

RANCANG BANGUN HANDLING TOOL LOADING/UNLOADING FASILITAS SILIKON DOPING

Sunarko, Purwadi, dan Asnul Sufmawan

Pusat Reaktor Serba Guna-BATAN, Kawasan Puspiptek Serpong

Email : narko@batan.go.id

ABSTRAK

Telah dilakukan rancang bangun handling tool loading/unloading fasilitas silikon doping. Fasilitas silikon doping adalah salah satu dari beberapa fasilitas iradiasi yang dikelola PRSG, dengan posisi di luar teras reaktor. Fasilitas ini digunakan untuk mengiradiasi kristal silikon agar terbentuk bahan dopant, sehingga kristal silikon diharapkan menjadi bahan semikonduktor type-n. Pada proses iradiasi kristal silikon diperlukan waktu yang tidak singkat, baik preparasi bahan maupun pada saat loading/unloading tabung silikon yang sudah terisi kristal silikon. Waktu proses iradiasi yang panjang merupakan kegiatan yang kurang efektif dan efisien mengingat kondisi sumber daya manusia yang ada sudah semakin berkurang. Oleh karena itu perlu dicarikan solusi untuk loading/unloading tabung silikon agar lebih efektif, efisien, dan aman. Sebagai solusi dari permasalahan ini adalah rancang bangun handling tool loading/unloading fasilitas silikon doping. Perangkat handling tool loading/unloading ini terdiri dari 3 bagian yaitu : bagian bawah untuk mengkait tabung silikon dengan panjang 3,4 meter, bagian tengah panjang 3,4 meter dan bagian atas panjang 5,8 meter berpelampung. Masing-masing bagian akan disambungkan dengan sistem koping yang presisi dan dikunci dengan baut M8. Bahan yang dibutuhkan adalah pipa aluminium Ø1,5" sebanyak 3 batang, pejal Al Ø2" panjang 50 cm dan pejal Al Ø4" panjang 25 cm. Rancangan dari handling tool loading/unloading fasilitas silikon doping telah selesai pabrikasinya dan siap digunakan.

Kata Kunci : handling, tool, loading, unloading, silikon, doping

ABSTRACT

Engineered Design Of Handling Tool Of Loading/Unloading Silicon Doping Facility. Has been done engineered design of loading/unloading silicon doping facility. The silicon doping facility is one of several irradiated facilities managed by PRSG, with out core position in the reactor. This facility is used to irradiate silicon crystals to form dopant materials, so the silicon crystals is expected to be semiconductor material type-n. In the process of irradiation of silicon crystals required a long time, both the preparation of materials and loading / unloading silicon tube that has been filled with silicon crystals. The long time irradiation process is a less effective and efficient activity, considering the existing human resources condition has decreased. Therefore we need to find solutions for loading / unloading silicon tube to be more effective, efficient, and safe. As a solution of this problem is the engineered design of handling tool of loading / unloading silicon doping facility. This handling tool of loading / unloading consists of 3 parts: the bottom to hook the silicon tube with length of 3.4 meters, the center with length of 3.4 meters and the top with length of 5.8 meters berombo. Each section will be connected with precision coupling system and locked with M8 bolt. Materials required are Ø1,5" aluminum pipe, much as 3 bars, Al solid Ø2" length 50 cm and Al solid Ø4" length 25 cm. The design of the loading / unloading handling tool the silicon doping facility has been completed and ready for use.

Keywords : handling, tool, loading, unloading, silikon, doping

PENDAHULUAN

Pusat Reaktor Serba Guna GA Siwabessy (PRSG) adalah pusat reaktor penelitian dengan fluks neutron termal sebesar 2×10^{14} n/(cm².det) yang dilengkapi dengan beberapa fasilitas iradiasi. Fasilitas iradiasi dapat dipergunakan untuk melakukan penelitian, pengujian, dan produksi radioisotop [1]. Fasilitas iradiasi yang dikelola oleh PRSG adalah :

