

PERAN BIDANG FISIKA REAKTOR DALAM KOMISIONING NUKLIR DAN OPERASI RSG-GAS

Uju Jujuratisbela, Surian Pinem, Endiah PH,
Lily Suparlina, Liem Peng Hong
Pusat Reaktor serba Guna - BATAN

ABSTRAK

PERAN BIDANG FISIKA REAKTOR DALAM KOMISIONING NUKLIR DAN OPERASI RSG-GAS. Reaktor Serba Guna G.A.Siwabessy (RSG-GAS) merupakan satu-satunya reaktor uji material Indonesia telah dikomisioning nuklir pada bulan Juli 1987. Kekritisn pertama konfigurasi teras kesatu yang merupakan tonggak penting dalam komisioning nuklir RSG-GAS telah dicapai pada tanggal 29 Juli 1987 jam 03.14 WIB. Bidang Fisika Reaktor bertanggung jawab dalam pelaksanaan komisioning nuklir RSG-GAS. Komisioning nuklir RSG-GAS terdiri dari enam tahapan sesuai dengan teras transisinya yang harus dibentuk untuk mencapai teras setimbang. Pada komisioning nuklir setiap teras transisi dilakukan beberapa eksperimen fisika reaktor baik pada daya rendah maupun pada daya tinggi untuk mengetahui karakteristik operasinya. Kesesuaian karakteristik operasi tiap teras transisi dengan hasil perhitungan digunakan untuk melanjutkan komisioning nuklir teras berikutnya. Kekritisn pertama pada komisioning nuklir teras transisi kesatu akan dibahas lebih rinci karena merupakan tonggak penting dalam sejarah komisioning nuklir RSG-GAS.

ABSTRACT

THE ROLE OF REACTOR PHYSICS DIVISION IN THE NUCLEAR COMMISSIONING AND OPERATION OF THE RSG-GAS. The RSG-GAS as a material testing reactor of Indonesia had been commissioned in July of 1987. The first criticality of the first configuration core which is an important mile stone of the nuclear commissioning of RSG-GAS had been reached in July 29, 1987, at 03.14 WIT. Reactor Physics Division was responsible for the implementation of the nuclear commissioning of RSG-GAS. Nuclear commissioning of RSG-GAS consisted of six steps which adequate for the transition core to establish the equilibrium core. In each steps of transition core, some reactor physics experiments both in low and high power level were carried out to find its operation characteristics. Agreement of operation characteristics between experimental results and design calculation was used for the next nuclear commissioning step of the squence transition core. The first criticality of the first transition core will be discused in detail due to its special function as a mile stone of the nuclear commissioning of the RSG-GAS.

PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) yang merupakan reaktor riset ketiga yang

dimiliki Indonesia terletak di kawasan Puspptek Serpong, Jawa Barat. RSG-GAS merupakan satu-satunya reaktor uji material di dunia yang

menggunakan elemen bakar dengan perkayaan Uranium-235 lebih kecil dari 20% sejak awal operasi. Teras setimbang RSG-GAS⁽¹⁾ terdiri atas 40 elemen bakar, 8 perangkat elemen kendali, reflektor beryllium, dan beberapa fasilitas iradiasi berpendingin dan bermoderator air biasa. Dengan konfigurasi teras tersebut, daya nominal reaktor mencapai 30 MW dengan fluks neutron termal 2×10^{14} n.cm⁻²s⁻¹. Perangkat elemen bakar standard RSG-GAS tersusun dari 21 buah plat bahan bakar yang mengandung Uranium dalam bentuk U₃O₈Al dengan kerapatan 2,96 gram.cm⁻³ dan perkayaan U-235 sebesar 19.75 %. Untuk optimasi fluks neutron, pada dua sisi teras reaktor dikelilingi blok reflektor beryllium yang menyediakan saluran-saluran untuk berbagai tabung berkas neutron tangensial dan radial. Pada dua sisi lainnya, teras reaktor dikelilingi dua jalur elemen reflektor beryllium yang menyediakan tempat untuk iradiasi. Fasilitas iradiasi baik di dalam maupun di luar teras reaktor disediakan untuk berbagai penelitian dan pengembangan serta produksi isotop.

Kegiatan pelaksanaan komisioning nuklir RSG-GAS yang mencakup seluruh bidang terkait dalam Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG) diatur dalam surat keputusan Deputi Direktur Jenderal No. KP 02.01/107/DE-2/87 tertanggal 16 Juli 1987 tentang Panitia Komisioning Reaktor Serba Guna. Pelaksanaan komisioning dipimpin langsung oleh Kepala PRSG, sebagai Manajer Komisioning nuklir. Bidang Fisika Reaktor bertanggung jawab dalam pelaksanaan komisioning nuklir RSG-GAS. Setelah komisioning non nuklir seluruh sistem reaktor selesai dan diakhiri dengan serah terima oleh Interatom kepada Batan pada tanggal 13 Juli 1987, aktivitas dilanjutkan dengan komisioning nuklir. Keberhasilan komisioning nuklir suatu reaktor baru sangat penting dan menentukan tingkat kepercayaan masyarakat nuklir, baik terhadap hasil perhitungan desain yang dilakukan oleh pemasok reaktor maupun terhadap pelaksana

komisioning nuklir. RSG-GAS didesain oleh Interatom, Jerman dan mencapai daya nominal 30 MW pada konfigurasi teras transisi keenam. Pada konfigurasi teras kesatu, komisioning nuklir RSG-GAS dilaksanakan oleh tenaga muda putera-puteri Indonesia di bawah supervisi pakar Interatom. Lebih dari 80% tenaga pelaksana komisioning nuklir merupakan staf PRSG yang masih muda dan baru bekerja di BATAN kurang dari 2 tahun.

Peran Fisika Reaktor dalam komisioning nuklir RSG-GAS⁽²⁾ antara lain meliputi perencanaan, pelaksanaan dan pengevaluasian eksperimen reaktor yang bertujuan untuk mengetahui kinerja reaktor baik pada operasi daya rendah maupun daya tinggi. Perencanaan eksperimen reaktor antara lain menentukan jumlah dan jenis eksperimen yang akan dilakukan pada suatu teras tertentu agar dapat menunjukkan bagaimana kinerja teras tersebut. Dalam perencanaan tersebut termasuk pula pengaturan jumlah personil yang akan menangani eksperimen dan instrumentasi yang akan digunakan. Dalam Bidang Fisika reaktor ada empat kelompok satuan tugas yang disesuaikan dengan tugas dan tanggung jawab sesuai dengan isi dalam SK Direktur Jenderal Batan No. 127/DJ/XII/86. Keempat satuan tugas tersebut bertanggung jawab melakukan eksperimen, mengumpulkan data, mengevaluasi data, dan membuat laporan tertulis yang sesuai dengan bidang tugasnya.

