

## RANCANG BANGUN MODUL MEKANIK PENGGERAK SUMBER RADIO-ISOTOP PADA PROTOTIP AWAL PERANGKAT BRAKITERAPI KANKER SERVIK DOSIS SEDANG

Ari Satmoko, Tri Harjanto  
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir - BATAN

Hendra Prasetya  
PRSG – Pusat Reaktor Serba Guna - BATAN

### ABSTRAK.

**RANCANG BANGUN MEKANIK MODUL PENGGERAK SUMBER RADIO-ISOTOP PADA PROTOTIP AWAL PERANGKAT BRAKITERAPI KANKER SERVIK DOSIS SEDANG.** Perangkat brakiterapi dosis sedang untuk terapi kanker servik dikembangkan dengan menekankan produk dalam negeri. Sumber yang digunakan adalah Iridium-192 dengan kekuatan sekitar 5 Curie. Sumber ini dibungkus dalam kapsul dan dirangkai dengan kawat berdiameter 1 mm dan panjang 1800 mm. Terapi dilaksanakan dengan memasukkan sumber radiasi ke dalam tubuh pasien melalui aplikator. Sistem loading-unloading sumber isotop terbagi ke dalam 3 modul, yaitu; modul penggerak sumber, modul kontainer sumber, dan modul distributor channel. Dalam makalah ini pembahasan difokuskan pada kegiatan perekayasaan modul penggerak sumber yang berfungsi untuk menggerakkan maju-mundur sumber isotop. Kegiatan diawali dengan pengembangan desain awal yang menghasilkan gambar sketsa komponen-komponen mekanik yang dibutuhkan. Selanjutnya, perhitungan dilakukan dalam rangka menetapkan spesifikasi komponen utama. Dari tahap ini diputuskan motor stepper tipe A50K-M66-G10 sebagai penggerak mekanik. Tahap berikutnya berupa pengembangan desain rinci yang menghasilkan gambar teknik untuk tiap-tiap komponen. Selanjutnya fabrikasi komponen dilakukan dengan mengacu gambar-gambar desain rinci tersebut. Setelah lengkap, semua komponen dirakit menjadi modul mekanik penggerak sumber. Pengujian juga menunjukkan bahwa secara manual modul ini telah berfungsi. Dengan memutar-balikan putaran manual, ujung kawat dapat digerakkan maju dan mundur.

Kata kunci: brakiterapi, desain, fabrikasi, mekanik, sumber radio-isotop

### ABSTRACT

**MECHANICAL DESIGN OF THE RADIO-ISOTOPE SOURCE DRIVER MODULE FOR AN INITIAL PROTOTYPE OF MEDIUM DOSE RATE BRACHYTHERAPY.** High dose rate brachytherapy equipment for therapy against cervical cancer is developed by empowering local products. An Iridium-192 with 5 Curies of energy is used. The source is wrapped in a capsule and combined with a wire diameter of 1 mm and length 1800 mm. The therapy is carried out by inserting the radiation source into the patient's body through an applicator. The system for loading-unloading the isotope source is divided into three modules: the source driver module, the source container modules, and channel distributor module. In this paper, the discussion is focused on engineering activities of the first module that serves to drive forward and backward position of the Iridium-192 isotope sources. The activity begins with the development of preliminary design sketches that produces drawings of mechanical components required. Furthermore, the calculations are carried out in order to establish the main component specifications. From this stage, a stepper motor type M66-A50K-G10 as a mechanical driver is chosen. The next stage is developing the detailed design and producing detailed drawings for all components. The fabrication of each component refers to the detailed design drawings. All components are assembled completely into the source driver module. Test also shows that the module works manually well. By rotating the manual handle in both directions, the tip of the wire moves alternately in forward and backward directions.

