

KALIBRASI DAYA REAKTOR TERAS 87 REAKTOR RSG-GAS

Sriawan, Purwadi
Pusat Reaktor Serba Guna-BATAN
sriawan@batan.go.id

ABSTRAK

KALIBRASI DAYA REACTOR TERAS 87 REAKTOR RSG-GAS. Selama pengoperasian reaktor, operator reaktor hanya berpedoman pada kanal pengukuran daya yang merupakan sistem pengukuran *fluks neutron*. Apabila terjadi perubahan konfigurasi teras reaktor, maka akan terjadi pula perubahan distribusi *fluks neutron* di teras. Karena detektor-detektor *neutron* dipasang secara tetap di seputar teras reaktor, maka perubahan distribusi *fluks neutron* tersebut akan mempengaruhi pula hasil pengukuran sistem pengukuran *fluks neutron*. Untuk menjamin kebenaran penunjukan kanal pengukuran sistem pengukuran daya reaktor, harus dilakukan kalibrasi daya secara periodik. Tulisan ini mengupas kalibrasi daya dilakukan dengan cara mengukur suhu air pendingin primer pada posisi sebelum dan sesudah penukar panas sehingga diperoleh nilai perbedaan suhu. Perbedaan suhu tersebut digunakan untuk menghitung daya sesungguhnya yang dibangkitkan oleh teras reaktor dengan mengetahui laju alir dan kapasitas air pendingin. Daya sesungguhnya yang diperoleh dari kalibrasi digunakan sebagai pedoman untuk melakukan pengesetan nilai pengukur daya reaktor agar detector mengindikasikan daya yang benar. Dengan dilakukan kalibrasi daya reaktor secara periodik, maka penunjukan kanal pengukuran daya reaktor selalu dapat disesuaikan dengan nilai daya yang sesungguhnya, oleh sebab itu pengendalian daya reaktor yang dibangkitkan di teras reaktor dapat dilakukan dengan tepat dan benar.

Kata kunci: pengukuran, pengendalian, fluks neutron

ABSTRACT

POWER CALIBRATION OF THE 87TH G.A SIWABESSY REACTOR. During the operation of the reactor, the reactor operators only based on a channel power measurement which is a neutron flux measurement system. In the event of changes in the configuration of the reactor core, there will be also changes the distribution of neutron flux on the core. Because neutron detectors permanently installed around the reactor core, the neutron flux distribution changes will influence the measurement results of neutron flux measurement system. To guarantee correctness measurement channel designation reactor power measurement system, power calibration should be performed periodically. Power calibration is done by measuring the temperature of the primary cooling water at the position before and after the heat exchanger in order to obtain the value of the temperature difference. The temperature difference is used to calculate the actual power generated by the reactor core to determine flow rate and capacity of cooling water. Actual power obtained from calibration is used as a guideline for setting the value of measuring the power of the reactor so that the detector indicates the correct power. With reactor power calibration performed on a periodic basis, the appointment of reactor power measurement channels can always be adjusted to the value of the real power. Thus, the reactor power control generated in the reactor core can be done properly and correctly.

Keywords: measurement, controlling, fluks neutron

PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy (RSG-GAS) adalah suatu reaktor nuklir penelitian yang berada di Kawasan Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTK) Serpong, merupakan salah satu fasilitas yang dikelola Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). RSG-GAS mempunyai daya nominal 30 MW thermal dengan *fluks neutron* rata-rata 10^{14} n/cm² detik mempunyai sistem keselamatan yang tinggi yaitu keselamatan

inheren yang melekat di dalam disain teras reaktor dan disertai dengan ragam keselamatan teknis. Reaktor mencapai kritis pertama pada tahun 1987, dan diresmikan penggunaannya oleh Presiden RI pada tanggal 20 Agustus 1987, serta mencapai operasi daya nominal 30 MW pada tahun 1992. RSG-GAS adalah reaktor riset tipe MTR dengan menggunakan bahan bakar U₃Si₂Al dengan jumlah bahan bakar 40 elemen, jumlah batang kendali 8, berpendingin H₂O, debit pendingin 800 kg/detik, dan pengayaan U-235 sebesar 19,75%.

