

UJI IRADIASI PIN BAHAN BAKAR PWR

Tri Yulianto, Yusuf Nampira, Winter Dewayatna
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

ABSTRAK

Pin uji bahan bakar *Pressurized Water Reactor (PWR)* merupakan elemen bakar uji untuk litbangtek bahan bakar tipe *PWR* yang diuji di fasilitas *PRTF (Power Ramp Test Facility)* RSG GAS. Fasilitas ini digunakan untuk menguji elemen bakar reaktor daya tipe *PWR* khususnya dalam hal ketahanan elemen bakar selama terjadi perubahan tingkat daya yang berulang. Dengan fasilitas pengujian ini dapat diketahui unjuk kerja elemen bakar, kualitas elemen bakar dan interaksi bahan bakar (pelet) dengan kelongsong. Hasil pengujian yang diperoleh merupakan masukan bagi pengembangan elemen bakar yang handal. Dalam rangka persiapan uji *iradiasi* pin bahan bakar tipe *PWR* maka dilakukan persiapan yang berkaitan dengan penentuan beberapa parameter *PRTF*, pendataan fluks di daerah operasi *PRTF* dan penetapan parameter operasional *PRTF*. Disamping itu juga dilakukan penyediaan alat dukung untuk pengujian gamma scanning dan *transfer cask* untuk pemindahan bahan bakar dari reaktor ke fasilitas uji pasca *iradiasi* (*IRM*). Dari kegiatan tersebut dapat diketahui pola fluks neutron didaerah operasi *PRTF* yaitu fluks neutron pada posisi vertikal (searah dengan posisi bahan bakar di reaktor) dan ke arah horizontal (arah bahan bakar jauh atau dekat dari teras reaktor). *Iradiasi pin dummy* menghasilkan data awal tanpa bahan bakar untuk penentuan parameter uji *iradiasi* pin bahan bakar.

Kata Kunci : iradiasi, pin, bahan bakar, PWR.

PENDAHULUAN

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) telah membuat pin Bahan Bakar Uji tipe *PWR* baik yang *dummy* maupun yang berisi pelet UO_2 alam tersinter dalam rangka penelitian bahan bakar reaktor daya yang selanjutnya disebut pin uji. Penelitian bahan bakar yang dilakukan ini menggunakan uranium alam dimaksudkan untuk memperoleh data awal kinerja pin uji *PWR* di *PRTF*. Untuk selanjutnya penelitian akan menggunakan uranium diperkaya di bawah 5% untuk mendekati kondisi pengoperasian reaktor tipe *PWR*. Tujuan akhir dari penelitian bahan bakar reaktor daya ini adalah untuk mendapatkan kemampuan memfabrikasi pin bahan bakar tipe *PWR* berkinerja tinggi, diantaranya adalah tidak terjadi keretakan, *swelling* maupun *PCI* pada *burn-up* tinggi.

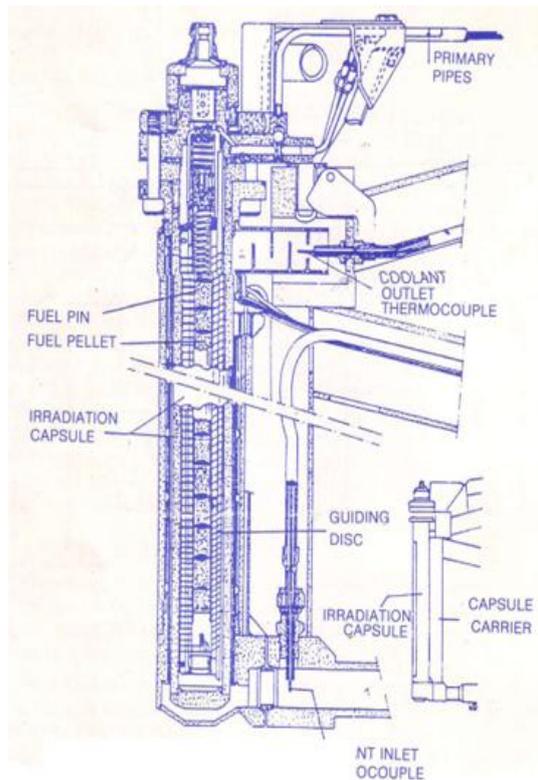
Kinerja BBN reaktor daya ditunjukkan melalui ketahanan menerima kondisi lingkungan yang serupa dengan lingkungan sebenarnya yang meliputi ketahanan menerima tekanan dan temperatur serta medan iradiasi tinggi pada reaktor daya. Kondisi lingkungan yang menyerupai kondisi lingkungan reaktor daya dapat dicapai menggunakan *PRTF (Power Ramp Test Facility)* yaitu suatu kapsul yang dapat memuat satu pin pendek yang dilengkapi dengan sistem aliran pendingin bertekanan tinggi (160 bar) di teras reaktor RSG-GAS. *PRTF* ini dapat digerakkan mendekati atau menjauhi teras untuk memberikan variasi besaran radiasi yang mensimulasikan suatu perubahan daya pada pin BBN. Setelah iradiasi dan didinginkan beberapa waktu, pin uji dipindahkan

