

ANTISIPASI PENGARUH Xe-135 UNTUK MENGOPERASIKAN KEMBALI RSG-GAS SETELAH SCRAM PADA DAYA 15 MW

Slamet Wiranto

ABSTRAK

ANTISIPASI PENGARUH Xe-135 UNTUK MENGOPERASIKAN KEMBALI RSG-GAS SETELAH SCRAM PADA DAYA 15 MW. Telah dilakukan antisipasi gangguan racun Xe-135 setelah RSG-GAS scram. Setelah reaktor scram konsentrasi Xe-135 yang mempunyai tampang serapan neutron besar, meningkat tajam dan mencapai maksimum setelah ~ 11,6 jam. Dalam kondisi ini kemungkinan reaktor tidak bisa dioperasikan lagi bergantung pada lama gangguan dan sisa reaktivitas lebih teras reaktor, hingga aktivitas Xe-135 meluruh. Untuk mengoperasikan kembali reaktor, perlu diketahui perkiraan harga reaktivitas Xe-135 dan reaktivitas teras reaktor, dengan mempelajari karakteristik sistem batang kendali dan melakukan analisis menggunakan data hasil pengukuran reaktivitas Xenon 15 MW serta data hasil kalibrasi batang kendali. Dari hasil analisis dapat ditentukan kapan reaktor bisa dioperasikan kembali dan ketinggian posisi batang kendali saat reaktor kritis. Untuk operasi reaktor daya 15 MW dengan asumsi dalam 20 menit gangguan bisa diatasi, reaktor bisa segera dioperasikan kembali jika saat reaktor scram posisi batang kendali ≤ 530 mm. Bila saat scram posisi batang kendali > 530 mm reaktor hanya bisa dioperasikan kembali setelah 24,6 jam dari saat reaktor scram.

ABSTRACT

ANTICIPATION OF Xe-135 FLUENCE TO RESTART RSG-GAS AFTER SCRAM AT 15 MW POWER LEVEL OPERATION. The Xe-135 fluence after scram reactor has been anticipated. After scram reactor, concentration of Xe-135 which has high neutrons absorption raise up to maximum value at around 11.6 hours. In this condition may be the reactor can not be operated. It depends on the problem solving duration and the rest of the excess reactivity of the reactor core, until the Xe-135 reactivity are falling down. To restart the reactor need to learn the characteristic of the control rod system, the value of the Xe-135 reactivity and the excess reactivity of the core, analysis by using the data of Xe-135 characteristic at 15 MW power level, and control rod calibration measurement. From this analysis can be estimated the time of restart reactor and the critical position of control rods. At 15 MW power level with assumption in 20 minutes all troubles have been solved, the reactor can be started again if the position of the control rods before scram is ≤ 530 mm. If the position of control rods is > 530 mm, the reactor can be operated again at around 24.6 hours after reactor scram.

PENDAHULUAN

Dalam operasi reaktor dimana konsentrasi Xe-135 telah setimbang (~ 40 jam setelah tercapai daya tinggi tertentu), sering terjadi pemadaman reaktor yang tidak sesuai dengan rencana operasi. Hal ini disebabkan karena adanya gangguan internal seperti terganggunya komponen dan sistem bantu reaktor maupun adanya gangguan dari luar seperti adanya pemadaman/trip pasokan listrik PLN. Gangguan tersebut dapat menyebabkan reaktor scram dan konsentrasi racun Xe-135 naik dengan cepat dan mencapai puncaknya sekitar 11,6 jam setelah scram. Dalam kondisi ini bilaantisipasi terhadap gangguan racun Xe-135 tidak dipahami dengan baik, dapat menyebabkan jadwal operasi tertunda karena bahan bakar/reaktivitas teras reaktor sudah tidak mampu mengkompensasi racun Xe-135 yang terbentuk. Untuk mencegah kejadian tersebut bila gangguan penyebab scram telah teratasi, diusahakan reaktor segera dioperasikan lagi agar jadwal operasi yang telah dibuat bisa ditepati. Ada dua macam operasi reaktor setelah reaktor padam yaitu:

1. Fase operasi reaktor saat reaktivitas racun Xe-135 naik (Fase 1)
2. Fase operasi reaktor saat reaktivitas racun Xe-135 meluruh (Fase 2)

