

## LAJU PERUBAHAN POSISI BATANG KENDALI PADA PENGENDALIAN OPERASI TERAS 67 RSG-GAS

Sriawan, Hadi Purnomo

### ABSTRAK

**LAJU PERUBAHAN POSISI BATANG KENDALI PADA PENGENDALIAN OPERASI TERAS 67 RSG-GAS.** Selama beroperasi, pengendalian reaktor dilakukan dengan pengamatan parameter operasi dan kalibrasi sesuai prosedur pengoperasian. Pengamatan yang dilakukan antara lain adalah laju perubahan posisi batang kendali sebagai fungsi daya reaktor. Laju kenaikan posisi batang kendali tersebut dapat digunakan untuk mengetahui batas akhir pengoperasian reaktor, agar *burn-up* total pada akhir teras sekitar 660 MWD dan atau posisi batang kendali maksimal 530 mm. Kalibrasi yang dilakukan antara lain kalibrasi daya reaktor agar diperoleh konversi penunjukan daya pada JKT04 lebih mendekati kebenaran. Dengan dilakukannya kedua hal di atas maka pengoperasian teras 67 RSG-GAS dapat dikendalikan pada batas-batas keselamatannya.

Kata kunci: batang kendali, energi reaktor.

### ABSTRACT

**CONTROL OF THE G.A SIWABESSY REACTOR OPERATION BY MANIPULATING ROD POSITION THROUGHOUT CORE 67.** During reactor operation, reactor parameters were continuously supervised and certain of it were calibrated based on proper procedures in order to maintain high-level safety. It included supervision of position change of control rod as consequences of reactor power increase/ decrease. Based on calculation it is distinguished that at the highest control rod position of 530 mm, reactor power developed is 660 MWD. By calibration reactor power it is expected that power displayed at JKT04 is believable. It is concluded that supervising control rod movement and calibrating reactor power properly, safety of reactor operation can be maintain at high-level of performance.

Keywords : control rod, reactor power

### PENDAHULUAN

Parameter operasi yang berpengaruh pada operasi reaktor selalu dilakukan pengamatannya sesuai prosedur pengoperasian. Hasil kalibrasi daya reaktor dilakukan secara periodik untuk membantu pengendalian operasi agar pelaksanaan operasi sesuai dengan perencanaan. Pengamatan yang dilakukan antara lain adalah laju perubahan posisi batang kendali. Dengan mengamati

laju perubahan posisi batang kendali selama reaktor beroperasi, jenis reaktivitas yang berpengaruh pada operasi reaktor akan diketahui misalnya: pengaruh suhu, *burn-up*, target iradiasi, dan sebagainya. Dalam tulisan ini akan didiskusikan pengamatan laju perubahan posisi batang kendali sebagai fungsi daya reaktor selama operasi teras 67 dan penentuan penunjukan detektor JKT04. Data hasil pengamatan tersebut digunakan untuk mengendalikan

pengoperasian reaktor agar *burn-up* total pada akhir teras sekitar 660 MWD dan atau posisi batang kendali maksimal 530 mm. Diharapkan dengan mengatur posisi batang kendali daya reaktor dapat dikendalikan.

#### **PENGAMATAN PARAMETER OPERASI**

Selama operasi reaktor, secara umum dilakukan pengamatan parameter operasi, antara lain:

- meter-meter penampil daya operasi
  - posisi batang kendali
  - besaran-besaran unjuk kerja sistem pendingin
  - monitor-monitor paparan radiasi
- Daya reaktor dan posisi batang kendali harus diperhatikan agar pengoperasian reaktor tidak melampaui harga batas yang diijinkan.
- Daya reaktor harus diamati dan dicatat sedikitnya setiap 1 jam sekali pada Buku Induk Operasi.
  - Posisi batang kendali harus diamati dan dicatat sedikitnya setiap 1 jam sekali pada Buku Induk Operasi.
  - Monitor-monitor paparan radiasi diamati dan sebagian dicatat pada lembar data operasi.
  - Besaran-besaran unjuk kerja sistem pendingin harus diukur dan dicatat pada lembar data operasi.

