

## DESAIN RINCI KONTAINER SUMBER RADIASI Ir-192 DAN LANDASANNYA PADA PERANGKAT BRAKITERAPI *HIGH DOSE RATE* (HDR)

Rahmat, Tri Harjanto, Ari Satmoko  
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir – BATAN,  
Gedung 71, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang  
rahmat@batan.go.id;Harjanto599@yahoo.com;satmoko@batan.go.id

### ABSTRAK

*DESAIN RINCI KONTAINER SUMBER RADIASI Ir-192 DAN LANDASANNYA PADA PERANGKAT BRAKITERAPI HIGH DOSE RATE (HDR). PRFN BATAN mengembangkan perangkat brakiterapi dosis tinggi dengan memperbaiki prototip awal perangkat brakiterapi dosis sedang. Sumber radiasi yang akan digunakan adalah Ir-192 dengan aktifitas 15 Ci. Secara umum, perangkat brakiterapi terdiri dari tiga modul yaitu modul penggerak sumber, modul kontainer sumber dan modul distributor channel. Berbagai perbaikan dilakukan yang di antaranya adalah merubah desain modul kontainer sumber. Bahan timbal sebagai perisai radiasi diganti dengan tungsten. Kegiatan desain rinci diawali dengan menggambar komponen-komponen utama dari modul kontainer sumber yaitu tube kontainer, kontainer tungsten, silinder timbal, penutup timbal, dan dudukan kontainer. Setelah semua komponen tergambar, tahap berikutnya adalah mendesain proses perakitan untuk membentuk modul kontainer sumber. Baik pemodelan komponen maupun proses perakitan dikerjakan menggunakan piranti lunak SolidWORK untuk mengurangi kemungkinan kesalahan desain. Dengan desain baru ini, berat kontainer perisai radiasi dapat ditekan hingga menjadi sekitar 30 kg yang semula 80 kg. Landasan atau base plate juga didesain untuk memposisikan modul kontainer sumber terhadap modul-modul lainnya.*

*Kata kunci : Brakiterapi , desain rinci, kontainer sumber, tungsten, landasan*

### ABSTRACT

*A DETAILED DESIGN OF Ir-192 RADIATION SOURCE CONTAINER AND ITS BASE FOR HIGH DOSE RATE (HDR) BRACHYTHERAPY DEVICE. PRFN BATAN develops high-dose rate brachytherapy equipment to improve the preliminary medium dose rate prototype. The radiation source to be used is Iridium-192 with activity of 15 Ci. In general, brachytherapy equipment consists of three modules, namely driving source module, source container module and distributor channel module. Various improvements are developed which of them is modifying the design of the container resource module. Lead as radiation shielding material is replaced with tungsten. Detailed design activity begins by drawing the main components of the module container sources that are container tube, tungsten container, lead cylinder, lead covers, and container holders. After all the components envisaged, the next step is to design an assembly process into a source container module. Both components model and the assembly process are developed using the SolidWORK software to reduce the possibility of design errors. With this new design, the weight of radiation shielding container in tungsten can be reduced to approximately 30 kg instead of 80 kg by using lead material. A base plate is also designed to position the source container modul among other modules.*

*Keywords: brachytherapy, detailed design, source containers, tungstene, baseplate*

## 1. PENDAHULUAN

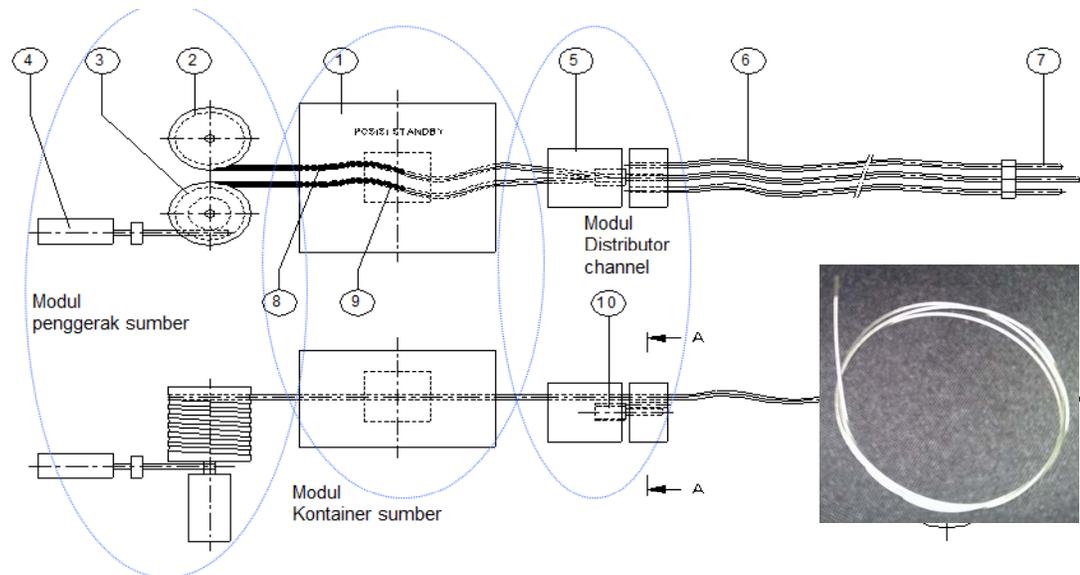
Selain dengan teknik kemoterapi, teknik iradiasi menggunakan perangkat brakiterapi juga diterapkan untuk terapi melawan penyakit kanker serviks. Meski telah lama dikembangkan di negara-negara maju, teknik brakiterapi belum banyak diterapkan di Indonesia. Hanya rumah sakit besar yang memiliki fasilitas perangkat brakiterapi. Tingginya harga peralatan brakiterapi menjadi salah satu kendala utama yang berakibat pada mahalnya biaya terapi. Dalam rangka memecahkan masalah ini, PRFN BATAN berusaha mengembangkan perangkat brakiterapi kanker serviks dengan prioritas 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.