- *Central Irradiation Position* (CIP) terletak pada posisi E-7 dan D-6.
- *Irradiation Position* (IP) dengan posisi G-7, D-9, B-6, dan E-4.
- Fasilitas Iradiasi di Berilium reflektor berupa Sistem Rabbit.
- Fasilitas Iradiasi *Power Ramp Test Facility* (PRTF).
- Fasilitas Iradiasi *Neutron Transmutation Doping* (NTD) atau Fasilitas Silikon Doping

Fasilitas *Neutron Transmutation Doping* atau Fasilitas Silikon doping adalah salah satu fasilitas yang terdapat di PRSG yang dipergunakan untuk mengiradiasi kristal silikon agar terbentuk bahan dopant, sehingga kristal tersebut menjadi bahan semi konduktor tipe-n. Fasilitas Silikon Doping terpasang di luar teras reaktor RSG-GAS, terdiri dari sebuah tabung silikon yang berputar bebas di dalam tabung penyangga (*support tube*) dengan kecepatan 15 rpm. Gerak putar ini dimaksudkan agar silikon yang sedang diiradiasi memperoleh distribusi neutron yang homogen pada arah radial. Untuk menghomogenkan fluks neutron pada arah aksial maka pada dinding tabung penyangga dilengkapi dengan filter *stainless steel* yang mempunyai ketebalan bervariasi sesuai dengan besarnya ketidak rataan fluks setempat [2].

Ukuran silikon ingot yang dapat diiradiasi pada fasilitas adalah sepanjang 400 mm dengan diameter maksimum 178 mm. Pengaruh reaktivitas fasilitas silikon doping dapat diabaikan karena menurut perhitungan interatom besarnya pengaruh reaktivitas adalah $-0,002\%$, harga ini jauh lebih kecil dari batas pengaruh reaktivitas yang diijinkan untuk eksperimen tunggal yaitu $-0,5\%$ [3]. Dalam rangka pemanfaatan Fasilitas Silikon Doping pada RSG-GAS maka telah dilakukan iradiasi silikon. Namun dalam pelaksanaan *loading/unloading* tabung silikon kurang efektif dan efisien [5], karena pada saat *loading*, *support tube* harus dinaikan terlebih dahulu setinggi 7 m di atas teras reaktor dengan cara mengangkat penyangga *support tube* dengan crane. Kemudian dengan bantuan *handling tool* sepanjang 4 m tabung silikon dimasukkan ke *support tube*, dan

selanjutnya penyangga *support tube* diturunkan dengan crane menuju ke posisi iradiasi. Demikian pula pada saat *unloading support tube* harus dinaikan terlebih dahulu seperti pada saat *loading*. Selanjutnya dengan bantuan *handling tool* tabung silikon diambil dari *support tube*, dan dengan bantuan jembatan geser tabung silikon dipindahkan ke *storage pool* untuk menunggu peluruhan.

Pelaksanaan *loading/unloading* ini tidak efektif, oleh karena itu perlu rancang bangun *handling tool* yang lebih efektif, aman, ringan serta handal. Rancangan *handling tool* ini dengan pipa aluminium Ø 1,5 inci sepanjang 13,75 m dengan pelampung 3 inci sepanjang 1,2 m. *Handling tool* ini dibagi menjadi 3 bagian, yaitu bagian paling atas, bagian tengah dan bagian bawah. Sistem penyambungan dibuat dengan sistem kopleng dari pejal yang dimasukkan ke dalam pipa Ø 1,5 kemudian dikunci dengan baut M8. Rancangan ini telah direalisasikan pabrikasinya dengan perangkat yang dimiliki oleh bengkel mekanik PRSG. Dengan terwujudnya perangkat *Handling Tool Loading/Unloading Fasilitas Silikon Doping* ini, metode pelaksanaan iradiasi lebih efektif, efisien dan aman, mengingat penanganannya di atas kolam reaktor.

Kegiatan ini juga mendukung rencana strategis PRSG yang akan dicapai dalam rangka pengkajian fasilitas silikon doping, yang selanjutnya untuk menentukan arah pengembangan dan penelitian.

