

EVALUASI PENAIKAN DAYA MENUJU 15 MW SIKLUS TERAS 83 REAKTOR GA SIWABESSY

Sriawan, Purwadi

PRSG-BATAN

ABSTRAK

EVALUASI PENAIKAN DAYA MENUJU 15 MW SIKLUS TERAS 83 REAKTOR GA SIWABESSY. Telah dilakukan evaluasi unjuk kerja kanal-kanal pengukur daya reaktor pada penaikan daya menuju 15 MW siklus ke 83 operasi Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy (RSG-GAS). Pengamatan dilakukan untuk mengetahui apakah unjuk kerja kanal-kanal tersebut tidak menyimpang dari yang dipersyaratkan sehingga daya reaktor dapat dinaikkan.. Kanal-kanal pengukur daya yang diamati antara lain adalah kanal jangkauan *start-up*, kanal jangkauan menengah, dan kanal jangkauan daya. Selain pengamatan kanal-kanal tersebut, dilakukan juga pengamatan indikator posisi batang kendali dan pengamatan instrumen lainnya yang berkaitan dengan pengoperasian reaktor. Dari hasil evaluasi unjuk kerja kanal pengukur daya diketahui bahwa semua kanal pengukur daya bekerja dalam lingkup yang diharapkan yaitu penunjukan kanal *start-up* $< 1 \times 10^5$ cps, kanal jangkauan menengah $> 1 \times 10^{-7}$ A dan kanal jangkauan daya, 109% daya nominal. Ini berarti bahwa tidak ada penyimpangan dari batas-batas operasi. Disimpulkan bahwa penaikan daya menuju 15 MW dapat dilaksanakan dengan selamat dan aman.

Kata kunci: unjuk kerja, kanal pengukur daya, RSG-GAS

ABSTRACT

EVALUATION ON POWER ACCESSION TO 15 MW OF THE EIGHTY-THREE CORE CYCLES OF GA. SIWABESSY REACTOR . It has been evaluated the performance of canals measuring power during power accession to 15 MW to the eighty-three core cycles of the GA Siwabessy Reactor (RSG-GAS). Aim of this measure is to acknowledge whether those systems are still function properly. The canals measuring power observed including power meters *start-up* channel range, intermediate-range channels, and channel power range. Besides that, measures were also conducted such as observations of control rod position indicators and observation of other instruments associate to the reactor operation. Evaluation result shown that all canals measuring power are well function. They are covering *start-up* channel range of $< 1 \times 10^5$ cps, intermediate-range channels of $> 1 \times 10^{-7}$ and channel power range of 109% of nominal power. It can be concluded that power accession to 15 MW is safely be accomplished.

Key words: performance, canal measuring power, RSG-GAS.

PENDAHULUAN

Siklus Teras 83 Reaktor RSG-GAS adalah kelanjutan dari siklus Teras 82, dimana perbedaan dari kedua siklus tersebut hanyalah pada muatan bahan bakarnya dan periode pengoperasiannya. Pengoperasian siklus Teras 82 sudah berakhir hingga akhir siklus, karena adanya *burn-up* bahan bakar selama dioperasikan maka muatan bahan bakarnya menjadi berkurang. Agar reaktor dapat dioperasikan kembali hingga mencapai tingkat daya yang diinginkan dan untuk mencukupi kebutuhan operasi di sepanjang siklus berikutnya, maka *burn-up* elemen bakar yang telah mencapai maksimum diganti dengan elemen bakar yang baru. Teras 82 yang telah mengalami pergantian elemen bahan tersebut dinamakan Teras 83. Pergantian elemen bakar dari Teras 82 menjadi Teras 83 sebanyak 5 elemen bakar baru dan 1 elemen bakar kendali baru.

Pengoperasian Raktor RSG-GAS 15 MW siklus Teras 83 dilaksanakan pada tanggal 26 Juli 2013 berpedoman pada juknis Instruksi Operasi dan Juknis Persiapan Sarana Operasi.⁽¹⁾ Keberhasilan pengoperasian reaktor sangat ditentukan sewaktu penaikan daya dari 0 menuju 15 MW dimana seluruh nilai parameter unjuk kerja dan berbagai parameter kanal pengukur daya reaktor tidak diperbolehkan melampaui batas operasi, dan merupakan persyaratan yang wajib dipatuhi oleh pengoperasi reaktor. Adapun parameter tersebut terdiri dari:

- Jangkauan *start up*,
- jangkauan menengah, jangkauan daya,
- nilai aktivitas N-16, *unbalanced load*, kendali
- pengatur daya,
- dan reaktivitas,
- serta pengamatan indikator posisi batang kendali.

Dari nilai parameter di atas akan dievaluasi sedemikian rupa agar memenuhi persyaratan yang di persyaratkan, sehingga pengoperasian reaktor siklus Teras 83 terlaksana sesuai dengan yang dipersyaratkan. Metode evaluasi yang digunakan melalui tahapan sesuai dengan kondisi pengoperasian yaitu :

- Pencatatan data awal,
- *start-up* reaktor, menaikkan daya reaktor secara bertahap,
- mengamati dan mencatat data parameter operasi,
- melakukan evaluasi dan tindakan penanganan,
- kalibrasi daya reaktor,
- menyesuaikan penampilan daya sesuai hasil kalibrasi,

Didalam tulisan ini akan dijelaskan secara detail dan akan diketahui hasil evaluasi terpenuhi persyaratan pengoperasian reaktor Teras 83.

