

ANALISIS PENGARUH DAYA UNTUK PENGUJIAN PIN BAHAN BAKAR TIPE PWR DI PRTF RSG-GAS

Edy Sulistyono, Tri Yulianto

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN), BATAN
Kawasan Puspiptek-Serpong, Tangerang Selatan 15314, Banten
e-mail: edysulis@batan.go.id
(diterima 25-9-2013, disetujui 06-12-2013)

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH DAYA UNTUK PENGUJIAN PIN BAHAN BAKAR TIPE PWR DI PRTF RSG-GAS. Analisis pengaruh daya untuk pengujian pin bahan bakar tipe *Pressurized Water Reactor* (PWR) di *Power Ramp Test Facility* (PRTF) RSG-GAS telah dilakukan dan dianalisis untuk mengetahui pengaruh daya terhadap unjuk kerja pin bahan bakar selama diiradiasi. Fenomena pengaruh daya yang dibangkitkan dari fasilitas pengujian PRTF PRSG-GAS sangat signifikan terhadap unjuk kerja bahan bakar. Untuk ini perlu disiapkan program jaminan mutu, fasilitas fabrikasi pin bahan bakar dan analisis unjuk kerja bahan bakar selama pengujian di PRTF RSG-GAS. Program jaminan mutu selama fabrikasi pin bahan bakar dan pengujian hasil selama pra iradiasi antara lain spesifikasi pin bahan bakar tipe PWR, gambar kerja, prosedur, instruksi kerja, lembar kendali. Persiapan fasilitas pengujian PRTF telah dilakukan uji fungsi sistem operasi dan sistem kendali. Prediksi dan analisis unjuk kerja pin bahan bakar selama iradiasi dilakukan dengan menggunakan program kode komputer FEMAXI-V. Kode ini mampu memprediksi pengaruh daya terhadap unjuk kerja termal dan mekanik secara kualitatif, cukup detail selama kondisi tunak dan transien. Telah dilakukan fabrikasi pembuatan pin *dummy* sebagai bahan uji kemampuan fabrikasi di Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) dan telah diuji di PRTF dengan tekanan operasi 160 bar dengan hasil baik tidak bocor. Persiapan pembuatan pelet telah berhasil dibuat pelet bahan bakar UO_2 sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan sebagai bahan isian pin elemen bakar tipe PWR. Telah dilakukan analisis dengan simulasi posisi pin pada jarak 0; 40; 60; 100; 200; 300; 440 mm terhadap teras untuk menentukan daya (*Linear Heat Rate/LHR*) yang dibangkitkan menunjukkan bahwa makin tinggi daya yang diberikan atau makin dekat posisi pin terhadap teras reaktor makin besar *burn-up* yang dihasilkan.

Kata Kunci: elemen bakar nuklir, pin, PWR.

ABSTRACT

POWER EFFECT ANALYSIS FOR THE IRRADIATION TEST OF PWR FUEL PIN IN THE POWER RAMP TEST FACILITY OF RSG-GAS REACTOR. An analysis on the effect of power for the preparation of irradiation test of PWR fuel pin in the power ramp test facility (PRTF) of RSG-GAS Reactor had been conducted. The power generated in the reactor would result in a significant effect on the fuel performance. In the preparation of quality assurance programs and of facilities for the prediction of fuel behavior was necessary. Among the quality assurance measures performed were the determination of PWR fuel pin specifications and the preparation of technical drawings, procedures, instructions, and control sheets. Works for the preparation of facilities were also conducted. To prediction and analyze the fuel behavior during irradiation, a FEMAXI-V code was utilized. The code was capable of qualitatively predicting the power effect on the thermal and the mechanical performances of the fuel in details at both steady and transient states. A dummy pin of a PWR fuel had been

manufactured in the Experimental Fuel Element Installation (EFEI) of PTBN-BATAN to be irradiated in the PRTF at a pressure of 160 bar. There was no leak found in the dummy pin. UO₂ pellets that were in accordance with PWR fuel requirements had also been manufactured in the EFEI. A simulation to determine the linear heat rate (LHR) had been conducted on a pin at a certain distance from the core. The distances observed were 0, 40, 60, 100, 200, 300, and 440mm. It could be seen that the higher the power or the shorter the distance, the burnup would be greater.

Keywords: nuclear fuel elements, pin, PWR.

PENDAHULUAN

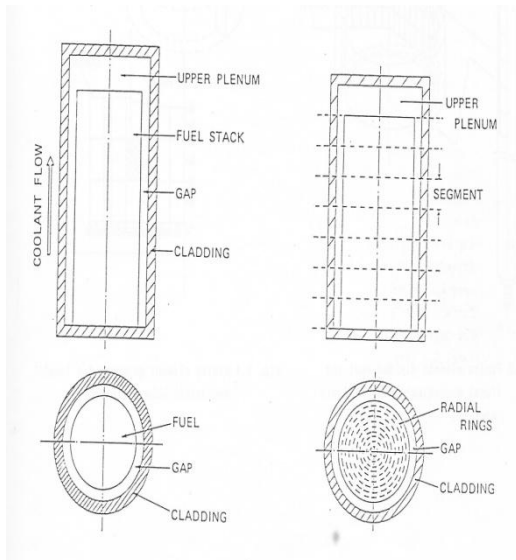
Analisis ini berkaitan dengan pengujian bahan bakar pin tipe PWR mulai dari perencanaan desain pin, fasilitas uji, fasilitas fabrikasi dan pemodelan analisis pengaruh daya terhadap unjuk kerja bahan bakar. Hal ini dilakukan sebab pernah ditemukan kejadian terjadi kegagalan operasi seperti di reaktor air ringan (LightWaterReactors, LWR) karena terjadi interaksi antara pelet dan kelongsong (PelletCladdingInteraction, PCI) di awal tahun 1970 agar kejadian seperti tersebut diatas dapat dihindari. Penelitian dan pengembangan program dengan topik seperti ini masih dilakukan di seluruh dunia dalam upaya untuk meningkatkan pemahaman tentang mekanisme yang dapat menyebabkan terjadi kegagalan karena interaksi antara pelet dan kelongsong^[1].

