERKIRAAN BIAYA CENTER RADIOTERAPI BARU

No.	Alat-alat Radioterapi	Harga
1	CT simulator dengan Contras media injector dan Printer film	8,000,000,000
2	Linac dual energy dengan elektron include TPS (cone beam?) IMRT bisa upgrade VMAT	32,000,000,000
3	Linac single energy epid include TPS, VMAT	25,000,000,000
4	Alat Ukur (Paket dosimetri IMRT)	4,000,000,000
5	UPS	2,000,000,000
6	Brachy terapi 3d	9,000,000,000
7	Pesawat Cobalt 60 dengan TPS	13,000,000,000
10	Simulator China	6,000,000,000
11	Bangunan Bunker Cobalt dengan Bangunan Pendukung	4,000,000,000
12	Bangunan Bunker LINAC DUAL ENERGI dengan Bangunan Pendukung	8,500,000,000
12	Bangunan Bunker LINAC SINGLE ENERGI dengan Bangunan Pendukung	7,000,000,000
13	Bangunan Bunker Brachyterapi dengan Bangunan Pendukung	2,500,000,000
14	Alat Fixasi	BMHP

BAB III

PEDOMAN UMUM KERJASAMA BOT (*BUILD OPERATE TRANSFER*)

Alat kedokteran untuk pelayanan radioterapi memiliki tingkat kesulitan yang harus di pastikan bahwa seluruh aspek termonitor dan terkondiskan dengan baik, mengingat alat kedokteran radioterapi merupakan alat kedokteran yang memiliki resiko tinggi karena output yang keluar dari alat tersebut merupakan radiasi tinggi. Untuk itu dalam proses pengadaan langsung maupun kerjasama dengan pihak ketiga diperlukan beberapa hal yang perlu diperhatikan, hal ini diharapkan dapat meminimalkan resiko kerugian baik pihak RS maupun user.

Bentuk kerjasama dalam proses pengadaan alat kedokteran ini dapat dilakukan melalui :

1. Pengadaan langsung oleh pihak Rumah Sakit
2. Melalui kerjasama *Build Operate Transfer (BOT)*
3. Melalui kerjasama operasional (KSO)

3.1. Pengadaan Langsung Oleh Rumah Sakit

Merupakan proses pengadaan yang dilakukan oleh RS melalui pembelian langsung kepada pihak ketiga, dengan berbagai sumber dana baik anggaran belanja pemerintah atau hasil dari operasional rumah sakit. Proses pengadaan dapat melalui penunjukan langsung maupun lelang terbuka.

3.2. Pengadaan Melalui Kerjasama *Build Operate Transfer* (BOT)

3.2.1 Karakteristik Konsep Kerjasama

1. Perjanjian terjadi antara satu pihak yang mempunyai modal tetapi tidak memiliki lahan dengan pihak lain yang memiliki lahan tetapi tidak mempunyai modal.
2. Pihak investor dapat mengembangkan fasilitas sesuai bentuk usaha yang disepakati dan mengoperasionalkannya, dan kemudian memberi keuntungan kepada pihak pemilik lahan.

3. Setelah jangka waktu yang ditentukan, maka lahan, fasilitas serta operasional dari fasilitas tersebut diserahkan kepada pihak pemilik lahan.

3.2.2. Syarat Kerjasama

1. Pelayanan atau poyek kegiatan tidak dapat dilakukan sendiri karena keterbatasan finansial atau pengalaman pemerintah.
2. Investor dapat memberikan manfaat peningkatan kualitas atau level pelayanan yang lebih baik daripada dilakukan sendiri oleh pemerintah.
3. Investor memungkinkan pelayanan atau proyek kegiatan bisa dilaksanakan lebih cepat daripada dilakukan sendiri oleh pemerintah.
4. Ada dukungan dari pengguna layanan untuk dilibatkannya swasta dalam kegiatan tersebut.
5. Adanya peluang kompetesi diantara investor yang prospektif.
6. Tidak ada aturan yang melarang pelibatan swasta dalam pelaksanaan kegiatan yang akan dilakukan.
7. Output layanan dapat diukur dan dinilai dengan mudah.
8. Biaya program kemitraan bisa tertutup melalui biaya implementasi biaya pengguna layanan.
9. Proyek kegiatan atau pelayanan memberikan peluang untuk berinovasi.
10. Ada *track record* dengan kemitraan dengan swasta dan ada peluang untuk mendorong perkembangan ekonomi.

3.2.3. Prosedur Kerjasama

1. Tim Pengembangan Departemen membuat analisa kebutuhan dan bisnisplan dari pengembangan fasilitas atau pelayanan sesuai program kerja Departemen.
2. Konsep pengembangan fasilitas/pelayanan (analisa kebutuhan-spesifikasi alat/gedung-bisnisplan) disetujui pada rapat coordinator.
3. Konsep pengembangan diajukan ke Direksi untuk pembentukan tim KSO.
4. Persetujuan Direksi atas Konsep/Konsep pengembangan (presentasi unit kerja).
5. Pelaksanaan tugas TIM KSO : sesuai tahapan kerja yang ditetapkan oleh RS.

6. Evaluasi dan monitoring pelaksanaan kegiatan.
7. Serah terima fasilitas/sarana yang dikembangkan setelah berakhirnya perjanjian kerja.

3.2.4. Konsep Kerjasama

1. Kerjasama didasarkan pada asas transparansi, kejujuran dan komitmen pada kualitas pelayanan dan bukan bussiness for profit.
2. Bagi hasil yang menjadi hak RS/Unit Radioterapi dan investor sesuai kesepakatan pada saat negosiasi yang tertuang dalam Business Plan.
3. Bisnis plan disepakati oleh kedua belah pihak dengan point agreement.

3.3. Pengadaan Melalui Kerjasama Operasional (KSO)

Adalah perjanjian antara dua pihak atau lebih dimana masing-masing sepakat untuk melakukan suatu usaha bersama dengan menggunakan aset dan atau hak usaha yang dimiliki dan secara bersama menanggung risiko usaha tersebut.

Persyaratan baik konsep BOT maupun KSO secara umum sama, perbedaan terletak pada kepemilikan alat pada masa akhir kontrak kerjasama maupun BEP alat terpenuhi. Bagi hasil dari pendapatan operasional sesuai dengan kesepakatan rumah sakit dengan pihak vendor.

Terkait dengan *High Risk, High Volume* dan *Hogh Cost*, maka berikut beberapa hal yang dapat menjadi acuan dalam penyusunan atau menjadi persyaratan sebelum proses pengadaan dilakukan. Item berikut merupakan hal penting dan dihimbau untuk masuk kedalam kontrak kerjasama pengadaan.

3.3.1 Kondisi Persyaratan dan Pengadaan Alat Kedokteran Brakhiterapi Sumber Iridium 192

1. Pengembalian kepada investor dilakukan berdasarkan penggunaan layanan
2. Perhitungan bisnis plan dalam bentuk rupiah.
3. Selama masa perjanjian biaya operasional dan pemeliharaan alat/fasilitas adalah tanggung jawab dari investor.

4. Tarif pelayanan sesuai dengan tarif yang berlaku di RS, jika ada perubahan diketahui oleh pihak investor.
5. Perjanjian kerjasama akan berakhir apabila nilai kewajiban dari pengembangan kerjasama ini telah terpenuhi oleh pihak RS.
6. Fasilitas dan operasional dari proyek pengembangan yang telah dilakukan investor di serahkan kepada pihak RS.
7. Menyediakan pelatihan onsite bagi tenaga medik dan tenaga kesehatan pendukung lainnya sesuai kebutuhan operasional alat (Dr Sp OR, Fisika Medik, Radiografer Radioterapi, dan Teknisi) dengan trainer yang datang memiliki kompetensi terhadap jenis pelatihan. (trainer dari principle).
8. Mendatangkan Expert seperti (Dr Sp OR, Fisika Medik dan RTT) dari rumah sakit lain yang sudah menggunakan Brakiterapi tersebut, untuk menemani dalam awal pelayanan kepada pasien.
9. Jam operasional normal Unit Radioterapi RS adalah hari Senin-Jumat pukul 07:00-19:00 WIB, namun dapat kembali disesuaikan sesuai kebutuhan unit.
10. Harga yang ditawarkan dalam kerjasama termasuk biaya maintenance full sparepart selama 5 tahun dan penggantian source selama 7 tahun, dengan batas minimal penggantian sumber radioaktif iridium 3.5 Ci.
11. Pihak investor akan menjamin aktivitas awal sumber radioaktif iridium minimal 10 Ci pada saat install di Departemen Radioterapi.
12. Pihak investor menjamin ketersediaan bahan habis pakai yang diperlukan untuk pelayanan brakiterapi.
13. Preventive maintenance akan dilaksanakan di luar jam operasional yang ditetapkan oleh Departemen Radioterapi RS.
14. Uptime minimum dan downtime maksimum yang diharapkan adalah masing-masing sebesar 95% dan 5%. Angka ini merupakan persentase terhadap jam operasional yang ditetapkan oleh Unit Radioterapi RS dan tidak termasuk jam operasional tambahan, hari libur, atau hari-hari yang ditetapkan sebagai hari libur oleh pemerintah atau Unit Radioterapi RSCM.

15. Menempatkan tenaga administratif/finansial di Unit Radioterapi RS yang bertanggung jawab atas penerimaan pasien, pendaftaran pasien, dan penerimaan pembayaran jasa.
16. Apabila terjadi permasalahan, respon diberikan paling lambat dalam 1x24 jam setelah menerima laporan secara verbal atau tertulis dari Departemen Radioterapi RS, kecuali apabila hal tersebut terjadi pada hari Minggu, hari libur nasional, atau hari-hari yang ditetapkan sebagai hari libur oleh pemerintah atau Departemen Radioterapi RS.
17. Pembagian hasil menganut konsep tidak saling merugikan kedua belah pihak.
18. Bagi hasil yang menjadi hak RS/Departemen Radioterapi akan disetorkan oleh investor paling lambat 3 hari kerja setelah rekapitulasi bulanan, dan bagi hasil yang menjadi hak investor atas pasien subsidi/jaminan akan disetorkan paling lambat dalam waktu 60 hari.
19. Evaluasi akan dilaksanakan setiap bulan, setiap semester, dan setiap tahun. Dalam evaluasi per semester dan per tahun, akan dinilai tingkat pencapaian revenue.
20. Investor membuat laporan mengenai pemasukan harian berdasarkan jenis pelayanan, jenis pembayaran, serta laporan-laporan terkait lainnya, secara tertulis mengenai kegiatan pelayanan yang dilakukan. Laporan ini diserahkan setiap bulannya.
21. Memberikan user manual dan service manual dalam bahasa Indonesia dan bahasa asli (English)
22. Bersedia membantu dalam pengurusan seluruh perijinan baik di BATAN dan BAPETEN termasuk menanggung biaya perijinan dan kalibrasi yang dikeluarkan oleh institusi terkait. (Kalibrasi alat, kalibrasi alat ukur, ijin konstruksi, dan ijin pemanfaatan).
23. Pihak Investor menjamin uptime, optimalisasi alat dan operasional alat sesuai kebutuhan user berdasarkan spesifikasi alat terlampir, transfer data dan alat ukur.
24. Jika terjadi perubahan teknologi, pihak investor akan menyesuaikan dengan kebutuhan pelayanan di RS termasuk upgrade software.
25. Tanggung jawab atas lisensi/perijinan atas upgrade software yang dilakukan adalah tanggung jawab dari pihak investor.
26. Menjamin konektifitas system antara alat KSO Brakiterapi dengan peralatan penunjang yang tersedia.

27. Harga maintenance purna KSO disampaikan di awal kontrak KSO (dengan dan atau tanpa sparepart).
28. Pihak investor memberikan informasi lifetime dari sparepart alat, dan mengganti sparepart sesuai lifetimenya.
29. Pihak investor akan menjamin pembuangan limbah sumber radioaktif iridium jika terjadi pergantian sumber(pembuangan source Iridium 192 dikembalikan ke negara asal).
30. Menjamin keberlangsungan KSO jika terjadi peralihan perusahaan, tanggung jawab pengelolaan adalah nama yang tertera pada surat perjanjian.
31. Selama tahap operasional, kedua belah pihak saling memberikan informasi atas kondisi pelayanan ataupun pelaksanaan operasional melalui laporan tertulis yang dilaporakan secara rutin
32. Tahap penyerahan dilakukan secara seksama dari seluruh aspek, baik fasilitas maupun operasional yang selama ini berlangsung. Pihak investor tetap bersedia memberikan informasi atas hal-hal yang berlangsung selama masa operasional berlangsung yang tidak diketahui pada saat serah terima dilakukan.
33. Harga penawaran termasuk penyesuaian gedung sesuai proteksi radiasi dan design interior yang ditetapkan RS dan menjamin tidak terjadi kebocoran radiasi di seluruh bagian ruangan.
34. Memperbaiki area/lingkungan yang rusak akibat dari pembangunan dan pemasangan peralatan yang dilakukan.

3.3.2. Kondisi Persyaratan Pengadaan Alat Kedokteran Satu Set *Linear Accelerator*

1. Harga pembelian termasuk garansi selama 1 tahun (terhitung mulai operasional alat), dilanjutkan maintenance *all risk* selama 2 Tahun dan jaminan *wave guide* selama 5 tahun. Apabila terjadi kerusakan *wave guide* dalam kurun waktu 5 tahun tersebut akan diganti baru

2. Harga pembelian termasuk biaya penyesuaian gedung sesuai proteksi radiasi dan *design interior* yang ditetapkan RS dan menjamin tidak terjadi kebocoran radiasi di seluruh bagian ruangan.
3. Memperbaiki area/lingkungan yang rusak akibat dari pembangunan dan pemasangan peralatan yang dilakukan.
4. Kegiatan *Preventive maintenance* dilaksanakan di luar jam operasional yang ditetapkan oleh Unit Radioterapi RS sesuai dengan Standar Prinsipal ; dan memberikan jadwal rencana pelaksanaan preventive maintenance setiap 1 tahun
5. Menjamin *Uptime* minimum dan *downtime* maksimum yang diharapkan adalah masing-masing sebesar 95% dan 5%. Angka ini merupakan persentase terhadap jam operasional (rerata 10 jam) termasuk jam operasional tambahan yang ditetapkan oleh Unit Radioterapi RS. Hari libur nasional yang ditetapkan sebagai hari libur pelayanan adalah : 2 hari Raya Idul Fitri, 1 hari Raya Idul Adha, 1 hari Raya Natal dan 1 Hari Tahun Baru; sehingga apabila terjadi kerusakan diluar hari libur yang ditetapkan, tetap dihitung BDT
6. Perhitungan BDT (*Break Down Time*) dimulai sejak alat dinyatakan tidak dapat beroperasional hingga kembali beroperasional, termasuk waktu tunggu kedatangan teknisi dan sparepart yang diperlukan; dan hari libur diluar yang ditetapkan
7. Melakukan perawatan, perbaikan dan penggantian suku cadang untuk menjaga agar alat dapat selalu bekerja dan berfungsi dengan baik dan selalu dalam keadaan siap pakai serta memenuhi syarat sesuai standar yang ditetapkan;
8. Memberikan harga penawaran kontrak maintenance (*fix price*) baik *all risk* maupun *labour only* setelah maintenance kontrak berakhir (tahun ke 4 s/d ke 15)
9. Memberikan daftar :
    a. Daftar *lifetime* untuk sparepart yang penggantian rutinnya tercakup dalam program preventive maintenance;
    b. Daftar dan harga sparepart untuk sparepart yang paling sering membutuhkan *corrective maintenance* berdasarkan rekapitulasi dari produsen minimal 10 item

10. Evaluasi BDT dilakukan per 6 bulan. Apabila BDT ≥ 5 % maka diberikan pinalti 1 ‰ per hari dari nilai investasi. Nilai penalti ini akan diperhitungkan sebagai nilai pengurang dari harga kontrak service tahun berikutnya (mulai tahun ke empat);
11. Untuk menjamin keberlangsungan pelayanan, supplier harus menjamin ketersediaan suku cadang dibuktikan dengan perjanjian antara supplier dan produsen selama 15 tahun terhitung operasional dan ketersediaan *sparepart* di Indonesia;
12. Menjamin keberlangsungan program *maintenance* yang disepakati jika terjadi peralihan pimpinan perusahaan, tanggung jawab pengelolaan adalah Pimpinan Perusahaan aktif;
13. Tersedianya sparepart kit standar yang ditempatkan di RS/user
14. Apabila terjadi permasalahan, kedatangan petugas teknisi dan atau fisika medik yang kompeten tidak lebih dari 2 jam setelah menerima laporan baik secara verbal atau tertulis dari unit Radioterapi RS. Apabila terjadi kerusakan yang membutuhkan perbaikan dari Teknisi dari Luar Negeri, maka kedatangan tenaga teknisi ditetapkan paling lambat 2 x 24 jam;
15. Dalam masa garansi dan kontrak maintenance *all risk* apabila terjadi perubahan teknologi, pihak supplier akan menyesuaikan dengan kebutuhan pelayanan di RS termasuk upgrade *software* tanpa biaya tambahan;
16. Tanggung jawab atas lisensi/perijinan atas *upgrade software* yang dilakukan adalah tanggungjawab dari pihak supplier;
17. Menjamin konektifitas dan fungsional system LINAC dengan peralatan dan penunjang yang tersedia termasuk pengadaan hardware yang diperlukan untuk konektifitas dan fungsional system tersebut.
18. Melakukan *comprehensive maintenance* dan melakukan penggantian spare part sesuai dengan *lifetime* yang akan berakhir dengan biaya dari pihak supplier secara rutin setiap tahun, termasuk pada masa kontrak maintenance
19. Bersedia untuk melakukan kontrak maintenance tanpa pengalihan (*outsource*) ke pihak ketiga (kecuali ke teknisi produsen) setelah berakhirnya perjanjian pengadaan selama 12 tahun ke depan dengan ketentuan kontrak maintenance sesuai dengan kontrak pengadaan yang meliputi point : 3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17