Keywords: brachytherapy, engineering, fabrication, mechanical, radio- isotope source

### PENDAHULUAN

Salah satu metode penyembuhan penyakit kanker servik adalah dengan iradiasi menggunakan peralatan brakiterapi. Dalam metode ini, radiasi diberikan dengan mendekati atau menusukkan

sumber radiasi ke daerah target sehingga akan memberikan dosis yang dapat mematikan sel tumor. Metode 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 terutama sumber Isotop Iridium-192 yang dapat dibuat di PRSG BATAN.

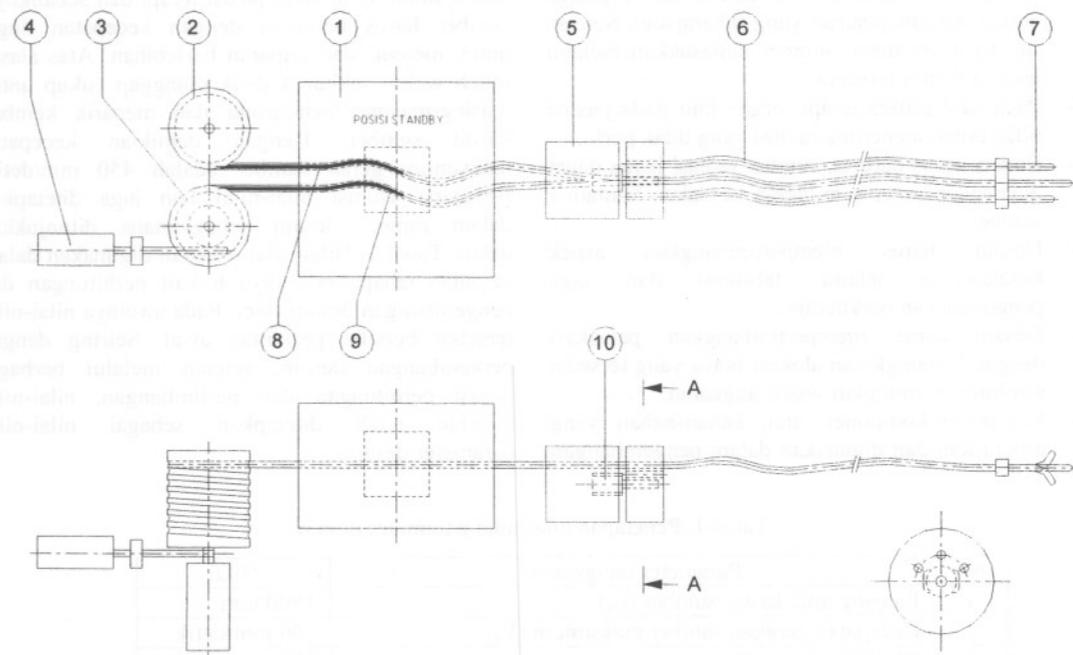
Sumber isotop Iridium-192 berkekuatan antara 5 hingga 10 Curie dibungkus dalam kapsul *stainless steel* SS-316. Kapsul ini dirangkai dengan kawat SS-316 berdiameter sekitar 1 mm dan panjang 1800 mm. Ketika terapi kanker servik dilaksanakan, kateter atau aplikator dimasukkan ke dalam tubuh pasien dan kemudian sumber isotop dimasukkan ke dalam lubang aplikator tersebut. Posisi dan kecepatan gerakan sumber isotop dikendalikan melalui pemrograman sesuai dengan kondisi penyakit pasien. Untuk melaksanakan kegiatan *loading-unloading* sumber isotop inilah dibutuhkan perangkat brakiterapi.

Secara umum, sistem *loading-unloading* sumber isotop pada perangkat brakiterapi terbagi ke dalam 3 modul yaitu modul penggerak sumber, modul kontainer sumber, dan modul distributor kanal. Modul penggerak sumber merupakan modul yang berfungsi untuk gerak maju-mundur sumber isotop Iridium-192. Modul kontainer berfungsi sebagai perisai radiasi pada saat sumber tidak

digunakan atau dalam keadaan *stand by*. Modul distributor kanal berfungsi untuk memilih jalur keluaran yang akan digunakan. Dalam makalah ini pembahasan difokuskan pada perekrayaan modul mekanik penggerak sumber. Pembahasan meliputi pengembangan desain awal, perhitungan, penentuan spesifikasi komponen-komponen utama, pengembangan desain rinci, konstruksi dan pengujian.