DASAR TEORI

Salah satu pengendalian reaktor saat beroperasi dilakukan dengan cara mengukur kerapatan *fluks* neutron dan memantau teras reaktor saat beroperasi pada tingkat *start-up*, tingkat menengah, tingkat daya, juga pada saat penurunan daya, dan pada kondisi teras reaktor subkritis. Sinyal-sinyal yang dikirim oleh sistem pengukuran adalah proporsional dengan daya reaktor, baik pada jangkauan *start-up*, jangkauan menengah, maupun jangkauan daya. Selain itu sinyal pengukuran fluks neutron tersebut berkaitan dengan laju perubahan daya reaktor, yaitu periode reaktor untuk jangkauan pengukuran daerah *start-up* dan daerah menengah, dan menampilkan kesetimbangan beban pada daerah daya. Sinyal-sinyal yang dikirim diperlukan sebagai besaran input oleh sistem proteksi reaktor. Jangkauan pengukur yang dapat dicapai oleh sistem pengukuran rapat fluks neutron tersebut mendekati 10 dekade. Sistem pengukuran memiliki daerah tindihan 2 dekade, antara: jangkauan daerah *start-up*, jangkauan daerah menengah, dan jangkauan daerah daya.

Ketiga daerah pengukuran (*start-up*, menengah, dan daya) dirancang secara redundansi untuk tujuan keselamatan. Sistem pengukuran ini terdiri dari 2 sistem pengukuran jangkauan *start-up* dan menengah yang terletak secara terpisah, dan empat sistem pengukuran jangkauan daerah daya. Detektor jangkauan daerah *start-up* dapat digerakkan otomatis/manual ke arah aksial dengan menggunakan fasilitas penggerak. Pada daya reaktor >3% kedua detektor *start-up* ditarik ke daerah paparan radiasi neutron thermal rendah secara otomatis. Pada kejadian daya reaktor <3%, kedua detektor secara otomatis diturunkan ke dalam tempat pengukuran.

Kanal jangkauan *start-up* terdiri dari 2 kanal pengukuran redundan yakni: kanal pengukuran redundan 1 (JKT 01 CX811), dan kanal pengukuran redundan 2 (JKT 01 CX821). Kanal pengukuran tersebut meliputi hampir 6 s/d 7 dekade daya reaktor. Sebagai sensor digunakan detektor pencacah fisi (*fission counter*). Sensitivitas neutron thermalnya mendekati 7.10^{-2} cps/nv. Kanal pengukuran pencacah fisi dirancang sebagai berikut: Sinyal (pulsa) ditransmisi dari detektor jangkauan daerah *start-up* ke penguat awal (*pre-amplifier*) yang terpasang dalam kotak terminal di tepi atas kolam reaktor. *Pre-amplifier* memperkuat pulsa detektor pencacah fisi dan ditransmisi secara berurutan ke kabinet melalui kanal pengukuran rapat fluks neutron, sehingga diperoleh amplitudo yang cukup tinggi dibanding dengan derau yang mengikuti. Harga rapat perubahan daya reaktor (periode) diperoleh dari adanya sambungan serial antara penguat diferensial dan penampil laju logaritmik. Nilai pengukuran juga dikirim ke penampil di Ruang Kendali Utama (RKU) melalui penguat penyangga.

Dua kanal logaritmik redundansi disediakan untuk pengukuran rapat fluks neutron jangkauan daerah menengah, terdiri dari kanal pengukuran redundan 1 (JKT 02 CX811), dan kanal pengukuran redundan 2 (JKT 02 CX821). Kanal tersebut mencakup pengukuran hampir 7 dekade daya reaktor. Sebagai sensor digunakan detektor gamma-terkompensasi dan detektor kamar terionisasi berlapis Boron. Sensitivitas fluks neutron thermalnya mendekati 1.10^{-15} A/n.v. Setiap kanal pengukuran dirancang sebagai berikut: Sinyal DC ditransmisi dari detektor jangkauan daerah menengah ke kabinet elektronik yang tidak diperlukan *pre-amplifier*. Di dalam kabinet elektronik untuk jangkauan rapat fluks neutron, sinyal detektor diperkuat dengan menggunakan penguat DC logaritmik, kemudian ditransmisi melalui penguat penyangga ke Sistem Proteksi Reaktor (SPR) untuk pengolahan sinyal lanjut dan untuk tujuan penampilan dan perekaman (*recording*) di RKU. Penguat diferensial disambungkan secara serial dengan penguat DC logaritmik membentuk sinyal yang proporsional dengan konstanta waktu reaktor (*periode*). Sinyal tersebut merupakan masukan untuk SPR, selain itu harga pengukuran ini ditampilkan dan direkam di RKU.

Rapat fluks neutron dalam jangkauan daya diukur dengan menggunakan kanal linier. Empat kanal beredundansi yang disediakan adalah: kanal redundansi 1 (JKT 03 CX811), kanal redundansi 2 (JKT 03 CX821), kanal redundansi 3 (JKT 03 CX831), kanal redundansi 4 (JKT 03 CX841). Setiap kanal mencakup dua dekade tertinggi dari

pada jangkauan pengukuran daerah daya reaktor. Detektor yang digunakan adalah kamar ionisasi terkompensasi berlapis Boron, yang mencakup ketinggian teras (dengan sensitivitas neutron thermal mendekati 5.10^{-14} A/n.v).

