

## PENGUKURAN FAKTOR KOREKSI KALIBRASI DAYA REAKTOR RSG-GAS

Sukiyanto, S.ST<sup>1</sup>, Bagus Dwi Nurtanto, A.Md<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Pusat Reaktor Serba Guna - Badan Tenaga Nuklir Nasional

<sup>1</sup>Email: sukiyanto@batan.go.id

<sup>2</sup>Email: bagusdwi@batan.go.id

### ABSTRAK

**PENGUKURAN FAKTOR KOREKSI KALIBRASI DAYA REAKTOR RSG-GAS.** Kalibrasi daya reaktor adalah proses penyesuaian/ pengaturan ulang alat ukur/ kanal-kanal ukur daya reaktor terhadap besaran/ nilai standar yang telah diketahui. Daya reaktor harus dikoreksi karena hal ini menyangkut keselamatan reaktor. Dalam beberapa kali operasi, kalibrasi daya reaktor cenderung mengalami kenaikan, sehingga parameter dan nilai-nilai yang mempengaruhinya perlu dikaji/ dianalisa. Salah satu parameter/ nilai yang mempengaruhi kalibrasi daya reaktor adalah faktor koreksi. Makalah ini bertujuan untuk mengukur faktor koreksi, apakah telah terjadi perubahan. Lingkup yang dibahas meliputi parameter pengoperasian RSG-GAS terkait faktor koreksi dan kalibrasi daya reaktor, serta pengukuran faktor koreksi. Pengukuran faktor koreksi dilakukan dalam kondisi seluruh sistem dioperasikan seperti pada saat operasi daya tinggi. Dari hasil pengukuran diketahui bahwa nilai faktor koreksi mengalami perubahan dari 0,17 menjadi 0,41. Perubahan tersebut berpengaruh terhadap hasil kalibrasi daya reaktor serta berpengaruh terhadap perhitungan *burn-up* bahan bakar. Diharapkan hasil pengukuran ini dapat digunakan sebagai salah satu acuan dalam melakukan kalibrasi daya reaktor RSG-GAS dan sebagai bahan pertimbangan agar dilakukan pengukuran faktor koreksi secara berkala.

**Kata kunci:** reaktor RSG-GAS, kalibrasi daya reaktor, faktor koreksi.

### ABSTRACT

**MEASUREMENT OF THE CORRECTION FACTOR FOR POWER CALIBRATION OF THE RSG-GAS REACTOR.** The reactor power calibration is the process of adjusting/ reorganizing gauge/ canals measuring reactor power to the magnitude or default values that has been known. The reactor power should be corrected due to it relate to safety of the reactor. Several times in the operation, calibration of reactor power tends to increase causing all parameter of power reactor need to be reviewed. One of the parameters that affect the reactor power calibration is a correction factor. This paper is aimed to measure of correction factor whether it is changed. The scope covered includes such as the parameter of operation of the RSG-GAS relate to correction factor and power calibration factor. The correction factor measurement is carried out in conditions of the entire system is operated as during high power operation. From the measurement it has been recognized that the correction factor changes from 0,17 to 0,41. The changes also affect the reactor power calibration results and the calculation of fuel burn-up either. It is expected that result of the measurement can be used as a reference in reactor power calibration of the RSG-GAS to conduct correction factor measurements periodically.

**Key words:** RSG-GAS reactor, reactor power calibration, correction factor.

### PENDAHULUAN

Operasi reaktor RSG-GAS dipantau dan dikendalikan melalui peralatan instrumentasi dan kendali yang mencakup fasilitas pengukuran, pengendalian, pengamanan, dan pemantauan seluruh instalasi reaktor. Sistem instrumentasi dan kendali (SIK) terdiri dari:

- Sistem Instrumentasi dan Kendali Proteksi Reaktor,
- Ruang Kendali Utama (RKU), Ruang Kendali Darurat (RKD), dan panel-panel lokal berkaitan dengan sistem alarm terpadu,

- Sistem Instrumentasi dan Kendali Proses,
- Sistem Pemantauan Radiasi,
- Instrumentasi Perekaman Kecepatan Gempa (seismik),
- Sistem Alarm Kebakaran, dan
- Sistem Komunikasi.

