



## PEREKAYASAAN PERANGKAT RADIOTERAPI EKSTERNAL MENGUNAKAN COBALT-60

Wiranto Budi Santoso, Istofa, Budi Santoso, Bang Rozali

PRPN BATAN, Kawasan PUSPIPTEK, Gedung 71, Tangerang Selatan, 15310

### ABSTRAK

*PEREKAYASAAN PERANGKAT RADIOTERAPI EKSTERNAL MENGGUNAKAN COBALT-60. Telah dilakukan perengkayaan perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60. Perangkat radioterapi eksternal berfungsi untuk terapi kanker menggunakan radiasi yang bersumber dari energi radioaktif. Kanker merupakan penyakit yang mematikan nomor 2 setelah penyakit kardiovaskular. Berdasarkan data dari UICC (Union Internationale Contre le Cancer) pada tahun 2030, diperkirakan terdapat 26 juta kasus kanker dengan 17 juta angka kematian akibat kanker dan 75 juta orang yang hidup dengan kanker. Data UICC tersebut juga memperkirakan 70% dari jumlah penderita terjadi di negara berkembang, termasuk Indonesia. Di Indonesia hanya terdapat 20 rumah sakit yang memiliki fasilitas radioterapi. Sedikitnya fasilitas radioterapi di Indonesia antara lain disebabkan oleh harga perangkat radioterapi yang mahal. Karena itu diperlukan pengembangan kemampuan lokal untuk menghasilkan perangkat radioterapi. Dengan demikian pelayanan terapi kanker untuk masyarakat Indonesia dapat ditingkatkan. Perengkayaan yang akan dilakukan adalah pembuatan dokumen desain dasar dari perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60. Desain dasar perangkat radioterapi yang akan dibuat mencakup desain untuk bagian mekanik dan pengendalian berkas radiasi. Bagian elektromekanik yang akan dirancang adalah gantry, kolimator, dan tempat tidur pasien. Bagian pengendalian berkas radiasi yang akan dirancang terdiri dari: sistem pergerakan bagian mekanik, pergerakan sumber, pengendali lokal di dekat perangkat, pengendali di ruang operator, dan sistem pemantau kondisi ruang terapi secara audio-visual. Perancangan akan dilakukan dengan mengambil acuan perangkat radioterapi menggunakan Cobalt-60 yang ada di Rumah Sakit Hasan Sadikin (RSHS), Bandung. Diharapkan penguasaan teknologi yang digunakan pada perangkat radioterapi di RSHS juga dapat membantu perawatan dan perbaikan perangkat radioterapi di rumah sakit tersebut.*

*Kata kunci: radioterapi, Cobalt-60, kanker*

### ABSTRACT.

*THE ENGINEERING OF COBALT-60 EXTERNAL BEAM RADIOTHERAPY. The engineering of Cobalt-60 external beam radiotherapy equipment has been done. The function of a Cobalt-60 external beam radiotherapy equipment is to cure a cancer utilizing radiation from radioactive energy. A cancer is the second killing disease after cardiovascular. Based on UICC (Union Internationale Contre le Cancer) data, in year 2030, it is predicted that there are 26 million cancer cases, 17 million people dies caused by cancer, and 75 million people live with cancer. The UICC data also predicted that 70% of cancer patients lived in developing countries, including Indonesia. Indonesia only have 20 hospitals which have radiotherapy facilities. Inadequacy of radiotherapy facilities in Indonesia is caused by the price of a radiotherapy equipment which is expensive. Therefore it needs local capability development to develop a radiotherapy equipment. So cancer treatment services in Indonesia could be improved. The scope of engineering which is going to be conducted is to produce a Basic Design document of Cobalt-60*



*radiotherapy equipment. The Basic Design document of Cobalt-60 radiotherapy equipment consist of mechanical and radiation beam controller designs. The design of electromechanic parts consists of gantry, collimator, and treatment couch. The design of radiation beam controller consists of mechanical parts movements, source movements, local controller near the equipment, controller in operator room, and audio-visual therapy room monitoring The design is going to take the Cobalt-60 radiotherapy equipment in Hasan Sadikin Hospital (Rumah Sakit Hasan Sadikin – RSHS, Bandung) as a reference. It is expected that the proficiency of technology which is used in radiotherapy equipment at RSHS could help maintaining and reaping radiotherapy equipment in that hospital.*