TEORI

Proses iradiasi silikon dilakukan pada fasilitas *Neutron Transmutation Doping* (NTD) yang tersedia di RSG-GAS. Proses iradiasi silikon ini dibagi menjadi beberapa tahap kegiatan : kegiatan pra-iradiasi, kegiatan *loading*, kegiatan iradiasi, kegiatan *unloading*, kegiatan pendinginan, pembongkaran sampel silikon, dan pengukuran resistivitas silikon.

Kegiatan pra Iradiasi yaitu mempersiapkan Silikon *ingot* untuk dibersihkan dengan menggunakan acetone. Pembersihan ditujukan untuk meminimalisir kontaminan dari lingkungan yang menempel pada permukaan *ingot*. *Ingot* kemudian dimasukkan kedalam tabung silikon, yaitu tabung dengan bahan aluminium yang digunakan sebagai wadah dalam proses iradiasi.

Kegiatan *loading* adalah proses memasukan Tabung Silikon yang telah berisi *ingot* didalamnya untuk dimasukkan ke posisi iradiasi. Kegiatan ini memakan waktu yang cukup panjang, karena *support tube* tempat dudukan

tabung silikon harus diangkat dulu setinggi + 8 meter diatas teras reaktor. *Support tube* ditopangkan pada support/penyangga, penyangga dikaitkan ke batangan *frame block* (seperti terlihat pada Gambar 1. (Fasilitas Silikon Doping RSG-GAS). Sehingga untuk dapat mengangkat *support tube* batangan *frame block* harus dinaikan dengan menggunakan crane sampai ke posisi parkir sekitar + 8 meter diatas teras reaktor. Pada saat pengangkatan *frame block* crane harus dilengkapi dengan *balancer* elektronik dan kecepatan crane harus lambat (*slow motion*). Balancer elektronik digunakan untuk memantau beban yang diangkat secara keseluruhan, dengan berat sekitar 200 kg. Dengan demikian apabila di indikator *balancer* ada kenaikan angka yang melebihi 200 kg berarti *frame block* tersangkut sesuatu, dan crane harus segera dihentikan. Setelah *frame block* terangkat sampai pada posisi parkir, maka crane dipindahkan untuk mengangkat tabung silikon yang berisi *ingot*. Selanjutnya tabung silikon dimasukkan ke dalam *support tube* dengan posisi yang benar. Kemudian crane dipindahkan lagi ke batang *frame block* untuk menurunkan tabung silikon ke posisi iradiasi NTD yang terletak diluar teras reaktor.

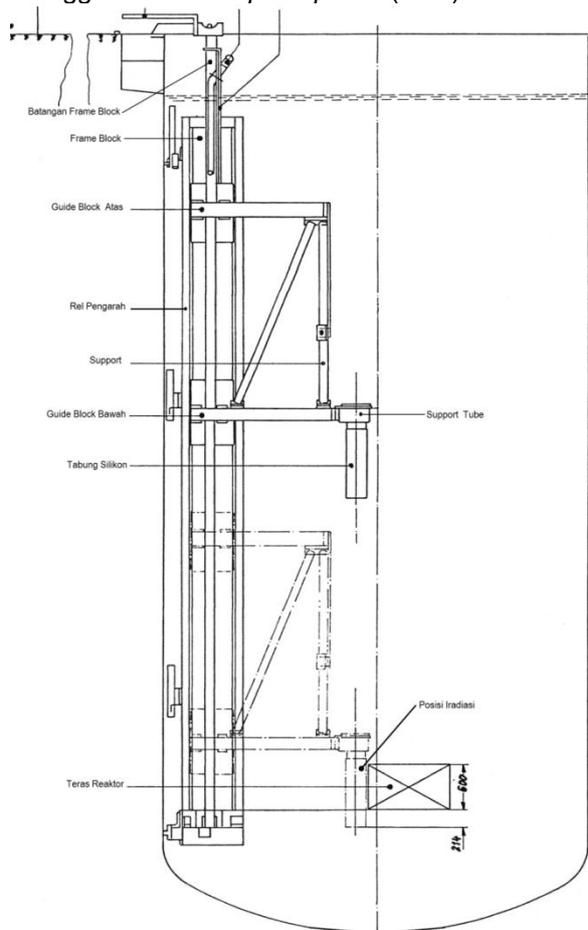
Kegiatan iradiasi silikon doping adalah proses penembakan *ingot* dengan neutron secara merata baik arah axial maupun radial dalam jangka waktu tertentu. Untuk arah radial maka tabung silikon harus diputar dengan kecepatan yang rendah, sekitar 15 putaran per-menit. Sebagai catatan bahwa tabung silikon doping dimasukan ke posisi iradiasi pada saat reaktor sudah beroperasi pada daya 15 MW dengan fluks neutron $\approx 10^{12}$ n/cm²s^[4].

