

## FASILITAS IRADIASI DAN STATUS PENELITIAN ELEMEN BAKAR REAKTOR DAYA DI RSG-GAS

Dedi Sunaryadi  
Pusat Reaktor serba Guna - BATAN

### ABSTRAK

**FASILITAS IRADIASI DAN STATUS ELEMEN BAKAR REAKTOR DAYA DI RSG-GAS.** Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) sebagai reaktor penelitian mempunyai daya sebesar 30 MW dan fluks neutron sebesar  $2 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>/detik mempunyai beberapa fasilitas iradiasi yang dapat dipakai untuk penelitian elemen bakar reaktor daya. RSG-GAS telah dimanfaatkan untuk penelitian elemen bakar reaktor daya jenis PWR dengan menggunakan fasilitas uji daya ramp (PRTF) bekerjasama dengan peneliti dari Jerman (BMFT). Fasilitas uji daya ramp dapat mensimulasikan kondisi reaktor daya PWR pada tekanan 160 bar dan suhu elemen bakar 345 °C. Hasil eksperimen dengan menggunakan PRTF diberikan. Fasilitas Inpile Loop yang dirancang untuk menguji bundel elemen bakar reaktor daya telah diinstal sistem primer dan sekundernya. Dalam kondisi seperti ini Fasilitas tersebut dapat dipakai untuk pelatihan staf dan teknisi dalam mengoperasikan reaktor daya (simulasi) pada tekanan 150 bar dan suhu sistem primer 290 °C

### ABSTRACT

**IRRADIATION FACILITIES AND STATUS OF FUEL RESEARCH IN RSG-GAS.** The Multi Purpose Reactor 30 MW (RSG-GAS) is a research reactor equipped with a number of irradiation facilities could be used in a research of fuel element of power reactor. The RSG-GAS have been used for research of PWR fuel element using Power Ramp Test Facility (PRTF). The activity was done since 1993 with co-researcher from Germany (BMFT). PRTF could simulate PWR power reactor condition at 160 bar system pressure and at 345°C fuel element temperature. The primary and secondary system of Inpile loop facility which designed for testing of fuel element bundle of power reactor have been installed. In this condition the Inpile loop facility mentioned above could be used for training and operating of staffs and technicians. The power reactor can be simulated at 150 bar system pressure and 290°C primary system temperatures.

### PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna GA Siwabessy (RSG-GAS) adalah reaktor penelitian yang berdaya 30 MW dengan fluks neutron termal sebesar  $2 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>/detik mempunyai beberapa fasilitas iradiasi yang dipergunakan untuk melakukan penelitian, pengujian dan produksi radioisotop. Didalam makalah akan dibahas fasilitas iradiasi di RSG-GAS yang dapat dimanfaatkan untuk penelitian dan pengembangan elemen bakar reaktor daya, disampaikan pula beberapa kegiatan yang telah dan akan dilakukan. Sampai saat ini fasilitas iradiasi di RSG-GAS telah dimanfaatkan untuk kegiatan yang mencakup kegiatan penelitian dalam bidang energi nuklir

seperti kegiatan penelitian perilaku elemen bakar reaktor daya.

Penelitian perilaku elemen bakar reaktor daya jenis PWR dengan menggunakan fasilitas uji daya Ramp (PRTF) telah dilakukan. PRTF atau fasilitas uji daya ramp adalah fasilitas iradiasi dengan loop pendingin yang digunakan untuk menguji elemen bakar reaktor daya jenis PWR/BWR. Penelitian tentang perilaku elemen bakar reaktor daya jenis PWR dengan menggunakan fasilitas uji daya Ramp (PRTF) dilakukan bekerjasama dengan para peneliti bantuan dari Jerman (Bundes Minister fuer Forschung Teknik, BMFT). Penelitian perilaku elemen bakar reaktor daya di dalam reaktor

riset dapat dilakukan karena fasilitas PRTF dapat mensimulasi kondisi reaktor daya.