Setelah reaktor dioperasikan pada tingkat daya konstan dan kesetimbangan Xenon tercapai, kenaikan posisi batang kendali mengindikasikan banyaknya *burn-up* elemen bakar selama pengoperasian reaktor. Pada kondisi tersebut secara periodik posisi batang kendali dan daya reaktor dicatat, kemudian energi reaktor yang telah dikonsumsi dihitung. Pada akhir teras akan didapatkan posisi batang kendali dan daya reaktor maksimal yang dihasilkan. Dari data tersebut *burn-up* elemen bakar selama pengoperasian reaktor dapat ditentukan.

#### **TATA CARA PEMBUATAN KURVA LAJU PERUBAHAN POSISI BATANG KENDALI SEBAGAI FUNGSI DAYA REAKTOR**

Untuk mendapatkan kurva laju perubahan posisi batang kendali sebagai fungsi daya reaktor yang dihasilkan selama reaktor beroperasi, perlu dipastikan bahwa:

- batang kendali harus sudah dikalibrasi dengan benar, yaitu sistem pendingin primer dan sekunder dalam kondisi operasi, letak elemen bakar tepat pada posisinya, target iradiasi sesuai perhitungan dan tepat pada posisinya.
- Setelah hal tersebut dipenuhi, dilakukan pencatatan perubahan posisi batang kendali dan daya reaktor selama operasi, menghitung daya reaktor, menggambar kurva laju perubahan posisi batang kendali sebagai fungsi daya reaktor.

#### **KALIBRASI DAYA REAKTOR**

Untuk menjamin kebenaran penunjukan kanal pengukur sistem pengukuran daya reaktor, harus dilakukan kalibrasi daya reaktor secara periodik, yaitu membandingkan/mengeset alat ukur yang dikalibrasi terhadap harga standar yang telah diketahui. Dalam pengoperasian reaktor, operator hanya berpedoman pada kanal pengukuran daya yang merupakan hasil pengukuran fluks neutron. Apabila terjadi perubahan konfigurasi teras reaktor, maka akan terjadi pula perubahan distribusi fluks neutron di teras. Karena detektor-detektor neutron dipasang secara tetap di seputar teras reaktor, dengan perubahan fluks neutron tersebut akan mempengaruhi pula hasil pengukuran sistem pengukur fluks neutron. Hal ini akan mengakibatkan ketidak pastian dari jumlah panas yang dibangkitkan di teras reaktor. Oleh karena itu pada setiap perubahan konfigurasi teras, misalnya karena adanya perubahan posisi batang kendali setelah digunakan untuk mengkompensasi *burn-up* sekian lama, secara periodik dilakukan kalibrasi daya agar dapat selalu menjamin bahwa operasi reaktor selalu dalam batas-

batas keselamatannya. Untuk mengkalibrasi daya reaktor yang memiliki daya tinggi seperti RSG-GAS dilakukan dengan cara kalorimetri stasioner.

**TATA CARA KALIBRASI DAYA REAKTOR**

Tata cara kalibrasi daya reaktor mengacu pada prosedur kalibrasi daya reaktor RSG-GAS Nomor TRR.18.02.42.01. Rev. 0.

Dalam melakukan kalibrasi daya reaktor diperlukan kondisi standar sebagai berikut:

1. Konfigurasi teras sudah terbentuk tanpa muatan elemen lain seperti FPM, Iridium, TeO<sub>2</sub>, dan lain-lain, kalibrasi ini dilakukan khusus pada operasi awal teras.
2. Sistem pendingin primer dan sekunder masing-masing beroperasi dengan 2 buah pompa.
3. Selain dua persyaratan di atas, harus dipenuhi juga antara lain:
  - sekat pemisah kolam reaktor JAA02 harus tertutup
  - sistem FAK01 kondisi operasi
  - sistem pemurnian air pendingin primer KBE01 dalam kondisi operasi
  - JNA 10/20/30 dalam kondisi mati
  - *Beam tube* (S1 s/d S6) dalam kondisi standar operasi rutin.

