

PENGUJIAN IRADIASI KELONGSONG PIN PRTF DENGAN LAJU ALIR SEKUNDER 750 l/jam

Sutrisno, Saleh Hartaman, Asnul Sufmawan,
Pardi dan Sapto Prayogo

ABSTRAK

PENGUJIAN IRADIASI KELONGSONG PIN PRTF DENGAN LAJU ALIR SEKUNDER 750 l/jam. Fasilitas iradiasi *Power Ramp Test Facility* (PRTF) adalah sebuah fasilitas iradiasi yang digunakan untuk uji tak merusak bahan bakar nuklir jenis *Pressurized Water Reactor* (PWR). PRTF dirancang khusus untuk simulasi kondisi PWR dimana batang uji/kelongsong pin diberi tekanan di dalam rangkaian primer dan panas yang ditimbulkan diambil oleh sistem pendingin sekunder yang memiliki 2 jalur masing-masing jalur dioperasikan dengan laju alir antara 600 l/jam-900 l/jam. Pada pengujian ini akan dilakukan iradiasi kelongsong pin PRTF dengan laju alir sekunder 750 l/jam. Persyaratan LAK iradiasi PRTF bahwa daya termal maksimum adalah 22,5 kw dan aktivitas air maksimum primer adalah $2,08.10^4$ cps. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui linieritas hubungan antara daya termal terbangkitkan dengan posisi kelongsong pin terhadap teras reaktor, serta menentukan aktivitas air primer sebagai fungsi daya termal. Hasil dari percobaan didapatkan bahwa daya fungsi posisi batang uji/kelongsong pin terhadap teras reaktor adalah linier dan nilai daya maksimum yang terbangkitkan adalah 3,913926 kW, serta aktivitas air primer maksimum didapatkan nilai 4.10^2 cps dengan demikian iradiasi pengujian kelongsong pin PRTF dengan laju alir sekunder 750 l/jam aman dilakukan di reaktor RSG-GAS.

Kata kunci : Iradiasi, Pengujian, kelongsong, pin, laju alir, PRTF

ABSTRACT

IRRADIATION TESTING OF PRTF CLADDING PIN WITH SECONDARY FLOW RATE 750 l / h. Irradiation facilities *Power Ramp Test Facility* (PRTF) is an irradiation facility that is used for non-destructive testing of nuclear fuel type *Pressurized Water Reactor* (PWR). PRTF specially designed for simulating the conditions of PWR in which the test rod / cladding pin by pressure inside the primary circuit and the heat generated is taken by a secondary cooling system that has two lanes each track is operated with a flow rate of 600 l / h - 900 l / h , In this test will be irradiated cladding PRTF pin with a secondary flow rate of 750 l / h. This test aims to determine the linearity of the relationship between the thermal power was awakened by a cladding pin position against the reactor core, and to determine the primary water activity as a function of thermal power. The results of the experiment showed that the power function of the position of the test rod / cladding pin against the reactor core is linear and the value of maximum power is awakened 3.913926 kW and maximum primary water activity values obtained 4,102 CPS. PRTF irradiation of SAR requirements that the maximum thermal power is 22.5 kW and maximum water activity of primary 2,08.10⁴ thus PRTF pin cladding irradiation testing with the secondary flow rate of 750 l / h safely operated in the RSG-GAS reactor.

Keywords: Irradiation, Testing, cladding, pin, flow rate, PRTF

PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna GA Siwabessy (RSG-GAS) merupakan reaktor penelitian yang digunakan untuk penelitian, melayani kegiatan iradiasi, pendidikan dan pelatihan. Fasilitas RSG-GAS didesain mengikuti persyaratan standar desain IAEA untuk reaktor penelitian. Penggunaan reaktor RSG-GAS tidak hanya untuk penelitian dan pengembangan dalam ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir, tetapi juga untuk melayani iradiasi pin PRTF.