Teras setimbang RSG-GAS dicapai pada konfigurasi teras transisi keenam, setelah melewati lima tahapan teras transisi yang berkarakter berbeda-beda. Pada setiap teras transisi tersebut dilakukan uji kinerja operasinya melalui beberapa eksperimen reaktor. Jumlah dan jenis eksperimen fisika reaktor pada setiap teras transisi disesuaikan dengan karakter setiap teras yang diuji. Kekritisitas pertama pada teras kesatu merupakan tonggak penting dan menentukan dalam komisioning nuklir. Keberhasilan komisioning teras kesatu menentukan kelanjutan komisioning teras

berikutnya. Oleh karena itu perhatian utama dalam komisioning nuklir RSG-GAS diarahkan pada teras transisi kesatu.

Tujuan utama komisioning nuklir RSG-GAS adalah mengukur besaran-besaran reaktor yang erat kaitannya dengan kinerja operasi reaktor baik pada operasi daya rendah maupun operasi daya tinggi. Eksperimen fisika reaktor dalam suatu teras tertentu disesuaikan dengan tujuan uji karakteristik teras tersebut dan dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen yang sesuai. Data hasil eksperimen pada suatu teras tersebut dapat digunakan sebagai verifikasi data desain teras tersebut yang diberikan oleh pemasok reaktor. Dari studi banding ini akan diperoleh gambaran perlu tidaknya melakukan perhitungan ulang. Selain memperoleh keuntungan dapat melakukan aktualisasi perhitungan desain, dapat pula dilakukan desain reaktor sejenis dengan ketelitian yang lebih baik. Pengalaman eksperimen yang digabung dengan perhitungan ulang desain akan menumbuhkan rasa percaya diri terhadap kemampuan sendiri. Hal ini tampak dari beberapa orang personil yang tergabung dalam grup desain Reaktor Produksi Isotop. Kesempatan baik tenaga muda dalam komisioning nuklir reaktor riset daya tinggi pertama di Indonesia merupakan pengalaman yang sangat berharga dalam mempersiapkan diri untuk melakukan tugas berat di masa datang terutama menghadapi era aplikasi tenaga nuklir untuk pembangkit listrik. Telah disadari bersama perlunya sumber daya listrik alternatif yang aman, selamat dan tidak mencemari lingkungan. Karena Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) merupakan salah satu alternatif yang perlu dikaji lebih dalam, maka kesiapan perencanaan sumber daya manusia perlu dilakukan dari sekarang. Sudah banyak tenaga muda BATAN yang ikut serta dalam partisipasi desain jenis reaktor yang mungkin dipilih untuk PLTN di Indonesia. Pembinaan lanjutan kelompok tersebut yang terus menerus dan berkesinambungan sehingga

terjalin kerja kelompok yang baik dan terpadu akan menghasilkan sesuatu yang baik bahkan akan jauh lebih baik hasilnya dibanding kelompok partisipasi desain RSG-GAS lalu yang tidak berkelanjutan dalam satu kelompok yang utuh. Dilihat dari perencanaan sumber daya manusia untuk komisioning nuklir PLTN, saat ini merupakan waktu yang tepat dan baik untuk mempersiapkan satu kelompok tugas komisioning nuklir PLTN yang anggota-anggotanya terdiri dari kelompok partisipasi desain dan pelaksana komisioning nuklir RSG-GAS. Alih teknologi tinggi, seperti teknologi reaktor, akan lebih berhasil guna dan berdaya guna seandainya para staf dengan ilmu dan pengalaman yang dimilikinya berada dalam suatu wadah / kelompok utuh yang dibina terus menerus. Jumlah dan jenis eksperimen fisika reaktor untuk komisioning PLTN jauh lebih banyak dibanding pada saat komisioning nuklir RSG-GAS. Untuk itu kelompok ini dalam pembinaannya perlu diikuti dalam komisioning nuklir yang sedang berjalan atau minimal mempelajari bersama hasil komisioning nuklir reaktor daya yang sudah dilakukan. Tanpa usaha pembinaan dini seperti tersebut di atas, alih teknologi komisioning nuklir tidak akan berhasil baik seperti yang diharapkan. Hal ini terlepas dari tipe atau cara apapun yang akan ditempuh dalam pembelian reaktor daya. Kesiapan ilmu dan pengalaman akan mempermudah alih teknologi, termasuk alih teknologi komisioning nuklir PLTN.

PERAN FISIKA REAKTOR

Fisika, terutama sebagai ilmu, telah memegang peran yang dominan dalam masalah reaktor sejak Enrico Fermi mengkritiskan reaktor yang pertama di Chicago pada tanggal 2 Desember 1942. Sejalan dengan perkembangan sejarah reaktor, peran Fisika telah berubah dari sekedar ilmu saja menjadi suatu disiplin yang bersifat rekayasa (engineering) dalam menunjang teknologi dan

industri reaktor. Dengan demikian, peran para fisikawan dalam teknologi reaktor bersifat ganda, yaitu sebagai ilmuwan (scientist) dan insinyur (engineer) sekaligus. Fisika yang berkaitan dengan reaktor disebut fisika reaktor. Peran fisika reaktor dari segi rekayasa sangat multidisipliner, dalam arti bahwa interaksinya sangat erat dengan disiplin ilmu lain, seperti; komputer, fisika nuklir, mekanika fluida, perpindahan panas, teori kendali/kontrol, pengetahuan material, ekonomi, dll. Oleh karenanya, dalam menunjang teknologi yang berkembang pesat ini, para ahli fisika reaktor harus mengenal disiplin ilmu lain untuk membina komunikasi yang baik demi tercapainya tujuan yang telah ditentukan. Dari segi riset, fisika reaktor diarahkan pada penelitian dan pengumpulan data serta pengembangan metodologi perhitungan yang mungkin diperlukan untuk reaktor-reaktor yang ada ataupun yang akan ada. Sebenarnya, fisika reaktor sebagai suatu disiplin ilmu belum lama berkembang, dan selama perkembangan itu, sifatnya telah berubah baik yang meliputi ilmu maupun yang meliputi rekayasa, sehingga batas-batas disiplinnya tidak tegas. Akan tetapi, bagi mereka yang berkecimpung dalam fisika reaktor terdapat konsensus tentang apa yang termasuk dalam lingkup tugas fisika reaktor dan apa yang tidak. Hingga saat ini landasan kerja fisika reaktor tercantum dalam Komisi Fisika Reaktor Eropa-Amerika⁽³⁾ (EACRP-European American Committee on Reactor Physics) yang berbunyi: " Questions relating to the space, time and energy distributions of neutrons and radiations in different media fall within the scope of the committee but the determination of differential nuclear cross-section do not ". Meskipun kutipan di atas tidak memberikan definisi yang tegas tentang fisika reaktor, tetapi cukup memberikan " terms of reference " tentang apa yang dicakup dalam ruang lingkup kerja fisika reaktor.