Besar daya reaktor dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = W \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Dimana:

Q = daya reaktor (kW)

W = laju alir volumetrik (m<sup>3</sup>/s)

ρ = massa jenis pendingin (kg/m<sup>3</sup>)

C<sub>p</sub> = panas spesifik pendingin (kJ/kg. K)

ΔT = beda suhu keluaran dan masukan teras reaktor (K).

Faktor konversi JKT04 dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$1 \cdot 10^{-10} \text{ Ampere} = (Q \times 10^6) / (I_{\text{JKT04}}) \times 10^{-10} \text{ Watt}$$

dimana:

I<sub>JKT04</sub> = besarnya arus JKT04 pada operasi daya reaktor Q MW.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Teras 67 RSG-GAS telah dioperasikan sebanyak 9 tahapan, dimana pada setiap tahapan operasi dilaksanakan sesuai Instruksi Operasi, yaitu: IO.67/1-B/2009, IO.67/1-C/2009, IO.67/02/2009, IO.67/03/2009, IO.67/04/2009, IO.67/05/2009, IO.67/06/2009, IO.67/07/2009, dan IO.67/08/2009. Hasil pengoperasian reaktor teras 67 dan pengamatan laju perubahan posisi batang kendali selama operasi dapat dilihat pada Table 1.

Tabel 1. Laju perubahan posisi batang kendali pada pengoperasian reaktor teras 67

No.	Tanggal	Jam	MW	Jumlah MWD	Posisi batang kendali <i>Bank / Reg Rod</i>	Keterangan
IO.67 / 1-B /2009						
1.	05-03-2009	13.46	0	0	272 / 257	Kritis bebas sumber
2.	05-03-2009	13.58	2	0,0166	272 / 265	
3.	05-03-2009	14.10	5	0,0582	272 / 272	
4.	05-03-2009	14.26	10	0,1694	272 / 278	
5.	05-03-2009	14.42	15	0,3362	274 / 279	
6.	05-03-2009	15.15	20	0,7445	277 / 282	
7.	05-03-2009	15.48	25	1,3674	280 / 293	
8.	05-03-2009	20.48	30	7,6174	320 / 320	

Tabel 1. lanjutan

No.	Tanggal	Jam	MW	Jumlah MWD	Posisi batang kendali Bank / Reg Rod	Keterangan
IO.67/ 1-C /2009						
1.	06-03-2009	20.22	0	7,6174	421 / 411	Kritis awal
2.	06-03-2009	21.05	5	7,7667	399 / 399	
3.	06-03-2009	22.28	10	8,3430	342 / 339	
4.	06-03-2009	24.00	15	9,2992	309 / 347	
5.	07-03-2009	24.00	15	24,2992	364 / 365	
6.	08-03-2009	24.00	15	39,2992	372 / 376	
7.	09-03-2009	24.00	15	54,2992	376 / 374	
8.	10-03-2009	24.00	15	69,2992	382 / 382	
9.	11-03-2009	24.00	15	84,2992	387 / 387	
10.	12-03-2009	24.00	15	99,2992	379 / 375	
11.	13-03-2009	24.00	15	114,2992	376 / 379	
12.	14-03-2009	24.00	15	129,2992	379 / 378	
13.	15-03-2009	24.00	15	143,7742	378 / 377	
14.	16-03-2009	24.00	15	158,7742	386 / 386	
15.	17-03-2009	12.00	15	166,2742	401 / 402	
IO.67 / 02 /2009						
1.	27-03-2009	24.00	15	169,3227	321 / 323	Kritis awal: Bebas sumber s/d 10 Mw jam 18.40 s/d 19.07
2.	28-03-2009	24.00	15	184,3227	393 / 394	
3.	29-03-2009	24.00	15	199,3227	398 / 397	
4.	30-03-2009	24.00	15	214,3227	399 / 401	
5.	31-03-2009	13.00	15	222,5727	414 / 418	
IO.67 / 03 /2009						
1.	03-04-2009	24.00	15	225,5415	326 / 326	Kritis awal:
2.	04-04-2009	24.00	15	240,5415	400 / 401	Bebas sumber
3.	05-04-2009	24.00	15	255,5415	410 / 407	s/d 10 Mw jam
4.	06-04-2009	24.00	15	270,5415	413 / 411	14.10 s/d 19.48
5.	07-04-2009	12.00	15	278,0415	430 / 428	
IO.67 / 04 /2009						
1.	10-04-2009	24.00	15	280,9559	333 / 334	Kritis awal:
2.	11-04-2009	24.00	15	295,9559	411 / 413	Bebas sumber
3.	12-04-2009	24.00	15	310,9559	425 / 426	s/d 10 Mw jam
4.	13-04-2009	24.00	15	325,9559	422 / 419	18.41 s/d 19.23
5.	14-04-2009	13.55	15	334,5679	434 / 437	
IO.67 / 05 /2009						
1.	17-04-2009	24.00	15	337,4505	344 / 343	Kritis awal:
2.	18-04-2009	24.00	15	351,2457	414 / 412	Bebas sumber
3.	19-04-2009	24.00	15	366,2457	432 / 429	s/d 10 Mw jam
4.	20-04-2009	24.00	15	381,2457	436 / 438	18.50 s/d 19.25
5.	21-04-2009	18.00	15	392,8394	440 / 440	
6.	22-04-2009	24.00	15	395,3567	376 / 376	
7.	23-04-2009	24.00	15	410,3567	455 / 455	