Hingga tahun 2013, PRFN berhasil mengembangkan prototip awal perangkat brakiterapi dosis sedang [1]. Hasil uji coba dan evaluasi menunjukkan bahwa prototip awal ini membutuhkan perbaikan untuk meningkatkan unjuk kerjanya. Mulai tahun 2015, PRFN mengembangkan perangkat brakiterapi dosis tinggi (*high dose rate/HDR*) yang merupakan perbaikan kinerja dari prototip awal. Salah satu permasalahan dalam prototip awal adalah ukuran kontainer sumber radiasi yang terlalu besar dan berat. Dalam rangka memecahkan masalah inilah, kontainer sumber pada perangkat brakiterapi perlu dimodifikasi. Makalah ini membahas desain baru modul kontainer sumber pada perangkat brakiterapi untuk *high dose rate*.

## 2. TEORI

Desain konsep perangkat brakiterapi ditunjukkan dalam Gambar 1. Sumber isotop untuk terapi adalah Iridium-92 yang dibungkus dalam kapsul SS 316 yang berdiameter luar 1,10 mm. Seperti ditunjukkan dalam insert Gambar 1, kapsul ini dirangkai dengan seling *stainless steel* berdiameter 1 mm dan panjang sekitar 1800 mm. Ketika terapi kanker serviks dilaksanakan, aplikator dimasukkan ke dalam tubuh pasien dan kemudian sumber isotop dimasukkan ke dalam lubang aplikator tersebut. Posisi dan kecepatan gerakan sumber isotop ditentukan sesuai dengan kondisi penyakit pasien.

Secara umum, perangkat brakiterapi terdiri dari tiga modul yaitu modul penggerak sumber, modul kontainer sumber dan modul distributor *channel* [2]. Modul penggerak sumber dilengkapi dengan seling *checker* yang mempunyai dimensi yang sama dengan seling sumber. Seling *checker* digunakan untuk memeriksa dan memastikan bahwa gerakan seling sumber akan bergerak seperti yang telah diprogram. Baik seling sumber maupun seling *checker*, keduanya dikendalikan melalui putaran motor. Motor pengguling darurat disediakan untuk keadaan darurat. Aplikator terdiri dari tiga batang sebagai pembimbing gerakan sumber. Terapi dilakukan secara bergantian di masing-masing batang aplikator yang diatur oleh modul distributor *channel*. Pengaturan lubang aplikator mana yang dituju dilakukan oleh motor distributor pengarah. Bentuk aplikator dan gerakan sumber akan menentukan profil distribusi radiasi sesuai dengan penyakit pasien [3].



- |                                   |                                      |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Kontainer pengaman             | 6. Tube fleksibel                    |
| 2. Motor dan drum pemutar checker | 7. Aplikator                         |
| 3. Motor dan drum pemutar sumber  | 8. Seling checker                    |
| 4. Motor pengguling darurat       | 9. Seling sumber                     |
| 5. Distributor <i>channel</i>     | 10. Motor distributor <i>channel</i> |

Gambar 1. Desain konsep perangkat brakiterapi (insert: isotop Iridium-192)

Pada waktu belum atau tidak digunakan, paparan radioaktif dari sumber harus dapat dilokalisasi di dalam kontainer pengaman sebagai perisai radiasi. Sistem penggerak sumber mengatur pergerakan posisi sumber sejak dari kontainer pengaman hingga aplikator dan kembali ke kontainer. Modul kontainer sumber inilah yang berfungsi sebagai tempat isotop Ir-192 dan sekaligus sebagai perisai radiasi. Kontainer, selain aman, juga harus mudah dalam penanganannya. Prototip awal perangkat brakiterapi telah dihasilkan dengan kontainer berbahan timbal (Pb). Dalam prototip awal tersebut, ketebalan Pb adalah 9 cm [1]. Dengan berbagai pertimbangan proses fabrikasi, akhirnya diperoleh massa kontainer sekitar 80 kg yang dianggap terlalu berat dan besar. Usaha-usaha dilakukan untuk menurunkan massa container, dan berbagai makalah telah diterbitkan terkait dengan kontainer perangkat brakiterapi.