Operasi reaktor saat reaktivitas racun Xe naik memerlukan tindakan yang cepat dan tepat karena dalam fase ini akan terjadi dua kemungkinan apakah reaktor bisa segera dioperasikan lagi atau harus tertunda hingga hingga konsentrasi Xe-135 turun lagi. Sedangkan untuk operasi reaktor saat Xe-135 meluruh, hanya diperlukan ketepatan waktu operasi sehingga penundaan jadwal operasi tidak berlangsung terlalu lama. Kunci keberhasilan pengoperasian pada kedua fase operasi ini adalah mengetahui kondisi reaktivitas teras reaktor, kondisi reaktivitas Xe-135 setelah reaktor padam untuk memperkirakan posisi ketinggian batang kendali pada saat reaktor mencapai kekritisan kembali. Perlu pula ditentukan posisi batang

kendali sebelum reaktor scram untuk memberikan informasi bila terjadi reaktor scram pada sekitar posisi tersebut apakah reaktor bisa dioperasikan kembali pada fase 1, atau harus dioperasikan pada fase 2. Disamping itu perlu ditentukan pula waktu maksimum dimana reaktor masih bisa dioperasikan pada operasi fase 1, dan kapan reaktor bisa dioperasikan kembali pada fase 2.

Untuk mendapatkan hasil dari kegiatan tersebut diatas diperlukan, data waktu tunda operasi, data pengukuran karakteristik Xe-135 dan data kalibrasi batang kendali. Waktu tunda operasi diperoleh dengan menghitung waktu perbaikan sistem yang terganggu hingga sistem beroperasi kembali ditambah waktu operasi batang kendali (*bank* dan *reg-rod*) dari posisi nol hingga mencapai kekritisan. Data karakteristik reaktivitas Xe-135 diperoleh dari data pengukuran pada saat komisioning reaktor, dan data hasil kalibrasi batang kendali diperoleh dari pengukuran reaktivitas batang kendali yang dilakukan pada saat selesai pembentukan teras (awal siklus).

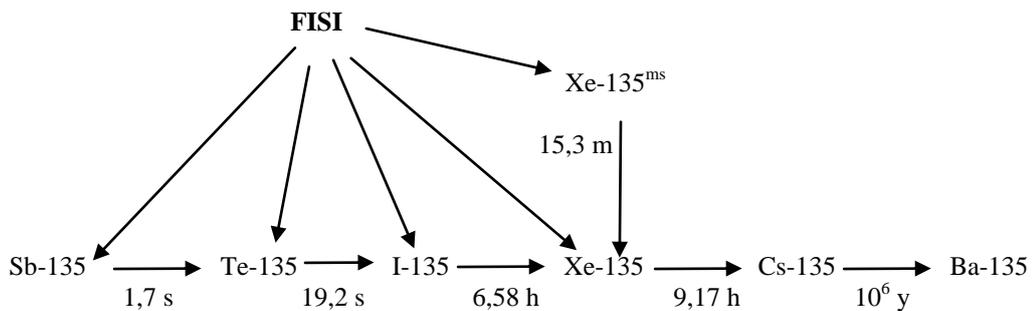
Karena saat ini RSG-GAS selalu dioperasikan pada daya 15 MW, maka pada kegiatan ini digunakan data reaktivitas Xe-135 untuk operasi daya 15 MW. Untuk operasi daya yang lain diperlukan data pengukuran Xe-135 sesuai daya yang akan dibahas. Dari hasil kegiatan ini diharapkan apabila terjadi reaktor scram, pengoperasi reaktor khususnya supervisor reaktor bisa memperoleh data masukan secara cepat, sehingga bisa segera ditentukan apakah setelah terjadi scram, reaktor bisa dioperasikan kembali dengan posisi ketinggian batang kendali tertentu, atau diperoleh kesimpulan bahwa reaktor saat itu tidak bisa dioperasikan hingga konsentrasi Xe-135 meluruh. Untuk operasi reaktor fase 2 dapat diperoleh informasi waktu yang tepat untuk mengoperasikan reaktor kembali, yaitu saat reaktivitas lebih teras reaktor sudah mampu mengantisipasi racun Xe-135.

TEORI

Batang kendali RSG-GAS berjumlah 8 buah di mana 7 buah beroperasi sebagai batang kendali pengaman (*bank*) dan 1 buah sebagai batang pengatur (*reg-rod*)¹¹. Semua batang kendali mempunyai kecepatan 0,684 mm/detik yang berarti untuk menempuh ketinggian 600 mm memerlukan waktu ± 15 menit. Batang kendali bank bisa dioperasikan secara bersamaan maupun satu per satu baik ke arah *up* (keluar teras) maupun *down* (masuk teras). Untuk keselamatan, apabila batang kendali *reg-rod* sudah berada pada posisi atas (tidak nol), maka batang kendali bank tidak bisa dioperasikan secara bersamaan ke arah *up*. Karena batasan tersebut maka moda operasi batang kendali RSG-GAS adalah terlebih dahulu

mengoperasikan batang kendali *bank* secara bersamaan ke perkiraan posisi kritis, kemudian reaktor dikritisikan pada daya tertentu menggunakan batang kendali *reg-rod*. Maka dari itu untuk mendapatkan waktu operasi yang cepat diperlukan perhitungan/ analisis yang tepat untuk menentukan posisi batang kendali pada saat reaktor mengalami kritis awal, yaitu dengan bantuan kurva reaktivitas Xe-135 dan kurva reaktivitas total batang kendali.

