

## DESAIN SISTEM PENGGERAK SELING SUMBER ISOTOP IRIDIUM-192 PADA BRAKITERAPI KANKER SERVIK DOSIS SEDANG

Ari Satmoko<sup>1</sup>, Sanda<sup>1</sup>, Tri Harjanto<sup>1</sup> dan Atang Susila<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>PRPN - BATAN, Kawasan Puspiptek Gd. 71, Tangerang Selatan, 15313

### ABSTRAK

*DESAIN SISTEM PENGGERAK SELING SUMBER ISOTOP IRIDIUM-192 PADA BRAKITERAPI KANKER SERVIK DOSIS SEDANG.* Kegiatan perancangan brakiterapi pada tahun 2010 bertujuan untuk menghasilkan desain rinci perangkat brakiterapi kanker servik dosis sedang dengan memanfaatkan sumber isotop Iridium-92 berdaya pancar antara 5 hingga 10 Curie. Sumber dibungkus dalam kapsul stainless steel SS-316 yang dirangkai dengan seling SS-316 berdiameter sekitar 1 mm dan panjang 1800 mm. Sebagai bagian dari kegiatan ini, desain awal sistem mekanik penggerak sumber isotop telah dikembangkan. Kegiatan telah berhasil menentukan spesifikasi teknis komponen-komponen utama sistem mekanik penggerak. Kegiatan diawali dengan mempelajari desain konsep, melakukan perhitungan dan menentukan spesifikasi teknis, serta menetapkan komponen utama. Dari berbagai evaluasi yang telah dilakukan, beberapa komponen telah diputuskan yaitu motor stepper PK264A1-SG10, bearing tipe jarum NKI-10/20, tabung spiral berdiameter 120 mm berbahan SS316-1/8", sabuk berbahan dasar karet dengan lebar 20 mm, serta drum besar berdiameter 100 mm berbahan aluminium. Tidak semua komponen dapat diidentifikasi secara detil terutama komponen yang tidak ada di pasar dan harus dibuat sendiri. Dengan telah ditentukannya komponen-komponen utama tersebut, maka kegiatan lanjutan berupa desain rinci sistem mekanik penggerak seling sumber isotop dapat dilakukan.

*Kata kunci: brakiterapi, seling, sumber, penggerak*

### ABSTRACT

*A MECHANICAL SYSTEM DESIGN OF THE IRIDIUM-192 ISOTOPE WIRE IN CERVICAL CANCER BRACHYTHERAPY WITH MEDIUM DOSE RATE.* In 2010, brachytherapy engineering development activities have a purpose to establish a detailed design of the cervical cancer brachytherapy with medium dose rate. The brachytherapy will use an Iridium-92 source with the emitting radiation of 5 to 10 Curies. The source is wrapped in SS-316 capsule and carried by a SS-316 wire having diameter of about 1 mm and length of 1800 mm. As part of this activity, the preliminary design of the mechanical drive systems for the isotope source has been developed. The technical specifications for the main components of the mechanical drive system have been successfully determined. This is started by studying the concept design, performing calculations, determining technical specifications, and finally defining the main components. From the evaluation, some components were decided: a stepper motor PK264A1-SG10, needle bearing NKI-10/20, spiral tube in SS316-1/8" with 120 mm in diameter, rubber-based belts with a width of 20 mm, and aluminium drum with a diameter of 100 mm. Not all components could be identified in detail, especially for the components that do not exist in the marketplace and have to be created ourself. Since the main components have been identified, the detailed design step of the mechanical drive systems for the isotope source can be performed.

*Keywords: brachytherapy, wire, source, drive*

### 1. PENDAHULUAN

Salah satu teknik penyembuhan penyakit kanker servik adalah dengan iradiasi menggunakan peralatan brakiterapi. Teknik ini telah banyak dikembangkan terutama di negara-

negara maju, namun belum banyak diterapkan di Indonesia. Salah satu kendala belum banyaknya rumah sakit dan pasien di Indonesia yang belum tersentuh dengan teknik ini adalah mahalnya biaya terapi yang tak lain disebabkan oleh tingginya harga

peralatan brakiterapi. Dalam rangka memecahkan masalah inilah, maka dikembangkan brakiterapi kanker servik dengan menekankan pada kandungan lokal dalam negeri. Di sisi lain, Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy di Batan Serpong mampu memproduksi sumber radioaktif Iridium-192 yang dapat digunakan sebagai sumber penyinaran kanker serviks.