Sistem instrumentasi dan kendali reaktor dibuat berdasarkan pada prinsip bahwa reaktor dapat dioperasikan dengan selamat dari RKU dan reaktor dapat dikendalikan atau dijaga pada kondisi selamat dalam keadaan normal maupun keadaan kecelakaan. Seluruh tindakan keselamatan yang membutuhkan tindakan dini akan dilakukan secara otomatis, dan

dalam hal RKU tidak mampu, maka RKD berfungsi melakukan tindakan dan menjaga reaktor dalam kondisi selamat.

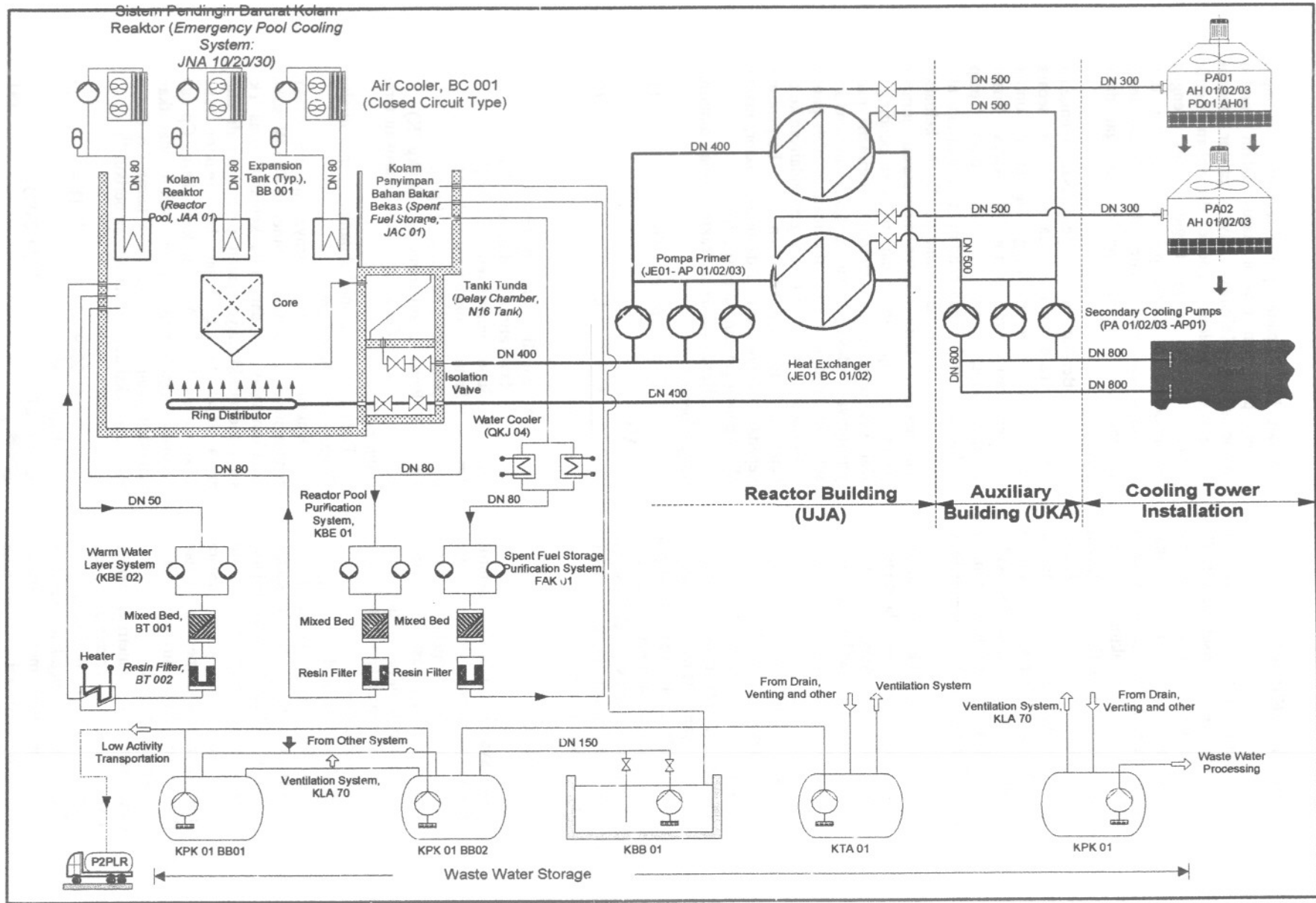
Dalam rangka memenuhi prinsip-prinsip tersebut serta menjamin kebenaran penunjukan kanal pengukuran termasuk sistem kanal pengukuran daya reaktor, maka harus selalu dilakukan kalibrasi secara periodik, yaitu menyesuaikan/ mengatur ulang alat ukur/ kanal-kanal ukur terhadap besaran/ nilai standar yang telah diketahui, terutama setelah dilakukan perubahan konfigurasi teras reaktor.