Perencanaan mutu pin bahan bakar uji tipe PWR sebagai bahan uji unjuk kerja elemen bakar yang akan dilakukan di Power Ramp Test Facility (PRTF) – Reaktor Serba Guna GAS^[2] mengacu pada pemenuhan persyaratan-persyaratan yang telah ditetapkan melalui inspeksi dan pengujian terhadap bahan, dimensi terhadap kesesuaian spesifikasi yang telah ditentukan.

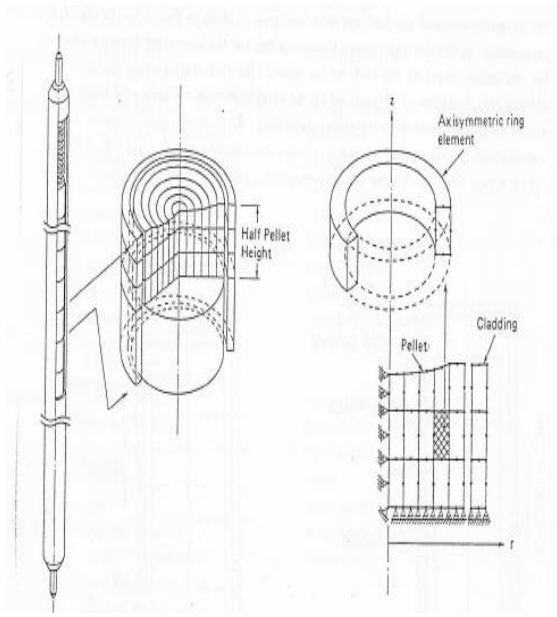
Dalam pembuatan pin bahan bakar uji memerlukan suatu dokumen yang dapat dipakai sebagai dasar acuan kerja dalam pelaksanaan pembuatan bahan bakar uji dengan penyesuaian ukuran dimensi kapsul PRTF. Dimensi kapsul yang dimiliki cukup kecil, presisi dan persyaratan yang sangat ketat yang harus dipenuhi terhadap analisis keselamatan.

Untuk meramalkan atau memprediksi fenomena fisika, kimia dan mekanik pada elemen bakar diperlukan suatu model^[3]. Pemodelan elemen bakar dibutuhkan bentuk struktur yang dapat memberikan pandangan secara detail dan memungkinkan dapat difabrikasi guna proses uji iradiasi. Untuk pemecahan permasalahan yang sangat kompleks, maka muncul teori peramalan dengan menggunakan kode komputer yang sering disebut “*fuel rod performance codes*”.

Kode komputer biasanya diklasifikasikan menjadi dua yaitu unjuk kerja secara keseluruhan dan secara lokal dari bahan bakar. Sebagai contoh kode komputer MIPAC, FEAST, FEMAXI^[4] mampu mengevaluasi per bagian dari bahan bakar maupun interaksi antara bahan bakar dan kelongsong. Salah satu contoh pemodelan analisis untuk PCI LWR menggunakan kode komputer yang dapat memberikan prediksi secara kualitatif, cukup detail terhadap bahan uji selama iradiasi adalah program FEMAXI-V^[3]. Program FEMAXI-V adalah suatu program yang mampu untuk memprediksi unjuk kerja termal dan mekanik terhadap pin bahan bakar uji selama kondisi tunak dan transien. FEMAXI-V dapat menganalisis unjuk kerja dari pin bahan bakar secara keseluruhan sepanjang pin dan secara lokal dari sebagian kecil dari pin bahan bakar seperti terlihat dalam model geometri^[4] pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Model Geometri Elemen Terbatas



Gambar 2. Model Axisimetrik Elemen Terbatas

Program FEMAXI-V ini mampu menganalisis proses termal dan mekanikal baik pada pelet, kelongsong bahkan pada satu pin utuh. Atas dasar pemikiran tersebut diharapkan dapat melaksanakan kegiatan pengujian pin bahan bakar uji untuk tipe PWR, dapat mengidentifikasi dan memprediksiunjuk kerja bahan bakarmenggunakan program komputer untuk mengetahui fenomena bahan bakar uji pin

sebelum dan sesudah diiradiasi terhadap proses fisika, mekanik dan kimia serta diperoleh parameter operasi terbaik atas kinerja pin elemen bakar. Hasil analisis yang diperoleh sebagai dasar pengoperasian uji fungsi fasilitas PRTF aman dari segi keselamatan reaktor dan sebagai informasi kinerja elemen bakar hasil fabrikasi.