*Keywords: radiotherapy, Cobalt-60, cancer.*

## **1. PENDAHULUAN**

Kanker merupakan penyakit yang mematikan nomor 2 setelah penyakit kardiovaskular [1]. Berdasarkan data dari UICC (*Union Internationale Contre le Cancer*) pada tahun 2030, diperkirakan terdapat 26 juta kasus kanker dengan 17 juta angka kematian akibat kanker dan 75 juta orang yang hidup dengan kanker. Data UICC tersebut juga memperkirakan 70% dari jumlah penderita terjadi di negara berkembang, termasuk Indonesia [2].

Di Indonesia hanya terdapat 20 rumah sakit yang memiliki fasilitas radioterapi [3]. Jumlah ini tentu saja jauh dari mencukupi untuk memberikan pelayanan terapi kanker bagi masyarakat Indonesia yang membutuhkan. Perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan jumlah rumah sakit yang memiliki fasilitas radioterapi. Selain itu perlu pula untuk mempertahankan agar rumah sakit yang telah memiliki fasilitas radioterapi dapat terus memberikan pelayanan terapi kanker bagi masyarakat Indonesia.

Sedikitnya fasilitas radioterapi di Indonesia antara lain disebabkan oleh fasilitas radioterapi masih diimpor dan berharga mahal. Untuk menekan tingginya biaya pengadaan perangkat radioterapi perlu dilakukan upaya untuk mengembangkan pembuatan perangkat radioterapi di dalam negeri. Untuk itu diperlukan penguasaan teknologi yang digunakan pada perangkat radioterapi.

Dengan penguasaan teknologi perangkat radioterapi ini diharapkan industri dalam negeri dapat menghasilkan perangkat radioterapi yang dapat digunakan untuk meningkatkan pelayanan radioterapi di Indonesia.

Perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 merupakan perangkat radioterapi yang umum digunakan untuk terapi kanker sejak tahun 1950 oleh Harold E.



Johns di Kanada [4]. Penggunaan perangkat radioterapi eksternal banyak digunakan di negara berkembang karena teknologinya tidak begitu rumit dan mudah dalam perawatan [5]. Karena itu teknologi radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 yang dipilih untuk dikembangkan pada kegiatan ini.

Penguasaan teknologi perangkat radioterapi akan dilakukan dengan melaksanakan perekayasa perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60. Perekayasa dilakukan dengan membuat desain dasar dari perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60. Desain dasar perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 mengacu pada literatur IAEA dan mengacu pada perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 yang ada di Rumah Sakit Hasan Sadikin di Bandung. Penguasaan teknologi radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 dapat pula berguna untuk membantu perawatan dan perbaikan perangkat radioterapi menggunakan Cobalt-60 yang telah ada.

Dengan dikuasanya teknologi ini diharapkan perangkat radioterapi dapat dihasilkan di dalam negeri sehingga dapat menghemat devisa negara. Selain itu penguasaan teknologi ini dapat pula membantu perawatan dan perbaikan perangkat radioterapi yang telah ada sehingga tetap dalam kondisi yang optimal dalam pelayanan terapi kanker. Selain itu penguasaan teknologi ini juga untuk meningkatkan keselamatan bagi pasien, operator, tenaga medis, dan masyarakat di sekitar lokasi perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 tersebut ditempatkan.

