

## KARAKTERISTIK PARAMETER KINETIKA DAN NEUTRONIK TERAS RSG-GAS DENGAN POLA PERGANTIAN 5/1

Lily Suparlina, Tagor M.S.

### ABSTRAK

**KARAKTERISTIK PARAMETER KINETIKA DAN NEUTRONIK TERAS RSG-GAS DENGAN POLA 5/1.** Selama perjalanan operasi RSG-GAS, dari mulai teras pertama hingga kini, telah dilakukan berbagai aktivitas penelitian dan pengembangan di bidang tenaga nuklir, baik yang berhubungan dengan keselamatan, maupun yang berhubungan dengan penggunaan reaktor. Salah satu besaran yang menunjang kriteria keselamatan operasi, adalah parameter kinetika-neutronik. Besaran dapat ditentukan melalui pengukuran reaktivitas batang kendali. Pengukuran reaktivitas batang kendali yang dilakukan pada awal siklus teras kerja dengan pola pergantian 5/1, dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan pola 6/1 dan data desain. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa dengan melihat keseluruhan harga reaktivitas pola pergantian 5/1 yang diterapkan pada teras RSG-GAS mempunyai nilai kesetimbangan reaktivitas teras yang mendekati data desain. Dengan demikian reaktor RSG-GAS tetap berada dalam kriteria kesetimbangan.

### ABSTRACT

**KINETIC AND NEUTRONIC PARAMETER CHARACTERISTICS OF 5/1 PATTERN FOR RSG-GAS CORE.** Over the period of the MPR-GAS operation, since the first core, various activities to carry out R&D activities and to estimate reactor safety parameters and utilization have been conducted. One of the parameters support the safety operation is kinetic-neutronic parameters. The parameters could be determined from the results of control rod reactivity measurements. The control rod reactivity measurements conducted at the beginning of cycle for the 5/1 reshuffle pattern compared to the 6/1 reshuffle pattern results. Both values of different patterns have also been compared to design reactivity values. The evaluation results showed that from reactivity values of the whole rods, the 5/1 reshuffle pattern applied for RSG-GAS core has a reactivity balance closed to the design values Therefore RSG-GAS core is still being in a safety criteria..

### PENDAHULUAN

Selama perjalanan operasi, mulai dari teras pertama hingga kini (13 tahun), telah dilakukan berbagai aktivitas penelitian, baik yang berhubungan dengan keselamatan, maupun yang berhubungan dengan penggunaan reaktor. Salah satu kriteria keselamatan operasi, adalah besaran fisika re-aktor yang terdiri dari besaran kinetika, neutronik dan termohidrolika. Besaran kinetika dapat digambarkan dalam bentuk karakteristik reaktivitas teras reaktor. Karakteristik reaktivitas teras reaktor menggambarkan kesetimbangan reaktivitas yang dipunyai oleh suatu teras reaktor, menyangkut kelakuannya selama pengoperasian reaktor. Karakteristik ini mempunyai arti penting bagi keselamatan operasi suatu reaktor.

Karakteristik reaktivitas yang di-evaluasi adalah karakteristik reaktivitas teras dengan pola pergantian 5/1 yang berasal dari hasil pengukuran yang bersifat statis yang dilakukan dengan menggunakan fungsi dari batang kendali, seperti

pengukuran reaktivitas batang kendali itu sendiri. Dari hasil pengukuran reaktivitas batang kendali dapat ditentukan harga reaktivitas lainnya seperti reaktivitas lebih teras, reaktivitas padam, reaktivitas xenon. Dengan demikian dapat diketahui kesetimbangan reaktivitasnya. Kesetimbangan reaktivitas tersebut di atas akan dibandingkan dengan data desain yang menggunakan pola per-gantian 6/1. Dengan demikian, melalui kajian parameter kinetik-neutronik ini dapat diketahui tingkat kesesuaian nilai reaktivitas yang dihasilkan dalam suatu operasi sesuai dengan data desain teras.