Setelah proses iradiasi selesai, kegiatan berikutnya adalah *unloading*, proses kegiatan ini hampir sama dengan kegiatan *loading*. Bedanya kalau *unloading* adalah mengangkat tabung silikon yang berisi *ingot* untuk dipindahkan ke *storage pool*. Jadi kegiatan *loading-unloading* pada fasilitas silikon doping membutuhkan waktu yang panjang (tidak efisien).

Kegiatan pendinginan dilakukan di *storage pool*, Silikon *Ingot* didiamkan sampai pancaran radiasi gamma yang terpancar hasil aktivasi neutron berada dalam batas aman untuk diangkat dari *storage pool*.

Silikon *ingot* diangkat dari *storage pool* setelah paparan radiasi silikon *ingot* rendah (mendekati *background*), untuk selanjutnya dilakukan pembongkaran *ingot* dari tabungnya. Selanjutnya kegiatan pengukuran resistivitas silikon *ingot* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perubahan resistivitas sesudah iradiasi ^[6]. Sebelum pengukuran resistivitas *ingot*

dilakukan, diperlukan *annealing* dengan suhu 700°C selama satu jam. *Annealing* ditujukan untuk memperbaiki struktur kristal silikon *ingot*, yang diindikasikan rusak akibat hamburan elastis neutron cepat yang terjadi pada atom silikon ^[2]. Langkah berikutnya yaitu dilakukan pencucian *ingot* dengan menggunakan *Tri Clor Etilen* (TCE) dengan alat pencuci ultrasonik. Pencucian dilakukan untuk menghilangkan partikel halus yang menempel di permukaan silikon *ingot*. Pengukuran resistivitas dilakukan dengan menggunakan *four point probe* (FPP).

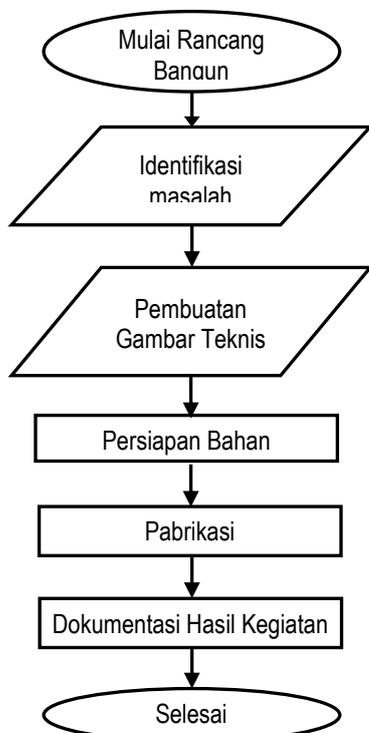


Gambar 1. Fasilitas Silikon Doping RSG-GAS^[4].

Dari uraian langkah-langkat kegiatan tersebut proses *loading/unloading* memerlukan energi yang besar dan waktu panjang. Kegiatan tersebut dinilai sudah tidak efisien dan efektif, oleh karena itu perlu dilakukan perubahan untuk didapatkan sesuatu penanganan yang lebih simple namun tidak mengurangi nilai-nilai keselamatan. Oleh sebab itu dilakukanlah sebuah rancang bangun *handling tool* untuk memangkas penggunaan crane yang memakan energi yang tidak sedikit, sehingga metode pemasukan tabung silikon ke posisi iradiasi dapat dilakukan tanpa harus menggunakan crane.

