

EVALUASI UNJUK KERJA KANAL PENGATUR DAYA PADA PENGOPERASIAN REAKTOR TERAS 78 RSG-GAS

Sriawan, Purwadi, Nanang Sunarya, Endang Supriatna

ABSTRAK

EVALUASI UNJUK KERJA KANAL PENGATUR DAYA PADA PENGOPERASIAN REAKTOR TERAS 78 RSG-GAS. Pengendalian operasi reaktor RSG-GAS digunakan suatu kanal pengatur daya. Kanal pengatur daya berfungsi untuk menentukan dan mempertahankan tingkat daya yang diijinkan selama reaktor beroperasi. Agar daya reaktor dapat dipertahankan pada tingkat daya yang diinginkan, maka kanal daya dilengkapi suatu sistem kendali dengan kalang tertutup yang terhubung dengan salah satu penggerak batang kendali. Dengan adanya sistem kendali dengan kalang tertutup maka perubahan reaktivitas yang terjadi di dalam teras reaktor selama reaktor beroperasi akan dikompensasi oleh batang kendali pengatur. Pengaturan daya reaktor dapat dilakukan secara otomatis. Untuk mengetahui laju kenaikan daya reaktor apakah telah sesuai dengan penunjukan kanal-kanal pengukur daya yang lainnya, maka perlu dilakukan evaluasi agar kecepatan perubahan daya yang terjadi akibat kenaikan daya reaktor tidak menyimpang dengan penunjukan kanal-kanal daya yang lain. Dari hasil pengamatan, pengukuran, dan penghitungan terhadap laju kecepatan perubahan daya pada kanal pengatur daya ternyata diperoleh nilai yang relatif sama dengan penampilan pada kanal-kanal yang lain. Dengan diperoleh penampilan nilai yang sama, maka kanal pengatur daya telah dapat menunjukkan pengukuran yang sesuai dengan yang diharapkan sehingga reaktor dapat dioperasikan dengan selamat dan aman.

Kata kunci: pengatur, pengamatan, pengukuran.

ABSTRACT

EVALUATION OF PERFORMANCE OF POWER REGULATOR CHANNEL AT THE 78TH RSG-GAS OPERATION CYCLE. Power regulator channel is used to control the RSG-GAS operation by means of determining and maintaining permitted power level during reactor operation. In order to the power level can be maintained of the desired power level, the channel of power regulation is equipped by a closed loop which is connected to one control rod drive. With the closed loop control system with the reactivity changes occurring within the reactor core during reactor operation will be compensated by control rods regulator. Reactor power settings can be done automatically. To determine whether the rate of increase in power reactor have been in accordance with the appointment power measuring channels the other, it needs to be evaluated in order to speed changes that occur as a result raising the reactor power is not distorted by the appointment of the channel of the other power. From the observation, measurement, and calculation of velocity rate of change of power at the power regulator channel was the same relatively values obtained with appearances on other channels. With the appearance obtained the same value, then the regulator channel can shows the appropriate measurements as decided and the reactor can be operated in a safe and secure conditions.

Keyword: regulator, observation, measurement.

PENDAHULUAN

Pengoperasian reaktor Teras 78 yang berlangsung pada tanggal 23 Maret 2012 dilakukan penaikan daya reaktor dari daya 0 menuju ke daya 15 MW sesuai Instruksi Operasi Nomor: IO.78/01-B/2012 dan Persiapan Operasi Nomor: RSG.OR.02.02.42.10/002/2012.¹⁾ Selama pengoperasian reaktor dilakukan pengamatan terhadap unjuk kerja kanal pengatur daya yang terpasang di Ruang Kendali Utama (RKU). Selain dilakukan pengamatan kanal pengatur daya, dilakukan juga pengamatan terhadap penunjukan kecepatan perubahan daya yang ditampilkan pada kanal *start-*

up dan kanal jangkauan menengah. Hasil pengamatan digunakan oleh operator reaktor sebagai acuan untuk pengendalian daya reaktor, apakah penampilan daya reaktor telah sesuai dengan kondisi batas operasi yang diharapkan. Kondisi batas operasi yang diharapkan antara lain adalah kondisi dimana unjuk kerja kanal pengatur daya tidak menyimpang dari nilai batas yang telah ditentukan.

