

**PENGARUH POSISI BATANG KENDALI  
TERHADAP FAKTOR KONVERSI KANAL UKUR LINIER TERAS 52  
REAKTOR SERBA GUNA G.A. SIWABESSY**

Sudiyono, Suhadi, Budi Supriyatman

**ABSTRAK**

**PENGARUH POSISI BATANG KENDALI TERHADAP FAKTOR KONVERSI KANAL UKUR LINIER TERAS 52 REAKTOR SERBA GUNA G.A. SIWABESSY.** Untuk menunjang pengoperasian Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy dan untuk menjaga agar batas-batas keselamatan reaktor yang terkait tidak terlampaui maka perlu dilakukan kalibrasi daya untuk mengetahui berapa besar daya yang dibangkitkan Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy. Kalibrasi daya dilakukan metoda kalorimetri stasioner, pada daya 15 MW. Kalibrasi daya menghasilkan faktor konversi kanal ukur linier. Faktor konversi kanal ukur linier dipengaruhi posisi batang kendali. Makin tinggi posisi batang kendali, maka faktor konvensi  $1 \times 10^{-10}$ A (JKT 04) terhadap daya reaktor (watt) makin besar. Untuk teras 52 penyimpangan faktor konversi pada saat BOC (posisi batang kendali rendah) dan EOC (posisi batang kendali tinggi) adalah 9,3 %.

**ABSTRACT**

**INFLUENCE OF CONTROL ROD POSITION TO FACTOR CONVERT LINEAR MEASURE CANAL CORE 52 OF RSG-GAS.** To support operation of RSG-GAS and to keep reactor safety limit is not exceed, so it require to calibrate energy to know how much energy generated by RSG-GAS. Calibrate energy is conducted by calorimeter method of stationer, at energy 15 MW. Calibrate energy result factor convert linear measure channel. Factor convert is influenced by linear measure channel of control rod position. Much higher control rod position, much more factor convert  $1 \times 10^{-10}$  A (JKT 04) to reactor energy (watt). For core 52, deviation of factor convert at BOC (low control rod position) and EOC (high control roc position) is 9,3 %.

## PENDAHULUAN

Dalam mengoperasikan Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy, daya reaktor pada umumnya 15 MW. Angka 15 MW di ambil karena pada daya tersebut pengguna sudah dapat terlayani dengan baik, juga dalam rangka menghemat bahan bakar. Dalam 1 teras tertentu dengan (moda 5-1) daya yang dapat dibangkitkan berkisar 650 MWD, dengan posisi batang kendali dari sekitar 260 mm di awal siklus (BOC) menjadi sekitar 550 mm di akhir siklus (EOC). Untuk menjaga kebenaran penunjukan kanal daya reaktor maka perlu dilakukan kalibrasi daya yaitu mengeset alat ukur sesuai dengan besarnya daya dari hasil kalibrasi daya yang dilakukan.

Di Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy ada 2 kanal ukur daya reaktor yang harus disesuaikan dengan hasil kalibrasi daya pada saat tertentu yaitu kanal daya terkoreksi N-16, dan kanal daya tak terkoreksi N-16 yang di pergunakan juga untuk memonitor ketidakseimbangan pembangkitan daya di teras reaktor (*unbalanced load*).

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.

Seperti kita ketahui bahwa distribusi fluks neutron arah aksial akan berubah sesuai dengan posisi batang kendali, dan detektor neutron di pasang tetap di sekitar teras reaktor, maka untuk daya yang sama arus yang dihasilkan detektor akan berubah sesuai dengan perubahan distribusi fluks arah aksial akibat dari perubahan posisi batang kendali.

Di Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy kalibrasi daya menghasilkan suatu faktor konversi arus keluaran kanal linier (JKT 04) terhadap daya (watt) yang dibangkitkan oleh teras reaktor, biasanya dalam bentuk konversi

$$1 \times 10^{-10} \text{A (JKT 04)} = \dots\dots \text{ watt}$$

Dalam tulisan ini dikaji pengaruh posisi batang kendali terhadap faktor konversi kanal ukur linier di Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy.

## TEORI

### Penentuan Daya Reaktor

Suatu reaktor yang beroperasi pada daya tetap 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. Kalibrasi daya dengan metode kalorimetri stasioner mengukur beda suhu air pendingin yang diakibatkan oleh panas hasil fisi pada teras. Besarnya beda suhu bergantung kepada besarnya panas pada teras reaktor, massa aliran pendingin dan panas spesifik.