Iradiasi elemen bakar reaktor daya di RSG - GAS merupakan hal yang baru dan penuh tantangan bagi staf BATAN. Pembuatan elemen bakar yang dikerjakan di PPTN dengan bantuan ekspert Jerman (BMFT) dalam proses penyelesaian. Dengan selesainya pembuatan elemen bakar nanti diperlukan pengujian unjuk kerja yang berupa iradiasi dan pasca iradiasi sebagai bagian dari kendali kualitas untuk pengujian keandalan elemen bakar buatan BATAN.

Diperlukan koordinasi antar Puslit agar pelaksanaan program penelitian yang dibantu pihak Jerman dapat terlaksana dengan baik. Kesiapan suatu Puslit akan menentukan kelancaran Puslit lain. Ketepatan dalam memenuhi jadwal yang telah dibuat akan sangat tergantung dari Puslit yang terkait dalam memberikan kontribusinya. Sebagai contoh ketepatan penyelesaian pembuatan elemen bakar yang dikerjakan oleh PPTN akan mempengaruhi awal iradiasi di PRSG, yang kemudian akan mempengaruhi jadwal pengujian pasca iradiasi di PEBN. Dengan perencanaan melalui program iradiasi, dapat diidentifikasi beberapa kegiatan yang berhubungan dengan iradiasi dan pasca iradiasi. Dari daftar pekerjaan yang teridentifikasi, dapat dilakukan persiapan yang meliputi penyediaan sumber daya manusia dan waktu.

Pada makalah ini dapat dilihat gambaran secara umum tentang kesiapan BATAN dalam menyongsong era industri nuklir, khususnya dalam penelitian elemen bakar reaktor daya yang menunjang program pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) yang direncanakan mulai beroperasi pada tahun 2005. Diharapkan dengan penulisan makalah ini, pengetahuan tentang fasilitas iradiasi elemen bakar di RSG-GAS bertambah, sehingga dapat lebih me-ningkatkan kegiatan

Litbang BATAN dengan memanfaatkan reaktor secara optimal.

## FASILITAS IRADIASI UNTUK PENELITIAN ELEMEN BAKAR REAKTOR DAYA

Fasilitas-fasilitas iradiasi yang ada di RSG-GAS secara skematis dapat dilihat pada gambar 1. Fasilitas iradiasi untuk litbang elemen bakar reaktor daya terdiri dari PWR/PHWR LOOP, MTR LOOP, Power Ramp Test Facility (PRTF), CYRANO RIG, CHOUCA RIG dan Neutron Radiografi.

PWR/PHWR loop adalah fasilitas iradiasi yang dilengkapi dengan loop pendingin. Loop ini digunakan untuk menguji bundel elemen bakar reaktor daya jenis PWR atau jenis PHWR. Loop utama fasilitas berfungsi untuk mengkondisikan (simulasi) reaktor daya sehingga elemen bakar dikondisikan berada di dalam lingkungan reaktor daya dengan suhu 290°C dan tekanan sekitar 150 bar, serta aliran pendingin sekitar 1200 l/jam.

MTR loop adalah fasilitas iradiasi dengan loop pendingin yang digunakan untuk uji elemen bakar reaktor riset jenis MTR (Material Test Reaktor). Seperti pada PWR loop, fasilitas ini berfungsi untuk mensimulasi kondisi operasi reaktor riset MTR.

PRTF atau fasilitas uji daya ramp adalah fasilitas iradiasi dengan loop pendingin yang digunakan untuk menguji elemen bakar reaktor daya jenis PWR/BWR. Kelebihan PRTF dengan loop-loop yang lainnya adalah kemampuan PRTF dalam mensimulasi kondisi perubahan daya/beban yang naik/turun (load following). Kemampuan ini dapat dilakukan karena adanya fasilitas penggerak kapsul yang dapat menempatkan posisinya mendekat atau menjauhi teras reaktor. Gambar 2 memperlihatkan skema kapsul PRTF.

Cyrano rig adalah fasilitas untuk uji (statis) elemen bakar reaktor daya. Fasilitas ini berupa sebuah rig (anjungan) yang dapat di bongkar / pasang di kolam reaktor secara

vertikal. Berbeda dengan loop yang dirancang dengan pendinginan sendiri, Rig dirancang sedemikian rupa untuk mendapatkan pendinginan dari lingkungannya berada.

