

PEMBUATAN FASILITAS SILIKON DOPING DI REAKTOR SERBA GUNA-GA SIWABESSY

Sutrisno, Putut Hari Setiawan,
Royadi, Amril dan Harsono.

ABSTRAK

PEMBUATAN FASILITAS SILIKON DOPING DI REAKTOR SERBA GUNA-GA SIWABESSY. Fasilitas Silikon Doping adalah suatu fasilitas iradiasi yang didesain untuk mengiradiasi silikon dengan neutron termal yang akan mengakibatkan transmisi atom silikon (Si-30) menjadi atom Fosfor (P-31). Fasilitas Silikon Doping dibuat berada di luar teras reaktor yang duduk dimeja PRTF. Dari perhitungan pengaruh aliran fluida disekitar teras terhadap Fasilitas Silikon Doping yang terpasang adalah aman. Untuk memenuhi kebutuhan pasar dunia maka diperlukan fasilitas silikon doping yang baru dengan ukuran yang dibutuhkan pasar dunia. Dengan dibuatnya fasilitas silikon doping yang baru dengan diameter 8" diharapkan fasilitas iradiasi silikon doping RSG-GAS dapat memproduksi silikon ingot sebesar 1,223 ton/tahun.

Kata kunci: Silikon doping.

ABSTRACT

FABRICATION OF SILICON DOPING FACILITY AT RSG-GA SIWABESSY. Silicon Doping Facility is an irradiation facility that has been designed for irradiating silicon using thermal neutron to transmute silicon atomic (Si-30) into isotope (P-31), Silicon doping facility is made located in outer of reactor core on assembled PRTF. From fluid flow influence calculation around the reactor core, the assembled Silicon Doping facility was safe. To fulfill the word market demand, it requires a new silicon doping facility which has the same size as global market demand. By fabricating the new Silicon doping facility which has diameter 8", it is hoped that RSG-GAS can produce silicon ingot diameter 8 inch as many as 1,233 ton a year.

Keyword: Doping Silicon.

PENDAHULUAN

Fasilitas Silikon Doping adalah suatu fasilitas iradiasi yang didesain untuk mengiradiasi silikon dengan neutron termal yang akan mengakibatkan transmisi atom silikon (Si-30) menjadi atom Fosfor (P-31), sejak awal Tahun 1970 konsumsi silikon di dunia untuk bahan semikonduktor meningkat tajam sampai 6000 ton pertahun¹⁾.

Sebagian besar silikon yang akan dibuat untuk piranti elektronik/listrik perlu didoping dengan berbagai macam unsur untuk memenuhi resistivity tertentu. Metode konvensional yang telah dikenal memberikan hasil yang kurang baik karena ketidakhomogenan distribusi resistivity mencapai 30%, sebaliknya dengan metoda doping transmudasi neutron (Neutron Transmutation Doping/NDT), ketidak homogenan dapat ditekan hingga di bawah 5% untuk distribusi radial dan 10% untuk distribusi aksial.

Pada saat ini dipasaran dunia silikon ingot yang banyak dibutuhkan adalah dengan ukuran 4 inch, 5 inch, 6 inch dan diameter maximum 8 inch. Untuk memenuhi kebutuhan pasar dunia tersebut maka diperlukan fasilitas silikon doping yang baru dengan ukuran yang dibutuhkan pasar dunia. Dengan dibuatnya fasilitas silikon doping yang baru, diharapkan fasilitas iradiasi silikon doping RSG-GAS dapat memproduksi silikon ingot dengan diameter 8" dan dapat memenuhi pasar dunia.

METODA PELAKSANAAN

Pelaksanaan pembuatan fasilitas silikon doping di RSG-GA Siwabessy dilakukan dengan beberapa tahapan yang meliputi :