Setiap kanal pengukuran dirancang sebagai berikut: seperti halnya kanal jangkauan daerah menengah, sinyal DC dari detektor jangkauan daerah daya ditransmisi ke kabinet elektronik rapat fluks neutron di ruang SPR. Sinyal tersebut di perkuat oleh penguat DC linier dan dikonversikan ke dalam sinyal tegangan 0 - 10 V. Sinyal dikirim melalui penguat penyangga secara paralel (keluaran 0 - 20 mA) ke SPR untuk membangkitkan aksi pengamanan dan untuk tampilan di RKU dan perekaman di RKU. Seperti halnya kanal jangkauan *start-up* dan menengah, pada jangkauan daya disediakan sistem pemantauan nilai tegangan tinggi. Adanya penyimpangan nilai tegangan tinggi dari nilai referensinya akan ditampilkan di RKU.

Pengosongan dan pengisian tabung berkas akan mengubah rapat fluks neutron pada kamar pengukuran di posisi yang dekat dengan tabung berkas dan dapat mengakibatkan pemadaman reaktor melalui sistem pemantauan beban tak seimbang. Untuk mengoperasikan reaktor pada tingkat daya hanya dimungkinkan bila tabung berkas dikosongkan, setiap kanal pengukuran fluks neutron harus diset pada kondisi tabung berkas berisi (kosong/berisi).

Laju dosis- γ pada sistem pendingin primer diukur dengan redundansi 3, yang terdiri dari: redundansi 1 (JAC01 CR811), redundansi 2 (JAC01 CR821), redundansi (JAC01 CR831). Titik pengukuran laju dosis- γ : pada sistem pendingin primer, yang terletak di daerah antara kolam reaktor dan tangki tunda di bawah pipa pendingin primer. Sebagai sensor digunakan Kamar Ionisasi- γ . Jangkauan pengukuran kanal pengukuran daya reaktor adalah 0 s/d 160%. Sinyal DC dari kamar ionisasi ditransmisi ke kabinet elektronik kanal rapat fluks neutron di ruang SPR. Sinyal tersebut diperkuat oleh penguat linier dan dikonversi ke dalam sinyal tegangan 0-10 V, kemudian disambungkan secara paralel melalui penguat penyangga (keluaran 0-20 mA) ke bagian analog pada SPR dan ke RKU untuk ditampilkan dan direkam. Kanal pengukuran ini disebut dengan kanal N16.

Pemadaman reaktor terjadi bila: ϕ N16-corr. \geq maks. Selain itu, sinyal ϕ N16-corr. diperlukan sebagai sinyal input dari rangkaian penghitung harga batas ambang positif. Rangkaian penghitung rapat fluks neutron terkoreksi N-16 mengatur secara berkelanjutan sinyal rapat fluks neutron secara kontinyu dengan laju dosis- γ N-16. Sinyal

laju dosis- γ N-16 ialah sinyal yang teliti untuk menentukan daya reaktor, walaupun terdapat waktu tunda yang relatif lama. Rapat fluks neutron bereaksi secara cepat pada daya reaktor, tetapi hubungan antara daya reaktor dan rapat fluks neutron bergantung pada parameter yang berbeda.

Tujuan rangkaian penghitung penandaan beban tak seimbang (*unbalance-load*) adalah untuk menyulut pemadaman reaktor jika salah satu dari empat detektor fluks neutron (jangkauan daya) menyimpang lebih dari harga rerata rapat fluks neutron yang diijinkan. Keempat sensor ini kemudian menjadi masukan logika pada rangkaian penandaan beban tak seimbang yang mempunyai logika 2 dari 3. Pemadaman reaktor juga terjadi karena sinyal laju dosis- γ N-16 di sistem primer melebihi harga yang diijinkan.

Reaktor akan padam (*scram*) apabila:¹⁾

- Rapat fluks pada jangkauan menengah terlalu tinggi (1 dari 2) dan tanpa izin melalui *take over* oleh operator.
- Tidak dilakukan *take over* ke pengoperasian tingkat daya ($\phi > 3\%$), dalam hal jangkauan menengah periode yang terlalu kecil (1 dari 2).
- Rapat fluks neutron terkoreksi N-16 dalam kanal jangkauan daya terlalu tinggi (2 dari 3).
- Transien positif pada rapat fluks neutron terkoreksi N-16 terlalu tinggi ($+\frac{\Delta\phi}{\Delta t} \geq maks$), 2 dari 3.
- Sinyal pengukuran beban tak berimbang melebihi harga batas ($S_{az} \geq maks$), 2 dari 3.
- Transien rapat fluks neutron negatif terlalu tinggi $-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \geq maks$, 2 dari 3.
- Laju dosis- γ ($D\gamma$) sistem pendingin primer melebihi harga batas ($D\gamma \geq maks$), 2 dari 3.
- Harga batas laju aliran massa di dalam sistem pendingin primer kurang dari harga yang diijinkan ($m \leq min$), 2 dari 3.
- Suhu pada keluaran sistem penukar panas melebihi harga batas ($T \geq maks$), 2 dari 3.
- Ketinggian permukaan air kolam reaktor kurang dari yang diijinkan ($h \leq min$), 2 dari 3.
- Katup isolasi primer tidak menutup, 4 x 2 dari 3.
- Pelepasan aktivitas dalam sistem ventilasi kolam reaktor melebihi harga batas ($A \geq maks$), 2 dari 3.

