

## KOMISIONING NUKLIR TERAS SATU RSG G.A. SIWABESSY

Uju Jujuratisbela  
Pusat Reaktor Serba Guna - Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

KOMISIONING NUKLIR TERAS SATU RSG G.A. SIWABESSY Komisioning nuklir teras transisi kesatu RSG GAS, yang merupakan fase penting dan menentukan dari enam tahapan teras transisi yang harus dilaksanakan dalam menuju teras kerja, sudah selesai dikerjakan. Kekritisitas pertama dicapai pada tanggal 29 Juli 1987 jam 03.14. Beberapa percobaan fisika reaktor pada daya rendah, baik dengan aliran maupun tanpa aliran pendingin hingga daya tinggi telah dilakukan dalam rangka verifikasi desain untuk karakteristik reaktor dalam operasi reaktor yang aman. Pada umumnya hasil-hasil percobaan sesuai dengan hasil perhitungan desain teras satu. Konfigurasi teras satu dapat dioperasikan pada daya nominal 10 MW selama 24,2 hari dengan fraksi bakar merata 8% untuk menuju teras kedua.

### ABSTRACT

NUCLEAR COMMISSIONING OF THE FIRST CORE OF THE G.A.SIWABESSY MULTIPURPOSE REACTOR. The commissioning nuclear of the first core transition of the G.A.Siwabessy multipurpose reactor which is the important and ascertainment phase of the sixth core transition have to be implemented in reaching to the typical working core has been carried out. The first criticality of the first core configuration was reached on July 29, 1987 at 03.14. Some reactor physics experiments at low power reactor with and without forced cooling flow, and at high power experiments were carried out for design verification of reactor characteristic in the safe reactor operation. Generally speaking, the experiment result well agreed with the design calculation result of the first core. It means that the first core configuration can be operated at nominal power 10 MW 24.2 days with the average burn-up 8% to reach the second core.

### PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna G.A.Siwabessy (RSG-GAS) yang berlokasi di kawasan PUSPIPTEK Serpong merupakan reaktor riset uji material serbaguna pertama, yang dari awal operasinya menggunakan elemen bakar dengan perkayaan uranium lebih kecil dari 20%. Teras kerja reaktor riset jenis kolam berpendingin air ini terdiri dari 40 perangkat elemen bakar, 8 perangkat elemen kendali, beberapa tempat iradiasi dan elemen reflektor yang kesemuanya tersusun dalam matriks 10 x 10 larikan. Dengan konfigurasi teras seperti ini, RSG-GAS dapat mencapai tingkat daya sebesar  $2 \times 10^{14}$  n cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Perangkat elemen bakar standar RSG-GAS terdiri dari 15 pelat. Setiap pelat

mengandung bahan bakar uranium dalam bentuk U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>Al dengan kerapatan 2,96 gram cm<sup>-3</sup> dan perkayaan U-235 sebesar 19,75%. Untuk optimasi fluks neutron, pada dua sisi teras reaktor dikelilingi blok reflektor beryllium yang menyediakan saluran-saluran bagi berbagai tabung berkas neutron tangensial dan radial. Pada dua sisi lainnya, teras reaktor dikelilingi dua jalur elemen reflektor beryllium yang menyediakan tempat untuk iradiasi yang tersedia baik di dalam maupun di luar teras reaktor yang memungkinkan dapat dilakukan berbagai penelitian dan pengembangan serta produksi isotop. Data karakteristik reaktor secara lengkap dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy

DAYA TERMAL REAKTOR, MW	30
PENDINGIN/MODERATOR	Air
TERAS (TERAS KERJA)	
Tipe elemen bakar dan elemen kendali	MTR
Jumlah elemen bakar	40
Jumlah pelat tiap elemen bakar (standar)	21
Jumlah elemen kendali/penyerap	8
Jumlah pelat tiap elemen kendali	15
Tipe elemen bakar	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> Al

Perkayaan, $^{235}\text{U}$ (%)	19,75
Dimensi elemen bakar dan elemen kendali, mm x mm x mm	80,5 x 76,1 x 873
Tipe penyerap (batang kendali)	Garpu dg. 2 penyerap
Material penyerap	Penyerap
Kecepatan maksimum batang kendali, cm/s	Ag In Cd
Reflektor	0,0564
Jumlah posisi kisi grid	Berilium 10 x 10