Pada penelitian ini sebagai awal perhitungan analisis menggunakan program FEMAXI-V untuk membandingkan kondisi operasi *steady state* (tunak) dengan kondisi operasi transien terhadap pengaruh daya yang terbangkitkanpada pin bahan bakar bila diiradiasi di reaktor, sehingga dapat memberikan informasi dan memprediksi secara rinci dampak proses termal dan mekanik terhadap pin bahan bakar uji sebelum dan selama dikenai uji iradiasi. Kemampuan analisis dari programFEMAXI-V dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Proses termal dan proses mekanikal dalam program FEMAXI

Material	Proses termal	Proses mekanikal
Pelet	<i>Heat conduction</i>	<i>Thermal expansion</i>
	<i>Densification</i>	<i>Elasticity</i>
	<i>Swelling</i>	<i>Plasticity</i>
	<i>Fission gas release</i>	<i>Creep</i>
	<i>Creep</i>	<i>Cracking</i>
	<i>Cracking</i>	<i>Swelling</i>
Kelongsong	<i>Initial relocation</i>	<i>Hot pressing</i>
	<i>Elasticity</i>	<i>Thermal expansion</i>
	<i>Plasticity</i>	<i>Elasticity</i>
	<i>Creep</i>	<i>Plasticity</i>
	<i>Heat conduction</i>	<i>Creep</i>
Elemen Bakar	<i>Thermal expansion</i>	<i>Cracking</i>
	<i>Gap heat transfer</i>	<i>Mechanical Interaction</i>
	<i>Gas pressure</i>	
	<i>Surface heat transfer</i>	

II. TATA KERJA

2.1. Analisis pengujian pin bahan bakar terhadap program jaminan mutu

Perancangan dalam pembuatan pin bahan bakar uji tipe PWR yang akan diuji diperlukan dokumen dalam rangka pemenuhan persyaratan maka perlu dirancang dokumen jaminan mutu antara lain spesifikasi pin bahan bakar uji, gambar kerja dan prosedur.

2.2. Analisis fasilitas uji PRTF

Identifikasi kesiapan fasilitas pengujian pin bahan bakar uji tipe PWR dan sistem operasi perangkat yang ada serta kebutuhan dokumen sistem mutu yang diperlukan selama uji iradiasi pin.

2.3. Analisis fasilitas fabrikasi pin bahan bakar uji

Identifikasi kesiapan fasilitas fabrikasi pin bahan bakar uji dan sistem kendali mutu selama pembuatan pin perlu dilakukan untuk menunjukkan kemampuan dan penguasaan teknologi fabrikasi pin bahan bakar nuklir tipe PWR.

2.4. Analisis menggunakan program kode komputer FEMAXI-V

Untuk memprediksi fenomena unjuk kerja termal dan mekanik sebelum dan selama pin diiradiasi diperlukan suatu model yang dapat memberikan informasi secara detail. Salah satu program yang dapat memberikan informasi dalam pemecahan permasalahan fabrikasi maupun operasi dengan menggunakan kode komputer FEMAXI-V. Program perlu dilakukan uji coba pengoperasian sistem sampai menghasilkan informasi data sesuai dengan yang diharapkan.

2.5. Analisis pengaruh daya terhadap unjuk kerja pin bahan bakar

Identifikasi pengaruh daya terhadap unjuk kerja pin bahan bakar uji hasil fabrikasi dari

IEBE dengan menggunakan program FEMAXI-V sebelum pin tersebut diiradiasi di PRTF. Hasil pengamatan dan perhitungan panas yang dapat diambil oleh air pendingin sekunder diperoleh informasi daya yang dipakai sebagai *input* data.

2.6. Analisis secara umum terhadap pengujian pin tipe PWR di PRTF RSG-GAS

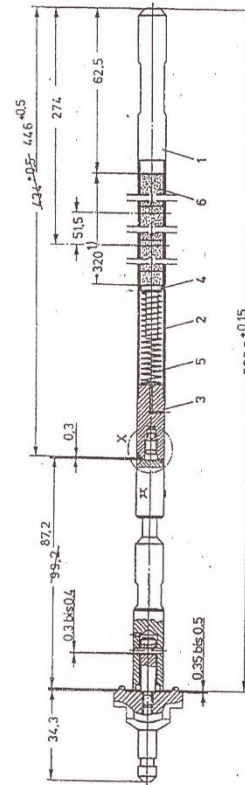
Secara umum pengujian pin tipe PWR dianalisis, dikaji dan evaluasi mulai dari kelengkapan sistem dokumentasi, penguasaan teknologi fabrikasi dalam pembuatan pelet, pembuatan komponen pendukung, perakitan, kendali mutu, kajian keselamatan dan keamanan jika pin diiradiasi di *Power Ramp Test Facility* (PRTF).

2.7. Proses pengolahan data

- Data *input* pin yang digunakan adalah data hasil fabrikasi pin bahan bakar uji yang dibuat di Bidang Bahan Bakar Nuklir (B3N)- PTBN atau data simulasi. Data hasil fabrikasi dapat ditunjukkan dalam Tabel 2.
- Pengolahan data dengan program FEMAXI-V,
- Simulasikan *input* data daya (*linear heat rate*) kedalam program untuk kondisi tunak (*steady state*).
- Output* data yang diperoleh dilakukan kajian dan analisis unjuk kerja pin hasil fabrikasi terhadap sifat termal, selanjutnya hasil kajian dapat dipakai sebagai bahan bahasan, evaluasi dan informasi perbaikan dalam pengoperasian fasilitas PRTF maupun fabrikasi elemen bakar.

