

PENGUKURAN FAKTOR KOREKSI KALIBRASI DAYA 15 MW DAN 30 MW DI REAKTOR RSG-GAS

Sukiyanto, S.ST¹, Bagus Dwi Nurtanto, A.Md²

^{1,2}PRSG-BATAN Kawasan Puspiptek Gd. 30 Serpong, 15310

Email: sukiyanto@batan.go.id,

Diterima Editor : 27 Maret 2017

Diperbaiki : 7 April 2017

ABSTRAK

PENGUKURAN FAKTOR KOREKSI KALIBRASI DAYA 15 MW DAN 30 MW DI 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. Pada saat kalibrasi terdapat faktor koreksi sebagai salah satu parameter penting dalam kalibrasi daya reaktor yang harus diukur dan dievaluasi/dianalisa secara berkala. Permasalahan saat ini belum adanya pengukuran faktor koreksi terhadap kalibrasi daya khususnya pada pengoperasian reaktor pada daya 15 MW dan daya maksimum 30 MW. Pengukuran faktor koreksi bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai faktor koreksi yang selama ini digunakan dalam perhitungan kalibrasi daya reaktor RSG-GAS, untuk mengetahui pengaruh perubahan tersebut terhadap hasil kalibrasi daya reaktor, dan untuk mengetahui perbedaan nilai faktor koreksi pada saat pendingin sekunder dioperasikan dengan 4 dan 7 unit *blower*. Makalah ini disusun meliputi pencatatan kalibrasi daya reaktor, dan pengukuran faktor koreksi kalibrasi pada daya 15 MW dan 30 MW. Pengukuran faktor koreksi dilakukan dalam kondisi seluruh sistem dioperasikan seperti pada saat operasi daya tinggi, tetapi bedanya reaktor tidak dibebani oleh daya (kondisi reaktor padam). Pencatatan data dilakukan sampai dengan perbedaan suhu masuk dan keluar teras stabil dengan terlebih dahulu dilakukan pencatatan data awal sebelum sistem pendingin dioperasikan. Dari hasil pengukuran didapatkan faktor koreksi pada saat sistem pendingin sekunder dioperasikan dengan 4 unit *blower* (operasi 15 MW) adalah 0,1°C (faktor koreksi sebelumnya adalah 0,41 °C) dan faktor koreksi pada saat sistem pendingin sekunder dioperasikan dengan 7 unit *blower* (operasi 30 MW) yaitu 0,12 °C. Adanya perubahan dan perbedaan faktor koreksi mempengaruhi hasil kalibrasi daya reaktor. Diharapkan hasil pengukuran dapat menjadi acuan dalam melakukan kalibrasi daya reaktor RSG-GAS.

Kata kunci: kalibrasi, daya, reaktor, faktor koreksi.

ABSTRACT

THE MEASUREMENT OF 15 MW AND 30 MW POWER CALIBRATION CORRECTION FACTORS IN RSG-GAS REACTOR. Reactor power calibration is the process of adjusting or re-measuring the reactor power measuring tools or channels against standard values. At the time of calibration there is a correction factor which is important in the reactor power calibration that must be measured and analyzed periodically. The current problem is the absence of correction factor measurement of power calibration especially at the operation of reactor at 15 MW and 30 MW. Measurement of correction factor is intended to obtain the shift of correction factor that has been used in the calculation of RSG-GAS reactor power

calibration, to know the effect of the change on reactor power calibration, and to know the difference of correction factor value when the secondary coolant is operated with 4 and 7 Unit blower. This paper involves the recording of reactor power calibration, and measuring calibration correction factor at 15 MW and 30 MW power. Correction factor measurements are made under the conditions of the entire system being operated as during high power operation, but the difference is that the reactor is not burdened by power (reactor is not operated). The recording of data is carried out until the temperature difference in and out of the stable terrace with prior initial data recording before the cooling system is operated. From the measurement results obtained a correction factor when the secondary cooling system operated with 4 units of blower (operation 15 MW) is 0.1 ° C (previous correction factor is 0.41 ° C) and correction factor when the secondary cooling system is operated with 7 units Blower (operation 30 MW) that is 0.12 ° C. Changes and differences in correction factors affect the reactor power calibration results. It is expected that the measurement result can be a reference in conducting RSG-GAS reactor power calibration.