Tabel 1. lanjutan

No.	Tanggal	Jam	MW	Jumlah MWD	Posisi batang kendali Bank / Reg Rod	Keterangan
8.	24-04-2009	24.00	15	425,3567	462 / 461	
9.	25-04-2009	24.00	15	440,3567	466 / 462	
10.	26-04-2009	24.00	15	455,3567	469 / 471	
11.	27-04-2009	24.00	15	470,3567	474 / 472	
12.	28-04-2009	24.00	15	485,3567	478 / 472	
13.	29-04-2009	05.00	15	488,4817	479 / 479	
IO.67 / 06 /2009						
1.	08-05-2009	24.00	15	490,3351	381 / 382	Kritis awal:
2.	09-05-2009	24.00	15	505,3351	481 / 482	Bebas sumber
3.	10-05-2009	24.00	15	520,3351	490 / 491	s/d 10 Mw jam
4.	11-05-2009	24.00	15	535,3351	492 / 491	19.54 s/d 21.08
5.	12-05-2009	16.00	15	545,3351	494 / 497	
IO.67 / 07 /2009						
1.	15-05-2009	24.00	15	548,0096	397 / 400	Kritis awal:
2.	16-05-2009	24.00	15	563,0097	493 / 496	Bebas sumber
3.	17-05-2009	24.00	15	578,0097	505 / 507	s/d 10 Mw jam
4.	18-05-2009	24.00	15	593,0097	514 / 512	15.23 s/d 20.19
5.	19-05-2009	13.35	15	601,4993	516 / 515	
IO.67 / 08 /2009						
1.	22-05-2009	24.00	15	604,2771	409 / 409	Kritis awal:
2.	23-05-2009	24.00	15	619,2771	510 / 510	Bebas sumber
3.	24-05-2009	24.00	15	634,2771	522 / 523	s/d 10 Mw jam
4.	25-05-2009	24.00	15	649,2771	527 / 523	18.51 s/d 19.35
5.	26-05-2009	16.00	15	659,2771	531 / 534	

Dari table 1. tersebut di atas dapat digambar kurva laju perubahan posisi batang kendali sebagai fungsi daya reaktor seperti terlihat pada Gambar 1. Pada Gambar 1 terlihat 9 macam kurva, dimana pada masing-masing kurva menunjukkan laju perubahan posisi batang kendali sebagai fungsi daya reaktor pada pengoperasian teras 67. Kurva nomor 1 menunjukkan pengoperasian sesuai IO.67/1-B/2009, dimana pada pengoperasian ini terlihat laju perubahan posisi batang kendali masih sangat cepat karena kenaikan batang kendali dipergunakan untuk mengkompensasi laju panas yang terbentuk dan laju konsentrasi Xenon yang sedang naik menuju kondisi kesetimbangan seiring dengan dinaikannya daya reaktor secara bertahap dari daya 0 sampai dengan daya 30 MW. Pada