### TEORI

#### REAKTIVITAS

Reaktivitas adalah besaran yang menggambarkan selisih penyimpangan dari kondisi kritis suatu reaktor.<sup>(1)</sup>



$$\rho = \frac{\Delta k_{eff}}{k_{eff}} = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}} \quad (1)$$

dimana :

$\rho$  = reaktivitas  
 $k_{eff}$  = konstanta multiplikasi efektif / faktor perlipatan efektif (perbandingan jumlah neutron pada suatu generasi dengan jumlah neutron pada generasi sebelumnya)

Jika :  $\rho = 0$  disebut reaktor dalam keadaan kritis

$\rho > 0$  disebut reaktor dalam keadaan superkritis

$\rho < 0$  disebut reaktor dalam keadaan subkritis

**REAKTIVITAS LEBIH**

Reaktivitas lebih adalah jumlah reaktivitas yang diperlukan dalam peng-operasian suatu reaktor untuk satu siklus operasi. Harga reaktivitas lebih tergantung pada waktu (yang dikarenakan oleh adanya fraksi bakar) dan temperatur (dikarenakan adanya umpan balik reaktivitas)<sup>(1)</sup>. Dalam satu siklus penge-lolaan teras harus dapat memberikan re-aktivitas lebih guna beroperasinya re-aktor. Harga reaktivitas lebih yang lebih besar akan memberikan umur teras yang lebih lama.

**REAKTIVITAS PADAM (SHUTDOWN)**

Reaktivitas padam merupakan nilai reaktivitas negatif dimana seluruh batang kendali berada pada posisi terbawah. Reaktivitas padam juga merupakan fungsi waktu seperti halnya reaktivitas lebih. Misalnya, reaktivitas padam pada ke-adaan teras dingin dan bersih dengan temperatur kamar dan bahan bakar yang baru, dimana belum terjadi deplesi maupun pembangkitan produk fisi, akan berbeda nilainya dengan teras yang telah dioperasikan pada suatu waktu tertentu. Reaktivitas padam mempunyai harga faktor multiplikasi di bawah kritis ( $k < 1$ ) meski satu batang kendali dengan nilai reaktivitas terbesar gagal masuk, yang disebut dengan reaktivitas padam pada kondisi *stuck rod*<sup>(1)</sup>.

**REAKTIVITAS TOTAL**

Reaktivitas total merupakan pen-jumlahan nilai reaktivitas lebih dan reaktivitas padam dan

juga merupakan penjumlahan seluruh reaktivitas batang kendali pada posisi maksimum.

$$\Delta \rho = \rho_{lebih} + \rho_{padam} \quad (2)$$

**REAKTIVITAS YANG HILANG**

Reaktivitas yang terpakai selama satu siklus operasi dipengaruhi oleh besarnya energi yang dibangkitkan, sejak awal hingga akhir siklus, dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut<sup>(2)</sup>:

$$\rho_{f,b} = -k_{f,b} \frac{Q}{m_f} \quad (3)$$

dimana :

- $\rho_{f,b}$  : reaktivitas yang terbakar [%]
- $k_{f,b}$  : konstanta elemen bakar
- $Q$  : energi termal yang dihasilkan [MWd]
- $m_f$  : massa nuklida [ton]

**REAKTIVITAS BATANG KENDALI**

Reaktivitas batang kendali merupakan nilai reaktivitas dari setiap batang kendali yang merupakan akibat dari adanya perubahan reaktivitas dalam teras dan pemasukan elemen bakar.

Untuk keperluan operasi reaktor, telah dilakukan pengukuran reaktivitas batang kendali dengan menggunakan metode kompensasi berpasangan.

Dasar perhitungan yang digunakan perhitungan reaktivitas ialah<sup>(3)</sup>:

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{\rho - \beta}{\ell} n(t) + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i(t) \quad (4)$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta_i}{\ell} n(t) - \lambda C_i(t) \quad (5)$$

dimana :

- $n(t)$  = rapat neutron
- $C_i(t)$  = konsentrasi neutron kasip kelompok ke i
- $\beta_i$  = fraksi neutron kasip
- $\beta$  = fraksi neutron kasip total
- $\ell$  = umur rata-rata neutron
- $\lambda_i$  = tetapan peluruhan neutron kasip kelompok ke i
- $\rho$  = reaktivitas

$$\rho = \frac{1}{n(t)} \left( \frac{dn(t)}{dt} + \sum_{i=1}^6 \frac{dC_i}{dt} \right) \quad (6)$$



Posisi dari kedelapan batang kendali dalam teras reaktor dapat dilihat pada Gambar 1.