Pada tulisan ini akan dibahas tentang bagaimana unjuk kerja kanal pengatur daya pada pengoperasian reaktor selama dilakukan perubahan daya reaktor dari daya 0 menuju daya 15 MW Teras 78 RSG-GAS. Apabila batas-batas operasi selalu

tidak dilampaui, maka pengoperasian reaktor dapat berlangsung dengan selamat dan aman.

DASAR TEORI

Pemantauan teras reaktor pada saat operasi dilakukan dengan cara pengukuran kerapatan fluks neutron pada tingkat *start-up*, tingkat menengah, tingkat daya, juga pada saat penurunan daya, dan pada kondisi teras reaktor subkritis. Sinyal-sinyal yang dihasilkan oleh sistem pengukuran fluks neutron proporsional dengan daya reaktor, baik pada jangkauan *start-up*, jangkauan menengah, maupun jangkauan daya. Selain itu sinyal yang berkaitan dengan laju perubahan daya reaktor, yaitu periode reaktor untuk jangkauan *start-up* dan menengah, dan kesetimbangan beban pada jangkauan daya bekerja normal. Sinyal-sinyal yang dikirim diperlukan sebagai besaran input oleh sistem proteksi reaktor. Jangkauan pengukuran yang dapat dicapai oleh sistem pengukuran rapat fluks neutron tersebut mencapai 10 dekade. Sistem pengukuran memiliki daerah tindhian 2 dekade, antara: jangkauan *start-up*, jangkauan menengah, dan jangkauan daya.²⁾

Ketiga daerah pengukuran (*start-up*, menengah, dan daya) dirancang secara redundansi untuk tujuan keselamatan. Sistem pengukuran ini terdiri dari 2 kanal pengukuran jangkauan *start-up* dan menengah yang terletak secara terpisah, dan empat kanal pengukuran jangkauan daya.

Kanal jangkauan *start-up* terdiri dari 2 kanal pengukuran redundan: JKT01 CX811 (redundan 1), dan JKT01 CX821 (redundan 2). Kanal pengukuran tersebut meliputi hampir 6 s/d 7 dekade daya reaktor.

Dua kanal logaritmik redundansi disediakan untuk pengukuran rapat fluks neutron jangkauan menengah, terdiri dari: JKT02 CX811 (redundan 1), dan JKT02 CX821 (redundan 2). Kanal tersebut mencakup pengukuran hingga 7 dekade.

Rapat fluks neutron dalam jangkauan daya diukur dengan menggunakan kanal linier. Empat kanal beredundansi yang disediakan adalah: JKT03 CX811 (redundan 1), JKT03 CX821 (redundan 2), JKT03 CX831 (redundan 3), JKT03 CX841 (tambahan untuk penentuan beban tidak seimbang). Setiap kanal mencakup dua dekade tertinggi dari pada jangkauan pengukuran daya reaktor. Detektor yang digunakan adalah kamar ionisasi terkompensasi berlapis Boron.

Pengosongan dan pengisian air pada tabung berkas akan mengubah rapat fluks neutron pada kamar pengukuran di tempat yang berdekatan dengan tabung berkas dan dapat mengakibatkan pemadaman reaktor melalui sistem pengawasan beban tak seimbang. Untuk mengoperasikan reaktor pada tingkat daya pada kondisi tabung

berkas kosong atau berisi air diperlukan pengesetan kanal pengukuran rapat fluks neutron yang sesuai. Hal ini untuk menjamin agar tidak terjadi pemadaman reaktor pada saat pengosongan/pengisian air dari/ke tabung berkas pada saat reaktor beroperasi pada daya tinggi.