Tabel 2. Data hasil fabrikasi pin bahan bakar uji

No	Material	Hasil Ukur
1	Diameter Pelet	8,9 mm
2	Panjangpelet	9,4 mm
3	Diameter dishpelet	7,7 mm
4	Kedalamandishataspelet	0,32 mm
5	Kedalamandishbawahpelet	0,32 mm
6	Fraksionaldensitas pelet	0,928
7	grain size	6,9 μm
8	Surface Rougnesspelet	0,74 μm
9	Beratpelet	6,04 gram
10	Berat total pelet	205,27 gr
11	Diameter luarkelongsong	10,75 mm
12	Diameter dalamkelongsong	9,33 mm
13	Surface Rougness clad	0,30 μm
14	Panjang kelongsong	366,5 mm
15	Panjangtotal pin	446,3 mm
16	volume plenum	2376,4 mm^3
17	Tekanan gas He	1 bar
18	Leak test He	$< 10^{-8}$ mbar cc/dtk



Gambar 3. Sketsa pin bahan bakar uji

Berdasarkan identifikasi contoh bahan bakar uji dan gambar kerja (Gambar 3) yang ada difasilitas disusunlah dokumen program jaminan mutu dan spesifikasi sesuai standar ASTM, dilanjutkan dokumen pendukung lainnya. Berdasarkan dokumen tersebut dicoba diimplementasikan, dilakukan revisi dokumen untuk penyempurnaan prosedur dan instruksi kerja disesuaikan dengan kriteria penerimaan dan peralatan yang ada.

Dari hasil penyusunan dokumen persyaratan yang diperlukan seperti diatas, telah disusun satu dokumen spesifikasi pin bahan bakar uji, gambar kerja dan 11 prosedur kerja untuk bahan bakar nuklir tipe PWR yang disusun mulai dari deskripsi proses produksi pembuatan pelet UO_2 , proses fabrikasi kelongsong, proses pembuatan komponen struktur hingga perakitan ditunjukkan pada Gambar 4.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis pengujian terhadap program jaminan mutu

Daripersiapan rancang bahan bakar uji untuk bahan bakar tipe PWR yang akan diuji di PRTF RSG-GAS, diperlukan dokumen jaminan mutu dalam rangka pemenuhan persyaratan pengujian pin bahan bakar uji, dibagi atas :

1. Spesifikasi PIN BahanBakarUjitipe PWR
2. Program JaminanMutu PIN BahanBakarUjitipe PWR
3. Prosedursistem, prosedurteknis
4. InstruksiKerja
5. Lembarkendali/ rekamanmutu
6. Dokumen dukung lain terkait kegiatan



Gambar 4. Dokumen jaminan mutu

3.2. Analisis fasilitas uji PRTF

Dari hasil identifikasi pihak PRSG-GAS terhadap fasilitas dan sistem operasi perangkat yang ada dan kebutuhan dokumen sistem mutu yang diperlukan selama uji iradiasi pin seperti sistem pembawa kapsul, sistem primer, sistem sekunder dan sistem penyedia tekanan secara keseluruhan baik mekanik, elektrik maupun instrumentasi telah dilakukan perbaikan dan telah dilakukan uji fungsi. Fasilitas uji PRTF dapat dilihat pada Gambar 5.

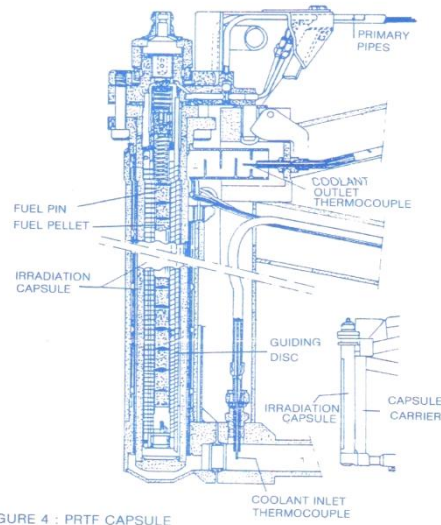


FIGURE 4 : PRTF CAPSULE

(b) Skema Kapsul PRTF



(c) Kapsul PRTF

Gambar 5. Fasilitas pengujian *Power Ramp Test Facility* (PRTF). a. Teras Reaktor, b. Skema Kapsul PRTF, c. Kapsul PRTF

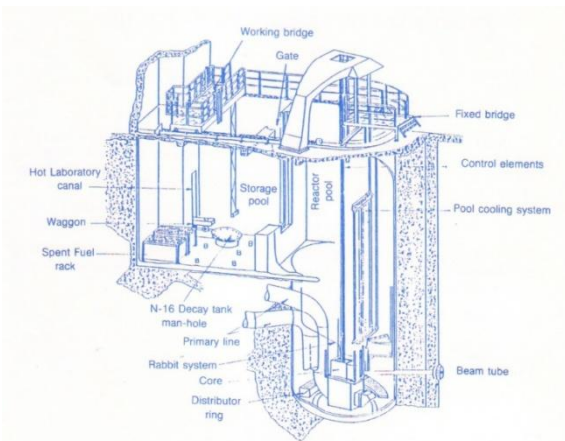


FIGURE 1 : ISOMETRIC VIEW OF REACTOR POOL

(a) Teras Reaktor

Kebutuhan dokumen sistem mutu pengoperasian peralatan pihak PRSG-GAS telah menyusun Laporan Analisis Keselamatan (LAK) sebagai kelengkapan persyaratan perijinan operasi dari BAPETEN. Hasil pengamatan nilai panas yang bangkit dalam penelemen bakar pada setiap posisi, dapat ditunjukkan pada Tabel 3

Tabel3. Panas terbangkitkan dalam pin elemen bakar.