*Power Ramp Test Facility (PRTF)*¹⁾ adalah sebuah fasilitas iradiasi yang digunakan untuk pengujian pin bahan bakar reaktor daya jenis *Pressurized Water Reaktor (PWR)*. PRTF dilengkapi dengan sebuah kapsul sebagai wadah batang bahan bakar uji. Kapsul yang berisi kelongsong pin juga berisi air yang dihubungkan dengan rangkaian pendingin primer dan pompa sirkulasi. Kelongsong pin PRTF adalah kelongsong yang mempunyai dimensi dan bentuk sama dengan pin yang akan diuji, bahan yang digunakan adalah logam zircaloy-4. Selama PRTF beroperasi tekanan air pendingin primer dijaga pada nilai 160 bar. Sehubungan dengan tekanan tinggi tersebut dipandang perlu untuk mengetahui sejauh mana dampak kelongsong pin PRTF terhadap keselamatan teras reaktor.

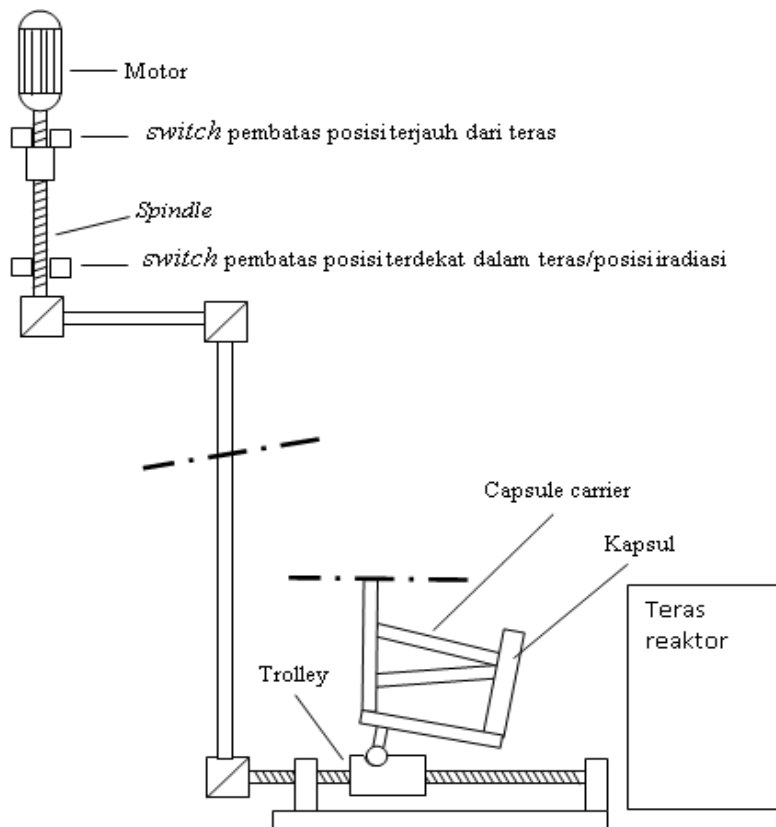
Tujuan penulisan ini adalah untuk mengetahui linearitas daya yang terbangkitkan dari bahan uji/kelongsong pin dan aktivitas air primer selama iradiasi dengan daya reaktor 15 MW dan 0 MW. Lingkup pengujian ini adalah mengiradiasi bahan uji/kelongsong pin PRTF dengan cara menggerakkan pembawa kapsul (*capsule*

carrier) mendekati teras reaktor secara bertahap dari posisi 440 mm, 200 mm, 100 mm hingga mencapai posisi iradiasi (0 mm) dalam teras dengan laju alir setiap pompa sekunder 750 l/jam.

DESKRIPSI

Sistem PRTF digunakan untuk mengetahui linearitas daya termal dari elemen bakar reaktor daya. Elemen bakar reaktor daya berupa batang uji, untuk keperluan eksperimen batang uji dibongkar pasang pada kapsul secara manual. Pelaksanaan pekerjaan ini dilakukan di lokasi parkir yang terletak di dalam kolam bahan bakar bekas dengan kedalaman 4 meter. Bagian utama dari fasilitas PRTF adalah sistem primer, sistem sekunder dan alat penggerak kapsul (*capsule carrier*). Sistem primer adalah rangkaian tertutup yang berfungsi mempertahankan tekanan, kemurnian air, memantau kegagalan kelongsong batang uji dan membebaskan gas hidrogen yang terbentuk karena peristiwa radiolisa. Sistem sekunder berfungsi sebagai pendingin batang uji yang terpisah dari sistem pendingin reaktor.