ke instalasi radiometalurgi di PTBBN untuk mengetahui pengaruh iradiasi tersebut melalui serangkaian uji pasca iradiasi.

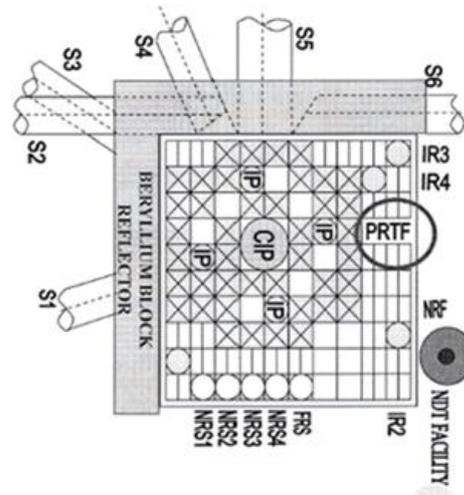
Pada *PRTF*, pin uji elemen bakar *PWR* ditempatkan dalam kapsul (Gambar 1) yang dapat digerakkan masuk ke dalam teras reaktor dan sebaliknya. Posisi terjauh pin elemen bakar terhadap teras reaktor adalah 440 mm, sedangkan posisi terdekatnya adalah 0 mm atau pin elemen bakar berada dalam teras reaktor. Posisi *PRTF* di reaktor tersebut ditunjukkan pada Gambar 2, semakin dekat jarak pin elemen bakar terhadap teras reaktor maka semakin tinggi nilai fluks neutron pada pin elemen bakar tersebut. Hal ini berarti bahwa pembangkitan panas dalam pin elemen bakar juga menjadi semakin besar. Sebaliknya, bila makin jauh jarak pin elemen bakar terhadap teras reaktor maka pembangkitan panas dalam pin elemen bakar akan semakin kecil. Kejadian tersebut ditunjukkan oleh adanya perubahan suhu air pendingin yang keluar dari kapsul.

Parameter yang menentukan unjuk kerja elemen bakar reaktor daya di dalam reaktor adalah laju pembelahan yang berlangsung dalam bahan bakar tersebut. Bila dalam bahan bakar di reaktor mengalami laju pembelahan tinggi maka panas yang dilepaskan dari bahan bakar tersebut tinggi. Sedangkan laju pembelahan tersebut dipengaruhi oleh kandungan uranium-235 perluasan bahan bakar dan fluks neutron pada daerah bahan bakar tersebut.

Inseri pin uji tipe *PWR* ini dilakukan untuk memperoleh pin teriradiasi hingga 3000 jam. Selama iradiasi dilakukan pencatatan terhadap perubahan yang terjadi pada kapsul *PRTF*. Kondisi pin teriradiasi kemudian akan diperiksa baik dalam kondisi baik maupun rusak akibat iradiasi di teras RSG GAS.