Besarnya daya reaktor dapat dihitung dengan persamaan<sup>[1]</sup>:

$$Q = \dot{V} \cdot C_p \cdot (T_k - T_m) \dots\dots\dots(1)$$

Atau

$$Q = W \cdot r \cdot C_p \cdot DT \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

$Q$  = Daya reaktor (kW),       $C_p$  = Panas spesifik pendingin (kJ/kg.°K)

$W$  = Laju alir Volumetrik ( $m^3/s$ ),  $T_m$  = Suhu masukan teras reaktor

$\dot{m}$  = Massa alir pendingin ( $kg/s$ ),  $T_k$  = Suhu keluaran teras reaktor

$\rho$  = massa jenis pendingin ( $kg/m^3$ )

$\Delta T$  = Beda suhu keluaran dan masukan teras reaktor ( $^{\circ}K$ )

Dengan mengukur besarnya laju alir sistem pendingin primer ( $W$ ), suhu masukan teras  $T_m$  dan suhu keluaran teras  $T_k$ , serta memasukan dalam persamaan di atas maka dapat dihitung besar daya reaktor yang dibangkitkan.

Untuk  $\Delta T$  yang kecil, harga  $C_p$  dan  $\rho$  dapat dianggap tetap. Namun untuk mendapatkan ketelitian yang lebih baik maka harga  $C_p$  dan  $\rho$  harus dikoreksi dengan persamaan berikut<sup>[1]</sup>:

$$r = 1000 (1,0029 - 1,5838 \cdot 10^{-4} \cdot T_b - 2,847 \cdot 10^{-6} \cdot T_b^2) \dots\dots\dots(3)$$

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

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  $^{\circ}C$ . 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 diteras sebagai fungsi suhu masukan teras ( $T_m$ ) tertentu dan beda suhu ( $\Delta T$ ). Tabel ini digunakan untuk menentukan besarnya daya reaktor hanya dengan memperhatikan berapa suhu pendingin masukan teras reaktor ( $T_m$ ) dan beda suhu masukan dan keluaran teras reaktor ( $\Delta T$ ).

Dalam melakukan kalibrasi daya reaktor diperlukan kondisi awal, sebagai berikut:

1. Konfigurasi teras sudah terbentuk, dengan muatan lain seperti FPM, Iridium, TeO<sub>2</sub>, dan lain-lain.
2. Sistem pendingin Primer dan Sekunder masing-masing beroperasi dengan 2 buah pompa.
3. Selain 2 persyaratan tersebut di atas juga harus dipenuhi kondisi awal reaktor antara lain :
  - Reaktor siap dioperasikan untuk operasi daya tinggi
  - Sekat pemisah kolam reaktor dengan kolam penyimpanan bahan bakar bekas dalam kondisi tertutup
  - Sistem aliran air hangat (*Warm Water Layer- WWL*) KBE 02, dalam kondisi hidup.
  - Sistem pemurnian dan pendingin kolam bahan bakar bekas (FAK 01) dalam kondisi operasi
  - Sistem pemurnian air pendingin Primer (KBE 01) dalam kondisi beroperasi
  - Sistem pendingin kolam darurat (JNA 10/20/30) dalam kondisi mati
  - Beam Tube (s1 s/d s6) dalam kondisi standar operasi rutin

### **Pengaturan Sistem Kanal Pengukuran Fluks Neutron**

Seperti telah disebutkan di muka, dalam pengoperasian reaktor, operator reaktor dalam membaca daya reaktor hanya berpedoman pada penunjukan daya di ruang kendali utama (RKU). RSG-GAS mempunyai beberapa jenis kanal pengukuran yang dapat dipergunakan untuk memantau daya reaktor. Sistem tersebut antara lain sistem pengukuran fluks neutron JKT01 CX811/821, JKT02 CX811/821, JKT03 CX811/821/831/841 dan JKT04 DX001. Masing-masing detektor tersebut memiliki daerah kerja tertentu. Selain itu terdapat pula sistem 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 dari isotop N-16 yang dipasang pada ujung pipa pendingin Primer sebelum *Delay Chamber*.