Kapsul tekan yang berada di dalam pembawa kapsul (*capsule carrier*) dapat digerakkan menuju posisi iradiasi atau sebaliknya, kapsul berupa wadah batang uji dengan media air yang bertekanan 160 bar dan disirkulasikan dengan laju alir 3,6 liter/jam. *Capsule carrier* dilengkapi dengan sebuah tabung sekunder yang berfungsi sebagai wadah kapsul. Melalui *capsule carrier* ini dimungkinkan batang uji digerakkan mendekat dan menjauh dari teras reaktor. skema sistem penggerak kapsul dapat dilihat pada Gambar 1²⁾.



Gambar 1. Skema sistem penggerak kapsul

Gambar 1. tersusun dari sebuah meja, batang berulir, dudukan *capsule carrier*, batang transmisi dan motor penggerak. Catu daya motor penggerak dipasok dari jaringan *Uninterruptible Power Supply (UPS)*. Sistem ini dioperasikan secara manual melalui panel instrumentasi, pergerakan secara otomatis dipantau dan dikendalikan melalui perangkat lunak dan perangkat keras untuk gerak mundur dengan tujuan keselamatan.

Rangkaian primer digunakan untuk mensimulasikan kondisi reaktor daya, dan dilengkapi dengan alat monitor dan alat eksperimen. Sistem pendingin sekunder digunakan untuk pendinginan kapsul tekan selama eksperimen dan pengukuran daya yang dihasilkan oleh batang uji dengan mengukur temperatur masuk, temperatur keluar, serta laju alir.

Dengan data tersebut maka dapat dihitung harga daya yang terbangkitkan menggunakan rumus³⁾:

$$P = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{in} - T_{out})$$

di mana:

P : daya yang terbangkitkan (kW)

\dot{m} : massa alir sekunder (kg/s)

c_p : panas jenis pendingin (kJ/(kg.°C))

T_{in} : suhu inlet pendingin (°C)

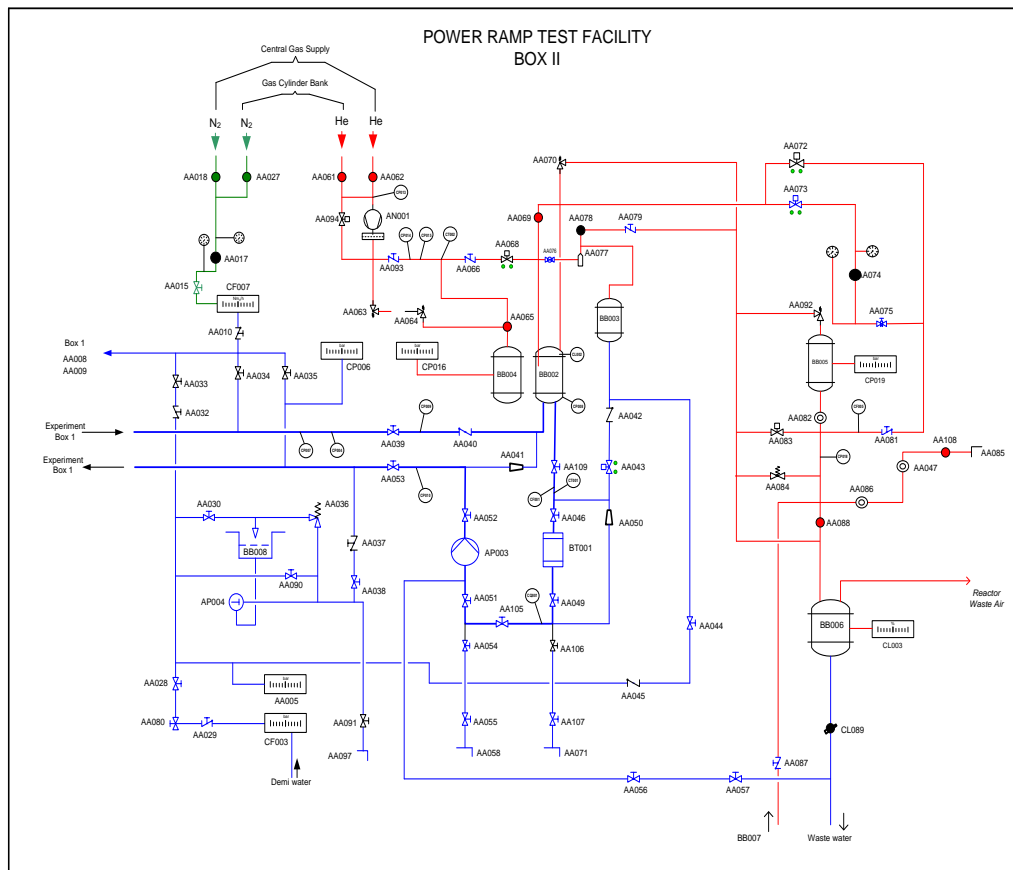
T_{out} : suhu outlet pendingin (°C)