Brakiterapi kanker servik telah lama dikembangkan oleh PRPN<sup>[1]</sup>. Hingga tahun 2009, telah dihasilkan perangkat brakiterapi dosis rendah. Namun perangkat ini memberikan efek kurang nyaman terhadap pasien karena waktu yang diperlukan untuk proses iradiasi lebih dari 5 jam. Mulai tahun 2010, brakiterapi dosis sedang dikembangkan dengan memanfaatkan sumber isotop Iridium-92 yang berdaya pancar antara 5 hingga 10 Curie. Dengan dosis kekuatan seperti ini, lama terapi hanya dalam hitungan menit. Namun sebagai konsekuensinya, baik pasien maupun operator medis harus terhindar dari efek samping berupa paparan radioaktif berlebihan. Hal ini mensyaratkan gerakan sumber isotop secepat mungkin. Kegiatan pengembangan brakiterapi pada tahun 2010 ini masih terfokus pada desain rinci<sup>[2]</sup>. Tahap selanjutnya berupa konstruksi dan pengujian akan dilaksanakan pada tahun 2011<sup>[3]</sup>.

Sumber isotop yang digunakan berupa Iridium-192 yang dibungkus dalam kapsul *stainless steel* SS-316. Kapsul ini dirangkai dengan seling atau kawat SS-316 berdiameter sekitar 1 mm dan panjang 1800 mm. Ketika terapi kanker servik dilaksanakan, *catheter* atau aplikator dimasukkan ke dalam tubuh pasien dan kemudian sumber isotop dimasukkan ke dalam lubang aplikator tersebut. Posisi dan kecepatan gerakan sumber isotop dikendalikan melalui pemrograman sesuai dengan kondisi penyakit pasien. Sistem penggerak sumber inilah yang menjadi fokus dalam pengembangan perangkat brakiterapi. Dalam makalah ini, pembahasan difokuskan pada desain

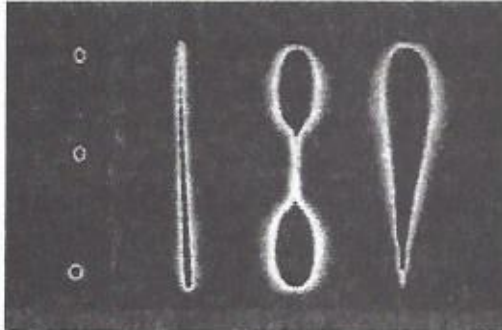
sistem penggerak mekanik seling sumber isotop Iridium-192.

## 2. TEORI

Desain konsep brakiterapi ditunjukkan dalam Lampiran 1. Perangkat brakiterapi terdiri dari berbagai komponen mekanik utama: sumber radioaktif dengan seling sumber, seling *checker*, kontainer pengaman, sistem penggerak sumber (motor servo dan drum penggulung), distributor pengarah gerakan sumber, pembimbing gerakan sumber, dan aplikator.