Kanal pengukur daya adalah kanal pengukur *fluks neutron* yang digunakan sebagai acuan pembacaan daya reaktor untuk operasi daya tinggi. Selain dari itu, kanal pengukur daya digunakan juga untuk sistem pengendalian daya secara otomatis. Untuk mendapatkan satuan daya dalam Watt digunakan faktor konversi tertentu yang diperoleh dari hasil kalibrasi daya secara kalorimetri.

Tulisan ini akan mengulas tentang cara menentukan daya reaktor yang sebenarnya, serta cara pengesetan kanal pengukur daya reaktor. Dengan demikian kanal pengukur daya menampilkan nilai yang akurat dan dapat dipercaya.

DASAR TEORI

Untuk menjamin kebenaran penunjukan pengukuran kanal pengukur daya reaktor, harus dilakukan kalibrasi daya secara periodik, yaitu membandingkan/mengeset alat ukur yang dikalibrasi terhadap harga standar yang telah diketahui.

Dalam mengoperasikan reaktor, operator hanya berpedoman pada kanal pengukur daya yang merupakan hasil pengukuran *fluks neutron*. Apabila terjadi perubahan konfigurasi teras reaktor, maka akan terjadi pula perubahan distribusi *fluks neutron* di teras. Karena detektor-detektor *neutron* dipasang secara tetap di seputar teras reaktor, dengan perubahan distribusi *fluks neutron* tersebut akan mempengaruhi pula hasil pengukuran kanal pengukuran *fluks neutron*. Hal ini akan mengakibatkan ketidak pastian dari jumlah panas yang dibangkitkan di teras reaktor. Untuk itu setiap terjadi perubahan konfigurasi teras harus selalu dilakukan kalibrasi daya. Kalibrasi daya sangat berguna untuk mengetahui daya sesungguhnya yang dibangkitkan di teras reaktor dan untuk menjamin agar batas-batas keselamatan teras reaktor tidak terlampaui.

Ada beberapa cara untuk melakukan kalibrasi daya reaktor yaitu secara nuklir dan secara termo (kalorimetri). Kalibrasi daya secara nuklir biasanya dilakukan untuk reaktor-reaktor daya rendah, karena kalibrasi ini dilakukan dengan cara mengukur *fluks* secara langsung pada masing-masing elemen bakar dan dilakukan pada saat operasi daya rendah. Sedangkan kalibrasi secara termo (kalorimetri) dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara stasioner dan non stasioner. Kalibrasi daya secara non stasioner dilakukan dengan mengukur kenaikan suhu air kolam tanpa mengoperasikan sistem pendingin. Kalibrasi daya cara ini hanya digunakan untuk reaktor daya rendah, karena tidak memungkinkan operasi daya tinggi tanpa mengoperasikan sistem pendingin. Sedangkan kalibrasi daya secara stasioner cocok digunakan untuk reaktor dengan daya tinggi, yaitu dengan mengoperasikan sistem

pendingin dan mengukur suhu air keluaran dan masukan teras reaktor.

Suatu reaktor yang beroperasi pada daya tetap dan didinginkan oleh fluida pendingin dengan laju alir tetap, maka perbedaan suhu pendingin keluaran dan masukan teras reaktor menyatakan jumlah panas yang dipindahkan dari teras ke pendingin. Pada kalibrasi daya dengan metode kalorimetri dilakukan pengukuran kenaikan suhu air pendingin yang diakibatkan oleh panas hasil fisi pada teras reaktor yang dipindahkan ke air pendingin. Besarnya kenaikan suhu bergantung kepada besarnya panas pada teras reaktor, massa aliran pendingin, dan panas spesifik. Besarnya daya reaktor dapat dihitung dengan persamaan:

$$P = m \cdot C_p \cdot (T_k - T_m)$$

atau

$$P = W \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T$$

dimana:

P = daya reaktor (kW)

m = massa alir pendingin (kg/s)

W = laju alir Volumetrik (m³/s)

T_k = suhu keluaran teras reaktor

T_m = suhu masukan teras reaktor

ρ = massa jenis pendingin (kg/m³)

C_p = panas spesifik pendingin (kJ/kg.K)

ΔT = beda suhu keluaran dan masukan teras reaktor (K)

Dengan mengukur besarnya laju alir sistem pendingin primer W, suhu masukan teras T_m, dan suhu keluaran teras T_k, serta memasukkan ke dalam persamaan di atas, maka besar daya reaktor yang dibangkitkan dapat dihitung. Untuk ΔT yang kecil, harga C_p dan ρ dapat dianggap tetap. Namun untuk mendapatkan ketelitian yang lebih baik maka harga C_p dan ρ harus dikoreksi dengan persamaan berikut:

$$\rho = 1000 (1,0029 - 1,5838 \cdot 10^{-4} \cdot T_b - 2,847 \cdot 10^{-6} \cdot T_b^2)$$

$$C_p = 4,167 + 0,05 \cdot e^{(-0,0734 \cdot T_b)} + 0,0031 \cdot e^{(0,0268 \cdot T_b)}$$

Dimana T_b adalah suhu rerata masukan dan keluaran teras reaktor yang masing-masing dapat diukur dari panel pengukuran di ruang kendali utama (RKU) pada alat penunjukan JE01 CT001 dan JE01 CT006, dengan satuan T_b adalah °C. Sedangkan untuk laju alir sistem pendingin primer dihitung dari jumlah laju alir yang terukur pada sensor JE01 CF811/821/831 dan KBE01 CF03. Hasil pengukuran laju alir dan suhu tersebut dipergunakan untuk menghitung daya reaktor yang dibangkitkan di teras. Untuk mempermudah perhitungan kalibrasi daya dalam pelaksanaannya telah dibuat tabel kalibrasi daya yang menyatakan besaran daya termal RSG-GAS (MW) yang dibangkitkan di teras sebagai fungsi suhu masukan teras (T_m) tertentu dan beda suhu (ΔT). Tabel ini digunakan untuk menentukan besarnya daya reaktor hanya dengan memperhatikan

berapa besarnya suhu pendingin masukan teras reaktor (T_m) dan beda suhu masukan dan keluaran teras reaktor (ΔT).

Seperti telah disebutkan di muka, dalam pengoperasian reaktor, operator reaktor dalam membaca daya reaktor hanya berpedoman pada penunjukan daya di Ruang Kendali Utama (RKU), yang memantau besarnya *fluks neutron* dan/atau cacahan radiasi yang terjadi pada teras reaktor. Reaktor RSG-GAS mempunyai beberapa jenis sistem pengukuran yang dapat dipergunakan untuk menentukan daya reaktor. Sistem tersebut antara lain kanal pengukuran *fluks neutron* JKT01CX811/821, JKT02 CX811/821, JKT03CX811/821/831/841 dan JKT04 DX001. Masing-masing detektor tersebut memiliki daerah kerja tertentu. Selain itu terdapat pula kanal pengukuran daya JRF10 FX805 yang merupakan hasil rerata gabungan sistem pengukuran daya JKT03 CX811/821/831/841 dan JAC CR811/821/831 yang bekerja berdasarkan hasil pengukuran radiasi gamma yang dihasilkan dari peluruhan isotop N-16 yang dipasang pada ujung pipa pendingin primer sebelum *Delay Chamber*.

Kanal pengukuran JKT03 CX811/821/831/841 dan JRF10 FX805 merupakan kanal yang digunakan sebagai acuan pembacaan daya reaktor untuk operasi daya tinggi. Kedua kanal pengukuran daya tersebut menunjukkan persen daya dari daya nominal yang diizinkan untuk konfigurasi teras daya tertentu. Kedua sistem pengukuran daya tersebut mempunyai daya jangkauan penunjukan 0 -160% secara linier.