Chouca rig adalah fasilitas iradiasi untuk uji bahan struktur reaktor. Seperti pada Cyrano rig, fasilitas ini tidak memerlukan loop pendingin. Kapsul iradiasi dirancang untuk dapat didinginkan oleh sistem pendingin teras reaktor.

Fasilitas neutron radiografi adalah fasilitas yang digunakan untuk pembuatan gambar (foto) elemen bakar reaktor dengan menggunakan berkas neutron yang merupakan bagian dari pengujian tak merusak pasca iradiasi. Gambar hasil radiografi neutron sama seperti gambar pada x-ray radiografi, gambar pada fasilitas neutron radiografi merupakan pelengkap gambar x-ray. Pada radiografi neutron gambar yang diperoleh sangat dipengaruhi oleh sifat bahan terhadap absorpsi neutron, sedangkan pada x-ray dipengaruhi oleh sifat attenuasi bahan.

#### **BEBERAPA KEGIATAN YANG TELAH DAN YANG AKAN DILAKUKAN**

Sejak beroperasinya RSG-GAS, penelitian elemen bakar dengan menggunakan fasilitas iradiasi di RSG-GAS telah dilakukan beberapa kali. Penelitian tentang perilaku elemen bakar reaktor daya jenis PWR dengan menggunakan fasilitas uji daya Ramp (PRTF) dilakukan bekerjasama dengan pihak Jerman. Beberapa kegiatan yang telah dicapai diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Karakterisasi fasilitas telah dilakukan dengan menggunakan pemanas listrik sebagai pengganti elemen bakar. Gambar 3 memperlihatkan karakteristik perpindahan panas kapsul PRTF.<sup>(1)</sup>
2. Penelitian tentang pengaruh gamma heating pada kapsul PRTF telah pula dilakukan untuk menunjang data awal tentang karakter fasilitas selama diiradiasi di dalam teras reaktor. Gambar 4

memperlihatkan kurva panas gamma sebagai fungsi posisi kapsul terhadap teras.<sup>(2)</sup>

3. Iradiasi elemen bakar uranium alam sebagai bahan latihan sebelum iradiasi elemen bakar yang sesungguhnya telah pula dilakukan untuk mengetahui pola kenaikan daya selama diiradiasi dan selama perubahan posisi kapsul terhadap teras reaktor. Gambar 5 memperlihatkan pola penurunan daya pada elemen bakar uranium alam dibandingkan dengan elemen bakar uranium diperkaya.<sup>(4)</sup>

Ketiga kegiatan tersebut diatas merupakan status penelitian elemen bakar di RSG-GAS. Kegiatan tersebut perlu ditindaklanjuti dengan kegiatan berikutnya yang menunjang program PLTN. Penggunaan fasilitas iradiasi elemen bakar selain PRTF belum dapat dilakukan karena fasilitas seperti CYRANO, CHOUCA dan Inpile-Loop masih dalam tahap komisioning dan instalasi. Sampai saat ini fasilitas Inpile Loop baru selesai instalasi sistem primer dan sekundernya. Namun demikian dalam kondisi seperti itu fasilitas tersebut dapat dimanfaatkan untuk pelatihan staf dan operator dalam menangani sistem inpile loop yang merupakan simulasi dari loop reaktor daya (PLTN). Tekanan 150 bar suhu 290°C dan alirannya dapat mencapai 1200 kg/jam.

Kegiatan yang akan dilakukan berikutnya dalam rangka penelitian elemen bakar reaktor daya pada fasilitas uji daya ramp (PRTF) adalah iradiasi elemen bakar dan pengujian pasca iradiasi.