Diagram alir dari sistem PRTF dapat dilihat pada Gambar 2. Diagram alir Sistem PRTF box 2, dan Gambar 3. Diagram alir Sistem PRTF box 1¹⁾.

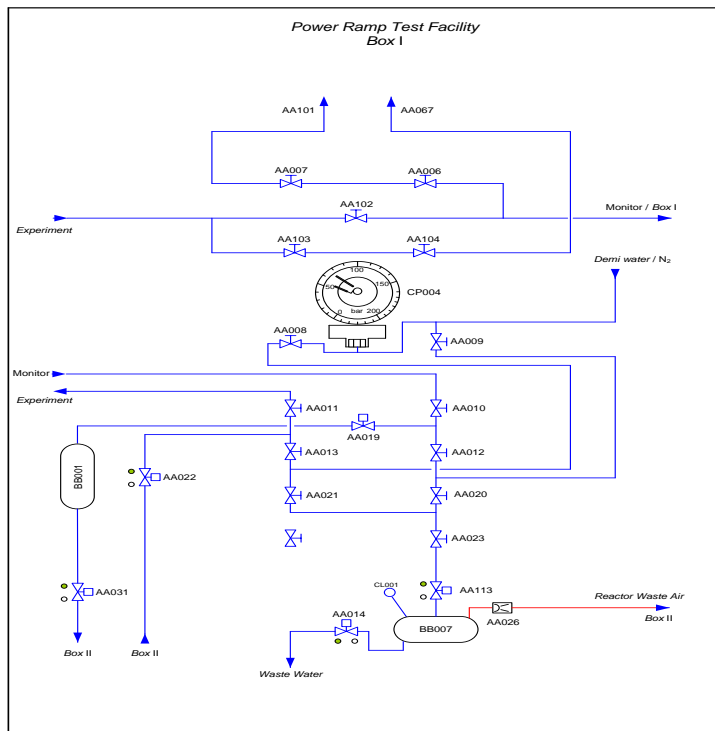
Untuk Gambar 2. garis merah adalah sistem penyedia tekanan, yang berfungsi sebagai

pemasok tekanan sistem primer melalui tabung tekan BB002 dan menjaga tekanan kapsul pada nilai 160 bar secara otomatis, sistem ini terdiri dari: komponen AN001, tangki penampung BB004, katup pengaman AA063/AA064 dan katup pasokan sistem primer AA068. dan rangkaian tabung gas helium di Ruang 0704. Garis biru adalah rangkaian sistem primer dan sekunder. Rangkaian sistem primer terpisah menjadi dua sisi oleh dua katup (AA053 dan AA039) masing-masing adalah

sisi kapsul (box 1) dan sisi pompa (box 2). Maksud pemisahan ini agar pada kegiatan muat bongkar bahan bakar pada kapsul, pengosongan tekanan cukup dilakukan pada box 1. Pengisian tekanan pada box 1 dilakukan menggunakan pompa tangan AP004 hingga mencapai tekanan operasi 160 bar. Pengisian tekanan pada box 2 dilakukan menggunakan kompresor gas helium (AN001) hingga mencapai tekanan operasi 160 bar.



Gambar 2. Diagram alir sistem PRTF box 2



Gambar 3. Diagram alir Sistem PRTF box 1.