#### SISTEM PENDINGIN REAKTOR

laju alir per pompa, $\text{m}^3/\text{jam}$	(3 x 50%)
Primer	1570
Sekunder	1950
Temperatur masukan pendingin primer, $^{\circ}\text{C}$	40,5
Temperatur keluaran pendingin primer, $^{\circ}\text{C}$	49,0
Tekanan masukan pada teras, bar	1997
Jumlah modul menara pendingin	6 + 1 untuk eksperimen
Untaian pemindah bahang peluruhan	3 x 100 %

#### DENSITAS FLUKS NEUTRON TERMAL

Pada posisi iradiasi pusat, $\text{n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$	maks. $5,5 \times 10^{14}$
Pada posisi iradiasi lainnya dalam teras, $\text{n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$	2,4 - $4,4 \times 10^{14}$
Pada tabung masuk berkas neutron, $\text{n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$	maks $1,7 \times 10^{14}$

#### DIMENSI BANGUNAN REAKTOR

Luas, m x m	
Tinggi, m	38,40 x 38,40
Isi bangunan, $\text{m}^3$	32,65 63.000

#### POOL REAKTOR

Diameter, m	5
Dalam, m	13,75

#### POOL PENYIMPANAN ELEMEN BAKAR

luas, m x m	5,70 x 5,00
Dalam, m	6,60

Setelah selesai komisioning non nuklir untuk keseluruhan sistem reaktor, dan serah terima pada tanggal 13 Juli 1987, kegiatan komisioning nuklir RSG-GAS dimulai. Uji start-up nuklir yang merupakan tahap awal komisioning nuklir terbagi dalam dua bagian. Bagian pertama berkaitan dengan pelaksanaan uji kinerja dan operasi seluruh sistem pada tingkat daya rendah. Bagian ini dimulai dengan pemuatan elemen bakar menuju kekritisan pertama, hingga terbentuk konfigurasi teras pertama dan diakhiri dengan beberapa eksperimen fisika reaktor pada daya rendah. Bagian kedua, mencakup beberapa pengujian untuk menunjukkan dipenuhinya kinerja sistem dan ber-

operasinya seluruh fasilitas pada berbagai tingkat daya reaktor sampai dengan tingkat daya nominal untuk konfigurasi teras kesatu. Dalam bagian ini, termasuk pula uji operasi 24 jam terus menerus pada daya maksimal 10 MW teras kesatu.

Kegiatan pelaksanaan komisioning nuklir RSG-GAS mencakup seluruh bidang yang terkait dalam Pusat Reaktor Serba Guna. Pengaturan dalam organisasi dipimpin langsung oleh Kepala Pusat Reaktor Serba Guna, sebagai manajer komisioning nuklir. Dalam makalah ini akan dibahas peran fisika reaktor sebagai salah satu bidang dari PRSG yang terkait erat dalam kegiatan komisioning nuklir RSG-GAS. Peran penting fisika



reaktor ini, baik dilihat dari segi perencanaan, pelaksanaan, hingga evaluasi akhir kegiatan akan sangat menentukan berhasil-tidaknya program komisioning nuklir. Pengalaman pada komisioning nuklir teras kesatu, yang secara kontraktual [1] menjadi tanggung jawab BATAN dengan supervisi dari Interatom, merupakan modal berharga dalam melanjutkan kegiatan komisioning nuklir menuju teras kerja.

Dalam menuju teras kerja RSG-GAS ada 6 tahap konfigurasi teras transisi yang harus dilaksanakan. Tiap konfigurasi teras transisi tersebut dilakukan komisioning nuklir untuk verifikasi karakteristik sistem dalam rangka kinerja keamanan dan keselamatan operasinya. Komisioning nuklir teras kesatu yang dimulai pada tanggal 25 juli 1987 telah selesai dilakukan, dengan serah terima reaktor dari Interatom ke BATAN pada tanggal 29 September 1989.