Laju dosis- γ pada sistem pendingin primer diukur dengan kanal pengukuran redundansi 3, yang terdiri dari: JAC01 CR811 (redundan 1), JAC01 CR821 (redundan 2), 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 Detektor Kamar Ionisasi- γ . Jangkauan pengukuran kanal pengukuran daya reaktor adalah 0 s/d 160%.

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 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 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 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 merespon pemadaman (*scram*) apabila:²⁾

- 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 ($+\frac{\Delta\phi}{\Delta t} \geq \text{maks}$), 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.

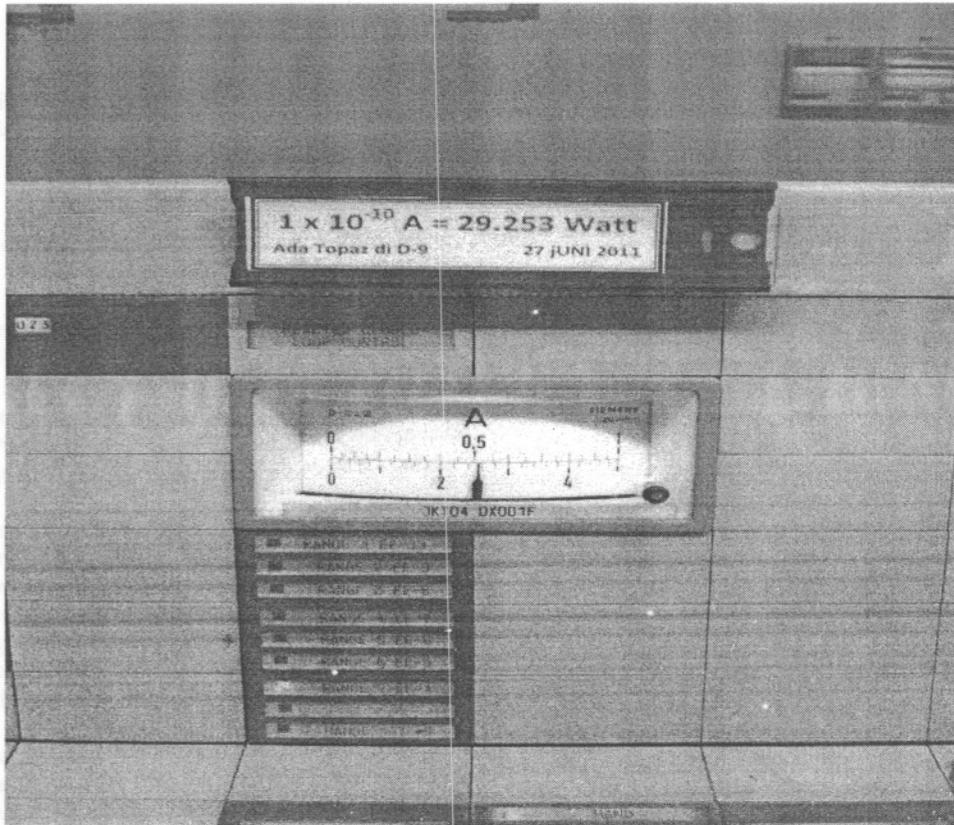
Pengaturan daya reaktor

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

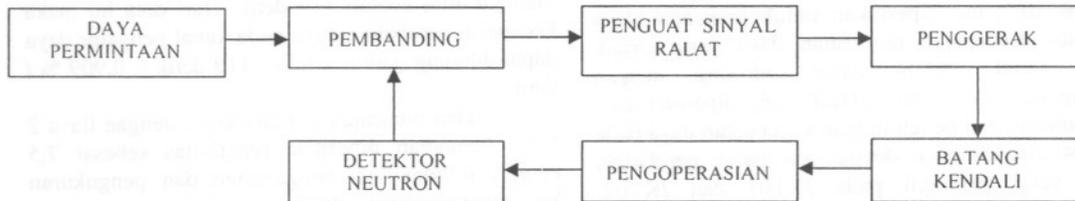
mengemudikan 7 batang kendali *Bank* dan 1 batang kendali pengatur. Batang-batang kendali tersebut diberi kode dengan JDA01 s/d JDA08.