Gambar 1. Kapsul PRTF



Gambar 2. Posisi PRTF pada teras reaktor

METODOLOGI

Guna penyusunan prog eksperimen bahan bakar di *PRTF*, maka perlu untuk mengetahui pola *fluks neutron* pada beberapa posisi *PRTF* yang akan dioperasikan. Pengukuran pola *fluks neutron* tersebut dilakukan baik pada posisi vertikal (Gambar 3) yaitu searah dengan posisi panjang bahan bakar dan posisi horisontal (Gambar 4) dengan arah bahan bakar jauh atau dekat dari teras reaktor. Pengukuran fluks ini dilakukan dengan mengiradiasi keping emas dan melakukan pencacahan radioaktifitas terhadap emas yang telah terpapar neutron selama 600 detik.



Gambar 3. *Stringer fluks neutron vertikal*



Gambar 4. *Stringer fluks neutron horisontal*

Iradiasi *pin dummy* dilakukan selama 350 jam untuk melihat unjuk kerja *PRTF* sebagai fasilitas uji *iradiasi* elemen bakar reaktor daya. Sesuai dengan penggunaannya tersebut maka fasilitas ini mempunyai bagian-bagian yang mirip dengan reaktor, misalnya tabung yang mampu menahan tekanan hingga 175 bar, mempunyai sistem pendingin primer dan pendingin sekunder. Di samping fasilitas tersebut, terdapat beberapa parameter terkait operasi *PRTF* yang dapat dipantau diantaranya temperatur air pendingin, tekanan tabung dan radioaktivitas air primer. Beberapa parameter operasi *PRTF* ditunjukkan dalam Tabel 1. Saat iradiasi *pin dummy* elemen bakar dilakukan pemantauan parameter tersebut.

Tabel 1. Parameter operasi dan nilai operasional

| Parameter Operasi | Nilai Operasional |
|--------------------------------------|--------------------|
| Daya reaktor (MW) | 0-15 |
| Posisikapsul CG001 (mm) | 0-440 |
| Tekanan tabung BB004 CP016 (bar) | 165-175 |
| Tekanan tabung BB002 CP008 (bar) | 160 |
| Tekanan sist. primer CP009(bar) | 160 |
| Tekanan sist. primer CP010(bar) | 160 |
| Tekanan sist. primer CP006(bar) | 160 |
| Laju alir air primer CF001 (L/jam) | 3,6 |
| Beda tekanan pompa primer CP012(bar) | 2,5 |
| Volume air tabung BB002 CL002 (L) | >0,5 |
| Aktivitas air primer CR001 (c/detik) | <2.10 ⁴ |