Kristiyanti, dkk. [4] telah melakukan analisis perhitungan dan percobaan untuk mendapatkan data perbandingan beberapa kombinasi material tungsten. Metoda yang digunakan adalah dengan menggunakan kesetaraan daya serap radiasi antara Pb dengan tungsten murni pejal, tungsten karbida pejal dan tungsten serbuk yang dipadatkan. Hasil perhitungan teoritis mengantarkan tebal minimum tungsten murni pejal adalah 6 cm, tungsten carbida pejal 8 cm dan tungsten serbuk yang dipadatkan (dengan tekanan 400 Bar) 13 cm. Berbagai material ditinjau mengingat kesulitan mendapatkan tungsten murni. Dari hasil analisis bisa disimpulkan bahwa tungsten bisa digunakan sebagai pengganti material Pb untuk kontainer karena lebih kecil dan ringan dari pada Pb.

Ari Satmoko, dkk. [5] juga mengusulkan bahan campuran serbuk tungsten dan timbal. Dengan material komposit ini, ketebalan kontainer perisai radiasi dapat ditekan hingga 7,2 cm. Bahan ini dipertimbangkan karena kesulitan mendapatkan tungsten murni

dengan bentuk desain tertentu. Sebaliknya tungsten serbuk mudah diperoleh. Perhitungan ketebalan kontainer menggunakan metode Montecarlo juga dilakukan Kristiyanti, dkk. [6] menggunakan piranti lunak MCNP. Berdasarkan pemodelannya, ketebalan timbal sebesar 6 cm cukup untuk melokalisir paparan radiasi yang dipancarkan oleh Iridium-192 dengan aktivitas 15 Ci. Usaha untuk mengoptimalkan ukuran kontainer dilakukan baik melalui pemilihan bahan perisai radiasi maupun dengan optimasi desain modul kontainer sumber.

### 3. TATA KERJA

Makalah ini membahas kegiatan desain rinci kontainer sumber. Kegiatan pengembangan ini terdiri dari dua kegiatan utama: desain komponen-komponen utama dan desain perakitan komponen menjadi modul kontainer sumber. Kegiatan desain gambar komponen berguna untuk membantu proses fabrikasi di kemudian hari. Desain gambar dilakukan dengan menggunakan piranti lunak SolidWORK. Selanjutnya model komponen-komponen tersebut dirakit. Perakitan juga menggunakan SolidWORK. Perakitan bermanfaat untuk memastikan bahwa komponen-komponen dapat dirakit secara benar tanpa kesalahan dimensi maupun fungsi.

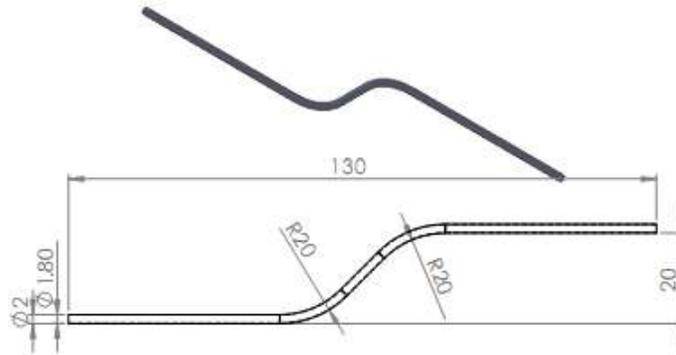
### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Komponen-komponen modul kontainer sumber

Pada kegiatan perekayasaan ini dilakukan pembuatan desain komponen-komponen pada modul kontainer sumber dan landasan kontainer. Modul kontainer sumber berfungsi sebagai tempat penyimpanan sumber isotop Iridium-192. Selain itu, modul ini juga harus menyediakan jalur pergerakan seling sumber dari modul penggerak seling dan modul distributor *channel*. Adapun komponen-komponen utama dari modul kontainer sumber adalah *tube* kontainer, kontainer tungsten, silinder timbal, penutup kontainer, dudukan kontainer dan landasan kontainer (*base plate*).