Xe-135 merupakan unsur yang mempunyai tampang serapan neutron yang sangat besar ($2,7 \times 10^6$ barn) yang selalu terbentuk pada suatu reaksi fisi berantai. unsur ini bisa terbentuk secara langsung dari hasil reaksi fisi dan dari peluruhan produk fisi dari reaksi fisi, seperti terlihat pada Gambar 1 di bawah ini :



Gambar 1. Proses terbentuknya Xe-135 pada reaktor thermal

Karena waktu paro Sb-135, Te-135 dan Xe^{ms} relatif jauh lebih kecil dibanding waktu paro I-135 dan maka sering dianggap Xe-135 terbentuk dari reaksi fisi langsung dan peluruhan dari I-135.

Konsentrasi racun Xe-135 yang ada merupakan penjumlahan dari Xe-135 yang terbentuk akibat reaksi fisi dan peluruhan I-135 dikurangi peluruhan Xe-135 dan reaksi serapan oleh Xe-135. Pada suatu saat (~ 40 jam setelah reaktor beroperasi) konsentrasi Xe-135 akan mencapai setimbang yaitu jumlah seluruh Xe-135 yang terbentuk sama dengan jumlah Xe-135 yang hilang.

Pada saat reaktor padam (fluks neutron ≈ 0), maka tidak terjadi lagi serapan neutron oleh Xe-135, demikian pula tidak terdapat lagi Xe-135 yang dihasilkan langsung dari reaksi fisi, tetapi Xe-135 masih dihasilkan dari peluruhan I-135. Hal ini menyebabkan konsentrasi Xe-135 setelah reaktor padam akan naik dan mencapai puncaknya $\sim 11,6$ jam setelah reaktor padam, kemudian akan turun karena waktu paro I-135 lebih kecil dibanding waktu paro Xe-135 menjadi Cs-135. Perilaku racun Xe-135 setelah reaktor scram dari operasi daya 15 MW, memuncak

dan kemudian meluruh diberikan pada Gambar 2.

Batang kendali reaktor merupakan bagian penting dari suatu reaktor nuklir yang berfungsi sebagai pengaman dan pengendali reaktor baik pada kondisi normal maupun darurat. Batang kendali terdiri dari bahan penyerap neutron yang mempunyai tampang lintang serapan tinggi seperti kadmium, boron, hafnium, perak dan lain-lain. Batang kendali mempunyai harga reaktivitas negatif berkebalikan dengan elemen bakar yang memberikan reaktivitas positif. Harga reaktivitas negatif tersebut disebut reaktivitas batang kendali. Pada awal siklus, elemen bakar dimasukkan ke dalam teras reaktor untuk menghasilkan reaktivitas lebih yang cukup untuk keperluan operasi selama satu siklus. Reaktivitas lebih teras diperlukan untuk mengkompensasi fraksi bakar bahan bakar, peracunan produk fisi (terutama Xe-135), kehilangan reaktivitas akibat perubahan temperatur dan adanya sampel/target.

Dari segi keselamatan, besar reaktivitas lebih teras harus dibatasi dengan mengatur jumlah elemen bakar teras, sehingga selain diperoleh reaktivitas lebih yang cukup juga diperoleh harga reaktivitas padam yang mampu mematikan reaktor dengan margin keselamatan tinggi. Untuk menjamin tercapainya keselamatan reaktor setiap terjadi perubahan konfigurasi teras harus dilakukan pengukuran/kalibrasi reaktivitas batang kendali. Hal ini dilakukan untuk meyakinkan apakah pada konfigurasi teras yang baru batang kendali benar-benar mampu memadamkan reaktor dengan margin keselamatan yang cukup, dan bisa dioperasikan dengan aman sesuai target operasi.

Dalam kondisi reaktor beroperasi ketinggian posisi batang kendali menunjukkan harga reaktivitas yang masih dimiliki teras reaktor. Bila terjadi reaktor padam pada posisi batang kendali tertentu, maka harga sisa reaktivitas teras dapat diketahui dengan memberikan inputan nilai posisi batang

kendali tersebut pada kurva kalibrasi batang kendali.