Sistem kanal pengukuran JKT03 CX811/821/831/841 dan JRF10 FX805 merupakan kanal yang digunakan sebagai acuan pembacaan daya reaktor untuk operasi daya tinggi. Kedua sistem 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.

Sistem kanal pengukuran JKT04 DX001 adalah kanal pengukur fluks neutron yang mempunyai jangkauan kerja linier dengan penunjukan arus (Amper), mulai batas bawah  $10^{-10}$ A hingga batas atas  $10^{-4}$ . Sistem ini digunakan sebagai acuan untuk operasi reaktor daya rendah sampai daya tinggi, di samping digunakan pula untuk sistem pengendalian daya secara otomatis. Untuk mendapatkan satuan daya dalam Watt/Mega Watt digunakan faktor konversi tertentu yang diperoleh dari hasil kalibrasi daya secara kalorimerti stasioner.

Faktor konversi JKT04 DX001 dapat dihitung dengan persamaan<sup>[1]</sup> :

$$1 \cdot 10^{-10} \text{ Amper} = \frac{q \cdot 10^6}{I_{JKT04}} \text{ Watt}$$

.....(5)

Dimana :

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

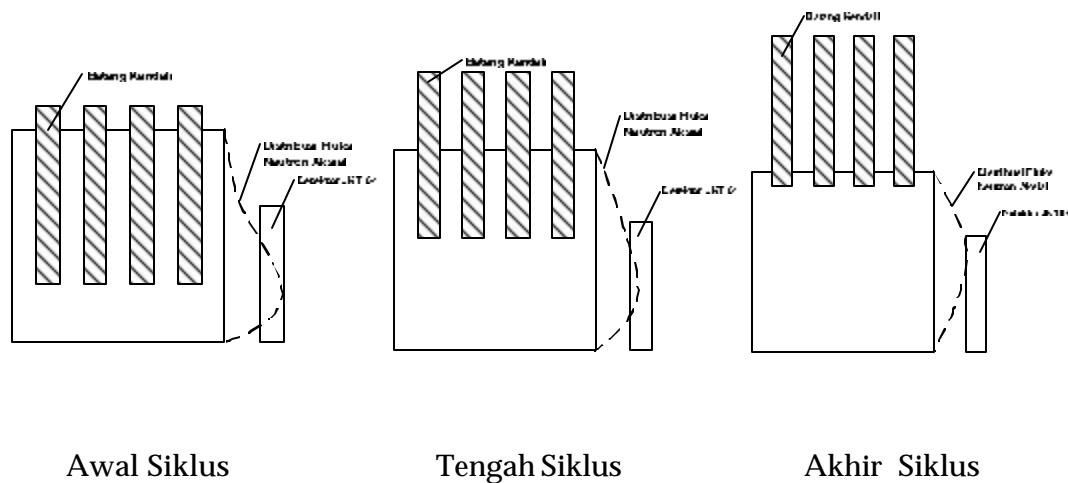
### **Perubahan Posisi Batang kendali**

Setelah reaktor mencapai 15 MW, maka posisi batang kendali akan berubah untuk mengimbangi reaktivitas negatif suhu, reaktivitas negatif xenon dan mengimbangi reaktivitas negatif dari berkurangnya bahan bakar.

Reaktivitas negatif suhu akan mencapai stabil setelah suhu pendingin mencapai kondisi seimbang. Reaktivitas negatif xenon akan naik terus dan mencapai stabil setelah reaktor beroperasi  $\pm 40$  jam. Selanjutnya perubahan posisi batang kendali terjadi untuk mengimbangi terbakarnya bahan bakar selama beroperasi sehingga akhir siklus.

Berubahnya posisi batang kendali akan mempengaruhi/merubah kontur distribusi fluks neutron secara aksial

Gambaran perubahan posisi batang kendali dan perubahan distribusi fluks neutron secara aksial pada daya tetap adalah sebagai berikut<sup>[3]</sup> :



Gambar 1. Perubahan posisi batang kendali dan fluks neutron secara aksial pada daya tetap.

Karena detektor JKT 04 dipasang tetap di pinggir teras reaktor, sedang fluks neutron yang mengenai detektor tersebut berubah sesuai posisi batang kendali, maka arus keluaran JKT 04 untuk daya yang sama akan berubah sesuai dengan posisi batang kendali. Sehingga faktor konfersi JKT 04 akan selalu berubah sesuai dengan posisi batang kendali.