Posisi, (mm)	Suhu masuk, (°C)	Suhu keluar, (°C)	Panas (KW)
440	36,5	36,5	0
200	36,5	37,5	1,38
60	37	39	2,76
20	37	40	4,14
0	37	40	4,14
18	37	40	4,14
40	37	39,5	3,45
100	36,7	38,5	2,48
300	36,7	38	1,8

Hasil perhitungan besarnya daya (*linear heat rate, LHR*) yang terbangkitkan untuk setiap posisi dapat ditunjukkan pada Tabel 4. Terlihat semakin dekat teras, daya meningkat dan data tersebut sebagai dasar variasi daya dalam perhitungan selanjutnya.

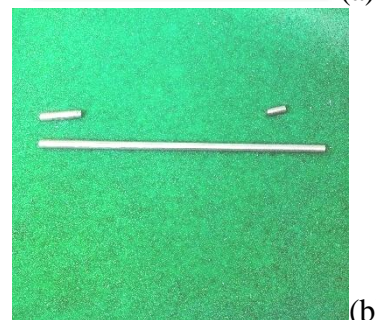
Tabel 4. Daya (*Linear Heat Rate, LHR*) terbangkitkan pada setiap posisi.

Posisi(mm)	Daya (W/cm)
0	129,375
18	129,375
20	129,375
40	107,813
60	86,250
100	77,500
200	43,125
300	56,250
440	0,000

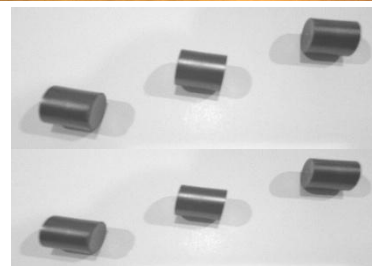
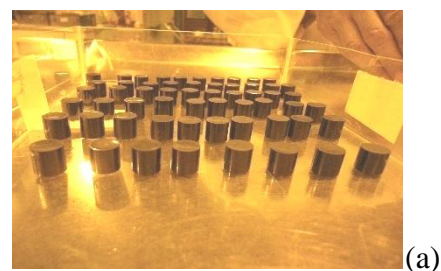
3.3. Analisis fasilitas fabrikasi pin bahan bakar uji

Berdasarkan dokumen jaminan mutu telah dilakukan identifikasi kesiapan peralatan dan telah diimplementasikan dalam pembuatan pin bahan bakar *dummy* (tanpa zat radioaktif) mulai dari kelongsong, tutup atas, tutup bawah ditunjukkan pada Gambar 6. Sedangkan untuk persiapan pembuatan pin

yang sebenarnya telah disiapkan pelet UO_2 yang ditunjukkan pada Gambar 7 a dan b.



Gambar 6. (a) Komponen pendukung, (b) kelongsong, (c) pin bahan bakar uji dummy



Gambar 7. Pelet UO_2 . (a) mentah, (b) sinter.



Gambar 8. Pin *dummy* elemen bakar uji tipe PWR

Hasil fabrikasi pin elemen bakar *dummy* (Gambar 8) telah diuji kebocorannya dengan dua cara yaitu :

1. Uji kebocoran menggunakan Helium *leak test* hingga $< 10^{-8}$ mbar cc/detik, dengan hasil baik dan tidak bocor
2. Uji kebocoran menggunakan perangkat uji di PRTF dengan parameter operasi pada tekanan tabung gas helium rata-rata 165 bar, tekanan tabung tekanan air primer sisi pompa 160 bar, laju alir primer 3,5 l/jam, laju alir sekunder 750 l/jam dan suhu air sekunder masuk – keluar < 50 °C selama 4 hari (setiap hari 7 jam operasi) dengan hasil baik tidak bocor dan tidak terjadi perubahan fisik/ cacat selama operasi.

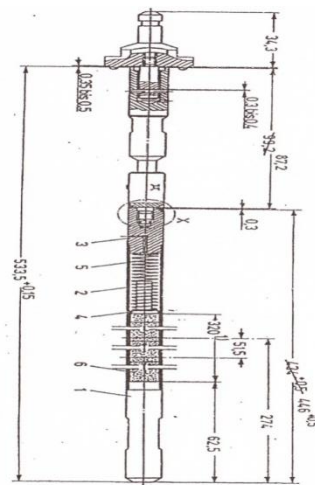
Uji kebocoran perlu dilakukan karena PRTF dioperasikan pada tekanan 160 bar dan suhu $< 100^{\circ}\text{C}$ dan pada proses yang sangat *sensitive* dalam proses fabrikasi adalah pengelasan kelongsong dengan tutup atas dan bawah karena bila terjadi kebocoran produk gas fisi akan keluar dalam sistem yang berakibat fatal sistem pengoperasiannya