Key words: calibration, power, reactor, 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:

- a. Sistem Instrumentasi dan Kendali Keselamatan,
- b. Ruang Kendali Utama (RKU), Ruang Kendali Darurat (RKD), dan panel-panel lokal berkaitan dengan sistem alarm terpadu,
- c. Sistem Instrumentasi dan Kendali Proses,
- d. Sistem Pemantauan Radiasi,
- e. Instrumentasi Perekaman Kecepatan Gempa (seismik),
- f. Sistem Alarm Kebakaran, dan
- g. Sistem Komunikasi.

Sistem instrumentasi dan kendali reaktor dibuat berdasarkan pada prinsip bahwa reaktor dapat dioperasikan dengan selamat dari RKU, reaktor dapat dikendalikan dan 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 daya reaktor 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 tidak cukup akurat. Oleh karena itu perlu dilakukan pemantauan 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.

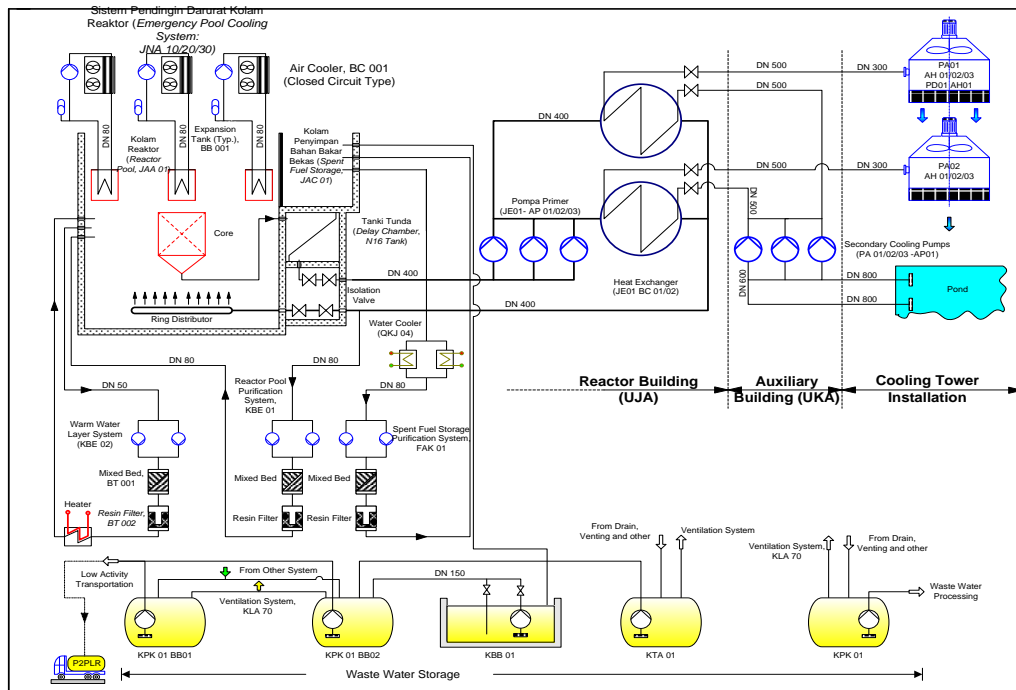
Untuk mendapatkan hasil ketelitian yang benar pada kalibrasi daya reaktor maka harus dikoreksi dengan pengukuran faktor koreksi. Pengukuran faktor koreksi dilakukan dalam kondisi seluruh sistem dioperasikan seperti pada saat operasi daya tinggi, tetapi bedanya reaktor tidak dibebani oleh daya (kondisi

reaktor padam). 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 (KBE-01 AP001/002), pompa sistem purifikasi dan lapisan air hangat pada permukaan kolam reaktor (KBE-02 AP001/002) beserta seluruh *heaternya* beroperasi. Sistem-sistem tersebut ditampilkan dalam gambar 1.