## TATA CARA KALIBRASI DAYA

Tata cara kalibrasi daya berikut mengacu pada prosedur kalibrasi daya reaktor RSG-GAS. No. TRR.OR.18.02.42.01 Rev.0.

### Peralatan

1. *Digital Multimeter*, alat ini bisa mengukur arus, tegangan dan hambatan dengan ketelitian yang cukup baik. Karena kalibrasi daya ini ditekankan pada perbedaan suhu pendingin, maka untuk mengukur suhu pendingin dari kanal ukur JE01 CT001 dan CT006 agar lebih teliti perlu digunakan



digital multimeter tersebut dalam arus listrik dan bisa dikonversi ke derajat celcius.

## 2. Kalkulator

3. Tabel konversi kalibrasi daya, untuk memudahkan perhitungan/penentuan daya, yaitu hanya dengan membaca daya terukur/terhitung sebagai fungsi suhu masukan teras reaktor dan beda suhu masukan dan keluaran teras reaktor.

## Cara Kerja

Setelah semua persyaratan dan kondisi awal operasi terpenuhi, maka reaktor siap dioperasikan untuk kalibrasi daya mengikuti prosedur yang berlaku dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan faktor koreksi suhu yaitu penunjukan suhu antara JE01 CT001 dan JE01 CT006 beberapa saat setelah sistem pendingin reaktor dioperasikan (setelah kondisi stabil), sebelum reaktor dioperasikan.

faktor koreksi terhadap hasil pengukuran suhu pada saat kalibrasi daya sebagai berikut:

$$f_c = \frac{1}{2} T_{CT001} - T_{CT006}^{1/2} \text{ kondisi awal}$$

2. Reaktor dioperasikan, dikritiskan dan kemudian dinaikan ketinggian daya dimana kalibrasi daya dilakukan. Tingkat daya ini ditentukan berdasarkan penunjukan kanal ukur JKT04 DX001 dengan menggunakan faktor konversi dari hasil sebelumnya.

3. Pertahankan daya reaktor hingga parameter suhu stabil.

4. Catat parameter penting yang diperlukan, khususnya JE01 CT001 dan CT006. Beda suhu hasil pengukuran dikoreksi dengan faktor koreksi  $f$  yang telah diperoleh di atas.

5. Baca daya reaktor dengan menggunakan tabel konversi, ( $\Delta T$ ) versus daya yang telah dipersiapkan.

6. Dari perhitungan daya yang diperoleh, kemudian digunakan untuk menentukan faktor konversi

$$1 \times 10^{-10} \text{ A (JKT 04) } = \dots\dots\dots\text{watt}$$

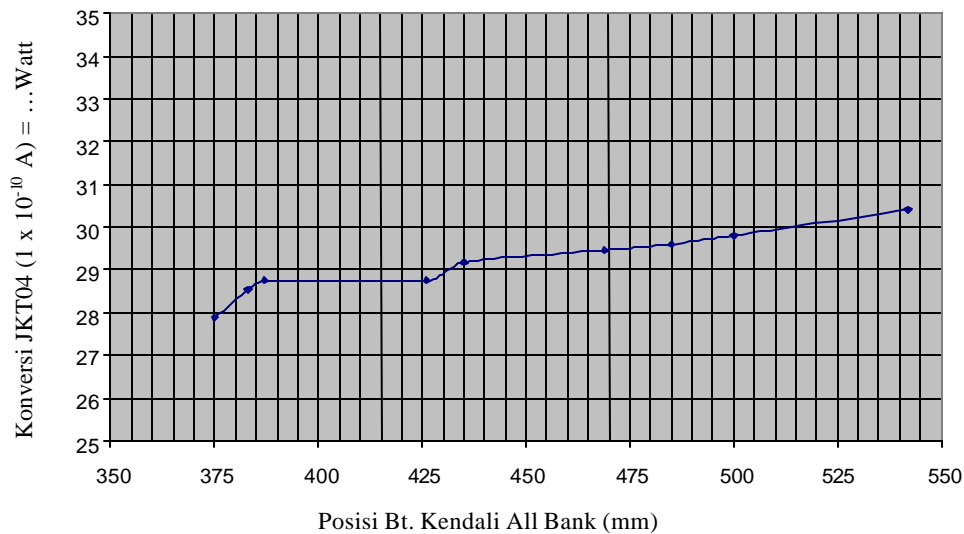
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Teras 52 dimulai pada 10 Nopember 2004 dan berakhir pada 8 Maret 2005 Kalibrasi daya pada teras 52 dilakukan sebanyak 10 kali pada daya 15 MW dengan interval waktu  $\pm$  4 hari. Secara umum reaktor dioperasikan untuk iradiasi berbagai target antara lain target U-235, TeU2, Sm2O3, Re-m, MoO3, Pd-m, H2O3, S, Co, Zr dan Ho. Fasilitas Beam-tube sistem (S2, S4, S5 dan S6) digunakan untuk penelitian sains materi yang pelaksanaannya dikoordinasi oleh Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir. Penggunaan lain ialah untuk percobaan penentuan karakteristik Operasi reaktor pada awal teras. Selama operasi reaktor teras 52 Operasi reaktor paling sering dilakukan pada daya 15 MW dengan total energi yang dibangkitkan selama periode teras 52 sebesar 608,1631 MWD.