Pembangkitan daya reaktor diatur dengan cara menggerakkan 8 batang kendali di dalam teras reaktor. Batang-batang kendali

tersebut didistribusi dan ditempatkan di posisi tertentu di dalam teras. Sistem penggerak batang kendali mengemudikan 7 batang kendali *Bank* dan 1 batang kendali pengatur. Batang-batang kendali tersebut diberi kode dengan JDA01 s/d JDA08.

Operasi reaktor dapat diatur baik secara manual maupun otomatis. Pengaturan secara otomatis, dilakukan dengan adanya sebuah kanal pengukur daya reaktor yang memiliki jangkauan lebar (JKT 04). Kanal pengukur ini mampu menampilkan daya sejak tingkat daya yang sangat rendah hingga daya maksimum. Pengaturan dan pengendalian reaktor dilakukan oleh operator dari meja pengatur (CWA01) di RKU. Status batang kendali ditampilkan oleh indikator di atas meja pengatur. Ragam pengoperasian batang kendali adalah:

- Pengoperasian kelompok batang kendali (*Bank*);
 - Pengoperasian tunggal batang kendali.
- Pada saat SPR menghasilkan sinyal pancung, sistem akan memutus catu daya ke magnet pemegang dan secara cepat menjatuhkanbebasan batang kendali. Cara pengoperasian reaktor dapat diset dalam:
- Manual atau "*Hand*";
 - Automatis atau "*Control*".

TATA LAKSANA PENGAMBILAN DATA

Untuk memperoleh data, maka reaktor dioperasikan dengan tahapan sebagai berikut :

- Sistem pendingin primer dan sekunder dioperasikan.
- Sistem purifikasi (KBE01) dioperasikan.
- Sistem pendingin dan purifikasi kolam (FAK01) dioperasikan.
- *Heater warm water layer* (KBE02) dioperasikan.
- Sistem pendingin tabung berkas S-1 dioperasikan.
- Level air kolam (JAA01 CL001) > 12,25 m.
- *Stop gate* kolam reaktor dalam kondisi ditutup.
- *Reactivity meter* dioperasikan.
- *FFD* dioperasikan.
- Meter-meter kanal pengukuran fluks neutron (JKT 01, JKT 02, JKT 03, JKT 04, dan JRF 10) dioperasikan.
- Form Persiapan Sarana Operasi telah diisi dan diverifikasi oleh petugas.
- Instruksi Operasi telah tersedia.

Setelah ha-hal tersebut telah dipenuhi kemudian dilakukan *start-up* reaktor menuju kritis bebas sumber, dengan cara menaikkan posisi batang kendali secara bertahap dengan memperhatikan dan mencatat unjuk kerja parameter operasi. Setelah dicapai kondisi kritis bebas sumber, daya reaktor dipertahankan selama 10 menit kemudian daya

reaktor dinaikkan secara bertahap menuju 1,1 MW, 5 MW, 10 MW, dan 15 MW. Pada setiap tingkat daya dilakukan pencatatan seluruh data parameter operasi. Untuk meyakinkan besarnya daya reaktor, dilakukan kalibrasi daya setelah daya reaktor dipertahankan selama 5 jam pada tingkat daya 15 MW.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan pengoperasian reaktor pada daya 15 MW Teras ke 83 adalah sebagai berikut.

Kondisi awal

Sebelum dilakukan *start-up*, dilakukan pengamatan dan pencatatan kondisi awal nilai-nilai parameter operasi reaktor, antara lain seperti ditunjukkan pada Lampiran 1. Dari Lampiran 1 terlihat bahwa posisi batang kendali masih berada pada posisi *fully down*, kanal pengukuran fluks neutron redundansi 1 (JKT01 CX811) maupun kanal pengukuran redundansi 2 (JKT01 CX821) pada posisi di bawah. Jumlah neutron yang terdeteksi pada kanal *start-up* ini masih mengindikasikan besarnya sumber neutron yang akan mengawali reaksi fisi apabila batang kendali ditarik keluar teras. Periode reaktor menunjukkan nilai ∞ , dan kecepatan perubahan daya menunjukkan nilai nol ini mengindikasikan tidak terjadi perubahan jumlah neutron di dalam teras reaktor, sehingga jumlah neutron tetap yaitu seperti yang terdeteksi dalam orde 10^3 cps. Demikian juga pada kanal jangkauan menengah mengindikasikan tidak adanya perubahan jumlah neutron, dan penunjukan pada jangkauan daya menunjukkan nilai nol.

Reaktor *start-up*

Reaktor *start-up* pada tanggal 26 Juli 2013 jam 07.45 dengan cara menaikkan posisi batang kendali dengan nilai reaktivitas yang diberikan pada teras reaktor < 10 cent. Ketika batang kendali mencapai posisi 355 mm, unjuk kerja kanal *start-up* dan kanal jangkauan menengah mulai ada peningkatan jumlah neutron, akan tetapi pada kanal jangkauan daya masih tetap nol, lihat Lampiran 1.