Sumber Iridium berbentuk silinder kecil dibungkus dalam kapsul SS 316L berdiameter luar sekitar 1 mm dan panjang 4 mm. Kapsul ini dilengkapi dengan kawat seling *stainless steel* berdiameter hampir sama dengan kapsul sumber dan panjang sekitar 1800 mm. Seling *checker* mempunyai dimensi yang sama dengan seling sumber dengan kegunaan untuk memeriksa apakah gerakan sumber akan bergerak seperti yang telah diprogram. Pemeriksaan ini dilakukan sebelum terapi dengan sumber dilakukan. Pada waktu belum atau tidak digunakan, paparan radioaktif dari sumber harus dapat dilokalisir di dalam kontainer pengaman sebagai perisai radiasi. Sistem penggerak sumber mengatur pergerakan posisi sumber sejak dari kontainer pengaman hingga aplikator dan kembali ke kontainer. Aplikator terdiri dari 3 batang dan menjadi pembimbing gerakan sumber di dalam tubuh pasien. Pada awalnya sumber digerakkan maju hingga berada pada salah satu ujung aplikator. Kemudian sesuai dengan dosis paparan, sumber ditarik sedikit demi sedikit dan kemudian dipindahkan ke lubang aplikator berikutnya. Pengaturan lubang aplikator mana yang dituju dilakukan oleh distributor pengarah. Bentuk aplikator dan gerakan sumber akan menentukan profil distribusi radiasi sesuai dengan penyakit pasien.

Beberapa contoh distribusi dosis sesuai dengan variasi gerakan sumber isotop ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Contoh distribusi dosis iradiasi dengan variasi gerakan sumber isotop<sup>[4]</sup>

Gambar distribusi dosis paling kiri diperoleh ketika sumber digerakkan secara cepat dan berhenti di beberapa posisi. Gambar distribusi dosis ke dua diperoleh ketika sumber digerakkan dengan kecepatan konstan. Gambar distribusi dosis ke tiga diperoleh dengan menempatkan sumber pada posisi ujung dan dibiarkan beberapa saat. Sumber ditarik mundur beberapa cm dan kembali dibiarkan beberapa saat. Distribusi dosis paling kanan diperoleh bila sumber berada di ujung dan ditarik mundur semakin lama semakin cepat.

### 3. TATAKERJA (BAHAN DAN METODE) RANCANGAN

Kegiatan ini merupakan bagian dari kegiatan desain awal yang khusus membahas sistem penggerak sumber isotop. Desain awal dikembangkan dengan mengacu pada desain konsep yang telah dikembangkan sebelumnya. Tujuan dari desain awal adalah menetapkan komponen-komponen utama sehingga kegiatan lanjutan berupa desain rinci dapat dilakukan. Adapun penentuan komponen-komponen utama dilakukan dengan tata kerja berikut:

- mempelajari dan mengevaluasi desain konsep
- melakukan perhitungan dan justifikasi teknis
- menentukan spesifikasi teknis
- menetapkan komponen yang dipilih



- $T_1$  : Gaya tarik seling ujung kiri  
 $T_2$  : Gaya tarik seling ujung kanan  
 $\beta$  : sudut busur kontak tali - silinder

Gambar 2. Gaya tali yang melingkar pada silinder

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain konsep brakiterapi kanker servik dosis sedang telah dikembangkan dan dilaporkan dalam Laporan Triwulan Subkegiatan 2010 sebagai bagian kegiatan DIPA PRPN. Tahap kegiatan berikutnya adalah pengembangan desain awal. Dalam tahap ini, spesifikasi teknis komponen-komponen utama ditentukan sehingga tipe atau model komponen yang akan digunakan dapat diidentifikasi dan diputuskan. Penentuan spesifikasi teknis didasarkan pada perhitungan dan justifikasi teknis. Dalam pembahasan ini, evaluasi dilakukan dalam rangka menentukan komponen-komponen utama untuk sistem mekanik penggerak seling sumber isotop.

Seling sumber mempunyai dimensi panjang sekitar 1800 mm. Dalam keadaan *stand by*, ujung sumber berada dalam posisi di dalam kontainer pengaman. Dengan demikian ekor seling harus dapat disimpan ke dalam suatu tempat. Dari berbagai alternatif, akhirnya diputuskan menggunakan tabung spiral untuk melokalisasi ekor

seling. Namun efek spiral dapat menyebabkan kasus "terkunci". Seperti halnya benang yang dililitkan pada tabung silinder, maka benang tersebut seperti "terikat" dan sama sekali tidak bisa ditarik. Untuk mendapatkan desain sehingga seling dapat mudah masuk dan keluar tabung spiral, maka kasus kemungkinan terjadinya "terkunci" harus dievaluasi.