Permasalahan saat ini belum adanya pengukuran faktor koreksi terhadap kalibrasi daya khususnya pada pengoperasian reaktor pada daya 15 MW dan daya maksimum 30

MW. Pengukuran faktor koreksi bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai faktor koreksi yang selama ini digunakan dalam perhitungan kalibrasi daya reaktor RSG-GAS, untuk mengetahui perubahan tersebut terhadap hasil kalibrasi daya reaktor, dan untuk mengetahui perbedaan nilai faktor koreksi pada saat pendingin sekunder dioperasikan dengan 4 dan 7 buah *blower*. Makalah ini disusun meliputi kalibrasi daya reaktor, dan pengukuran faktor koreksi.

Aspek-aspek yang dibahas diharapkan dapat menjadi acuan saat melakukan kalibrasi daya reaktor RSG-GAS dan juga menjadi bahan pertimbangan dilakukannya pengukuran faktor koreksi secara berkala untuk menjamin keakuratan hasil kalibrasi daya reaktor dan keselamatan saat mengoperasikan reaktor.



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

URAIAN SINGKAT REAKTOR G.A SIWABESSY

Reaktor Serba Guna G.A Siwabessy (RSG-GAS) merupakan reaktor riset jenis MTR (*Material Testing Reactor*) pertama di dunia yang dioperasikan langsung dengan menggunakan elemen bakar pengkayaan Uranium rendah, LEU (*Low Enriched Uranium*). RSG-GAS adalah reaktor penelitian yang digunakan untuk penelitian, melayani kegiatan iradiasi, pendidikan dan pelatihan. Reaktor RSG-GAS didesain berupa 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/cm².s.

Pada saat RSG-GAS dibangun, hanya tersedia elemen bakar jenis oksida (U₃O₈-Al) yang spesifikasinya sesuai untuk digunakan. RSG-GAS menggunakan bahan bakar oksida dengan densitas Uranium dalam *meat* sebesar 2,96 g/cm³ dengan pengkayaan ²³⁵U sebesar 19,75%.

Pada tahun 1999 dilakukan konversi teras RSG-GAS dari bahan bakar oksida menjadi bahan bakar Uranium silisida U₃Si₂-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/cm³. Konversi tahap kedua adalah dari bahan bakar silisida dengan densitas Uranium 2,96 g/cm³ ke densitas Uranium yang lebih tinggi. 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 untuk 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 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*) terdiri atas dua macam cara 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 ini 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:

$$Q = \epsilon \cdot Cp \cdot (Tk - Tm) \quad (1)$$

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

di mana :

Q = Daya reaktor (kW)

W = Laju alir volumetrik (m³/s)

ϵ = Massa aliran pendingin (kg/s)

Tk = Suhu keluaran teras reaktor (°C)

Tm = Suhu masukan teras reaktor (°C)

ρ = massa jenis pendingin (kg/m³)

Cp = Panas spesifik pendingin (kJ/kg.°K)

ΔT = 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 Tm dan suhu keluaran teras Tk, serta memasukkannya dalam persamaan di atas maka dapat dihitung besar daya reaktor yang dibangkitkan. Untuk ΔT yang kecil, harga Cp dan ρ dapat dianggap tetap. Namun untuk mendapatkan ketelitian yang lebih baik maka harga Cp dan ρ harus dikoreksi dengan persamaan berikut²¹:

$$\rho = 000 (1,0029 - 1,5838 \cdot 10^{-4} \cdot Tb - 2,847 \cdot 10^{-6} \cdot Tb^2) \quad (3)$$

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

Dimana Tb 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 Tb adalah °C. Sedangkan untuk laju alir sistem pendingin primer dihitung dari jumlah laju alir yang terukur pada sensor JE-01 CF811/821/831 dan KBE-01 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, tetapi bedanya tidak dibebani daya reaktor (reaktor dalam kondisi padam). Sistem yang dioperasikan antara lain, sistem pendingin primer (JE-01) dioperasikan dua pompa, sistem pendingin sekunder (PA-01/02/03) dioperasikan dua pompa dengan *blower* (PA-01/02 AH001/002/003), sistem purifikasi air kolam reaktor (KBE-01) dioperasikan dua pompa, dan sistem purifikasi dan lapisan air hangat permukaan kolam reaktor (KBE-02) 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 Untuk Operasi Dengan 4 Buah *Blower* (Operasi 15 MW)

1. Mencatat data awal sebelum sistem pendingin dioperasikan.
2. Menutup *stop gate* dengan sekat apung.
3. Sistem purifikasi air kolam reaktor sudah beroperasi (KBE-01 AP001 dan AP002).