### PERHITUNGAN REAKTIVITAS BATANG KENDALI

Untuk keperluan operasi diperlukan nilai reaktivitas batang kendali guna mengetahui keadaan atau nilai reaktivitas pada setiap saat, baik dalam kondisi operasi daya rendah maupun daya tinggi. Perhitungan dengan menggunakan metode interpolasi linier dua titik menghasilkan harga reaktivitas batang kendali dari posisi 0 s. d 600 mm<sup>(4)</sup>.

### TATA KERJA

Semua data reaktivitas teras hasil pengukuran berasal dari hasil pengukuran reaktivitas batang kendali dengan menggunakan metode kompensasi, baik kompensasi dengan bank ataupun kompensasi berpasangan dengan satu batang kendali lainnya yang posisinya beseberangan dengan batang kendali tersebut..

### PENGUKURAN REAKTIVITAS BATANG KENDALI

Syarat yang diperlukan untuk pengukuran reaktivitas batang kendali ialah: reaktor siap beroperasi pada daya rendah, dingin dan bersih, pada awal siklus setelah pemuatan teras

### PERALATAN YANG DIGUNAKAN

- Reaktivitmeter
- Servogor 320 untuk pencatat reaktivitas
- Detektor *start up* (JKT01), *intermediate* (JKT02) dan *wide range* (JKT04).

Dari harga reaktivitas batang kendali yang didapat dari hasil pengukuran dengan metode

kompensasi, dibuatlah grafik/kurva reaktivitas. Dengan demikian dapat diketahui reaktivitas padam, total, reaktivitas lebih dan reaktivitas padam kondisi stuck rod. Untuk mengetahui reaktivitas batang kendali yang lebih rinci untuk setiap ketinggian posisi batang kendali, dilakukan dengan menggunakan program interpolasi linier yang diagram alirnya ditunjukkan pada Gambar 2. Sehingga bila terjadi perubahan reaktivitas akibat adanya gangguan teras, dengan melihat posisi batang kendali akan dapat diketahui reaktivitasnya. Selain itu data tersebut dapat pula digunakan untuk mengatur pengoperasian reaktor kembali setelah terjadinya *scram* karena adanya pembangkitan xenon.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Adanya intensitas fluks tinggi karena kerapatan daya tinggi dalam teras (kerapatan daya tinggi merata dalam teras adalah 175,137 W/ml)<sup>(5)</sup> menghasilkan kecepatan konsumsi nuklida penyerap yang lebih tinggi, sehingga perlu dilakukan pengkajian mengenai besaran reaktivitas teras reaktor. Komposisi teras dengan muatan total sekitar 8,762 kg pada awal siklus reaktor dapat dioperasikan selama 25 hari daya penuh yaitu pada daya 30 MW atau sama dengan 750 MWD pada akhir siklus. Reaktivitas lebih yang dihasilkan cukup untuk mengkompensasi fraksi bakar elemen bakar, peracunan Xe dan Sm, kenaikan daya, atau kehilangan reaktivitas lain untuk iradiasi ataupun eksperimen.

Harga reaktivitas yang tertera pada Tabel 1 merupakan harga untuk teras 7 yang masih menggunakan pola pergantian 6/1 dan teras 37 yang menggunakan pola pergantian 5/1 dibandingkan dengan data desain dari pemasok. Dari tabel tersebut terlihat beberapa perbedaan harga antara harga pengukuran dengan pola 6/1, 5/1 dan desain.



Tabel 1. Data reaktivitas hasil pengukuran, data desain dankondisi pengukuran

Reaktivitas	Pengukuran pola 6/1	Pengukuran pola 5/1	Desain <sup>(6)</sup>
$\rho$ lebih (%)	9,75 ( 6%)	9,65 ( 4,9%)	9,20
$\rho_{total}$ (%)	-15,32 (5,7%)	-13,46 (7,1%)	-14,50
$\rho_{bk}$ terbesar (%)	-3,20 (3,2%)	-1,91 (38,4%)	-3,10
$\rho_{padam}$ (%)	-5,57 (5,1%)	-3,81 (28,1%)	-5,30
$\rho_{padam}$ stuck rod (%)	-2,37 ((7,7%)	-2,49 (13,2%)	-2,20
Posisi kritis b.k.	252/251	226/226	-
Energy yang telah dibangkitkan	3.034.364	22.413,881	-

Pengukuran reaktivitas batang kendali yang dilakukan setiap permulaan teras baru, dimaksudkan untuk mengetahui nilai reaktivitas masing-masing dari delapan batang kendali.