Pada saat ini, komisioning nuklir RSG-GAS teras kedua baru saja selesai dilakukan, dengan hasil-hasil percobaan belum seluruhnya selesai dievaluasi, sehingga belum dapat dilaporkan tetapi komisioning nuklir teras ketiga sudah mulai dilaksanakan. Dalam setiap tahap konfigurasi teras transisi dilakukan beberapa percobaan fisika reaktor, baik pada daya rendah maupun pada daya yang tinggi. Percobaan-percobaan fisika reaktor dalam rangka komisioning nuklir ini bertujuan antara lain :

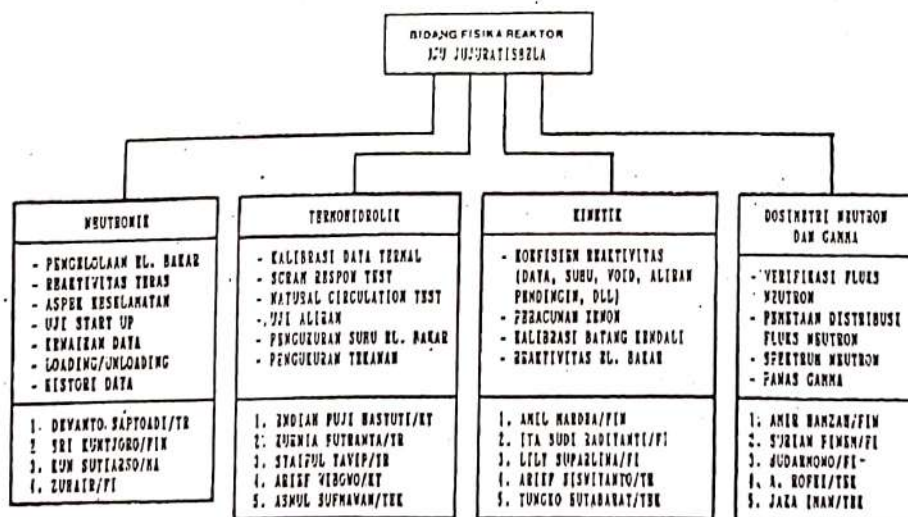
1. Mendapatkan informasi yang memungkinkan reaktor dan fasilitas perlengkapannya untuk dapat dioperasikan dengan aman, selamat, dan berhasil guna.
2. Mendapatkan informasi untuk uji data desain
3. Menyediakan informasi yang mungkin akan diperlukan dalam desain teras reaktor, baik untuk meningkatkan ketelitian desain yang sudah ada maupun untuk konversi bahan bakarnya kejenis yang lain.
4. Menyediakan informasi yang diperlukan oleh pengguna jasa iradiasi.

### ORGANISASI KOMISIONING NUKLIR

Segala kegiatan komisioning nuklir RSG-GAS diatur dalam organisasi komisioning nuklir dengan surat keputusan Direktur Jenderal BATAN. Keterkaitan fisika reaktor dalam kegiatan tersebut lebih dipertegas lagi bila dihubungkan dengan tugas dan fungsi fisika reaktor berdasarkan SK Dirjen 127/DJ/XII/86.

Dalam rangka melaksanakan kegiatan komisioning nuklir khususnya dan aktivitas fisika reaktor pada umumnya, seluruh jajaran fisika reaktor dibagi ke dalam empat kelompok kerja, yaitu: neutronik, termohidrolik, kinetik, dan dosimetri. Uraian tugas masing-masing kelompok dan pembagian personilnya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Organisasi Bidang Fisika Reaktor



DISERTAKAN KERJA (UMUM) TIAP KELOMPOK

1. PENYIAPAN PROSEDUR
2. PENYIAPAN PERALATAN RESPONSI DAN JADWAL SNIPT/LENDUR
3. PELAKSANAAN RESPONSI DAN PENYIAPAN DATA
4. EVALUASI/ANALISIS DATA RESPONSI
5. LAPORAN



Interatom sebagai pendesain reaktor dalam komisioning nuklir ini bertindak sebagai supervisi. Pelaksana utamanya adalah para staf PRSG yang kebanyakan masih junior. Oleh karena itu dalam tahap awal pelaksanaan komisioning ini dibantu oleh para pakar BATAN di luar PRSG.

Pembinaan personil yang akan melaksanakan komisioning nuklir dilakukan paralel dengan pelaksanaan komisioning non nuklir. Seminar-seminar periodik dilakukan oleh staf BATAN dengan bimbingan Mr. Podgorski dari Interatom. Prosedur-prosedur percobaan fisika reaktor ada dalam bahasa Inggris yang telah disiapkan oleh Interatom. Dalam komisioning teras kesatu ini, aktivitas utama fisika reaktor adalah melaksanakan percobaan-percobaan yang sudah dijadwalkan, mencatat dan mengumpulkan semua data percobaan.