TATA KERJA

Untuk mengetahui status kondisi reaktor apakah reaktor bisa dioperasikan kembali dengan posisi batang kendali tertentu pada fase 1 atau harus dioperasikan pada waktu tertentu pada fase 2 diperlukan langkah kegiatan sebagai berikut:

1. Membuat gambar kurva reaktivitas Xe-135 untuk operasi daya 15 MW secara utuh (Gambar 2), kemudian kurva tersebut diperjelas/dibesarkan dengan memperbesar skala dan membagi kurva menjadi dua gambar yaitu kurva pada saat Xe-135 naik (Gambar 3) dan kurva pada saat Xe-135 turun (Gambar 4). Reaktivitas Xe-135 sebagai ordinat dan waktu sebagai absis.
2. Membuat kurva hasil kalibrasi batang kendali (Gambar 5). Reaktivitas total batang kendali sebagai ordinat dan posisi batang kendali sebagai absis.
3. Menentukan sisa reaktivitas teras pada saat reaktor scram, mengikuti persamaan:

$$\rho_{srs} = \rho_t - \rho_s - \rho_k$$

di mana:

ρ_{srs} = Sisa reaktivitas teras pada saat reaktor scram

ρ_s = Reaktivitas teras pada saat reaktor scram

ρ_t = Reaktivitas total batang kendali

ρ_k = Reaktivitas batang kendali pada posisi 580-600 mm, digunakan sebagai margin keselamatan⁴¹

4. Menentukan batasan waktu dimana reaktor masih bisa dioperasikan kembali, yaitu dengan memberi inputan harga ρ_m dimana $\rho_m = \rho_{srs} + \rho_{Xs}$ (ρ_{Xs} = harga reaktivitas Xe-135 sebelum scram), pada kurva karakteristik Xe-135 saat naik (Gambar 3), maka pada absis didapat batasan waktu tunda maksimum. Waktu ini digunakan untuk pengambilan keputusan, bila waktu yang diperlukan untuk mengatasi gangguan ditambah waktu operasi batang kendali menuju kritis lebih kecil dari

waktu tunda maksimum maka reaktor bisa dioperasikan kembali, atau jika tidak maka reaktor harus dioperasikan pada saat Xe-135 telah meluruh (fase 2).

5. Bila diketahui reaktor bisa dioperasikan kembali, maka harus ditentukan posisi batang kendali saat tercapai kekritisan, dengan cara sebagai berikut:

- Menentukan waktu tunda (T_t) setelah reaktor scram: $T_t = T_1 + T_2$

Di mana:

T_1 = Waktu perbaikan sistem yang terganggu, paralel dengan waktu tunggu motor batang kendali mencapai posisi 0 mm

T_2 = Waktu start-up reaktor hingga tercapai reaktor kritis

- Memberikan inputan waktu tunda T_t pada kurva Xe-35 saat reaktivitas naik (Gambar 3), didapat harga reaktivitas ρ_1 . Harga ini dikurangi harga ρ_{Xe-135} sebelum scram (ρ_{xs}) dan ditambah dengan harga reaktivitas teras saat scram (ρ_s), diperoleh harga reaktivitas ρ_2 , maka $\rho_2 = \rho_1 - \rho_{xs} + \rho_s$

- Dengan memberikan masukan harga ρ_2 pada kurva kalibrasi batang kendali (Gambar 5), maka pada absis didapat harga posisi batang kendali pada saat tercapai kekritisan.

6. Bila diketahui reaktor tidak bisa dioperasikan pada fase 1 maka reaktor akan dioperasikan pada fase 2. Untuk menentukan waktu yang tepat pada operasi pada fase 2 dengan posisi batang kendali all bank 580 mm (ketinggian maksimum yang relatif masih efektif), diambil langkah-langkah sebagai berikut:

- Pada kondisi ini ρ_{Xe-135} yang bisa dikompensasi oleh batang kendali pada posisi 580 mm (ρ_x) adalah :

$$\rho_x = \rho_{580} - \rho_p - \rho_{xs}$$

di mana :

ρ_{580} = reaktivitas batang kendali pada posisi 580 mm

ρ_p = reaktivitas padam batang kendali diperoleh saat kalibrasi

ρ_{xs} = reaktivitas Xe-135 sebelum reaktor scram

Untuk mendapatkan waktu di mana reaktor bisa kritis kembali pada posisi 580 mm dilakukan dengan memberikan inputan harga ρ_x pada kurva karakteristik reaktivitas Xe turun (Gambar 4), maka waktu di mana reaktor dapat dioperasikan kembali pada fase 2 adalah waktu yang terbaca pada absis ditambah waktu Xe-135 naik (11,6 jam).