1. Disain dasar
 - o Penentuan Tata letak
 - o Pembuatan Gambar Teknis
 - o Perhitungan Dasar
2. Perhitungan kapasitas

3. Penyiapan bahan
4. Pabrikasi
5. Perakitan dan uji fungsi.

Disain dasar

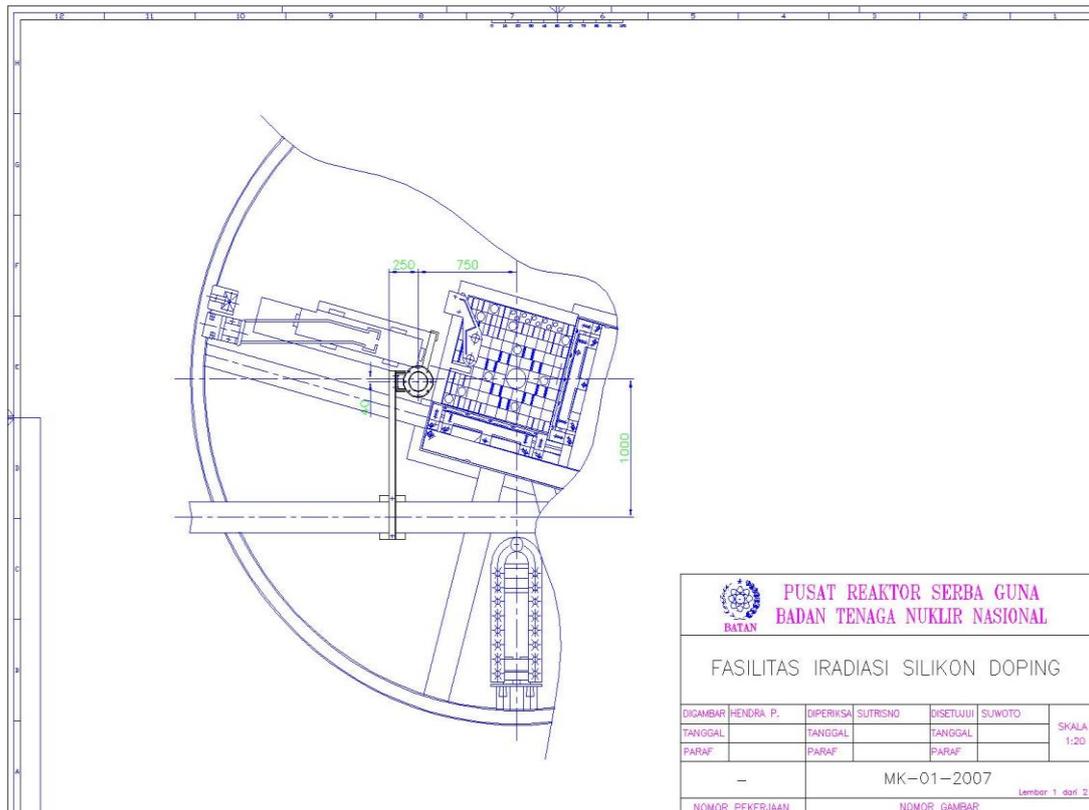
Dalam mendesain fasilitas Neutron Doping Transmutaion (NDT) perlu ditinjau dari beberapa hal meliputi :

- **Penentuan Tata letak.**

Dalam penentuan tata letak dari Fasilitas sikon Doping di RSG perlu dipertimbangkan beberapa hal berikut:

- Ditempatkan pada tempat yang aman
- Mudah dioperasikan
- Efisien

Gambar tata letak skematis Fasilitas Silikon Doping dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skematis Fasilitas Silikon Doping

- **Pembuatan Gambar Teknis**

Gambar teknis fasilitas silikon doping RSG-GA Siwabessy meliputi batang pemegang bagian bawah dengan tabung pengarah kapsul, 1 bh batang pemegang dengan panjang 3 meter , 4 bh batang pemegang panjang 1,5 meter, 1 bh pemegang atas dan 10 bh sambungan batang pemegang. Bentuk Gambar teknis Fasilitas silikon doping RSG-GAS seperti ditunjukkan pada Gambar 2 (pandangan samping).