### PRINSIP KERJA DAN PERSYARATAN PERANGKAT BRAKITERAPI<sup>[1,2]</sup>

Prinsip kerja perangkat brakiterapi dosis sedang ditunjukkan dalam Gambar 1. Perangkat brakiterapi terdiri dari tiga komponen mekanik utama: penggerak sumber, kontainer sumber dan distributor kanal. Kateter atau aplikator yang dimasukkan ke dalam tubuh pasien melengkapi perangkat brakiterapi tersebut. Sumber Iridium-192 dibungkus dalam kapsul dan dirangkai dengan kawat *stainless steel* berdiameter sekitar 1 mm dengan panjang sekitar 1800 mm. Sebelum terapi dilakukan, pemeriksaan jalur dilakukan dengan menggunakan kawat *checker* yang mempunyai dimensi sama dengan kawat sumber. Kawat *checker* bertujuan untuk memastikan bahwa pergerakan sumber untuk proses terapi dapat berlangsung sesuai dengan yang diinginkan.



Keterangan:

- |                                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| 1. Kontainer pengaman             | 6. Tube fleksibel |
| 2. Motor dan drum pemutar checker | 7. Aplikator      |
| 3. Motor dan drum pemutar sumber  | 8. Kawat checker  |

4. Penggulung darurat
5. Distributor kanal

9. Kawat sumber
10. motor distributor kanal

Gambar 1. Desain konsep perangkat brakiterapi dosis sedang

Pada waktu tidak digunakan atau posisi *stand by*, sumber Iridium-192 disimpan dalam modul kontainer sumber sehingga paparan radioaktif dari sumber dapat dilokalisasi. Saat digunakan untuk terapi, modul penggerak sumber mengatur pergerakan posisi sumber sejak dari kontainer 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 posisi salah satu ujung aplikator. Kemudian sesuai dengan dosis paparan, sumber ditarik sedikit demi sedikit ke posisi-posisi lain dan kemudian dipindahkan ke lubang aplikator berikutnya. Pengaturan lubang aplikator mana yang dituju dilakukan oleh distributor *channel*. Bentuk aplikator, posisi berhenti sumber dan lama berhenti akan menentukan profil distribusi dosis radiasi sesuai dengan penyakit pasien.

Dalam mengembangkan desain awal dan rinci perangkat brakiterapi, beberapa persyaratan terkait aspek mekanik modul penggerak sumber telah ditetapkan sbb:

- Metode yang digunakan adalah *afterloading*: aplikator dimasukkan ke dalam tubuh pasien sesuai dengan susunan yang diharapkan. Setelah itu, baru kemudian sumber dimasukkan melalui jalur aplikator tersebut.
- Pada saat proses terapi, organ lain pada pasien tidak boleh menerima radiasi yang tidak perlu.
- Dalam kasus darurat, sumber radiasi harus dapat diamankan secepat mungkin ke dalam kontainer sumber.
- Desain harus mempertimbangkan aspek keselamatan selama fabrikasi dan juga pengoperasian brakiterapi.
- Desain harus mempertimbangkan pabrikan dengan kemungkinan alokasi biaya yang tersedia seminimum mungkin sesuai anggaran.
- Komponen-komponen atau bahan-bahan yang diputuskan dan digunakan dalam pengembangan

brakiterapi harus disertai dengan justifikasi teknis yang tertulis.

- Posisi gerakan sumber pada saat terapi mempunyai ketelitian ( $k_d$ )  $\pm$  1 mm.