Kritis bebas sumber

Saat reaktor mencapai kondisi kritis bebas sumber. Unjuk kerja kanal *start-up*, kanal menengah, dan kanal daya dapat dilihat pada Lampiran 1. Dari data Lampiran 1 diketahui bahwa posisi batang kendali kritis bebas sumber adalah *Bank* = 355 mm dan batang pengatur (*Reg Rod*) = 353 mm. Kanal jangkauan *start-up* telah dinaikkan ke posisi 788 mm untuk redundansi 1 dan redundansi 2 menjadi 785 mm, dengan jumlah

neutron terdeteksi menjadi orde 10^4 cps. Kanal jangkauan menengah juga mengalami kenaikan menjadi orde 10^{-6} A, tetapi kanal jangkauan daya masih belum ada kenaikan.

Daya reaktor 1,1 MW

Pada jam 08.30 reaktor mencapai daya 1,1 MW, kanal pengatur daya (JKT04) menunjukkan $0,38 \times 10^{-8}$ A. Unjuk kerja kanal *start-up*, kanal menengah, dan kanal daya dapat dilihat pada Lampiran 1. Dari tabel Lampiran 1 diketahui bahwa nilai reaktivitas yang diberikan kepada teras reaktor untuk menaikkan daya adalah kurang dari 10 cent. Batang kendali kondisi kritis 1,1 MW adalah *Bank* = 355 mm dan *Reg Rod* = 356 mm. Kanal *start-up* sudah dinaikkan ke posisi *fully up* yaitu 1751 mm (red 1) dan 1749 (red 2), jumlah cacah neutron menjadi orde 10^5 cps. Kanal menengah menjadi orde 10^{-4} (red 1) dan 10^{-5} (red 2). Sedangkan kanal daya telah menunjuk seperti terlihat pada Lampiran 1. Dari Lampiran 1 diketahui bahwa daya terendah 4% dari daya nominal, dan tertinggi 5% dari daya nominal. Terdapat perbedaan penunjukan ini mengakibatkan *unbalanced load* menjadi 0,5%, dan daya terkoreksi N-16 mengindikasikan 4% daya nominal

Daya reaktor 5 MW

Saat reaktor mencapai daya 5 MW, kanal pengatur daya (JKT04) menunjukkan $1,8 \cdot 10^{-5}$ A. Unjuk kerja kanal *start-up*, kanal menengah, dan kanal daya dapat dilihat pada Lampiran 1. Dari tabel Lampiran 1 diketahui bahwa nilai reaktivitas yang diberikan kepada teras reaktor untuk menaikkan daya sebesar < 7,5 cent. Batang kendali kondisi kritis 5 MW adalah *Bank* = 356 mm dan *Reg Rod* = 359 mm. Kanal *start-up* sudah tetap pada posisi *fully up* yaitu 1751 mm (red 1) dan 1749 (red 2), jumlah cacah neutron masih pada orde 10^5 cps. Kanal menengah menjadi orde 10^{-4} A (red 1) dan 10^{-4} A (red 2). Sedangkan kanal daya telah mengalami kenaikan seperti terlihat pada Lampiran 1. Dari tabel pada Lampiran 1 diketahui bahwa daya terendah 15% dari daya nominal, dan tertinggi 20% dari daya nominal. Terdapat perbedaan penunjukan ini mengakibatkan *unbalanced load* menjadi 1,8%, dan daya terkoreksi N-16 mengindikasikan 15% daya nominal.

Daya reaktor 10 MW

Saat reaktor mencapai daya 10 MW, kanal pengatur daya (JKT04) menunjukkan $3,6 \cdot 10^{-5}$ A. Unjuk kerja kanal *start-up*, kanal menengah, dan kanal daya dapat dilihat pada Lampiran 1. Dari tabel Lampiran 1 diketahui bahwa nilai reaktivitas yang diberikan kepada teras reaktor untuk menaikkan

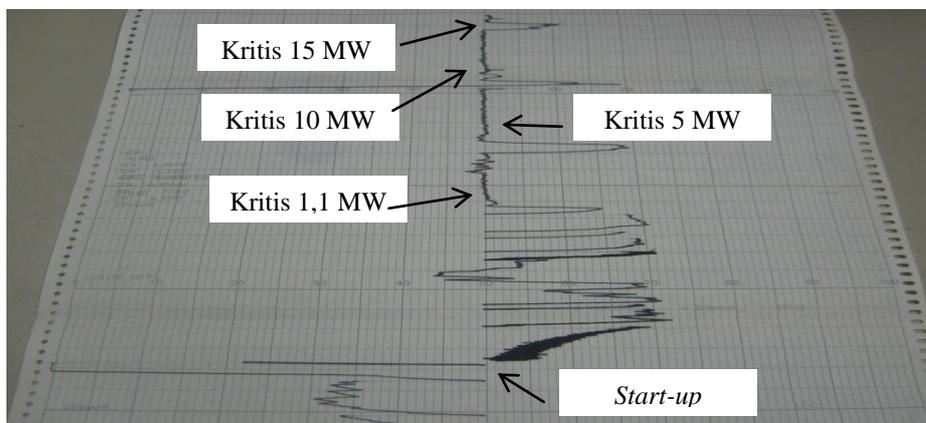
daya sebesar < 7,5 cent. Batang kendali kondisi kritis 10 MW adalah *Bank* = 356 mm dan *Reg Rod* = 370 mm. Kanal *start-up* sudah tetap pada posisi *fully up* yaitu 1751 mm (red 1) dan 1749 (red 2), jumlah cacah neutron masih pada orde 10^5 cps. Kanal menengah menjadi orde 10^{-3} A (red 1) dan 10^{-4} A (red 2). Sedangkan kanal daya telah mengalami kenaikan seperti terlihat pada Lampiran 1. Dari Lampiran 1 diketahui bahwa daya terendah 32% dari daya nominal, dan tertinggi 39% dari daya nominal. Terdapat perbedaan penunjukan ini mengakibatkan *unbalanced load* menjadi 4,5%, dan daya terkoreksi N-16 mengindikasikan 32% daya nominal.