Seling yang dimasukkan dalam tabung spiral menyerupai kasus seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. Persamaan untuk seling yang melingkar dalam drum ditunjukkan oleh Pers. (1 dan 2)<sup>[5]</sup>.

$$F_{\text{gesekan}} = (e^{f\beta} - 1) T_2 \quad (1)$$

dan

$$T_1 = T_2 + F_{\text{gesekan}} \quad (2)$$

di mana  $F_{\text{gesekan}}$  adalah gaya gesekan seling,  $T_1$  dan  $T_2$  adalah gaya tarik tali,  $\beta$  adalah sudut busur kontak dalam satuan radian dan  $f$  adalah koefisien gesekan antara seling dengan drum. Dari persamaan ini terlihat bahwa gaya tarik  $T_1$  bergantung secara linier terhadap  $T_2$ , namun meningkat secara eksponensial terhadap koefisien gesekan dan sudut busur kontak.  $T_2$  berada pada ujung bebas sehingga tidak begitu signifikan berpengaruh pada  $T_1$ .

Panjang seling sumber ( $L_{\text{sumber}}$ ) telah diketahui. Dengan memberikan asumsi awal terhadap diameter drum ( $D_{\text{drum}}$ ) sebesar 100 mm, maka sudut kontak  $\beta$  dapat dihitung dengan Pers. (3).

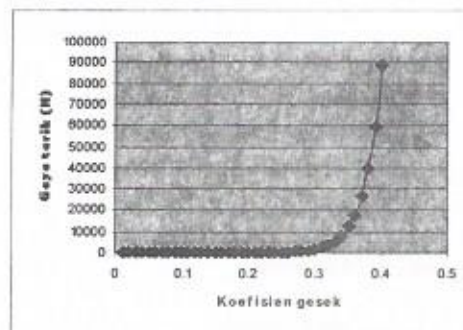
$$\begin{aligned} \beta &= L_{\text{sumber}} / (\pi D_{\text{drum}}) & (3) \\ &= 1800 / (\pi 100) \text{ putaran} \\ &= 6,366 \text{ putaran} \\ &= 40 \text{ radian} \end{aligned}$$

Nilai sudut tersebut diperoleh dengan asumsi bahwa sepanjang seling berada dalam posisi melingkar di sekitar drum silinder.

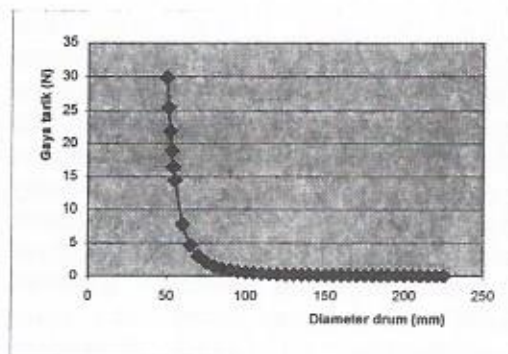
Dengan mengevaluasi Pers. (1 dan 2) dan memasukkan nilai  $\beta$ , maka pengaruh koefisien gesekan dapat dievaluasi. Pengaruh koefisien gesekan pada gaya tarik seling ditunjukkan

dalam Gambar 3. Terlihat bahwa gaya tarik ( $T_1$ ) untuk melawan gaya gesekan berubah secara drastis ketika koefisien gesekan di atas 0,3. Dari kurva ini dapat diambil suatu catatan bahwa koefisien gesekan antara seling dengan tabung spiral harus kecil. Seling berupa kawat *stainless steel*. Tabung yang digunakan harus mempunyai koefisien gesekan yang kecil terhadap seling. Atas dasar pertimbangan ini, maka diputuskan menggunakan tabung spiral *stainless steel sehingga* koefisien gesekan yang terjadi adalah sekitar 0,1. Dari kurva pada Gambar 3 terlihat bahwa angka koefisien gesekan sebesar 0,1 masih berada dalam daerah aman dan angka ini digunakan dalam pembahasan selanjutnya. Untuk desain selanjutnya, tabung yang digunakan mempunyai spesifikasi SS316 dengan ukuran standar 1/8" dan diameter dalam 2,16 mm.