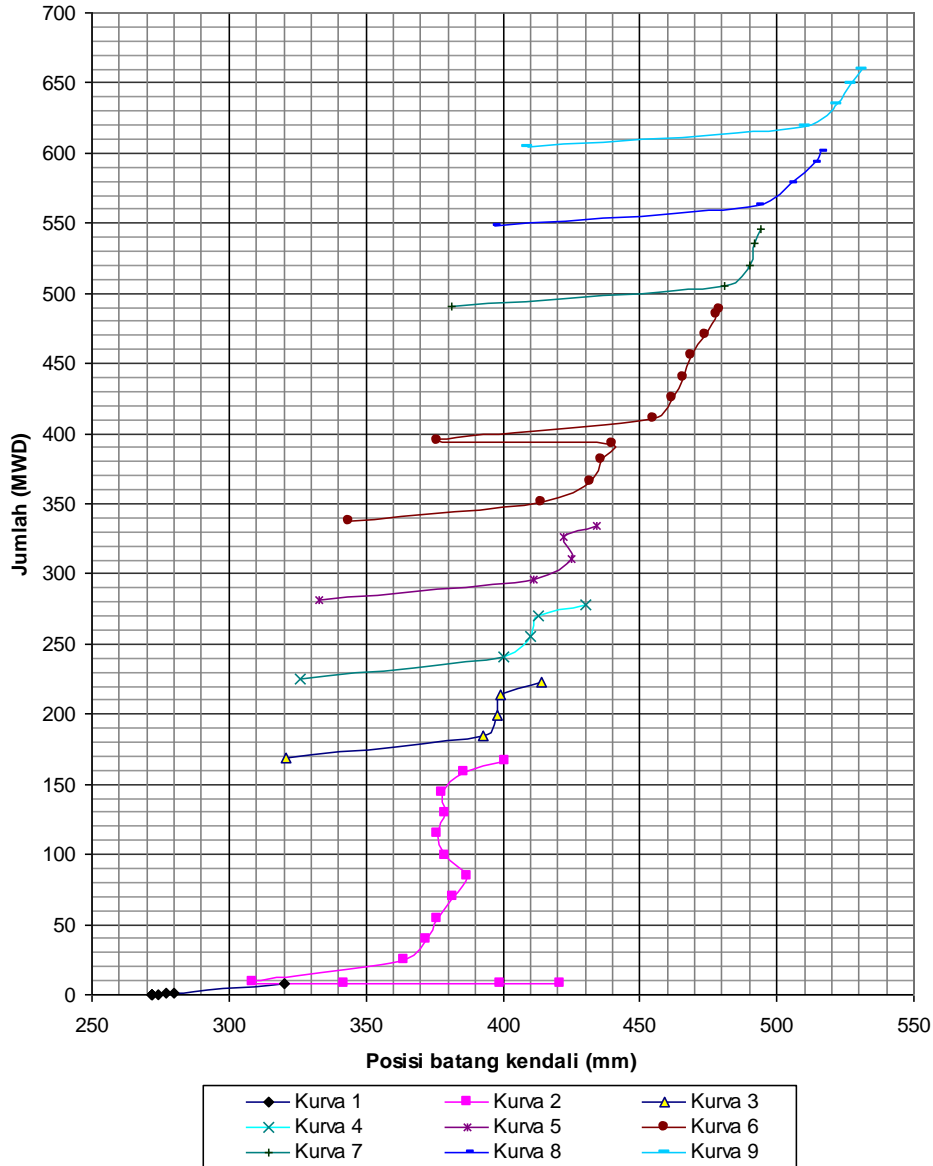
kondisi ini laju perubahan posisi batang kendali sebagai fungsi energi reaktor bahan bakar belum begitu terlihat.

Pada Kurva nomor 2 menunjukkan pengoperasian reaktor sesuai IO.67/1-C/2009, dimana pada pengoperasian ini terlihat laju perubahan posisi batang kendali sebagai fungsi daya reaktor sudah terlihat dengan jelas walaupun pada pada operasi hari ke 6 sampai berakhirnya operasi terdapat perubahan posisi batang kendali akibat dari adanya penanganan target-target iradiasi yang masuk maupun keluar dari teras reaktor.