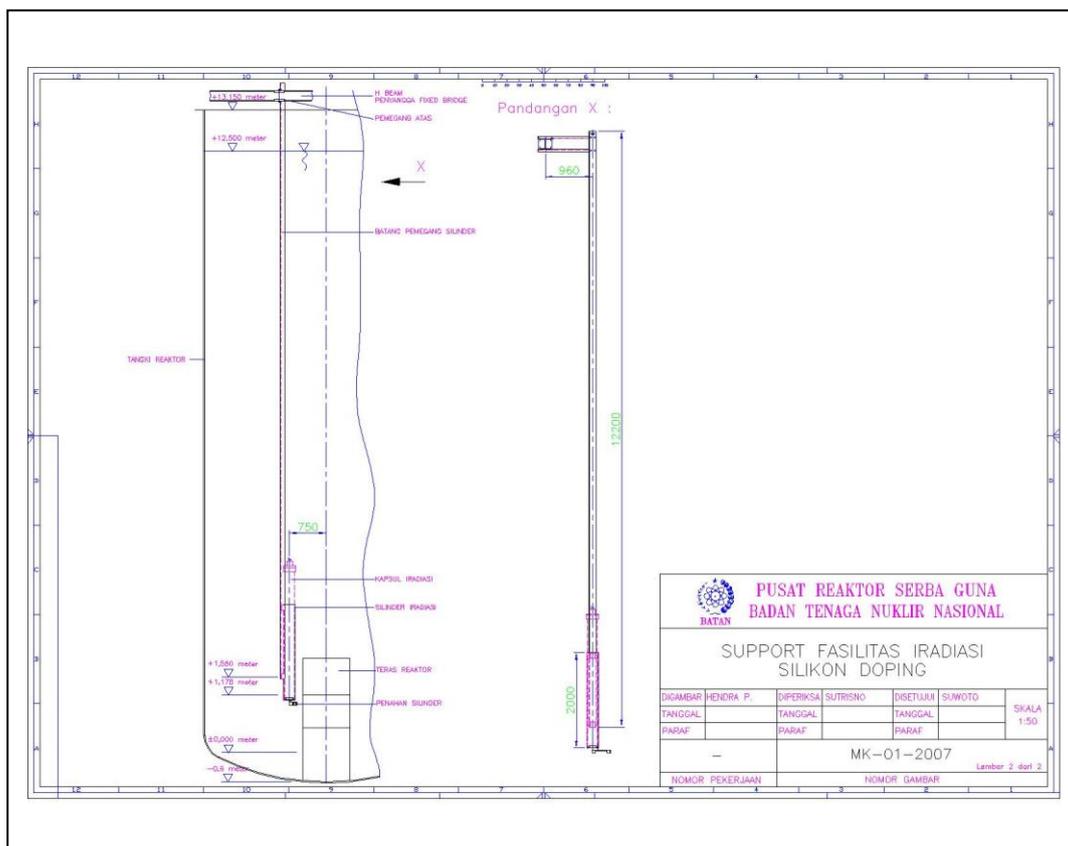
Gambar 2 menunjukkan rancangan pembuatan Fasilitas silikon Doping RSG-GA Siwabessy. Bagian pertama Fasilitas silikon doping adalah Batang pemegang bagian bawah dengan tabung pengarah kapsul terdiri dari tutup bawah tabung yang dilengkapi dengan penahan tabung yang akan duduk di meja penahan, badan tabung pengarah kapsul dengan diameter dalam = 229 mm, diameter

luar = 250 mm panjang tabung = 1500 mm. Serta batang pemegang profil U dengan panjang 3000 mm.

Bagian kedua adalah 1 buah batang pemegang profil U dengan panjang 3000 mm yang berfungsi sebagai batang penyambung dari bagian pertama dengan sambungan batang pemegang.

Bagian ketiga adalah 3 buah batang pemegang profil U dengan panjang 1500 mm yang berfungsi sebagai batang penyambung dari bagian kedua dengan sambungan batang pemegang ketiga sampai kelima. Batang pemegang dengan panjang 1500 mm untuk memudahkan pemasangan di lapangan.

Bagian keenam adalah 1 buah batang pemegang profil U dengan panjang 1500 mm yang dilengkapi dengan pasangan yang akan duduk di tempat pemegang atas.



Gambar 2. Support Fasilitas Iradiasi Silikon Doping

Bagian ketujuh adalah 1 buah pemegang atas yang duduk di I-Beam yang tersedia di atas kolam reaktor. Setiap bagian satu dengan yang lain akan disambungkan oleh sambungan batang pemegang dengan jumlah 10 buah yang setiap sambungan menggunakan mur baut M13 sebanyak 8 buah.

• **Perhitungan Dasar**

Tinjauan mekanik, pengaruh aliran fluida di sekitar teras reaktor.