METODE RANCANG BANGUN

Metode rancang bangun *loading/unloading* fasilitas silikon doping ini dilakukan dengan tahapan seperti pada gambar diagram alir berikut :



Gambar 2. Diagram Alir Metode Rancang Bangun *Handling Tool Loading/Unloading* Fasilitas Silikon Doping

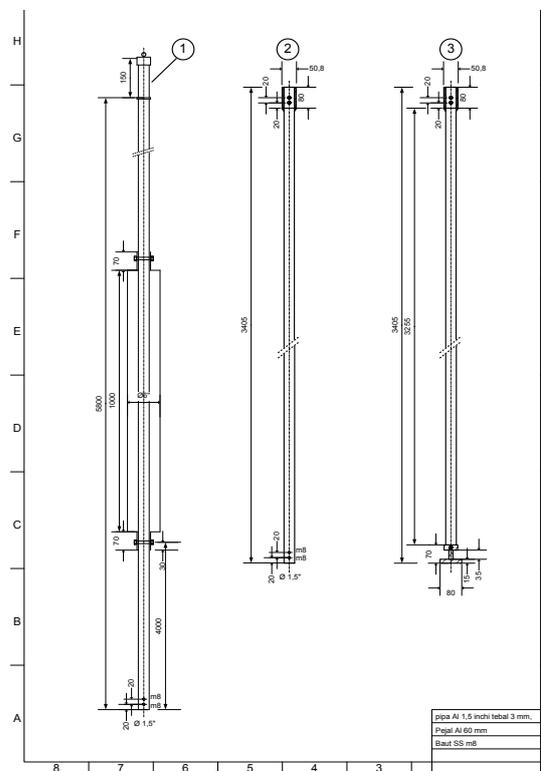
1). Identifikasi Masalah

Kegiatan *loading* adalah proses memasukan Tabung Silikon ke posisi iradiasi, sedangkan *unloading* adalah proses mengeluarkan Tabung Silikon dari posisi iradiasi. Kegiatan ini memakan waktu yang cukup panjang, karena *support tube* tempat dudukan tabung silikon harus diangkat dulu setinggi + 8 meter diatas teras reaktor. Pengangkatan *Support tube* dengan menarik batangan *frame block* dengan menggunakan crane sampai ke posisi parkir. Setelah *frame block* terangkat sampai pada posisi parkir, maka crane dipindahkan untuk menangani tabung silikon. Kegiatan ini tidak efisien dan efektif, karena pada saat pengangkatan maupun penurunan batangan *frame block* membutuhkan waktu yang cukup lama dan tentunya energi listrik yang digunakan untuk operasi crane juga akan lebih banyak. Oleh karena itu diperlukan perubahan penanganan tabung silikon menjadi yang lebih simple. Untuk mengatasi masalah ini dilakukanlah sebuah rancang bangun *handling*

tool, yang dapat digunakan untuk *loading/unloading* tabung silikon tanpa harus menaikan ataupun menurunkan batangan *frame block*. Dengan demikian penanganan proses iradiasi silikon ingot akan lebih efektif dan efisien.

2). Pembuatan Gambar Teknis

Pembuatan gambar teknis *handling tool loading/unloading* fasilitas silikon doping RSG-GAS meliputi: batangan atas, batangan tengah dan batangan bawah. Gambar 2. menunjukkan bagian-bagian yang akan dikerjakan dalam kegiatan pabrikasi *handling tool loading/unloading*. Batangan atas terdiri dari *top handel* yang disambungkan ke pipa Aluminium dengan diameter 1,5", panjang 5,8 meter, dan diberi pelampung pipa Aluminium diameter 6" dengan panjang 1 meter. *Top Handel* dibuat dari pejal Al diameter 2", yang berfungsi untuk mengkaitkan ke sistem motor penggerak. Batangan tengah adalah pipa Aluminium diameter 1,5" panjang 3,405 meter, dan diberi kopleng dari pejal Aluminium untuk mempermudah penyambungan dengan batangan atas. Batangan bawah adalah pipa Al diameter 1,5" panjang 3,405 meter, diberi kopleng dari pejal Aluminium bagian atasnya, dan bagian bawah diberi pengait untuk dapat menhandel tabung silikon dengan aman.