Oleh karena kemampuan belum memadai, maka evaluasi hasil percobaan dilakukan oleh Interatom di Bensberg Jerman, terutama dalam hal mengoreksi hasil percobaan yang menuntut kemampuan dalam menguasai kode komputer. Kemampuan dan fasilitas seperti ini belum dimiliki oleh PSRG.

### PERCOBAAN FISIKA REAKTOR

Dalam komisioning nuklir teras kesatu, telah dilakukan beberapa percobaan fisika reaktor pada daya rendah maupun tinggi. Secara umum diagram alir kegiatan eksperimen ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir untuk program komisioning nuklir.

Beberapa percobaan fisika reaktor pada teras kesatu bagian ini antara lain daya rendah tanpa aliran pendingin. Beberapa kegiatan fisika reaktor menjelang dimulainya kegiatan komisioning nuklir teras kesatu antara lain:

1. Menyiapkan dan memasukkan sumber neutron CF252 pada posisi teras E7.
2. Kalibrasi pencacah BF3 sebagai instrumentasi tambahan pada kekritisian, dengan dua buah detektor BF3 ditempatkan pada posisi teras A-3 dan G-10 sedemikian rupa sehingga pencacahan populasi neutron dapat seoptimal mungkin.

Sedangkan kegiatan-kegiatan lain yang berkaitan dengan uji fungsi batang kendali, sistem keselamatan reaktor, dan lain lain dilakukan oleh kelompok instrumentasi, operasi reaktor, dan lain lain.

Percobaan fisika reaktor pada daya rendah sebagai awal kegiatan komisioning nuklir terbagi dalam dua bagian:

*Percobaan daya rendah tanpa aliran pendingin yang terdiri dari:*

1. Pemuatan elemen bakar untuk mencapai kekritisian pertama.
2. Pemuatan elemen bakar dan pasif lainnya untuk mencapai konfigurasi penuh teras kesatu.
3. Pengukuran reaktivitas lebih teras kesatu
4. Pengukuran reaktivitas padam pada saat kondisi batang kendali berada diluar teras.
5. Kalibrasi batang kendali pada teras pertama ada enam buah.

*Percobaan daya rendah dengan aliran pendingin:*

1. Kalibrasi batang kendali untuk menentukan karakteristik batang kendali dan laju pertambahan reaktivitas.
2. Pengaturan pompa primer agar laju alir pendingin dalam teras pertama sebesar 2500 m<sup>3</sup>/jam.
3. Pengukuran distribusi laju alir teras pertama dengan mengukur laju alir pada beberapa elemen bakar.
4. Koefisien void (pengosongan tabung-tabung berkas neutron).
5. Koefisien temperatur dengan pemanasan isothermal sampai suhu 40°C dari sistem primer dengan mempergunakan pompa primer. Koefisien reaktivitas aliran dan void dapat diabaikan. Koefisien suhu isothermal antara  $-3.10^{-5}$  dan  $4.10^{-5}$  per derajat Celsius yang sesuai dengan koefisien suhu perhitungan antara  $-6.10^{-5}$  dan



$1.10^{-4}$  per derajat Celsius untuk kondisi isothermal dari elemen bakar reflektor dan fasilitas iradiasi.

Percobaan-percobaan fisika reaktor pada daya tinggi antara lain:

1. Kenaikan daya reaktor 1, 3, 5, 7, 10 MW.
2. Kalibrasi daya reaktor.
3. Uji sirkulasi natural
4. Koefisien daya pada 50, 20, 90 dan 100% daya nominal.
5. Koefisien xenon pada 5, 7, 9, dan 10 MW.
6. Simulasi kehilangan aliran.
7. Pengukuran distribusi aksial fluks neutron pada posisi D-6 dan E-7.

Beberapa hasil percobaan fisika reaktor dan perbandingannya terhadap hasil perhitungan desain dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan parameter hasil perhitungan dan percobaan teras ke satu RSG-GAS.