Daya reaktor 15 MW

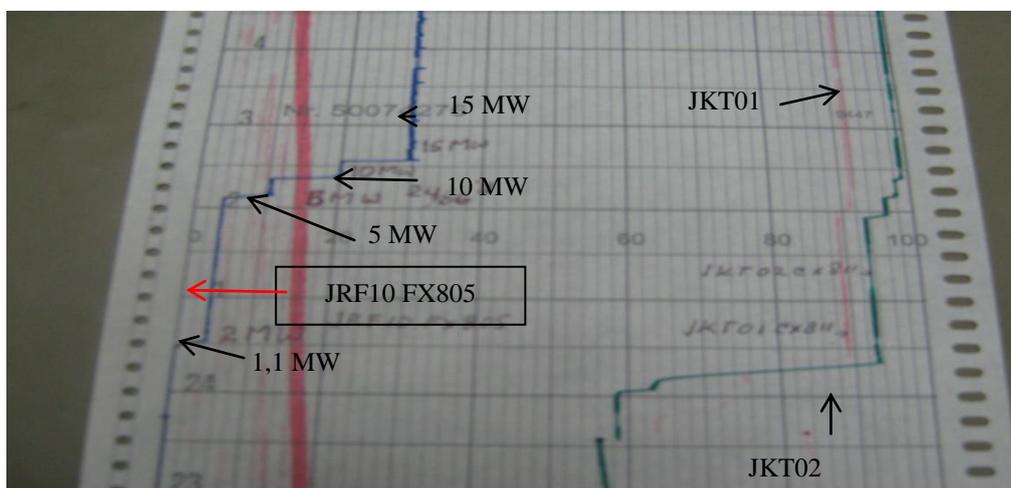
Saat reaktor mencapai daya 15 MW, kanal pengatur daya (JKT04) menunjukkan $0,53 \cdot 10^{-4}$ A. Unjuk kerja kanal *start-up*, kanal menengah, dan kanal daya dapat dilihat pada Lampiran 1. Dari tabel Lampiran 1 diketahui bahwa nilai reaktivitas yang diberikan kepada teras reaktor untuk menaikkan daya sebesar < 5 cent. Batang kendali kondisi kritis 15 MW adalah *Bank* = 358 mm dan *Reg Rod* = 360 mm. Kanal *start-up* sudah tetap pada posisi *fully up* yaitu 1751 mm (red 1) dan 1749 (red 2), jumlah cacah neutron masih pada orde 10^5 cps. Kanal menengah menjadi orde 10^{-3} A (red 1) dan 10^{-4} A (red 2). Sedangkan kanal daya telah mengalami kenaikan seperti terlihat pada Lampiran 1. Dari tabel pada Lampiran 1 diketahui bahwa daya terendah 46% dari daya nominal, dan tertinggi 48% dari daya nominal. Terdapat perbedaan penunjukan ini mengakibatkan *unbalanced load* menjadi 0,5%, dan daya terkoreksi N-16 mengindikasikan 49% daya nominal.

Secara lengkap bagaimana unjuk kerja penaikan daya reaktor sejak *start-up* hingga mencapai daya 15 MW dapat dilihat dari data rekorder seperti Gambar 1 s/d Gambar 6. Sebagai langkah untuk meyakinkan besarnya daya reaktor, dilakukan kalibrasi daya setelah daya reaktor dipertahankan selama lebih dari 5 jam pada tingkat daya 15 MW. Pada pengoperasian teras ini telah dilakukan kalibrasi daya reaktor dan diperoleh konversi 1×10^{-10} A = 28,647 Watt. Dari hasil pengamatan unjuk kerja kanal pengukur daya diketahui bahwa semua kanal pengukur daya bekerja dalam lingkup yang diharapkan yaitu penunjukan kanal *start-up* < 1×10^5 CPS, kanal jangkauan menengah > 1×10^{-7} A dan kanal jangkauan daya, 109% daya nominal. Ini berarti bahwa tidak ada penyimpangan dari batas-batas operasi. Oleh karena selama pengoperasian reaktor nilai batas-batas operasi selalu dapat dipertahankan pada kondisi normal, maka

pengoperasian reaktor telah dapat berlangsung dengan selamat dan aman.