Operasi reaktor dapat diatur baik secara manual maupun otomatis. Pengaturan secara otomatis, dilakukan dengan adanya sebuah kanal pengatur daya reaktor yang memiliki jangkauan lebar (JKT04). Kanal pengatur daya ini mampu menampilkan daya sejak tingkat daya yang sangat rendah hingga daya maksimum dan dilengkapi dengan saklar 7 posisi, lihat Gambar 1.

Untuk pengendalian secara manual pada prinsipnya adalah mengatur kedudukan batang-batang kendali untuk mencapai suatu daya tertentu dengan cara menekan tombol *up* dan *down*. Apabila terjadi perubahan tingkat daya, maka operator harus menyesuaikan kembali agar tingkat daya sesuai dengan yang ditentukan. Ketinggian batang kendali diatur secara merata sehingga akan diperoleh fluks panas di dalam teras yang relatif merata juga. Pengaturan dan pengendalian reaktor dilakukan oleh operator reaktor dari meja kendali pengatur CWA01 di RCU. Status batang kendali ditampilkan oleh indikator di atas meja pengatur. Pada saat Sistem Proteksi Reaktor (SPR) menghasilkan sinyal pancung, sistem akan memutuskan catu daya ke magnet pemegang dan secara cepat menjatuhkan batang kendali. Adapun blok diagram sistem kalang tertutup adalah seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Unjuk kerja kanal jangkau lebar (JKT04)
(kanal pengatur daya)



Gambar 2. Diagram kalang tertutup

Prinsip kerja diagram kalang tertutup adalah sebagai berikut:

Sinyal daya permintaan akan dibandingkan dengan taraf daya yang terukur pada untai detektor neutron. Apabila ada perbedaan sinyal yang terukur pada taraf daya dengan daya yang diminta, akan diperkuat. Penguat tersebut akhirnya mengontrol mekanisme batang kendali untuk merubah posisi

batang pengatur ke suatu arah yang melawan ralat tersebut.

Pengendalian otomatis tidak terlepas dari pengendalian secara manual, maksudnya adalah secara manual reaktor dioperasikan dan setelah daya mendekati daya yang dikehendaki barulah kemudian pengendalian dipindah (*switch*) ke pengendalian

otomatis. Pengendalian otomatis hanyalah untuk mempertahankan suatu jangkauan daya reaktor saja.

TATA KERJA

Memenuhi kondisi awal pengoperasian reaktor RSG-GAS sebagai berikut:³⁾

- Sistem pendingin primer dan sekunder dalam kondisi operasi.
- Sistem purifikasi KBE01 kondisi operasi.
- Sistem pendingin dan purifikasi kolam FAK01 kondisi operasi.
- *Heater warm water layer* pada sistem KBE02 operasi normal.
- Level air kolam JAA01 > 12,25 m.
- *Stop gate* dalam kondisi tertutup.
- *Reactivity* meter kondisi operasi.
- *FFD* kondisi normal.
- Meter-meter JKT 01, JKT 02, JKT 03, JKT 04, dan JRF 10 kondisi normal.
- Persiapan Sarana Operasi telah dilakukan dan tersedia.
- Instruksi Operasi telah tersedia.