PELAKSANAAN IRADIASI⁴⁾

Iradiasi batang uji/kelongsong pin pada kondisi reaktor beroperasi pada daya 15 MW stabil dan daya 0 MW, dengan menggerakkan capsule carrier (melalui panel instrumentasi) mendekati teras reaktor secara bertahap dari posisi 440 mm, 200 mm, 100 mm dan 0 mm. selama iradiasi batang uji/kelongsong pin berlangsung parameter-parameter kese-

lamatan dipantau dan dicatat di data operasi. Dari hasil pengamatan tersebut dihitung daya terbangkitkan setiap posisi batang uji/kelongsong pin.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran parameter-parameter sistem PRTF yang dioperasikan pada daya 15 MW dan 0 MW ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Penunjukan parameter Sistem PRTF pada daya 15 MW dan 0 MW

| NO | PARAMETER | NILAI PENUNJUKAN | | | | | | | | NILAI OPERASIONAL |
|----|-----------------------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------|
| | | 15 | | | | 0 | | | | |
| 1 | Daya Reaktor (MW) | 15 | | | | 0 | | | | 0-15 |
| 2 | Posisi Kapsul/CG 01 (mm) | 440 | 200 | 100 | 0 | 440 | 200 | 100 | 0 | 0-440 |
| 3 | Tekanan tabung BB04/CP 016 (bar) | 172,5 | 170 | 167 | 165 | 165 | 165 | 172 | 170 | 163-175 |
| 4 | Tekanan Primer box 2 CP 006 (bar) | 155 | 156 | 155 | 155 | 155 | 155 | 155 | 156 | 160 |
| 5 | Tekanan tabung BB02 /CP008 (bar) | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160-162 |

Tabel 1. lanjutan

| NO | PARAMETER | NILAI PENUNJUKAN | | | | | | | | NILAI OPERASIONAL |
|----|---|-------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| | | | | | | | | | | |
| 6 | Tekanan Primer box 2 /CP009 (bar) | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 7 | Tekanan Primer box 2 /CP010 (bar) | 159 | 160 | 160 | 158 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 8 | Laju alir primer/ CF 001 (l/jam) | 3,01 | 3,01 | 3,1 | 3,1 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 3,6 |
| 9 | Beda Tekanan pompa primer / CP012 (bar) | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,25 | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 3 |
| 10 | Level air tabung tekan BB002/ CL 02 liter | 3,6 | 3,6 | 3,2 | 3,2 | 3,22 | 3,25 | 3,25 | 3,25 | 3,25 |
| 11 | Aktivitas air primer (cps) | 2.10 ² | 2,5. 10 ² | 3,0. 10 ² | 4.10 ² | 2.10 ¹ | 2.10 ¹ | 2.10 ¹ | 2.10 ¹ | < 2.10 ⁴ |
| 12 | Laju alir sekunder 1/ CF 002 (l/jam) | 800 | 850 | 800 | 800 | 800 | 800 | 820 | 800 | 750 |
| 13 | Laju alir sekunder 2/ CF 006 (l/jam) | 800 | 820 | 810 | 820 | 800 | 800 | 820 | 800 | 750 |
| 14 | Tekanan air sekunder 1/ CP 003 (bar) | 1,5 | 1,6 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 0,9 |
| 15 | Tekanan air sekunder 2/ CP 024 (bar) | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 0,9 |
| 16 | Suhu inlet sekunder 1/ CT010 (°C) redun 1 | 41 | 41 | 41 | 41 | 28 | 28 | 28 | 28 | < 50 |
| 17 | Suhu inlet sekunder 2 / CT011 (°C) redun 2 | 41 | 41 | 41 | 40,5 | 28 | 28 | 28 | 28 | < 50 |
| 18 | Suhu inlet sekunder 3 / CT012 (°C) redun 3 | 41 | 41 | 41 | 41 | 28 | 28 | 28 | 28 | < 50 |
| 19 | Suhu outlet sekunder / CT020 (°C) redun 1 | 41 | 41,9 | 42 | 41,5 | 28 | 28 | 28 | 28 | < 80 |
| 20 | Suhu outlet sekunder / CT021 (°C) redun 2 | 41 | 41,9 | 41,9 | 41,5 | 28 | 28 | 28 | 28 | < 80 |
| 21 | Suhu outlet sekunder / CT022 (°C) redun 3 | 41 | 40,5 | 41 | 41,5 | 28 | 28 | 28 | 28 | < 80 |
| 22 | Beda suhu air sekunder 1/ CT 920 (°C) redun 1 | 0 | 0,9 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | < 23 |
| 23 | Beda suhu air sekunder 2/ CT 921 (°C) redun 2 | 0 | 0,9 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | < 23 |
| 24 | Beda suhu air sekunder 3/ CT 920 (°C) redun 3 | 0 | 0,5 | 1 | 2 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | < 23 |
| 25 | Rotameter 1 (AP001) (l/jam) | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | |
| 26 | Rotameter 2 (AP002) (l/jam) | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | 750 | |

Selama iradiasi batang uji/ kelongsong pin berlangsung, parameter-parameter keselamatan selalu dipantau oleh sistem instrumentasi dan kendali guna mengambil tindakan penyelamatan otomatis apabila nilai batasnya terlampaui, dari data di atas pada Tabel 1 parameter-parameter tersebut masih dalam batas nilai keselamatan.