Gambar 3. Rancangan Pembuatan *Handling Tool loading/unloading* Fasilitas Silikon Doping

3). Persiapan Bahan

Persiapan bahan diperlukan dalam rangka pabrikasi *handling tool loading/unloading* fasilitas silikon doping di Reaktor RSG-GAS. Bahan yang digunakan harus memperhatikan standar bahan yang diijinkan untuk instalasi reaktor nuklir dan mudah diperoleh dipasaran.

Tabel 1. Spesifikasi bahan yang digunakan.

Bahan	Spesifikasi	Jumlah
Pipa aluminium	Ø 1,5" tebal 3 mm	3 batang
Pejal aluminium	Ø 2"	75 cm
Pejal aluminium	Ø 4"	25 cm
Baut L SS	SS M8x7	6 buah
Hook ulir	1"	2 buah
Pipa aluminium	6" tebal 3 mm	1,2 m
Helix Coil/Recoil	M8	6 buah
Plat Aluminium	(25x50)cm, tebal 3 mm	1 lembar

4). Pabrikasi

Pabrikasi *handling tool loading/unloading* fasilitas silikon doping Reaktor RSG-GAS menggunakan peralatan/mesin bengkel mekanik yang dimiliki PRSG. Sebelum melaksanakan kegiatan pabrikasi harus dilakukan pengecekan kesiapan perkakas yang akan digunakan, yang meliputi : pengecekan mesin gerinda, peralatan mesin bor, mesin las, mesin bubut, mesin frais dan peralatan bantu lainnya. Adapun proses pabrikasi terdiri dari pembuatan :

- 4.1. *Top Handel* dibuat dengan bahan Aluminium pejal Ø 2" dengan panjang 20 cm, proses pembuatan dengan cara pemotongan bahan, pembubutan, pengeboran dan pengefraisan.
- 4.2. Kopling antar batang sebanyak 2 buah, dibuat dengan bahan Aluminium pejal Ø 2" dengan panjang 15 cm, proses pembuatan dengan cara pemotongan bahan, pembubutan, pengeboran, pembuatan ulir dalam dan penanaman *recoil* M8.
- 4.3. *Bottom Handel* dibuat dengan bahan Aluminium pejal Ø 4" dengan panjang 12 cm, proses pembuatan dengan cara pemotongan bahan, pembubutan, pengeboran dan pengefraisan.
- 4.4. Pelampung dibuat dengan bahan pipa Aluminium Ø 6" tebal 3 mm panjang 100 cm, dan plat aluminium 3 mm. Proses pembuatan dengan cara pemotongan bahan, pembuatan tutup pelampung dengan pembubutan, dan pengelasan.
- 4.5. Batangan atas (1), dibuat dengan bahan pipa Aluminium Ø 1,5" panjang 5800 mm. Proses pembuatannya adalah dengan

menyambungkan (pengelasan) *Top Handel* dengan pipa Aluminium yang telah dipotong, kemudian memasang pelampung dengan dilas.

- 4.6. Batangan tengah (2), dibuat dengan bahan pipa Aluminium Ø 1,5" panjang 3405 mm. Proses pembuatan dengan cara pemotongan bahan, dan pengelasan kopling.
- 4.7. Batangan bawah (3), dibuat dengan bahan pipa Aluminium Ø 1,5" panjang 3405 mm. Proses pembuatan dengan cara pemotongan bahan, dan pengelasan kopling, serta pengelasan *Bottom Handel*.

5). Dokumentasi Hasil Pabrikasi *Handling Tool Loading/Unloading* Fasilitas Silikon Doping

Hasil-hasil pelaksanaan pabrikasi *handling tool loading/unloading* fasilitas silikon doping yang meliputi pembuatan: *top handle*, kopling pipa, pelampung dan *bottom handle* tabung silikon, ditunjukkan seperti pada gambar dibawah.