Program iradiasi dan pasca iradiasi yang melibatkan beberapa puslit terkait di lingkungan BATAN akan dilakukan segera setelah pembuatan elemen bakar di PPTN selesai. Iradiasi elemen bakar reaktor daya akan dilakukan di Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy dengan menggunakan fasilitas uji daya ramp (PRTF). Iradiasi terdiri dari dua tahap, yaitu :

1. Tahap pra iradiasi yang dilaksanakan selama 266 hari untuk mencapai burn-up sebesar 10.000 MW day / ton-u. Iradiasi pada tahap ini dilakukan pada daya elemen bakar linier tak berubah yaitu sebesar 300 W/cm. Lihat gambar 6.
2. Tahap iradiasi daya RAMP berubah yang dilaksanakan selama 30 hari untuk mempelajari fenomena terjadinya interaksi antara bahan bakar dengan kelongsong elemen bakar. Pada tahap ini iradiasi dilaksanakan dengan daya (ramp) berubah-ubah dalam selang waktu selama 3 x 10 hari. Pada 10 hari pertama besar perubahan dayanya 5 W/cm/menit, kemudian pada 10 hari kedua perubahan dayanya 50 W/cm/menit, dan pada 10 hari terakhir perubahannya 100 W/cm/menit. Lihat gambar 7.

Diantara tahap 1 dan tahap 2, elemen bakar yang telah mengalami pra-iradiasi akan diperiksa dahulu di laboratorium Metalurgi untuk mengetahui kondisi awal elemen bakar sebelum mengalami pengujian perubahan daya ramp. Setelah pemeriksaan pasca iradiasi selesai elemen bakar akan dimasukkan kembali ke dalam kapsul PRTF dan diiradiasi sesuai dengan program iradiasi yang terlihat pada gambar 8. Pola perubahan daya ramp yang diterapkan diambil dari beberapa referensi<sup>(6,7,8)</sup>.

Pada akhir iradiasi tahap I yang dilaksanakan dalam selang waktu diatas dan setelah mencapai burn-up 10.000 MWD/ton-U dapat terjadi beberapa perubahan pada elemen bakar<sup>(9)</sup>:

1. Pengurangan diameter kelongsong sebesar 0,15 - 0,30 % pada bagian tengah elemen bakar (aksial).
2. Pengurangan diameter bahan bakar (pellet) sebesar 0,01 - 0,06 %.
3. Pengurangan ukuran panjang elemen bakar sebesar 0,2 %.

Selama tahap 2 yaitu iradiasi dengan perubahan daya ramp yang dilakukan selama 3 x 10 hari, dapat diamati beberapa hal berikut<sup>(8)</sup>

1. Deformasi kelongsong sebesar 0,4 % maksimum.
2. Keretakan pada kelongsong sebagai akibat dari adanya fenomena "stress corrotion craking", SCC.

Berikut adalah beberapa kegiatan yang perlu dilaksanakan untuk pengujian pasca iradiasi PIE setelah pra-iradiasi tahap 1 selesai<sup>(7,8)</sup>.

1. Pemeriksaan visual
2. Pengukuran panjang dan diameter
3. Radiografi neutron
4. Pengujian dengan *Eddy current*
5. Pengujian dengan *Ultra sonic*
6. *Gamma scanning*
7. Pengukuran berat

Kegiatan-kegiatan diatas dapat dilakukan di Hot-cell Laboratorium Metalurgi PEBN dan PRSG. Beberapa kegiatan seperti kegiatan butir 1,2 dan 3 dapat dilakukan di Hot-cell PRSG, sedangkan kegiatan lainnya dilakukan di Hot-cell Laboratorium Metalurgi PEBN.

Kegiatan yang perlu dilakukan untuk menunjang program pengujian pasca iradiasi setelah iradiasi tahap 2 adalah<sup>(7,8)</sup>:

1. Analisis gas hasil fisi
2. Metalografi
3. Keramografi
4. *Gamma scanning*
5. Analisis kimia
6. Alpha-beta autoradiografi
7. Pengujian permukaan kelongsong bagian dalam

Kegiatan antara tahap 1 dan tahap 2 dilaksanakan tanpa merusak elemen bakar, sedangkan kegiatan setelah tahap II dilakukan dengan merusak elemen bakar. Seluruh kegiatan dilakukan di Laboratorium Metalurgi PEBN.