Pada kurva nomor 3 terlihat pengoperasian reaktor sesuai IO.67/02/2009, dimana pada pengoperasian ini laju perubahan posisi batang kendali sebagai fungsi daya reaktor juga terlihat jelas walaupun penanganan

target iradiasi juga sama pengaruhnya seperti pada kurva nomor 2. Kurva nomor 4 dan kurva nomor 5 menunjukkan pengoperasian sesuai IO.67/03/2009 dan IO.67/04/2009. Pada kedua kurva ini sejenis dengan kurva nomor 3 dan sama pengaruhnya terhadap perubahan penanganan target iradiasi di teras.

Kurva nomor 6 menunjukkan pengoperasian sesuai IO.67/05/2009. Pada pengoperasian ini laju perubahan posisi batang kendali sebagai fungsi daya reaktor tampak cukup jelas karena selain waktu operasi yang cukup lama sehingga konsentrasi Xenon telah mencapai kondisi kesetimbangan.



Gambar 1. Laju perubahan posisi batang kendali sebagai akibat fungsi energi reaktor pada pengoperasian reaktor teras 67 RSG-GAS

Tetapi pada pengoperasian ini pengaruh penanganan target iradiasi tidak terlalu besar, kecuali pada hari ke 6 pengaruh penanganan target cukup berarti.

Pada kurva nomor 7, nomor 8, dan nomor 9 menunjukkan pengoperasian reaktor sesuai IO.67/06/2009, IO.67/07/2009, dan IO.67/08/2009. Laju perubahan posisi batang kendali sebagai fungsi daya reaktor pada kurva nomor 7 dan nomor 8 cukup jelas, tetapi masih sedikit tampak adanya pengaruh penanganan target. Pada kurva nomor 9 pengaruh penanganan target hampir tidak terlihat, oleh karena itu laju perubahan posisi batang kendali sebagai fungsi daya reaktor terbaca dengan jelas. Dari data yang terdapat pada kurva nomor 1 sampai dengan kurva

nomor 9 apabila ditarik sebuah garis dari posisi batang kendali 364 mm sampai dengan posisi 531 mm akan terlihat laju perubahan posisi batang kendali sebagai fungsi daya reaktor yang dapat digunakan untuk mengendalikan operasi reaktor. Data ini dapat digunakan sebagai bantuan pengendalian operasi reaktor sejak posisi batang kendali mencapai 364 mm sampai pada posisi batang kendali yang diinginkan dan energi reaktor maksimum yang akan dicapai.

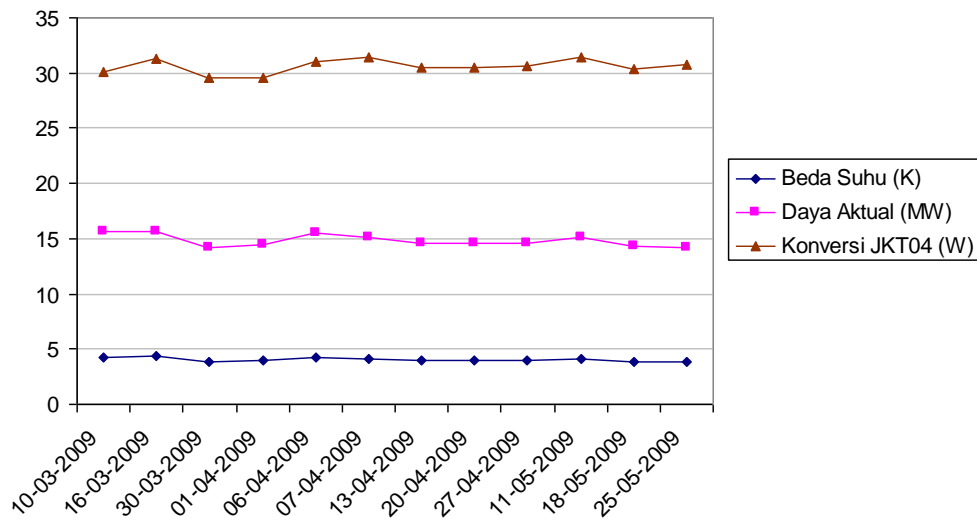
Selama berlangsungnya pengoperasian reaktor pada teras 67 dilakukan kalibrasi daya sebanyak 12 kali. Hasil kalibrasi daya selama beroperasinya teras 67 seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil kalibrasi daya reaktor selama operasi teras 67.