20. Memberikan user *manual dan service manual* dalam bahasa Indonesia dan bahasa asli (English)
21. Selama masa garansi, apabila pesawat rusak atau tidak dapat digunakan selama 3 bulan berturut turut dan alat dinyatakan tidak dapat beroperasional maka pihak supplier berkewajiban mengganti peralatan tersebut dan memberikan kompensasi selama proses penggantian sebesar biaya pendapatan dengan jumlah pelayanan minimal dari alat tersebut. Jika tidak bersedia maka pihak supplier akan masuk kedalam Daftar Hitam;
22. Bersedia membantu dalam pengurusan seluruh perijinan baik di BATAN dan BAPETEN termasuk menanggung biaya perijinan dan kalibrasi yang dikeluarkan oleh institusi terkait. (Kalibrasi alat, kalibrasi alat ukur, ijin konstruksi, dan ijin pemanfaatan).
23. Menyediakan tenaga Fisika Medik dan Teknisi kompeten untuk melaksanakan Beam Data Collection dan komisioning, output dan input data komisioning ke TPS, serta verifikasi data hasil komisioning TPS dan verifikasi IMRT bersama tenaga dari Unit Radioterapi;
24. Menyediakan pelatihan onsite bagi tenaga medik dan tenaga kesehatan pendukung lainnya sesuai kebutuhan operasional alat (Dr Sp OR, Fisika Medik, Radiografer Radioterapi, dan Teknisi) dengan *trainer* yang datang memiliki kompetensi terhadap jenis pelatihan. (trainer dari principle)
25. Mendatangkan Expert seperti (Dr Sp OR, Fisika Medik dan RTT) dari rumah sakit lain yang sudah menggunakan LINAC tersebut, untuk menemani dalam awal pelayanan kepada pasien.
26. Masa berlaku jaminan pelaksanaan adalah sejak tanggal penandatanganan kontrak sampai operasional alat
27. Memberikan referensi dari 3 rumah sakit di Indonesia pengguna alat linac dengan merk dari principal tersebut yang menyatakan bahwa alat sudah operasional
28. Komunikasi terkait hal-hal teknis yang terkait dalam kontrak dilakukan langsung oleh antar pihak, pihak pertama diwakilkan oleh pihak user (Unit Radioterapi)

29. Menyatakan sanggup bekerja sesuai dengan *timeline* yang ditentukan dalam kontrak, dan apabila pekerjaan dilakukan melebihi batas *timeline* tersebut diberikan pinalti 1 ‰ per hari dari nilai investasi.
30. Jika penggantian alat, maka pembongkaran dan pengangkutan alat lama adalah menjadi tanggung jawab dari supplier
31. Untuk termin pembayaran hati hati degan klausul yang akan dimasukan (khususnya untuk klausul uji coba, jika secara waktu semua kondisi memungkinkan pekerjaan selesai dalam satu tahun maka pembayaran 100% termasuk uji coba kepasien, jika tidak perlu dilakukan adendum kontrak untuk penyelesaian pekerjaan, jangan dibayar 100 % jika pekerjaan belum selesai).

3.3.3. Kondisi Persyaratan Pengadaan Alat Kedokteran Cobalt-60

1. Memberikan *maintenance service all risk (labour dan spareparts*) untuk pesawat Cobalt-60 hingga waktu penggantian *source* Cobalt-60 berikutnya, setelah kondisi diatas terpenuhi maka *maintenance service* yang berlaku untuk pesawat Cobalt-60 adalah *Labour Only* tanpa *sparpeparts* selama kedua pesawat tersebut masih bisa beroperasi.
2. Melakukan service *overhaul* untuk peralatan Cobalt 60 pada saat dilakukannya penggantian source Cobalt.
3. Menjamin *up time* dari pesawat Cobalt-60 sebesar $\geq$ 95 % (lebih dari atau sama dengan sembilan puluh lima persen). Jika *downtime* > 5 % (lebih dari lima persen) berdasarkan hasil evaluasi per 3 (tiga) bulan, yang disebabkan oleh kelalaian pihak kedua dan/atau orang-orangnya pihak kedua maka pihak kedua akan memberikan kompensasi dengan perhitungan : jumlah rata-rata pendapatan bulanan dalam kondisi normal dibagi hari kerja efektif dibagi jam operasional alat dikalikan jumlah jam kelebihan *downtime* bulan tersebut.
4. Tidak menanggung biaya pergantian sumber *source* Cobalt-60.
5. Menjamin ketersediaan *source* Cobalt-60 pada saat penggantian *source* Cobalt-60 di waktu yang akan datang dengan menyertakan kisaran harga jualnya yang akan

disepakati terlebih dahulu oleh Para Pihak.

6. Menjamin ketersediaan *spareparts* untuk pesawat Cobalt-60 selama 15 (lima belas) tahun sejak instalasi kedua pesawat tersebut.
7. Jaminan penanganan limbah termasuk re-ekspor limbah Cobalt-60 ke negara asal saat pergantian sumber radiasi.
8. Bersedia membantu dalam pengurusan seluruh perijinan baik di BATAN dan BAPETEN termasuk menanggung biaya perijinan dan kalibrasi yang dikeluarkan oleh institusi terkait. (Kalibrasi alat, kalibrasi alat ukur, ijin konstruksi, dan ijin pemanfaatan).
9. Harga pembelian termasuk biaya penyesuaian gedung sesuai proteksi radiasi dan *design interior* yang ditetapkan RS dan menjamin tidak terjadi kebocoran radiasi di seluruh bagian ruangan.
10. Selama masa garansi, apabila pesawat cobalt 60 rusak atau tidak dapat digunakan selama 3 bulan berturut turut dan alat dinyatakan tidak dapat beroperasional maka pihak supplier berkewajiban mengganti peralatan tersebut dan memberikan kompensasi selama proses penggantian sebesar biaya pendapatan dengan jumlah pelayanan minimal dari alat tersebut. Jika tidak bersedia maka pihak supplier akan masuk kedalam Daftar Hitam;
11. Memberikan user *manual dan service manual* dalam bahasa Indonesia dan bahasa asli (English)
12. Masa berlaku jaminan pelaksanaan adalah sejak tanggal penandatanganan kontrak sampai operasional alat
13. Menyatakan sanggup bekerja sesuai dengan *timeline* yang ditentukan dalam kontrak, dan apabila pekerjaan dilakukan melebihi batas *timeline* tersebut diberikan pinalti 1 ‰ per hari dari nilai investasi.
14. *Preventive maintenance* akan dilaksanakan di luar jam operasional yang ditetapkan oleh Pihak Pertama dengan periode 3 (tiga) bulanan dan untuk pelaksanaannya,
15. Jika terjadi perubahan teknologi dalam masa pemakaian Peralatan Radioterapi, pihak kedua akan menyesuaikan dengan kebutuhan Pihak Pertama termasuk

upgrade software.

16. Tanggung jawab atas lisensi/perijinan atas *upgrade software* yang dilakukan dan biaya yang terkait adalah tanggungjawab dari pihak kedua
17. Menjamin konektivitas sistem antara Peralatan Radioterapi dengan peralatan yang tersedia.
18. Memberikan informasi *lifetime* dari *sparepart* alat, dan mengganti *sparepart* sesuai *lifetime*nya.
19. Menyediakan pelatihan onsite bagi tenaga medik dan tenaga kesehatan pendukung lainnya sesuai kebutuhan operasional alat (Dr Sp OR, Fisika Medik, Radiografer Radioterapi, dan Teknisi) dengan *trainer* yang datang meimliki kompetensi terhadap jenis pelatihan. (trainer dari principle)
20. Mendatangkan Expert seperti (Dr Sp OR, Fisika Medik dan RTT) dari rumah sakit lain yang sudah menggunakan Cobalt tersebut, untuk menemani dalam awal pelayanan kepada pasien.Apabila terjadi permasalahan, respon diberikan paling lambat dalam 1 x 24 (satu kali dua puluh empat jam) setelah menerima laporan secara verbal atau tertulis dari Pihak Pertama, kecuali apabila hal tersebut terjadi pada hari Minggu, hari libur nasional, atau hari-hari yang ditetapkan sebagai hari libur oleh pemerintah.
21. Menyediakan tenaga Fisika Medik dan Teknisi kompeten untuk melaksanakan Beam Data Collection dan komisioning, output dan input data komisioning ke TPS, serta verifikasi data hasil komisioning TPS dan verifikasi IMRT bersama tenaga dari Unit Radioterapi;
22. Memperbaiki area/lingkungan yang rusak akibat dari pembangunan dan pemasangan peralatan yang dilakukan.
23. Untuk termin pembayaran hati-hati degan klausul yang akan dimasukan (khususnya untuk klausul uji coba, jika secara waktu semua kondisi memungkinkan pekerjaan selesai dalam satu tahun maka pembayaran 100% termasuk uji coba kepasien, jika tidak perlu dilakukan adendum kontrak untuk penyelesaian pekerjaan, jangan dibayar 100 % jika pekerjaan belum selesai).

3.3.4 Kondisi Persyaratan Pengadaan Alat Kedokteran Simulator atau CT Simulator

1. Memberikan *maintenance service all risk (labour dan spareparts*) untuk pesawat simulator sampai dengan 10 (sepuluh) tahun penggunaan, setelah kondisi diatas terpenuhi maka *maintenance service* yang berlaku adalah *Labour Only* tanpa *sparpeparts* selama pesawat tersebut masih bisa beroperasi.
2. Melakukan service *overhaul* Simulator setelah 10 (sepuluh) tahun penggunaan
3. Menjamin *up time* pesawat simulator sebesar $\geq$ 95 % ; *downtime* > 5 %
4. *Preventive maintenance* akan dilaksanakan di luar jam operasional yang ditetapkan oleh Pihak Pertama dengan periode 3 (tiga) bulanan dan untuk pelaksanaannya,
5. Jika terjadi perubahan teknologi dalam masa pemakaian Peralatan Radioterapi, pihak kedua. akan menyesuaikan dengan kebutuhan Pihak Pertama termasuk *upgrade software*.
6. Tanggung jawab atas lisensi/perijinan atas *upgrade software* yang dilakukan dan biaya yang terkait adalah tanggungjawab dari pihak kedua
7. Menjamin konektivitas sistem antara Peralatan Radioterapi dengan peralatan yang tersedia.
8. Memberikan informasi *lifetime* dari *sparepart* alat, dan mengganti *sparepart* sesuai *lifetime*nya.
9. Menyediakan pelatihan onsite bagi tenaga medik dan tenaga kesehatan pendukung lainnya sesuai kebutuhan operasional alat (Dr Sp OR, Fisika Medik, Radiografer Radioterapi, dan Teknisi) dengan *trainer* yang datang memiliki kompetensi terhadap jenis pelatihan. (trainer dari principle)
10. Mendatangkan Expert seperti (Dr Sp OR, Fisika Medik dan RTT) dari rumah sakit lain yang sudah menggunakan Simulator tersebut, untuk menemani dalam awal pelayanan kepada pasien.
11. Bersedia membantu dalam pengurusan seluruh perijinan baik di BATAN dan BAPETEN termasuk menanggung biaya perijinan dan kalibrasi yang dikeluarkan oleh institusi terkait. (Kalibrasi alat, kalibrasi alat ukur, ijin konstruksi, dan ijin pemanfaatan).

12. Harga pembelian termasuk biaya penyesuaian gedung sesuai proteksi radiasi dan *design interior* yang ditetapkan RS dan menjamin tidak terjadi kebocoran radiasi di seluruh bagian ruangan.
13. Apabila terjadi permasalahan, respon diberikan paling lambat dalam 1 x 24 (satu kali dua puluh empat jam) setelah menerima laporan secara verbal atau tertulis dari Pihak Pertama, kecuali apabila hal tersebut terjadi pada hari Minggu, hari libur nasional, atau hari-hari yang ditetapkan sebagai hari libur oleh pemerintah.
14. Memperbaiki area/lingkungan yang rusak akibat dari pembangunan dan pemasangan peralatan yang dilakukan.
15. Untuk termin pembayaran hati-hati degan klausul yang akan dimasukan (khususnya untuk klausul uji coba, jika secara waktu semua kondisi memungkinkan pekerjaan selesai dalam satu tahun maka pembayaran 100% termasuk uji coba kepasien, jika tidak perlu dilakukan adendum kontrak untuk penyelesaian pekerjaan, jangan dibayar 100 % jika pekerjaan belum selesai).
16. Selama masa garansi, apabila pesawat Simulator rusak atau tidak dapat digunakan selama 3 bulan berturut turut dan alat dinyatakan tidak dapat beroperasional maka pihak supplier berkewajiban mengganti peralatan tersebut dan memberikan kompensasi selama proses penggantian sebesar biaya pendapatan dengan jumlah pelayanan minimal dari alat tersebut. Jika tidak bersedia maka pihak supplier akan masuk kedalam Daftar Hitam;
17. Memberikan user *manual dan service manual* dalam bahasa Indonesia dan bahasa asli (English) ;
18. Masa berlaku jaminan pelaksanaan adalah sejak tanggal penandatanganan kontrak sampai operasional alat
19. Menyatakan sanggup bekerja sesuai dengan *timeline* yang ditentukan dalam kontrak, dan apabila pekerjaan dilakukan melebihi batas *timeline* tersebut diberikan pinalti 1 ‰ per hari dari nilai investasi.

3.4. Rencana Investasi dengan Sistem KSO

RSCM - (Project KSO 5 Years) -
Radiotherapy Medical Equipment

UniT .....

(Dalam RUPIAH) - EXCL PPN

NO	URAIAN			Tahun 0 Investasi	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5
A	**NILAI INVESTASI**								
	1.Unit.....		-	-	-	-	-	-	-
	Total Investasi KSO Project			-	-	-	-	-	-
	1 *Interest Bank*								
	2 *Forex Currency*								
	3 *Insurance rate*								
	4 *Collection Risk Rate*								
	5 *Trading Rate*								
	6 *Preparation Radiotherapy Building (Thn 1)*								
	Total	**0.00%**							
	JUMLAH PASIEN				0	0	0	0	0
B	**PENDAPATAN PER TAHUN**	Tarif							
	Pasien BPJS	-	0%		-	-	-	-	-
	Pasien NON BPJS	-	0%		-	-	-	-	-
	Pendapatan Radiotheraphy			-	-	-	-	-	-
C	**OPERASIONAL RS**								
	Biaya Operasional dan BMHP				Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -
	Jasa Pelayanan				Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -
	SDM				Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -
			Total	-	**Rp -**	**Rp -**	**Rp -**	**Rp -**	**Rp -**
	Inflasi per tahun			-	**Rp -**	**Rp -**	**Rp -**	**Rp -**	**Rp -**
	% OPERASIONAL	0%		-	**Rp -**	**Rp -**	**Rp -**	**Rp -**	**Rp -**
D	**PENDAPATAN - OPERASIONAL RS**			-	-	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -
E	**NILAI INVESTASI TERHUTANG**			-		-	-	-	-
F	**PENDAPATAN RS AKHIR TAHUN**								
							BEP		

Gambar Rencana Investasi dengan Sistem KSO

WORLD INSTITUTE FOR NUCLEAR SECURITY

Pertimbangan Dalam Penggunaan Teknologi Alternatif Untuk Mengganti Sumber Radioaktif

APRIL 2017
REVISI 2.1

TERJEMAHAN DARI:

Considerations for the Adoption of Alternative Technologies to Replace Radioactive Sources
World Insititute for Nuclear Security
April 2017
Revision 2.1

WORLD INSTITUTE FOR NUCLEAR SECURITY

Considerations for the Adoption of Alternative Technologies to Replace Radioactive Sources

April 2017
Revision 2.1

MENGAPA ANDA HARUS MEMBACA DOKUMEN INI

Sumber radioaktif digunakan setiap hari di berbagai aplikasi medis, industri, pertanian, dan penelitian di seluruh dunia, namun penyalahgunaan penggunaan berpotensi menimbulkan bahaya yang signifikan terhadap manusia, properti dan lingkungan. Jika sumber-sumber ini hilang atau dicuri dan jatuh ke tangan yang salah, dapat menyebabkan kerusakan fisik, gangguan sosial yang signifikan dan kecemasan di masyarakat. Hal-hal semacam ini akan merusak reputasi dan kredibilitas setiap organisasi yang terlibat.

Meskipun langkah-langkah keamanan yang memadai secara signifikan mampu mengurangi risiko yang ditimbulkan oleh aktivitas sumber radioaktif yang tinggi, seperti sumber kategori 1 dan 2 seperti yang didefinisikan oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA)[1], menggantikan sumber-sumber ini dengan teknologi alternatif akan secara permanen mengurangi risiko.

Penelitian yang sedang berlangsung, kemajuan dalam teknologi baru dan peningkatan teknologi yang ada telah membuat banyak alternatif untuk sumber radioaktif yang menarik dan hemat biaya. Dalam beberapa kasus, terdapat gerakan yang kuat menuju ke arah teknologi alternatif; hal ini telah didorong, setidaknya sebagian, oleh risiko dan tanggung jawab potensial yang dapat ditimbulkan oleh bahan radioaktif. Dalam kasus lain, kepuasan diri, kurangnya insentif atau kurangnya alternatif yang layak telah membatasi perubahan ke penggantian non-isotop.