##### a. *Tube* Kontainer

Lubang jalur dibutuhkan untuk membimbing gerakan sumber isotop. Karena kesulitan membuat jalur pada bahan tungsten, jalur lintasan sumber isotop memanfaatkan *tube stainless steel*. *Tube* berbentuk lurus disertai dengan belokan. Desain *tube* untuk jalur sumber isotop ditunjukkan dalam Gambar 2. Pada saat penyimpanan di kontainer, sumber isotop harus berada tepat di pusat belokan *tube* tersebut. *Tube* tersebut harus berada di dalam kontainer *shielding*. *Tube* kontainer terdiri dari dua buah. Satu buah untuk pengarah gerakan seling sumber, dan yang lainnya untuk seling *checker*.

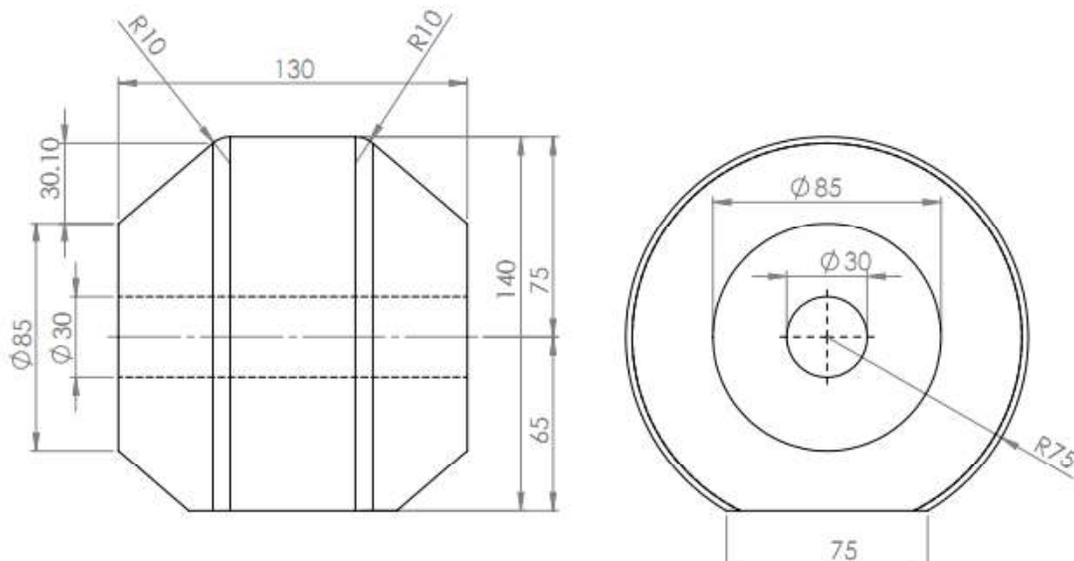


Gambar 2. Desain *tube* container

### b. Kontainer Tungsten

Kontainer berfungsi untuk melokalisir sinar radioaktif gamma yang dipancarkan oleh sumber isotop Iridium-192 pada saat tidak digunakan. Pada saat dioperasikan untuk terapi, sumber isotop digerakkan keluar dari kontainer. Pada prototip perangkat brakiterapi sebelumnya, bahan yang digunakan adalah timbal (Pb). Namun dalam prototip baru ini, bahan yang akan digunakan adalah tungsten. Dengan bahan baru tersebut, berat dan dimensi diharapkan dapat ditekan. Tebal kontainer merujuk pada berbagai pustaka [2-6] yang telah terbit.

Karena kesulitan mendapatkan bentuk yang memungkinkan untuk menempatkan *tube* kontainer, kontainer *shielding* dengan material tungsten didesain dengan bentuk silinder berlubang. Lubang ini akan digunakan untuk menempatkan *tube*. Rongga silinder tersebut akan diisi dengan bahan Pb. Bentuk silinder akan menyebabkan ketidakstabilan karena mudah menggelinding. Untuk mempermudah penanganan tungsten tersebut, sisi bawah silinder dipancang rata. Desain kontainer tungsten ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Desain kontainer tungsten

Massa kontainer tungsten perlu dipertimbangkan karena akan mempengaruhi desain komponen lain. Perkiraan massa (**m**) tungsten dilakukan dengan perhitungan berikut. Berat kontainer dihitung dengan rumus:

$$m = \rho V \dots\dots\dots (3)$$

di mana **p** adalah massa jenis tungsten dan **V** adalah volume. Massa jenis kontainer tungsten adalah 19,25 gr/cm<sup>3</sup>. Dengan menganggap pejal (karena kemungkinan di kemudian hari lubang silinder juga akan diisi bahan tungsten) secara kasar, bentuk kontainer terdiri dari 3 bagian yaitu sebuah silinder dengan panjang **I** dan dua buah kerucut terpancung dengan diameter besar **R**, diameter kecil **r** dan tinggi kerucut **t**. Dengan demikian volume kontainer menjadi:

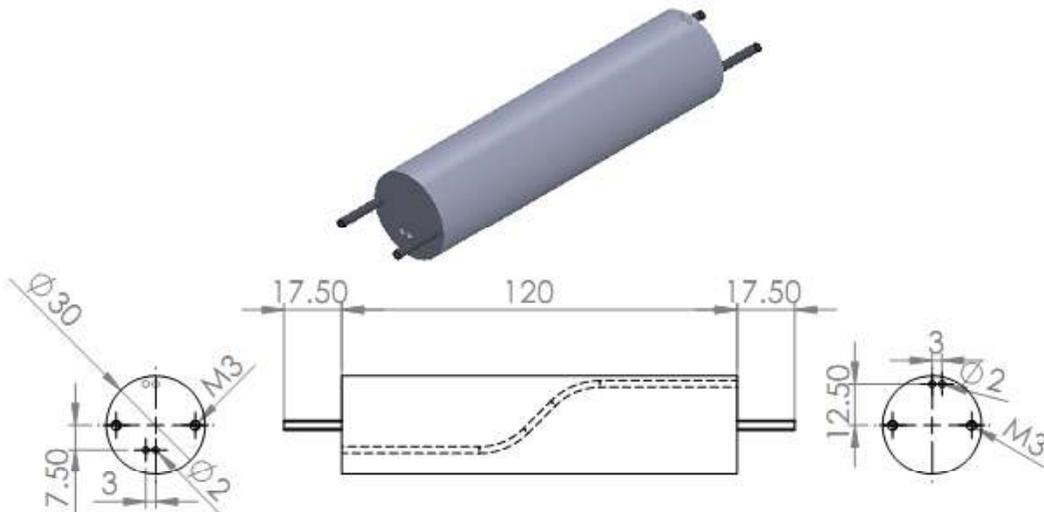
$$\begin{aligned} V &= \pi R^2 \cdot I + 2/3 \pi t (R^2 + R r + r^2) \\ &= (\pi 7,5^2 \cdot 5) + (2/3 \cdot 3,14 \cdot 3 (7,5^2 + 4,25 \cdot 7,5 + 4,25^2)) \\ &= 883,1 \text{ cm}^3 + 670,2 \text{ cm}^3 \\ &= 1553,3 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Karena massa jenis tungsten adalah 19,25 gr/cm<sup>3</sup>, massa kontainer tungsten menjadi 29,940 Kg atau sekitar 30 Kg. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, jika menggunakan bahan Pb sebagai perisai radiasi, dibutuhkan ketebalan sekitar 9 cm dengan berat sekitar 51 Kg. Karena berbagai pertimbangan proses fabrikasi, prototip perangkat brakiterapi sebelumnya akhirnya menghasilkan kontainer Pb dengan berat lebih dari 80 kg. Jika dibandingkan dengan prototip awal, maka massa 30 Kg jauh lebih ringan. Dengan demikian dapat dipastikan bahwa secara keseluruhan perangkat brakiterapi yang sedang dikembangkan ini jauh lebih ringan dan hal ini akan memudahkan baik dalam proses fabrikasi, transportasi maupun pengoperasian. Informasi terkait massa tungsten ini akan digunakan pada saat mendesain kestabilan perangkat brakiterapi mengingat komponen tungsten ini akan menempati ruang bagian atas.

**c. Silinder timbal**

Paparan radiasi dari sumber isotop Iridium-192 dalam arah radial akan ditahan oleh kontainer tungsten. Sedangkan dalam arah aksial, paparan radiasi ditahan timbal. Desain silinder timbal ditunjukkan dalam Gambar 4. Silinder timbal dibuat dengan pengecoran. Setelah panas dan meleleh merata, timbal dituangkan ke lubang kontainer tungsten. Dua buah *tube* kontainer untuk jalur seling sumber dan seling *checker* disediakan di dalam silinder timbal tersebut. Posisi kedua *tube* tidak simetris karena posisi sumber isotop didesain tepat di pusat kontainer tungsten.