## KESIMPULAN

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa RSG-GAS telah dimanfaatkan dalam kegiatan penelitian elemen bakar reaktor daya. Beberapa kegiatan penelitian tahap awal telah dilakukan. Selain untuk penelitian, fasilitas

iradiasi di RSG-GAS dapat digunakan untuk pelatihan staf dan teknisi sebagai operator reaktor daya (Simulasi). Pelaksanaan program penelitian elemen bakar tahap lanjut melibatkan beberapa puslit di lingkungan BATAN.

## DAFTAR PUSTAKA

1. D SUNARYADI dkk : "Karakterisasi fasilitas uji daya ramp (PRTF) dengan pemanas listrik ", Seminar Sains dan Teknologi Nuklir, PPTN, Bandung 1989.
  2. D SUNARYADI dkk : "Penentuan panas gamma pada fasilitas uji daya ramp (PRTF) ", Seminar Sains dan Teknologi Nuklir, PPTN, Bandung 1990.
  3. BAKRI ARBIE, D SUNARYADI, IMAN KUNTORO : " Irradiation Facility at MPR 30 ", Seminar Internasional, USA, 1991.
  4. D SUNARYADI dkk : "Pengujian Elemen Bakar Pada Kapsul PRTF", disampaikan pada Seminar Sain dan Teknologi , PPTN ,Bandung, 21-22 Maret 1995.
  5. SUNARYADI, E. BOJARSKY, H. REISER : "Safety Report For The Power Ramp Test Facility at RSG-GAS". KfK Primär Bericht 50.01.09 p10 B, September 1988.
  6. GARRY R. THOMAS : "The Studsvik inter ramp Project : An International Power Ramp experimental Program", Proceedings of the KTG/ENS/JRC meeting on Ramping and Load Following Behaviour of Reactor Fuel, The Netherlands, 30 Nov. 1978.
  7. EICKELPASH, R. SEEPOLT : " Significant of fuel Performance during Reactor Operation ". Proceedings of the KTG/ENS/JRC meeting on Ramping and Load Following Behaviour of Reactor Fuel, The Netherlands, 30 Nov. 1978.
  8. MARKGRAF, I. RUYTER, F. SONTHEIMER : "Leistungsrampenversuche im HFR Petten", Proceedings of the KTG/ENS/JRC meeting on Ramping and Load Following Behaviour of Reactor Fuel, The Netherlands, 30 Nov. 1978.
- BOUFFIOUX, J. VAN VLIET, P. DERAMAIX , M. LIPPENS : " Potential Causes of failures associated with power changes in LWR", Proceedings of the KTG/ENS/JRC meeting on Ramping and Load Following Behaviour of Reactor Fuel, The Netherlands, 30 Nov. 1978.

## DISKUSI

Pertanyaan: Irma

- a. Faktor-faktor apa yang menyebabkan penelitian dengan BB PLTN (diperkaya) belum dapat terlaksana di PRTF ?
- b. Apakah pengaruh gamma heating dari teras RSG diperhitungkan ? Bagaimana caranya ?

Jawaban :

- a. Kesulitan penentuan parameter dasar pada pellet yang harus memenuhi kriteria fabrikasi mis : kadar U/o, kadar F, Ci dan N
- b. Ya, dengan mengukur panas yang terbentuk pada dummy fuel.

2. **Pertanyaan : Heryudo**

- a. Perbedaan antara hasil pengukuran dan literatur pada gambar 5 disebabkan oleh apa ?
- b. Berapa suhu maksimum sampel uranium alam yang diuji dalam fasilitas PRTF ?
- c. Apa tujuan penelitian elemen bakar dengan menggunakan PRTF ? Kondisi operasi PLTN mana yang akan disimulasikan oleh PRTF ?

