

## DESAIN DASAR PERANGKAT RADIOTERAPI EKSTERNAL MENGUNAKAN COBALT-60

Wiranto Budi Santoso, Istofa, Budi Santoso, Bang Rozali  
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir (PRPN) – BATAN  
E-mail : wiranto@batan.go.id

### ABSTRAK

*DESAIN DASAR PERANGKAT RADIOTERAPI EKSTERNAL MENGGUNAKAN COBALT-60. Telah dilakukan pembuatan desain dasar 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. Di Indonesia hanya terdapat 20 rumah sakit yang memiliki fasilitas radioterapi. Minimnya jumlah fasilitas radioterapi di Indonesia antara lain disebabkan oleh harga perangkat radioterapi yang mahal. Karena itu diperlukan pengembangan kemampuan lokal untuk menghasilkan perangkat radioterapi. Pembuatan desain dasar perangkat radioterapi ini dimaksudkan untuk meningkatkan kemampuan lokal dalam penguasaan teknologi perangkat radioterapi. 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 BASIC DESIGN OF COBALT-60 EXTERNAL BEAM RADIOTHERAPY. The basic design of Cobalt-60 external beam radiotherapy equipment has been made. 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. Indonesia only has 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 consists 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 repairing radiotherapy equipment in that hospital.*

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

### 1. PENDAHULUAN

Kanker merupakan penyakit yang mematikan nomor 2 setelah penyakit kardiovaskular<sup>[1]</sup>. 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<sup>[2]</sup>.

Di Indonesia hanya terdapat 20 rumah sakit yang memiliki fasilitas radioterapi<sup>[3]</sup>. 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.

Minimnya jumlah fasilitas radioterapi di Indonesia antara lain disebabkan oleh fasilitas radioterapi masih diimpor dengan harga yang 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<sup>[4]</sup>. Penggunaan perangkat radioterapi eksternal banyak digunakan di negara berkembang karena teknologinya tidak begitu rumit dan mudah dalam perawatan<sup>[5]</sup>. Karena itu teknologi radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 yang dipilih untuk dikembangkan pada kegiatan ini.

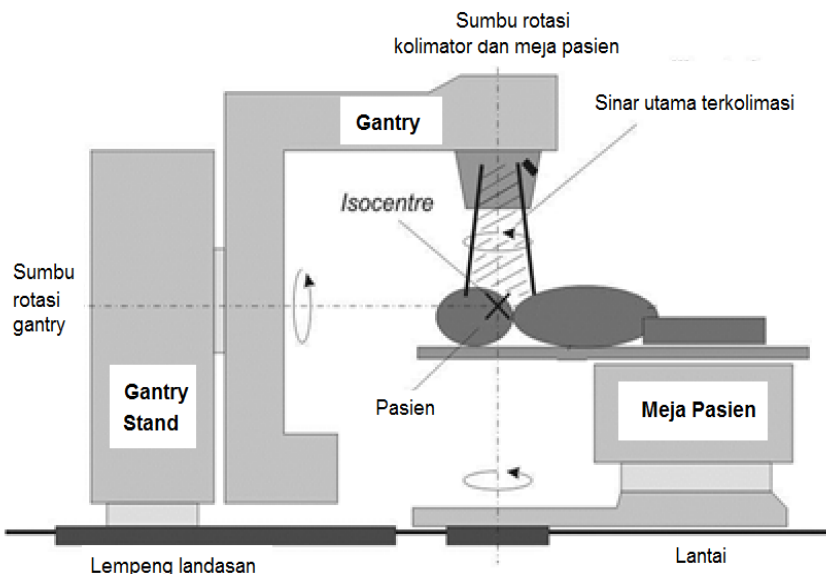
Penguasaan teknologi perangkat radioterapi akan dilakukan dengan melaksanakan pembuatan desain dasar perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60. Desain dasar perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 mengacu pada literatur IAEA dan diadopsi dari perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 yang ada di Rumah Sakit Hasan Sadikin di Bandung.

Dengan dikuasainya 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.

### 1.1. 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.

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 diarahkan ke tubuh pasien dengan mengatur posisi gantry dan kepala sumber (*head source*).



Gambar 1. Cara kerja perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60

Setelah itu operator memasukkan kunci utama pada konsul untuk dapat mengoperasikan perangkat radioterapi eksternal. Operator mengatur waktu penyinaran dan lebar daerah radiasi yang telah ditentukan oleh Rencana Terapi (*Treatment Planning System* -TPS). Setelah semua kondisi telah sesuai dengan yang dipersyaratkan, penyinaran diaktifkan oleh operator dengan menekan tombol "ON". Oleh operator dilakukan pemantauan kondisi pasien melalui monitor CCTV hingga waktu penyinaran berlalu. Cara kerja perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 dapat dilihat pada gambar 1.