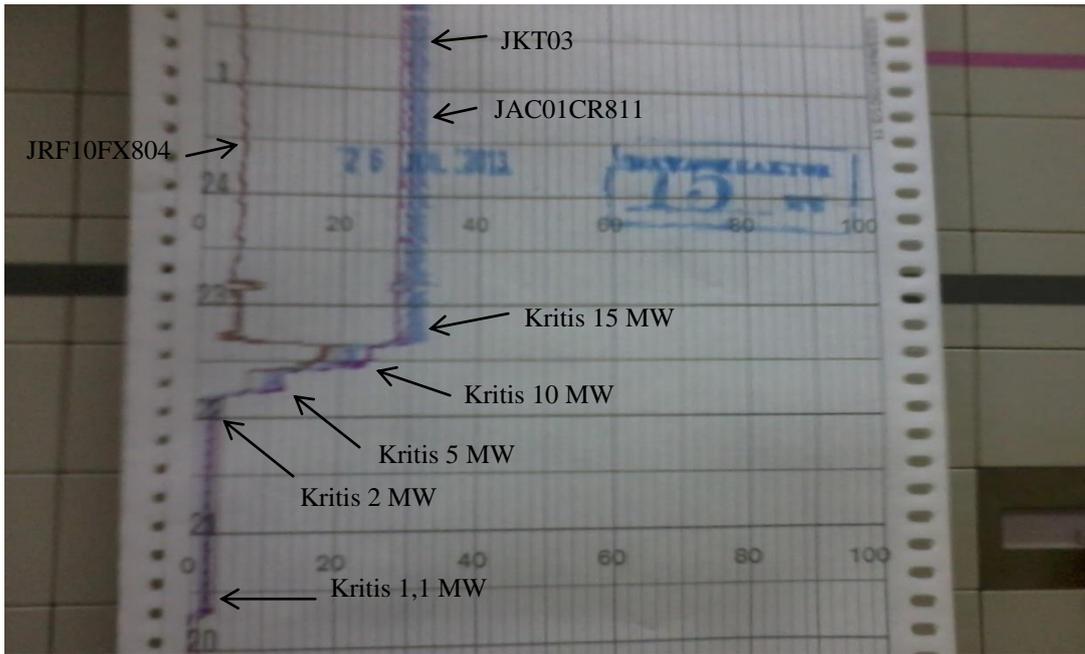


Gambar 1. Unjuk kerja reaktivitas meter



Gambar 2. Unjuk kerja JRF10 FX805.
(ϕ N16-corr.)

Gambar 3. Unjuk kerja JKT01 (merah).
Unjuk kerja JKT02 (hijau)



Gambar 4. Unjuk kerja JKT03 dan JAC01 CR811



Gambar 5. Unjuk kerja kanal jangkau lebar (JKT04)
(kanal pengatur daya)



Gambar 6. Unjuk kerja Pengukur Aktivitas N-16 (JAC 01 CR 811/821/831)

KESIMPULAN

Dari pembahasan masalah di atas, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengoperasian reaktor telah dilaksanakan sesuai Instruksi Operasi.
2. Secara umum, tahapan penambahan daya reaktor dan unjuk kerja kanal-kanal pengukur daya reaktor telah menunjukkan kinerja yang benar.
3. Terdapat sedikit penyimpangan pada *unbalanced load* dikarenakan adanya sampel-sampel iradiasi, akan tetapi masih dalam batas toleransi.
4. Agar dapat diperoleh kurva rekorder kanal daya (JKT04) yang lebih baik dan informatif, maka pada pengoperasian di tingkat daya yang hampir sama sebaiknya digunakan skala yang sama dengan kanal daya lainnya (JKT03).

5. Pencapaian hasil operasi yang selamat dan aman perlunya memadukan kinerja pengalaman operator dengan petugas-petugas pengoperasian yang benar.

DAFTAR PUSTAKA

1. NONIM, "Laporan Analisis Keselamatan Reaktor RSG-GAS" Revisi 10.1, Jakarta, Th 2010.
2. NONIM, "Buku Induk Operasi Reaktor RSG-GAS No. 297, Revisi 5, Jakarta, Th 2013.
3. NONIM, "Lembar Data Operasi, Bidang Operasi Reaktor No. RSG.OR.29.03.42.10/ 210, Revisi 0, Jakarta, Th 2013.

Lampiran 1.

Tabel Unjuk kerja kanal-kanal pengukur daya pada penaikan daya reaktor 15 MW Teras 83 RSG-GAS.²⁾

| KONDISI REAKTOR | POSISI BATANG KENDALI (mm) | JKT 01 (cps) | | JKT 02 (A) | |
|--|----------------------------|---|---------------------------------|---|---------------------|
| | | CX 811 | CX 821 | CX 811 | CX 821 |
| Kondisi awal: Jam 07.40 ρ -meter \rightarrow 1V=5 ϕ | 0 | Posisi 231 mm $6 \cdot 10^3$ | Posisi 271 mm $3 \cdot 10^3$ | $8 \cdot 10^{-9}$ | $3 \cdot 10^{-10}$ |
| | | Periode= ∞ , Kec.perubahan daya= 0% | | Periode= ∞ , Kec.perubahan daya= 0% | |
| Start-up reaktor: Jam 07.45 Batang kendali dinaikkan, $\rho < 10\phi$ | Bank 355, RR dinaikkan | $5 \cdot 10^4$ | $3 \cdot 10^4$ | $3 \cdot 10^{-8}$ | $2 \cdot 10^{-7}$ |
| Kritis bebas sumber: Jam 08.15 \rightarrow $\rho = 0$ | Bank 355 RR 353 | Posisi 788 mm $2 \cdot 10^4$ | Posisi 785 mm $3 \cdot 10^4$ | $3 \cdot 10^{-6}$ | $2,5 \cdot 10^{-6}$ |
| Reg. Rod dinaikkan menuju 1,1 MW: | | Posisi 1751 mm | Posisi 1749 | | |