Untuk menghitung daya yang ter-bangkitkan pada setiap posisi iradiasi, data yang diperlukan adalah massa alir, T_{in} , T_{out} dan panas jenis air sekunder. Laju alir pada sistem sekunder adalah penjumlahan laju alir 2 pompa sekunder AP001 dan AP002. Data yang digunakan adalah data laju alir rotameter 1 (AP001) dan data laju alir rotameter 2 (AP002) karena data ini adalah

sesungguhnya yang mengalir pada pipa tersebut. Untuk mendapatkan massa alir pada sekunder maka laju alir tersebut dikalikan densitas air pada suhu rata-rata T_{in} , dan T_{out} . Pada Tabel 2 data densitas air dan Tabel 3. data panas jenis diambilkan dari data fisis air³⁾.

Tabel 2. Densitas air

| No | Suhu Air (°C) | Densitas ρ (kg/liter) |
|----|---------------|-----------------------|
| 1 | 25 | 1,184 |
| 2 | 30 | 1,165 |
| 3 | 40 | 1,127 |
| 4 | 50 | 1,109 |

Tabel 3. Panas jenis air

| No | Suhu Air (°C) | Panas jenis air c_p (kJ/kg.°C) |
|----|---------------|----------------------------------|
| 1 | 27 | 4,179 |
| 2 | 52 | 4,182 |
| 3 | 77 | 4,195 |
| 4 | 102 | 4,220 |

Daya reaktor 15 MW

Perhitungan daya untuk posisi batang uji/kelongsong 440 mm

data yang didapat adalah T_{in} , dan T_{out} adalah sama yaitu 41 °C, karena Δt adalah 0 maka daya yang ditimbulkan 0.

Posisi batang uji/kelongsong 200 mm

Laju alir = 1500 l/jam

$T_{in} = 41$ °C

$T_{out} = 41,7$ °C

rata-rata = 41,35 °C

dari Tabel 2 dan Tabel 3, untuk suhu 41,35 °C dapat dihitung menggunakan rumus interpolasi:

$$\frac{(X - X_1)}{(X_2 - X_1)} = \frac{(Y - Y_1)}{(Y_2 - Y_1)}$$

$$Y = Y_1 + \frac{(X - X_1)}{(X_2 - X_1)}(Y_2 - Y_1)$$

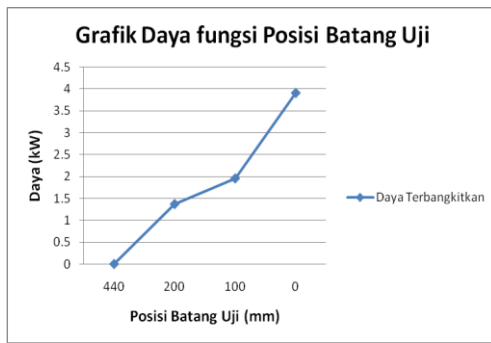
maka pada suhu 41,35 °C densitas air adalah 1,12457 kg/liter, dan panas jenis air = 4,180722 kJ/(kg.°C)

Dari data-data parameter di atas, maka daya yang terbangkitkan dapat dihitung dengan cara yang sama, dihasilkan seperti pada Tabel 4.