Data reaktivitas yang dikeluarkan dari servorgor 320 sebagai posisi batang kendali disusun dalam sebuah tabel dan perhitungannya dilakukan dengan menjumlahkan setiap langkah perubahan reaktivitas mulai posisi 0 mm sampai dengan posisi 600 mm Selanjutnya dibuat kurva reaktivitas sebagai fungsi posisi pemasukan penarikan batang kendali yang dikenal dengan kurva S.

Dilakukan juga perhitungan reaktivitas dengan program interpolasi. Dengan demikian dapat ditentukan harga reaktivitas batang kendali untuk suatu posisi tertentu.

Dari seluruh hasil pengukuran reaktivitas dengan metode kompensasi dapat ditentukan :

a. **Reaktivitas batang kendali total.**

Pada Tabel 1 terlihat ada perbedaan harga untuk reaktivitas total data desain, dengan pengukuran pola 6/1 maupun 5/1 Perbedaan tersebut dikarenakan kondisi teras yang digunakan pada pengukuran merupakan kondisi teras dengan fraksi bakar aktual. Pola 6/1 dan 5/1 pun berbeda, karena makin bertambah siklus operasi, makin bertambah jumlah energi yang telah dibangkitkan. Ini berarti kemampuan penyerapan batang kendalipun berkurang sehingga berpengaruh juga pada nilai reaktivitas batang kendali terbesar.

b. **Reaktivitas padam reaktor**

Reaktivitas padam yang ditunjukkan pada Tabel 1 pola 6/1 hampir sama dengan data desain, sedangkan harga pada

pengukuran dengan pola 5/1 berbeda cukup jauh sekitar 28,1 %. Penyebabnya juga karena kemampuan batang kendali yang semakin berkurang. Untuk kondisi operasi daya tinggi, reaktivitas padam reaktor akan bertambah dikarenakan adanya penambahan reaktivitas xenon setimbang, dan reaktivitas padam ini akan bertambah seiring dengan bertambah lamanya operasi reaktor. Bila reaktor terpancung (*scram*) pada saat operasi daya tinggi, maka akan timbul pembangkitan xenon. Bila hal ini terjadi pada awal siklus, maka dalam waktu kurang dari dua jam, reaktor masih dapat dikritisikan kembali menuju daya semula, tetapi bila reaktor terpancung pada pertengahan atau akhir siklus, maka kemungkinan kecil untuk dapat mengkritisikan reaktor dalam waktu singkat, karena konsentrasi xenon dalam teras semakin bertambah. Pada kondisi ini reaktivitas padam mencapai harga maksimum, yaitu sama dengan reaktivitas total batang kendali. Dengan demikian diperlukan waktu untuk peluruhan konsentrasi xenon, agar reaktor dapat dikritisikan kembali yang disebut waktu padam reaktor.

c. **Reaktivitas padam kondisi stuck rod**

Reaktivitas padam kondisi *stuck rod* dapat ditentukan dengan mengurangi harga reaktivitas padam dan reaktivitas batang kendali terbesar. Karena adanya perbedaan dalam harga reaktivitas padam masing-masing kondisi dan nilai reaktivitas batang kendalinya, maka reaktivitas padam kondisi *stuck rod* pun terdapat perbedaan, namun perbedaan tersebut cukup kecil, dan masih



memenuhi kriteria yaitu  $> 2 \%$ . Ini berarti untuk keperluan eksperimen, reaktor dapat dioperasikan karena reaktor masih dapat dipadamkan meskipun satu batang kendali gagal masuk. Kondisi ini akan semakin terpenuhi seiring dengan bertambah lamanya operasi reaktor dalam satu siklus.