## 2. TEORI

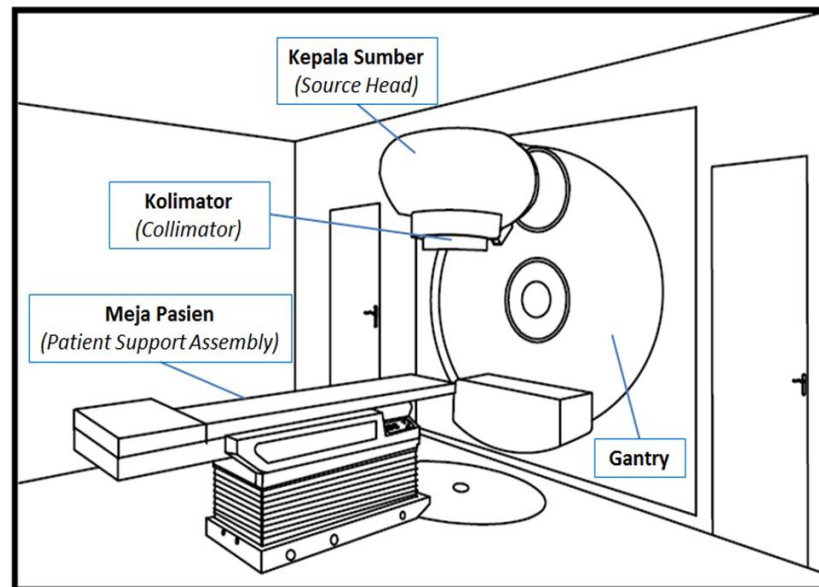
Perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 berfungsi untuk terapi kanker dengan cara memberikan radiasi gamma dari Cobalt-60 pada bagian tubuh yang terkena kanker. Radiasi gamma diarahkan pada bagian tubuh sehingga dapat membunuh sel kanker namun sedikit mungkin mengenai sel tubuh yang sehat.

Perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 terdiri dari:

1. Sumber radiasi Cobalt-60
2. Kepala sumber (*source head*)
3. Gantry
4. Meja Pasien (*Patient Support Assembly - PSA*)
5. Konsul (*Console*) Operator



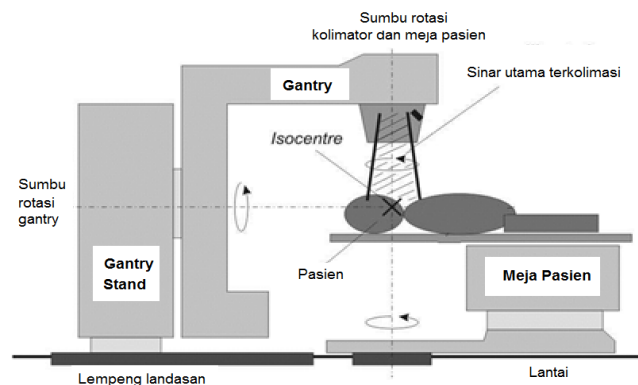
Gambar umum perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 dapat dilihat pada gambar 1. Pada gambar 1. tidak terlihat konsul operator. Hal ini disebabkan karena konsul operator terletak di luar ruangan tempat perangkat radioterapi eksternal berada.



Gambar 1. Gambar umum perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60

Pasien diposisikan pada meja pasien (*Patient Support Assembly - PSA*). Meja pasien diatur sedemikian rupa sehingga bagian tubuh yang akan diterapi berada pada sumbu isosentris. Pengaturan ketinggian meja pasien mengacu pada sinar laser yang dipancarkan dari samping meja pasien. Posisi sinar radiasi diarah ke tubuh pasien dengan mengatur posisi gantry dan kepala sumber (*head source*).

Setelah itu operator memasukkan kunci utama pada konsul untuk dapat mengoperasikan perangkat radioterapi eksternal. Operator memasukkan waktu penyinaran dan lebar daerah radiasi yang telah ditentukan oleh Rencana Terapi (*Treatment Planning System -TPS*). Kemudian operator memastikan semua kondisi telah sesuai dengan yang dipersyaratkan. Operator mengaktifkan penyinaran dengan menekan tombol “ON”. Kondisi pasien dipantau oleh operator melalui monitor CCTV hingga waktu penyinaran berlalu. Cara kerja perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Cara kerja perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60

### 3. METODE

Perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 yang akan dirancang mengutamakan prinsip keselamatan bagi pasien, operator, tenaga medis, dan masyarakat di sekitar lokasi perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 tersebut ditempatkan. Karena itu perlu diperhatikan akibat yang ditimbulkan oleh beban mekanik, catu daya listrik, berkas radiasi yang tidak terkendali. Kegiatan pembuatan desain dasar perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 akan dilakukan di Laboratorium Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir – BATAN yang berlokasi di Puspiptek Serpong. Selain dari literatur IAEA, perekrasan perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 akan mengacu pada perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 yang ada pada Rumah Sakit Hasan Sadikin di Bandung. Kegiatan ini direncanakan akan diselesaikan selama 10 bulan.