3.4. Analisis menggunakan program kode komputer FEMAXI-V

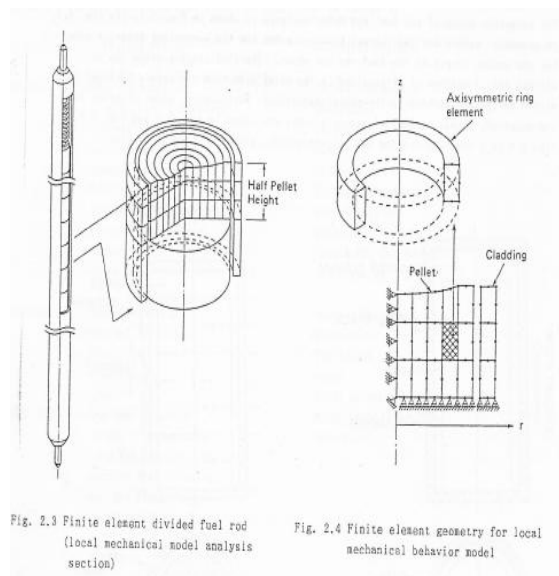
PTBN telah memiliki beberapa kode komputer, salah satu kode komputer yang dapat digunakan untuk menganalisis bahan bakar jenis PWR secara detail adalah program FEMAXI-V^[4]. Analisis tersebut dapat memberikan informasi dan

memprediksi secara rinci dampak proses termal dan mekanik terhadap bahan bakar uji sebelum dan atau selama dikenai uji iradiasi dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Program FEMAXI-V adalah suatu program untuk memprediksi unjuk kerja termal dan mekanik pin bahan bakar selama kondisi tunak dan transien, sehingga dapat menganalisis unjuk kerja sepanjang pin dan secara lokal dari sebagian kecil pin bahan bakar seperti terlihat dalam model geometri^[3] pada Gambar 9 dan 10.

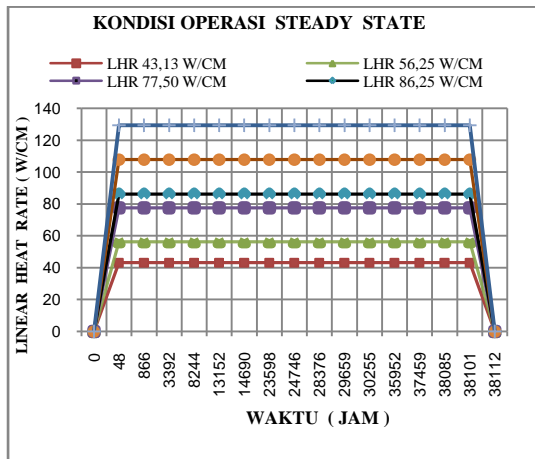


Gambar 9. Pin Bahan Bakar Uji tipe PWR.

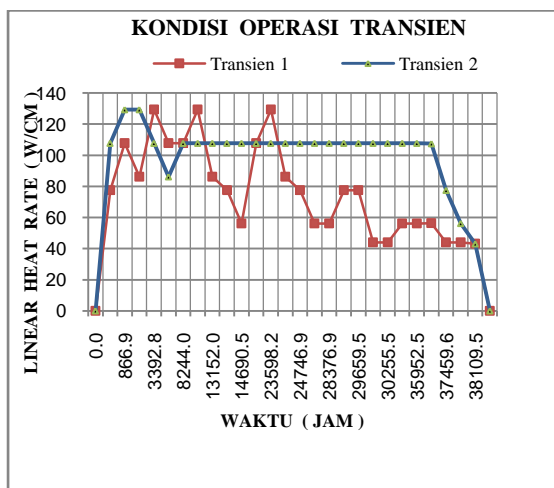


Gambar 10. Model Geometri Elemen Terbatas (*Finite Element*)

Program FEMAXI-V telah diuji coba untuk kondisi operasi tunak (steady state) dan transien seperti pada Gambar 11. dan 12. Menunjukkan program dapat dioperasikan sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 11. Kondisi *steady-state* (tunak)

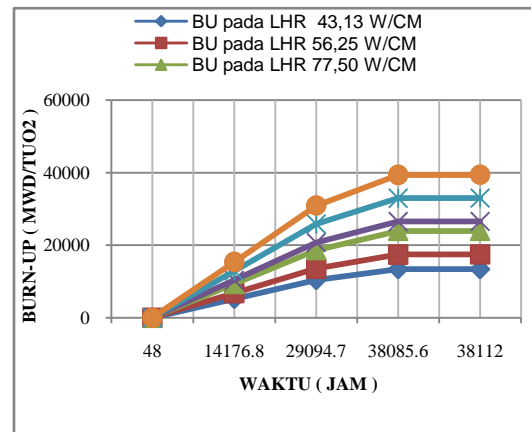


Gambar 12. Kondisi transien

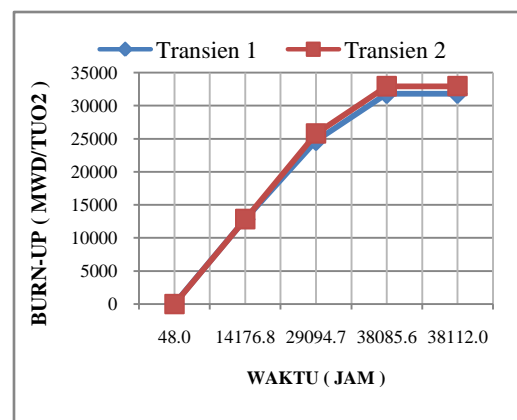
3.5. Analisis pengaruh daya terhadap unjuk kerja pin bahan bakar.

Dalam makalah ini disajikan keluaran data dari hasil uji fungsi program FEMAXI-V dengan membandingkan hasil perhitungan analisis pada kondisi operasi *steady state* dan kondisi transien, model pin elemen bakar tipe PWR diasumsikan pindibagi menjadi 10 node ke arah aksial, pelet dibagi menjadi 10 ring ke arah radial dan kelongsong dibagi menjadi 3 ring ke arah radial.