Kecenderungan perkembangan fisika reaktor dari riset ke rekayasa akan terus

berlangsung, sebab bukan saja penelitian tentang data tetapi juga pengetrapan pengetahuan dan data akan lebih ditekankan untuk pemecahan persoalan yang dihadapi. Sifat rekayasa dari fisika reaktor inilah yang mutlak memerlukan interaksi yang intensif dengan disiplin-disiplin ilmu lain bagi keberhasilan tugasnya. Beberapa peran fisika reaktor yang penting diketahui akan ditinjau di bawah ini.

a. Peran fisika reaktor dalam rekayasa.

Beberapa peran fisika reaktor dalam persiapan untuk pembangunan reaktor baik reaktor riset maupun reaktor daya pembangkit listrik, antara lain :

1. tahap desain, yaitu aktivitas yang berkaitan dengan evaluasi konsep desain berbagai tipe dan jenis reaktor riset atau daya.
2. tahap operasi, yaitu kegiatan yang berkaitan dengan evaluasi unjuk kerja teras reaktor dan pengelolaan elemen bakar.
3. tahap evaluasi keselamatan (safety) sistem nuklir, yaitu kegiatan yang menjamin keselamatan operasi yang berkaitan dengan respons sistem nuklir terhadap berbagai gangguan baik yang disengaja ataupun tidak.

Peran fisika reaktor dari segi rekayasa adalah menyediakan jawaban-jawaban terhadap berbagai persoalan teknis dalam desain, konstruksi dan operasi reaktor daya. Jawaban tersebut tentu saja harus diberikan dalam waktu singkat yang disesuaikan dengan informasi teknis yang tersedia saat itu.

a.1. Peranan dalam tahap desain

Beberapa data nuklir seperti penampang reaksi fisi, tangkapan, dan hamburan yang meliputi bahan-bahan fisil, moderator, pendingin dan struktur yang dihasilkan oleh beberapa bidang ilmu lain, sangat diperlukan

oleh fisika reaktor dalam menghitung nilai parameter dari model teras reaktor yang akan didesain. Selain menghitung parameter reaktor e , p , f , h , S , k_{eff} , L^2 , dihitung pula ukuran teras reaktor, distribusi neutron, dan distribusi daya. Data lain yang dihitung dan penting dari segi ekonomi adalah fraksi bakar yang merupakan ukuran kemampuan operasi dari reaktor tersebut. Dipihak lain perlu meninjau berbagai variasi desain reaktor secara cepat dengan ketelitian yang lebih baik. Hal ini dapat dicapai dengan melakukan kombinasi perhitungan komputer yang menggunakan data nuklir mutahir dan eksperimen kisi reaktor. Dari sini tampak adanya interaksi kuat antara fisika reaktor dengan material dan termodinamika dalam penentuan jumlah bahan bakar dan penentuan ukuran bejana tekan. Interaksi fisika reaktor dengan termohidraulika tampak dalam penentuan daya reaktor. Sedangkan interaksi fisika reaktor dengan metalurgi dalam penentuan umur reaktor dan ekonomi teras reaktor.

a.1.1. Peranan dalam desain elemen bakar

Elemen bakar merupakan komponen terpenting dari teras reaktor yang akan menentukan reaktivitas dan konversi efektif yang berkaitan dengan ekonomi elemen bakar. Aspek fisis yang perlu diperhatikan dalam desain antara lain perbandingan moderator terhadap bahan bakar, diameter elemen bakar dan diameter cluster.

a.2. Peran dalam operasi

a.2.1. Pengelolaan elemen bakar

Pengelolaan elemen bakar nuklir baik untuk reaktor riset maupun reaktor daya pada umumnya meliputi penyimpanan dan pemeriksaan, pengaturan di dalam teras reaktor, pendinginan dalam kolam penyimpanan sementara, dan pemasukan ke dalam kontiner untuk penyimpanan jangka panjang atau proses ulang. Untuk suatu jenis reaktor tertentu,

problema optimasi dari seluruh siklus pengelolaan elemen bakar diuraikan menjadi jadwal waktu, jadwal bahan, dan jadwal biaya dari setiap tahap siklus elemen bakar. Pada umumnya, pertimbangan ekonomi (ongkos serendah-rendahnya) menjadi kriteria utama dalam optimasi pengelolaan elemen bakar. Peran fisika reaktor dalam menunjang kriteria ekonomi pengelolaan elemen bakar tercermin dalam memperoleh fraksi bakar yang sebesar mungkin dari elemen bakar. Hal ini berarti bahwa distribusi daya harus merata dan tersedia cadangan reaktivitas sepanjang jangka waktu operasi reaktor yang telah ditentukan, dan tentu saja reaktor harus beroperasi dengan aman. Kriteria ekonomi tersebut biasanya oleh fisika reaktor telah diselesaikan atau dijawab dalam desain sistem fisis dari reaktor. Dalam hal ini, fisika reaktor yang mencakup dinamika dan pengendalian reaktor, fraksi bakar, termohidraulik telah menyediakan penyelesaian terhadap perataan distribusi daya, kemampuan mengikuti beban penyediaan listrik, penyediaan reaktivitas jangka panjang, penjagaan integritas bahan bakar, dan lain lain.

b. Peran fisika reaktor dalam riset

Dalam segi riset atau penelitian, peranan fisika reaktor terbagi dalam riset jangka menengah dan jangka panjang, yaitu:

1. Menguasai dan menganalisis;
 - a. persoalan-persoalan fisika reaktor yang mungkin timbul
 - b. konsep-konsep reaktor yang ada
 - c. bagaimana cara mengatasi persoalan.
2. Memikirkan konsep-konsep baru yang sedang dan akan muncul serta mempersiapkan dasar fisis reaktor agar mampu menganalisis dan mengevaluasi konsep-konsep tersebut.

b.1. Penguasaan konsep-konsep reaktor yang ada

Untuk mengetahui keunggulan dan kelemahan yang dimiliki oleh suatu reaktor

perlu memahami desain dan operasi reaktor tersebut yaitu dengan cara mengamati perkembangan metode desain dan pengukuran langsung. Pada umumnya sasaran penelitian fisika reaktor dapat diringkas sebagai berikut:

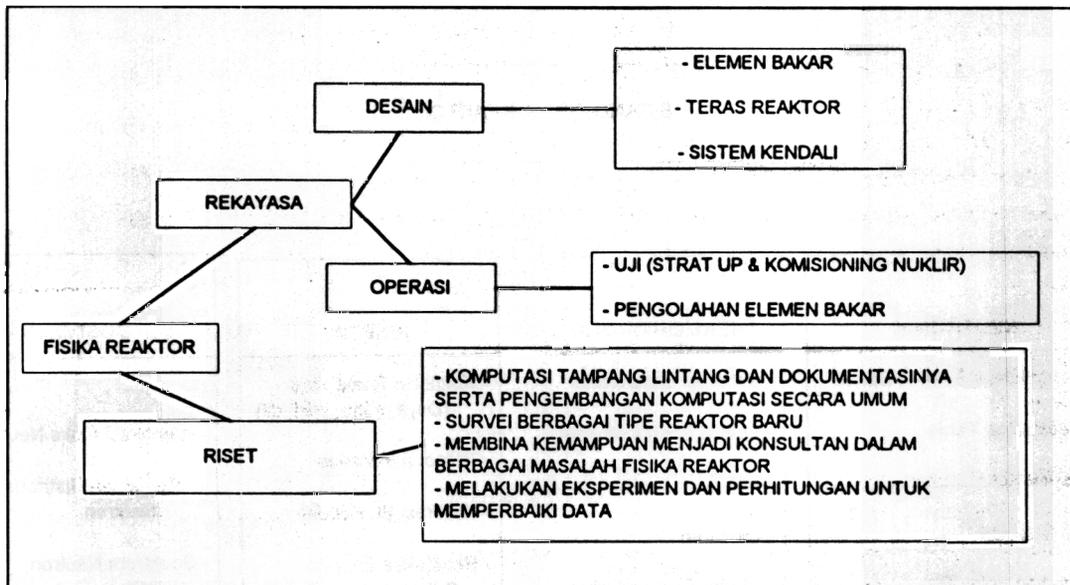
1. Penentuan parameter dasar reaktor dari berbagai macam varian konsep yang ada dengan cara melakukan perhitungan dan atau eksperimen.
2. Mengadakan penelitian efek gangguan oleh parameter tersebut terhadap sistem.
3. Membuat metode yang memperkirakan hubungan parameter dengan gangguan pada berbagai tingkat ketelitian. Dari evaluasi tingkat ketelitian dapat ditentukan sifat kegunaan desain atau operasi.
4. Mendapatkan informasi tentang metode-metode seefisien dan semudah mungkin untuk dikembangkan dalam aplikasi teknologi komputer, desain dan teknik eksperimen yang efisien.
5. Melakukan penelitian/pengukuran fluks neutron, reaktivitas, alat monitor kerusakan elemen bakar, dan lain lain.
6. Mengikuti terus penyempurnaan konsep-konsep yang ada seperti perubahan unit-unit pembangkit yang lebih besar, desain elemen bakar baru, dll.

Beberapa contoh bidang yang perlu diteliti:

- Pengukuran kisi reaktor yang uniform/non-uniform
- Dinamika reaktor ruang
- Koefisien reaktivitas (khusus untuk pengendalian dan keselamatan reaktor)
- Pengkodean secara modul (paket komputer)
- Pengukuran fraksi bakar tanpa merusak

b.2. Evaluasi/analisis konsep reaktor baru

Dalam hal ini diperlukan penguasaan desain dan operasi reaktor-reaktor yang ada agar dapat memahami problema apa yang mungkin timbul pada konsep reaktor baru. Dalam evaluasi/analisis sistem reaktor baru perlu dikembangkan metode-metode komputasi yang cepat disamping perangkat-perangkat kritis yang perlu untuk memperoleh data integral. Dari uraian tersebut di atas tampak jelas bahwa fisika reaktor mempunyai peran yang bervariasi dan penting dalam desain dan operasi reaktor daya. Peranan fisika reaktor beserta para fisikawannya harus ditinjau dari ruang lingkup jangka pendek atau menengah (segi rekayasa) dan jangka menengah/panjang (segi riset), untuk memungkinkan dapat melihat perannya serta tempatnya dalam teknologi dan industri reaktor daya. Secara ringkas peran fisika reaktor dalam rekayasa dan riset dapat dilihat pada diagram berikut di bawah ini :