Desain dasar perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 dilakukan dengan mengacu literatur dari IAEA seperti yang tercantum dalam daftar pustaka. Literatur tersebut digunakan untuk menetapkan persyaratan fungsi dan persyaratan teknis dari perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 yang akan dirancang.

Setelah persyaratan fungsi dan persyaratan teknis dari perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 ditetapkan, akan dilakukan perancangan dari komponen utama pada perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60. Komponen utama pada perangkat radioterapi eksternal dapat dilihat pada Gambar 1. Desain dasar perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 terdiri dari:

- Bagian elektromekanik, meliputi: gantry, kolimator, tempat tidur pasien.
- Bagian pengendalian berkas radiasi, meliputi: sistem pergerakan bagian mekanik, pergerakan sumber, pengendali lokal di dekat perangkat,



pengendali di ruang operator, sistem pemantau kondisi ruang terapi secara audio-visual.

#### **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

##### **Persyaratan Desain**

Desain perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 ini mengutamakan keselamatan bagi pasien, operator, tenaga medis, dan lingkungan sekitar perangkat radioterapi eksternal. Desain perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 ini mengacu pada peraturan dan standar teknis yang berlaku. Pedoman, peraturan, dan standar yang digunakan adalah sebagai berikut:

- IAEA Safety Series No.115, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, 1996
- IAEA Safety Report Series No.38, Applying Radiation Safety Standards in Radiotherapy, 2006
- IAEA Safety Report Series No.47, Radiation Protection in the Design of Radiotherapy Facilities, 2006
- IAEA Safety Report Series No.398, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy – An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water, 2000
- IAEA TECDOC No.1040, Design and implementation of a radiotherapy programme: Clinical, medical physics, radiation protection and safety aspect, 2006
- IEC 60601-1-1. Medical electrical equipment- Part1-1: General requirements for safety- Collateral standard: Safety standard: Safety requirements for medical electrical systems, 2000
- Peraturan Kepala BAPETEN

##### **Persyaratan Fungsi**

Persyaratan fungsi perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 yang dirancang adalah sebagai berikut:

- Perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 dapat digunakan untuk menyinari sinar gamma secara maksimal bagian kanker di tubuh pasien dan sesedikit mungkin pada bagian yang sehat.



- Pengaktifan penyinaran perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 dikendalikan dari konsol (*console*) operator. Konsol operator hanya dapat dioperasikan dengan menggunakan kunci utama.
- Penyinaran hanya dapat dilakukan jika semua kondisi yang dipersyaratkan terpenuhi. Sistem *interlock* akan menghalangi perangkat radioterapi eksternal beroperasi jika salah satu kondisi yang dipersyaratkan tidak terpenuhi.
- Pengaturan (*adjustment*) meja pasien, gantry, dan kepala sumber (*source head*) dapat dilakukan dari kendali lokal maupun melalui konsol operator.
- Perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 didesain dengan memiliki dua pewaktu (*timer*) untuk menghitung lama waktu penyinaran. Salah satu dari pewaktu tersebut menghitung naik (*ascending*) sedangkan pewaktu yang lain menghitung mundur (*descending*). Penyinaran akan dihentikan dan sumber akan kembali ke posisi *Beam-Off* jika salah satu pewaktu telah memenuhi waktu yang ditentukan.
- Perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 didesain memiliki fitur keselamatan untuk menghentikan penyinaran secara otomatis pada saat kehilangan catu daya atau keadaan darurat.

### Persyaratan Teknis

Menurut IAEA (International Atomic Energy Agency), karakteristik radionuklida yang digunakan pada perangkat radioterapi eksternal adalah sebagai berikut:

- energi radiasi gamma besar (~ 1 MeV) – Co-60 - 1,25 MeV
- aktivitas spesifik (*specific activity*) tinggi (~ 100 Ci/g)
- Waktu paruh (*half life*) panjang (dalam orde tahun)
- Konstanta laju air kerma spesifik besar  $\Gamma_{AKR}$  ( $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{GBq}\cdot\text{h}$ )
- Aktivitas sumber: 5.000 – 10.000 Ci  
(185 – 370) TBq
- Laju dosis pada 80 cm dari sumber: 100 – 200 cGy/min:

Dari karakteristik radionuklida tersebut di atas, Cobalt-60 dapat memenuhi karakteristik tersebut. Cobalt-60 mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- energi radiasi 1,25 MeV
- aktivitas spesifik (*specific activity*) 1130 Ci/g (*carrier free*);