Agar diperoleh Fasilitas silikon Doping aman dari pengaruh aliran fluida di sekitar teras reaktor, maka perlu dihitung gaya dorong yang ditimbulkan dan gaya gesekan yang ditimbulkan. Jika gaya dorong lebih kecil dari gaya gesekan maka Fasilitas silikon doping yang akan dipasang dinyatakan aman.

Perhitungan gaya gesekan.

Gaya gesekan = $\mu_s \times N$

Dimana:

μ_s : koefisien gesekan statik, untuk permukaan aluminium dengan baja adalah 0,61 (Tabel nilai koefisien gesekan)

N: Gaya normal yang tegak lurus dengan permukaan sentuh kedua benda.

$N = m.g - \text{ gaya ke atas}$

Dimana :

m : massa Fasilitas Silikon doping

Konstruksi Fasilitas silikon doping seperti pada Gambar 2, yang terdiri dari batang pemegang bagian bawah dengan tabung pengarah kapsul, 1 bh batang pemegang dengan panjang 3 meter , 4 bh batang pemegang panjang 1,5 meter, 1 bh pemegang atas dan 10 bh sambungan batang pemegang.

Dengan mengetahui kerapatan dan Volume benda tersebut maka dapat menghitung massa seluruh fasilitas, dimana massa batang pemegang bagian bawah dengan tabung pengarah kapsul adalah 74 Kg, 1 bh batang panjang 3 meter adalah 21,312 Kg, 4 bh batang panjang 1,5 meter adalah 42,624 Kg, 1 bh pemegang atas dan 10 bh sambungan batang pemegang adalah 10, 656 Kg. Total massa Fasilitas silikon doping adalah 148,592 Kg.

$g \approx 10 \text{ m/s}^2$

Gaya ke atas = $\rho.g.V$

Dimana:

ρ = kerapatan air pada suhu 40° C adalah 992 Kg/ m³

$g \approx 10 \text{ m/s}^2$

V adalah jumlah volume air yang dipindahkan oleh volume benda yaitu $56.460 \text{ cm}^3 = 0.05646 \text{ m}^3$.

$$\text{Gaya ke atas} = 992 \text{ Kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0.05646 \text{ m}^3 = 560 \text{ Kg. m/s}^2$$

$$\text{Maka } N = 148,592 \text{ Kg. } 10 \text{ m/s}^2 - 560 \text{ Kg.m/s}^2 = 925,92 \text{ Kg.m/s}^2 = 925,92 \text{ N}$$

$$\text{Jadi gaya gesekan} = 0,61 \times 925,92 \text{ N} = 564,8112 \text{ N}$$

Perhitungan gaya dorong/seret.

Setiap benda dengan sembarang bentuk bila terpendam didalam aliran fluida akan mengalami gaya-gaya dan momen-momen dari aliran tersebut. Bila benda itu berbentuk atau orientasinya sembarang aliran tersebut akan mengerjakan gaya-gaya pada arah dan momen-momen sekeliling benda. Biasanya dipilih satu sumbu sejajar dengan aliran bebas, dan arahnya positif ke hilir. Gaya pada benda itu, yang arahnya sepanjang sumbu itu disebut seretan atau dorongan.

$$F = C_d \times \frac{1}{2} \rho \times v^2 \times A$$

Dimana:

F : Gaya seretan

C_d : koefisien seretan, didasarkan pada luas depan untuk plat persegi = 1,2

ρ : kerapatan air pada suhu 40° C adalah 992 Kg/m^3

v : kecepatan air yang melewati benda

A : Luas permukaan benda = $0,012 \times 10,4 \text{ m}^2 = 0,1248 \text{ m}^2$

Asumsi kecepatan air yang melewati benda adalah $\frac{1}{4}$ dari kecepatan air dipermukaan ring distribusi aliran pendingin primer. Dimana kecepatan aliran pada permukaan ring dapat dihitung $v = Q/A \text{ m/s}$.