#### TATA KERJA PEREKAYASAAN

Kegiatan perekayasa mekanik modul penggerak sumber dilakukan dalam beberapa tahap berikut:

- Penetapan asumsi nilai-nilai parameter desain
- Perhitungan untuk desain awal
- Penentuan spesifikasi komponen utama
- Pengembangan desain rinci
- Konstruksi mekanik dan pengujian

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Penetapan asumsi nilai-nilai parameter desain

Pada tahap ini, beberapa nilai parameter desain ditetapkan dengan mempertimbangkan persyaratan desain. Panjang kawat sumber ditetapkan pada nilai 1800 mm. Panjang ini mengadopsi pada produk-produk lain sejenis yang telah ada di pasar. Dari posisi *stand by* menuju posisi terapi dan sebaliknya, sumber harus bergerak dengan kecepatan tinggi untuk menghindari paparan berlebihan. Atas alasan inilah waktu sekitar 4 detik dianggap cukup untuk masing-masing mendorong dan menarik kembali kawat sumber. Dengan demikian kecepatan maksimum gerak sumber adalah 450 mm/detik. Beberapa asumsi nilai-nilai lain juga ditetapkan dalam rangka desain sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1. Nilai-nilai ini akan digunakan dalam kegiatan tahap berikutnya terkait perhitungan dan pengembangan desain rinci. Pada awalnya nilai-nilai tersebut bersifat perkiraan awal. Seiring dengan perkembangan desain, setelah melalui berbagai iterasi perhitungan dan pertimbangan, nilai-nilai tersebut telah ditetapkan sebagai nilai-nilai parameter desain.

Tabel 1. Penetapan nilai-nilai parameter desain

No	Parameter (singkatan)	Nilai
1	Panjang total kawat sumber ( $L_s$ )	1800 mm
2	Kecepatan gerakan sumber maksimum ( $V_s$ )	450 mm/detik
3	Diameter drum ( $D_d$ )	120 mm
4	Pitch alur pada drum ( $p_d$ )	2,5 mm
5	Gaya tarik/dorong kawat sumber ( $F_s$ )	24,6 Newton <sup>[3]</sup>
6	Faktor pengali (FP)	2 kali

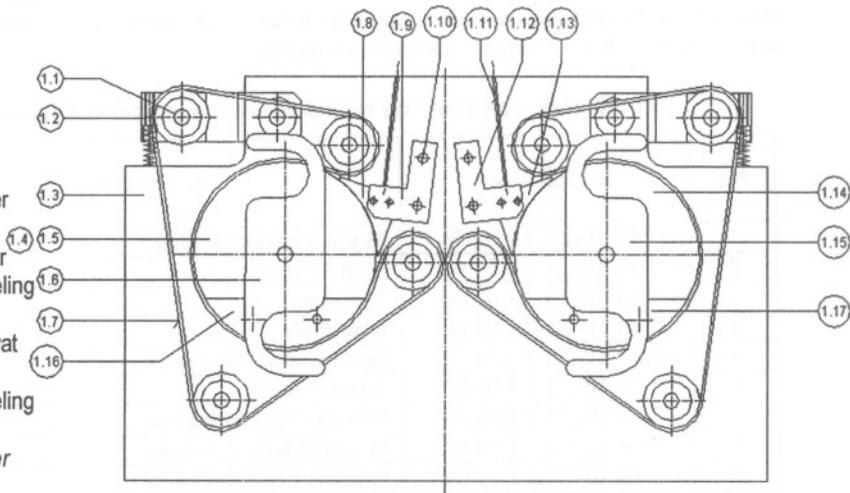
### Pengembangan desain awal

Dengan mengacu pada prinsip kerja dan persyaratan, desain awal mekanik modul penggerak sumber perangkat brakiterapi dikembangkan. Berbagai alternatif dan pertimbangan akhirnya menghasilkan desain seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. Modul ini terdiri dari dua bagian yang simetris. Bagian kiri untuk menggerakkan kawat *checker* (*dummy*) dan bagian kanan untuk menggerakkan kawat sumber. Batas atas modul ini berhubungan dengan modul kontainer sumber. Ujung kawat dengan sumber radioaktif ditempatkan