Berdasarkan hasil kalibrasi daya reaktor yang dilakukan dalam beberapa kali operasi reaktor RSG-GAS pada teras sebelumnya diketahui hasil konversi daya reaktor cenderung mengalami kenaikan. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian/ analisa terhadap parameter dan nilai-nilai yang berpengaruh terhadap hasil kalibrasi daya reaktor, salah satu parameter atau nilai yang perlu diperhatikan adalah faktor koreksi. Faktor koreksi kalibrasi daya reaktor sangat berkaitan dengan ketelitian perhitungan kalibrasi daya reaktor.

Untuk mendapatkan hasil ketelitian yang benar pada kalibrasi daya reaktor maka harus dikoreksi dengan pengukuran faktor koreksi. Pengukuran faktor koreksi dilakukan dalam kondisi seluruh sistem dioperasikan seperti pada saat operasi daya tinggi. Sistem yang harus dioperasikan untuk mendapatkan hasil pengukuran faktor koreksi yang benar adalah pompa sistem pendingin primer (JE-01 AP001/002/003), pompa sistem pendingin sekunder (PA-01/02/03 AP001), blower sistem pendingin sekunder (PA-01 AH001/002/003, PA-02 AH001/002/003), pompa sistem purifikasi air kolam reaktor (KBE01 AP001/002), pompa sistem purifikasi dan lapisan air hangat pada permukaan kolam reaktor (KBE02 AP001/002) beserta seluruh *heaternya* beroperasi. Sistem-sistem tersebut ditampilkan dalam gambar 1.

Pengukuran faktor koreksi dilakukan untuk mengetahui apakah telah terjadi perubahan nilai faktor koreksi yang selama ini digunakan dalam perhitungan kalibrasi daya reaktor RSG-GAS serta untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai tersebut terhadap hasil kalibrasi daya reaktor. Lingkup yang dibahas meliputi parameter kalibrasi daya reaktor, dan pengukuran faktor koreksi.

Aspek-aspek yang dibahas diharapkan dapat menjadi salah satu acuan dalam melakukan kalibrasi daya reaktor RSG-GAS dan juga menjadi bahan pertimbangan untuk dapat dilakukan pengukuran faktor koreksi secara berkala guna menjamin penunjukan kanal ukur yang benar.



Gambar 1. Diagram Fasilitas RSG-GAS dan Sistem Pendingin Reaktor

## URAIAN SINGKAT REAKTOR RSG-GAS

Reaktor Serba Guna G.A Siwabessy (RSG-GAS) merupakan reaktor riset jenis MTR (*Material Testing Reactor*) pertama di dunia yang dioperasikan dengan menggunakan elemen bakar  $U_3O_8$ -Al pengkayaan rendah, LEU (*Low Enriched Uranium*). RSG-GAS adalah reaktor penelitian yang digunakan untuk penelitian, melayani kegiatan iradiasi, pendidikan dan pelatihan. Disain RSG-GAS berbentuk kolam terbuka dengan air sebagai pendingin dan moderator serta Beryllium sebagai reflektor. Daya thermal nominal RSG-GAS sebesar 30 MW dan fluks neutron maksimum di *Central Irradiation Position* (CIP) sebesar  $5,38 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>.s.

Pada tahun 1999 dilakukan konversi teras RSG-GAS dari bahan bakar oksida menjadi bahan bakar silisida  $U_3Si_2$ -Al. Alasannya adalah bahan bakar silisida dengan densitas Uranium lebih tinggi akan meningkatkan panjang siklus operasi reaktor.

Konversi dimulai dengan menggunakan teras campuran bahan bakar oksida dan silisida. Konversi tahap pertama dari bahan bakar oksida menjadi silisida dengan densitas Uranium dalam *meat* yang sama  $2,96$  g/cm<sup>3</sup>. Diperlukan sepuluh (10) siklus operasi hingga didapatkan teras setimbang silisida penuh (tercapai pada teras ke XLV bulan agustus 2002). Susunan teras setimbang (*TWC*) terdiri atas 40 elemen bakar standar dan 8 elemen bakar kendali.