Diameter tabung spiral dibuat sekecil mungkin supaya tidak memakan tempat. Evaluasi pengaruh diameter spiral ditunjukkan dalam Gambar 4. Dari kurva tersebut terlihat bahwa asumsi awal dengan diameter 100 mm berada dalam daerah transisi. Asumsi ini masih berisiko. Untuk desain akhirnya diputuskan bahwa diameter spiral adalah 120 mm. Dengan data seperti ini, gaya gesekan yang diberikan oleh tabung spiral menjadi hanya 2,7 N. Gaya ini relatif tidak signifikan, sehingga dorongan kecil dari motor akan mampu menggerakkan seling sumber.

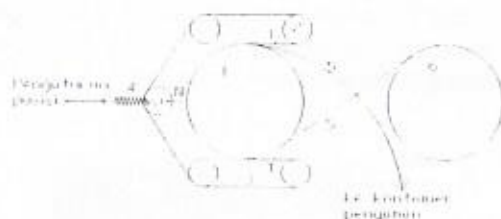


Gambar 3. Pengaruh koefisien gesekan pada gaya tarik seling



Gambar 4. Pengaruh diameter drum pada gaya tarik seling

Kegiatan selanjutnya adalah memilih sistem penekan mekanik sehingga seling dapat digerakkan oleh motor. Pada brakiterapi dosis rendah<sup>[1]</sup>, penekan didesain dengan menekan roda kecil pada drum pemutar seling. Namun sistem tersebut mempunyai kelemahan karena ketika gaya penekan sangat kecil, terjadi selip antara putaran drum dengan seling sumber. Sebaliknya bila penekanan terlalu kencang, torsi pada motor menjadi sangat besar dan motor tidak kuat menggerakkan seling sumber. Atas dasar pengalaman ini, desain dirombak dengan menggunakan sebuah drum besar, lima drum kecil dan sabuk atau *belt* seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.



- 1 : Drum besar
- 2 : Drum kecil berjumlah lima
- 3 : Sabuk berbahan dasar karet
- 4 : pegas pengatur posisi
- 5 : seling sumber
- 6 : tabung spiral
- T : Gaya tarik sabuk
- N : Gaya normal penyeimbang

Gambar 5. Penjepit seling menggunakan drum dan *belt*

Agar supaya tegangan tarik sabuk dapat dikendalikan, maka posisi sumbu drum kecil tengah dapat digeser ke kiri-kanan. Sebuah pegas digunakan agar supaya pengaturan kekencangan dapat dilakukan dengan mudah. Pada drum besar, koefisien gesekan diharapkan sebesar mungkin supaya tidak ada selip antara seling, drum dan sabuk. Sedangkan pada drum-drum kecil, *bearing* tipe jarum digunakan untuk memudahkan pergeseran sabuk. Keputusan penggunaan *bearing* tipe jarum mengacu pada beberapa alasan: diameter luar lebih kecil namun lebih lebar. Karakteristik seperti ini memudahkan desain untuk pemasangan sabuk. Dari katalog diperoleh *bearing* jarum (*needle*) yang cocok adalah tipe NKI-10/20. Tipe ini mempunyai diameter lubang 10 mm, diameter luar 22 mm dan lebar atau tebal *bearing* 20 mm.