PARAMETER	Perhitungan	Percobaan
<b>A. REAKTIVITAS</b>		
Jumlah elemen bakar	18	18
Jumlah elemen berilium	35	40
Jumlah elemen aluminium	0	20
Jumlah batang kendali	6	6
Jumlah posisi iradiasi teras	2	2
Reaktivitas lebih	9,2%	8,14%
Reaktivitas margin mati (%)	-12,8	-
Xe-Equivalent, hot	-9,1	-
Xe-Free, hot	-8,8	-
Xe-Free, cold	-	-
Xe-Free, cold, stuck rod (worst case)	-3,6%	-4,3%
Burn up swing (%)	+ 2,7	-
Reaktivitas Xe (%)	-3,7	-
Koefisien daya (SEN/MW)	-2,1	-1,19
Movable experiment (%)	2	-
Flooding of Beam Tubes (%)	0,5	0,0
Reaktivitas padam	8,8	11,07-3,22
Reaktivitas margin padam untuk 6 batang kendali (%)	-	17,08-20,2
Reaktivitas Xenon setimbang pada 10 MW (%)	3,24	3,07
<b>B. PARAMETER KINETIK</b>		
b, fraksi neutron kasip	0,00765	-
usia neutron serempak (MS)	61,3	-
<b>C. KOEFISIEN REAKTIVITAS</b>		
Fuel ( $K^{-1}$ )	-0,17 . $10^{-4}$	-
Moderator ( $K^{-1}$ )	-1,10 . $10^{-4}$	-
Air ( $K^{-1}$ )	-0,74 . $10^{-4}$	-
Teras total ( $K^{-1}$ )	-2,01 . $10^{-4}$	-
Teras total revisi ( $K^{-1}$ )	-2,04 . $10^{-4}$	-
Reflektor ( $K^{-1}$ )	-	-

PARAMETER	Perhitungan	Percobaan
Reflektor ( $K^{-1}$ )	+ 1,62 . $10^{-4}$	-
Void teras ( $K^{-1}$ )	-14,4 . $10^{-4}$	-
Reaktor total ( $K^{-1}$ )	-1,02 . $10^{-4}$	0,3 . $10^{-4}$ and -4 . $10^{-4}$
Koef. aliran (0 s/d penuh)	-	-0,8 . $10^{-4}$
Void tabung berkas neutron	-	-0,8 . $10^{-6}$
Koefisien temperatur isothermal ( $K^{-1}$ )	-6 s/d -1 . $10^{-5}$	-3 s/d -4 . $10^{-6}$
<b>D. PARAMETER TERMOHIDROLIK</b>		
DAYA REAKTOR (MW)	10,7	10,7
Aliran pendingin primer total (kg/s)	860	2550 m <sup>3</sup> /jam
Kecepatan rata-rata pendingin sepanjang pelat elemen bakar (m/s)	-	5,012
Tekanan drop melalui teras (b)	-	0,63169
Temperatur masukan ( $^{\circ}$ C)	-	31,50
Temperatur keluaran ( $^{\circ}$ C)	-	35,10
Temperatur melalui teras ( $^{\circ}$ C)	-	3,27
Temperatur maksimum pada keluaran kanal panas ( $^{\circ}$ C)	-	42,14
Fluks bahang rata-rata (W/M <sup>3</sup> )	41,5 . $10^4$	41,5 . $10^4$
Temperatur maksimum permukaan pelat ( $^{\circ}$ C)	192	86,75
Laju aliran pada elemen bakar (m <sup>3</sup> /jam)	51	ekstrapo lasi) 47
<b>E. FLUKS NEUTRON</b>		
Fluks neutron termal (E-7) daya 10,7 MW, n.cm <sup>-2</sup> .S <sup>-1</sup>	-	3,96 s/d 5,25 . $10^4$

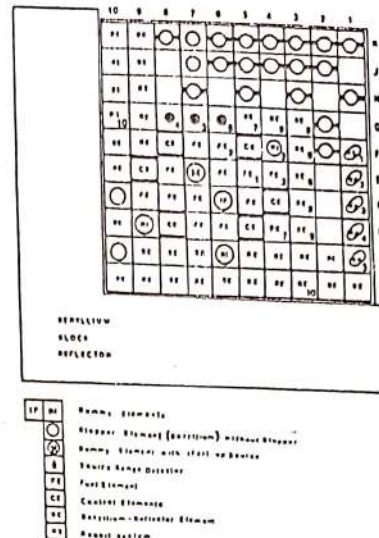
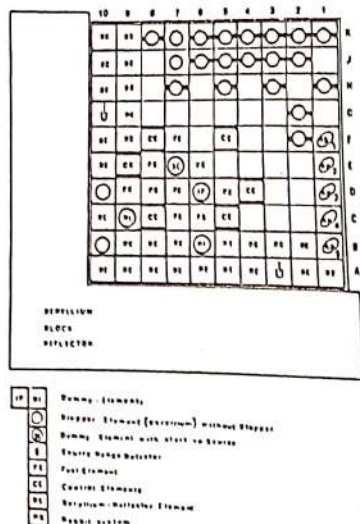
## PEMBAHASAN