## KALIBRASI DAYA REAKTOR

Kalibrasi daya reaktor meliputi seluruh kegiatan pengukuran parameter variabel daya, kalkulasi daya reaktor dan pengaturan ulang instrumen/ kanal ukur daya. Kalibrasi daya reaktor bertujuan untuk mengetahui daya reaktor yang sebenarnya juga guna menyesuaikan meter-meter daya sesuai dengan hasil kalibrasi.

Kalibrasi daya reaktor dapat dilakukan dalam dua cara, yaitu kalibrasi secara nuklir dan secara kalorimetri (*thermo*). Kalibrasi daya secara nuklir biasanya hanya dilakukan untuk reaktor-reaktor dengan daya rendah, karena kalibrasi ini dilakukan dengan mengukur fluks neutron secara langsung pada masing-masing elemen bakar, dan pengukuran fluks neutron itu sendiri hanya bisa dilakukan pada operasi daya rendah.

Kalibrasi secara kalorimetri (*thermo*) ada dua macam yaitu non-stasioner dan stasioner. Kalibrasi daya reaktor secara kalorimetri non-stasioner dilakukan dengan mengukur kenaikan suhu air kolam reaktor tanpa mengoperasikan sistem pendingin reaktor. Kalibrasi daya ini juga hanya digunakan untuk reaktor dengan daya

rendah, karena pada operasi reaktor daya tinggi sistem pendingin reaktor harus dalam kondisi dioperasikan. Kalibrasi daya reaktor secara kalorimetri stasioner cocok digunakan untuk reaktor dengan daya tinggi, yaitu dengan mengoperasikan sistem pendingin reaktor dan mengukur suhu air keluaran dan masukan teras reaktor, kemudian dikonversikan sebagai daya standar.

Berikut adalah penjelasan mengenai teori dan cara kalibrasi daya reaktor secara kalorimetri stasioner yang digunakan untuk mengkalibrasi daya reaktor RSG-GAS. 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 pada prinsipnya berdasarkan pada 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:

$$Q = \epsilon \cdot Cp \cdot (T_k - T_m) \quad (1)$$

Atau,

$$Q = W \cdot \rho \cdot Cp \cdot \Delta T \quad (2)$$

dimana :

- Q = Daya reaktor (kW)
- W = Laju alir volumetrik (m<sup>3</sup>/s)
- $\epsilon$  = Massa aliran pendingin (kg/s)
- T<sub>k</sub> = Suhu keluaran teras reaktor (°C)
- T<sub>m</sub> = Suhu masukan teras reaktor (°C)
- $\rho$  = massa jenis pendingin (kg/m<sup>3</sup>)
- C<sub>p</sub> = Panas spesifik pendingin (kJ/kg.°K)
- $\Delta T$  = Beda suhu keluaran dan masukan teras reaktor (°K)

Pada persamaan ini kehilangan panas dijalar sistem primer diabaikan.

Dengan mengukur besarnya laju alir sistem pendingin teras (pendingin primer JE-01) W, suhu masukan teras T<sub>m</sub> dan suhu keluaran teras T<sub>k</sub>, serta memasukkannya dalam persamaan di atas maka dapat dihitung besar daya reaktor yang dibangkitkan. Untuk  $\Delta T$  yang kecil, harga C<sub>p</sub> dan  $\rho$  dapat dianggap tetap. Namun untuk mendapatkan ketelitian yang lebih baik maka harga C<sub>p</sub> dan  $\rho$  harus dikoreksi dengan persamaan berikut<sup>21</sup>:

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

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

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 JE-01 CT001 (masukan teras) dan JE-01 CT006 (keluaran teras), dengan satuan  $T_b$  adalah  $^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan untuk laju alir sistem pendingin primer dihitung dari jumlah laju alir yang terukur pada sensor JE-01 CF811/821/831 dan KBE01 CF003.

Hasil pengukuran laju alir dan suhu tersebut dipergunakan untuk menghitung daya reaktor yang dibangkitkan di teras. Kemudian untuk mendapatkan hasil ketelitian yang baik dan benar dilakukan pengukuran faktor koreksi daya reaktor dengan cara mengoperasikan sistem pendingin primer dan sekunder serta pendukungnya sampai perbedaan suhu masuk dan keluar teras mencapai harga stabil, sebelum reaktor dioperasikan.