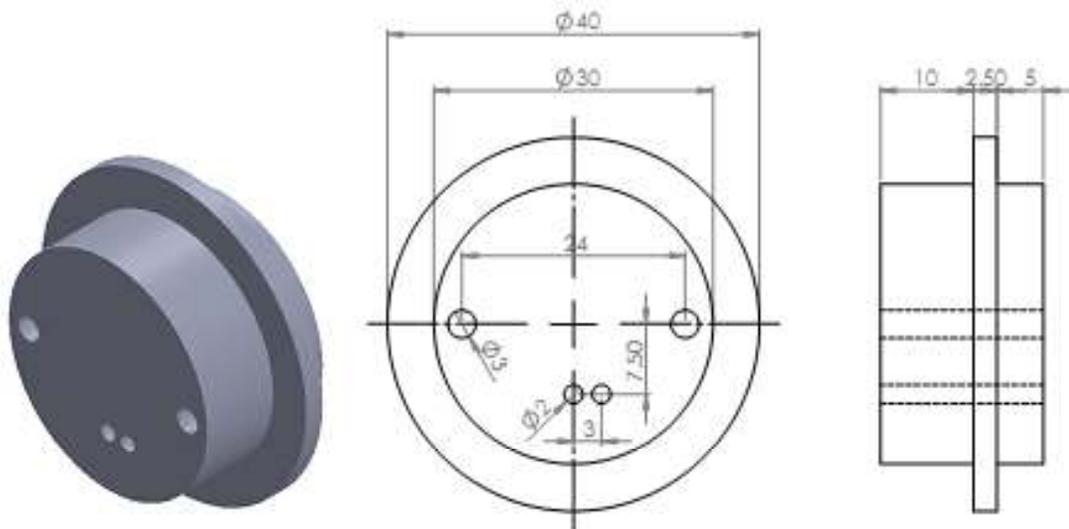
Selain keberadaan *tube*, silinder timbal juga dilengkapi dengan dua batang stainless steel berdiameter 4 mm yang digunakan sebagai penyangga kontainer tungsten. Kedua ujung batang penyangga ini dilengkapi dengan bentuk drat yang akan digunakan untuk mengencangkan penutup timbal. Ketika timbal cair ditekan oleh penutup, timbal cair tersebut akan mengisi rongga-rongga yang ada di dalam silinder tungsten hingga tidak ada udara yang terjebak.



Gambar 4. Desain silinder timbal

**d. Penutup timbal**

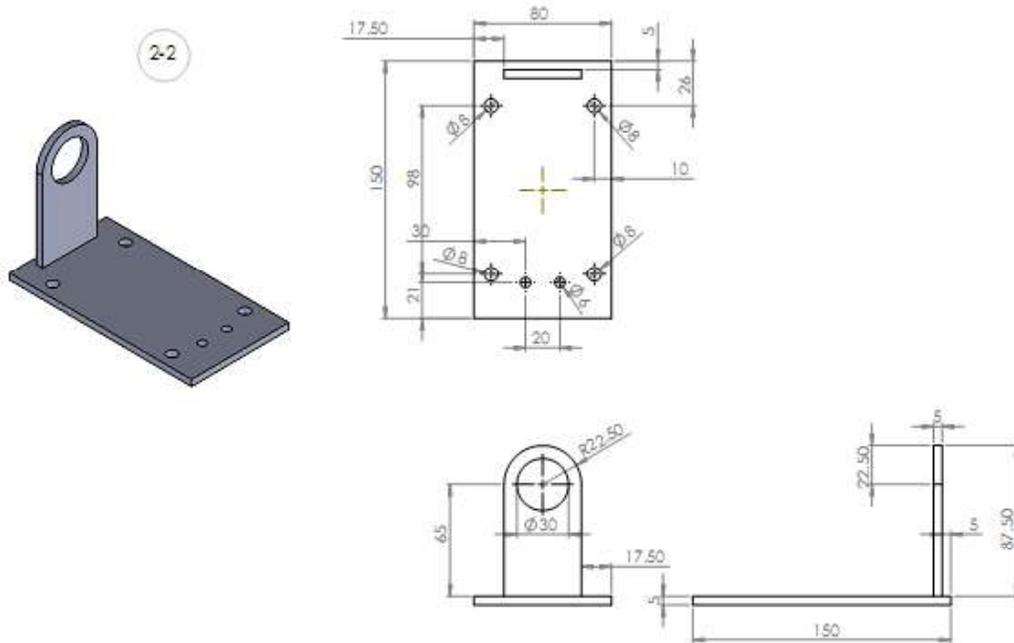
Silinder timbal dibuat dengan pengecoran. Penutup timbal mencegah timbal cair bocor dari lubang kontainer tungsten. Penutup terdiri dari sepasang dan masing-masing dilengkapi dengan 4 lubang. Dua lubang berdiameter 4 mm digunakan untuk menempatkan dua batang penyangga di atas. Dua buah lubang lainnya digunakan sebagai pengarah posisi kedua buah *tube* kontainer pada saat pengecoran timbal. Desain penutup timbal ditunjukkan dalam Gambar 5.