di dalam kontainer sumber. Kawat sebagai pembawa sumber dililitkan pada Drum Kawat Sumber 1.4. sebagai penggulung. Sabuk 1.7 digunakan untuk mengikat atau menempatkan kawat pada alur drum. Tegangan sabuk diatur oleh *Cam Follower* 1.1 dan *Tensioner* 1.2. Dengan memutar motor yang terkoneksi pada drum, maka kawat dapat ditarik atau didorong melalui pengaturan Pengarah Kawat 1.8 dan Tube Pengarah 1.11. Pemutar manual 1.6 disiapkan dalam rangka keadaan darurat bila motor gagal berfungsi.

Keterangan:

- 1.1. *Cam follower*
- 1.2. *Tensioner*
- 1.3. *Base plate*
- 1.4. Drum kawat sumber
- 1.5. Adapter drum
- 1.6. Pemutar manual sumber
- 1.7. Sabuk
- 1.8. Pengarah kawat sumber
- 1.9. Pemegang pengarah seling sumber
- 1.10. Penahan pengarah kawat
- 1.11. Tube pengarah
- 1.12. Pemegang pengarah seling sumber
- 1.13. Pengarah kawat *checker*
- 1.14. Drum kawat *checker*
- 1.15. Pemutar manual *checker*
- 1.16. Penjepit kawat sumber
- 1.17. Penjepit kawat *checker*



Gambar 2. *General drawing* modul penggerak sumber<sup>[2]</sup>

### Perhitungan dan Penentuan Spesifikasi Komponen Utama

Komponen utama dalam modul ini adalah motor. Dari berbagai pilihan yang ada, motor *stepper* diputuskan sebagai jenis motor yang paling ideal. Tahapan berikut digunakan dalam rangka menentukan spesifikasi motor *stepper*:

- Kecepatan putar motor/drum ( $\omega_d$ )

$$\omega_d = V_s / (D_d/2) \text{ rad/det}$$

$$= 71.6 \text{ rpm}$$

- Resolusi motor ( $\theta_m$ )

$$\theta_m = k_d / (D_d/2) \text{ rad}$$

$$= 0,955^\circ$$

- Torsi motor ( $T_m$ )

$$T_m = F_s * (D_d/2) * FP$$

$$= 3,204 \text{ Nm}$$

Dari berbagai perhitungan di atas diperoleh spesifikasi minimum motor. Motor harus mampu berputar dengan kecepatan 71.6 rpm, memiliki resolusi 0,955 dan torsi 3,204 Nm. Dari berbagai pilihan yang ada di pasar akhirnya ditetapkan menggunakan motor *stepper* tipe A50K-M566-G10.

Lembar spesifikasi motor tipe ini ditunjukkan dalam Tabel 2. Parameter dalam spesifikasi teknis tersebut telah diperiksa dan memenuhi persyaratan yang diinginkan.

Tabel 2. Spesifikasi teknis motor *stepper* tipe A50K-M566-G10<sup>[4]</sup>

No.	Parameter	besaran
1	<i>Maximum holding torque</i>	5,0 N.m
2	Kecepatan	0 – 180 rpm
3	Resolusi	0,144°

Dimensi drum penggulung kawat juga perlu ditetapkan melalui perhitungan berikut:

- Keliling drum ( $K_d$ )

$$K_d = \pi D_d$$

$$= 377 \text{ mm}$$

- Jumlah lilitan ( $n_s$ )

$$n_s = L_s / K_d$$

$$= 5.3 \text{ atau dibulatkan ke atas menja}$$

$$\text{di 6 lilitan}$$

- Lebar drum ( $L_d$ )

$$L_d = n_s * p_d$$

- Lebar drum ( $L_d$ )

$$L_d = n_s * p_d \\ = 12 \text{ mm}$$

Dengan mempertimbangkan jarak tepi sekitar 10 mm pada sisi atas dan bawah, maka lebar drum ditetapkan pada 25 mm. Untuk mempermudah fabrikasi terutama pembuatan alur untuk kawat, bahan drum yang digunakan adalah POM putih. POM adalah nama pasaran dari bahan *polyacetal*.