Setelah ha-hal tersebut dipenuhi dilakukan *start-up* reaktor menuju kritis bebas sumber, dengan cara menaikkan posisi batang kendali secara bertahap dengan memperhatikan parameter operasi. Setelah dicapai kondisi kritis bebas sumber, daya reaktor dipertahankan selama 10 menit kemudian daya reaktor dinaikkan secara bertahap menuju 2 MW, 5 MW, 10 MW, dan 15 MW. Pada setiap tingkat daya dilakukan pencatatan seluruh data parameter operasi, antara lain tingkat daya reaktor dan waktu yang diperlukan untuk mencapai daya tertentu. Kecepatan perubahan daya yang terjadi pada kanal JKT04 dapat dihitung dengan menggunakan kalkulator. Hasil yang diperoleh dari pengamatan dan penghitungan kecepatan daya pada JKT04 dibandingkan dengan kecepatan perubahan daya yang tertampil pada JKT01 dan JKT02. Apabila nilai kecepatan perubahan daya adalah sama maka nilai itu adalah yang diinginkan. Apabila nilai yang diperoleh tidak sama ini berarti perlu dilakukan pengkajian selanjutnya agar dapat diyakinkan bahwa nilai besaran tersebut seharusnya sama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan unjuk kerja kanal pengatur daya reaktor pada penaikan daya 15 MW Teras 78 RSG-GAS tanggal 23 Maret 2012 disajikan pada lampiran I.

Pembahasan unjuk kerja kanal pengatur daya reaktor pada makalah ini berdasarkan pada data operasi

reaktor RSG-GAS siklus operasi No. 78 sebagai berikut:

Sebelum dilakukan *start-up* reaktor dilakukan pengamatan nilai-nilai parameter operasi, yaitu penampilan meter-meter daya, posisi batang kendali, dan yang lainnya. Pada kondisi ini jumlah neutron yang terdeteksi pada kanal *start-up* masih mengindikasikan besarnya sumber neutron yang akan mengawali reaksi fisi apabila batang kendali ditarik keluar teras. Periode reaktor masih menunjukkan nilai ∞ , dan kecepatan perubahan daya menunjukkan nilai nol ini mengindikasikan tidak terjadi perubahan jumlah neutron di dalam teras reaktor. Demikian juga pada kanal jangkauan menengah mengindikasikan tidak ada perubahan jumlah neutron, dan penunjukan pada jangkauan daya menunjukkan nilai nol.

Start-up reaktor dilakukan dengan cara menaikkan posisi batang kendali dengan nilai reaktivitas yang diberikan pada teras reaktor < 10 *cent*. Ketika batang kendali mencapai posisi 289 mm, unjuk kerja kanal *start-up* dan kanal jangkauan menengah mulai ada peningkatan jumlah neutron, akan tetapi pada kanal jangkauan daya masih tetap nol.

Setelah mencapai kondisi kritis bebas sumber dan diberikan reaktivitas sebesar 10 *cent*, dilakukan pengamatan dan pengukuran kecepatan perubahan daya pada kanal *start-up*, kanal jangkauan menengah, dan kanal jangkauan daya yang hasilnya seperti terlihat pada Lampiran I. Dari Lampiran I dapat diketahui bahwa dengan diberikan nilai reaktivitas sebesar 10 *cent* maka daya reaktor naik dan waktu dicapainya perubahan daya dari 20% menjadi 40% adalah 110 detik. Dari data ini maka kecepatan perubahan daya pada kanal pengatur daya dapat dihitung, yaitu: $100\% / 110 \text{ detik} = 0,909\% / \text{detik}$.

Setelah mencapai kondisi kritis dengan daya 2 MW, kemudian diberikan reaktivitas sebesar 7,5 *cent*, dan dilakukan pengamatan dan pengukuran kecepatan perubahan daya pada kanal *start-up*, kanal jangkauan menengah, dan kanal jangkauan daya yang hasilnya seperti terlihat pada Lampiran I. Dari Lampiran I dapat diketahui bahwa dengan diberikan nilai reaktivitas sebesar 7,5 *cent* maka daya reaktor naik dan waktu dicapainya perubahan daya dari 20% menjadi 40% adalah 121 detik. Dari data ini maka kecepatan perubahan daya pada kanal pengatur daya dapat dihitung, yaitu: $100\% / 121 \text{ detik} = 0,826\% / \text{detik}$.