Dalam publikasi khusus ini, kami menjelaskan kelebihan dan kekurangan teknologi alternatif untuk beberapa aplikasi sumber radioaktif yang paling umum digunakan dalam kedokteran, industri dan penelitian. Tujuan kami adalah tidak mengambil sikap-sikap tertentu mengenai masalah ini atau membuat rekomendasi khusus; melainkan, untuk membantu Anda mempertimbangkan apakah adalah tepat untuk mengganti beberapa atau semua teknologi sumber radioaktif yang saat ini Anda gunakan dengan sumber-sumber alternatif, terutama jika penggantinya sama efektifnya, kurang membebani dan memiliki biaya yang sebanding.

Tulisan ini menyajikan suatu proses yang akan membantu memutuskan apakah akan mengadopsi teknologi alternatif, menyarankan beberapa masalah untuk dipertimbangkan ketika menilai kelayakan perubahan tersebut dan mendiskusikan beberapa tantangan yang dihadapi orang lain ketika membuat keputusan ini. Disamping itu, tersedia referensi bacaan lebih lanjut untuk mendukung pertimbangan. Semua informasi ini akan memberi Anda latar belakang yang diperlukan untuk melibatkan pengambil keputusan jika diputuskan bahwa penerapan teknologi alternatif adalah pendekatan yang sehat. Halaman lampiran menyediakan serangkaian pertanyaan yang akan membantu menentukan apakah perubahan semacam itu akan dapat bertahan dalam situasi yang dihadapi.

[1] IAEA. (2005). Safety Guide RS-G-1.9. Categorisation of radioactive sources.

Dalam mempersiapkan publikasi ini, kami telah mempertimbangkan pengalaman pengguna-akhir dan regulator yang terkait dengan aplikasi-aplikasi radioisotop, industri dan riset medis. Kami juga mempertimbangkan pengalaman komunitas internasional dengan teknologi alternatif yang dibagikan selama dua lokakarya WINS[2] dan materi panduan yang diterbitkan oleh IAEA serta regulator nasional yang dipilih.

Dokumen ini bukan laporan teknis dan hanya boleh digunakan sebagai titik awal untuk membiasakan diri dengan teknologi alternatif dan untuk mengidentifikasi isu-isu kunci dan langkah-langkah yang diperlukan ketika mempertimbangkan untuk mengadopsi salah satunya. Ketika Anda menargetkan untuk mengembangkan perspektif yang komprehensif tentang topik ini, penting bagi Anda untuk meningkatkan pemahaman Anda sendiri, dengan membaca penelitian khusus dan dengan berpartisipasi dalam forum-forum relevan yang membagikan pengalaman rekan-rekan Anda di bidang ini.

Daftar referensi dan saran bacaan lebih lanjut diberikan di bagian akhir dokumen untuk membantu Anda dalam proses ini. Harap dicatat bahwa sedapat mungkin, publikasi ini menggunakan terminologi yang sama seperti yang ditemukan dalam publikasi IAEA.

Kami Menyambut Komentar Anda

Kami berencana memperbarui publikasi ini secara berkala untuk mencerminkan perubahan informasi dan ide-ide baru. Oleh karena itu, kami meminta Anda untuk membacanya dengan hati-hati dan memberi tahu kami bagaimana perkembangannya. Silakan kirim saran Anda melalui email ke info@wins.org. Jika Anda memiliki ide sebagai tambahan dalam publikasi WINS, kami ingin mendengarkan dan mengetahuinya. Salah satu tujuan paling penting dari WINS adalah untuk berbagi praktik keamanan nuklir terbaik dan tugas utama kami adalah melayani para anggota kami.

Roger Howsley

Direktur Eksekutif

April 2017

Revisi 2.1

[2] Alternative Technologies to Radioactive Sources (Brussels, Belgium. 8 and 9 October 2013) and Alternative Technologies to High Activity Radioactive Sources Used in Medical Applications (Rio de Janeiro, Brazil. 28 and 29 April 2015)

DAFTAR ISI

I. MENGAPA TEKNOLOGI ALTERNATIF BISA KONTRIBUSI KE OPERASI DAN KEAMANAN ANDA 4
II. PERAN PEMANGKU KEPENTINGAN 7
Pengguna Lapangan (“End – User”) 7
Regulator 8
Badan Pemerintah Lain 9
Produsen Perangkat 9
Asosiasi Profesional 10
Inisiatif Internasional 11

III. TEKNOLOGI ALTERNATIF APA YANG TERSEDIA? 12
Teleterapi 12
Radiosurgery 14
Brakiterapi 15
Iradiasi Darah 17
Penggunaan Industrial 18
Radiografi Untuk Pemeriksaan Non Destruktif 20
Pengambilan Data Dalam Sumur Untuk Industri Minyak Dan Gas 21
Pengukuran Densitas Kelembaban Untuk Industri Konstruksi 23
Iradiator Yang Terlindungi 24

IV. MENGEVALUASI TEKNOLOGI ALTERNATIF SESUAI KEBUTUHAN ANDA 26
1. Apa Kebutuhan Organisasi Anda? 27
2. Pilihan Pengganti Apa Yang Terbaik Yang Dapat Memenuhi Kebutuhan Anda? 27
3. Apakah Teknologi Baru Menyediakan Hasil Yang Dapat Dibandingkan? 28
4. Akankah Perlu Untuk Merancang Ulang Fasilitas Dan Melatih Kembali Staf Anda? 28
5. Bagaimana Dengan Pelayanan Dan Dapatkah Diandalkan? 28
6. Apa Saja Biayanya? 29
7. Apa Implikasi Perlindungan Keselamatan / Radiasi Dari Perubahan? 29
8. Apa Implikasi Perubahan Regulasi? 30
9. Bagaimana Tingkat Paparan Anda Terhadap Hal Yang Berpotensi Masalah? 30

V. MENGGANTI SUMBER RADIOAKTIF: BEBERAPA HAL YANG MUNGKIN MENJADI MASALAH 31
Resisten Terhadap Perubahan 31
Perubahan Pada Operasi 31
Kekurangan Warisan Data 32
Kekurangan Kode Dan Standar 33
Manajemen Efektif Dari Sumber Yang Tidak Digunakan 33

KEPUSTAKAAN LANJUT 34
LAMPIRAN 35

I. MENGAPA TEKNOLOGI ALTERNATIF BISA BERKONTRIBUSI TERHADAP OPERASIONAL DAN KEAMANAN ANDA

Sumber radioaktif[3] memiliki berbagai penerapan penting dan bermanfaat. Namun, jika mereka salah ditangani, terutama dengan niat jahat, atau dibuang secara tidak tepat, mereka berpotensi menyebabkan kerusakan dan cedera yang signifikan.

Terdapat banyak contoh sumber radioaktif yang dicuri atau hilang. Beberapa insiden tersebut menyebabkan kerugian serius dan beberapa lainnya, berkat tindakan yang diambil oleh pihak berwenang yang terlibat atau keberuntungan murni, tidak menyebabkan kerugian.

Daftar lengkap semua insiden radioterapi yang dilaporkan secara terbuka dapat diakses secara terbuka.[4] Berikut ini beberapa contoh yang mengilustrasikan risiko dan ancaman:

- Pada tahun 1987, perangkat teleterapi yang ditinggalkan dan tidak aman yang mengandung sumber Cs-137 dicuri di Goiânia, Brasil. Ia pecah dan terbuka, mencemari area yang luas dengan radioaktif caesium klorida. Empat orang segera meninggal sebagai akibat dari terpapar oleh radioaktif ini dan 20 lainnya menunjukkan tanda-tanda penyakit terkait radiasi. Pembersihan dilakukan dengan biaya puluhan juta dolar dan memiliki dampak psikologis yang tak terduga.[5]
- Pada tahun 1993, insiden serupa yang melibatkan sumber Cs-137 terjadi di Tammiku, Estonia.[6] Dalam kasus ini, tiga orang bersaudara secara ilegal masuk ke dalam ruang penyimpanan limbah radioaktif. Salah satunya menaruh sumber radioaktif di sakunya dan mengeluarkannya dari situs penyimpanan limbah. Dia meninggal setelah itu akibat dari paparan radiasinya.
- Pada tahun 1998, tabung yang berisi 19 sumber Cs-137 kecil hilang dari ruang penyimpanan yang terkunci di sebuah rumah sakit di Greensboro, North Carolina. Sumber-sumber ini, masing-masing 20mm dengan 3mm, sedang disimpan untuk digunakan dalam pengobatan kanker serviks. Meskipun pejabat lokal, pejabat negara bagian dan pejabat federal menjelajahi kota dengan menggunakan peralatan pemindai radiasi, sumber-sumber yang hilang ini tidak pernah ditemukan. Pihak berwenang percaya siapa pun yang mencuri tabung Cs-137 mungkin telah dilatih untuk menangani material tersebut.
- Pada tahun 1999, sebuah perusahaan menyimpan dua tabung berisi sumber radioterapi kobalt-60 di gudang serba-guna di Istanbul, Turki.[7] Gudang itu kemudian berpindah tangan ke pemilik baru yang tidak menyadari apa yang ada di dalam paket

[3] In this document all references to radioactive sources are to sealed radioactive sources, which are defined by the IAEA as "radioactive material that is either permanently sealed in a capsule or closely bonded and in a solid form".

[4] Johnston, R. (2014). Database of Radiological Incidents and Related Events. Retrieved from www.johnstonsarchive.net/nuclear/radevents/index.html.

[5] IAEA. (1988). The Radiological Accident in Goiânia. Retrieved from www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub815_web.pdf.

[6] IAEA. (1998). The Radiological Accident in Tammiku. Retrieved from www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1053_web.pdf.

[7] IAEA. (2000). The Radiological Accident in Istanbul. Retrieved from www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1102_web.pdf.

tersebut. Mereka menjualnya sebagai besi tua. Pembeli membuka wadah yang terlindungi tersebut di daerah perumahan. Sebanyak 18 orang, termasuk tujuh anak-anak, dirawat di rumah sakit, dengan 10 orang dewasa menunjukkan gejala penyakit radiasi. Hasil dari investigasi menemukan bahwa terdapat beberapa faktor yang berkontribusi terhadap kecelakaan radiasi tersebut, termasuk keamanan dan kontrol inventaris yang tidak memadai, yang memungkinkan penjualan tabung yang tidak sah terjadi. Kegagalan untuk mengenali simbol radiasi juga merupakan faktor penting.

- Pada bulan Desember 2001, tiga pria menemukan dua benda logam panas di hutan sambil mengumpulkan kayu bakar di desa Lia, Georgia.[8] Mereka menggunakan benda-benda itu sebagai pemanas, menghabiskan malam di hutan. Tak lama setelah itu, ketiga pria itu mengalami mual, sakit kepala, pusing dan muntah. Mereka berakhir di rumah sakit dan dalam beberapa minggu. Georgia sampai harus meminta bantuan dari IAEA. Dua pasien selamat setelah dua tahun pengobatan dan satu meninggal pada tahun 2003. Benda-benda berisi aktivitas tinggi sumber Sr-90, yang telah digunakan oleh tentara Soviet sebagai generator termoelektrik radioisotop bagi perangkat radiometrik dan sistem navigasi. Ribuan sumber ini digunakan di beberapa negara bekas Soviet dan beberapa ditinggalkan atau hilang. Untungnya, sebagian besar telah diperoleh kembali.[9]
- Pada tahun 2003, seorang ilmuwan di Guangzhou, Cina, menyerang seorang kolega dengan sengaja memaparkannya pada sumber Ir-192 dengan menempatkannya di atas panel langit-langit kantornya. Korban yang menjadi sasaran dan 74 anggota staf lainnya melaporkan gejala penyakit radiasi.
- Pada tahun 2003, sebuah sumber 18-Ci Am-Be, yang digunakan dalam operasi pembalakan, hilang di Nigeria. Meskipun terdapat upaya ekstensif, pihak berwenang tidak dapat menemukan sumber-sumber radiasi yang hilang ini. Beberapa bulan kemudian, ia ditemukan di Jerman, tanpa jejak yang jelas.
- Pada tahun 2009, dua Currie Cs-137 milik perusahaan jasa di Argentina dicuri dari brankasnya oleh mantan karyawannya sendiri, untuk tujuan pemerasan. Untungnya, pria itu ditahan dan sumber diamankan sebelum bisa menyebabkan kerusakan apa pun. Polisi tidak dapat menentukan bagaimana dia memperoleh akses tanpa hambatan ke sumber tersebut. Satu-satunya penjelasan yang diberikan adalah dia mungkin memperoleh bantuan dari orang dalam.
- Pada tahun 2012, sumber 15-Ci Am-Be yang digunakan dalam alat porositas neutron di Texas hilang dalam transit antara dua sumber-sumber di negara bagian. Upaya bersama dari beberapa lembaga federal, negara bagian dan lokal, bekerja sama dengan perusahaan jasa, dealer bekas dan rumah sakit setempat gagal mendapatkan kembali sumber-sumber ini. Sebaliknya, ia ditemukan oleh anggota masyarakat. Tidak jelas bagaimana sumber itu hilang.
- Pada tahun 2013, kendaraan yang membawa sumber teleterapi Co-60 yang tidak digunakan dicuri di Meksiko. Sumber Kategori 1 ini telah dipindahkan dari

[8] IAEA. (2014). The Radiological Accident in Lia, Georgia. Retrieved from www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1660web-81061875.pdf.

[9] Sneve, MK., (2006). Remote Control. IAEA Bulletin 48/1. Retrieved from http://large.stanford.edu/courses/2013/ph241/jiang1/docs/sneve.pdf.

pembungkus protektifnya dan ditinggalkan di sebuah ladang dekat kota Hueypoxtla di negara bagian Meksiko. Menurut pihak berwenang Meksiko, sumber radiasi ini tidak rusak atau pecah, sehingga daerah sekitarnya tidak terkontaminasi.[10]

Semua contoh ini, dan banyak lagi yang telah didokumentasikan dengan baik oleh IAEA dan organisasi lain, menunjukkan aksesibilitas relatif dari sumber radioaktif dan kemungkinan penyalahgunaannya. Kejadian serupa yang melibatkan salah satu dari sumber radiasi Anda, terlepas dari bahaya yang ditimbulkannya, mampu berpotensi merusak reputasi organisasi Anda secara serius dan memaparkannya terhadap sanksi hukum dan sanksi lainnya. Pada tingkat praktis, insiden semacam ini dapat mengganggu operasional reguler Anda selama berhari-hari atau berbulan-bulan, atau bahkan secara permanen, jika area yang terkontaminasi tidak dapat dibersihkan hingga tingkat yang dapat diterima. Biaya yang terkait dengan pembersihan dan relokasi individu serta bisnis bisa sangat besar jumlahnya.

Salah satu cara untuk mengurangi risiko ini adalah dengan meningkatkan perlindungan fisik terhadap sumber radioaktif Anda, khususnya Sumber 1 dan 2. IAEA[11] dan WINS[12] telah menerbitkan sejumlah dokumen panduan mengenai topik ini. Namun, ketika mempertimbangkan pilihan Anda untuk meningkatkan keamanan, tindakan yang paling efektif adalah dengan memindahkan target (sumber radioaktif) sepenuhnya dan menggantinya dengan alternatif yang tidak menggunakan sumber radioaktif. Idealnya, opsi ini, yang mampu mengurangi risiko secara permanen, akan memberikan hasil yang sama dengan biaya yang sebanding dengan komplikasi tambahan minimum.

[10] IAEA. (2013). Mexico says stolen radioactive source found in field. Retrieved from www.iaea.org/newscenter/news/mexico-says-stolen-radioactive-source-found-field.
[11] www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/Series/127/IAEA-Nuclear-Security-Series.
[12] See for instance the WINS International Best Practice Guide 5.1 on Security of High Activity Radiaoctive Sources

II. PERAN PEMANGKU KEPENTINGAN ("*STAKE HOLDER*")

Banyak pihak yang terlibat dalam mengembangkan dan mempromosikan teknologi alternatif ini. Contohnya termasuk:



PENGGUNA LAPANGAN ("*END – USER*")

Pengguna sumber[13] radioaktif adalah pemangku kepentingan kunci dalam setiap upaya untuk mengganti peralatan atau instrumen saat ini dengan alternatif non-isotop. Mereka umumnya yang terbaik memenuhi syarat untuk menilai penerapan teknologi alternatif dan untuk menentukan apakah akan menggantikan sumber radioaktif yang mereka gunakan saat ini. Jika mereka memutuskan untuk mengadopsi teknologi baru, mereka akan membutuhkan pelatihan dan kemungkinan akan berpartisipasi dalam latihan validasi. Mereka juga berada dalam posisi yang kuat untuk berkontribusi pada pengembangan prosedur baru.

Namun, dalam praktiknya, banyak pengguna tidak memikirkan perubahan teknologi atau tidak terlibat dalam perdebatan mengenai perlunya perubahan. Meskipun terdapat beberapa inisiatif internasional dan diskusi ekstensif di tingkat global tentang materi radiologi yang menjadi perhatian keamanan, banyak pengguna akhir yang belum sepenuhnya sadar akan kerentanan peralatan dan instrumen yang mereka gunakan, serta kemungkinan-kemungkinan pengganti non-isotop. Beberapa laporan menggambarkan kesulitan dalam meyakinkan pengguna akhir untuk beralih ke bahan yang kurang berbahaya.[14]

Pengguna dan khususnya manajer senior memiliki tanggung jawab dalam melibatkan regulator dan pemangku kepentingan utama lainnya untuk membiasakan diri dengan masalah-masalah keamanan terkait sumber radiasi dan untuk meningkatkan kesadaran

[13] Pengguna akhir di sini mengacu pada organisasi, perusahaan, produsen, rumah sakit, laboratorium, universitas, dan perusahaan atau praktisi lain yang telah dilisensikan untuk menggunakan sumber untuk tujuan tertentu. Meskipun individu atau beberapa individu mungkin satu-satunya pengguna peralatan atau instrumen yang mengandung sumber di salah satu entitas yang disebutkan di atas, tanggung jawab untuk pemilihan teknologi yang digunakan biasanya tidak akan ada di tangan mereka. Jadi entitas secara keseluruhan dianggap "pengguna akhir".