Drum besar diputar oleh motor. Karena ketebalan drum yang relatif tipis, maka drum besar langsung dipasang pada sumbu motor. Untuk menjamin tidak ada selip di antara drum besar, sabuk dan seling, gaya tarik sabuk diperkirakan berada pada kisaran gaya sebesar 20 N (hampir setara dengan tarikan oleh massa 2 kg). Sabuk yang digunakan berbahan karet dengan koefisien gesekan 0,6. Sabuk penarik membentuk sudut  $\alpha$  sebesar  $0^\circ$  terhadap garis horizontal. Dengan kondisi seperti ini, sabuk memberikan gaya gesekan ( $F_{\text{sabuk}}$ ) kepada drum besar sebesar

$$\begin{aligned}
 F_{\text{sabuk}} &= \mu N & (4) \\
 &= \mu 2 T \sin \alpha \\
 &= 0,6 * 2 * 20 * \sin(0^\circ) \\
 &= 24 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gaya gesekan pada drum-drum kecil dapat diabaikan karena dilengkapi dengan *bearing* dengan koefisien gesekan sekitar 0,006<sup>[6]</sup>. Dengan demikian maka tenaga yang dibutuhkan oleh drum besar ( $F_{\text{total}}$ ) untuk dapat menggerakkan seling dan sabuk adalah:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{total}} &= F_{\text{spiral}} + F_{\text{sabuk}} & (5) \\
 &= (2,7 + 24) \text{ N} \\
 &= 26,7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Drum besar ini langsung dihubungkan dengan motor melalui kopling tanpa gearbox (penurun kecepatan). Dengan mempertimbangkan faktor keamanan (FK) dua kali lipat dan diameter drum besar adalah 100 mm, maka torsi yang dibutuhkan oleh motor tersebut menjadi:

$$\begin{aligned} T &= FK * F_{total} * D_{drum} / 2 & (6) \\ &= 2 * 26,7 * 0,100 / 2 \text{ Nm} \\ &= 2,67 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Dari berbagai katalog yang ada, maka diputuskan untuk menggunakan motor servo dengan model PK264A1-SG10<sup>[7]</sup>. Motor tipe ini sebenarnya dilengkapi dengan gearbox penurun kecepatan yang telah terintegrasi.

## 5. KESIMPULAN.

Telah dilakukan pemilihan komponen-komponen utama dalam rangka mengembangkan sistem mekanik penggerak seling sumber isotop untuk brakiterapi dosis sedang. Kegiatan diawali dengan mempelajari desain konsep, melakukan perhitungan dan menentukan spesifikasi teknis. dan menetapkan komponen utama. Dari berbagai evaluasi yang telah dilakukan, beberapa komponen telah dilakukan yaitu motor stepper PK264A1-SG10, bearing tipe jarum NKI-10/20, tabung spiral berdiameter 120 mm berbahan SS316-1/8", sabuk berbahan dasar karet dengan lebar 20 mm, serta drum besar berdiameter 100 mm berbahan aluminium. Tidak semua komponen dapat diidentifikasi secara detil terutama komponen yang tidak ada di pasar dan harus dibuat sendiri. Dengan telah ditentukannya komponen-komponen utama tersebut, maka kegiatan lanjutan berupa desain rinci sistem mekanik penggerak seling sumber isotop dapat dilakukan.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. HARJANTO TRI, dkk, Perencanaan Brachytherapy Dosis Rendah, Laporan Teknis PRPN 2009
- [2]. SUSILA ATANG, Perencanaan Brachytherapy Medium Doserate,

Usulan Kegiatan, No. Dok. 440202/PRPN/2010, 10 Maret 2010

- [3]. SUSILA ATANG, Perencanaan Brachytherapy MDR untuk Kanker Servik, Usulan Kegiatan, No. Dok. 440202/PRPN/2011, Rev. 0, 10 Juni 2010
- [4]. ANONYMOUS, ESTRO: A Practical Guide to Quality Control of Brachytherapy Equipment, JACK VENSELAAR dan JOSÉ PÉREZ-CALATAYUD, ESQUIRE Project – Grant Agreements No. S12300039(2000CVG2-021) & SPC 2002480 – Technical Report – Part V, ISBN 90-804532-8
- [5]. BAUMEISTER T., AVALLONE E. A., dan BAUMEISTER III T., Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineer, Eight Edition, McGraw Hill Book Company
- [6]. NIEMANN G., Elemen Mesin I, Edisi kedua, Penerbit Erlangga 1994
- [7]. ANONYMOUS, Oriental Motor Catalogue, 2006