Jawaban :

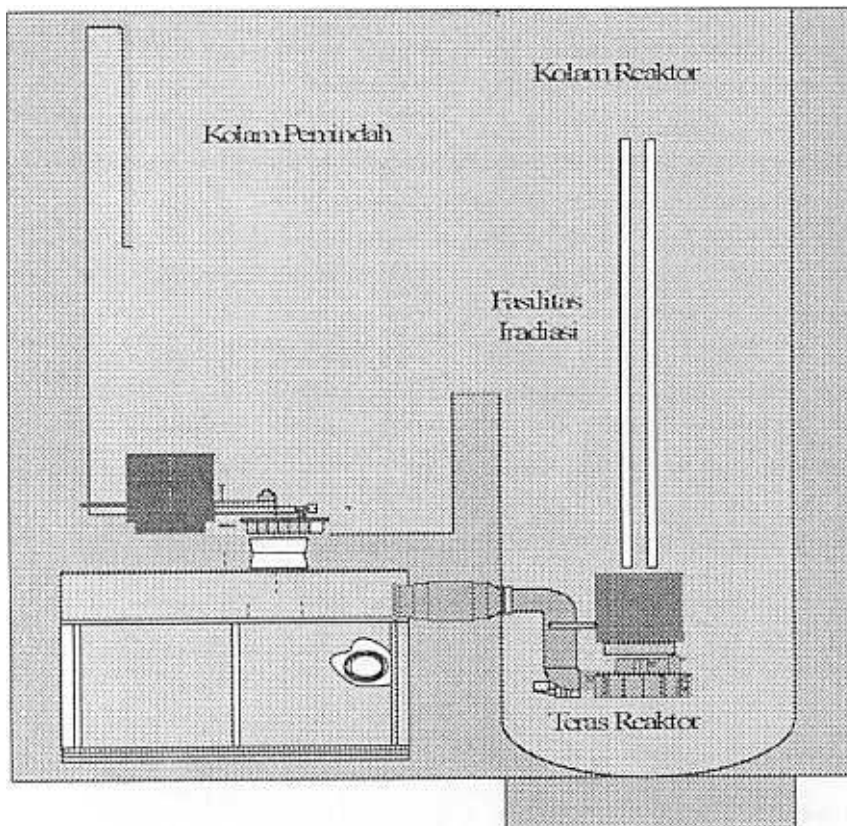
- a. Literatur menggunakan Uranium diperkaya, sedangkan hasil pengukuran menggunakan U-alam.  
 $\cong 150\text{ }^{\circ}\text{C}$  untuk U-alam
- b. Untuk kualifikasi hasil fabrikasi dan verifikasi
- c. Kondisi operasi "load following"

3. **Pertanyaan : Anthony**

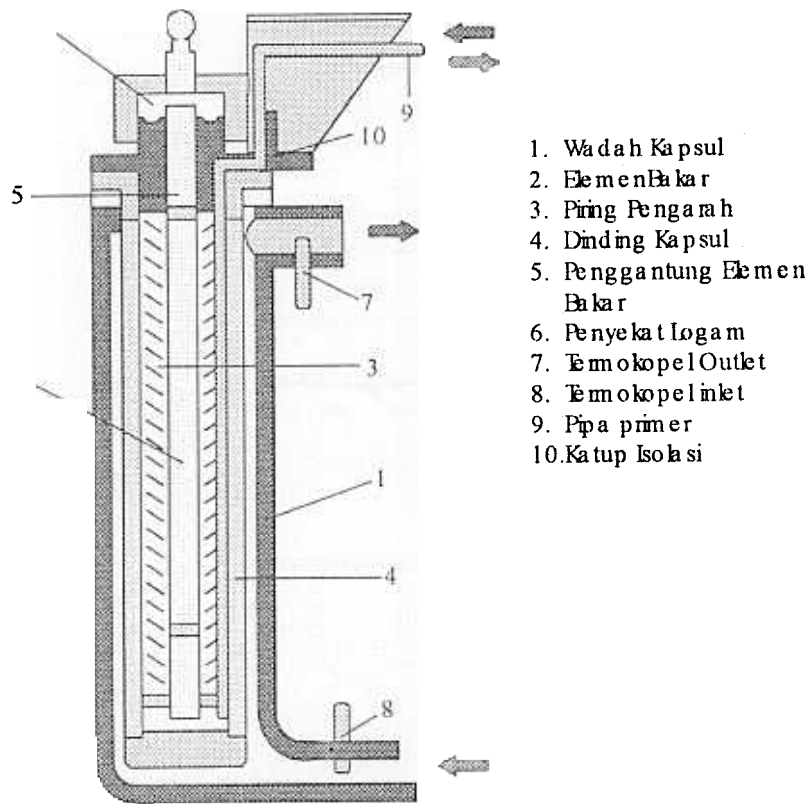
- a. Apa hasil yang didapat dari penelitian ?
- b. Bagaimana keadaan hasil bahan bakar yang telah diuji ?