[14] Pomper, M. & Gluck, A. (2015). 1540 Compass. Removing Risk: Replacing High-Risk Radiological Sources with Alternatives. Retrieved from http://spia.uga.edu/wp-content/uploads/2016/04/Compass9_english.pdf.

mengenai opsi-opsi yang dapat mengurangi risiko keamanan, terutama melalui penggunaan teknologi alternatif.

REGULATOR

Regulator memainkan peran utama dalam penerapan teknologi alternatif. Mereka memberi pengguna akhir akan informasi mengenai teknologi alternatif ini dan peluangnya dalam memperoleh manfaat dari pengalaman-pengalaman mereka yang telah mengganti sumber radioaktif. Regulator juga dapat menerapkan kebijakan untuk memfasilitasi pengadopsian teknologi alternatif melalui disinsentif untuk terus menggunakan sumber yang disegel. Disinsentif dapat muncul dalam berbagai bentuk, termasuk peningkatan persyaratan peraturan untuk keamanan sumber radiasi, jaminan finansial untuk mengantisipasi pembuangan limbah yang tepat, dan persyaratan bahwa operator membenarkan perlunya menggunakan sumber radioaktif beraktivitas tinggi sebelum diberi wewenang untuk melakukannya. Peran utama lain dari regulator dalam upaya mengurangi risiko yang ditimbulkan oleh sumber radioaktif adalah promosi legislasi yang memadai dan pengenalan peraturan tambahan bila diperlukan.

Sebagai contoh, terutama sebagai reaksi terhadap serangan teroris di Amerika Serikat pada bulan September 2001, banyak regulator memperkenalkan persyaratan baru untuk keamanan, yang mencakup pemeriksaan latar belakang personil yang meningkat, peningkatan fasilitas keamanan fisik dan peningkatan pemantauan. Beban langkah-langkah baru ini telah mendorong beberapa operator untuk beralih ke teknologi alternatif.

Di beberapa negara, seperti Kanada, Perancis, Jerman, dan Swiss, para regulator sekarang mewajibkan operator untuk memberikan jaminan keuangan untuk mengatasi penghentian fasilitas mereka dan pembuangan sumber-sumber radiasi mereka yang disegel.[15] Jaminan keuangan tidak selalu dimaksudkan untuk mencegah penggunaan sumber-sumber radioaktif, tetapi untuk mengatasi fakta bahwa baik pemegang lisensi maupun pabrikan saat ini menanggung biaya siklus hidup penuh dari sumber-sumber tersebut, termasuk biaya pembuangan. Jaminan keuangan dalam rencana pendanaan untuk penghentian juga harus mengatasi pembuangan sumber radiasi yang sebenarnya.

Untuk meningkatkan keamanan, beberapa regulator telah melarang atau sangat tidak menyarankan beberapa sumber radiasi. Sebagai contoh, Denmark tidak lagi mengizinkan sumber Cs-137 untuk radiasi darah dan Norwegia membutuhkan justifikasi yang meyakinkan untuk lisensi perangkat Cs-137.[16] Regulator di Finlandia dan Swedia sangat mendorong penggunaan perangkat X-ray untuk meradiasi darah.[17]

Di Amerika Serikat, *Nuclear Regulatory Commission* (NRC) telah mengambil pendekatan yang berbeda. Dalam pernyataan kebijakan tahun 2011 yang terkait dengan radiasi

[15] Lihat Volders, B. and Sauer, T. (2016) pada list Kepustakaan Lanjut.
[16] Ibid.
[17] Ibid.

darah,[18] NRC mengatakan bahwa "mendukung upaya-upaya produsen untuk mengembangkan berbagai bentuk alternatif Cs-137 dan untuk memperkuat modifikasi perangkat yang lebih lanjut dapat mengurangi risiko penyalahgunaan yang terkait dengan CsCl." NRC lebih lanjut menyatakan bahwa:

> "Meskipun berada di luar ruang lingkup misi NRC untuk melakukan penelitian pengembangan, Komisi kami mendorong penelitian untuk mengembangkan bentuk kimia alternatif bagi sumber Cs-137 beraktivitas besar. Mengingat keadaan teknologi saat ini, dan karena bentuknya yang kurang terdispersi tidak meniadakan potensi risiko atau biaya pembersihan dan ekonomi yang besar, NRC percaya bahwa, untuk jangka dekat, lebih tepat untuk berfokus pada penegakan dari persyaratan keamanan Amerika Serikat secara berkelanjutan dan untuk memitigasi risiko melalui upaya kerja sama dan inisiatif sukarela dari industri-industri yang saat ini memproduksi dan menggunakan sumber CsCl. "

Pendekatan ini tampaknya umum di banyak negara, tetapi bisa berubah ketika teknologi alternatif terbaru muncul di pasaran.

BADAN PEMERINTAH LAIN

Instansi pemerintah lainnya juga dapat memainkan peran dalam mendorong adopsi teknologi alternatif. Di banyak negara, lembaga pemerintah mensponsori pengembangan atau inisiatif evaluasi untuk teknologi alternatif dan peningkatan metode non-isotop. Seringkali, departemen kesehatan memiliki tanggung jawab langsung untuk mengawasi praktik medis di lembaga medis publik dan dapat mempengaruhi pilihan teknologi serta anggaran terkait mereka. Di beberapa negara, pengaruh yang diberikan pada lembaga medis berasal langsung dari masalah keamanan. Di negara lain, terutama negara berkembang, biaya tetap menjadi faktor pendorong.[19]

Di Amerika Serikat, Environmental Protection Agency berpartisipasi dalam beberapa kelompok antar pemerintah yang berdedikasi untuk menyelidiki teknologi alternatif. Ia telah mendanai proyek-proyek untuk mendorong pengembangan dan penerimaan teknis teknologi alternatif untuk beberapa perangkat yang digunakan dalam aplikasi industri.

PRODUSEN PERANGKAT

Produsen perangkat memainkan peran sentral dalam pengembangan perangkat berbasis radionuklida dan teknologi alternatif, karena mereka terus meningkatkan produk yang sudah ada dan mengembangkan yang baru. Untuk mempromosikan produk

[18] NRC. (2011, April 18). Proposed final policy statement on the protection of cesium-137 chloride sources. Retrieved from www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/commission/secys/2011/2011-0058scy.pdf.
[19] Samiei, M. (2013). Challenges of making radiotherapy accessible in developing countries. Cancer Control. Retrieved from http://cancercontrol.info/wp-content/uploads/2014/08/cc2013_83-96-Samiei-varian-tpage-incld-T-page_2012.pdf.

mereka, produsen perangkat berpartisipasi dalam pameran dagang, konferensi industri, dan forum lainnya. Meskipun mereka utamanya berfokus pada penjualan produk mereka saat ini, produsen mengambil ekspektasi dan persyaratan pelanggan menjadi pertimbangan, dan pada akhirnya didorong oleh kebutuhan mereka. Dengan kata lain, mereka didorong oleh pasar.

Sangat penting untuk melibatkan produsen perangkat dalam upaya internasional untuk mendorong pengembangan teknologi-teknologi alternatif. Salah satu contoh upaya tersebut adalah *Advisory Group on increasing access to Radiotherapy Technology* (AGaRT)[20] pada negara-negara berghasilan rendah dan menengah, yang didirikan oleh IAEA, melalui PACT, pada tahun 2009. IAEA mengundang pengguna akhir onkologi radiasi, pakar internasional tentang onkologi radiasi dan produsen peralatan radioterapi untuk membentuk perkumpulan. Salah satu tujuan utama AGaRT adalah mendorong produsen peralatan radioterapi dan pemasok untuk mengembangkan akselerator linier berkualitas tinggi dan aman tetapi lebih murah untuk digunakan di negara berkembang. Beberapa produsen telah terlibat dalam upaya ini.

ASOSIASI PROFESIONAL

Asosiasi profesional dapat memainkan peran penting dalam mengurangi risiko yang terkait dengan sumber radioaktif dengan mengesahkan, mempromosikan dan mendorong penggunaan teknologi alternatif, serta di mana studi pendanaan memungkinkan untuk mengevaluasi kinerja mereka. Misalnya, di Amerika Serikat, Institut Teknologi Gas dan industri utilitas bekerja sama untuk melakukan evaluasi dan studi validasi alternatif pengganti alat pengukur kelembaban nuklir portabel. Setelah menganalisis lima alternatif non-nuklir ke alat pengukur nuklir portabel yang digunakan dalam kegiatan konstruksi, mereka memilih satu perangkat alternatif dan dioptimalkan untuk digunakan dalam kegiatan konstruksi yang unik untuk utilitas. Kedua organisasi juga menciptakan standar ASTM [ASTM D5874] untuk metode pengujian menggunakan teknologi alternatif.[21]

Di Perancis, perhimpunan pengelas (Institut de Soudure) mengelola dan mendanai program serupa, di mana mereka mengevaluasi enam kemungkinan teknologi untuk menggantikan pemeriksaan radiografi gamma dari lasan pipa. Mereka kemudian menyiapkan panduan tentang cara menggunakan dua teknologi tersebut. Mereka juga menciptakan standar ISO (ISO 10863 dan ISO 15626) untuk metodologi dan kriteria penerimaan salah satu teknologi.

[20] http://cancer.iaea.org/agart.asp
[21] Farrag, K. (2006). Modification of the Clegg Hammer as an Alternative to Nuclear Density Gauge to Determine Soil Compaction. Gas Technology Institute. Final Report for U.S. Environmental Protection Agency.

INISIATIF INTERNASIONAL
Nuclear Security Summits[22]

Dalam pidatonya di Praha tahun 2010, presiden Amerika Serikat menyatakan bahwa terorisme nuklir "adalah ancaman paling cepat dan ekstrem terhadap keamanan global." Untuk mengurangi ancaman ini, presiden mendesak agar "kita bertindak dengan tujuan dan tanpa penundaan," mengumumkan "upaya internasional baru untuk mengamankan bahan nuklir yang rentan di seluruh dunia" yang akan dimulai dengan "KTT Global mengenai Keamanan Nuklir yang akan bertempat di Amerika Serikat."
Dengan memfokuskan perhatian pada ancaman terorisme nuklir, Nuclear Security Summits dirancang untuk memberi energi, meningkatkan, memberdayakan dan meningkatkan banyak lembaga dan struktur multilateral dan kooperasi yang ada, yang bertujuan untuk mengamankan bahan-bahan nuklir dan mencegah penyelundupan nuklir. Pada Maret 2010, hampir 50 kepala negara berkumpul untuk pertemuan puncak perdana di Washington, pertemuan terbesar para pemimpin dunia sejak berdirinya Perserikatan Bangsa-Bangsa. KTT kedua diadakan di Seoul pada tahun 2012, yang ketiga berlangsung di Den Haag pada 2014 dan KTT keempat dan terakhir berlangsung di Washington pada tahun 2016.

The 2014 Nuclear Industry Summit Report of Working Group 3 (Managing Materials of Concern) menyatakan bahwa "Pekerjaan lain untuk mengurangi risiko keamanan sedini mungkin dalam siklus hidup sumber-sumber radiasi termasuk pengembangan 'keamanan dengan desain' dari perangkat yang mengandung sumber, bentuk fisik dan kimia yang lebih kuat, kemungkinan penggantian isotop tertentu oleh orang lain yang kurang peduli keamanan, dan alternatif untuk sumber radioaktif."

Pada 2016 Nuclear Security Summit, negara-negara yang berpartisipasi memperkuat pentingnya teknologi alternatif dalam pernyataan nasional mereka dan sebagai bagian dari keterlibatan tindak lanjut mereka. Sebagai contoh, sebagai bagian dari kebijakan nasionalnya untuk meminimalkan penggunaan sumber aktivitas tinggi ketika secara teknis dan ekonomi realistis, Perancis mengumumkan dalam laporan kemajuannya mengenai keamanan radiologi. Hal ini juga menyoroti kontribusinya terhadap teknologi alternatif, termasuk bekerja sama dengan Amerika Serikat, sebuah kelompok kerja ad hoc negara-negara pemangku kepentingan yang terlibat dengan teknologi alternatif. Kelompok kerja ini akan bertemu setidaknya sekali pada tahun 2016 dan sekali pada tahun 2017, dan dirancang untuk memungkinkan diskusi teknis tentang bagaimana meningkatkan penggunaan teknologi alternatif secara ekonomis dan teknis yang realistis. Pengguna akhir akan diundang untuk berbagi pengalaman mereka dalam menerapkan teknologi alternatif dan insentif dan disinsentif yang mereka hadapi.

[22] www.nss2016.org.

Inisiatif lainnya

Selain kegiatan-kegiatan ini, IAEA dan sejumlah Negara Anggota donornya telah mengembangkan proyek-proyek yang mendukung transisi ke teknologi alternatif, khususnya penggantian perangkat teleterapi kobalt-60 di negara-negara berkembang. Baru-baru ini, di Amerika Serikat, James Martin Center for Nonproliferation Studies and the National Cancer Institute, yang didukung oleh Stanley Foundation, telah bergabung dengan upaya ini, dengan meluncurkan lokakarya yang ditargetkan dengan tujuan menyatukan para pemangku kepentingan dari pusat kanker pengguna akhir di negara-negara berkembang dan para ahli internasional untuk membahas cara-cara praktis menggantikan akselerator linear untuk mesin teleterapi kobalt-60.

Prakarsa IAEA AGaRT yang disebutkan di atas menyediakan forum penting untuk diskusi dan pertukaran pengalaman tentang radioterapi. Keberadaannya memastikan bahwa pengambil keputusan di negara berkembang memiliki dukungan yang diperlukan untuk beralih ke teknologi alternatif yang aman dan tepat.

Pemangku kepentingan internasional utama juga mengkoordinasikan upaya mereka dalam mengembangkan dan berbagi pengalaman terbaik mengenai adopsi teknologi alternatif dan pembuangan limbah sumber radiasi yang tepat.

III. TEKNOLOGI ALTERNATIF APA YANG TERSEDIA?

Teknologi yang menyediakan metode alternatif dalam mendapatkan pengukuran dan penatalaksanaan secara objektif untuk hampir semua aplikasi yang menggunakan sumber radioaktif sudah tersedia. Dibawah ini adalah ringkasan singkat dari beberapa sumber radioaktif yang paling terkenal dalam kedokteran dan industri dimana perubahan ke arah teknologi alternatif ini cukup menjanjikan.

APLIKASI MEDIS
TELETERAPI

Teleterapi adalah sebutan umum untuk penggunaan energi tinggi radiasi pengion untuk mengobati kanker pada jarak tertentu dari pasien (berlawanan dengan brakiterapi dengan Teknik sederhana). Alat teleterapi dapat meradiasi tumor hingga teknik yang komplek, tergantung kebutuhan terapi dan kecanggihan alat serta alat *Treatment Planning System* (TPS) yang dimilikinya. Contohnya memberikan radiasi terkolimasi yang sederhana dengan satu isosenter dari beberapa hingga banyak sudut penyinaran; memberikan radiasi secara kontinu melalui isosenter dengan kolimasi yang kompleks untuk memfokuskan radiasi ke tumor; dan memfokuskan ratusan sumber radiasi ke suatu titik yang dituju dan memposisikan tumor pasien ke lokasi tersebut.

Semakin presisi fokus radiasi ke tumor dan semakin tersebar sinar yang datang, semakin sedikit jaringan sehat atau non kanker yang akan terekspos terhadap radiasi. Dengan

demikian meminimalkan toksisitas ke jaringan normal. Modern teknologi teleterapi lebih presisi dan menghasilkan toksisitas ke jaringan yang lebih rendah dibandingkan teknologi yang lama.

Sumber Radioaktif

Sumber radioaktif tersering digunakan saat ini adalah Cobalt-60, yang mana merupakan isotop radioaktif sintetis dari Cobalt-59. Cobalt-60 diproduksi sebagai hasil sampingan dari reaktor nuklir atau aktivasi neutron dari Co-59. Co-60 menghasilkan dua sinar gamma dengan energi 1,17 dan 1,33 MeV pada waktu proses peluruhan radioaktif.[23]

Unit teleterapi yang menggunakan Co-60 pertama kali dikembangkan pada sekitar tahun 1950an dan terus dimodernisasi setelahnya. Cobal-60 relatif simpel dan kuat, sehingga mereka umumnya memerlukan perawatan operasional yang minimal. Uniit ini biasanya mengikuti persyaratan regulasi untuk keamanan sumber radioaktif yang dimiliki. Mereka juga memerlukan penggantian sumber radioaktif secara periodik akibat hasil peluruhan radioaktif dari Co-60 yaitu 5,27 tahun waktu paruhnya. Pada saat ini, dengan keamanan transpor yang ketat dan persyaratan untuk impor dan ekspor yang diijinkan untuk sumber radiasi sudah ditingkatkan, perpindahan sumber C0-60 sudah menjadi sangat mahal dan kompleks, khususnya berkenaan dengan logistik transpor cobalt-60 lintas nasional maupun internasional.

Alternatif

Alternatif paling umum untuk unit Co-60 adalah akselerator linier medis (Linac). Linac menghasilkan sinar X energi tinggi dalam proses konversi e / X. Mereka mencapai rentang energi dari ~ 4 MeV hingga 25 MeV dengan mempercepat elektron mono-energetik dari energi yang sama mendekati kecepatan relativistik dan menghantamkan mereka ke target logam. Linacs juga menawarkan pilihan lain yang mudah digunakan, seperti on-board 2-D x-ray atau pencitraan CT volumetrik dan dosis elektron untuk perawatan dangkal.