7. Menentukan posisi batang kendali saat reaktor beroperasi, di mana posisi tersebut apabila terjadi scram, merupakan batas apakah reaktor bisa dioperasikan kembali pada fase 1 atau harus dioperasikan pada fase 2, dengan asumsi waktu tunda penanganan gangguan berlangsung selama 20 menit. Langkah-langkah tersebut adalah:

- Seperti pada langkah 5 didapat waktu penanganan gangguan $T_1 = 20$ menit, dan waktu start-up reaktor hingga tercapai reaktor kritis $T_2 = 2 \times 20$ menit, maka didapat waktu tunda setelah scram $T_t = 1$ jam. Harga T_t diinputkan pada kurva karakteristik Xe-135 saat naik, didapat nilai reaktivitas ρ_1

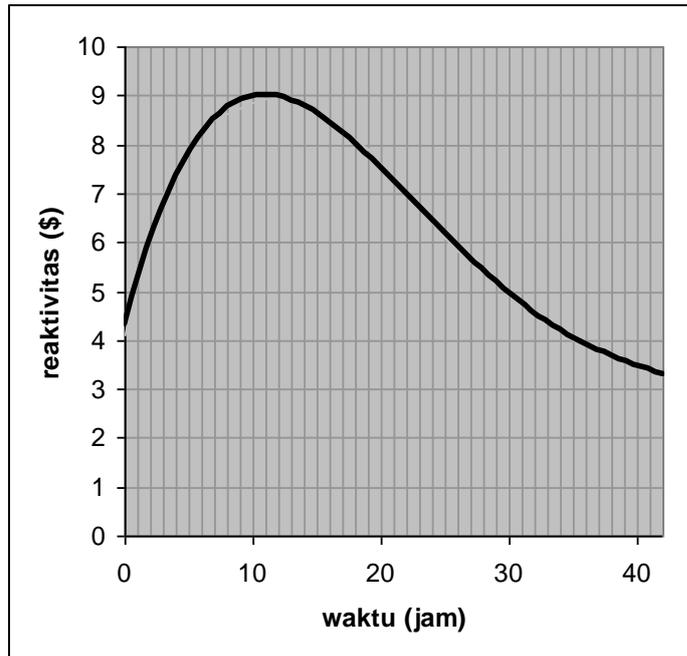
- Untuk mendapatkan posisi batang kendali yang merupakan batas reaktor bisa dioperasikan lagi atau tidak, adalah dengan memberikan inputan harga reaktivitas batas ρ_b pada kurva kalibrasi batang kendali (Gambar 5), di mana :

$$\rho_b = \rho_t - \rho_k - (\rho_1 - \rho_{xs})$$

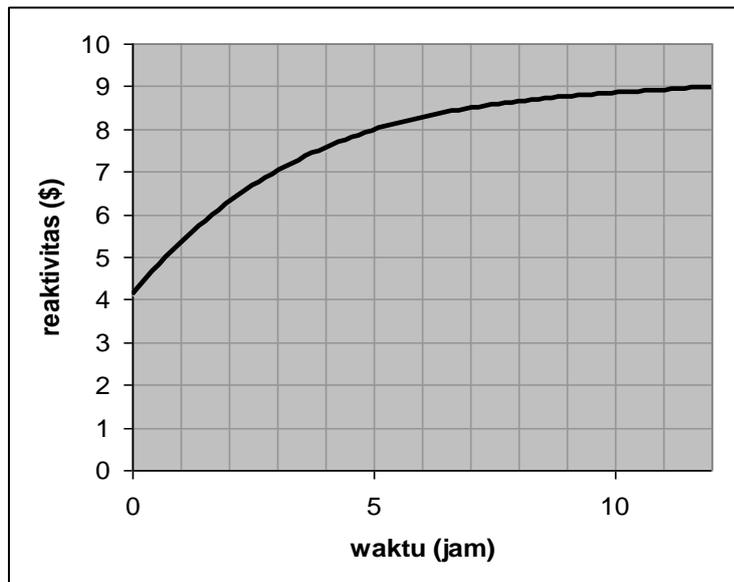
$$\rho_b = \rho_t + \rho_{xs} - \rho_1 - \rho_k$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengukuran didapat kurva karakteristik Xe-135 daya 15 MW dan kurva hasil kalibrasi batang kendali RSG-GAS teras LV sebagai berikut:

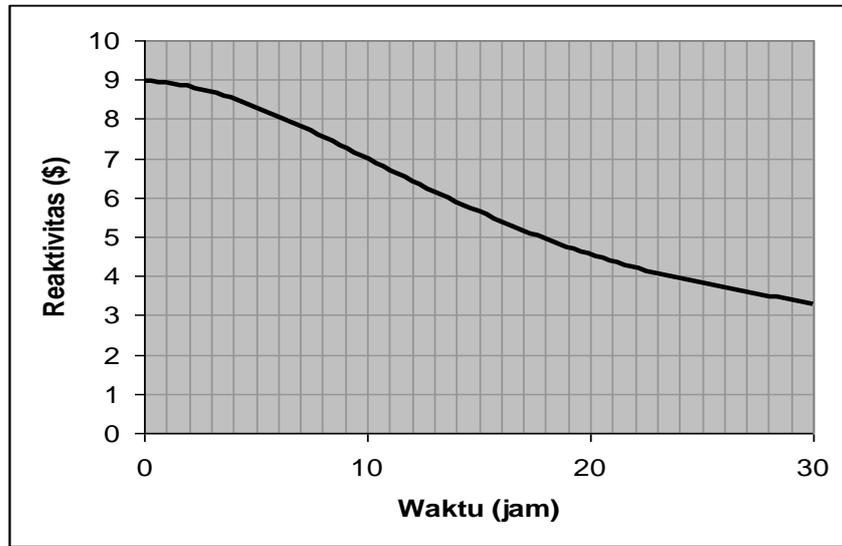


Gambar 2. Reaktivitas Xe-135 Daya 15 MW Setelah Reaktor Padam

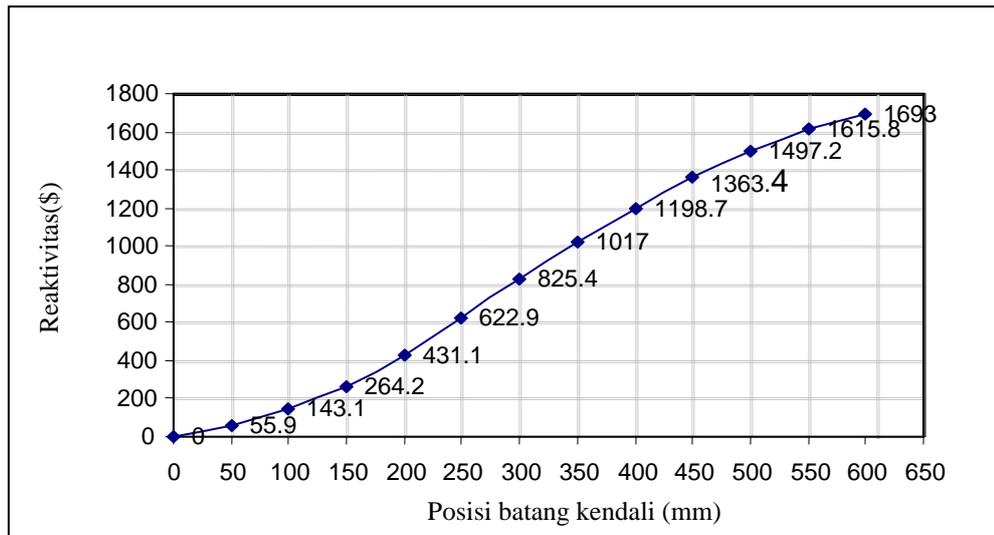


Gambar 3. Reaktivitas Xenon-135 Daya 15 MW Setelah Reaktor Padam

Saat Naik (fase 1)



Gambar 4. Reaktivitas Xenon-135 Daya 15 MW Setelah Reaktor Padam Saat Meluruh (fase 2)



Gambar 5. Kurva Kalibrasi Batang Kendali Teras LV

Untuk memudahkan pembahasan diberikan studi kasus terjadinya reaktor scram pada siklus operasi teras LV, di mana pada saat itu reaktor beroperasi 15 MW konsentrasi Xe-135 setimbang, kemudian terjadi reaktor scram pada posisi batang kendali reaktor (*all bank*) 450 mm. Reaktor scram disebabkan oleh terjadinya trip listrik PLN, menyebabkan sistem pendingin primer mati dan reaktor scram otomatis dari debit sistem pendingin primer minimum. Kita asumsikan bahwa dalam waktu 20 menit semua gangguan yang terjadi bisa diatasi, semua sistem bantu reaktor yang terganggu telah dioperasikan kembali dan sistem batang kendali telah siap digunakan untuk operasi reaktor.