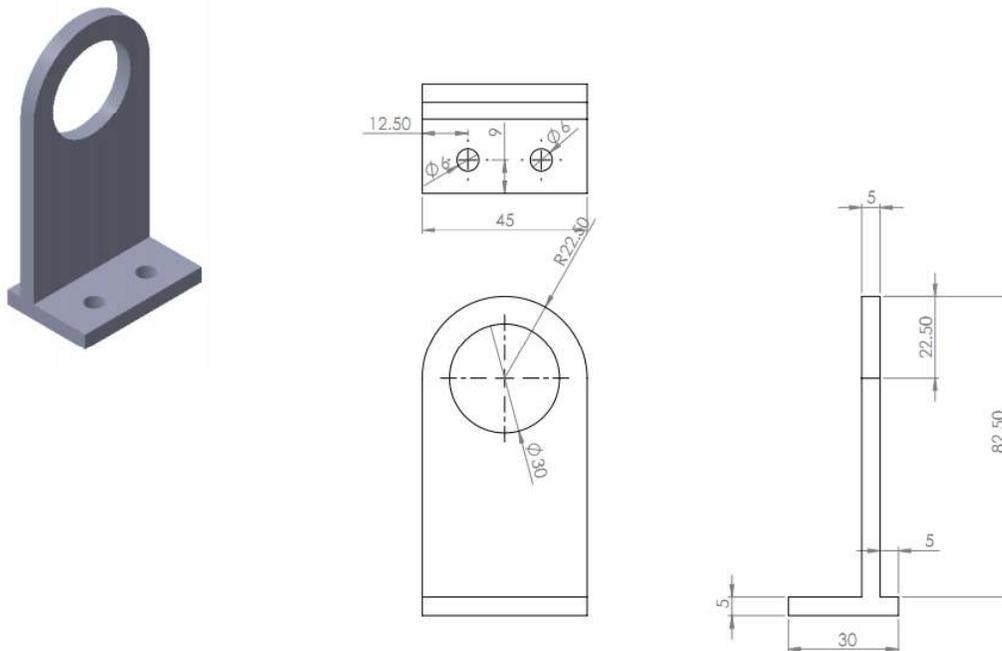
Gambar 5. Desain penutup timbal

e. Dudukan container

Dudukan kontainer berfungsi sebagai dudukan kontainer tungsten supaya *rigid*, tidak dapat bergeser atau pindah. Dudukan kontainer terdiri dari sepasang dudukan kontainer: panjang dan pendek (lihat Gambar 6a dan 6b).