Asumsi harga Q adalah $3200 \text{ m}^3/\text{h} = 0,89 \text{ m}^3/\text{s}$

$A = \pi \times r^2 \times n$, n adalah jumlah ring distribusi = 286, $r = 25 \text{ mm} = 0,025 \text{ m}$

$$A = \pi \times 0,025^2 \times 286 \text{ m}^2 = 1,338425 \text{ m}^2$$

$$v = 0,89 \text{ m}^3/\text{s} / 0,561275 \text{ m}^2 = 1,5857 \text{ m/s}$$

Asumsi v = $\frac{1}{4}$ dari kecepatan air dipermukaan ring

Maka $v = 1,5857/4 \text{ m/s} = 0,396425 \text{ m/s}$

$$\text{Jadi } F = 1,2 \times \frac{1}{2} \times 992 \text{ Kg/m}^3 \times 0,396425^2 (\text{m/s})^2 \times 0,1248 \text{ m}^2 = 43,4 \text{ Kg. m/s}^2 = 43,4 \text{ N}$$

Karena gaya seretan lebih kecil dari gaya gesekan maka menurut perhitungan dianggap aman.

Dari tinjauan netronik, dua syarat yang harus dipenuhi dalam mendesain fasilitas NTD yaitu²⁾:

1. Perbedaan maksimal distribusi aksial fluks neutron 10%
2. Perbandingan fluks neutron termal terhadap neutron cepat harus lebih besar dari 20

Berdasarkan syarat-syarat di atas, di RSG-GAS ada dua pilihan tempat yaitu pada reflektor berilium dan pada bagian luar teras.

Pada reflektor berilium, dapat menggunakan sistem penggerak aksial (untuk menghindari penggunaan penyaring neutron), atau dengan menggunakan penyaring neutron. Pada bagian luar teras diletakkan di samping teras yang dilengkapi dengan motor untuk memutar secara radial dan menggunakan sistem penggerak aksial. Gambar 1.

Pilihan pertama mempunyai keterbatasan yaitu kristal silikon tidak dapat digerakkan menembus teras secara aksial selama iradiasi karena ada kisi bawah. Padahal gerakan ini diperlukan untuk memenuhi syarat distribusi aksial fluks neutron sebesar 10%. Dengan keterbatasan ini ukuran kristal silikon dapat diiradiasi menjadi lebih pendek.

Pilihan kedua merupakan pilihan terbaik, karena kristal dapat digerakkan secara aksial menembus daerah fluks neutron di teras karena bagian bawah tidak terhalang kisi. Pada pilihan ini, ukuran panjang kristal dapat lebih panjang sehingga berat kristal silikon yang diiradiasi dalam satu siklus lebih besar. Fasilitas ini menempati posisi sebelah timur teras reaktor yang berjarak 750 mm dari pusat teras dan 1000 mm dari pusat I-Beam.

Perhitungan kapasitas

Kapasitas produksi silikon akan sangat bergantung pada fluks neutron, resistivitas target dan ukuran silikon ingot yang diproduksi. Untuk mendapatkan harga tahanan/resistivitas yang diinginkan $50 \Omega \text{ cm}$, dari pihak Shin Etsu Handotai Jepang memberikan harga fluence sebesar $6,17.10^{17} \text{ n/cm}^2$. Diasumsikan harga fluks di posisi iradiasi Fasilitas Silikon Doping $1,2.10^{12} \text{ n/(cm}^2 \cdot \text{det)}$ maka waktu iradiasinya adalah 142,82 jam (5,95 hari). Jika dalam 1 Tahun rata-rata jumlah operasi reaktor 3,5 siklus (per siklus adalah 46 hari) maka dalam 1 Tahun jumlah operasi adalah 161 hari. Jika efisiensi 0,8, maka jumlah produksi silikon di Reaktor Serba Guna GA Siwabessy per Tahun adalah $= 0,8 \times \pi \times r^2 \times t \times \rho_{\text{sil}} \times \text{Jumlah operasi per tahun/ waktu iradiasi} = 0,8 \times \pi \times 10^2 \text{ cm}^2 \times 60 \text{ cm}^2 \times 3 \text{ gr/cm}^3 \times 161/5,95 = 1223220 \text{ gr} = 1,223 \text{ ton}$

Penyiapan bahan

Kegiatan selanjutnya adalah penyiapan bahan yang digunakan dalam pembuatan Fasilitas silikon doping di RSG-GAS. Bahan yang digunakan harus memperhatikan standar nahan yang diijinkan untuk instalasi reaktor nuklir, sedangkan peralatan yang digunakan menggunakan peralatan bengkel yang dimiliki oleh PRSG. Spesifikasi bahan yang digunakan seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi bahan yang digunakan.