Kanal pengukuran JKT04 DX001 adalah kanal pengukur *fluks neutron* yang mempunyai jangkauan kerja linier yang lebar dengan sistem dekade, dengan penunjukan arus (Amper), mulai batas bawah 10^{-10} A hingga batas atas 10^{-4} A. Sistem ini digunakan sebagai acuan untuk operasi reaktor daya rendah sampai daya tinggi, Selain itu digunakan pula untuk sistem pengendalian daya secara otomatis. Untuk mendapatkan satuan daya dalam Watt digunakan faktor konversi tertentu yang diperoleh dari hasil kalibrasi daya secara kalorimetri. Prinsip kerja dari sistem kanal pengukur daya adalah mengubah radiasi (*neutron* dan gamma) menjadi besaran arus listrik dari 0 (untuk harga minimum) sampai 20 mA (untuk harga maksimum). Hakekat dalam melakukan kalibrasi daya adalah melakukan konversi parameter yang diukur/dihitung, dalam hal ini daya reaktor, ke dalam besaran arus listrik di antara 0 sampai 20mA.

Hasil pengukuran daya standar secara kalorimetri seperti yang dijelaskan di atas

dipergunakan untuk mengkalibrasi atau mengeset penunjukan daya reaktor di Ruang Kendali Utama, sehingga didapat penunjukan daya yang benar. Seperti telah disebutkan sebelumnya kanal pengukur daya JKT03 CX811/821/831/841 dan JRF10 FX805 mempunyai jangkauan pengukuran 0 sampai 160% dari daya nominal. Maka penunjukan JKT03 CX811/821/831/841 dan JRF10 FX805 pada tingkat daya hasil kalibrasi P MW adalah:

$$P_p = \frac{P}{P_n} \times 100 \%$$

$$P_{mA} = \frac{P_p}{160} \times 20 \text{ mA}$$

dimana:

P = daya reaktor standar (terukur/terhitung) (MW).

P_p = daya reaktor yang tampil pada penunjukan monitor RKU (%).

P_{mA} = daya reaktor yang tampil di Ruang Pengukuran/RPS.

P_n = daya nominal, (30 MW pada teras kerjaTWC).

Faktor konversi JKT04 DX001 dapat dihitung dengan persamaan:

$$1.10^{-10} \text{ Amper} = \frac{P.10^6}{I_{JKT04}} \times 10^{-10}$$

dimana:

I_{JKT04} = Besarnya arus JKT04 pada operasi daya rektor P MW.

TATA CARA PELAKSANAAN

1. Mengoperasikan reaktor pada daya 15 MW.
2. Setelah tingkat daya reaktor tercapai 15 MW dan dipertahankan selama 5 jam kemudian dilakukan pencatatan data.
3. Menentukan daya standar dengan cara melakukan perhitungan.
4. Menggambar kurva konversi daya reaktor sebenarnya sebagai fungsi posisi batang kendali.
5. Membandingkan dan atau melakukan pengesetan kanal pengukur daya reaktor.

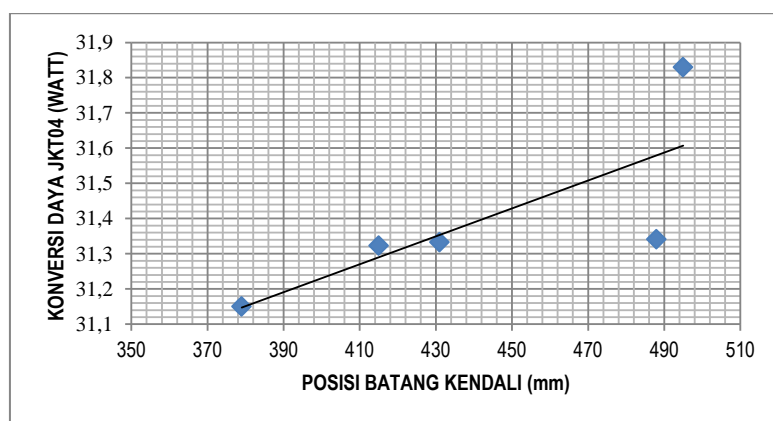
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil kegiatan kalibrasi daya teras 87 reaktor RSG-GAS maka diperoleh data yang disajikan dalam Tabel 1 di bawah ini.