Jawaban :

- a. Suatu pola dasar yang akan dipakai / berguna untuk penelitian selanjutnya
- b. Terjadi perubahan warna di daerah aktif

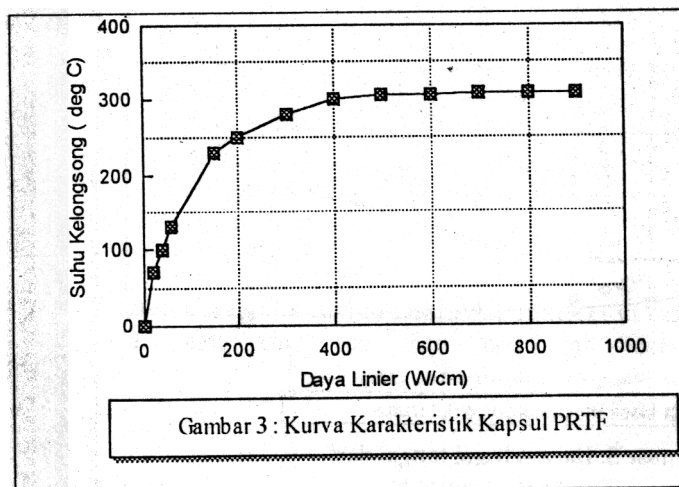


Gambar Skema fasilitas Iradiasi di kolam Reaktor

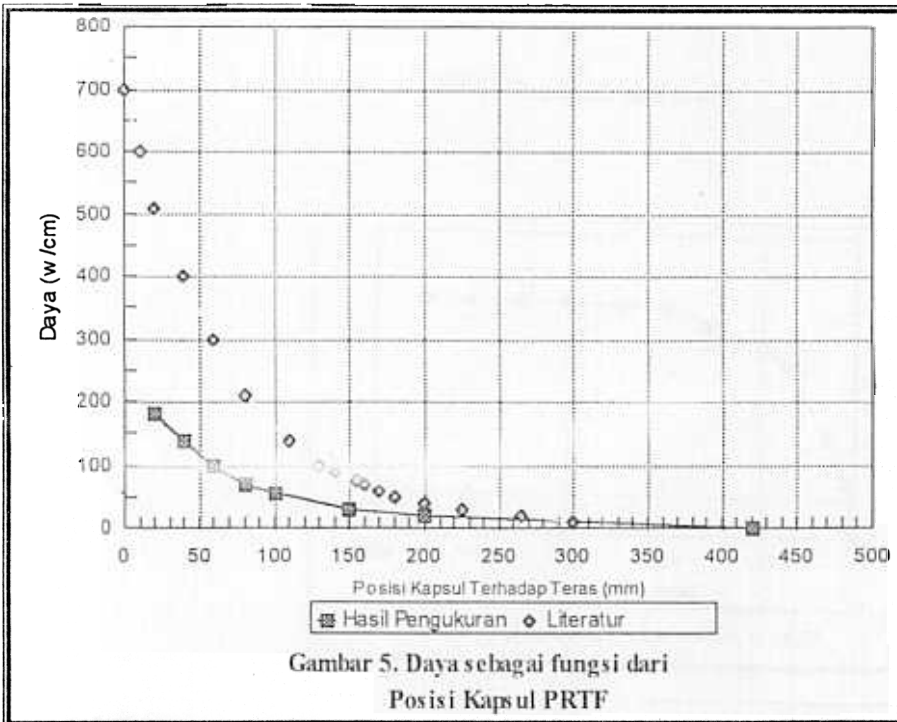
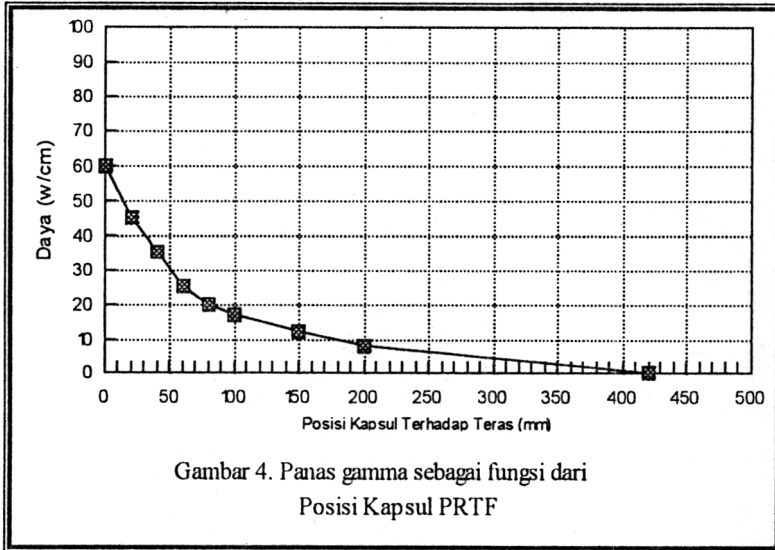