Untuk mengoperasikan lagi reaktor ke daya 15 MW diperkirakan memerlukan waktu kurang lebih 2 x 20 menit, sehingga didapat waktu tunda ~ 1 jam. Dalam kondisi ini supervisor reaktor harus mengambil langkah-langkah sebagai berikut:

- Menentukan sisa reaktivitas yang masih dipunyai teras reaktor menggunakan kurva kalibrasi batang kendali (Gambar 5) :

$$\rho_{srs} = \rho_t - \rho_s - \rho_k$$

$$\rho_{srs} = 16,93 - 13,63 - 0,31 = 2,99 \text{ \$}$$

- Menentukan batasan waktu dimana reaktor masih bisa dioperasikan kembali:

$$\rho_m = \rho_{srs} + \rho_{xs}$$

$$\rho_m = 2,99 + 4,22 = 7,21 \text{ \$}$$

Harga $\rho_m = 7,21 \text{ \$}$ diinputkan ke kurva Xe-135 naik (Gambar 3), didapat waktu tunda maksimum ~ 3,4 jam $\approx 3 \text{ jam } 24 \text{ menit}$.

- Menentukan posisi batang kendali saat reaktor bisa dikritisikan kembali:

$$\text{Waktu tunda } T_t = T_1 + T_2$$

$$T_t = 20 \text{ menit} + (2 \times 20 \text{ menit}) = 1 \text{ jam}$$

Harga $T_t = 1 \text{ jam}$ diinputkan pada kurva Xe-135 naik (Gambar 3), didapat harga reaktivitas $\rho_1 = 5,4 \text{ \$}$.

$$\rho_2 = \rho_1 - \rho_{xs} + \rho_s$$

$$\rho_2 = 5,4 - 4,22 + 13,63 = 14,81 \text{ \$}$$

Harga $\rho_2 = 14,81 \text{ \$}$ diinputkan pada kurva kalibrasi batang kendali (Gambar 5), di-

datap posisi batang kendali kritis ~ 494 mm.

Bila diketahui reaktor tidak bisa dioperasikan pada fase 1 maka reaktor akan dioperasikan pada fase 2. Menentukan waktu agar pada fase 2 reaktor kritis pada posisi 580 mm adalah:

$$\text{Menentukan } \rho_x = \rho_{580} - \rho_p - \rho_{xs}$$

$$\rho_x = 16,62 - 6,26 - 4,22 = 6,14 \text{ \$}$$

Harga $\rho_x = 6,14 \text{ \$}$, diinputkan pada kurva Xe-135 turun (Gambar 4), pada absisnya diperoleh waktu ~13 jam. Maka waktu reaktor bisa dioperasikan kembali adalah $13 + 11,6 \approx 24,6 \text{ jam}$ setelah reaktor scram.

Menentukan posisi batang kendali saat reaktor beroperasi 15 MW, di mana posisi tersebut apabila terjadi scram, merupakan batas apakah reaktor bisa dioperasikan kembali pada fase 1 atau harus dioperasikan pada fase 2:

- Menentukan harga ρ_1 yaitu dengan memberikan inputan $T_t = 1 \text{ jam}$ pada kurva kurva Xe-35 saat naik (Gambar 3), didapat nilai $\rho_1 = 5,4 \text{ \$}$
- Menentukan $\rho_b = \rho_t + \rho_{xs} - \rho_1 - \rho_k$
 $\rho_b = 16,93 + 4,22 - 5,4 - 0,31 = 15,44 \text{ \$}$
- Harga $\rho_b = 15,44 \text{ \$}$ digunakan sebagai masukan pada kurva kalibrasi batang kendali (Gambar 5), sehingga pada absisnya didapat harga posisi batang kendali yang merupakan batas apakah reaktor bisa dioperasikan kembali pada fase 1 atau harus dioperasikan pada fase 2, yaitu 530 mm

Dari perhitungan diatas, terlihat bahwa untuk reaktor scram dengan posisi batang kendali lebih tinggi (*burn-up* bahan bakar tinggi), didapat waktu tunda operasi lebih pendek dan laju kenaikan batang kendali lebih pendek dibanding dengan saat reaktor scram posisi batang kendali masih rendah, bahkan pada posisi bahan bakar > 530 mm reaktor tidak mungkin bisa dioperasikan lagi pada fase 1. Hal ini memberikan informasi bahwa bila terjadinya reaktor scram pada awal siklus operasi, maka masih banyak

tersedia waktu untuk kembali mengoperasikan reaktor. Sebaliknya bila scram terjadi pada saat akhir siklus diperlukan tindakan yang cepat dan tepat untuk bisa kembali mengoperasikan reaktor pada fase 1.