**d. Reaktivitas lebih teras**

Reaktivitas lebih teras yang didapat dari persamaan (2) diperlukan agar reaktor dapat dioperasikan sesuai dengan waktu yang diperlukan. Reaktivitas lebih merupakan pengurangan dari reaktivitas total batang kendali dan reaktivitas padam reaktor. Re-aktivitas lebih tersebut akan berkurang

seiring dengan bertambah lamanya operasi reaktor dalam satu siklus. Bilamana reaktivitas lebih tidak memungkinkan untuk men-cukupi kebutuhan operasi, maka reaktor dipadamkan untuk pembentukan teras baru berikutnya. Untuk teras reaktor RSG-GAS, reaktivitas yang diperlukan untuk keperluan operasi adalah  $9,2 \%$  agar dapat dioperasikan selama 25 hari operasi daya penuh, yang setara dengan 750 MWD untuk pola pergantian 6/1 dan sekitar 610 MWD untuk pola pergantian 5/1. Dengan memperhatikan data reaktivitas lebih hasil pengukuran pola 6/1 dan 5/1, kedua-duanya menunjukkan bahwa kebutuhan operasi di atas terpenuhi.

**Tabel 2. Susunan reaktivitas pada teras aktif (TWC)**

	Desain <sup>(6)</sup>	Pengukuran pola 6/1	Pengukuran pola 5/1
Panas → dingin	$\Delta\rho = 0,3 \%$	$\Delta\rho = 0,29 \%$	$\Delta\rho = 0,29 \%$
Xenon setimbang → bebas xenon	$\Delta\rho = 3,5 \%$	$\Delta\rho = 3,4 \%$	$\Delta\rho = 3,4 \%$
Pembakaran per siklus	$\Delta\rho = 3,0 \%$	$\Delta\rho = 3,0 \%$	$\Delta\rho = 3,0 \%$
Keperluan eksperimen	$\Delta\rho = 2,0 \%$	$\Delta\rho = 2,66 \%$	$\Delta\rho = 2,56 \%$
Persediaan kontrol (xenon, beamtube)	$\Delta\rho = 0,4 \%$	$\Delta\rho = 0,4 \%$	$\Delta\rho = 0,4 \%$
Reaktivitas yang tersedia pada BOC Dingin tanpa xenon	$\Delta\rho = 9,2 \%$	$\Delta\rho = 9,75 \%$	$\Delta\rho = 9,65 \%$

Perbedaan reaktivitas dari kondisi panas ke dingin adalah merupakan selisih dari reaktivitas teras pada kondisi dingin dan kondisi operasi, panas bebas xenon.

Pada Tabel 2, data perubahan reaktivitas panas ke dingin hasil pengukuran ditentukan dari reaktivitas operasi daya tinggi dikurangi reaktivitas daya rendah bebas sumber Reaktivitas daya tinggi tersebut telah dikurangi dengan reaktivitas xenon yang didapat dari hasil pengukuran dengan menggunakan metode kompensasi. Data harga reaktivitas xenon yang ditunjukkan pada Tabel 2 adalah reaktivitas xenon setimbang. Harga pengukuran mendekati harga data desain, sehingga harga perubahan reaktivitas panas ke dingin juga mendekati. Dengan demikian kesetimbangan reaktivitas untuk teras RSG-GAS terpenuhi.