Setelah mencapai kondisi kritis dengan daya 5 MW, kemudian diberikan reaktivitas sebesar 7 *cent*, dan dilakukan pengamatan dan pengukuran kecepatan perubahan daya pada kanal *start-up*, kanal jangkauan menengah, dan kanal jangkauan daya yang hasilnya seperti terlihat pada Lampiran I. Dari

Lampiran 1 dapat diketahui bahwa dengan diberikan nilai reaktivitas sebesar 7 cent maka daya reaktor naik dan waktu dicapainya perubahan daya dari 20% menjadi 40% adalah 137 detik. Dari data ini maka kecepatan perubahan daya pada kanal pengatur daya dapat dihitung, yaitu: $100\% / 137 \text{ detik} = 0,73 \text{ \% / detik}$.

Setelah mencapai kondisi kritis dengan daya 10 MW, kemudian diberikan reaktivitas sebesar 5 cent, dan dilakukan pengamatan dan pengukuran kecepatan perubahan daya pada kanal *start-up*, kanal jangkauan menengah, dan kanal jangkauan daya yang hasilnya seperti terlihat pada Lampiran 1. Dari Lampiran 1 dapat diketahui bahwa dengan diberikan nilai reaktivitas sebesar 5 cent maka daya reaktor naik dan waktu dicapainya perubahan daya dari 20% menjadi 30% adalah 35 detik. Dari data ini maka kecepatan perubahan daya pada kanal pengatur daya dapat dihitung, yaitu: $50\% / 35 \text{ detik} = 1,429 \text{ \% / detik}$. Setelah reaktor kritis pada daya 15 MW kemudian daya reaktor dipertahankan sesuai Instruksi Operasi.

Selama operasi reaktor berlangsung, baik sejak reaktor *start-up* hingga mencapai tingkat daya yang dikehendaki operator reaktor selalu mengamati unjuk kerja kanal-kanal pengukur daya reaktor. Pengamatan yang dilakukan antara lain terhadap penampilan indikator daya baik pada tingkat *start-up*, menengah, maupun tingkat daya. Selain itu pengamatan dilakukan juga pada kanal pengatur daya (JKT04 DX001). Kanal pengatur daya akan mengindikasikan seberapa jauh kondisi reaktor dioperasikan. Pada saat dilakukan perubahan daya reaktor dari tingkat daya rendah menuju ke tingkat lebih tinggi sesuai yang dikehendaki, operator memberikan reaktivitas positif terhadap teras reaktor sehingga daya reaktor melaju naik secara eksponensial. Pada kondisi ini operator mengamati tingkat perubahan daya dari daya tertentu ke tingkat daya yang diinginkan sehingga waktu perubahan daya diketahui. Dari data operasi dan pengamatan, serta perhitungan diperoleh nilai yang ditunjukkan pada Tabel 1 (lihat Lampiran 1). Dari Tabel 1 diketahui bahwa setelah mencapai kondisi kritis bebas sumber dan diberikan reaktivitas sebesar 10 cent, maka daya reaktor naik dan waktu dicapainya perubahan daya dari 20% menjadi 40% adalah 110 detik. Setelah dilakukan perhitungan diketahui bahwa kecepatan perubahan daya pada kanal pengatur daya adalah sebesar 0,909 % / detik. Nilai ini kemudian dibandingkan dengan nilai yang ditampilkan pada kanal *start-up* dan kanal menengah, dimana kanal *start-up* menunjukkan nilai 0,9 % / detik, dan kanal menengah menunjukkan