Setelah mengamati hasil perhitungan seperti tersebut diatas maka setelah reaktor scram dari operasi daya 15 MW pengoperasi/supervisor reaktor melakukan tindakan sebagai berikut:

- Amati posisi batang kendali saat sebelum reaktor scram
- Bila posisi batang kendali > 530 mm, putuskan bahwa reaktor tidak bisa lagi dioperasikan pada fase 1. Operasikan kembali reaktor setelah $\sim 24,6$ jam dari saat reaktor scram dengan posisi batang kendali 580 mm.
- Bila posisi batang kendali ≤ 530 mm, tentukan waktu tunda maksimum di mana reaktor masih bisa dioperasikan pada fase 1. (seperti pada tata kerja langkah kegiatan No.4)
- Bila semua gangguan yang timbul sudah bisa diatasi, hitung waktu mulai dari reaktor scram hingga selesai perbaikan sistem yang terganggu, kemudian

jumlahkan waktu tersebut dengan waktu operasi batang kendali menuju reaktor kritis $\sim (2 \times 20)$ menit). Hasil penjumlahan waktu tersebut dibandingkan dengan waktu tunda pada operasi fase 1, jika hasilnya lebih kecil segera operasikan reaktor, bila hasilnya lebih besar tunda operasi reaktor hingga Xe-135 meluruh.

- Agar operasi reaktor bisa berlangsung cepat dan tepat tentukan posisi kritis batang kendali, kemudian naikan batang kendali *bank* pada posisi tersebut disusul batang pengatur untuk mengkritiskan reaktor. (seperti pada tata kerja langkah kegiatan No.5)

Untuk memudahkan supervisor/operator reaktor mengambil keputusan dan tindakan untuk mengoperasikan kembali reaktor setelah scram dari berbagai posisi batang kendali pada daya 15 MW, berikut ini pada Tabel 1 diberikan perkiraan waktu tunggu maksimum dan posisi kritis batang kendali pada saat reaktor dioperasikan kembali setelah scram.

Tabel 1. Perkiraan Waktu tunggu maksimum dan Posisi kritis batang kendali pada operasi reaktor setelah scram daya 15 MW, Xe-135 setimbang

No	Posisi batang kendali saat reaktor scram (mm)	Waktu tunda maksimum (jam)	Operasi reaktor Fase 1				Operasi reaktor Fase 2	
			Posisi kritis batang kendali pada operasi reaktor setelah scram (mm)				Waktu tunda (jam)	Posisi BK (mm)
			Waktu tunda 1 jam	Waktu tunda 2 jam	Waktu tunda 3 jam	Waktu tunda 4 jam		
1	300	~	332	355	374	390	-	-
2	350	~	383	408	430	448	-	-
3	375	~	409	436	459	496	-	-
4	400	9	436	467	496	517	$> 24,6$	580
5	425	5,5	463	497	526	552	$> 24,6$	580
6	450	3,25	494	534	566	-	$> 24,6$	580
7	475	2,5	519	565	-	-	$> 24,6$	580
8	500	1,8	550	-	-	-	$> 24,6$	580
9	> 530	-	-	-	-	-	$> 24,6$	580

KESIMPULAN

Untuk mengoperasikan reaktor setelah reaktor scram dari operasi daya 15 MW (Xe-135 setimbang), dengan asumsi harga reaktivitas batang kendali pada setiap konfigurasi teras relatif sama, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- Reaktor tidak bisa dioperasikan kembali pada saat reaktivitas Xe-135 naik (fase 1), bila saat terjadi scram posisi batang kendali > 530 mm.
- Bila reaktor scram terjadi pada awal teras (*burn-up* bahan bakar masih kecil) diperoleh waktu untuk perbaikan sistem yang terganggu cukup lama, tetapi bila terjadinya scram pada akhir teras (*burn-up* bahan bakar sudah besar) waktu yang diperoleh untuk perbaikan sistem sangat pendek.
- Bila reaktor terpaksa harus dioperasikan pada saat reaktivitas Xe-135 meluruh (fase 2), reaktor baru bisa dioperasikan setelah ~ 24,6 jam dari reaktor scram.

SARAN

Untuk memudahkan supervisor reaktor mengambil tindakan setelah terjadi reaktor scram, seyogyanya di ruang kendali utama selalu tersedia data/kurva pengukuran karakteristik Xe-135 dan kurva hasil kalibrasi batang kendali. Akan lebih baik lagi apabila pengolahan data seperti tersebut diatas dilakukan oleh komputer proses, sehingga supervisor reaktor hanya memasukkan data posisi batang kendali saat reaktor scram dan data waktu (durasi) penanganan gangguan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, "RSG-GAS Safety Analysis Report", revisi 8. Jakarta Th.1999.
2. Iman Kuntoro, "Diktat Diklat Penyegaran Operator dan Supervisor Reaktor". Jakarta Th.1989.
3. Tukiran Subarki, "Diktat Diklat Selingkung Manajemen Teras RSG-GAS" Jakarta Th 2000.
4. Sudiyono, Diktat Praktikum Operasi Reaktor "Diklat Penyegaran Operator dan Supervisor Reaktor". Jakarta Th. 2003.