Meskipun kedua jenis unit teleterapi efektif untuk terapi kanker, praktisi di negara maju telah menunjukkan preferensi yang berbeda untuk Linac karena berbagai alasan. Salah satunya adalah bahwa mereka menghasilkan energi yang jauh lebih tinggi yang dapat menembus lebih dalam ke dalam tubuh. Alasan lain adalah bahwa sistem Linac saat ini memiliki output hingga 2400 MU / menit (dan bahkan dimungkinkan menghasilkan

[23] Thomas, E, Popple, R, & Fiveash, J. (2016). Supplanting the old with the new: risks and waning benefits associated with medical use of cobalt-60 in the era of modern linear accelerators. Presented at the 2016 IAEA Conference on Nuclear Security: Commitments and Actions, Vienna. Retrieved from: https://www.wins.org/files/Supplanting_old_with_the_new-risks_and_waning_benefits_associated_with_use_of_Co-60.pdf

output yang lebih tinggi). Ini menghasilkan perawatan pasien yang jauh lebih cepat yang sangat presisi.[24]

Sebuah argumen bahwa sistem teleterapi Co-60 lebih tepat daripada Linacs untuk terapi radiasi di negara berkembang (oleh sebab harga Linac yang mahal, membutuhkan daya listrik yang besar, tenaga kerja yang terampil, menyebabkan biaya pelayanan yang mahal). Namun sistem baru sedang dikembangkan untuk mengatasi masalah ini. Selanjutnya ketika salah satu faktor dalam biaya persyaratan keamanan Co-60, penggantian sumber dan pembuangan limbah akhir, Linac menjadi lebih layak secara finansial, terutama dengan model berbiaya rendah yang sekarang tersedia secara komersial.

Akibatnya, semakin banyak negara berkembang menggantikan teknologi teleterapi Co-60 lama dengan Linacs.[25] Menurut data terbaru yang diterbitkan oleh IAEA[26], sekitar 3.035 dari 11.365 Linac di dunia berada di negara berkembang. Banyak negara berkembang (termasuk Aljazair, Mesir, Libya, Maroko, dan Tunisia) telah memperkenalkan Linac disamping mesin Co-60 mereka. Ketika Linac menjadi semakin terjangkau, tren serupa diharapkan terjadi di banyak negara lain.

Mayoritas Linac yang baru dibeli untuk menggantikan unit teleterapi Co-60 yang telah dinonaktifkan. Salah satu tantangan terbesar perpindahan dari Co-60 ke peralatan Linac adalah manajemen yang aman dan keamanan dari sumber radioaktif bekas dari mesin Co-60 lama.

Semua sumber radioaktif bekas pakai dari mesin Co-60 yang dinonaktifkan tetap menjadi masalah keamanan sampai dibuang dengan aman sesuai dengan dokumen panduan IAEA.[27,28]

RADIOSURGERY

Radiosurgery (biasa disebut stereotactic radiosurgery atau SRS) adalah Teknik yang digunakan untuk tatalaksana tumor otak dan intrakranial lainnya. Radiosurgeri memerlukan satu kali penyinaran atau beberapa kali. Untuk melakukan pembedahan, sumber radioaktif Co-60 diletakkan pada alat berbentuk hemisferik yang memfokuskan radiasi gamma ke tumor otak.

---

[24] Samiei, M. (2013). Challenges of making radiotherapy accessible in developing countries. Cancer Control. Retrieved from http://cancercontrol.info/wp-content/uploads/2014/08/cc2013_83-96-Samiei-varian-tpage-incld-T-page_2012.pdf

[25] Eid, R. (2016). Lessons learned from converting Co-60 teletherapy units. Presented at the International Conference on Nuclear Security: Commitments and Actions, Vienna. Retrieved from http://www-pub.iaea.org/MTCD/Meetings/PDFplus/2016/cn244/cn244FinalProgramme.pdf

[26] IAEA (2016). DIRAC Directory of Radiotherapy Centers. Retrieved from www-naweb.iaea.org/nahu/dirac/query3.asp

[27] IAEA. (2005). Disposal options for disused radioactive sources. Retrieved from http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS436_web.pdf

[28] IAEA. (2014). Nuclear energy series no. nw-t-1.3. Management of disused sealed radioactive sources. Retrieved from http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1657_web.pdf

Alat pertama dan paling umum dipakai disebut dengan Gamma Knife (GK). Terapi GK digunakan ketika pembedahan terlalu berbahaya atau dimana bedah intrakranial mempunya lebih banyak komplikasi daripada terapi GK non-invasif. Tiap sumber Co60 yang sangat terkolimasi dalam GK yang baru menghasilkan ~ 30 Ci radiokatif dengan total ~ 6000 Ci. Dari perspektif pasien, salah satu tantangan terbesar GK adalah frame yang kaku harus ditancapkan ke tulang kepala pasien, dan terapi dapat berlangsung dari 30 menit hingga 3 jam atau lebih tergantung pada jumlah dan kompeksitas dari target dan usia dari sumber.[29]

Masalah lain adalah setelah 5-10 tahun, peluruhan radioaktif, energi radiasi menjadi rendah akibatnya tambahan waktu terapi menjadi sangat lama. Sumber harus diganti dan dibuang, dimana harganya dapat mencapai $ 1.000.000. Walaupun terapi GK sangat efektif, keamanan dan pembuangan limbah sumber cobalt tetap menjadi perhatian topik diskusi yang mencuat di dunia.

Alternatif

Linear accelerator menjadi alternatif dari pesawat cobalt untuk terapi kanker otak. Pesawat Co-60 memang lebih mudah untuk dioperasikan dibandingkan dengan Linac, namun setelah 15 tahun ini menjadi semakin muktahir dan dapat digunakan untuk bagian tubuh lain. Pada 5-10 tahun ini, peneliti menemukan bahwa radiasi berbasis Linac untuk tumor otak menghasilkan dosimetri, keamanan dan efikasi yang sebanding dengan terapi GK. Nyatanya beberapa peneliti menemukan bahwa Linac memberikan terapi yang lebih efisien.[30]

Hasil akhir penempatan teknologi berbasia LInac telah meningkatkan terapi dan penggunaan radiosurgery berbasis Linac. Sebagai buktinya, Park[31] melaporkan bahwa penggunaan bedah Linac untuk tumor otak meningkat dibandingkan dengan GK, dari 3.2% tahun 2003 hingga 30.8% di 2011. Tren ini sepertinya akan terus meningkat.

BRAKITERAPI

Terapi radiasi interna atau brakiterapi sudah digunakan untuk mengobati beberapa kanker. Prosedur ang paling sering digunakan bersamaan dengan radioterapi sinar luar, bedah atau kemoterapi untuk mengbobati mendometrium, serviks, prostat dan kanker pankreas. Hal ini termasuk meletakkan sejumlah kecil sumber radioaktif dekat dengan

[29] Lindquist C., & Paddick, I. (2007). The Leksell Gamma Knife perfexion and comparisons with its predecessors. Neurosurgery, 61, 130–140. Retrieved from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17876243

[30] Chen, C., Schulz, R., Lau, S., et al. (2016, December). Linac & Co-60 are comparable options for cranial radiosurgery: University of California, San Diego Experience. Presented at the 2016 IAEA Conference on Nuclear Security: Commitments and Actions, Vienna. Retrieved from https://www.wins.org/files/Linac_&_Co-60_are_Comparable_Options_for_Cranial_Radiosurgery.pdf

[31] Park, H.S., Wang, E.H., Rutter, C.E., et al. (2016). Changing practice patterns of Gamma Knife versus linear accelerator-based stereotactic radiosurgery for brain metastases in the US. Neurosurg. 2016 Apr;124(4):1018-24. Retrieved from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26473783.

tumor dalam tubuh dengan periode waktu tertentu untuk menyediakan dosis local dengan kerusakan minimal pada jaringan sekitar. Brakiterapi juga menjadi terapi primer untuk sarcoma jaringan lunak, kanker vagina dan rectum, kanker mulut dan lidah stadium awal dan karsinomal endobronkial.[32] Talaksana ini termasuk meletakkan sumber radioaktif ke dalam atau dekat dengan area yang terapapar yang membutuhkan terapi. Hal ini membolehkan dosis radiasi yang lebih tinggi diberikan pada area yang lebih kecil daripada menggunakan pesawat teleterapi

Sumber radiasi

Sumber radiasi yang biasanya digunakan dalam brakiterapi adalah Cs-137, Co-60, Ir-192, Iodine-125 dan Palladium-103. Baru-baru ini, tidak ada radionuklei yang sempurna untuk diaplikasikan dalam brakiterapi. Untuk memilih aplikasi dengan tujuan, salah satu yang perlu dipikirkan adalah aktivitas spesifik, waktu paruh, tipe emisi energi dan blok yang dibutuhkan. Sebagai contoh, Ir-192 memiliki aktivitas spesifik tinggi, yang berarti dengan jumlah kecil dapat memberikan dosis energi radiasi yang tinggi. Dengan energi foton yang efektif sekitar 350 KeV, dosis terserap yang cukup dipastikan untuk mengobati area target secara homogen. Bagaimanapun, kekurangannya adalah Ir-192 memiliki waktu paruh 74 hari; yang berarti sumber harus diperbaharui kira-kira setiap 3-4 bulan sekai untuk menjaga waktu terapi yang dapat diterima.[33]

Cs-137 sering digunakan pada aplikasi ginekologi. Karena memiliki waktu paruh yang Panjang (30.2 tahun), ini hanya membutuhkan penggantian setiap 10-15 tahun sekali. Beberapa implan bahkan ditempatkan pada tumor permanen. Sebagai contoh kanker prostat dan tumor otak sering diobati dengan biji I-125 karena memiliki waktu paruh yang pendek (59 hari) dan faktanya foton yang dihasilkan memiliki energi yang rendah sehingga terserap di dalam pasien.

Alternatif

Pada beberapa kasus Linac telah menggantikan pesawat brakiterapi, khususnya untuk mengobati esofagus, paru-paru, payudara dan kanker kulit. Meskipun terapi Linac secara umum lebih mahal. Bagaimanapun sumber radioaktif masih dipertimbangkan sebagai terapi terbaik pada beberapa tipe kanker. Sementara lebih banyak radioterapi sinar luar dengan LInac yang efektif masih penelitian lebih lanjut.[34] Penggunaan sumber radioaktif pada brakiterapi diragukan dapat dgantikan dengan terapi radiasi non-isotopik yang sama efektifnya dalam jangka waktu dekat. Tipe terapi lainnya sedang

[32] World Health Organization. (2011). *Remote-afterloading brachytherapy system.* Retrieved from www.who.int/medical_devices/innovation/remote_afterloading_brachytherapy.pdf.

[33] IAEA. (2013). Radiation safety in brachytherapy. Retrieved from https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/InformationFor/HealthProfessionals/2_Radiotherapy/RadSafetyBrachytherapy.htm.

[34] Kilic, S., Racchiolo, B., Mahmoud, O. (2015). Non-brachytherapy alternatives in cervical cancer radiotherapy: Why not? Applied Radiation Oncology. Retrieved from: http://appliedradiationoncology.com/articles/non-brachytherapy-alternatives-in-cervical-cancer-radiotherapy-why-not.

dalam investigasi. Ketika 2 tipe dari radioterapi, seperti radiasi eksterna dan brakiterapi memberikan hasil terapi yang baik, pilihan dari terapi adalah secara eksklusif sebuah keputusan medis yang didasarkan pada kondisi yang khusus pada pasien dan peralatan dan keahlian yang tersedia.

IRADIASI DARAH

Darah secara rutin di iradiasi dalam irradiator gamma dengan pelindung untuk mencegah *Transfusion-Associated Graft-vs-Host Disease* (*TAGVHD*), komplikasi pada transfusi yang langka tapi fatal dimana sel darah putih dari darah di pendonor menyerang jaringan dari penerima. Tujuan dari tindakan ini adalah untuk memberikan dosis radiasi ionisasi yang direkomendasikan untuk menghilangkan kapasitas proliferatif dari limfosit.

Sumber-sumber Radioaktif

Peralatan yang mengandung Cs-137 lazimnya digunakan pada iradiasi darah. Peralatan tersebut lebih di sukai karena kapasitasnya yang besar dan kemampuan untuk melakukan iradiasi dengan cepat dan merata. Lebih lanjut, waktu paruh Cs-137 yang berkisar selama 30 tahun, berarti bahwa sumber tersebut tidak harus diganti sedemikian cepatnya selama masa pakai alat tersebut. Peralatan tersebut juga mudah digunakan, dapat diandalkan dan memerlukan rendah perawatan dan kalibrasi. Akan tetapi sumber-sumber Cs-137 berbentuk garam cesium klorida yang mudah tersebar dan sangat berbahaya apabila kapsul tersebut pecah (hal ini terjadi pada insiden Goiania - lihat halaman 4) Garam juga mudah tlarut dalam air. Potensi bahaya tersebut menimbulkan kekhawatiran di kalangan regulator dan pengguna akhir, dan mengakibatkan beberapa negara untuk mencari beberapa alternatif. Insentif yang ditawarkan mulai dari dorongan untuk mengkonversi (sumber) hingga melarang irradiator yang menggunakan Cs-137 secara terang-terangan dan hal ini sudah memiliki tingkat keberhasilan yang beragam.

Berbagai Alternatif[35]

Peralatan dengan sumber X-Ray dianggap cukup efektif dalam melakukan iradiasi darah. Alat tersebut tidak membutuhkan ijin material radioaktif, memiliki persyaratan keamanan yang lebih rendah dan menghilangkan resiko keamanan. Keuntungan khusus dari peralatan dengan sumber X-ray adalah bobotnya yang jauh lebih ringan sehingga batasan strukturalnya lebih sedikit. Peralatan tersebut juga memiliki kapasitas siklus iradiasi yang relatif cepat yang hampir sama dengan pesawat yang menggunakan Cs-137.

[35] Pomper, M., Murauskaite, E., & Coppen, T. (2014). Promoting Alternatives to High-Risk Radiological Sources: The Case of Cesium Chloride in Blood Irradiation. Retrieved from www.nonproliferation.org/wp-content/uploads/2014/03/140312_alternative_high_risk_radiological_sources_cesium_chloride_blood.pdf.

Akan tetapi, irradiator X-ray juga memiliki kekurangan tertentu yang menjadi perhatian di negara-negara berkembang. Sebagai contohnya, peralatan tersebut memiliki masa pakai yang lebih singkat daripada peralatan serupa yang menggunakan Cs-137 dan kemungkinan rusaknya lebih sering, terutama jika sumber dayanya tidak stabil. Lebih lanjut, sebagian besar model memerlukan air pendingin yang wajib dijaga pada tekanan tertentu. Peralatan tersebut juga memerlukan perawatan preventif yang lebih sering, termasuk penggantian atau perbaikan tabung X-Ray secara berkala.

Beberapa pertimbangan terkait penggunaan Linacs untuk mengiradiasi unit darah, yang dapat memberikan distribusi dosis yang homogen. Namun aplikasi ini belum diterima secara luas karena lama waktu unit darah meninggalkan bank darah yang tidak dapat ditentukan. Hal ini menyebabkan sulitnya kontrol suhu unit darah. Lagi pula, pelaksanaannya tidak praktis dan dapat menyebabkan penundaan. Namun beberapa laporan menunjukkan hasil yang baik dengan pendekatan yang berbeda dari Linacs di rumah sakit.[36] Penggunaan ultraviolet iradiasi menjadi prosedur lain yang menarik perhatian, dengan keuntungan penghambatan aktivitas mitotik limfosit dan inaktivasi sel T. Hal ini telah digunakan pada penatalaksanaan pasien dengan infeksi darah. Sebagai tambahan, teknik ini tidak membutuhkan materi radioaktif.

Walaupun kesadaran akan hal ini telah meningkat, banyak regulator, dengan pengecualian di beberapa negara, belum memberikan insentif yang dapat mendorong penggantian alat iradiasi darah yang menggunakan Cs-137. Agaknya, regulator lebih fokus terhadap peningkatan dan penguatan sistem proteksi fisik terhadap keamanan penggunaan alat yang potensial disalahgunakan. Sebagai tambahan, usaha telah dilakukan untuk meningkatkan keamanan dan mengurangi resiko dengan pengembangan desain alat iradiasi. Pada saat yang bersamaan, kita menyesuaikan dan mencoba mengatasi celah keamanan. Beberapa orang masih bekerja dengan niat tidak baik untuk membuka celah keamanan.

PENGGUNAAN INDUSTRIAL

Alat Iradiasi Industrial[37]

Alat Iradiasi industrial memaparkan produk dan kemasan terhadap radiasi pengion untuk tujuan yang bermacam-macam, seperti misalnya sterilisasi alat medis dan produk kesehatan, pengawetan makanan (meningkatkan keamanan makanan dan memperlama waktu simpan) dan modifikasi sifat kimia dan fisika dari materi (*cross-linking, grafting* atau polimerasi industri dan plastik). Radiasi dapat bersumber dari sumber radioaktif yang terproteksi (umumnya ribuan sampai dengan jutaan curies dari Co-60), penyinar elektron atau alat generator sinar x. Lebih dari 85% penggunaan irradiasi industrial di dunia berhubungan dengan sterilisasi alat medis dan instrumen.[38]

[36] Shastry, S., et al. (2013). Linear accelerator: a reproducible, efficacious and cost effective alternative for blood irradiation. Transfus Apher Sci.;49(3):528-32.
[37] IAEA. (1996). Manual on Panoramic Gamma Irradiators (Categories II and IV). Retrieved from www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/025/28025757.pdf.
[38] IAEA. (2010). The Use and Management of Sealed Radioactive Sources. Retrieved from

Sumber Radioaktif

Sterilisasi gamma adalah proses yang sederhana, terbukti aman, dapat dipercaya dan sangat efektif. Laporan IAEA 2008, Tren Sterilisasi Radiasi pada Produk Kesehatan,[39] menemukan bahwa lebih dari 200 alat iradiasi gamma digunakan untuk berbagai tujuan di 55 negara, 120 nya berlokasi di Eropa dan Amerika Utara. Iradiasi gamma mempunyai kemampuan untuk menembus produk yang telah dikemas. Hal ini mencermatkan proses manufakturing dan proses distribusi, dengan menjamin sterilitas dari produk.