Untuk sabuk, lebar dan tebal ditetapkan masing-masing pada 20 mm dan 2 mm dengan bahan mengikuti ketersediaan di pasar. Untuk komponen kerja mekanik lainnya, spesifikasi bahan adalah baja nirkarat dengan dimensi mengikuti

ruang yang ada dan tetap harus mempertimbangkan persyaratan desain.

#### Pengembangan desain rinci

Desain rinci dikembangkan dengan mengacu pada hasil tahap-tahap sebelumnya berupa desain awal dan perhitungan serta juga memperhatikan persyaratan desain. Hasil desain rinci berupa gambar rinci yang dapat ditindaklanjuti oleh bagian konstruksi tanpa interpretasi yang membingungkan. Agar modul penggerak sumber dapat berfungsi seperti yang diinginkan, berbagai komponen telah teridentifikasi seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.

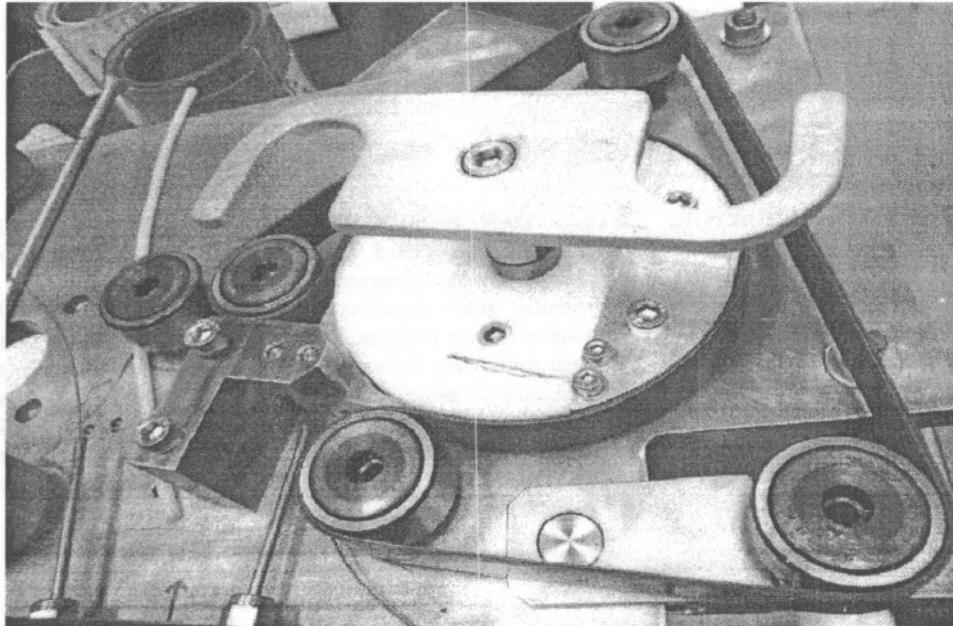
Tabel 2. Daftar gambar rinci komponen-komponen mekanik modul penggerak sumber