300 Ci/g (in practice)

- Waktu paruh (*half life*) 5,26 tahun
- Konstanta laju air kerma spesifik besar  $\Gamma_{AKR}$  309  $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{GBq}\cdot\text{h}$
- Aktivitas sumber: 8000 Ci ( $2,96 \times 10^{14}$  Bq)
- Laju dosis pada 80 cm dari sumber: 200 cGy/min:

Mekanisme pergerakan sumber radionuklida dari posisi *Beam-Off* ke *Beam-On* menggunakan *sliding drawer*. Perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 didesain dengan memiliki dua pewaktu (*timer*) untuk menghitung lama waktu penyinaran. Salah satu dari pewaktu tersebut menghitung naik (*ascending*) sedangkan pewaktu yang lain menghitung mundur (*descending*). Fitur keselamatan untuk menghentikan penyinaran secara otomatis pada saat kehilangan catu daya atau keadaan darurat.

### Spesifikas Teknis

Persyaratan teknis dari desain perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 adalah sebagai berikut:

<b>SUMBER</b>	
Aktivitas sumber radiasi	$\leq 8000$ Ci ( $2,96 \times 10^{14}$ Bq)
Dimensi sumber radiasi	Diameter : 23,5 mm
<b>ISOCENTER</b>	
Akurasi Isocenter	$\leq \pm 2$ mm
Tinggi	1200 mm
<b>JARAK SUMBER KE SUMBU (SOURCE TO AXIS DISTANCE - SAD)</b>	8000 mm
<b>GANTRY</b>	
Rentang rotasi (rotation range)	0 – 360 derajat
Toleransi rotasi (rotation tolerance)	$\leq 1$ derajat
Kecepatan rotasi	0,1 – 0,5 rpm
<b>KEPALA SUMBER (SOURCE HEAD)</b>	
Rentang rotasi ( <i>rotation range</i> )	$\pm 90$ derajat
<b>PENYINARAN</b>	
Bidang penyinaran (Radiation field) SSD = 800 mm	30mm*30mm-300mm*300mm

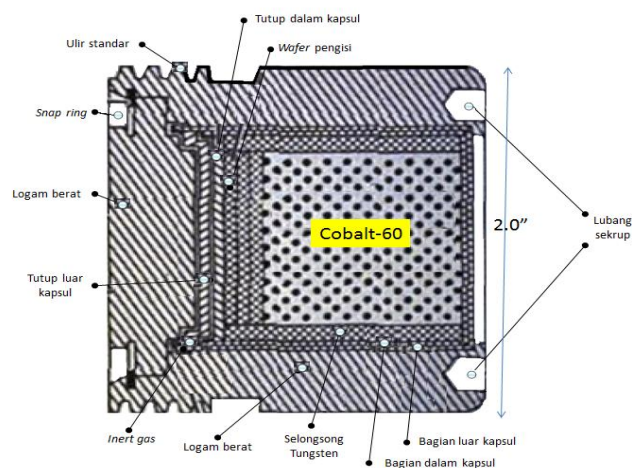




Simetri bidang penyinaran	< 5%
Lebar penumbra	< 10 mm
Laju dosis serap pada penampang lintang sinar 1 m dari permukaan kepala sumber	< 0,02 mGy/j
<b>MEJA PASIEN (PATIENT SUPPORT ASSEMBLY)</b>	
Pergerakan Longitudinal	>1100 mm
Pergerakan Lateral	>± 230mm
Pergerakan Vertikal	> 500 mm
Rotasi meja	>± 100 derajat
<b>PEWAKTU (TIMER)</b>	
Toleransi	<= 1%
<b>DIMENSI</b>	
Perangkat Utama - p x l x t	3060 mm x 2500 mm x 2500 mm
Konsol (Console) - p x l x t	1000 mm x 750 mm x 810 mm
<b>BERAT</b>	13000 Kg

### Sumber radiasi Cobalt-60

Pada perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60, radionuklida Cobalt-60 dikemas dalam kapsul sumber radiasi. Bentuk dan ukuran kapsul sumber radiasi Cobalt-60 telah mempunyai standar tertentu. Kapsul sumber radiasi Cobalt-60 dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Struktur kapsul sumber radiasi Cobalt-60