Hasil dari perhitungan menggunakan program FEMAXI-V telah diuji untuk kondisi operasi *steady state* dan transien pin diiradiasi dengan variasi daya terbangkitkan dengan kondisi *steady-state* dan transien menunjukkan pengaruh waktu iradiasi terjadi peningkatan nilai burn-up dapat ditunjukkan pada Gambar 13,



(a) Kondisi *steady state*

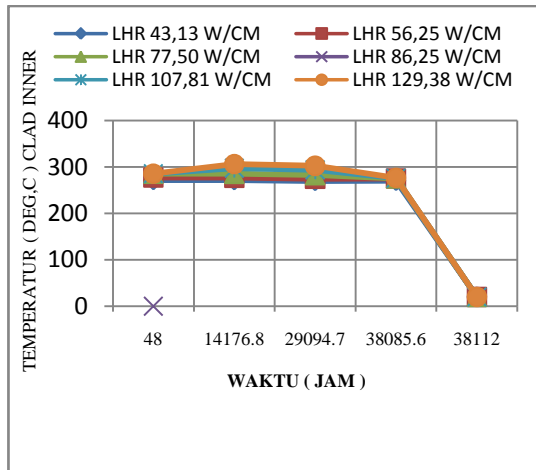


(b) Kondisi transien

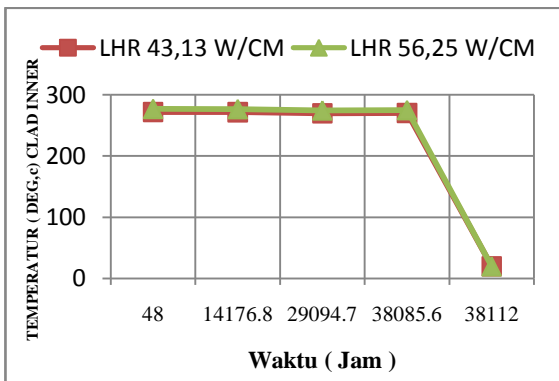
Gambar 13. Hubungan waktu terhadap burn-up

Hasil perhitungan distribusi temperatur pada pusat pelet di node 5 dengan variasi daya yang diberikan dengan kondisi *steady state* dapat ditunjukkan pada Gambar 14 (a) dan 15(a) terlihat bahwa temperatur yang dibangkitkan pada kelongsong bagian dalam dan pada permukaan kelongsong bagian dalam di posisi waktu iradiasi 38085,6 jam terjadi peningkatan temperatur

secara drastis pada posisi daya 129,38 W/cm, tetapi dengan variasi daya yang diberikan dengan kondisi transien yang ditunjukkan pada Gambar 14 (b) dan 15 (b) peningkatan temperatur lebih stabil.