4. Menghidupkan pompa pendingin primer (JE-01 AP001 dan AP002) setelah seluruh persyaratannya terpenuhi.
5. Menghidupkan pompa pendingin sekunder (PA-01 dan PA-03 AP001) serta 4 blower (PA-01 AH001 dan AH002, PA-02 AH001 dan AH002).
6. Sistem purifikasi dan lapisan air hangat permukaan air kolam reaktor beroperasi (KBE-02 AP002) serta seluruh *heaternya* dioperasikan.
7. Mencatat data yang diperlukan untuk pengukuran faktor koreksi.
8. Seluruh sistem tersebut dioperasikan sampai perbedaan suhu masuk dan keluar teras reaktor stabil.

Tata Kerja Pengukuran Faktor Koreksi Kalibrasi Daya Reaktor Untuk Operasi Dengan 7 Buah *Blower* (Operasi 30 MW)

1. Setelah selesai mencatat data yang dibutuhkan pada pengukuran faktor koreksi kalibrasi daya reaktor dengan 4 buah *blower* seperti diatas. Kemudian 3

buah *blower* lainnya (PA-01 AH003, PA-02 AH003, dan PD001) dioperasikan.

2. Mencatat data yang diperlukan untuk pengukuran faktor koreksi.
3. Seluruh sistem tersebut dioperasikan sampai perbedaan suhu masuk dan keluar teras reaktor stabil.
4. Mematikan pompa sistem pendingin primer, pompa sistem pendingin sekunder, *blower* sistem pendingin sekunder, dan *heater* sistem purifikasi serta lapisan air hangat permukaan air kolam reaktor, setelah semua data yang dibutuhkan selesai dicatat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini data hasil pengukuran faktor koreksi kalibrasi daya reaktor yang telah dilakukan di RSG-GAS pada tanggal 04 Januari 2017 (Teras 92):

Tabel 1. Pencatatan Data Awal Suhu di Teras Reaktor

No	JAM	Suhu Keluar Teras Reaktor JE-01 CT001 (°C)	Suhu Masuk Teras Reaktor JE-01 CT006 (°C)	Perbedaan Suhu	Suhu <i>Heater</i> (°K)
1	08.50	20,35	20,15	0,2	-
2	09.20	20,35	20,15	0,2	-

Tabel 2. Pengukuran Laju Alir Pada Saat Dioperasikan 4 Buah *Blower* (15 MW)

No	JAM	Sistem Pendingin Primer JE-01 CF811/821/831 (m ³ /h)	Sistem Purifikasi Air Kolam Reaktor KBE01 CF003 (m ³ /h)	Sistem Purifikasi & Lapisan Air Hangat KBE02 CF002 (m ³ /h)	Ket
1	12.00	3150	40	10,5	
2	12.30	3150	40	10,5	
3	13.00	3150	40	10,5	
4	13.30	3150	40	10,5	
5	14.00	3150	40	10,5	

Tabel 2. Lanjutan

No	JAM	Sistem Pendingin Primer JE-01 CF811/821/831 (m ³ /h)	Sistem Purifikasi Air Kolam Reaktor KBE01 CF003 (m ³ /h)	Sistem Purifikasi & Lapisan Air Hangat KBE02 CF002 (m ³ /h)	Ket
6	14.37	3150	40	10,5	
7	15.00	3150	40	10,5	
8	15.38	3150	40	10,5	
9	16.00	3150	40	10,5	
10	16.30	3150	40	10,5	

Tabel 3. Pengukuran Laju Alir Pada Saat Dioperasikan 7 Buah Blower (30 MW)

No	JAM	Sistem Pendingin Primer JE-01 CF811/821/831 (m ³ /h)	Sistem Purifikasi Air Kolam Reaktor KBE01 CF003 (m ³ /h)	Sistem Purifikasi & Lapisan Air Hangat KBE02 CF002 (m ³ /h)	Ket
1	17.12	3150	40	10,5	
2	18.00	3150	40	10,5	
3	18.45	3150	40	10,5	
4	19.07	3150	40	10,5	
5	19.30	3150	40	10,5	
6	20.00	3150	40	10,5	
7	20.35	3150	40	10,5	
8	21.00	3150	40	10,5	
9	21.30	3150	40	10,5	
10	22.00	3150	40	10,5	