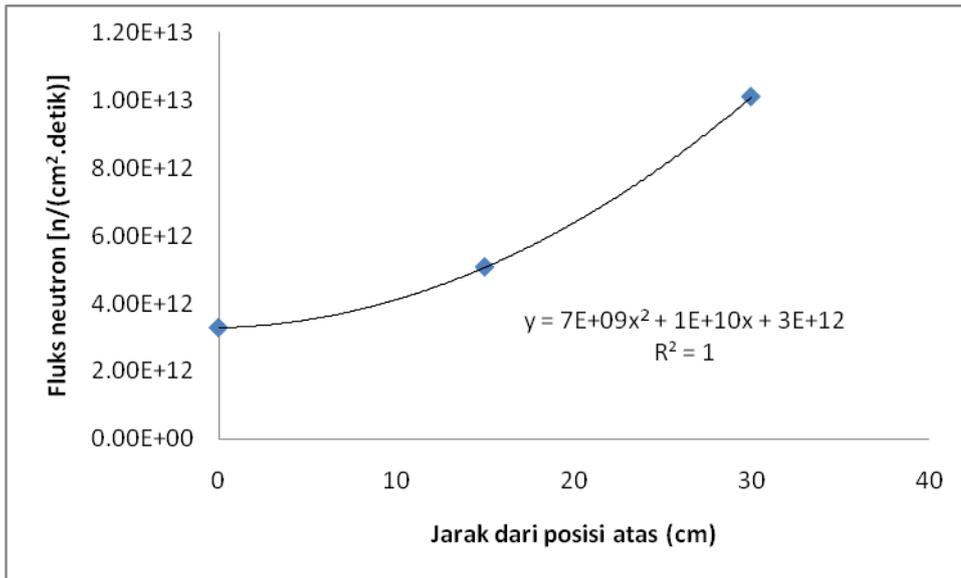
| | |
|---|------|
| Lajualir air sekunder 1 CF002 (L/jam) | 750 |
| Lajualir air sekunder 2 CF006 (L/jam) | 750 |
| Tekanan air sekunder 1 CP003 (bar) | >0,6 |
| Tekanan air sekunder 1 CP024 (bar) | >0,6 |
| Suhu inlet air sekunder red.1 CT010 ($^{\circ}$ C) | <50 |
| Suhu inlet air sekunder red.2 CT011 ($^{\circ}$ C) | <50 |
| Suhu inlet air sekunder red.3 CT012 ($^{\circ}$ C) | <50 |
| Suhuotlet air sekunder red.1 CT020 ($^{\circ}$ C) | <80 |
| Suhuotlet air sekunder red.2 CT021 ($^{\circ}$ C) | <80 |
| Suhuotlet air sekunder red.3 CT022 ($^{\circ}$ C) | <80 |
| Beda suhu air sekunder red.1 CT920 ($^{\circ}$ C) | <23 |
| Beda suhu air sekunder red.2 CT921 ($^{\circ}$ C) | <23 |
| Beda suhu air sekunder red.3 CT922 ($^{\circ}$ C) | <23 |
| Rotameter 1 (L/jam) | 750 |
| Rotameter 2 (L/jam) | 750 |

HASIL DAN PEMBAHASAN

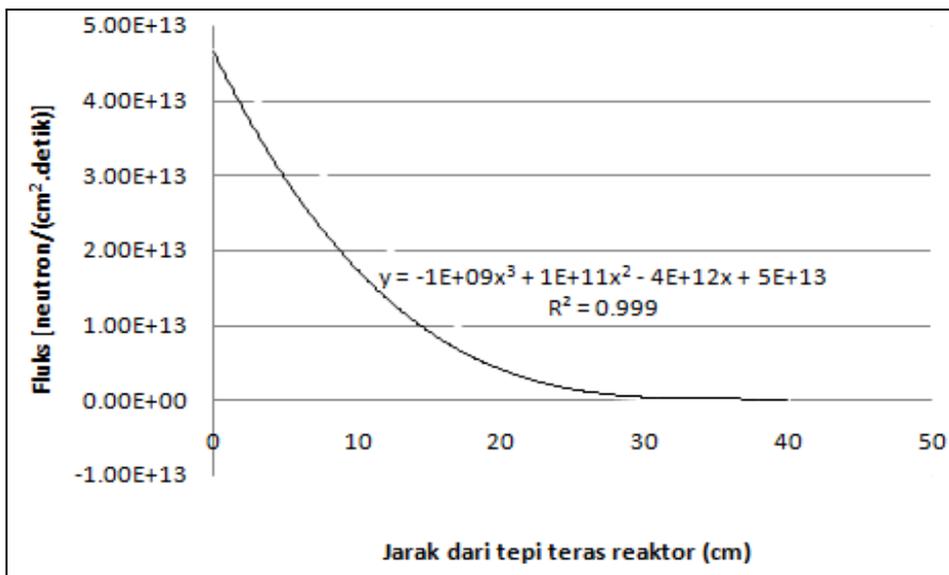
Hasil pengukuran yang menunjukkan nilai *fluks neutron* pada beberapa posisi PRTF ditunjukkan dalam Tabel 2. *Fluks neutron* di posisi atas yang sejajar dengan ujung atas bahan bakar reaktor mempunyai *fluks* paling rendah dibandingkan dengan *fluks neutron* di bawahnya. *Fluks neutron* pada posisi vertikal (searah dengan posisi bahan bakar di reaktor) menunjukkan hubungan kuadrat terhadap kedalamannya, hubungan tersebut ditunjukkan pada Gambar 5. Sedangkan ke arah horizontal makin jauh dari teras makin kecil *fluks neutron*, hubungan tersebut mengikuti persamaan polynomial pangkat 3, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 6.