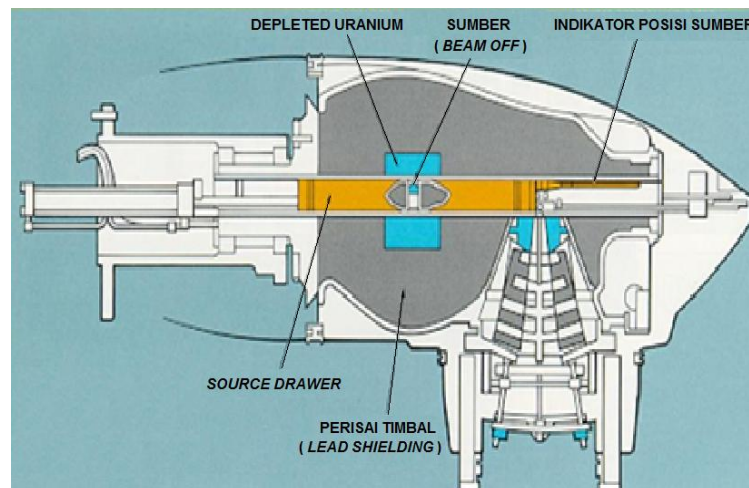


### Kepala sumber (*source head*)

Kepala sumber (*source head*) merupakan bagian perangkat radioterapi eksternal tempat menyimpan dan mengeluarkan radionuklida Cobalt-60 sebagai sumber radiasi.

Pada saat perangkat radioterapi eksternal tidak dikehendaki untuk memancarkan radiasi, radionuklida sumber radiasi Cobalt-60 berada pada posisi *Beam-Off*. Sedangkan pada saat perangkat radioterapi eksternal dikehendaki untuk memancarkan radiasi, radionuklida sumber radiasi Cobalt-60 berada pada posisi *Beam-On*.

Pada posisi *Beam-Off*, bagian luar dari radionuklida sumber radiasi Cobalt-60 dilapisi dengan *Depleted Uranium*. Selain itu dilapisi pula dengan perisai timbal (*Lead shielding*). Perisai timbal juga melapisi jalur pergerakan sumber Cobalt-60 dari posisi *Beam-Off* menuju posisi *Beam-On*, dan pergerakan sumber dari posisi *Beam-On* menuju posisi *Beam-Off*. Uranium susut kadar (*depleted Uranium*) dan perisai timbal (*Lead shielding*) dimaksudkan agar daerah sekitar kepala sumber masih berada dalam batas aman dari bahaya radiasi yang tidak diinginkan.



Gambar 4. Kepala sumber (*source head*).

### Gantry

Gantry berfungsi untuk mengarahkan radiasi pada tubuh pasien. Gantry dapat berputar +180 derajat searah dan berlawanan dengan jarum jam. Pada gantry terdapat kepala sumber yang mengatur besarnya radiasi pada waktu terapi dilakukan. Posisi gantry dapat dilihat pada gambar 1 dan gambar 2.