Faktor konversi kanal ukur linier (JKT04) pada teras 52 dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1. Faktor konversi kanal ukur linier (JKT04) pada teras 52**

No.	Tanggal	Jam	Korversi JKT 04 $1 \times 10^{10} \text{ A} = \dots \text{ watt}$	Posisi Batang Kendali All bank (mm)
1.	04-12-2004	16.30	27.88	376
2.	05-12-2004	05.00	28.53	383
3.	05-12-2004	19.00	28.09	386
4.	06-12-2004	09.00	28.74	387
5.	27-12-2004	09.15	28.75	428
6.	29-12-2004	10.50	29.17	433
7.	17-01-2005	09.00	29.45	469
8.	24-01-2005	09.30	29.608	484
9.	21-02-2005	09.10	29.80	500
10.	08-03-2005	09.00	30.406	542



Gambar 2. Grafik Konversi JKT04 Sebagai Fungsi Posisi Bt. Kendali

Untuk operasi pada daya 15 MW, berdasarkan faktor konversi, arus JKT04 pada awal siklus (BOC) =  $0,52 \times 10^{-10} \text{ A}$  dan pada akhir siklus (EOC) =  $0,48 \times 10^{-10} \text{ A}$ .

Apabila kalibrasi daya reaktor dilakukan satu kali pada awal siklus maka daya nyata yang dibangkitkan akan lebih besar dari pada daya yang tertulis pada dokumen operasi yang ada. Makin tinggi posisi batang kendali maka makin besar penyimpangan antara daya nyata dan daya yang tertulis. Untuk teras 52, dengan operasi daya tetap 15 MW penyimpangan maksimum factor konversi kanal daya linier antara awal siklus (BOC) dengan akhir siklus (EOC) sebesar 9,3 %.

## KESIMPULAN

1. Faktor konversi kanal daya linier (JKT04) dipengaruhi oleh posisi batang kendali
2. Apabila kalibrasi daya reaktor dilakukan satu kali pada awal siklus maka daya nyata yang dibangkitkan akan lebih besar dari pada daya yang tertulis pada dokumen operasi yang ada. Makin tinggi posisi batang

kendali maka makin besar penyimpangan antara daya nyata dan daya yang tertulis.

3. Untuk teras 52, dengan operasi daya tetap 15 MW penyimpangan maksimum faktor konversi kanal daya linier antara awal siklus (BOC) dengan akhir siklus (EOC) sebesar 9,3 %.
4. Untuk menghindari penyimpangan antara daya nyata dan daya yang tertulis, maka kalibrasi batang kendali dilakukan sesering mungkin (setiap 3 hari sekali), selama operasi reaktor berlangsung.

#### **Daftar Pustaka**

- [1] **Slamet Wiranto**, *Diktat Praktikum Kalibrasi Daya RSG-GAS*, Diklat Operator Reaktor, P2TRR-BATAN, September 2003
- [2] **IR. Darwis Isnaeni**, *Tabel Konvversi Delta Suhu terhadap Daya Reaktor*, P2TRR-BATAN, 1995.
- [3] **Uju Jujuratisbella**, *Fisika Reaktor, Diklat Operator Reaktor*, PRSG-BATAN, 1987