1. Wadah Kapsul
2. Elemen Bakar
3. Ping Pngarah
4. Dinding Kapsul
5. Penggantng Elemen Bakar
6. Penye kat Log am
7. Emokopel Outlet
8. Emokopel inlet
9. Pipa primer
10. Ka tup Iso lasi

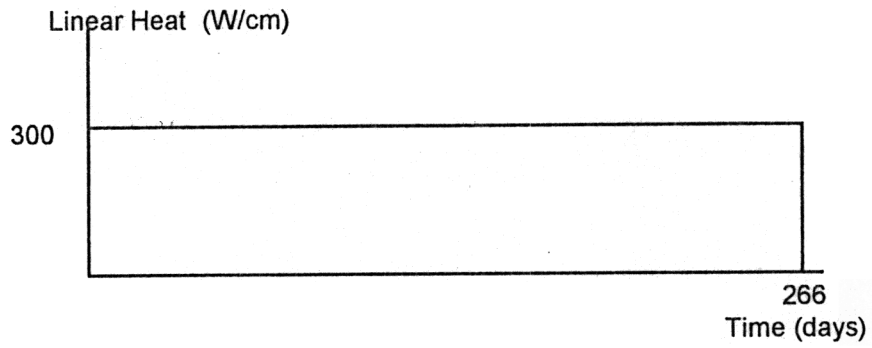
Gambar 2. Kapsul PRIF



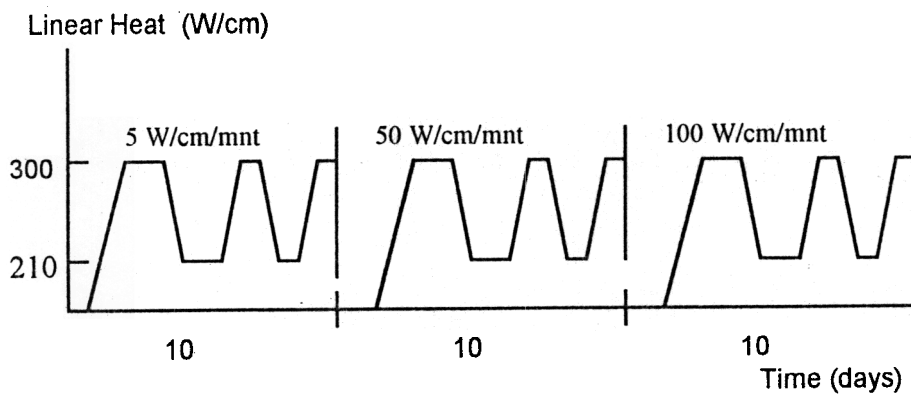
Gambar 3 : Kurva Karakteristik Kapsul PRTF







Gambar 6 : Pra-irradiasi untuk mencapai burn-up sebesar 10.000 MWD/ton-U



Gambar 7 : Iradiasi dengan daya RAMP berubah