## 2. METODOLOGI

Pembuatan desain dasar perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Penetapan persyaratan desain perangkat.  
Pada tahap ini ditetapkan persyaratan desain yang harus dipenuhi oleh perangkat yang akan dibuat.
- Penetapan persyaratan teknis perangkat.  
Pada tahap ini ditetapkan persyaratan teknis yang harus dipenuhi oleh perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60.
- Perancangan desain perangkat.  
Pada tahap ini dilakukan perancangan perangkat dengan memperhatikan persyaratan desain dan teknis dari perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 yang 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.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

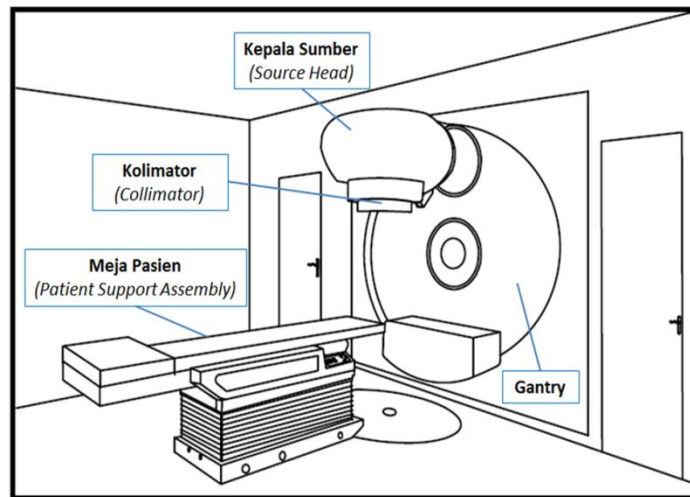
Hasil kegiatan yang dilakukan berupa persyaratan desain, persyaratan teknis, spesifikasi teknis, dan desain dasar bagian elektromekanik, serta bagian pengendalian berkas radiasi dari perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60.

Desain dasar 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 2. Pada gambar 2, tidak terlihat konsul operator. Hal ini disebabkan karena konsul operator terletak di luar ruangan tempat perangkat radioterapi eksternal berada.



Gambar 2. Sketsa umum perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60

### 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 ke 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 (~ 100Ci/g)
- Waktu paruh (*half life*) panjang (dalam orde tahun)
- Konstanta laju air kerma spesifik besar  $\Gamma_{AKR}$  ( $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{GBq}\cdot\text{j}$ )
- 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. Hal ini dapat dilihat dari radionuklida Cobalt-60 yang mempunyai karakteristik sebagai berikut:

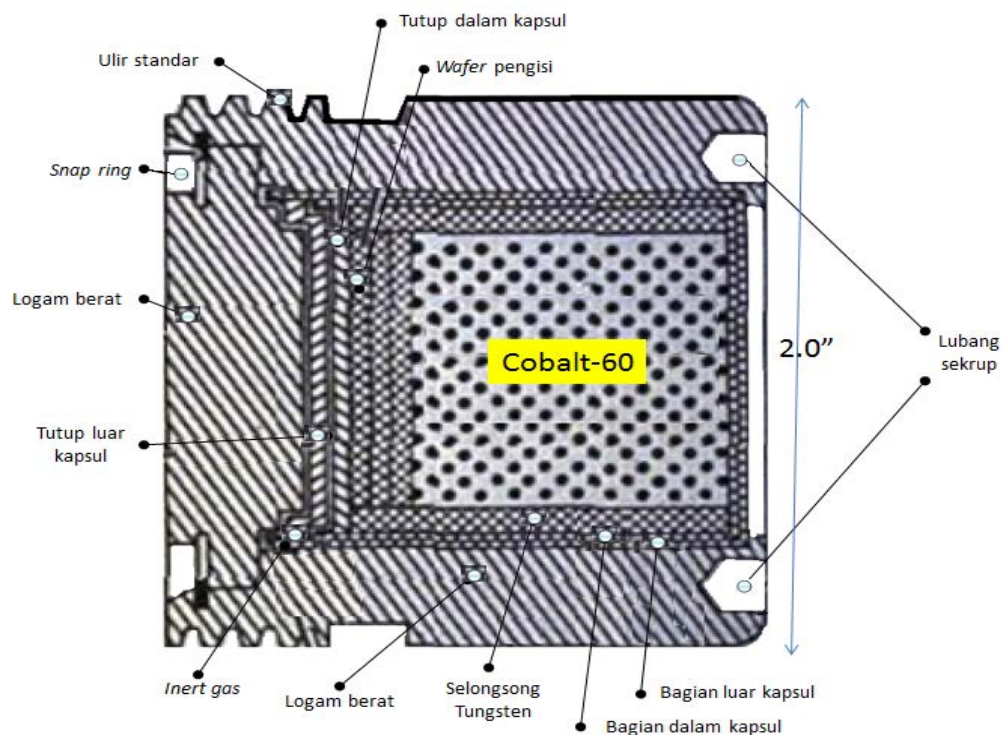
- energi radiasi 1,25 MeV
- aktivitas spesifik (*specific activity*) 1130 Ci/g (*carrier free*); 300 Ci/g (in practice)
- Waktu paruh (*half life*) 5,26 tahun
- Konstanta laju air kerma spesifik besar  $\Gamma_{AKR}$  309  $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{GBq}\cdot\text{j}$
- Aktivitas sumber: 8000 Ci ( $2,96 \times 10^{14}$  Bq)
- Laju dosis pada 80 cm dari sumber: 200 cGy/min:

### 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)	<= 1 derajat
Kecepatan rotasi	0,1 – 0,5 rpm
<b>KEPALA SUMBER (SOURCE HEAD)</b>	
Rentang rotasi (rotation range)	±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



Gambar 3. Struktur kapsul sumber radiasi Cobalt-60

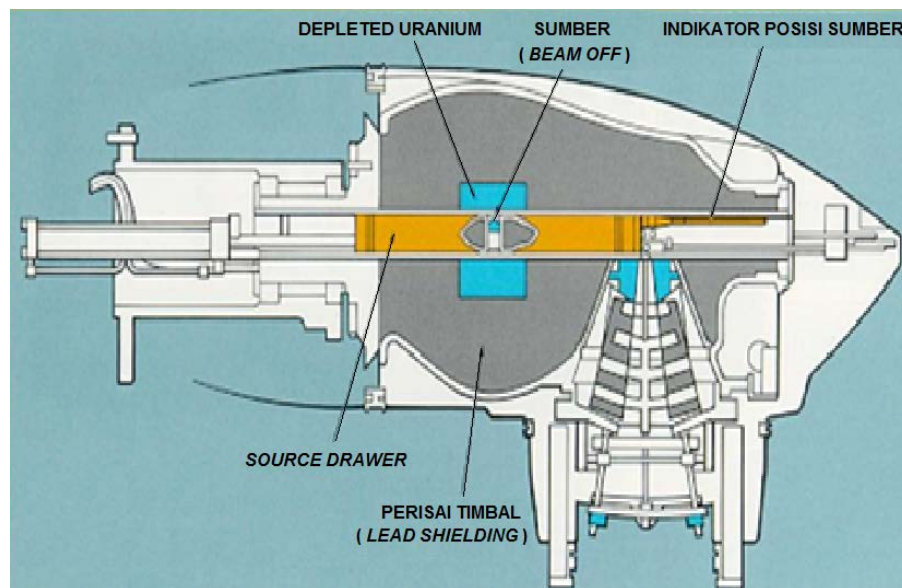
### Sumber radiasi Cobalt-60

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.

### 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.



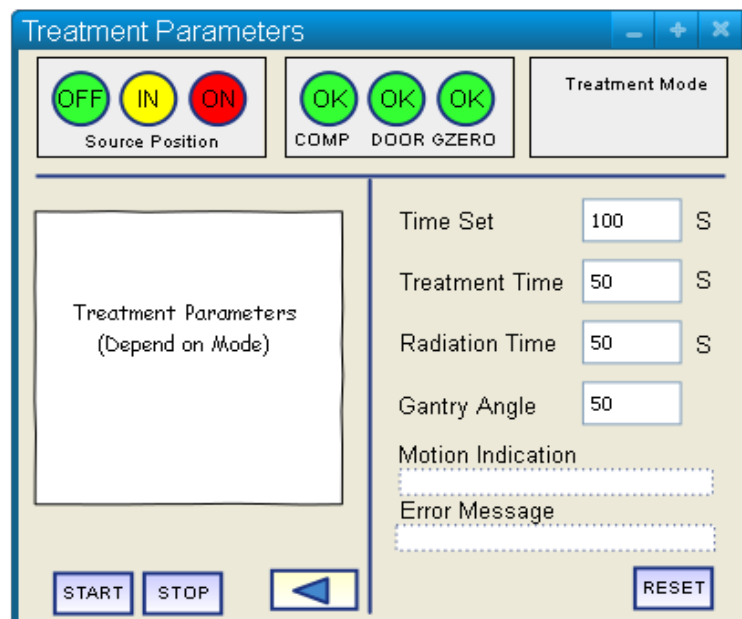
Gambar 4. Kepala sumber (*source head*).

### 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.

### 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.

#### 4. KESIMPULAN

Telah dilakukan perancangan perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 dengan hasil berupa desain dasar perangkat. Desain 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.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. JANET MACKENZIE, *Saskatchewan's Cobalt-60 Beam Therapy Unit Inaugurates a New Era in Cancer Treatment*, University of Saskatchewan, 2002
- [2]. Anonymous, 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]. Anonymous, Pori, *Radiotherapy centers in Indonesia*, Available at: [www.pori.or.id/radiotherapy-centers.html](http://www.pori.or.id/radiotherapy-centers.html), 2011
- [4]. E.B. PODGORSK, *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*, IAEA publication (ISBN 92-0-107304-6)
- [5]. Anonymous, IAEA, *Safety Reports Series No. 38 – Applying Radiation Safety Standards in Radiotherapy*, Vienna, 2006
- [6]. Anonymous, IAEA, *Safety Reports Series No. 47 – Radiation Protection in The Design of Radiotherapy Facilities*, Vienna, 2006