Tabel 4. Pengukuran Suhu Pada Saat Dioperasikan 4 Buah Blower (15 MW)

No	JAM	Suhu Keluar Teras Reaktor JE-01 CT001 (°C)	Suhu Masuk Teras Reaktor JE-01 CT006 (°C)	Perbedaan Suhu	Suhu Heater (°K)
1	12.00	24,92	24,65	0,27	6,5
2	12.30	24,97	24,69	0,28	7,5
3	13.00	24,97	24,67	0,30	7,5
4	13.30	24,99	24,71	0,28	8
5	14.00	24,99	24,71	0,28	8
6	14.37	25,04	24,75	0,29	8

Tabel 4. Lanjutan

No	JAM	Suhu Keluar Teras Reaktor JE-01 CT001 (°C)	Suhu Masuk Teras Reaktor JE-01 CT006 (°C)	Perbedaan Suhu	Suhu Heater (°K)
7	15.00	25,04	24,75	0,29	8
8	15.38	25,06	24,76	0,30	8
9	16.00	25,10	24,80	0,30	8
10	16.30	25,23	24,93	0,30	8

Tabel 5 Pengukuran Suhu Pada Saat Dioperasikan 7 Buah Blower (30 MW)

No	JAM	Suhu Keluar Teras Reaktor JE-01 CT001 (°C)	Suhu Masuk Teras Reaktor JE-01 CT006 (°C)	Perbedaan Suhu	Suhu Heater (°K)
1	17.12	25,30	25,00	0,30	8
2	18.00	25,35	25,05	0,30	8
3	18.45	25,39	25,08	0,31	8
4	19.07	25,41	25,10	0,31	8
5	19.30	25,44	25,14	0,30	8
6	20.00	25,51	25,20	0,31	8
7	20.35	25,50	25,18	0,32	8
8	21.00	25,48	25,16	0,32	8
9	21.30	25,46	25,14	0,32	8
10	22.00	25,46	25,15	0,32	8

Berdasarkan tata kerja yang dilakukan maka pengukuran faktor koreksi terbagi dalam dua kegiatan. Pertama pengukuran pada saat sistem pendingin sekunder menggunakan 4 buah *blower* seperti pada operasi reaktor 15 MW. Kedua pengukuran pada saat sistem pendingin sekunder menggunakan 7 buah *blower* seperti pada operasi reaktor 30 MW.

Pengukuran faktor koreksi pertama maupun kedua sama-sama menggunakan kombinasi pompa sistem pendingin primer (JE-01 AP001/ AP002), dan untuk pompa sistem pendingin sekunder menggunakan (PA-01/PA-03 AP001). 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 KBE-02) sesuai yang diharapkan, disamping hal tersebut juga sebagai persyaratan dalam pengoperasian reaktor. Perbedaannya adalah pada kegiatan pengukuran pertama *blower* yang dioperasikan ada 4 buah (PA-01 AH001/002, PA-02 AH001/002), sedangkan pada kegiatan pengukuran kedua ditambah tiga *blower* (PA-01 AH003, PA-02 AH003, PD001) menjadi 7 buah yang dioperasikan.

Dari tabel 1 didapatkan data awal perbedaan suhu keluar teras reaktor (JE-01 CT001) dan suhu masuk teras reaktor (JE-01 CT006) sebesar 0,20 °C. Data awal ini diambil sebelum pompa sistem pendingin dioperasikan serta kondisi reaktor sudah cukup lama tidak dioperasikan. Idealnya dalam kondisi pompa sistem pendingin tidak

dioperasikan maka tidak ada perbedaan antara suhu keluar teras reaktor dan suhu masuk teras reaktor. Dengan adanya perbedaan suhu, maka perbedaan suhu tersebut harus diperhitungkan pada saat dilakukan pengukuran faktor koreksi untuk mendapatkan faktor koreksi kalibrasi daya yang benar.

Dari tabel 1 dan 2 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.