Di bidang medis, proses ini digunakan untuk mensterilisasi sejumlah besar produk, termasuk alat suntik, sarung tangan bedah, sendi artifisial dan alat implan, seperti misalnya katup jantung dan ortopedik. Produk yang telah diiradiasi dapat langsung digunakan dan seluruh proses nya tepat dan dapat diulang.

Dua jenis alat iradiasi komersial menggunakan sumber radioaktif yang terproteksi adalah alat di dalam air (*underwater*) dan model *wet-source-storage panoramic.* Alat iradiasi di dalam air (*underwater*) menggunakan sumber radiasi yang disimpan di dalam air, dengan pekerja dan lingkungan yang diproteksi dari air. Produk yang diiradiasi disimpan dalam wadah kedap air, dimasukkan ke dalam kolam, diiradiasi kemudian dipindahkan.[40] Iradiasi menggunakan, *wet-source-storage panoramic* menggunakan metode penenggelaman sumber radiasi di dalam kolam air bawah tanah. Produk yang diiradiasi dipindahkan ke dalam area, menggunakan alat pembawa barang, kemudian sumber radiasi akan dinaikkan ke udara untuk mengiradiasi produk. Setelah itu, sumber radiasi ditarik masuk lagi ke dalam kolam. Sumber radiasi di atas permukaan, dilindungi oleh lapisan concrete (dengan ketebalan 2 meter).

Alternatif

Electron Beam Accelerator semakin meningkat penggunaannya untuk berbagai jenis sterilisasi. Penggunaan sinar elektron sebagai sumber radiasi meXpunyai beberapa keunggulan antara lain penghantaran dosis sinar yang seketika, hasil yang dapat dibandingkan pada berbagai luaran yang berbeda, kemampuan untuk proses yang terintegrasi. Namun sinar elektron memiliki keterbatasan kedalaman penetrasi, akibatnya membatasi penggunaannya.

Proses gamma memiliki keuntungan dibandingkan metode sterilisasi lain. Jika iradiasi makanan (daging, unggas, buah-buahan segar, sayuran) diperbolehkan, radiasi gamma lebih dipilih karena dapat menembus dalam. Berbeda dengan sinar elektron yang memiliki daya tembus yang kecil. Lebih lanjut lagi, etilen oksida digunakan untuk produk medis yang tidak dapat dipapar dengan radiasi, seperti misalnya kateter, pipa IV dan

https://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC56/GC56InfDocuments/English/gc56inf-3-att6_en.pdf.

[39] IAEA. (2008). STI/PUB/1313. Trends in Radiation Sterilization of Health Care products. Retrieved from www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1313_web.pdf.

[40] U.S. Nuclear Regulatory Commission. (2014). Background on Commercial Irradiators. Retrieved from www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/commercial-irradiators.html.

endotrakeal serta balon angiografi. Namun gas ini bersifat karsinogenik dan membutuhkan pengawasan yang ketat, mencegah tidak bocor ke lingkungan.

Sinar X dosis tinggi (berdasar e/X convertors), yang telah digunakan lebih dari satu dekade, memiliki kemampuan untuk mengiradiasi produk yang lebih tebal, namun biaya nya lebih tinggi. Hal ini dikarenakan efisiensi konversi energi yang rendah. Biaya dari alat iradiasi sinar X menjadikan teknologi yang kompetitif dibandingkan sinar gamma untuk volume kebutuhan proses menengah sampai dengan besar. Semakin tinggi volume proses, semakin ekonomis teknologi sinar x. Sinar X lebih ekonomis daripada sinar gamma pada kapasitas ekuivalen lebih dari 1,5 -2 Mci. Penggunaan electron accelator sebagai sumber radiasi semakin meningkat, tapi penggantian alat iradiasi gamma tetap menjadi tantangan, khusus nya produk yang tidak seragam dengan densitas tinggi.

RADIOGRAFI UNTUK PEMERIKSAAN NON DESTRUKTIF

Industri radiografi adalah prosedur nondestruktif menggunakan radiasi pengion untuk melihat objek yang tidak bisa dilihat.[41] Prosedur ini menggunakan energi yang cukup untuk menembus material dan menghasilkan gambar dengan kontras dan prosesnya sesuai dengan kurun waktu yang bisa diterima. Untuk menghasilkan gambar dibutuhkan kamera khusus yaitu kamera radiografi. Sebagian besar aktifitas industry radiografi dilakukan untuk memeriksa retakan hasil pengelasan dan kekurangan lain dalam pipa gas dan minyak, pengelasan logam, boiler dan kendaraan, kapal dan komponen pesawat terbang. Ribuan perangkat ini digunakan dan ditransportasikan setiap saat keseluruh dunia.

Sumber radioaktif

Sumber radioaktif (biasanya Cs-137, Ir-192, Se-75, dan Co-60) digunakan sebagai sumber radiasi pengion untuk alat-alat yang digunakan dalam prosedur ini. Peralatan yang digunakan terbungkus kompak dan tidak membutuhkan energi listrik. Ukurannya yang kecil membuatnya mudah untuk dibawa dan mudah untuk melewati pipa dengan diameter yang kecil. Meskipun demikian, terdapat masalah keamanan dan keselamatan yang mayor karena rumah kamera termasuk berisiko radionuklir tinggi kategori 2 atau 3 dan seringkali keamanan pengukuran saat transportasi dan penggunaan tidak memadai. Meskipun jumlah materi radioaktif sedikit akan tetapi insiden yang terjadi fatal dan parah.[42],[43]

Kekurangan lainnya adalah sumber yang digunakan memiliki keterbatasan karena waktu paruhnya, yang berarti harus sering diganti. Sebagai tambahan, meskipun energi tinggi

[41] United States Environmental Protection Agency. (2016). EPA. Industrial Radiography. Retrieved from: https://www3.epa.gov/radtown/industrial-radiography.html.

[42] IAEA. (1998). *Lessons Learned from Accidents in Industrial Radiography*. Retrieved from www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/STIPUB1058-14815945.pdf.

[43] Coeytaux, K., et al. (2015). Reported Radiation Overexposure Accidents Worldwide, 1980-2013: A Systematic Review. Retrieved from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4366065.

yang dihasilkan sumber artinya memiliki daya tembus yang tinggi akan tetapi menghasilkan sedikit kontras dibandingkan alat X-ray. Sumber tidak dapat dimatikan atau diatur intensitasnya.

Alternatif

Sumber x-ray berbeda dengan radionuklir, menghasilkan spektrum energi yang berkelanjutan hingga maksimum (tergantung voltase yang dioperasikan). Meskipun demikian, sumber x-ray konvensional secara umum membutuhkan energi 220 volt yang kadang menjadi tantangan tersendiri. Juga membutuhkan system ruangan pendingin (sering berbasis air) dan terlalu besar untuk dapat melewati pipa, sehingga x-ray bukan pilihan terbaik untuk radiografi. Meskipun demikian perkembangan desain x-ray saat ini membuat sumber x-ray menggunakan tenaga batere dan ukurannya mendekati rumah sumber radioaktif.[44]

Seiring dengan kemajuan dalam sumber daya komputasi dan perangkat lunak analisis lebih canggih sudah tersedia, jumlah pemeriksaan dengan radiografi gamma bisa lebih jauh berkurang. Namun, perubahan menggunakan cara alternatif berjalan relatif lambat karena sumber radioaktif konvensional lebih mudah digunakan dan alternatif non-isotop tidak menawarkan peningkatan signifikan dalam hal biaya dan kualitas.

PENGAMBILAN DATA DALAM SUMUR UNTUK INDUSTRI MINYAK DAN GAS

Dalam mencari hidrokarbon, perusahaan minyak dan gas mengebor sumur. Untuk menentukan
viabilitas sumur dan keberadaan hidrokarbon, berbagai data fisik, kimia, elektrik dan data lain yang berkaitan dengan formasi geologis yang dipenetrasi dalam proses pengeboran harus tercatat. Proses ini dikenal juga sebagai pengambilan data dalam sumur.
Ada berbagai cara untuk mengambil data ini. *Wireline logging* melibatkan penurunan sumber-sumber radioaktif yang dibungkus khusus dan detektornya ke dalam lubang sumur yang ada. Sumber dan detektor juga dapat dipasang pada *collar drill* untuk melakukan pengukuran sementara sumur sedang dibor. Pendekatan ini disebut *logging while drilling.*[45]

Sumber radioaktif

Sumber gamma digunakan untuk mengukur densitas lapisan batuan di sekitar lubang sumur dari sumur minyak. Proses yang digunakan disebut *backscatter measurement*. Sumber harus terlindung dengan baik untuk menahan tekanan eksternal yang tinggi,

[44] Light, GM. (2007). *Comparison of Pulsed X-ray Source Digital Radiography with Isotopic Radiography on Pipe*. Retrieved from: www.ndt.net/article/mendt2007/papers/light1.pdf.
[45] The US National Research Council. (2008). Radiation source use and replacement: Abbreviated Version. Committee on Radiation Source and Replacement, Nuclear and Radiation Studies Board. Published by The National Academies Press. Washington DC.

suhu dan lingkungan korosif jauh di dalam sumur. Selain itu, *neutron log* adalah metode utama yang digunakan untuk mengevaluasi porositas formasi. Pengukuran yang dihasilkan oleh proses ini, digabungkan dengan data lain, memberikan indikasi adanya hidrokarbon. Dua radionuklida yang telah digunakan selama lebih dari 50 tahun untuk tujuan ini adalah Cs-137 (biasanya sekitar 2-Ci), untuk mengukur densitas, dan Am-241 (biasanya 16-20 Ci) di sumber neutron Am-Be, untuk mengukur porositas (yang berarti keberadaan hidrokarbon). Cf-252 adalah sebuah alternatif untuk sumber Am-Be. Waktu paruh yang pendek (2.65 tahun) dari Cf-252 membutuhkan penggantian isotop dan kalibrasi ulang alat yang sering. Sumber-sumber neutron Am-Be baru adalah mahal dan sulit diperoleh. Sebaliknya, Cf-252 lebih murah dan energi neutronnya sebanding dengan Am-Be.

Alternatif[46]

Selama beberapa tahun, industri perminyakan telah menyelidiki penggunaan sumber alternatif untuk pengambilan data sumur. Namun, upaya untuk mengganti sumber radioaktif yang ada saat ini menghadapi sejumlah tantangan teknis, logistik dan finansial. Alat alternatif tidak seakurat alat yang menggunakan sumber radioaktif dalam menentukan porositas.

Selain itu, karena keterbatasan fisik dan perangkat keras, peralatan *logging wireline nuclear magnetic resonance (NMR)* beroperasi jauh lebih lambat daripada peralatan *logging* lainnya. Beberapa teknik memberikan validasi dari sumber yang berbasis porositas dan saat ini digunakan untuk melengkapi metode berbasis nuklir (contohnya teknik akustik untuk menentukan sifat mekanik batu dan teknik *NMR* untuk sediaan cairan).

Permasalahan lainnya adalah alternatif yang diuji mungkin tidak tersedia secara umum karena teknologi terkait bersifat kompleks, sehingga sulit bagi perusahaan *logging* kecil untuk merancang, menguji, dan menerapkan perangkat terkait dengan baik. Kenyataannya, hingga saat ini generator dengan teknik porositas hanya digunakan oleh satu perusahaan logging besar. Layanan yang melibatkan alat *logging NMR* umumnya disediakan oleh perusahaan-perusahaan jasa *logging* terpadu utama.

Pergantian metode saat ini dapat menciptakan masalah interpretasi, termasuk perubahan porositas dan sensitivitas litologi, karena perbedaan fisik. Meskipun kemampuan untuk mengkalibrasi dan menilai desain alat nuklir baru menggunakan simulasi komputer, kalibrasi laboratorium yang cukup dan uji lapangan vendor masih tetap dibutuhkan. Pengguna harus menyesuaikan dengan grafik kalibrasi baru dan barangkali dapat mengembangkan korelasi baru untuk respons alat-alat terhadap geologi. Pengalaman bertahun-tahun dengan alat di bidang tertentu mungkin diperlukan, terutama jika fisika sangat berbeda.

[46] U.S. Department of Energy. (2011). Evaluation of Non-Nuclear Techniques for Well Logging: Final report. Retrieved from www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-20831.pdf

Namun demikian, sedang dilakukan proyek untuk meningkatkan teknik porositas berbasis generator dan terknik porositas non-isotop. Pengembangan lebih lanjut dalam mengembangkan generator baru atau teknik lain diharapkan tercapai dalam waktu dekat, tetapi perkembangannya berjalan lambat.

PENGUKURAN DENSITAS KELEMBABAN UNTUK INDUSTRI KONSTRUKSI

Unsur penting dalam setiap proyek teknik sipil adalah tanah yang dipadatkan. Untuk mengontrol proses pemadatan tanah, kerapatan tanah in-situ dan kadar kelembaban biasanya diukur dengan menggunakan pengukur densitas nuklir (*NDG: Nuclear Density Gauge*). *NDG* saat ini merupakan perangkat standar untuk mengendalikan pemadatan tanah dalam konstruksi di seluruh dunia. Meskipun alat pengukur ini biasanya menggunakan sumber Kategori 3 atau 4 (yaitu bukan sumber aktivitas tinggi), mereka termasuk dalam laporan ini karena skala global penggunaannya dan tindakan keamanan yang longgar terkait dengan operasionalnya.

Sumber Radioaktif

NDG pada umumnta menggunakan Cs-137 untuk mengukur kepadatan dan Am-241 untuk mengukur kelembaban. Pengukur berkerja dengan memproduksi dosis kecil gelombang gamma backscatter. Radiasi yang dipantulkan dari tanah terdeteksi di dasar alat ukur dan diubah menjadi densitas tanah ketika alat ukur dikalibrasi ke tanah spesifik. Alat pengukur ini juga memiliki sumber neutron untuk menentukan kadar kelembaban dengan mendeteksi kandungan hidrogen di dalam lingkup tanah dan di sekitar alat ukur.

Penggunaan *NDG* diatur oleh peraturan tentang penyimpanan, transmisi dan pembuangan, dan alat ini hanya boleh digunakan oleh teknisi berlisensi yang telah menerima pelatihan khusus. Karena ukurannya yang kecil dan penggunaannya yang umum di tempat perakitan, perangkat ini sering hilang atau dicuri, sering kali bersama dengan pencurian kendaraan atau peralatan lain. Jika alat pengukur rusak, ada kemungkinan bahwa bahan radioaktif bisa terlepas, mengkontaminasi area terdekat dan memaparkan radiasi ke publik. Kejadian seperti itu akan menimbulkan konsekuensi keuangan dan reputasi yang serius bagi perusahaan perakitan yang terlibat.

Alternatif

Upaya untuk mengembangkan sarana alternatif untuk memantau kinerja pemadatan dan menggantikan penggunaan *NDG* dalam industri perakitan telah berhasil.[47] Misalnya, pengujian dampak tanah Clegg mengukur densitas tanah dan berhasil digunakan ketika dikalibrasi ke usaha pemadatan dan kondisi kelembaban untuk berbagai tipe tanah.

[47] Berney, E.S., Kyzar, J.D., & Oyelami, O. (2012). Device Comparison for Determining Field Soil Moisture Content. ERDC/GSL TR-11

Mereka juga dapat mengkorelasikan parameter pemadatan tanah (yaitu kepadatan tanah dan kelembaban) di tempat tersebut.

The electrical density gauge (EDG) adalah alternatif non-isotop untuk menentukan kelembaban dan kerapatan tanah yang dipadatkan yang digunakan di pondasi jalan dan bangunan. Alat Ini mengukur sifat-sifat dielektrik listrik dan tingkat kelembaban tanah yang dipadatkan menggunakan gelombang frekuensi radio tinggi yang menjalar diantara probe yang dimasukan ke dalam tanah yang sedang diuji. *EDG* adalah alat yang bertenaga baterai dan portabel yang dapat digunakan di mana saja tanpa khawatir terhadap peraturan yang terkait dengan keselamatan radiasi. Ini mudah digunakan dan umumnya memberikan kinerja dan hasil pengukuran yang sangat sebanding dengan yang dicapai dengan alat pengukur nuklir.[48]

Alat pengukur kepadatan tanah yang non-invasif dan non-isotopik menggunakan *electromagnetic impedance spectroscopy (EIS)* untuk mengukur densitas dan kelembaban tanah. Alat ini sudah muncul di pasaran dan sedang diuji dengan alternatif lain.[49,50] *EIS* adalah pengukuran sifat-sifat dielektrik material (permitivitas) berdasarkan interaksi lapangan eksternal dengan momen dipol listrik dari material dalam pengujian diatas rentang frekuensi yang diketahui. Tingkat densitas atau kepadatan diukur dengan respons dari sensitifitas lapangan listrik terhadap perubahan dalam impedansi listrik dari matriks material. Karena konstanta dielektrik udara jauh lebih rendah daripada konstituen tanah lainnya, konstanta dielektrik gabungan meningkat seiring meningkatnya densitas / kepadatan karena persentase udara dalam matriks tanah menurun.[51]

APLIKASI PENELITIAN :
IRADIATOR YANG TERLINDUNGI

Iradiator yang terlindung atau yang terbungkus didisain untuk memancarkan dosis radiasi yang akurat dan seragam ke volume yang kecil dari berbagai material dan produk biologis dan non-biologis dengan tujuan utama penelitian. Ini memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi respon dari materi target terhadap dosis, laju dosis, dan energi yang berbeda dari sumber radiasi yang digunakan. Di luar itu, keuntungan utama dari iradiator yang kecil adalah mudah dipasang dan dioperasikan, yang merupakan hal

[48] Humboldt Manufacturing. Electrical Density Gauge. Retrieved from www.humboldtmfg.com/electrical_density_gauge_2.html

[49] Berney, E.S., Mejias-Santiago, M. & Kyzar, D., (2013). Non-Nuclear Alternatives to Monitoring Moisture-Density Response in Soils. Geotechnical and Structures Laboratory. U.S. Army Engineer Research and Development Center. Retrieved from www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a583071.pdf.