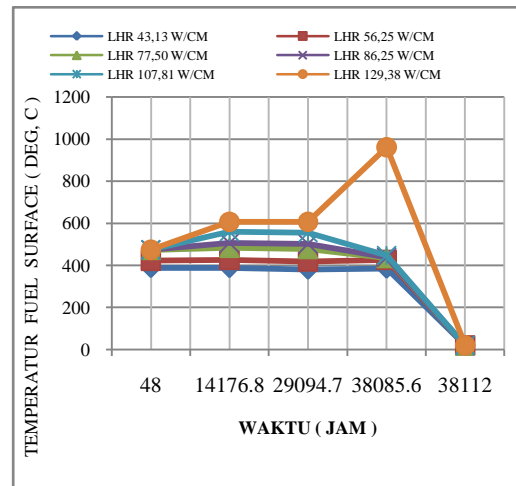


(a) Kondisi *steady state*

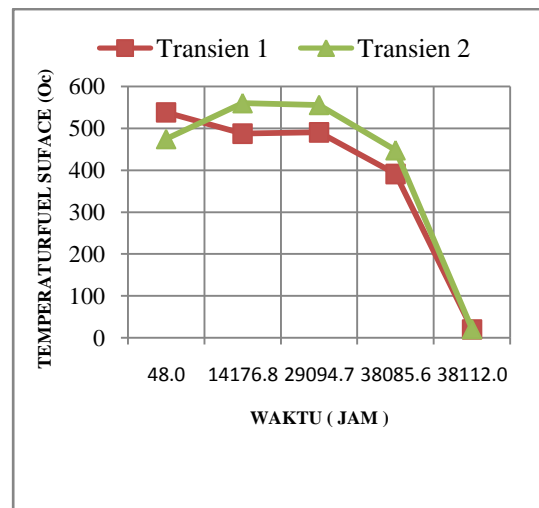


(b) Kondisi transien

Gambar 14. Hubungan waktu terhadap temperatur pada kelongsong bagian dalam



(a) Kondisi *steady state*



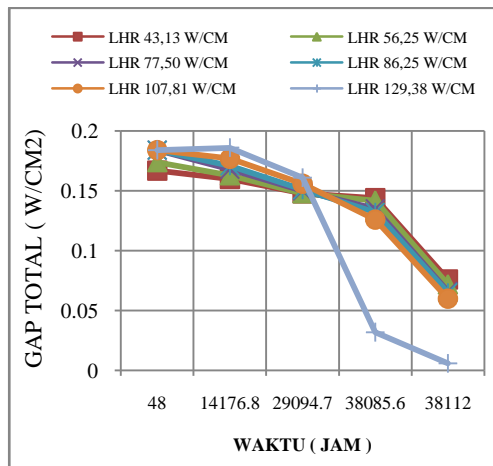
(b) Kondisi transien

Gambar 15 Hubungan waktu terhadap temperatur pada permukaan luar pelet

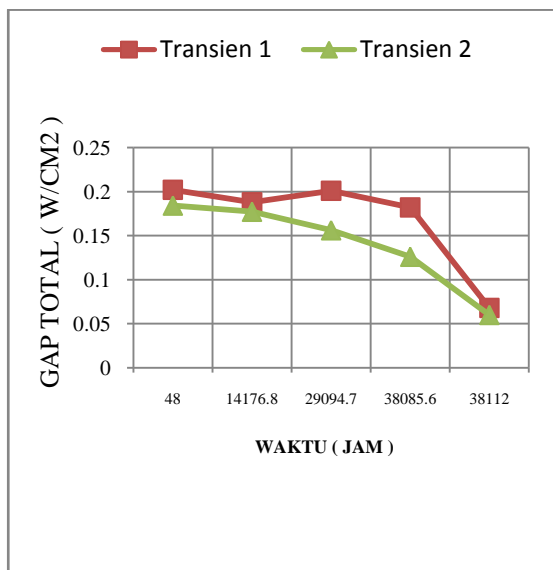
Hasil perhitungan total gap konduktan pada step 117, waktu iradiasi yang sama pada kondisi operasi *steady state* yaitu 38085,6 jam ditunjukkan pada Gambar 16 (a) terlihat jumlah total gap konduktan terjadi perubahan secara drastis atau semakin dekat untuk daya 129,38 W/cm, tetapi bila dioperasikan dengan kondisi transien perubahannya tidak terjadi perubahan secara drastis ditunjukkan pada Gambar 16 (b). Hal ini mengindikasikan bahwa dengan kondisi operasi transien lebih baik dibandingkan dengan kondisi *steady state* pada posisi pin langsung dekat dengan

teras reaktor terjadi perubahan dimensi pelet cukup drastis kemungkinan terjadi pemuaihan pelet (retakan pada pelet) yang disebabkan karena produk gas fisi.

persyaratan yang ditetapkan dan program kode komputer FEMAXI-V dapat dioperasikan, maka secara umum seluruh kegiatan siap dioperasikan.



(a) Kondisi *steady state*



(b) Kondisi transien

Gambar 16. Hubungan waktu terhadap total gap konduktan

3.6. Analisis secara umum terhadap pengujian pin tipe PWR di PRTF RSG-GAS.

Berdasarkan uraian diatas menunjukkan bahwa kesiapan fasilitas fabrikasi, kesiapan fasilitas uji PRTF dan penguasaan teknologi fabrikasi pin bahan bakar uji tipe PWR telah dikuasai sesuai

IV. KESIMPULAN

Hasil analisis FEMAXI-V pada kondisi *steady state* menunjukkan temperatur yang dihasilkan di posisi pusat pelet dan posisi permukaan luar pelet ke arah radial dengan variasi daya (LHR) 43,13 W/cm; 56,25 W/cm; 77,50 W/cm; 86,25 W/cm; 107,81 W/cm dan 129,38 W/cm masih stabil kenaikan temperatur namun untuk waktu iradiasi 38085,6 jam terjadi peningkatan temperatur secara drastis pada LHR129,38 W/cm dan stabil pada kondisi transien. Hal ini menunjukkan dari hasil analisis persiapan dokumen, pembuatan pelet UO₂, penguasaan teknologi fabrikasi pin tipe PWR dan pengoperasian program komputer kode FEMAXI-V bahwa secara umum pengujian iradiasi pin bahan bakar tipe PWR telah siap dibuat dan dilaksanakan uji iradiasi di PRTF - PRSG GA Siwabessy.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada bapak Tri Yulianto, bapak Agus Sartono, bapak Eddy Indarto, bapak R.Suryadi dan anggota tim yang telah banyak membantu pekerjaan analisis

VI. DAFTAR PUSTAKA

1. Sercombe, J. M. Agard, C. Struzik, B. Michel, G. Thouvenin, C. Poussard and R. Källström, Cea, Den, (2009), *Fuels Studies and Modelling Section*, 1D and 3D Analyses Of The Zy2 SCIP BWR Ramp Test With The Fuel Codes Meteor and Alcyone, Nuclear Engineering and Technology, Vol 41 No. 2, 187 - 198
2. Sudirdjo, H., (2011), Uji Fungsi *Power Ramp Test Facility* (PRTF) RSG-GAS Paska Perbaikan, Prosiding Seminar

- Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir – PTAPB.
3. Suzuki Motoe, (1999), *FEMAXI-V : A Computer Code for the Analysis of Thermal and Mechanical Behavior of Fuel Rods*, JAERI.
 4. Anonymous, (1992), *FEMAXI-IV: A Computer Code for the Analysis of Thermal and Mechanical Behavior of Fuel Rods*, JAERI Fuel Reliability Laboratory CRC Research Institute, Inc.
 5. Sulistyono, E., (1994), *Analisa Unjuk Kerja Elemen Bakar Reaktor Daya Jenis LWR (Light Water Reactor)*, Buletin Reaktor Serba - Guna TRI DASA MEGA vol 3, No 1
 6. Anonymous, PTBN Dokumen No BN14 A04 002, *Spesifikasi Pin Bahan Bakar Uji Tipe PWR*
 7. Anonymous, PTBN Dokumen No BN14 F02 002, *Program Inspeksi Mutu Pin Bahan Bakar Uji Tipe PWR*