Gambar 4. *Top Handel*



Gambar 5. Kopling



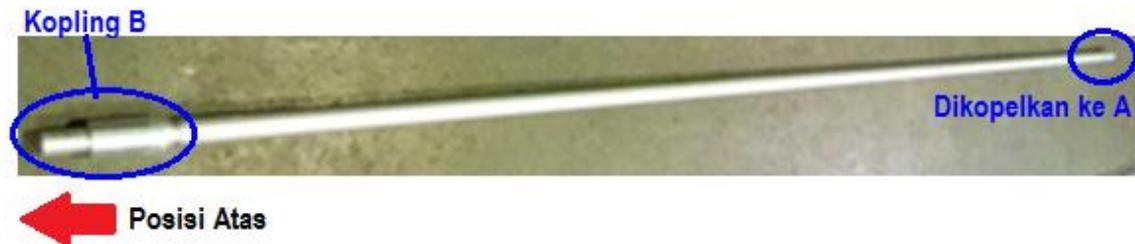
Gambar 6. *Bottom Handel*



Gambar 7. Pelampung



Gambar 8. Batangan Atas



Gambar 9. Batangan Tengah



Gambar 10. Batangan Bawah

PEMBAHASAN

Pelaksanaan Rancang Bangun *handling tool loading/unloading* fasilitas silikon doping di Reaktor RSG-GAS dilakukan dengan beberapa tahapan yang meliputi : identifikasi masalah, pembuatan gambar teknis, persiapan bahan, pabrikan, dan dokumentasi.

Identifikasi masalah adalah untuk mengetahui permasalahan yang ada, dengan demikian dapat dicarikan solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Solusi permasalahan didiskusikan sehingga didapat sketsa perangkat yang akan dibuat. Kemudian dengan bekal sketsa dibuat gambar teknis, untuk dapat direalisasikan pabrikan. Sebelum melaksanakan pabrikan harus ada persiapan bahan yang akan digunakan. Bahan yang digunakan harus memperhatikan standar bahan yang diijinkan untuk instalasi reaktor nuklir dan mudah diperoleh dipasaran. Sedangkan pabrikan dengan menggunakan peralatan/mesin bengkel mekanik PRSG.

Proses pembuatan *Top Handel* harus dibuat urutan prioritas pembubutan, disiapkan

bahan Aluminium pejal Ø 2" dengan panjang 20 cm, kemudian dibubut sepanjang 18 cm menjadi Ø 1,5". Kemudian dibubut menjadi diameter 32 mm sepanjang 3 cm. Pada ujung yang lain dilakukan pengefraisan menjadi tebal 10 mm dan panjang 4 centimeter.

Begitu pula pada saat pembuatan kopling antar batang, disiapkan bahan Aluminium pejal Ø 2" dengan panjang 15 cm, kemudian dibubut sepanjang 12 cm menjadi Ø 48 mm". Setelah itu dilakukan pembubutan dalam dengan Ø 1,5" sedalam 7 centimeter. Pada ujung yang lain dilakukan pembubutan sepanjang 4 cm menjadi Ø 1,5" selanjutnya dilakukan pengeboran, pembuatan ulir dalam dan penanaman *recoil* M8.