Tabel 2. Hasil pengukuran *fluks neutron* arah vertical dan horisontal

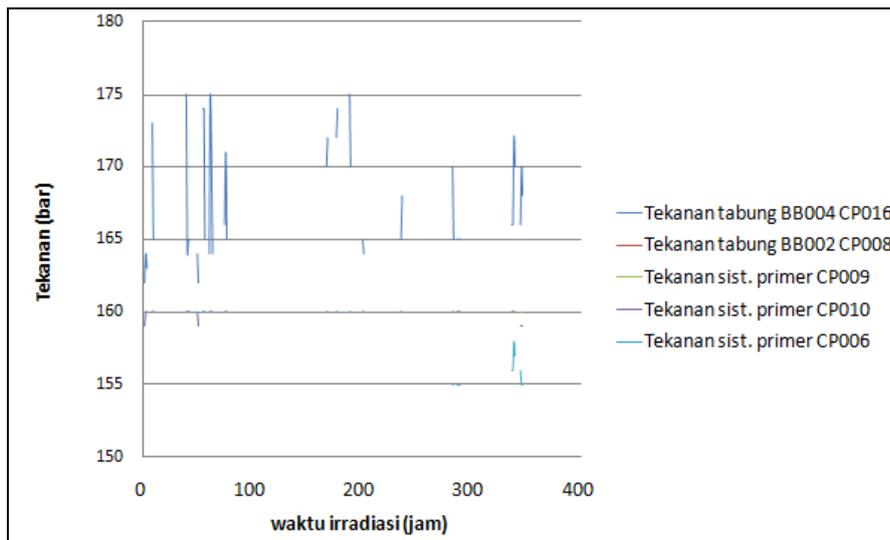
| No | Posisi Dudukan Foil | Posisi Foil | <i>Fluks Neutron Thermal</i> (N/(cm ² .detik)) | Ketidakpastian Pengukuran (%) |
|----|---------------------|-------------|---|-------------------------------|
| 1 | Vertikal | Atas | 3,277E+12 | 4,44 |
| 2 | Vertikal | Tengah | 5,07E+12 | 4,61 |
| 3 | Vertikal | Bawah | 1,01E+13 | 4,57 |
| 4 | Horisontal | Depan | 4,651E+13 | 4,68 |
| 5 | Horisontal | Tengah | 3,741E+12 | 4,47 |
| 6 | Horisontal | Belakang | 3,14E+10 | 4,71 |



Gambar 5. Hubungan antara jarak posisi ke bawah terhadap *fluks neutron*



Gambar 6. Hubungan antara jarak posisi ke arah horisontal terhadap *fluks neutron*