a. Dudukan kontainer panjang

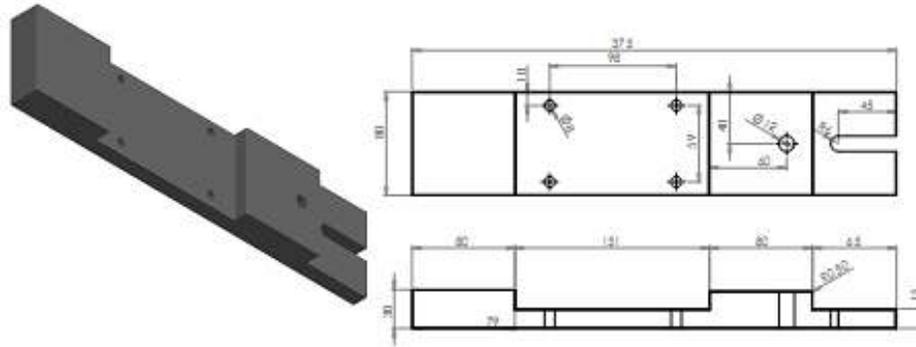


b. Dudukan kontainer pendek

Gambar 6. Desain dudukan container

**f. Landasan (*baseplate*) container**

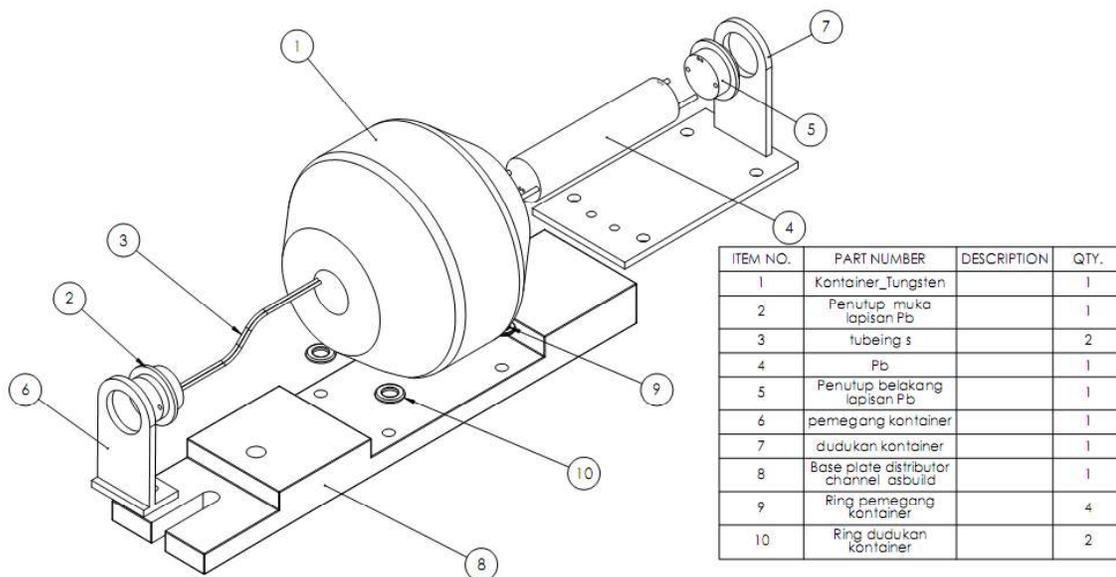
Landasan atau *base plate* berfungsi sebagai penyangga modul penggerak seling, modul kontainer sumber dan modul distributor *channel*. Ketiga modul tersebut harus berada pada ketinggian yang sama terutama pada jalur seling sumber. Oleh karena itu ketinggian atau ketebalan *base plate* menyesuaikan modul-modul tersebut (lihat Gambar 7). Bahan yang digunakan adalah aluminium yang dianggap mampu untuk menahan berat bobot kontainer tungsten namun ringan.



Gambar 7. Desain landasan (*base plate*)

**4.2. Desain perakitan komponen**

Perakitan merupakan bagian dari proses manufaktur yang perlu dievaluasi sejak tahap perancangan produk. Hal ini diperlukan untuk menghindari kegagalan yang disebabkan oleh kesalahan toleransi, dimensi yang tidak sesuai, dan kesulitan instalasi komponen. Penggunaan piranti lunak SolidWORK sangat membantu menghindari kegagalan tersebut. Desain perakitan modul kontainer sumber ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Desain perakitan modul kontainer sumber

## 5. KESIMPULAN

Perangkat brakiterapi dosis tinggi dikembangkan dengan cara memperbaiki kinerja prototip awal brakiterapi dosis sedang. Optimasi desain modul kontainer sumber telah dilakukan dalam rangka mengganti kontainer perisai radiasi berbahan timbal menjadi tungsten. Kegiatan pengembangan desain rinci telah menghasilkan gambar komponen-komponen model 3D dengan menggunakan piranti lunak SolidWORK. Penggunaan bahan tungsten dan optimasi desain gambar secara nyata dapat mengurangi massa kontainer dari 80 kg menjadi sekitar 30 kg. Dengan piranti lunak yang sama, model perakitan komponen-komponen tersebut menjadi modul kontainer sumber perangkat brakiterapi juga berhasil dikembangkan. Penggunaan piranti lunak ini secara nyata dapat mengurangi kesalahan-kesalahan desain. Dengan diselesaikannya desain rinci ini, fabrikasi modul kontainer sumber pada perangkat brakiterapi dosis tinggi dapat dilakukan.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Satmoko, dkk., August 2013, *Preliminary Prototype of of Medium Dose Rate Brachytherapy Equipment*, Journal of Atom Indonesia, Vol 39, No. 2, Jakarta.
- [2] Atang Susila, dkk., 30 November 2011, *Perekayasa Brachytherapy Medium Doserate Untuk Terapi Kanker Servik*, Prosiding Pertemuan Ilmiah Rekayasa Perangkat Nuklir PRPN – BATAN.
- [3] Jack Venselaar dan José Pérez-Calatayud, 2004, *A Practical Guide to Quality Control of Brachytherapy Equipment*, ESTRO Booklet No. 8, ISBN 90-804532-8.
- [4] Kristiyanti, dkk., 9 September 2014, *Perhitungan Ketebalan Bahan Tungsten Sebagai Material Alternatif Untuk Kontainer Sumber Radiasi Pada Perangkat Brakiterapi 10 Ci*, Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, PSTA – BATAN, Yogyakarta.
- [5] A. Satmoko, dkk., 10-11 Oktober 2014, *Optimasi Disain Untuk Menekan Dimensi Dan Berat Modul Kontainer Perisai Radiasi Pada Perangkat Brakiterapi*, Prosiding Pertemuan Ilmiah Radioisotop, Radiofarmaka, Siklotron dan Kedokteran Nuklir, Semarang.
- [6] Kristiyanti, dkk., 15 September 2015, *Perhitungan Ketebalan Bahan Perisai Pb Sebagai Kontainer Isotop Ir-192 Untuk Brakiterapi Menggunakan Software MCNP*, Prosiding Seminar Nasional XI SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, ISSN 1978-0176.