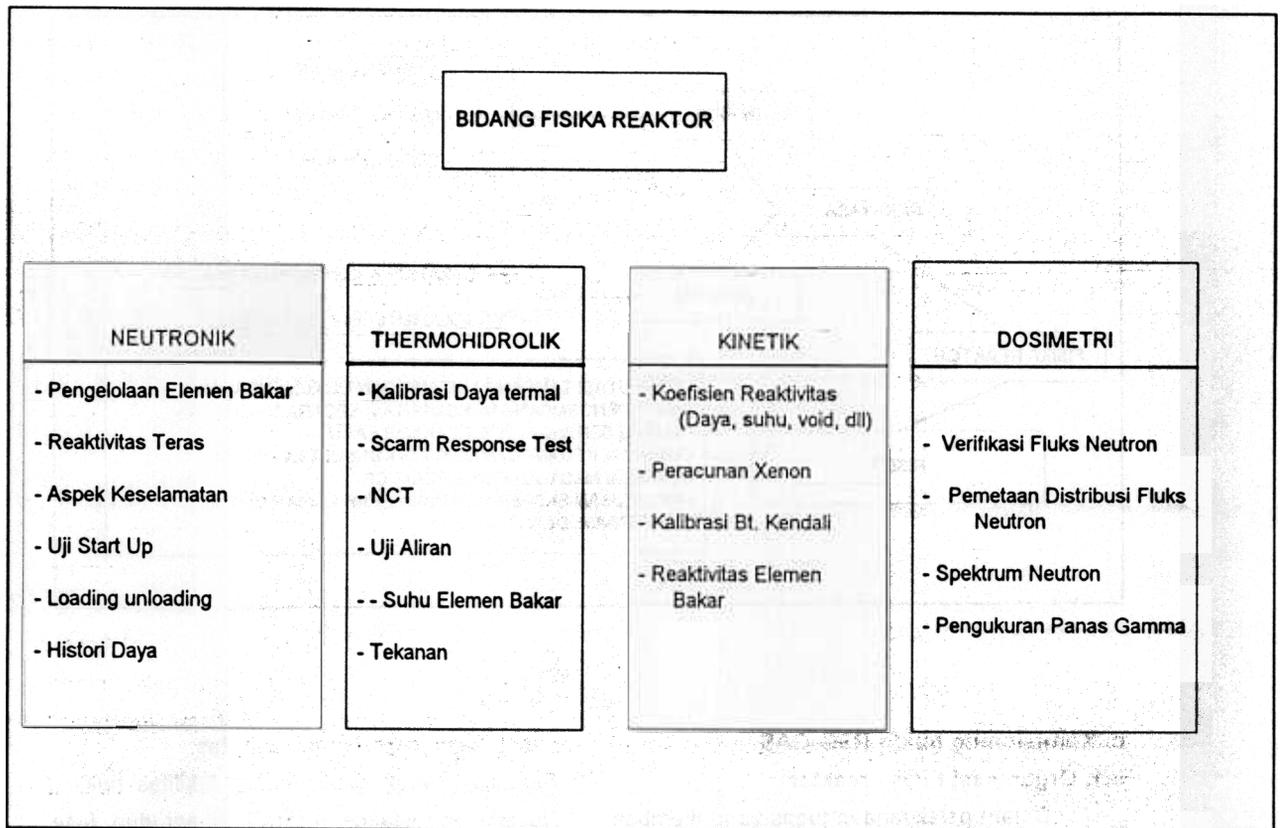
c. Komisioning nuklir RSG-GAS

c.1. Organisasi Fisika reaktor

Dalam pelaksanaan tugas yang diemban berdasar SK Dirjen Batan, Bidang Fisika Reaktor dibagi menjadi empat kelompok satuan tugas, yaitu kelompok neutronik, kinetik, termohidraulik dan dosimetri. Sesuai dengan tugas tersebut dan dipertegas dengan SK Deputi Bidang Penelitian dan Pengembangan Industri nuklir No. KP 02.01/107/DE-2/87 tanggal 16 Juli 1987, Bidang Fisika Reaktor (BFR) bertanggung jawab atas pelaksanaan komisioning nuklir RSG-GAS. Organisasi Bidang Fisika reaktor beserta dengan uraian tugas tiap kelompok dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan kontrak Batan - Interatom yang berkaitan dengan komisioning nuklir seperti tertera pada 1.9.4 Nuclear Start-up Testing and Nuclear Operation⁽²⁾, ada tiga aktivitas utama yang harus dilakukan, yaitu: 1. pengujian untuk serah-terima nuklir, 2. pengoperasian terbatas,

dan 3. pengoperasian tak terbatas.

Pengujian untuk serah terima fasilitas nuklir (Nuclear acceptance testing) dibagi dua fase, yaitu fase uji awal nuklir (Nuclear Start-up Tests) dan fase uji penaikan daya (Power Ascension Tests). Tujuan dari uji awal nuklir adalah melakukan uji yang menunjukkan kinerja sistem dan operasi keseluruhan sistem pada tingkat daya reaktor rendah. Fase ini dimulai dengan pemuatan elemen bakar menuju kekritisan dan uji fisika daya rendah. Fase uji penaikan daya bertujuan menunjukkan kinerja sistem dan operasi keseluruhannya pada tingkat daya reaktor tinggi yang meliputi daya maksimum yang diijinkan pada teras awal. Uji pada fase ini diakhiri dengan operasi 24 jam terus menerus pada daya tinggi tersebut. Operasi terbatas dimaksudkan uji yang dilakukan bersama Interatom dan Batan untuk mencapai teras setimbang. Sedangkan Operasi tak terbatas adalah pengoperasian reaktor yang dilakukan Batan tanpa Interatom.



c.2. Eksperimen fisika reaktor

Dalam komisioning nuklir pada tiap teras transisi dilakukan eksperimen fisika reaktor baik pada daya rendah maupun pada daya tinggi yang jumlah dan jenisnya hampir sama. Beberapa kegiatan fisika reaktor menjelang dimulainya komisioning nuklir teras kesatu antara lain:

1. Menyiapkan dan memasukkan sumber neutron CF-252 pada posisi teras E-7.
2. Kalibrasi pencacah BF3 sebagai instrumentasi tambahan pada kekritisan, dengan 2 buah detektor BF3 ditempatkan pada posisi A-3 dan G-10 agar pencacahan populasi neutron dapat seoptimal mungkin. Kegiatan paralel dilakukan oleh kelompok instrumentasi, operasi reaktor, dan lain lain antara lain untuk uji fungsi batang kendali, uji fungsi sistem keselamatan reaktor, dan uji fungsi lainnya.

Eksperimen fisika reaktor pada daya rendah dibagi dalam 2 bagian.

a. Eksperimen fisika reaktor pada daya rendah tanpa aliran pendingin:

1. Pemuatan elemen bakar untuk mencapai kekritisan awal/pertama.
2. Pemuatan elemen bakar lainnya dan elemen pasif untuk mencapai konfigurasi teras penuh.
3. Pengukuran reaktivitas lebih.
4. Pengukuran reaktivitas padam pada saat batang kendali berada di luar teras.
5. Kalibrasi batang kendali.

b. Eksperimen fisika reaktor pada 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

sesuai dengan besar laju alir yang dikehendaki.

3. Pengukuran distribusi laju alir teras dengan mengukur beberapa laju alir pada posisi elemen bakar.
4. Koefisien void (pengosongan tabung-tabung berkas neutron).
5. Koefisien temperatur dengan pemanasan isothermal pendingin primer sampai suhu 40°C dengan mengoperasikan pompa primer.

Eksperimen fisika reaktor pada daya tinggi antara lain:

1. Kenaikan daya reaktor bertahap hingga mencapai daya nominal.
2. Kalibrasi daya reaktor.
3. Uji sirkulasi natural.
4. Koefisien daya 20,50,90, dan 100% daya nominal.
5. Koefisien Xenon pada beberapa daya tinggi
6. Simulasi kehilangan aliran pendingin.
7. Pengukuran distribusi aksial fluks neutron pada posisi D-6 dan E-7.

PEMBAHASAN

1. Komisioning nuklir teras transisi kesatu merupakan komisioning yang sangat penting dan menentukan untuk komisioning lanjutan teras transisi selanjutnya. Oleh karena titik berat utama pembahasan akan difokuskan pada komisioning nuklir teras kesatu.