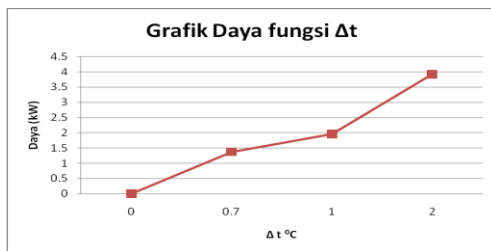
Tabel 4. Daya yang terbangkitkan fungsi jarak batang uji/kelongsong pin

| Posisi Kapsul (mm) | Massa alir (kg/dtk) | Panas Jenis (kJ/kg °C) | Beda Suhu (°C) | Daya (kW) |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------------|-----------|
| 440 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 200 | 0,468570833 | 4,180722 | 0.7 | 1,371275 |
| 100 | 0,468458333 | 4,18074 | 1 | 1,958502 |
| 0 | 0,468083333 | 4,8080 | 2 | 3,913926 |

Dari Tabel 4 dapat dibuat grafik daya fungsi posisi batang uji/kelongsong pin seperti terlihat pada Grafik 1 dan grafik daya fungsi perubahan suhu seperti pada Grafik 2.



Grafik 1. Daya fungsi posisi Batang Uji



Grafik 2. Grafik Daya fungsi perubahan suhu (Δt)

Dari Grafik 1, terlihat bahwa bila batang uji diubah posisinya mendekati teras reaktor maka daya yang terbangkitkan akan bertambah besar dan akan menuju kelinearan, namun di posisi 100 mm ada terjadi penurunan daya ini dikarenakan kesalahan pembacaan pada panel. Untuk batang uji pada posisi 0 mm atau batang uji terdekat dengan teras, daya yang terbangkitkan adalah 3,913926 kW ini adalah harga maksimum daya yang terbangkitkan. Harga ini masih jauh dengan harga yang dipersyaratkan LAK⁵⁾ iradiasi PRTF bahwa daya termal maksimum adalah 22,5 kW. Untuk Grafik 2, terlihat bahwa dengan mendekati kelongsong uji ke teras reaktor maka beda suhu akan naik menuju linier seperti mengikuti rumus daya.

Untuk aktivitas air primer pada daya reaktor 15 MW terlihat bahwa posisi batang uji/kelongsong pin mempengaruhi aktivitas air primer tersebut. Posisi batang Uji/Kelongsong pin semakin mendekati maka aktivitas semakin naik. Aktivitas air primer maksimum terjadi pada batang uji/

kelongsong pin berada pada posisi 0 mm atau batang uji paling dekat dengan teras reaktor yaitu 4.10^2 cps, harga ini masih jauh seperti yang dipersyaratkan pada LAK iradiasi PRTF yaitu aktivitas air primer maksimum $2,08.10^4$ cps.

Untuk daya reaktor 0 MW daya yang terbangkitkan adalah 0, karena tidak ada efek yang menimbulkan pembangkitan panas. Juga untuk aktivitas air primer posisi kelongsong pin/batang uji diposisikan menuju 0 mm atau posisi terdekat dengan teras reaktor aktivitas air primer tetap yaitu pada 10 cps, karena tidak ada efek proses iradiasi.

KESIMPULAN

Pengujian iradiasi kelongsong pin PRTF dengan laju alir sekunder 750 l/jam dapat disimpulkan bahwa:

- Untuk daya reaktor 15 MW, daya yang terbangkitkan fungsi posisi batang uji/kelongsong pin semakin mendekati ke teras reaktor semakin besar menuju linieritas dan untuk daya reaktor 0 MW daya yang terbangkitkan adalah 0, karena tidak ada yang memberi efek pembangkitan panas.
- Daya kelongsong pin/batang uji maksimum adalah 3,913926 kW masih di bawah harga yang dipersyaratkan LAK yaitu 22,5 kW dan aktivitas kelongsong pin/batang uji 4.10^2 cps masih di bawah $2,08.10^4$ cps, berarti reaktor aman dioperasikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONIM, "Safety Analysis and Design Report Power Ramp Test Facility-PRTF", Ident – No. 60.15567.1, 1988.
2. Dasar-dasar Pengoperasian PRTF, pemagangan Pengoperasian dan Perawatan Iradiasi PRTF Reaktor RSG-GAS Serpong, 12 s/d 22 april 2016

3. **JP HOLMAN**, Perpindahan Kalor edisi kelima diterjemahkan oleh Ir.E.Jasfy M.Sc, 1984 Penerbit Erlangga
4. Buku petunjuk praktikum Pengoperasian Fasilitas Iradiasi PRTF Reaktor RSG-GAS, pemagangan Pengoperasian dan Perawatan Iradiasi PRTF Reaktor RSG-GAS Serpong, 12 s/d 22 april 2016
5. **LAK PRTF RSG-GAS**, No ident: RSG.OR.01.04.41.13