nilai 1% /detik. Penampilan yang relatif sama dengan hasil pengukuran tersebut mengindikasikan bahwa pengoperasian reaktor telah berlangsung dengan normal. Selain itu, setelah mencapai kondisi kritis dengan daya 2 MW dan diberikan reaktivitas sebesar 7,5 cent maka daya reaktor naik dan waktu dicapainya perubahan daya dari 20% menjadi 40% adalah 121 detik. Dari data ini maka kecepatan perubahan daya pada kanal pengatur daya setelah dihitung diperoleh nilai sebesar 0,826 % / detik, sedangkan penunjukan pada kanal *start-up* dan kanal menengah juga relatif sama yaitu sebesar 0,8 dan 1. Perbedaan penunjukan yang sangat kecil tersebut kemungkinan adanya kesalahan pembacaan meter yang terpasang. Pada kondisi kritis dengan daya 5 MW, kemudian diberikan reaktivitas sebesar 7 cent, maka daya reaktor naik dan waktu dicapainya perubahan daya dari 20% menjadi 40% adalah 137 detik dan setelah dilakukan perhitungan diperoleh nilai sebesar 0,73 % / detik. Demikian juga pada kondisi kritis dengan daya 10 MW, kemudian diberikan reaktivitas sebesar 5 cent maka waktu dicapainya perubahan daya dari 20% menjadi 30% adalah 35 detik dan setelah dilakukan perhitungan diperoleh nilai sebesar 1,429 % /detik. Hasil perhitungan yang relatif sama dengan penampilan kanal-kanal pengukur daya telah mengindikasikan bahwa pengoperasian reaktor dapat terkendali dengan selamat dan aman.

KESIMPULAN

1. Dengan diperoleh hasil pengamatan, pengukuran, dan perhitungan kecepatan perubahan daya pada kanal pengatur daya relatif sama dengan kanal pengukur daya, maka pengoperasian Teras 78 akan berlangsung dengan selamat dan aman.
2. Agar diperoleh hasil pengamatan, pengukuran, dan perhitungan lebih teliti, sebaiknya pembacaan pengukuran dilakukan pada daya rendah karena laju perubahan daya lebih mudah terbaca dan dalam jangkauan tingkat daya yang lebih luas.

ACUAN:

1. ANONIM, "Buku Induk Operasi Reaktor RSG-GAS No. 282, Revisi 5, Jakarta, Th 2012.
2. ANONIM, "Laporan Analisis Keselamatan RSG-GAS" Revisi 10, Jakarta, Th 2010.
3. ANONIM, "Prosedur Pelaksanaan Operasi RSG-GAS" No. Ident: RSG.OR.01.02.42. 10, Revisi 03, Jakarta, Th 2010.

Lampiran 1. Hasil pengamatan unjuk kerja kanal pengatur daya pada penaikan daya 15 MW Teras 78 RSG-GAS tanggal 23 Maret 2012.

Kondisi reaktor	Reaktivitas yang diberikan (Cent)	Perubahan daya (%)		Waktu terukur (second)	Kecepatan perubahan daya pada JKT01 (%/s)		Kecepatan perubahan daya pada JKT02 (%/s)		Kecepatan perubahan daya dari pengamatan/pengukuran JKT04 (%/s)
		dari	ke		Red. 1	Red. 2	Red.1	Red.2	
Kritis bebas sumber, JKT04: $2,5 \times 10^{-8}$ A	10	20	40	110	0,9	0,9	1	1	0,909
Kritis 2 MW, JKT04: $0,7 \times 10^{-5}$ A	7,5	20	40	121	0,8	0,8	1	1	0,826
Kritis 5 MW, JKT04: $1,7 \times 10^{-5}$ A	7	20	40	137	0,7	0,7	1,8	1,8	0,73
Kritis 10 MW, JKT04: $3,4 \times 10^{-5}$ A	5	20	30	35	1,4	1,4	2	2	1,429
Kritis 15 MW, JKT04: $0,53 \times 10^{-4}$ A	0	-	-	-	-	-	-	-	-