No.	Tanggal	Jam	Beda Suhu (K)	Daya Reaktor Aktual	Konversi JKT04	Keterangan
1	10-03-2009	07.30	4,26	15,615	30,030	tanpa topaz, ada EBU 1
2	16-03-2009	10.33	4,32	15,661	31,320	ada topaz, ada EBU 1
3	30-03-2009	07.59	3,87	14,186	29,550	ada topaz, ada EBU 1
4	31-03-2009	12.20	3,96	14,506	29,605	tanpa topaz, ada EBU 1
5	06-04-2009	06.55	4,23	15,510	31,021	ada topaz, ada EBU 1
6	07-04-2009	10.30	4,11	15,069	31,394	tanpa topaz, ada EBU 1
7	13-04-2009	08.30	3,99	14,613	30,445	tanpa topaz, ada EBU 1
8	20-04-2009	08.00	3,99	14,608	30,430	ada topaz, ada EBU 1
9	27-04-2009	07.30	3,99	14,614	30,590	tanpa topaz, ada EBU 1
10	11-05-2009	14.00	4,11	15,055	31,360	tanpa topaz, ada EBU 1
11	18-05-2009	09.59	3,90	14,278	30,379	tanpa topaz, ada EBU 1
12	25-05-2009	07.54	3,87	14,170	30,805	tanpa topaz, ada EBU 1

Setelah daya yang sebenarnya diketahui dari hasil kalibrasi, maka penunjukan meter JKT04 yang digunakan sebagai pengendali operasi reaktor dilakukan pengesetan sesuai hasil kalibrasi. Dari Tabel 2 dapat digambarkan kurva penunjukan beda suhu, daya reaktor aktual, dan konversi JKT04 seperti terlihat pada Gambar 2. Dari kurva beda suhu, daya reaktor aktual, dan konversi JKT04 dapat diketahui, bahwa terjadinya fluktuasi penunjukan ketiga parameter operasi tersebut tidak

terlalu jauh menyimpang, hal ini terjadi karena pada setiap selesai dilakukan kalibrasi daya, daya reaktor disesuaikan dengan daya aktual hasil kalibrasi. Dengan berpedoman pada hasil kalibrasi daya reaktor, maka pengoperasian dan pengendalian operasi reaktor teras 67 dapat dilaksanakan dan dipertahankan sesuai dengan batas-batas keselamatannya, dan berakhir dengan selamat dan aman.



Gambar 2. Hasil kalibrasi daya reaktor selama operasi teras 67

## KESIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa:

1. Dengan dilakukan pencatatan data dan pengamatan laju perubahan posisi batang kendali selama operasi, dapat dengan mudah menentukan tujuan operasi yang diinginkan.
2. Dengan dilakukan kalibrasi daya secara periodik selama pengoperasian reaktor, maka penentuan daya reaktor menjadi lebih mendekati kenyataan.
3. Dengan mengetahui tingkat daya yang mendekati kenyataan, maka pengope-

rasian dan pengendalian reaktor selalu dapat dipertahankan pada batas-batas keselamatannya, dan berakhir dengan selamat dan aman.

## DAFTAR PUSTAKA

1. PRSG, *Safety Analisis Report* MPR30 rev. 8, PRSG-BATAN, 1999.
2. Pelaksanaan Operasi, Buku Induk Operasi Reaktor No. 247 s/d 250, No. Ident.: RSG.OR.02.02.42.06.
3. PROSEDUR KALIBRASI DAYA REAKTOR, No. Ident.: RSG. OR.05.02.42.09 rev.1, BOR-PRSG, 2009.