#### PENGUKURAN FAKTOR KOREKSI KALIBRASI DAYA REAKTOR

Sebelum melakukan pengukuran faktor koreksi maka terlebih dahulu mengoperasikan sistem-sistem penunjang seolah-olah reaktor beroperasi pada daya tinggi (daya 15 MW), tetapi bedanya reaktor dalam kondisi padam (tidak dibebani daya reaktor). Sistem yang dioperasikan antara lain, sistem pendingin primer (JE-01) dioperasikan dua pompa, sistem pendingin sekunder (PA-01/02/03) dioperasikan dua pompa dengan empat blower (PA-01/02 AH01/02/03), sistem purifikasi air kolam reaktor (KBE01) dioperasikan dua pompa, dan sistem purifikasi dan lapisan air hangat permukaan kolam reaktor (KBE02) dioperasikan satu pompa dilengkapi dengan *heater* yang dioperasikan seluruhnya.

Seluruh sistem tersebut dioperasikan sampai dengan perbedaan suhu masuk (JE-01 CT006) dan suhu keluar teras reaktor (JE-01 CT001) stabil.

#### TATA KERJA PENGUKURAN FAKTOR KOREKSI KALIBRASI DAYA REAKTOR

1. Menutup *Stop gate* dengan sekat apung.
2. Sistem purifikasi air kolam reaktor sudah beroperasi (KBE01 AP001 dan AP002).
3. Menghidupkan pompa pendingin primer (JE-01 AP001 dan JE-01 AP002) setelah seluruh persyaratannya terpenuhi. (dioperasikan jam 16.03 WIB)
4. Menghidupkan pompa pendingin sekunder (PA-01 AP001 dan PA-03 AP001) serta 4 blower (PA-01 AH001 dan AH002, PA-02 AH001 dan AH002). (dioperasikan jam 16.20 WIB)
5. Sistem purifikasi dan lapisan air hangat permukaan air kolam reaktor beroperasi (KBE02 AP002) serta seluruh *heaternya* dioperasikan. (*heater* dioperasikan jam 16.24 WIB).
6. Mencatat data yang diperlukan untuk pengukuran faktor koreksi.
7. Seluruh sistem tersebut dioperasikan sampai perbedaan suhu masuk dan keluar teras reaktor stabil.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini data hasil pengukuran faktor koreksi daya reaktor yang telah dilakukan di RSG-GAS pada tanggal 23 Oktober 2015 (Teras 89):

Tabel 1. Pengukuran Laju Alir

No	JAM	Sistem Pendingin Primer JE-01 CF811/821/831 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Sistem Purifikasi Air Kolam Reaktor KBE01 CF003 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Sistem Purifikasi & Lapisan Air Hangat KBE02 CF002 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Ket
1	17.00	3150	41	10,5	
2	17.25	3150	41	10,5	
3	17.40	3150	41	10,5	
4	18.00	3150	41	10,5	
5	18.45	3150	41	10,5	
6	19.20	3150	41	10,5	
7	19.45	3150	41	10,5	
8	20.30	3150	41	10,5	
9	20.45	3150	41	10,5	
10	21.00	3150	41	10,5	
11	22.00	3150	41	10,5	



Tabel 2. Pengukuran suhu

No	JAM	Suhu Keluar Teras Reaktor JE-01 CT001 (°C)	Suhu Masuk Teras Reaktor JE-01 CT006 (°C)	Perbedaan Suhu	Keterangan Suhu Heater (°K)
1	17.00	25,63	25,32	0,31	1
2	17.25	25,62	25,30	0,32	2,5
3	17.40	25,61	25,29	0,32	2,2
4	18.00	25,60	25,27	0,33	3,5
5	18.45	25,59	25,25	0,34	5,5
6	19.20	25,13	24,78	0,35	7,5
7	19.45	25,04	24,67	0,37	7,5
8	20.30	24,52	24,11	0,41	7,8
9	20.45	24,43	24,02	0,41	7,9
10	21.00	23,94	23,53	0,41	8,2
11	22.00	23,86	23,40	0,46	8,0

Pengoperasian sistem pendingin primer menggunakan kombinasi pompa (JE-01 AP001/AP002) sedangkan untuk sistem pendingin sekunder menggunakan kombinasi pompa (PA-01 AP001/PA-03 AP001) dan empat *blower* yang dioperasikan (PA-01 AH001/AH002 dan PA-02 AH001/AH002). Kondisi *stop gate* (sekat apung) antara kolam reaktor dan kolam penyimpanan bahan bakar bekas harus ditutup supaya suhu pada permukaan kolam reaktor yang dihasilkan dari *heater* (sistem KBE02) sesuai yang diharapkan, disamping hal tersebut juga sebagai persyaratan dalam pengoperasian reaktor. Oleh karena *blower* yang dioperasikan hanya berjumlah empat buah seperti pada operasi reaktor daya 15 MW, maka faktor koreksi yang didapatkan dari hasil pengukuran hanya dapat digunakan untuk kalibrasi daya reaktor pada pengoperasian daya maksimal 15 MW.