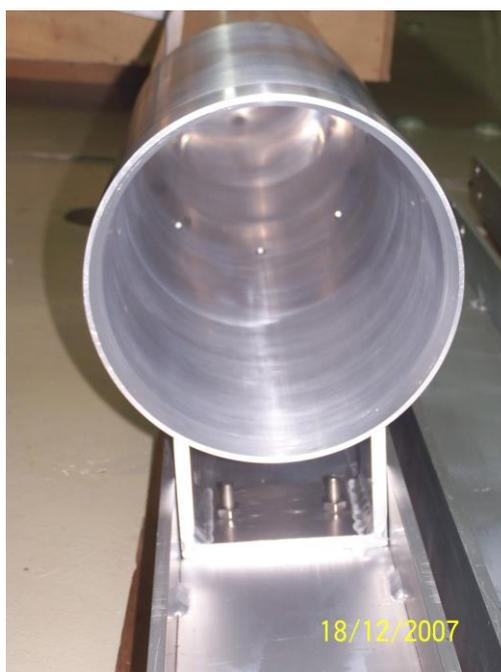
No	Nama komponen	Spesifikasi	Jumlah
1	Tutup Bawah Tabung		
2	Badan tabung pengarah	Pipa Al $\varnothing_{in}= 229, \varnothing_{out}= 250$ L=1500	1 buah
3	Batang pemegang	Al Profil U 120x60x8 L=3000	2 btg
4	Batang pemegang	Al Profil U 120x60x8 L=1500	4 btg
5	Pemegang atas	SS profil L 40x40 L= 2000	1 buah
6	Sambungan batang pemegang	SS profil L 80x80 L= 120	10 buah
7	Baut dan mur	SS M 13 L = 100	50 buah
8	Baut dan mur	SS M 13 L = 250	10 buah

Pabrikasi

Pabrikasi pembuatan fasilitas silikon doping di RSG-GA Siwabessy meliputi pembuatan batang pemegang bagian bawah dengan tabung pengarah kapsul, 1 bh batang pemegang dengan panjang 3 meter, 4 bh batang pemegang panjang 1,5 meter, 1 bh pemegang atas dan 10 bh sambungan batang pemegang.

Pembuatan Batang pemegang bagian bawah dengan tabung pengarah kapsul terdiri dari tutup

bawah tabung yang dilengkapi dengan penahan tabung yang akan duduk di meja penahan, Badan tabung pengarah kapsul dengan diameter dalam = 229 mm, diameter luar = 250 mm panjang tabung = 1500 mm, serta batang pemegang profil U dengan panjang 3000 mm. Pembuatan Batang bagian bawah tersebut dilakukan dengan proses pemotongan, pengeboran, pembubutan dan pengelasan. Bentuk hasil pembuatan ditunjukkan pada Gbr 3.