- a. Kekritisitas pertama teras kesatu tercapai pada tanggal 29 juli 1987 jam 03.14 WIB. dengan 18 buah elemen bakar yang bermuatan total 3324,93 gram Uranium. Jumlah elemen bakar (12 buah) dan elemen kendali (6 buah) pada saat kritis pertama sesuai dengan hasil perhitungan. Konfigurasi teras kesatu saat kritis pertama dapat dilihat pada Gambar 1a.
- b. Dengan memperhatikan kriteria keselamatan dan keamanan pemasukan elemen bakar dan elemen pasif, satu persatu elemen bakar dan elemen pasif

dimasukan ke dalam posisi teras yang direncanakan hingga terbentuk konfigurasi penuh teras kesatu (Gambar 1b). Setiap pemasukan elemen bakar dan elemen pasif, reaktivitas lebih teras diukur. Reaktivitas lebih teras kesatu 8,14% . Setelah dilakukan perhitungan koreksi pengaruh posisi dan gerakan batang kendali selama pemasukan elemen bakar diperoleh harga total reaktivitas lebih teras kesatu 9,2% . Harga reaktivitas lebih tersebut sesuai dengan harga perhitungan desain untuk teras kesatu.

- c. Reaktivitas padam (shutdown reactivity) dalam kondisi batang kendali pengatur (harga reaktivitas batang kendali terbesar) berada di luar teras (stuck rod condition) - 4,3% . Harga tersebut memenuhi kriteria keselamatan desain yang harus lebih kecil atau sama dengan - 1%.
- d. Laju alir pendingin rerata dalam elemen bakar adalah 51,45 m³/jam. Harga pengukuran tersebut 2,08% lebih besar dibandingkan dengan harga perhitungan desain, 50,4m³/jam. Dengan laju alir primer sebesar 2500 m³/jam, cukup mampu untuk operasi daya nominal teras kesatu 10,7 MW.
- e. Harga koefisien reaktivitas daya terukur - 1,9 sen/MW yang berbeda 9,05% dibanding harga desain -2,1 sen/MW, memenuhi kriteria bahwa pada aliran primer dan suhu masukan reaktor konstan, koefisien reaktivitas daya harus berharga negatif.
- f. Kehilangan reaktivitas xenon pada operasi mantap 10,7 MW sebesar 3,24% sesuai dengan perkiraan desain.
- g. Temperatur dinding elemen bakar maksimum selama transien pada 10,7 MW tidak melebihi 90°C. Hasil tersebut masih lebih rendah dibanding harga kondisi terburuk yang meliputi daya nominal plus 14% daya reaktor lebih, yaitu 132°C. Ini berarti bahwa pendinginan plat elemen

bakar cukup memadai dan aman terhadap kerapatan daya tinggi.

- h. Rapat fluks neutron pada daya nominal 10,7 MW berkisar antara 3,96 hingga $5,25 \times 10^{14} \text{ ncm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ pada posisi iradiasi sentral (posisi E-7 dan D-6). Hasil tersebut berada dalam daerah harga perhitungan desain.

Selama eksperimen fisika reaktor yang dilakukan dalam rangka komisioning nuklir teras kesatu, tidak semua parameter reaktor dapat diukur. Hal tersebut bukan saja disebabkan karena fokus eksperimen diarahkan untuk menentukan parameter reaktor pokok yang berkaitan dengan keselamatan operasi reaktor, melainkan juga karena tidak adanya dukungan perangkat keras untuk eksperimen lainnya.

2. Komisioning nuklir teras transisi selanjutnya (teras kedua, ketiga, dan seterusnya hingga saat ini teras ke-6) dan eksperimen fisika reaktor pada teras selanjutnya dilakukan dengan cara sama seperti pada komisioning nuklir teras kesatu. Konfigurasi teras setimbang pertama (teras ke-6) dan teras saat ini (teras ke-13) dapat dilihat pada

Gambar 2. Parameter-parameter reaktor yang diukur untuk operasi normal memenuhi kriteria keselamatan operasi reaktor untuk setiap teras transisi. Tidak terdapat masalah teknis yang berat dalam setiap tahap eksperimen fisika reaktor. Karena adanya vibrasi salah satu tabung berkas neutron pada teras transisi kedua yang meskipun telah dapat diatasi oleh Interatom, mengakibatkan terlambatnya penyelesaian komisioning nuklir baik untuk teras kedua maupun secara keseluruhan.

- a. Hasil pengukuran reaktivitas lebih, padam (shutdown), stuck rod, dan total untuk teras satu sampai dengan teras ke-13 RSG-GAS dapat dilihat pada Gambar 3. Besar reaktivitas lebih tersebut menunjukkan kesesuaian dengan harga perhitungan desain 9,2 % . Hal tersebut berarti bahwa

tersedia reaktivitas lebih untuk operasi normal daya nominal pada masing-masing teras. Dengan harga reaktivitas stuck rod dan shutdown margin tersebut berarti bahwa keselamatan operasi reaktor terjamin.

- b. Hasil eksperimen laju alir teras transisi sampai dengan teras 13 dapat dilihat pada Gambar 4. Rerata perbedaan hasil eksperimen dan perhitungan desain 2,94%. Hal ini selain menunjukkan adanya kesesuaian hasil eksperimen dan hasil perhitungan juga menjamin cukup tersedianya aliran pendingin untuk perpindahan panas pada operasi reaktor daya tinggi.
- c. Hasil eksperimen suhu elemen bakar untuk beberapa teras transisi dan teras kerja tipikal dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil ini menunjukkan terjaminnya suhu elemen bakar pada operasi daya nominal teras yang bersangkutan.
- d. Hasil eksperimen fluks neutron termal pada beberapa teras transisi dan teras kerja tipikal dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil ini menunjukkan terpenuhinya harga desain fluks termal maksimum pada teras setimbang $2 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$. Hal ini berarti pula tersedianya berkas neutron untuk penelitian dan pengembangan.

3. Secara formal RSG-GAS diserahkan oleh Interatom kepada Batan pada tanggal 29 Nopember 1989. Sejak saat tersebut semua eksperimen fisika reaktor termasuk ke dalam jenis eksperimen terbatas, tanpa keikutsertaan Interatom lagi.

4. Sesuai dengan desain teras RSG-GAS, pada teras transisi keenam untuk pertama kalinya RSG-GAS dioperasikan pada daya nominal 30 MW pada tanggal 23 Maret 1992. Hal ini menunjukkan adanya kemampuan tenaga Batan dalam menyerap alih teknologi pengoperasian reaktor baru sesuai dengan tahapan yang direncanakan pemasok.