[50] Wells, J.E.R., (2014). Calibration of Non-nuclear Devices for Construction Quality Control of Compacted Soils. Theses and Dissertations--Civil Engineering. Paper 20. http://uknowledge.uky.edu/ce_etds/20

[51] Pluta, S.E., & Hewitt, J.W. Non-Destructive Impedance Spectroscopy Measurement for Soil Characteristics. Retrieved from www.transtechsys.com/pdf/sdg%20paper1.pdf.

penting untuk penelitian radiasi. Iradiator ini diklasifikasikan oleh IAEA sebagai kategori I (penyimpanan sumber kering) dan kategori III (penyimpanan sumber basah).[52]

Sumber radioaktif

Sumber yang tertutup dalam iradiator yang terbungkus, benar – benar tersimpan dalam pelindung timbal di dalam kontainer kering (atau basah, tergantung disainnya). Konsekuensinya akses manusia terhadap sumber radiasinya tidak dimungkinkan. Aktivitas dari sumber radiasi, yang biasanya terdiri dari Co-60 atau Cs-137, dapat mencapai ribuan curies (normalnya terbatas sampai 25 kCi). Ini sangat sesuai untuk meradiasi hewan coba dan sampel biologis, mensterilisasi serangga, dan mengalibrasi alat deteksi radiasi.

Alternatif

Iradiator X-ray energi tinggi diadopsi untuk tujuan ini dan dapat menjadi alternatif terhadap iradiator gamma terlindung. Perkembangan ini menjadi mungkin karena kemunculan foton yang dipancarkan anoda, besar dan terdistribusi di dalam hampir geometri 4ω.[53,54] Namun, mereka memiliki energi foton yang lebih kecil.
Penggunaan iradiator X-ray energi rendah dan kecil akna tergantung dari performa mereka yang memperhitungkan laju dosis, keseragaman dosis, yang diukur dari reliabilitas, keamanan, dan kemudahan dalam mengoperasikannya. Terdapat usaha usaha yang menjanjikan yang sedang dalam pengerjaan untuk mengembangkan iradiator tersebut.[55]
Halangan utama terhadap penyebaran iradiator X-ray ini adalah kurangnya pengalaman pengguna terhadap alat ini dan banyaknya data yang didasarkan dari teknik yang sudah ada (menggunakan CsCl 660 keV). Lebih lanjutnya, studi – studi komparatif memperlihatkan equivalensi dari iradiator X-ray dan penggunaannya di area penelitian yang berbeda dibutuhkan untuk mendorong perkembangan iradiator X-ray dan penyebaran penggunaannya.

---

[52] IAEA. (1996). Manual on Self-Contained Gamma Irradiators (Categories I and III). Retrieved from www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/025/28025756.pdf.

[53] Mehta, K. (2010). Practical X-ray Alternative to Self-shielded Gamma Irradiators. Retrieved from http://radsourcetechnologies.blogspot.co.at/2010/11/practical-x-ray-alternative-to-self.html.

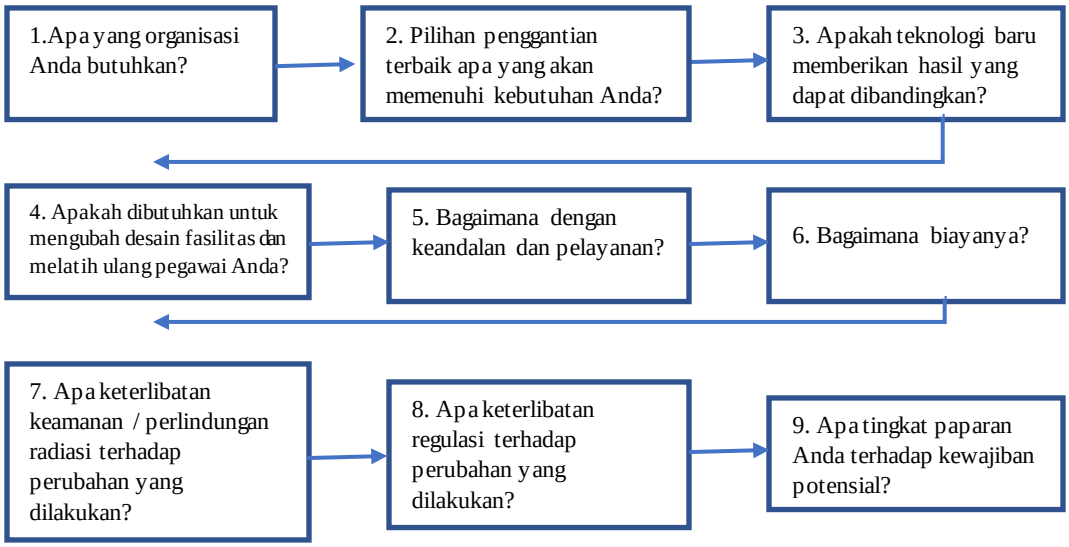
[54] Mehta, K. & Parker, A. (2011). Characterization and dosimetry of a practical X-ray alternative to self-shielded gamma irradiators. Radiation Physics and Chemistry.

[55] S. Boucher, S., Ding, X., & Murokh, A. (2010). Design of a Compact, Inexpensive Linac for Use in Self-contained Irradiators. Applications of Accelerators, Technology Transfer and Industrial Relations. Proceedings of IPAC'10, Kyoto, Japan. Retrieved from https://accelconf.web.cern.ch/accelconf/IPAC10/papers/mopea047.pdf.

Namun, satu aplikasi yang menarik dari teknologi alternatif self-shielded irradiator telah dipelopori oleh IAEA melalui program Sterile Insect Technique (SIT).[56] Secara tradisional, SIT menggunakan self-shielded irradiator dengan Co-60 atau Cs-137. Pada tahun 2006, IAEA membeli mesin sinar-X standar berenergi rendah dan memulai proyek untuk mengadaptasi, meningkatkan dan menguji mesin untuk sterilisasi serangga di Laboratorium Pengendalian Hama Serangga di Seibersdorf, Austria.[57] Pada tahun 2012, IAEA melaporkan bahwa usahanya untuk mengembangkan alternatif penggunaan iradiasi sinar gamma dalam aplikasi SIT telah berhasil. IAEA berharap agar hasil ini akan mendorong pengembangan sistem iradiasi berbasis sinar X yang lebih banyak untuk meningkatkan persaingan dan mengurangi harga peralatan untuk aplikasi yang lebih luas.

IV. MENGEVALUASI TEKNOLOGI ALTERNATIF SESUAI DENGAN KEBUTUHAN ANDA

Ada banyak masalah yang harus dipikirkan saat memikirkan kemungkinan dalam mengambil teknologi alternatif. Jadi, penting untuk menganalisis semua dampak potensial seperti langkah yang harus dimiliki pada pengerjaan organisasi Anda. Jika Anda memutuskan untuk mengambil teknologi alternatif, Anda menginginkan transisinya semulus mungkin. Dalam melakukan analisis pada pengambilan teknologi alternatif, Anda harus mempertimbangkan pertanyaan-pertanyaan di bawah ini.



[56] For over four decades the SIT has been a major subject of the Joint FAO/IAEA Programme on Nuclear Techniques in Food and Agriculture. It is "a method of pest control using area-wide inundative releases of sterile insects to reduce reproduction in a field population of the same species". It is therefore a type of "birth control" in which wild female insects of the pest population do not reproduce when they are inseminated by released, radiation-sterilized males. Sterilization is induced through the effects of irradiation on the reproductive cells of the insects.

[57] IAEA. (2012). Nuclear Technology Review 2012 - Report by the Director General to 56th General Conference. Retrieved from https://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC56/GC56InfDocuments/English/gc56inf-3-att1_en.pdf.

Direkomendasikan bagi Anda untuk mempertimbangkan sepenuhnya contoh-contoh organisasi lainnya yang telah mengganti ke teknologi alternatif yang sedang Anda rencanakan. Pengalaman mereka, terutama jika organisasinya mirip dengan organisasi Anda, akan berpotensial menyediakan wawasan yang penting dan membantu Anda untuk merespon secara penuh pada pertanyaan-pertanyaan ini.
Rincian dari beberapa pengalaman ini tersedia pada wilayah umum (termasuk yang berhubungan dengan *teletherapy*,[58] *blood irradiation*,[59] *well logging*,[60] *industrial irradiators*[61] dan *self-shielded irradiators*).[58] Beberapa dapat ditemukan dalam dokumen yang terdaftar pada bagian *Further Reading.*

1. APA KEBUTUHAN ORGANISASI ANDA?

Mulai dengan identifikasi prosedur di organisasi Anda yang membutuhkan penggunaan bahan radioaktif. Manfaat apa yang diberikan prosedur tersebut? Kemudian pertimbangkan apakah kebutuhan organisasi sepenuhnya dapat terpenuhi dengan menggunakan prosedur ini atau apakah kerugian dari bahan radioaktif membuat penting untuk kita mempertimbangkan teknologi alternatif guna mencapai tujuan yang sama. Lihatlah setiap prosedur secara terpisah. Tujuannya tidak harus untuk menghilangkan semua sumber radioaktif dari organisasi Anda, tetapi untuk mempertimbangkan masing-masing secara individual.

2. PILIHAN PENGGANTI APA YANG TERBAIK YANG DAPAT MEMENUHI KEBUTUHAN ANDA?

Identifikasi teknologi alternatif yang dapat menggantikan sumber radioaktif di tempat Anda. Satu atau beberapa opsi yang dibahas dalam laporan ini mungkin bekerja dengan baik untuk organisasi Anda. Selain itu, Anda perlu melakukan penelitian sendiri, berkonsultasilah dengan pengguna akhir (*end-user*) lainnya yang menggunakan teknik

---

[58] There are quite a few reports and papers on this issue in the public domain. In addition to references in footnotes 28 and 29, the following three articles provide detailed discussions and reports on experiences related to the use of Linacs in developing countries:
- Salminen, E.K., et al. (2011). International Conference on Advances in Radiation Oncology (ICARO): Outcomes of an IAEA Meeting. BioMed Central. Retrieved from http://ro-journal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1748-717X-6-11.
- Grovner, S., et al. (2015). A Systematic Review of Radiotherapy Capacity in Low- and Middle Income Countries. Frontiers in Oncology. 2014; 4:380. Retrieved from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4302829.
- McClement, M., Radiation Therapist at Wits Donald Gordon Radiation Oncology, Johannesburg, South Africa. Presentation at Med TEC Africa. Retrieved from www.slideshare.net/MelissaMcClement/africa-is-capable-of-usinglinear-accelerators-in-radiotherapy-rather-than-cobalt-units-47107396.

[59] Pomper, M., Murauskaite, E., & Coppen, T. (2014). Promoting Alternatives to High-Risk Radiological Sources:The Case of Cesium Chloride in Blood Irradiation. Retrieved from www.nonproliferation.org/wp-content/uploads/2014/03/140312_alternative_high_risk_radiological_sources_cesium_chloride_blood.pdf.

[60] U.S. Department of Energy. (2011). Evaluation of Non-Nuclear Techniques for Well Logging: Final Report. Retrieved from www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-20831.pdf.

[61] U.S. Department of Energy. (2006). Report to the U.S. Congress on Alternatives to Industrial Radioactive Sources. Retrieved from http://c.ymcdn.com/sites/www.productstewardship.us/resource/resmgr/imported/07-%20NE_Task_Force_Report_May_30.pdf.

serupa dan diskusikan masalah ini dengan rekan kerja dalam asosiasi profesional. Banyak informasi berharga ada di internet.

3. APAKAH TEKNOLOGI BARU MENYEDIAKAN HASIL YANG DAPAT DIBANDINGKAN?

Saat mengadopsi teknologi baru apa pun, Anda ingin hal itu memberikan hasil yang sebanding atau lebih baik daripada yang Anda miliki sekarang. Jika Anda meneliti prosedur medis, terdapat dua pertanyaan penting yaitu:

1. Apakah tingkat kesembuhannya sama atau lebih baik?
2. Apakah pasien yang akan melalui proses tersebut sebanding?

Jika Anda meneliti penerapan pada industri atau akademik, sangat penting untuk mempertimbangkan seberapa sama data yang dihasilkan oleh sistem baru dengan data yang dihasilkan oleh sistem yang ada.

4. AKANKAH PERLU UNTUK MERANCANG ULANG FASILITAS DAN MELATIH KEMBALI STAF ANDA?

Mengadopsi teknologi alternatif dapat menghadirkan tantangan dalam hal infrastruktur yang ada. Peralatan baru mungkin memerlukan lebih banyak ruang atau peningkatan konsumsi daya. Perangkat X-ray yang besar mungkin memerlukan air pendingin atau pendingin ruangan tambahan. Dalam beberapa kasus, modifikasi fasilitas mungkin diperlukan untuk mengatasi peningkatan beban atau peningkatan kebisingan yang dihasilkan oleh peralatan baru. Pengenalan teknologi baru juga menuntut kompetensi atau keterampilan baru yang memerlukan pelatihan ulang staf yang ada, yang menghasilkan biaya tambahan. Anda harus hati-hati mempelajari spesifikasi dan kebutuhan keterampilan untuk peralatan baru, dan menentukan perubahan apa yang diperlukan untuk infrastruktur Anda.

5. BAGAIMANA DENGAN PELAYANAN DAN DAPATKAH DIANDALKAN?

Anda harus mencari tahu apakah teknologi baru dapat diandalkan dan mempertimbangkan pengaruhnya pada organisasi Anda. Pastikan anda mengetahui waktu respons dari pabrikan dan / atau pemasok peralatan; ini sangat penting jika Anda mempertimbangkan untuk membeli peralatan dari pemasok asing. Jika teknologi baru membutuhkan lebih banyak perawatan atau rentan terhadap kerusakan yang sering terjadi dan biaya perbaikan mahal, selidiki apakah suatu perjanjian layanan pemeliharaan dapat disertakan dengan pembelian peralatan asli. Jika organisasi Anda menyediakan layanan pemeliharaan sendiri, pastikan apakah personil yang anda mampu memelihara dan memperbaiki peralatan baru. Jika Anda memutuskan untuk mengandalkan layanan luar, cari tahu apa saja layanan mereka yang tersedia dan waktu responnya.

6. APA SAJA BIAYANYA?

Pastikan untuk mempertimbangkan semua biaya siklus hidup, bukan hanya harga pembelian. Dalam beberapa kasus, harga pembelian mungkin hanya mewakili sebagian kecil dari total biaya selama masa pakai alat. Biaya modifikasi bisa dengan mudah melampaui harga pembelian perangkat baru.

Bobot dan dimensi peralatan baru, kebutuhan staf tambahan, biaya pengaturan keselamatan dan keamanan, dll, semua perlu analisis yang cermat. Grafik berikut menyajikan beberapa faktor utama yang perlu dipertimbangkan.

- Harga awal pembelian
- Biaya modifikasi fasilitas
- Biaya operasional dan konsumsi
- Biaya keamanan
- Biaya dan frekuensi pemeliharaan
- Penambahan staff dan pelatihan
- Biaya pengembangan proses dan prosedur baru
- Asuransi
- Biaya kerusakan (produksi yg terhambat)
- Biaya perbaikan dan penggantian alat
- Biaya masa terakhir alat (dibuang)

Semua masalah dibawah ini harus dipertimbangkan dengan saksama sebelum melakukan pembelian agar Anda tidak terkejut ketika Anda mulai menerapkan teknologi baru. Total biaya untuk teknologi alternatif harus sebanding dengan dan sebaiknya lebih rendah dari apa yang Anda miliki sekarang. Yang terpenting, produktivitas Anda tidak harus menderita.

7. APA SAJA IMPLIKASI DARI PERUBAHAN KEAMANAN DAN PERLINDUNGAN DARI RADIASI ?

Ketika anda bekerja dengan sumber radioaktif, ada risiko keamanan yang melekat terkait paparan radiasi. Ini terutama berlaku dalam aplikasi di mana sumber radiasi terbuka di luar pelindung nya, seperti dengan telerapi dan radiografi. Masalah keamanan ini dapat hilangkan dengan teknologi yang tidak menggunakan sumber radioaktif. Namun, Sumber radiasi sinar-X juga memiliki masalah keamanan, khususnya dalam aplikasi medis di mana tingkat kontrol eksposur yang lebih tinggi, dosimetri dan kalibrasi dosis diperlukan.

Selain itu, persyaratan pelindung yang lebih tinggi akan berlaku dan petugas keselamatan radiasi yang baru dilatih harus mengawasi operasional.