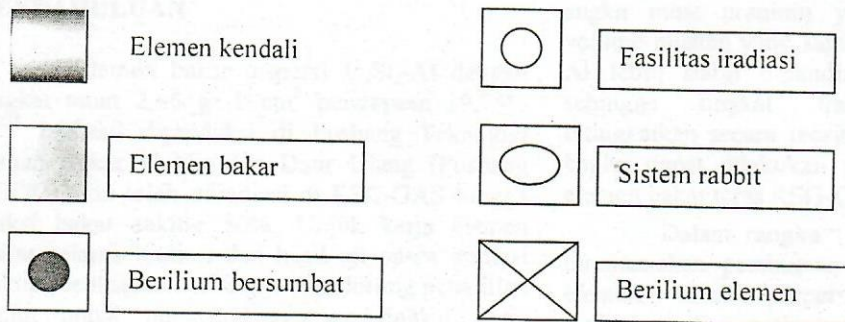
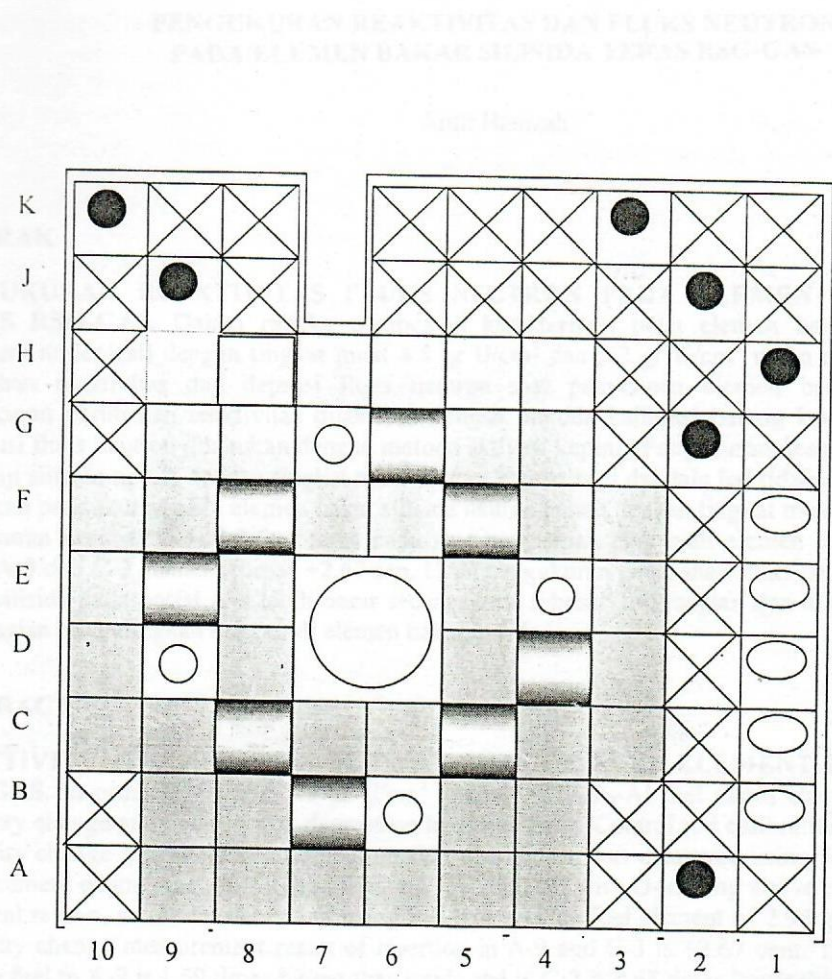
**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pengukuran harga reaktivitas yang ditentukan melalui pengukuran reaktivitas batang kendali untuk pola 6/1 dan 5/1 didapat nilai kesetimbangan reaktivitas teras yang mendekati atau hampir sama dengan data desain dengan penyimpangan masing-masing antara  $3,2 - 7,7 \%$  untuk harga reaktivitas lebih, reaktivitas total. Untuk reaktivitas padam dan reaktivitas batang kendali terbesar dan reaktivitas padam kondisi stuck rod terdapat perbedaan yang cukup besar, masing-masing  $28,1 \%$ ;  $38,4 \%$  dan  $13,2 \%$ . Hal tersebut dikarenakan terjadinya deplesi pada batang penyerap. Namun demikian dengan melihat keseluruhan harga reaktivitas, kesetimbangan reaktivitas tetap terpenuhi agar reaktor RSG-GAS dapat beroperasi dengan aman.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. JAMES DUDERSTADT, LOUIS J HAMILTON., "Nuclear Reactor Analysis" , John Wiley & Sons, Inc, Michigan 1975
2. H. BOCK ., "Reactor Kinetics and Dynamics"., lecture notes at RTS on The Use of PC in Research Reactor Operation and Management, Bandung – Indonesia, 1991
3. LILY SUPARLINA., "Diklat Keahlian Dasar Bidang Tenaga Atom", Pusdiklat BATAN 1986
4. LILY SUPARLINA dkk., "Pemanfaatan Interpolasi Linier pada Perhitungan Reaktivitas Batang Kendali". Buletin PRSG Tri Dasa Mega Volume 3 No. 2 Juli 1994
5. LIEM PENG HONG., Depletion Analysis on The Control Rod Absorber of RSG-GAS Oxide and Silicide Fuel Cores., Atom Indonesia, vol 25, No 1 January 1999
6. Safety Analysis Report MPR 30. Revisi 7. Volume 1, BATAN 1993





Gambar 1. Konfigurasi teras kerja RSG-GAS