| | | | | | |
|--|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Jam 08.20, $\rightarrow \rho < 10\phi$ Kritis 1,1 MW: Jam 08.30 | Bank 355 RR 356 | $1,5 \cdot 10^{-5}$ | mm $1,5 \cdot 10^{-5}$ | $6 \cdot 10^{-4}$ | $3 \cdot 10^{-5}$ |
| Reg. Rod dinaikkan menuju 5 MW: Jam 10.20, $\rho < 7,5\phi$ Kritis 5 MW: Jam 10.25 | Bank 356 RR 359 | Posisi 1751 mm $3 \cdot 10^{-5}$ | Posisi 1749 mm $3 \cdot 10^{-5}$ | $8 \cdot 10^{-4}$ | $1 \cdot 10^{-4}$ |
| Reg. Rod dinaikkan menuju 10 MW: Jam 10.35, $\rho < 7,5\phi$ Kritis 10 MW: Jam 10.38 | Bank 356 RR 370 | Posisi 1751 mm $3 \cdot 10^{-5}$ | Posisi 1749 mm $3 \cdot 10^{-5}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ | $2 \cdot 10^{-4}$ |
| Reg. Rod dinaikkan menuju 15 MW: Jam 10.48, $\rho < 5\phi$ Kritis 15 MW: Jam 10.50 | Bank 358 RR 360 | Posisi 1751 mm $3 \cdot 10^{-5}$ | Posisi 1749 mm $3 \cdot 10^{-5}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ | $4 \cdot 10^{-4}$ |
| Tgl. 29 Juli 2013 jam 11.21 pada daya 15 MW dilakukan pengukuran JE01 CT01= $42,05^{\circ} \text{C}$, JE01 CT06= $37,73^{\circ} \text{C}$, JE01 CF811/821/ 831= $3150 \text{ m}^3/\text{jam}$, dan KBE01 CF03= $40,5 \text{ m}^3/\text{jam}$ digunakan untuk kalibrasi daya reaktor. ³⁾ | Bank 361 RR 361 | Posisi 1751 mm $3 \cdot 10^{-5}$ | Posisi 1749 mm $3 \cdot 10^{-5}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ | $4 \cdot 10^{-4}$ |

Lampiran 1.

Tabel..Lanjutan

| KONDISI REAKTOR | POSISI BATANG KENDALI (mm) | JKT 03 (%) | | | | JAC 01 (%) | JRE 10 (%) | JRF 10 (%) | JKT 04 (A) |
|---|---------------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------|
| | | CX 811 | CX821 | CX831 | CX841 | CR811 | FX 804 | FX 805 | DX001 |
| Kondisi awal: Jam 07.40 ρ -meter $\rightarrow 1V=5\phi$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $0,05.10^{-9}$ |
| Start-up reactor: Jam 07.45 Batang kendali dinaikkan, $\rho < 10\phi$ | Bank 355, RR dinaikkan | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $0,6.10^{-9}$ |
| Kritis bebas sumber: Jam 08.15 $\rightarrow \rho = 0$ | Bank 355 RR 353 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $2,5.10^{-8}$ |
| Reg. Rod dinaikkan menuju 1,1 MW: Jam 08.20, $\rho < 10\phi$ Kritis 1,1 MW: Jam 08.30 | Bank 355 RR 356 | 5 | 5 | 4 | 5 | 2 | 0,5 | 4 | $0,38^{-5}$ (1,1 MW) |
| Reg. Rod dinaikkan menuju 5 MW: Jam 10.20, $\rho < 7,5\phi$ Kritis 5 MW: Jam 10.25 | Bank 356 RR 359 | 19 | 20 | 15 | 16 | 17 | 1,8 | 15 | $1,8.10^{-5}$ (5 MW) |
| Reg. Rod dinaikkan menuju 10 MW: Jam 10.35, $\rho < 7,5\phi$ Kritis 10 MW: Jam 10.38 | Bank 356 RR 370 | 39 | 35 | 32 | 33 | 31 | 4,5 | 32 | $3,6.10^{-5}$ (10 MW) |
| Reg. Rod dinaikkan menuju 15 MW: Jam 10.48, $\rho < 5\phi$ Kritis 15 MW: Jam 10.50 | Bank 358 RR 360 | 47 | 46 | 48 | 48 | 48 | 0,5 | 49 | $0,53.10^{-4}$ (15 MW) |
| Tgl. 29 Juli 2013 jam 11.21 pada daya 15 MW dilakukan pengukuran JE01 CT01= $42,05^{\circ} C$, JE01 CT06= $37,73^{\circ} C$, JE01 CF811/821/ 831= 3150 m^3 /jam, dan KBE01 CF03= 40,5 m^3 /jam digunakan untuk kalibrasi daya reaktor. ³⁾ | Bank 361 RR 361 | 48 | 50 | 50 | 52 | 50 | 1,0 | 50 | $0,53.10^{-4}$ (15 MW) |