Tanggal	Jam	JE01 CT01 (°C)	JE01 CT06 (°C)	Faktor Koreksi (°C)	ΔT (K)	JE01 CF811 (m ³ /jam)	KBE01 CF03 (m ³ /jam)	Posisi Bat.Kendali (mm)	Daya Reaktor Tabel (Mw)	Daya Reaktor Aktual (Mw)	Konversi JKT04 (Watt)
20-01-2015	09.08	40,52	36,34	0,17	4,01	3150	40,5	379	14,582	14,643	$1 \times 10^{-10} A =$ 31,150
28-01-2015	09.00	41,71	37,39	0,17	4,15	3150	41	415	15,125	15,192	$1 \times 10^{-10} A =$ 31,323
04-02-2015	08.48	41,00	36,72	0,17	4,11	3150	40	431	14,979	15,04	$1 \times 10^{-10} A =$ 31,333
11-03-2015	09.00	40,9	36,60	0,17	4,13	3150	29,5	488	15,052	15,064	$1 \times 10^{-10} A =$ 31,341
18-03-2015	09.30	41,61	37,25	0,17	4,19	3150	29,5	495	15,271	15,271	$1 \times 10^{-10} A =$ 31,830

- Kalibrasi daya tanggal 20 Januari 2015 jam 09.08 pada posisi batang kendali *All Bank* 379 mm diketahui daya reaktor sebenarnya adalah 14,643 MW, sehingga konversi kanal pengukur daya (JKT04) adalah $1 \times 10^{-10} = 31,15$ Watt.
- Kalibrasi daya tanggal 28 Januari 2015 jam 09.00 pada posisi batang kendali *All Bank* 415 mm diketahui daya reaktor sebenarnya adalah 15,192 MW, sehingga konversi kanal pengukur daya (JKT04) adalah $1 \times 10^{-10} = 31,323$ Watt.
- Kalibrasi daya tanggal 04 Februari 2015 jam 08.48 pada posisi batang kendali *All Bank* 431 mm diketahui daya reaktor sebenarnya adalah 15,040 MW, sehingga konversi kanal pengukur daya (JKT04) adalah $1 \times 10^{-10} = 31,333$ Watt.
- Kalibrasi daya tanggal 11 Maret 2015 jam 09.00 pada posisi batang kendali *All Bank* 488 mm diketahui daya reaktor sebenarnya adalah 15,064 MW, sehingga konversi kanal pengukur daya (JKT04) adalah $1 \times 10^{-10} = 31,341$ Watt.
- Kalibrasi daya tanggal 18 Maret 2015 jam 09.30 pada posisi batang kendali *All Bank* 495 mm diketahui daya reaktor sebenarnya adalah 15,271 MW, sehingga konversi kanal pengukur daya (JKT04) adalah $1 \times 10^{-10} = 31,830$ Watt.

Hasil kalibrasi daya tersebut mengindikasikan bahwa setiap kenaikan posisi batang kendali dapat mengakibatkan kenaikan daya reaktor. Hal ini diperlihatkan pada kurva Gambar 1 yaitu kurva konversi daya reaktor sebagai fungsi posisi batang kendali. Kenaikan daya tersebut akan mempengaruhi ketepatan pengendalian reaktor ketika beroperasi. Oleh karena itu kalibrasi daya reaktor harus sering dilakukan selama reaktor beroperasi agar diperoleh konversi daya untuk JKT04 yang baru setelah terjadi kenaikan posisi batang kendali. Konversi daya yang baru tersebut adalah nilai daya yang sebenarnya pada saat itu sehingga setelah penunjukan daya disesuaikan dengan hasil kalibrasi maka penampilan daya pada kanal ukur menjadi benar dan pengendalian reaktor dapat dilakukan dengan tepat.