5. Dalam penggunaan reaktor dalam jasa iradiasi baik untuk penelitian maupun untuk produksi isotop, kriteria keselamatan operasi selalu diutamakan dengan cara dilakukan perhitungan lebih dahulu oleh fisika reaktor besar pengaruh reaktivitas yang mungkin timbul sebagai akibat dari kegiatan tersebut baik pada saat diradiasi terpisah maupun simultan. Dalam teras setimbang RSG-GAS tersedia reaktivitas sebesar 2% untuk keperluan litbang dan produksi isotop.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Peran Fisika Reaktor pada Bidang Fisika Reaktor, Pusat Reaktor Serba Guna-BATAN dalam komisioning nuklir RSG-GAS meningkat secara bertahap. Pada komisioning teras kesatu berperan sebagai pelaksana eksperimen tanpa menyiapkan prosedur eksperimen dan analisis data eksperimen. Mulai teras kedua peran tersebut meningkat selain sebagai pelaksana juga sebagai pembuat prosedur eksperimen dan mencoba menganalisis beberapa data eksperimen. Sesuai dengan bertambahnya beberapa paket komputer, mulai teras ketiga peran tersebut meningkat lagi dengan melakukan analisis sendiri beberapa data eksperimen. Meskipun lambat tapi pasti kemampuan staf fisika reaktor meningkat selain karena pengalaman kerja bersama Interatom, juga karena mulai tersedianya beberapa perangkat lunak komputer untuk evaluasi data eksperimen.
2. Komisioning nuklir RSG-GAS secara teknis berhasil baik. Hal ini terbukti dari beberapa

harga parameter operasi reaktor secara eksperimen sesuai dengan harga desain.

3. Pengalaman komisioning nuklir RSG-GAS menumbuhkan kepercayaan diri bahwa kita mampu menyerap alih teknologi reaktor. Kepercayaan diri tersebut diperlukan dalam persiapan sumber daya manusia untuk PLTN.
4. Dengan dimilikinya beberapa kemampuan perhitungan parameter reaktor dan pengalaman dalam komisioning nuklir RSG-GAS, beberapa staf Pusat Reaktor Serba Guna - BATAN ikut serta dalam desain neutronik, termohidraulik, dan instrumentasi Reaktor Produksi Isotop.
5. Penguasaan paket komputer dalam evaluasi dan analisis data eksperimen selama komisioning nuklir RSG-GAS merupakan modal dasar yang kuat untuk menilai desain PLTN yang akan ditawarkan pemasok dan pada gilirannya akan berguna pula dalam penyusunan perijinan reaktor.

Saran

1. Pengalaman berharga dalam komisioning nuklir RSG-GAS seyogyanya dipadukan dan dibina terus dengan mereka yang sudah ikut serta dalam partisipasi desain reaktor daya akan merupakan kelompok yang kuat dalam menangani penilaian desain, pembangunan, komisioning nuklir dan pengoperasian normal reaktor daya.
2. Seyogyanya RSG-GAS dengan segala fasilitasnya yang tersedia dapat dimanfaatkan secara optimal baik untuk riset dan pengembangan industri nuklir di Indonesia maupun kerja sama antar negara yang saling menguntungkan.

DAFTAR PUSTAKA

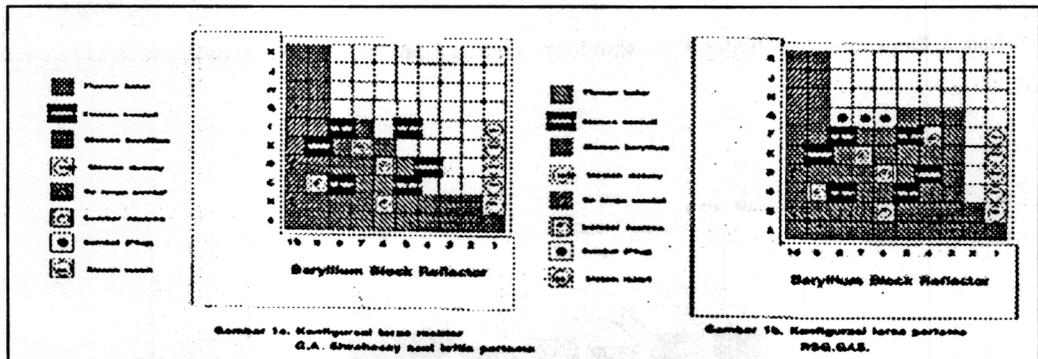
1. MPR-30 Safety Analysis, Vol. 4, Copy No. 7, September 1986.
2. Appendix B, Scope of Supplies and Service of Interatom, 1.9.4. Nuclear Start-up Testing And Nuclear Operation, Reactor Supply Contract.
3. Blomber, P.E., Reactor Physics Problems Concerning The Start-up and Operation of Power Reactors, Stockholm, Sweden.
4. Surya Rao, V., Commissioning of Nuclear Reactors, Proceeding of a Study Group Meeting, Manila, 9-13 December 1963.
5. Uju Jujuratisbela, dkk., Eksperimen Fisika Reaktor Dalam Tahap Awal Komisioning Nuklir RSG-G.A.Siwabessy, Seminar Teknologi Daur Bahan Bakar dan Keselamatan Nuklir, Bandung, 2-3 Desember 1987.
6. Uju Jujuratisbela. Komisioning Nuklir Teras satu RSG G.S.Siwabessy, Proceeding Seminar Seperempat Abad Reaktor Nuklir Mengabdikan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, Bandung 16-17 Oktober 1989.
7. Bakri Arbie, et al., Nuclear Start-up of The Multipurpose Research Reactor RSG G.A.Siwabessy, 1989.
8. G.A.Siwabessy Multipurpose Reactor Commissioning Test 0-10.7 MW Power, Report No. PRSG-1, September 1988.
9. Laporan Komisioning Nuklir RSG G.A. Siwabessy, FR/LK/02/11-93, Serpong, Februari 1993.

UCAPAN TERIMA KASIH

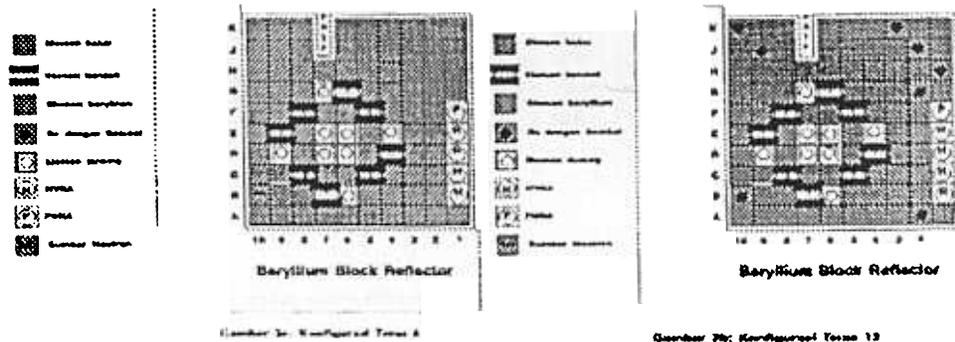
Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada teman sejawat di Pusat Reaktor Serba Guna yang telah membantu baik dengan sumbangan saran dan fikirannya maupun dengan komentar dan koreksinya hingga makalah ini dapat selesai pada waktunya.