Dari tabel.1 hasil pengukuran laju alir, diketahui bahwa laju alir seluruh sistem yang dioperasikan dari awal operasi sampai dengan akhir operasi penunjukannya stabil sehingga dapat menjamin hasil percobaan bebas dari pengaruh ketidakstabilan aliran yang dapat mempengaruhi pengukuran suhu pendingin reaktor.

Pada tabel.2 dicatat hasil pengukuran suhu khusus yang berpengaruh terhadap pengukuran faktor koreksi daya reaktor. Dari hasil pengukuran perbedaan suhu masuk dan suhu keluar pada sistem pendingin (perbedaan suhu masuk dan keluar teras reaktor), pada awal pencatatan perbedaan suhu cenderung mengalami kenaikan terus-menerus selama kurang lebih 3,5 jam setelah sistem pendingin dioperasikan, yaitu dari perbedaan suhu 0,31 °C sampai dengan 0,37 °C dan daerah tersebut belum dapat dijadikan ukuran atau hasil dari pengukuran faktor koreksi karena perbedaan suhunya belum stabil. Setelah sistem pendingin beroperasi lebih dari 3,5 jam pengukuran perbedaan suhu stabil pada 0,41 °C berlangsung kurang lebih satu jam dan bersamaan dengan waktu tersebut penunjukan suhu *heater* pada

permukaan kolam sudah mencapai harga maksimum sekitar  $\pm 8$  °K (stabil). Setelah sistem pendingin dioperasikan kurang lebih 6 jam, perbedaan pengukuran suhu masuk dan keluar teras kembali mengalami ketidak stabilan ditandai dengan adanya kenaikan suhu.

Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan dan didapatkan faktor koreksinya sebesar 0,41, maka dapat dikatakan terjadi perubahan nilai faktor koreksi yang sebelumnya sebesar 0,17. Perubahan ini tentunya mempengaruhi hasil perhitungan kalibrasi daya reaktor, dan tentu saja berpengaruh juga terhadap perhitungan *burn-up* bahan bakar reaktor RSG-GAS.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Dari hasil pengukuran dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa pengukuran faktor koreksi daya reaktor didapatkan sekitar 0,41 °C.
2. Terjadi perubahan nilai faktor koreksi dari yang sebelumnya digunakan yaitu 0,17 menjadi 0,41.
3. Faktor koreksi tersebut hanya dapat digunakan untuk kalibrasi daya reaktor pada operasi reaktor maksimal 15 MW dengan digunakan 4 buah *blower* (*Colling Tower*) pada sistem sekunder.

### Saran

1. Perlu dilakukan pengukuran faktor koreksi kalibrasi daya reaktor secara berkala untuk melihat terjadinya perubahan besaran faktor koreksi.
2. Perlu ada kajian lebih lanjut, karena terdapat perbedaan hasil dari pengukuran faktor koreksi sebelumnya.

3. Perlu dilakukan pengukuran faktor koreksi kalibrasi daya reaktor pada daya 30 MW (kondisi *blower* dioperasikan 6 buah).

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim. 2010. "*Petunjuk Pelaksanaan Kalibrasi Daya Reaktor RSG-GAS*". Tangerang Selatan: PRSG-BATAN.
2. Anonim. Desember 2011. "*Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy BATAN Revisi.10.1*".
3. Isnaeni, Moh Darwis. 2000. Kalibrasi Daya Reaktor dan Pengaturan Kar.al Pengukur Fluks Neutron RSG-GAS (Diklat Selingkung Manajemen Teras RSG-GAS). Jakarta: BATAN.
4. Isnaeni, Moh Darwis. 1995. "Tabel Konversi Daya Reaktor PRSG-BATAN". Jakarta: BATAN.
5. Wiranto, Slamet. "*Kajian Operasi RSG-GAS pada Siklus Operasi 61-71*".