Gambar 1. Kurva konversi daya JKT04 sebagai fungsi posisi batang kendali.

Selain menggunakan cara di atas, besar daya reaktor bisa ditentukan juga dengan melihat langsung pada Tabel konversi kalibrasi daya. Untuk suhu masukan kolam reaktor $T_{m\pm} 36^{\circ}\text{C}$ dan beda suhu masukan dan keluaran teras reaktor sebesar 4,05 K, dari tabel didapat $P_t = 14,619 \text{ MW}$. Dikoreksi oleh faktor perbedaan aliran pendingin pada tabel dan kondisi sebenarnya, sehingga:

$$P = \frac{3190,5}{3177} \times 14.619 = 14.681 \text{ MW}$$

Besar daya reaktor hasil perhitungan dan hasil pembacaan tabel konversi hanya terdapat perbedaan yang sangat kecil yang disebabkan karena adanya kesalahan dalam pembacaan meter digital yang selalu beresilasi.

Faktor konversi daya: $1 \times 10^{-10} \text{ A}$

$$= \frac{P \cdot 10^6}{I_{\text{JKT04}}} \times 10^{-10} \text{ Watt}$$

$$A = \frac{14,68 \cdot 1.10^6}{0,47.10^{-4}} \times 10^{-10} \text{ Watt}$$

$$= 31,236 \text{ Watt}$$

Besar arus listrik yang seharusnya ditunjukkan oleh kanal ukur JKT03 adalah sebagai berikut:

Daya yang terbaca pada meter RKTU:

$$P_p = \frac{P}{P_{\text{nominal}}} \times 100\%$$

$$P_p = \frac{14.681}{30} \times 100\% = 48,9\%$$

Besar arus yang terbaca pada meter JKT03:

$$P_{\text{mA}} = \frac{P_p}{150} \times 20\text{mA}$$

$$\frac{48,9}{150}$$

$$P_{\text{mA}} = \quad \quad \quad \times 20\text{mA} = 6,52 \text{ mA}$$

Daya dalam % MW yang ditunjukkan oleh meter JKT04 DX001 adalah pada arus:

$$\frac{15 \times 10^6 \text{ Watt}}{31,236 \text{ Watt}} \times 10^{-10} = 0,48 \times 10^{-4} \text{ A.}$$

Untuk mempertahankan daya reaktor 15 MW agar pengendalian daya bisa tepat dan benar, maka pengesetan indikator daya JKT04 harus menggunakan konversi hasil kalibrasi yaitu $1 \times 10^{-10} \text{ A} = 31,236 \text{ Watt}$ atau dapat dilihat pada meter di RKTU tertampil $0,48 \times 10^{-4} \text{ A}$.

KESIMPULAN

1. Dengan dilakukan kalibrasi daya secara periodik, maka penunjukan kanal pengukur daya selalu dapat disesuaikan dengan daya yang sebenarnya, sehingga pengendalian reaktor dapat berlangsung dengan tepat dan benar.
2. Penyesuaian/pengesetan indikator daya reaktor sebaiknya dilakukan juga setiap seminggu sekali dengan mengacu pada hasil kalibrasi daya.

DAFTAR PUSTAKA

1. IMAN KUNTORO, "Keselamatan Reaktor" Diktat Pelatihan Inspeksi Keselamatan Teknis, Pusdiklat-BATAN, Jakarta Th.2002.
2. ANONIM, "Laporan Analisis Keselamatan Reaktor RSG-GAS" Revisi 10. 1, Jakarta Th 2010.
3. ANONIM, "Buku Induk Operasi Reaktor RSG-GAS No. 313-315", Jakarta Th. 2015.
4. Darwis Isnaini, "Tabel Konversi ΔT Ke Daya Reaktor", Kelompok Termohidrolik-Bidang Fisika Reaktor PRSG-BATAN, Jakarta Th. 1995.