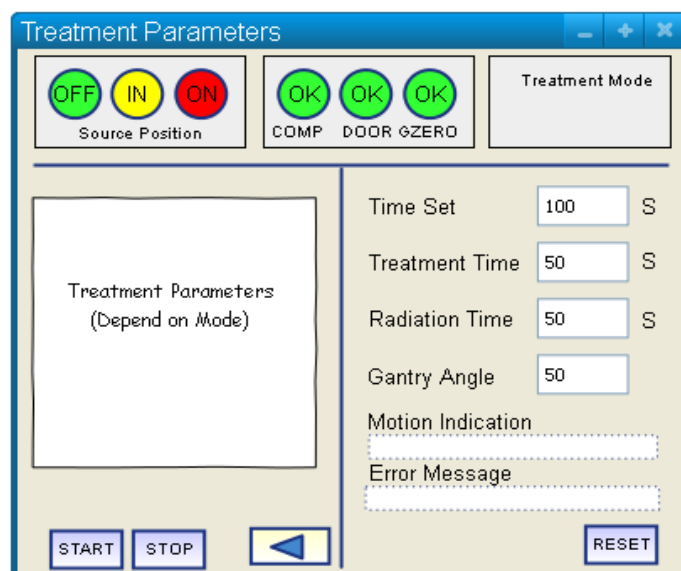


## Meja Pasien (*Patient Support Assembly - PSA*)

Meja pasien (*Patient Support Assembly - PSA*) berfungsi untuk meletakkan pasien pada waktu terapi dilaksanakan. Posisi meja pasien pada perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 dapat dilihat pada gambar 1 dan **Error! Reference source not found.** 2. Meja pasien dapat berputar mengelilingi poros isosenter bertumpu pada *PSA stand*. Selain itu jarak antara pasien dengan sumber radiasi pada saat terapi dilakukan dapat dilakukan dengan menaik-turunkan meja pasien. Pergerakan meja pasien dapat dilakukan secara manual maupun secara elektrik.

## Konsul (*Console*) Operator

Konsul terletak di ruang terpisah dengan perangkat radioterapi. Hal ini dimaksudkan agar operator tidak terpapar radiasi yang tidak diinginkan. Dari konsul ini, operator dapat mengendalikan besar dan lamanya radiasi yang akan diberikan pada tubuh pasien. Kondisi pasien pada saat menjalani terapi dapat dipantau oleh operator melalui konsul ini. Tampilan pada konsul dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Tampilan pada konsul.

## 5. KESIMPULAN

Telah dilakukan perancangan perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 dengan hasil rancangan dasar perangkat. Rancangan dasar ini memenuhi



persyaratan desain, teknis, dan fungsi yang mengacu ke standar yang berlaku secara nasional dan internasional.

Diharapkan dengan desain dasar ini dapat dikuasai teknologi yang digunakan pada perangkat radioterapi menggunakan Cobalt-60 sehingga dapat membantu perawatan perangkat yang ada di rumah sakit. Desain dasar ini dapat dikembangkan menjadi desain rinci perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60.

## 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi Republik Indonesia melalui program PKPP tahun 2012 yang telah mendanai kegiatan ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Kepala PRPN yang telah memberikan izin untuk menggunakan fasilitas serta peralatan untuk melakukan kegiatan ini. Tak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu pelaksanaan kegiatan ini, terutama rekan-rekan di Bidang Instrumentasi Kesehatan dan Keselamatan PRPN.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

1. Janet MacKenzie, "Saskatchewan's Cobalt-60 Beam Therapy Unit Inaugurates a New Era in Cancer Treatment", University of Saskatchewan, 2002
2. Kompas.com, "2030, Kanker Ancam Negara Berkembang",  
Available at: <http://nasional.kompas.com/read/2008/10/13/15003156/2030> Kanker .Ancam Negara.Berkembang,  
diunduh pada 11 Nopember 2011
3. Pori, "Radiotherapy centers in Indonesia"  
Available at: [www.pori.or.id/radiotherapy-centers.html](http://www.pori.or.id/radiotherapy-centers.html)  
diunduh pada 11 Nopember 2011
4. E.B. Podgorsak, "Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students", IAEA publication (ISBN 92-0-107304-6)
5. IAEA, "SAFETY REPORTS SERIES No. 38 – APPLYING RADIATION SAFETY STANDARDS IN RADIOTHERAPY", VIENNA, 2006.
6. IAEA, "SAFETY REPORTS SERIES No. 47 – RADIATION PROTECTION IN THE DESIGN OF RADIOTHERAPY FACILITIES", VIENNA, 2006



---

## TANYA JAWAB

### *Pertanyaan*

1. Apa perbedaan antara persyaratan teknis dan persyaratan design dan pointnya dimana? (BANDI PARAPAK)
2. Apa pengaruh kolimator paralel terhadap efisiensi? (AHMAD RIVAI)

### *Jawaban*

1. Mengacu pada definisi Jaminan Mutu PRPN. Persyaratan desain menguraikan persyaratan yang harus dipenuhi oleh perangkat yang akan dibuat termasuk persyaratan fungsi. Sedangkan persyaratan teknis menguraikan persyaratan teknis yang harus dipenuhi perangkat.
2. Kolimator paralel tidak mempengaruhi efisiensi. Kolimator ini berfungsi untuk mengarahkan radiasi gamma dari posisi tertentu dan mengurangi atau meniadakan pengaruh radiasi gamma dari posisi yang lain.