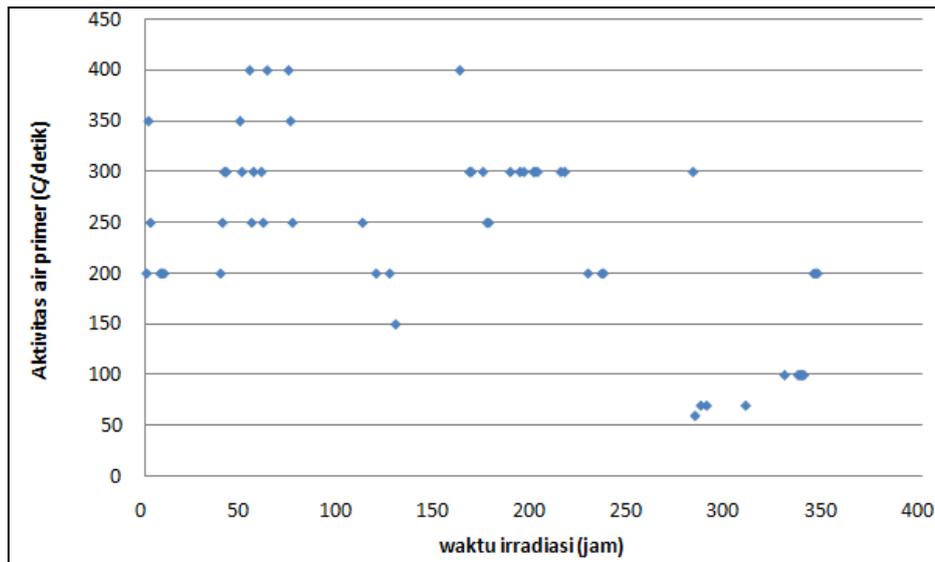


Gambar 7. Pola tekanan pada tabung dan sistem primer selama iradiasi *pin dummy*

Hasil pemantauan tekanan tabung dan tekanan pada sistem primer selama iradiasi terlihat pada gambar 7. Grafik pada gambar 7 tersebut menunjukkan bahwa tekanan tabung dan tekanan pada sistem primer selama iradiasi relatif stabil.

Hasil pemantauan air pendingin sekunder menunjukkan temperatur air masukan berada dalam rentang 37°C s/d 41°C dan temperatur air keluaran berada dalam rentang 38°C s/d 42°C dengan kenaikan temperatur antara 1°C s/d 2°C. Perbedaan temperatur tersebut sangat kecil karena pada iradiasi *pin dummy* yang terjadi hanya reaksi aktivasi neutron bukan reaksi fisi. Reaksi aktivasi *neutron* tidak menyebabkan pembangkitan energi yang signifikan untuk menyebabkan kenaikan temperatur air pendingin.

Radioaktivitas air pendingin primer berada diantara 150 cacah/detik sampai dengan 400 cacah/detik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Hasil pemantauan tersebut masih dalam satuan alat dan belum tertelusur pada Satuan Internasional, oleh sebab itu alat pemantau ini perlu dilakukan kalibrasi. Data yang diperoleh dari uji iradiasi *pin dummy* dapat digunakan sebagai radioaktivitas latar dalam pengujian prototipe pin elemen bakar.



Gambar 8. Pola radioaktivitas selama proses iradiasi *pin dummy*

Kegiatan pengujian pascairradiasi di IRM masih dalam bentuk persiapan fasilitas dan dokumen pengujian. Dalam kegiatan ini telah dilakukan penyiapan alat dukung diantaranya dudukan sampel *pin* untuk penyapuan gamma (Gambar 9). Di samping itu juga telah disiapkan *transfer cask* untuk pemindahan pin elemen bakar dari reaktor ke instalasi radiometalurgi (Gambar 10).



Gambar 9. Dudukan bahan bakar untuk penyapuan gamma



Gambar 10. *Transfer cask* pin bahan bakar

KESIMPULAN

1. Pola *fluks neutron* operasi *PRTF* arah vertikal dan *horizontal pin* elemen bakar telah diperoleh.

2. Iradiasi *pin dummy* bahan bakar PWR telah dilakukan selama 350 jam pada tekanan operasi yang relatif stabil (165-175) bar dengan kenaikan temperatur antara 1°C sampai dengan 2°C.
3. Selama operasi *PRTF*, radioaktivitas air pendingin primer berada antara 150 cacah/detik sampai dengan 400 cacah/detik. Harga ini masih jauh di bawah harga maksimumnya ($2 \cdot 10^4$ cacah/detik)
4. Untuk melanjutkan uji pascairadiasi telah disiapkan dudukan pin bahan bakar untuk *gamma scanning* dan *transfer cask* pin bahan bakar untuk pemindahan pin elemen bakar dari reaktor ke instalasi radiometalurgi

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, *Power Ramp Test And Related Facilities*.
2. <http://www.batan.go.id/index.php/id/fasilitas-prsg>, *Power Ramp Test Facility (PRTF)*.
3. Hari Sudirdjo, (2011), Uji Fungsi Power Ramp Test Facility (PRTF) RSG-GAS Paska Perbaikan (Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, Pusat Teknologi Akselerator Dan Proses Bahan 2011, ISSN 1410-8178).