Beberapa hasil percobaan fisika reaktor dalam komisioning nuklir teras kesatu, antara lain:

1. Kekritisan pertama teras kesatu tercapai pada tanggal 29 Juli 1989 jam 03.14 dengan 18 buah elemen bakar yang bermuatan total 3324,93 gram. Hasil percobaan ini sesuai dengan data perhitungan desain untuk konfigurasi teras kesatu. Konfigurasi teras kesatu RSG GAS pada saat mencapai kekritisan dapat dilihat pada gambar 2.

2. Dengan memperhatikan keamanan dan keselamatan pemasukan elemen bakar dan elemen pasif lainnya, konfigurasi teras kesatu yang lengkap dapat dicapai (gambar 3). Reaktivitas lebih dari teras kesatu secara percobaan adalah 8,14%. Setelah dilakukan koreksi pengaruh posisi dan gerakan batang kendali selama pemutaran elemen bakar, diperoleh hasil 9,2% yang sesuai dengan hasil perhitungan desain untuk teras kesatu.





Gambar 2. Konfigurasi teras kesatu RSG-GAS pada saat mencapai kekritisasi pertama.

Gambar 3. Konfigurasi teras kesatu RSG-GAS.

3. Reaktivitas padam (shutdown reactivity) dalam kondisi batang kendali pengatur diluar teras (stuck rod condition) sebesar -4,3% memenuhi kriteria desain yaitu nilainya lebih kecil dari -1%.
4. Hasil pengukuran laju alir pendinginan rata-rata dalam elemen bakar adalah  $(46,7 + 0,5) \text{ m}^3/\text{jam}$ , yang lebih kecil sekitar 7,5% dibanding hasil perhitungan desain. Laju alir primer 2500  $\text{m}^3/\text{jam}$ , cukup mampu untuk operasi reaktor dengan daya 10,7 MW.
5. Koefisien reaktivitas daya memenuhi persyaratan bahwa pada aliran primer dan suhu masukan reaktor konstan harus berharga negatif pada setiap tingkatan daya reaktor. Hasil pengukuran menunjukkan harga 1,9 sen/MW, sedangkan perhitungan desain 2,1 sen/MW.
6. Kehilangan reaktivitas Xenon pada operasi mantap 10 MW sebesar 3,24% sesuai dengan perkiraan desain 3,07%.
7. Temperatur dinding elemen bakar maksimum, selama transien pada 10,7 MW tidak melebihi  $90^\circ\text{C}$ . Hasil ini masih di bawah harga kondisi terburuk yang meliputi 14% daya reaktor yang lebih dari daya nominalnya dengan temperatur dinding elemen bakar maksimum  $132^\circ\text{C}$ . Hal ini menunjukkan bahwa pendinginan pelat elemen bakar cukup memadai dan aman terhadap kerapatan daya tertinggi.
8. Rapat fluks neutron pada daya nominal 10,7 MW berkisar antara  $3,96 \cdot 10^{14}$  dan  $5,25 \cdot 10^{14} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , pada posisi iradiasi sentral (E7 dan D6).

Hasil ini berada dalam harga perhitungan desain.

Dari tabel 3 tampak ada beberapa parameter yang terukur tetapi tidak dapat dibandingkan dengan data perhitungan, juga sebaliknya ada beberapa data perhitungan dalam *Safety Analysis Report* tetapi tidak ada hasil pengukuran. Kiranya perlu segera dilakukan tindak lanjut penelitian sehingga menjadi lebih lengkap.

Kegiatan utama personil fisika reaktor dalam komisioning nuklir teras kesatu ini adalah melaksanakan percobaan untuk mengumpulkan data karakteristik reaktor. Sedangkan perencanaan dan pengevaluasian data percobaan dilakukan oleh kelompok fisika reaktor Interatom di Bensberg, Jerman Barat. Kiranya perlu diambil langkah-langkah peningkatan kemampuan personil dan didukung dengan kelengkapan perangkat lunak dan keras yang memadai.