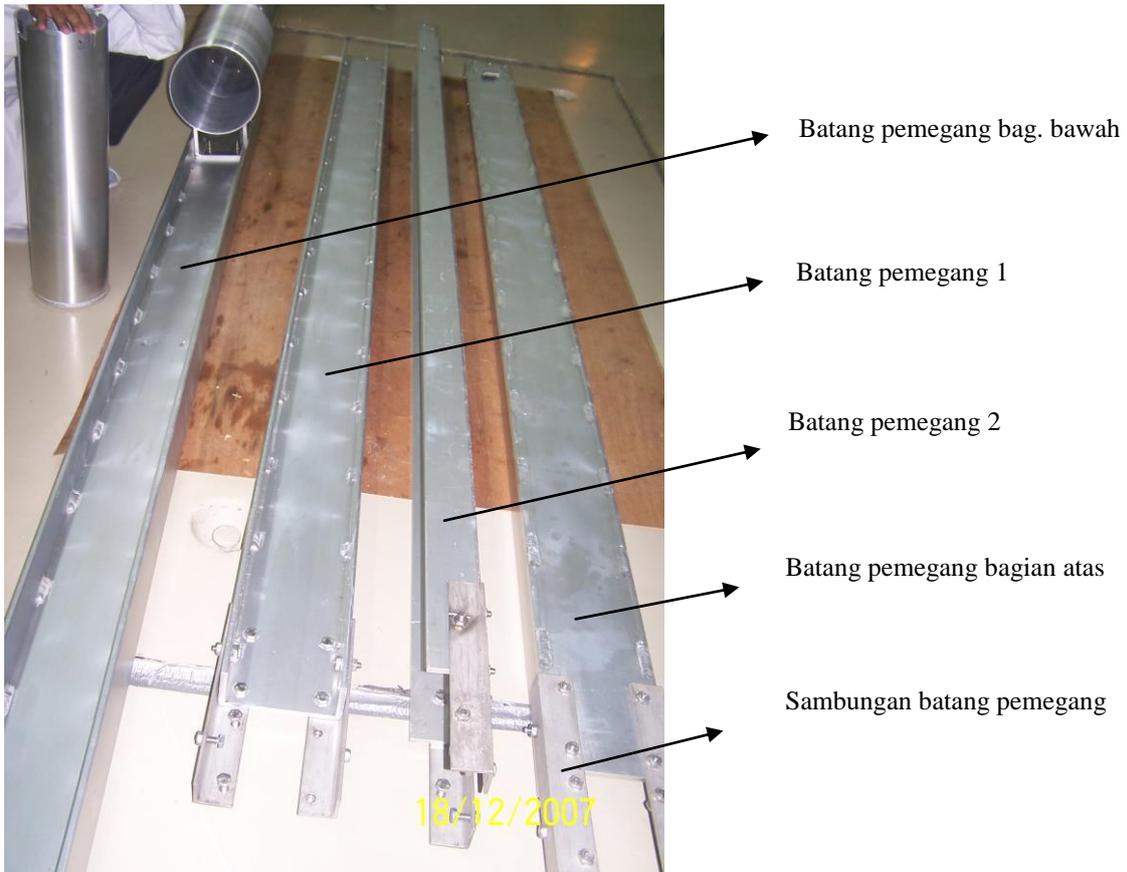
Gambar 3. Batang pemegang bagian bawah dengan tabung pengarah kapsul

Pembuatan batang pemegang dengan panjang 3 meter yang dibuat dari Aluminium profil U dengan ukuran 120 mm x 60 mm dengan tebal 10 mm, batang pemegang tersebut digunakan untuk menyambung antara batang pemegang bagian bawah dengan bahan pemegang bagian atas.

Pembuatan 3 bh batang pemegang dengan panjang 1,5 meter yang dibuat dari Aluminium profil U dengan ukuran 120 mm x 60 mm dengan tebal 10 mm, batang pemegang tersebut digunakan

untuk menyambung antara batang pemegang bagian bawah dengan bahan pemegang bagian atas.

Pembuatan 1 bh batang pemegang dengan panjang 1,5 meter yang dibuat dari Aluminium profil U dengan ukuran 120 mm x 60 mm dengan tebal 10 mm, batang pemegang tersebut digunakan untuk menyambung antara batang pemegang bagian terakhir dengan bahan pemegang yang terbuat dari SS yang dipasang pada I-Beam di atas kolam reaktor.



Gambar 4. Batang pemegang dari bawah hingga atas.

Dan yang terakhir pembuatan pemegang atas yang dibuat dari bahan *Stainless Steel* dengan ukuran 80x80 mm dengan panjang 120 mm, fungsi dari pemegang atas adalah untuk memegang seluruh

fasilitas dari bawah hingga atas yang diletakkan ke I-Beam yang tersedia di atas kolam reaktor seperti Gambar 5 di bawah.



Gambar 5. Pemegang atas.

I Perakitan dan uji fungsi.

- Perakitan.

Sebelum perakitan dilakukan maka alat yang telah dibuat harus dibersihkan dulu dari kotoran dan debu dengan menggunakan cairan *acetone* sampai merata. Setelah dilakukan pembersihan selanjutnya alat tersebut mulai dirakit di kolam reaktor, karena fasilitas silikon doping mempunyai ukuran panjangnya 13 meter. Perakitan fasilitas Silikon Doping RSG-GA Siwebessy meliputi pemasangan pemegang bagian bawah dengan tabung pengarah

kapsul terdiri dari tutup bawah tabung yang dilengkapi dengan penahan tabung, kemudian disambung dengan batang pemegang berikutnya hingga terakir sambungan yang dipasang pada pemegang atas yang dikaitkan ke I-Beam atas kolam reaktor. Perakitan fasilitas ini menggunakan bantuan *crane* dan menggunakan alat bantu yang telah dibuat untuk menggantung setiap item yang akan dirakit, adapun alat bantu tersebut seperti pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Alat bantu perakitan

Pemasangan setiap item dilakukan dengan hati-hati karena bekerja di atas kolam reaktor dan semua peralatan yang digunakan harus disambung dengan tali agar peralatan tersebut tidak jatuh.