8. APA IMPLIKASI PERUBAHAN REGULASI?

Karena Anda saat ini bekerja dengan sumber radioaktif, Anda pasti akrab dengan peraturan yang mengatur manajemen yang aman dari bahan-bahan ini, juga termasuk tantangan memindahkan bahan bahan tersebut. Jika Anda mengganti sumber radioaktif

Anda dengan teknologi non-isotop alternative. Anda mungkin mengalami pengurangan dalam aktivitas perizinan, inspeksi peraturan dan inventaris sumber yang disegel.
Tergantung pada teknologi alternatif yang Anda pertimbangkan, Anda mungkin akan menghadapi peraturan baru. Penting untuk menyelidiki apa yang mungkin terjadi. Misalnya, konversi dari Co-60 ke Linac meningkatkan jaminan kualitas, dosimetri dan persyaratan keselamatan radiasi. Penggunaan perangkat X-ray juga akan melibatkan mematuhi peraturan keselamatan baru, tetapi peraturan tersebut mungkin kurang berat dibandingkan dengan sumber radioaktif.

9. BAGAIMANA TINGKAT PAPARAN ANDA TERHADAP HAL YANG BERPOTENSI MASALAH?

Mungkin ada biaya (dalam bentuk hal yg berpotensi bermasalah) terkait dengan kepemilikan sumber yang disegel bahwa pemegang lisensi (pengguna akhir) tidak memperhitungkan ketika mereka membuat keputusan terkait pembelian, penggunaan, penyimpanan, dan pembuangan sumber. Ada potensi pemegang lisensi bahan radioaktif harus bertanggung jawab atas kerusakan pihak ketiga yang terkait dengan penyalahgunaan sumber mereka, meskipun baru beberapa negara yang memiliki hukum pertanggungjawaban dapat berlaku dalam kasus seperti itu. Selain itu, pemegang lisensi dapat diharapkan untuk menutupi biaya yang terkait dengan sumber daya pemerintah yang digunakan untuk mencari dan memulihkan sumber yang hilang atau dicuri (bahkan jika sumbernya akhirnya dikembalikan kepada pemegang lisensi daripada dibuang).

V. MENGGANTI SUMBER RADIOAKTIF: BEBERAPA HAL YANG MUNGKIN MENJADI MASALAH

Kita akan menghadap beberapa masalah apabila mengadopsi teknologi baru/alternatif. Beberapa yang paling umum meliputi:

- Komplain
- Perubahan pada operasi
- Kekurangan data awal
- Kekurangan kode dan standar
- Tindak lanjut sumber radioaktif yang sudah tidak digunakan

RESISTEN TERHADAP PERUBAHAN[62]

Sifat resisten terhadap perubahan merupakan ciri khas manusia. Beberapa karyawan akan merasa puas dan nyaman dengan teknik saat ini yang lebih familiar dan akan merasa malas untuk belajar proses dan teknik baru yang berhubungan dengan teknologi baru/alternatif, biarpun mereka sadar akan perlunya hal tersebut untuk kemajuan organisasi. Daripada memaksakan hal tersebut, penting itu dapat bekerja secara dekat dengan karyawan, dan memastikan bahwa perubahan tersebut memang perlu serta

[62] There is significant material on this topic in the public domain. Here is one recent article: Heathfield, S.M. (2016). How to Reduce Employee Resistance to Change. Retrieved from https://www.thebalance.com/how-to-reduce-employee-resistance-to-change-1918992.

mengetahui bagaimana hal tersebut akan menguntungan seluruh orang yang terdapat di organisasi tersebut. Dengan kata lain, sebelum melakukan perubahan, dapatkanlah dukungan dari karyawan terlebih dahulu. Ini dapat dimulai dengan dukungan dari manajemen senior dan dapat dilakukan dengan cara mengadakan pertemuan dengan para karyawan, sehingga mereka bisa mengeluarkan kekhawatiran mereka, mendapatkan jawaban dari pertanyaan mereka, dan juga mereka dapat mengeluarkan ide ide yang dapat berkontribusi dalam proses tersebut.
Penting juga untuk menghubungkan perubahan teknologi dengan masalah yang sudah ada, seperti kekhawatiran mengenai keamanan dan keselamataan masyarakat. Mengambil langkah ini merupakan keputusan untuk menguatkan interaksi antar karyawan dan meningkatkan dukungan untuk perubahan yang kita lakukan.

PERUBAHAN PADA OPERASI

Pada kebanyakan kasus, merubah teknologi akan berdampak kepada proses pengerjaan. Sebagai contoh, karyawan yang bertanggung jawab untuk mengoperasi dan memelihara alat akan memerlukan pelatihan khusus, dan karyawan di bagian lain mungkin akan membutuhkan pelatihan kesadaran. Beberapa karyawan mungkin akan butuh kompetensi baru untuk melakukan dan menginterpretasikan hasil dari proses yang baru, seperti teknik percobaan non-destruktif.
Di dalam aplikasi medis, peralihan dari Co-60 ke Linac, yang lebih kompleks, melibatkan perubahan signifikan pada prosedur quality assurance (proteksi radiasi, dosimetri dan kalibrasi) dan pelatihan dan pendidikan tambahan untuk staf. Pasien, operator, dan keselamatan publik adalah merupakan prioritas.[63]

Pada kasus lain, seperti peralihan dari iradiator darah Cs-137 ke iradiator darah X-ray, jumlah pelatihan yang harus dilakukan operator mungkin sedikit. Namun, dalam hal kasus ini, pelatihan untuk personel layanan bisa lebih signifikan. Selain pelatihan, tantangan pada institusi anda ialah meliputi kebutuhan untuk menulis dan menvalidasi prosedur baru.

KEKURANGAN WARISAN DATA

Meskipun teknologi alternatif dapat memberikan hasil dan data yang Anda butuhkan, output mungkin bernilai terbatas jika anda tidak dapat menafsirkannya atau jika anda tidak memiliki apa pun untuk dibandingkan.

Demikian pula, penting untuk mengetahui bahwa dosis radiasi yang diberikan memiliki efek yang Anda harapkan. Pertimbangkan kasus penelitian medis yang menggunakan iradiator gamma yang datanya telah ada puluhan tahun. Hubungan antara dosis radiasi dari yang diberikan oleh radioisotop dan efek fisik, kimia dan biologis yang sesuai pada senyawa dan sel-sel hidup dapat diketahui dengan baik. Masalah ini juga berlaku untuk

[63] Page, B.R. Et al. (2013). Cobalt, Linac, or Other: What is the Best Solution for Radiation Therapy in Developing Countries? International Journal of Radiation Oncology, vol. 89, issue. 3, pp. 476-480. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrobp.2013.12.022.

penelitian iradiator, well logging dan radiografi. Dalam kasus aplikasi down-hole di industri minyak dan gas, perusahaan yang terlibat enggan mengganti instrumen berbasis isotop saat ini untuk pengukuran kepadatan, deteksi hidrokarbon dan pemetaan sumur karena mereka takut akan output instrumen baru yang tidak dapat dihubungkan dengan data historis yang telah dikumpulkan dengan biaya besar selama beberapa dekade.

Misalnya, ketika radiasi gamma diganti dengan sinar-X, hubungan ini kemungkinan akan terjadi perubahan. Jika studi baru menggunakan iradiator X-ray adalah untuk membangun penelitian yang telah ada, efek dari Sinar-X pertama-tama harus dikorelasikan dengan efek radiasi gamma. Dalam kasus well logging ini, menafsirkan data yang telah dikumpulkan selalu merupakan tantangan. Catatan yang telah ada berberapa dekade ada membentuk pustaka informasi yang berharga. Interpretasi fitur halus yang terkandung dalam catatan ini merupakan nilai yang signifikan bagi komunitas eksplorasi minyak dan gas dan membantu mengkarakteristikkan sumur dengan benar. Demonstrasi kesetaraan dan korespondensi / korelasi antara yang modalitas penginderaan yang telah ada dan yang baru, serta hubungan mereka dengan catatan data sebelumnya sangat penting untuk memastikan interpretasi data yang akurat. Waktu dan sumber daya yang cukup, untuk membangun hubungan ini, harus disediakan selama peralihan ke teknologi alternatif.

KEKURANGAN KODE DAN STANDAR

Kode dan standar menghasilkanan kesepakatan bersama tentang proses, praktik, dan kriteria yang diperlukan untuk mencapai keseragaman produk atau layanan praktis. Di beberapa kasus, kode dan standar yang ada lambat untuk diubah dan mungkin belum mengenali teknologi alternatif yang lebih baru. Kode dan standar konsensus internasional sangat penting dalam kasus pengujian non-destruktif (NDT). Kode praktik tidak hanya memberikan penggunaan teknik pemeriksaan spesifik tetapi juga dapat mempengaruhi pilihan yang dibuat dalam memilih alternatif teknik pemeriksaan. Dalam beberapa kasus, radiografi menggunakan sumber radionuklida tertentu, dimana di radiografi digambarkan tanpa memeberitahukan secara spesifik apakah sumbernya adalah radionuklida atau mesin sinar-X. Untungnya, dalam beberapa tahun terakhir, standar sudah dikembangkan untuk teknik NDT baru dan sebagian besar proses sekarang diatur oleh konsensus standar.

MANAJEMEN EFEKTIF DARI SUMBER YANG TIDAK DIGUNAKAN [64]

Sebelum Anda berkomitmen untuk beralih ke teknologi baru, penting untuk menentukan apa yang perlu dilakukan dengan sumber yang tidak digunakan lagi. Beberapa organisasi membuat pengaturan untuk pembuangan ketika mereka menandatangani kontrak pembelian asli, jadi biaya pembuangan tidak akan

[64] IAEA. (2005). Disposal Options for Disused Radioactive Sources. Retrieved from www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS436_web.pdf.

menimbulkan masalah bagi mereka. Namun, organisasi lain tidak melakukan pengaturan seperti itu. Ini berarti mereka harus menemukan cara untuk membuang sumber yang lama, yang bisa menjadi tantangan yang signifikan dan mahal. Padahal, biaya pembuangan bisa menjadi alasan utama untuk keengganan organisasi untuk mengadopsi teknologi alternatif. Jika organisasi Anda dalam posisi seperti itu, hubungi pemasok sumber asli untuk menentukan apakah mereka dapat mengambil kembali sumbernya. Pemasok dapat menawarkan opsi pengembalian sumber, baik gratis atau dengan biaya. Tanyakan tentang opsi pembelian apa saja dan pastikan untuk bertanya tentang biaya tersembunyi apa pun, seperti izin transportasi dan ekspor. Jika pemasok asli tidak dapat membantu, pemasok sumber lain mungkin dapat menerima dan memulihkan sumber Anda. Beberapa negara memiliki program pemerintah untuk pemulihan sumber. Pastikan untuk mengetahui apakah program semacam itu ada di negara Anda dan apakah sumber radioaktif Anda memenuhi syarat. Juga pastikan untuk menghubungi regulator Anda untuk opsi tambahan, saran, dan solusi. Sumber penting lainnya dari dukungan dan saran adalah dokumen panduan dan publikasi teknis IAEA lainnya di Wina.[65] Negara-negara berkembang, khususnya, dapat menerima bantuan dari IAEA untuk penggantian dan pembuangan sumber radioaktif yang tidak digunakan.[66]

[65] IAEA. (2014). Nuclear Energy Series, no. NW-T-1.3. Management of Disused Sealed Radioactive Sources. Retrieved from www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1657_web.pdf.

[66] IAEA. (2004). Strengthening control over radioactive sources in authorized use and regaining control over orphan sources: National strategies. www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1388_web.pdf

KEPUSTAKAAN LANJUT

1. Badruzzaman, A., Barnes, S., Bair, F. J., & Grice, K. J. (2009). Radioactive Sources in Petroleum Industry: Applications, Concerns and Alternatives. Society of Petroleum Engineers. Retrieved from www.onepetro.org/conference-paper/SPE-123593-MS.
2. Committee on Radiation Source Use and Replacement, National Research Council. (2008). Radiation Source Use and Replacement. Abbreviated Version. Retrieved from
3. www.nap.edu/catalog/11976/radiation-source-use-and-replacement-abbreviated-version.
4. Gerbaulet, A., et al. (2002). The GEC ESTRO Handbook of Brachytherapy. European Society for Radiotherapy and Oncology. Retrieved from www.estro.org/binaries/content/assets/ estro/about/gec-estro/handbook-of-brachytherapy/aa-final-introduction.pdf.
5. Hogstrom, K. R., and Almond, P. R. (2006). Review of electron beam therapy physics. Phys. Med. Biol., 51, R455–89.
6. Light, G. M. (2007, December). Comparison of Pulsed X-Ray Source Digital Radiography with Isotopic Radiography on Pipe. Presented at the 4th Middle East NDT Conference and Exhibition, Kingdom of Bahrain. Retrieved from www.ndt.net/article/mendt2007/papers/ light1.pdf.
7. Light, G. M. (2004, May). Comparison of imaging capabilities between ultrasonics and radiography. Draft Final Report, SwRI®Project 14.07558. Southwest Research Institute. Retrieved from http://c.ymcdn.com/sites/www.productstewardship.us/resource/resmgr/ imported/22-%20sameas15%20SRI_Draft_Final_Report_2004.pdf
8. Moore, G. M, & Pomper, M. A. (2015). Permanent Risk Reduction: A Roadmap for Replacing High-Risk Radioactive Sources and Materials. CNS Occasional Paper No. 23.
9. Pomper, M.A., Dalnoki-Veress, F. and Moore, G.M. (2016). Treatment, Not Terror: Strategies to Enhance External Beam Cancer Therapy in Developing Countries While Permanently Reducing the Risk of Radiological Terrorism.
10. Volders, B. and Sauer, T. (2016). Nuclear Terrorism: Countering the Threat. Routledge Global Security Studies.
11. IAEA. (2013). Sealed Radioactive Sources. Information, resources, and advice for key groups about preventing the loss of control over sealed radioactive sources. Retrieved from
12. www.iaea.org/sites/default/files/sealedradsource1013.pdf.
13. IAEA. (2007). Identification of Radioactive Sources and Devices. Nuclear Security Series No. 5. Retrieved from www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1278_web.pdf.

LAMPIRAN

PERTANYAAN-PERTANYAAN UNTUK MEMFASILITASI DISKUSI BERHUBUNGAN DENGAN PEMAKAIAN TEKNOLOGI-TEKNOLOGI ALTERNATIF

Lampiran ini mengandung rangkaian pertanyaan-pertanyaan yang dapat digunakan oleh organisasi-organisasi untuk mengevaluasi pemahaman mereka terhadap teknologi alternatif dan untuk menentukan apakah aplikasi yang mereka gunakan yang membutuhkan sumber radioaktif dapat digantikan dengan alternative *non-isotop.* Pertanyaan-pertanyaan membuat suatu dorongan yang sangat baik untuk membangkitkan diskusi. Seperti sebuah proses yang membantu individu pada semua tingkatan dari sebuah organisasi mencerminkan secara kritis pada keterlibatan pribadi dan tanggung jawab.

- Apakah Anda telah mempertimbangkan kemungkinan dari penggantian sumber radioaktif Anda dengan alternatif *non-Isotop*?

- Apa yang akan Anda capai? Apa kebutuhan, ekspektasi, dan kendala yang harus Anda pertimbangkan ketika memutuskan untuk tidak diganti?

- Apa saja biaya potensial dan kewajiban yang akan dihadapi organisasi Anda dalam kejadian celaka melibatkan kesalahan penggunaan sumber radioaktif yang sedang digunakan?

- Apa keuntungan, kekurangan, biaya, dan tantangan yang akan organisasi Anda hadapi terhadap penggantian alternatif *non-isotop*?

- Bagaimana bisa penggantian aplikasi yang menggunakan sumber radioaktif dapat mengurangi tingkat risiko pada organisasi Anda?

- Teknologi terbaik mana yang dapat menggantikan aplikasi sumber radioaktif?

- Apa penggerak utama untuk menggantikan sumber radioaktif Anda dengan teknologi alternative (keamanan, biaya, efisiensi, kebutuhan regulasi, dan lain-lain)?

- Siapa yang akan mempromosikan perubahan pada organisasai Anda? Siapa yang mendapatkan keuntungan? Apakah pemimpin eksekutif mendukung perubahan? Apakah pengatur Anda terlibat?

- Apakah Anda sudah meneliti dan memeriksa secara hati-hati pemasok potensial teknologi alternatif? Apakah Anda sudah menerima umpan balik dari organisasi lainnya tentang pemasok potensial, termasuk kualitas pendukung klien dan waktu antara inisiasi dan proses penyelesaian produksi?

- Apakah Anda mencari masukkan atau petunjuk dari organisasi lainnya yang menyerupai organisasi Anda? Atau organisasi multilateral seperti IAEA?

- Apakah pegawai atau kompetensi lainnya dibutuhkan untuk mengoperasikan alat baru?

- Apa dampak keuangan dari perubahan ini? Apa biaya jangka pendek (misalnya, pembelian peralatan dan modifikasi fasilitas) dan jangka menengah, dan jangka panjang (misalnya perawatan dan suku cadang)?

- Seberapa siap Anda untuk mengatur proses perubahan? Apakah Anda telah menetapkan rencana untuk pengaturan perubahan dan menyusun prosedur untuk mendukung proses perubahan? Apakah Anda memiliki rencana di tempat? Apakah termasuk dengan menarik semua pegawai untuk meyakinkan mereka mengerti dan mendukung kebutuhan penggantian?

- Apa yang terjadi pada sumber yang tidak digunakan pada organisasi Anda? Apakah organisasi Anda memiliki pengaturan limbah radioaktif yang aktif atau kebijakan pembuangan?

- Apa biaya dan tindakan administratif yang dibutuhkan untuk mengolah sumber radioaktif yang Anda rencanakan untuk diganti?