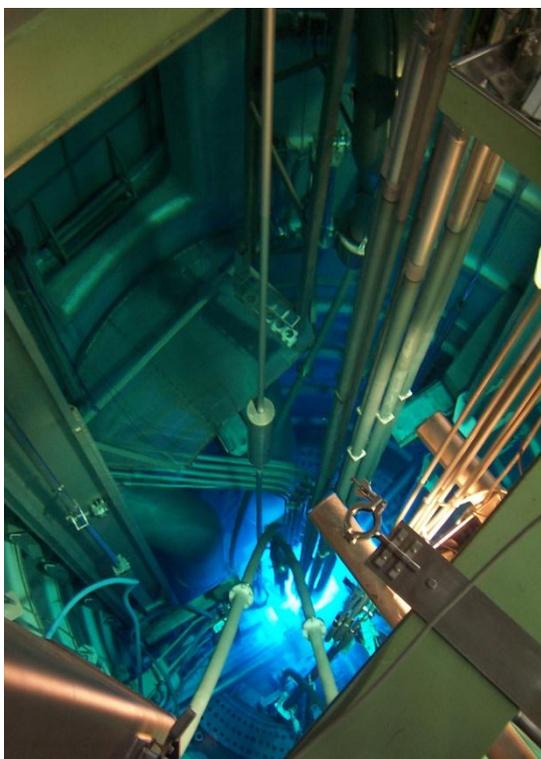
Pembuatan *Bottom Handel* dibuat dengan bahan Aluminium pejal Ø 4" dengan panjang 12 cm, proses pembuatannya memiliki tingkat kerumitan paling tinggi.

Proses pembuatan pelampung sebelum dipasang telah dilakukan uji kebocoran dengan diisi air dan didiamkan selama 24 jam. Dari hasil pengujian tidak didapatkan kebocoran sehingga bisa dilas dengan batangan atas.

Perakitan semua batangan tidak didapatkan kesulitan yang berarti, dikarenakan semua komponen pendukung telah dibuat dengan cara yang teliti dan hati-hati, sehingga kepresisian komponen terjamin dan bisa tepat saat dipasangkan.

Sebelum digunakan di dalam kolam reaktor maka perangkat yang telah dibuat harus dibersihkan dulu dari kotoran dan debu dengan menggunakan cairan *acetone* sampai benar-benar bersih. Setelah dilakukan pembersihan selanjutnya perangkat tersebut mulai dirakit di kolam reaktor. Perakitan *handling tool loading/unloading* fasilitas silikon doping dibantu dengan *crane*. Proses perakitan dimulai dari batangan terbawah yang digunakan untuk mengkait tabung silikon. Selanjutnya disambungkan ke batangan tengah dengan kopling dikunci dengan baut L M8. Dan terakhir disambungkan ke batangan atas yang berpelampung, dan pada kopling dikunci dengan kunci L m8. Kemudian *Top Handel* dikaitkan ke sistem motor penggerak radial yang telah terpasang di jembatan tetap kolam reaktor.

Gambar 9. di bawah menunjukkan bahwa *Handling tool loading/unloading* telah terpasang dengan baik dan digunakan untuk eksperimen pengukuran fluks neutron pada posisi fasilitas silikon doping Reaktor RSG-GAS.



Gambar 11. *Handling tool loading/unloading* fasilitas silikon doping terpasang.

KESIMPULAN

Rancang Bangun *Handling Tool loading/unloading* fasilitas silikon doping dalam rangka efisiensi operasi fasilitas dan sebagai salah satu penunjang kegiatan PRSG Tahun 2016 telah dilakukan dengan aman, selamat dan tanpa kendala teknis yang berarti. *Handling Tool loading/unloading* telah digunakan untuk pengukuran fluks neutron di posisi fasilitas silikon doping berada.

DAFTAR PUSTAKA

1. **HUDI HASTOWO**, "Diskripsi Singkat Tentang Reaktor Beserta Fasilitas Penunjangnya" Seminar Teknologi Reaktor dan PLTN di Bandung, September 1986.
2. **SOEKARNO**. 1989. *MPR 30- Silicon Doping Facility*. Serpong : BATAN Interatom. "Neutron Physical Aspects of Design and Operation of the Silicon Doping Facility". 54. 07698. 8 .1988.
3. "Manual Operasi RSG-GAS". Siwabessy Fasilitas Silikon Doping, No.indent RSG/OR/95.
4. **SUTRISNO DKK** "Modifikasi Fasilitas Silikon Doping Di RSG-GAS" Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir PTAPB Tahun 2010.
5. **KUNTORO** dan **HASTOWO**, ".Experience with Neutron Transmutation Doping Facility Operation at the RSG-GAS Reactor", IAEA Technical Reports Series No. 455, Vienna 2007.