No	No Dokumen	Komponen	Keterangan
1	GT.IB 10-2.1.2.1.00.00	Modul Penggerak sling	<i>General Drawing</i>
2	GT.IB 10-2.1.2.1.01.00	<i>Cam Follower</i>	Pengatur lintasan sabuk
3	GT.IB 10-2.1.2.1.02.00	Tensioner	Pengatur tegangan sabuk
4	GT.IB 10-2.1.2.1.03.00	<i>Base Plate</i>	Dudukan utama
5	GT.IB 10-2.1.2.1.04.00	Drum Kawat Sumber	-
6	GT.IB 10-2.1.2.1.05.00	Adapter drum	-
7	GT.IB 10-2.1.2.1.06.00	Pemutar Manual Sumber	-
8	GT.IB 10-2.1.2.1.08.00	Pengarah Kawat Sumber	-
9	GT.IB 10-2.1.2.1.10.00	Penahan Pengarah kawat	-
10	GT.IB 10-2.1.2.1.12.00	Penahan Pengarah kawat Dummy	-
11	GT.IB 10-2.1.2.1.13.00	Pengarah kawat Dummy	-
12	GT.IB 10-2.1.2.1.14.00	Drum Kawat Dummy	-
13	GT.IB 10-2.1.2.1.15.00	Pemutar Manual Dummy	-
14	GT.IB 10-2.1.2.1.16.00	Penjepit kawat Sumber	-
15	GT.IB 10-2.1.2.1.17.00	Penjepit Kawat dummy	-
16	GT.IB 10-2.1.2.1.18.00	Motor <i>stepper</i>	-

#### Konstruksi mekanik dan pengujian

Dengan mengacu pada desain rinci, konstruksi modul mekanik penggerak sumber dilakukan. Kegiatan diawali dengan pembuatan

komponen-komponennya. Dan setelah lengkap, semua komponen dirakit menjadi sebuah modul penggerak sumber. Gambar 4 menunjukkan hasil perakitan pada bagian sisi kawat sumber dari modul penggerak sumber.



Gambar 4. Hasil perakitan modul penggerak sumber sisi kawat sumber

Uji coba secara manual mekanik juga telah dilakukan untuk memastikan bahwa modul tersebut telah dikonstruksi sesuai desain rinci dan dapat berfungsi seperti yang diinginkan. Pada awal pengujian dijumpai berupa kendala seperti posisi ketinggian *cam follower* dan drum yang tidak rata. Namun setelah perbaikan pemasangan, kendala tersebut dapat dihilangkan. Ketika drum diputar secara manual, kawat dapat digerakkan maju dan mundur. Hingga kini pengujian secara menyeluruh belum dapat dilakukan karena belum terintegrasinya modul-modul mekanik lainnya dan sistem instrumentasi dan kontrol. Pengujian menyeluruh akan dibahas pada kegiatan selanjutnya.

#### KESIMPULAN.

Telah diperoleh hasil rancang bangun berupa modul mekanik penggerak sumber radioisotop untuk perangkat brakiterapi. Pengujian menunjukkan bahwa secara manual modul ini telah berfungsi terutama dengan putaran manual, ujung kawat dapat digerakkan maju dan mundur. Pengujian secara menyeluruh belum dapat dilakukan karena modul ini belum terintegrasi baik dengan modul-modul mekanik lain maupun dengan modul instrumentasi dan kontrol. Hal ini akan dilakukan pada kegiatan berikutnya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diucapkan kepada seluruh

“Tim Brakiterapi” yang telah turut memberi masukan selama pelaksanaan perekayasaan perangkat brakiterapi dosis sedang. Ucapan terima kasih juga diarahkan pada Kementerian Riset dan Teknologi melalui program Peningkatan Kapasitas Peneliti dan Perekayasa 2011 yang telah membiayai kegiatan desain perangkat brakiterapi ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. 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
2. ARI SATMOKO, Pengembangan Desain Konsep Mekanik Treatment Delivery System Brakiterapi Medium Dose Rate, Technical Report, TR01-WP2-WBS0-RPN-2010-440202, 23 April 2010
3. ARI SATMOKO, dkk, Desain Sistem Penggerak Kawat Sumber Isotop Ir-192 pada Brakiterapi Kanker Servik Dosis Sedang, PRIMA, Volume 7, Nomor 14 Nopember 2010, ISSN 1411-0296
4. ANONYMOUS. 2. 5 Phase Stepping Motors/ Drivers/Motion Controllers, Autonics Catalogue, No. 20100512-STEPPING-ENG-04