#### KESIMPULAN DAN SARAN

1. Dari hasil-hasil percobaan dan perhitungan desain, beberapa parameter reaktor yang penting untuk unjuk kerja operasional reaktor teras kesatu dapat dikatakan bahwa hasil-hasilnya saling bersesuaian.
2. Dari kesesuaian antara hasil percobaan dan hasil perhitungan desain tersebut, reaktor dapat dioperasikan secara aman pada daya nominal teras kesatu 10,7 MW dalam waktu operasi 24,2 hari untuk mencapai rata-rata fraksi bakar teras 8% sehingga dapat menuju konfigurasi teras kedua.



Beberapa saran yang perlu dipertimbangkan untuk melaksanakan komisioning nuklir pada teras-teras transisi selanjutnya:

1. Mengusahakan data desain selengkap mungkin untuk teras-teras transisi lainnya, termasuk pula teras transisi kesatu. Hal ini dapat ditempuh dengan meminta data desain tersebut kepada Interatom atau dihitung sendiri.
2. Untuk perhitungan-perhitungan data desain dan data percobaan diperlukan kemampuan personil dan perangkat lunak yang memadai. Untuk itu perlu segera diusahakan dengan cara:
  - a. Peningkatan kemampuan personil, yaitu dengan cara pelatihan (job-training) melalui kerja sama bilateral. Atau melalui bantuan teknik

dari IAEA dalam hal kemampuan-kemampuan khusus yang diperlukan dalam komisioning nuklir, baik untuk perhitungan data desain dan pelaksanaan percobaan maupun untuk pengelolaan/ manajemennya.

- b. Kelengkapan perangkat lunak komputer (software) dan instrumentasi untuk percobaan perlu segera diusahakan lewat pembelian dan bantuan teknik.

Tersedianya personil yang cukup dengan kemampuan yang tinggi dan trampil, serta didukung dengan perangkat lunak dan perangkat keras yang memadai, akan merupakan modal yang penting bagi keberhasilan komisioning nuklir RSG GAS oleh tenaga BATAN sendiri.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Appendix B, Scope of Supplies and Service of Interatom, 1.9.4. Nuclear Start-up Testing And Nuclear Operation, Reactor Supply Contract.
2. UJU JUJURATISBELA, dkk., Percobaan fisika reaktor dalam tahap awal komisioning nuklir RSG G.A. Siwabessy, Seminar Teknologi Daur Bahan Bakar dan Keselamatan Nuklir, Bandung, 2-3 Desember 1987.
3. BLOMBER P.E, Reactor Physics Problems Concerning The Start-up and Operation of Power Reactors, Stockholm, Sweden.
4. BAKRI ARBIE, et al., Nuclear Start-up of The Multipurpose Research Reactor RSG G.A Siwabessy.
5. NABBI, R., et al., Results of The Reactivity Measurements at Indonesian Research Reactor RSG G.A.Siwabessy, Second Asian Seminar on Research Reactors (ASRR-II), 22-26 May 1989, Jakarta Indonesia.
6. G.A. Siwabessy Multipurpose Reactor Commissioning Tests 0-10.7 MW Power, Report No. PRSG-1, September 1988.
7. MPR-30 Safety Analysis, Vol 4, Copy No. 7, September 1986.

## DISKUSI

### Martias Nurdin:

1. Akibat dari ketidak telitian perhitungan reaktor oleh supplier, apakah ada jaminan untuk operasi 30MW ?

2. Bagaimana kalau seluruh *In core experiment gaulities* sudah masuk, berapa reaktivitas yang diperlukan, dan dari sini apakah operasi 30 MW bisa dicapai ?

### Uju Jujuratsibela:

1. Yang kita lihat dalam hal ini adalah hal khusus, yakni desain Yanus-30 dengan fluks neutron termal maksimum  $5.10^{14} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  dan harga yang tercantum dalam SAR (1986) sebesar  $2.10^{14} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Berdasar percobaan diperoleh harga fluks sekitar  $2-5.10^{14} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Hal ini sesuai, antara perhitungan desain dan percobaan. Tetapi untuk teras kedua tampaknya ada penurunan harga percobaan. Untuk teras kerja (daya 30 MW), kemungkinan fluks termal  $2.10^{14} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  akan dapat dicapai.

2. Menurut desain, reaktivitas untuk seluruh fasilitas yang disediakan dalam teras sebesar 2%. Reaktivitas ini cukup besar, sehingga secara teoritis tidak akan mengganggu operasi 30 MW.