Tabel 2: Hasil eksperimen fluks neutron termal pada beberapa teras RSG-GAS.

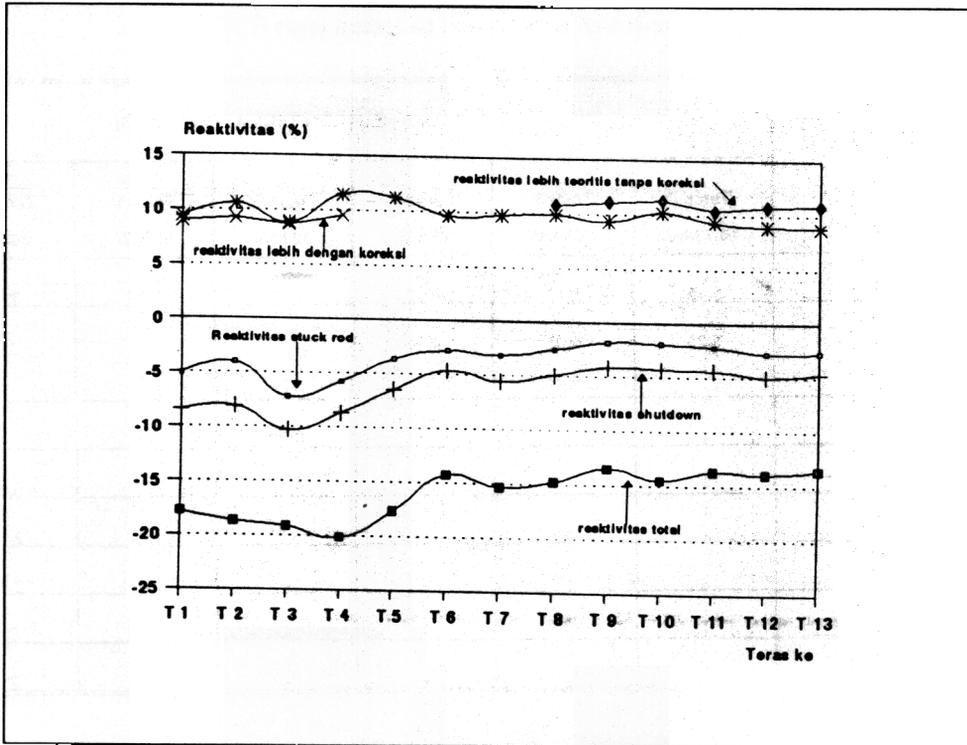
POSISI IRADIASI	FLUKS NEUTRON TERMAL ($10^{14}n/cm^2s$)						
	Teras I 10.7 MW	Teras II 13.3 MW	Teras III 18 MW	Teras IV 22 MW	Teras V 25 MW	Teras VI 30 MW	Teras VII 30MW
D-6	5.13	5.77	4.65	-	3.67	3.42	-
E-7	5,25	6,07 4,32	4,76	-	-	-	3,48
E-6	-	-	-	3.12	-	-	-
G-7	-	-	-	2.15	-	3.11	-
B-6	-	-	-	-	-	2.56	-
D-9	-	-	-	-	-	2.90	-
D-7	-	-	-	-	-	3.0	-
E-4	-	-	-	-	-	2.1	-



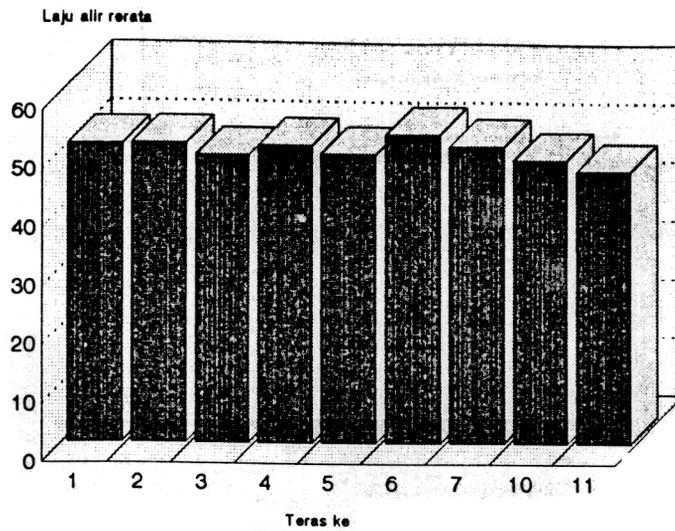
Gambar 1. Konfigurasi Teras Kritis Pertama dan Teras Kesatu Penuh



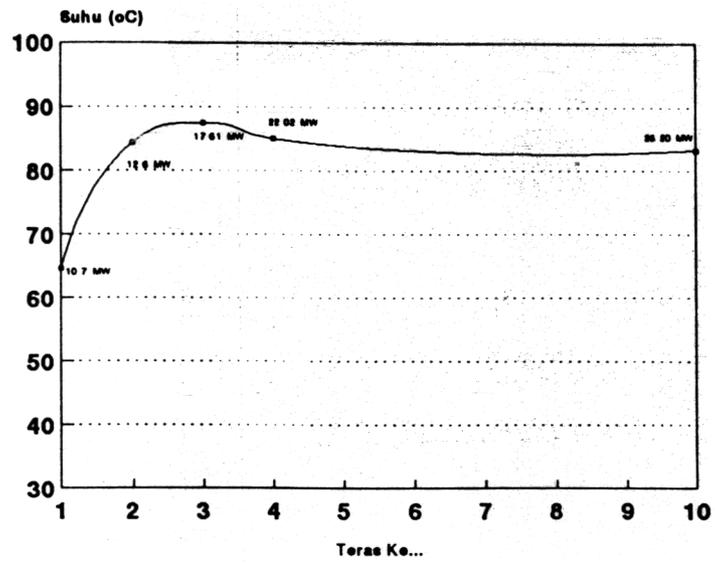
Gambar 2. Konfigurasi Teras 6 & Teras 13



Gambar 3. Eksperimen reaktivitas lebih, shutdown, stuck rod dan total batang kendali pada teras I s/d teras 13



Gambar 4. Hasil eksperimen laju alir pada elemen bakar teras 1 - 11 RSG-GAS



Gambar 5. Hasil eksperimen suhu permukaan elemen bakar pada beberapa teras RSG-GAS