Dari table 3 pengukuran suhu untuk mendapatkan faktor koreksi pada saat sistem pendingin sekunder menggunakan 4 buah *blower* (operasi 15 MW). Diketahui perbedaan suhu keluar teras reaktor dan suhu masuk teras reaktor cenderung belum stabil sampai sekitar 3,5 jam setelah sistem pendingin dioperasikan. Setelah lebih dari 3,5 jam sistem pendingin dioperasikan perbedaan suhu keluar teras reaktor dan suhu masuk teras reaktor stabil di kisaran $0,30\text{ }^{\circ}\text{C}$, hal ini juga ditandai dengan stabilnya suhu lapisan air hangat pada permukaan kolam reaktor (suhu *heater* mencapai harga maksimum $\pm 8\text{ }^{\circ}\text{K}$). Faktor koreksinya dapat diketahui yaitu $0,30\text{ }^{\circ}\text{C} - 0,20\text{ }^{\circ}\text{C} = 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sedangkan dari tabel 4 pengukuran suhu untuk mendapatkan faktor koreksi pada saat sistem pendingin sekunder menggunakan 7 buah *blower* (operasi 30 MW). Diketahui sesaat setelah 3 buah *blower* lainnya dioperasikan dari sebelumnya hanya 4 buah *blower*, maka perbedaan antara suhu keluar teras reaktor dan suhu masuk teras reaktor kembali mengalami ketidakstabilan. Hal ini diakibatkan proses pendinginan yang dilakukan oleh sistem pendingin sekunder melalui 7 buah *blower* terjadi lebih cepat. Ini berlangsung hingga sekitar 3,5 jam meskipun kondisi suhu lapisan air hangat pada permukaan kolam reaktor tetap dalam kondisi stabil. Perbedaan antara suhu keluar teras

reaktor dan suhu masuk teras reaktor stabil kembali pada kisaran $0,32\text{ }^{\circ}\text{C}$, sehingga faktor koreksinya adalah $0,32\text{ }^{\circ}\text{C} - 0,20\text{ }^{\circ}\text{C} = 0,12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Berdasarkan data diatas maka untuk operasi reaktor dengan sistem pendingin sekunder menggunakan 4 buah *blower* (operasi 15 MW) terjadi perubahan nilai faktor koreksi dari sebelumnya $0,41\text{ }^{\circ}\text{C}$ menjadi $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sedangkan untuk operasi reaktor dengan sistem pendingin sekunder menggunakan 6 buah *blower* atau lebih (operasi 30 MW) didapatkan faktor koreksi sebesar $0,12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Perubahan nilai faktor koreksi untuk operasi reaktor 15 MW, perbedaan nilai faktor koreksi untuk operasi reaktor 15 MW dan 30 MW berpengaruh terhadap hasil perhitungan kalibrasi daya reaktor, dan hal tersebut tentu juga berpengaruh terhadap perhitungan *burn-up* bahan bakar reaktor RSG-GAS.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Operasi reaktor dengan sistem pendingin sekunder yang mengoperasikan 4 buah *blower* (operasi 15 MW) diperoleh faktor koreksi sebesar $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Operasi reaktor dengan sistem pendingin sekunder yang mengoperasikan 6 buah *blower* atau lebih (operasi 30 MW) diperoleh faktor koreksi sebesar $0,12\text{ }^{\circ}\text{C}$.
3. Terjadi perubahan nilai faktor koreksi untuk operasi reaktor dengan sistem pendingin sekunder yang mengoperasikan 4 buah *blower* (operasi 15 MW) dari yang sebelumnya digunakan $0,41\text{ }^{\circ}\text{C}$ menjadi $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
4. Terdapat perbedaan faktor koreksi untuk operasi reaktor dengan sistem pendingin sekunder yang mengoperasikan 6 *blower* atau lebih (operasi 30 MW) sebesar $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$.
5. Perbedaan dan perubahan faktor koreksi mempengaruhi hasil kalibrasi daya

reaktor, sehingga berpengaruh juga pada perhitungan *burn-up* bahan bakar.

Saran

1. Perlu dilakukan pemantauan adanya perbedaan antara suhu keluar teras reaktor dan suhu masuk teras reaktor sebesar 0,20 °C, sedangkan sistem pendingin reaktor belum dioperasikan.
2. Penting dilakukan pengukuran faktor koreksi kalibrasi daya reaktor secara berkala untuk menjamin akurasi hasil kalibrasi daya reaktor yang benar.

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 Kanal 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*".