- Uji fungsi

Setelah selesai dirangkai kemudian dilakukan uji fungsi atas kinerja dari peralatan tersebut, uji fungsi dilakukan dalam kondisi reaktor padam.

Tahapan-tahapan uji fungsi yang dilakukan mengacu pada manual operasi Fasilitas Silikon Doping No. Indent RSG/ORS/95 dan hasil dari uji fungsi tersebut telah didapatkan hasil yang baik yaitu fasilitas Silikon Doping dengan vibrasi yang sangat kecil sehingga memenuhi syarat untuk dioperasikan. Akan tetapi Fasilitas tersebut mengganggu sistem yang lainnya, sehingga perlu dibuat modifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan pembuatan fasilitas silikon doping di RSG-GA Siwebessy dilakukan dengan beberapa tahapan yang meliputi: Disain dasar, perhitungan kapasitas, Pembuatan Gambar teknis, Penyiapan bahan, Pabrikasi, Perakitan dan uji fungsi.

Dalam disain dasar perlu ditinjau dari tinjauan mekanik, agar diperoleh Fasilitas silikon Doping aman dari pengaruh aliran fluida di sekitar teras reaktor. Untuk itu perlu dihitung gaya dorong dan gaya gesekan yang ditimbulkan. Jika gaya dorong lebih kecil dari gaya gesekan maka Fasilitas silikon doping yang akan dipasang dinyatakan aman. Dari perhitungan didapatkan gaya gesekan sebesar 564,8112 N dan Gaya seretan/dorong sebesar 43,4 N. Dari data tersebut maka Fasilitas yang akan dipasang aman.

Perhitungan kapasitas produksi perlu menghitung kemampuan reaktor untuk mengiradiasi selama setahun dengan efisiensi 80% maka selama satu Tahun kapasitas reaktor untuk memproduksi sebesar 1,223 ton untuk target sebesar 8" dan panjang 60 cm.

Adapun tahapan berikutnya adalah pembuatan peralatan fasilitas silikon doping di RSG-GA Siwabessy ini dikerjakan dengan membuat seluruh rangkaian fasilitas silikon doping dari batang pemegang bagian bawah yang dilengkapi dengan tabung pengarah kapsul hingga batang pemegang atas yang semua pekerjaan dikerjakan di bengkel milik PRSG.

Tahapan-tahapan uji fungsi yang dilakukan mengacu pada manual operasi Fasilitas Silikon Doping No. Indent RSG/ORS/95 dan hasil dari uji fungsi tersebut telah didapatkan hasil yang baik yaitu fasilitas Silikon Doping dengan vibrasi yang sangat kecil sehingga memenuhi syarat untuk dioperasikan.. Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan ilustrasi Fasilitas silikon Doping di kolam RSG-GAS pada posisi samping teras reaktor. Hasil yang diperoleh dari kegiatan ini adalah seperangkat peralatan fasilitas silikon doping di RSG-GA Siwabessy yang siap digunakan.

KESIMPULAN

Pembuatan fasilitas silikon doping di RSG-GA Siwabessy telah selesai dilaksanakan sesuai dengan yang direncanakan. Dari perhitungan didapatkan gaya gesekan sebesar 564,8112 N dan Gaya seretan/dorong sebesar 43,4 N. Dari data tersebut maka Fasilitas yang akan dipasang aman.

Dengan dibuatnya fasilitas silikon doping dengan diameter 8", maka kapasitas produksi untuk mengiradiasi silikon selama setahun dengan efisiensi 80% sebesar 1,223 ton.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonymous, Interatom, "MPR-30 Silicon Doping Facility"
2. Pieter Burggraaf, Semiconductor Int, April 1989, p 94-96
3. Anonymus, Safety Analysis Report Rev. 8, Maret 1999.
4. Manual Operasi RSG-GA. Siwabessy Fasilitas Silikon Doping, No.indent RSG/OR/95.