

## ANALISIS TERMOHIDROLIKA TERAS RSG-GAS DENGAN PEMASUKAN TARGET IRADIASI PADA POSISI-POSISI IRADIASI

Muh. Darwis Isnaini, Kurnia Putranta, Dewanto S  
Pusat Reaktor Serba Guna-Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

ANALISIS TERMOHIDROLIKA TERAS RSG-GAS DENGAN PEMASUKAN TARGET IRADIASI PADA POSISI-POSISI IRADIASI. Di dalam teras RSG-GAS terdapat 8 buah posisi iradiasi yang masing-masing dapat digunakan dengan cara mengganti elemen penutup dengan *stringer* yang telah diisi kapsul sebagai tempat target iradiasi. Akibat pemasangan *stringer* tersebut, maka aliran yang masuk ke dalam elemen bakar menjadi berkurang, berpindah masuk ke *stringer*. Untuk mengetahui tingkat keselamatan akibat penurunan aliran tersebut, telah dilakukan pengukuran laju alir pada teras X. Diperoleh laju alir rerata di dalam elemen bakar tanpa dan dengan pemasukan 1, 2, 3 dan 4 *stringer*, masing-masing sebesar 48,63; 48,14; 47,57; 47,19 dan 46,54 m<sup>3</sup>/jam. Analisis menggunakan program COOLOD\_N, dengan memanfaatkan 4 buah posisi iradiasi sekaligus, pada daya operasi 30 MW dan dengan faktor radial 2,40 diperoleh suhu maksimum plat elemen bakar 130,30 °C, DNBR dan OFIR minimum masing-masing 1,82 dan 1,48 ini berarti reaktor masih dalam kondisi aman.

### ABSTRACT

THERMAL-HYDRAULICS ANALYSIS OF THE RSG-GAS CORE WITH IRRADIATION TARGET INSERTION IN THE IRRADIATION POSITIONS. The RSG-GAS is a multi purpose reactor, besides for research, it is also for irradiation services, irradiation of " Fission Product Molybdenum-FPM ". There are 8 irradiation positions in the active core. When use, the IP's are replaced by stringer filled with target's capsul. Consequently, the flow rate in the fuel elements will decrease. From the flow measurement, the average flow rate in a fuel element, without and with 1, 2, 3 and 4 stringers inserted are 48.63; 48.14; 47.57; 47.19 and 46.54 m<sup>3</sup>/h. Respectively analyses by COOLOD\_N with 4 stringers, at 30 MW and a radial factor of 2.40, show that the maximum plate temperature is 130.33 °C, and minimum DNBR and OFIR are 1.82 and 1.48. It's means the reactor can be operated safely.

### PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy di samping digunakan untuk penelitian juga digunakan untuk pelayanan iradiasi seperti untuk mengiradiasi Fission Product Molybdenum-FPM, yang pengerjaannya dilakukan di posisi iradiasi yang terdapat di dalam teras RSG-GAS. Bagian teras aktif RSG-GAS tersusun atas 40 buah elemen bakar, 8 batang kendali dan 8 buah posisi iradiasi (irradiation position-IP) yang terdiri dari 4 buah posisi iradiasi kecil dan sebuah posisi iradiasi sentral (CIP) yang berisi 2 x 2 posisi *grid* yang masing-masing elemen di atas menempati posisi sebuah *grid*. Pemakaian IP dilakukan dengan cara mengganti elemen penutup dengan *stringer* yang telah diisi dengan kapsul sebagai tempat target iradiasi. Akibat pemasangan *stringer* tersebut, maka aliran yang masuk ke dalam elemen bakar menjadi berkurang, berpindah masuk melalui *stringer*. Oleh sebab

itu perlu ditentukan berapa *stringer* yang boleh dimasukkan untuk setiap kali operasi reaktor.

Pada teras X, telah dilakukan pengukuran distribusi laju alir pendingin di beberapa posisi elemen bakar dengan menggunakan turbine flow meter-TFM yang dipasang di dalam *end fitting* elemen bakar dummy. Besarnya laju alir pendingin dihitung sebagai fungsi putaran per menit. Berdasarkan desain *Safety Analysis Report-SAR* [1] besarnya simpangan laju alir pendingin di masing-masing elemen bakar dengan laju alir reratanya tidak boleh lebih dari 3 %.

Di dalam makalah ini disajikan hasil pengukuran laju alir beberapa posisi elemen bakar pada kondisi reaktor tanpa dan dengan pemasukan 1, 2, 3 dan 4 *stringer* pada IP, serta analisis termohidrolika dengan pemasukan target iradiasi pada IP dengan menggunakan COOLOD\_N.

**TEORI**

Secara garis besar laju alir pendingin yang melalui teras aktif  $w_{ta}$  dibagi menjadi tiga komponen yaitu laju alir rerata yang melalui elemen bakar  $w_{eb}$ , yang melalui batang kendali  $w_{bk}$ , dan yang melalui posisi iradiasi  $w_{ip}$ , sehingga

$$w_{ta} = 40.w_{eb} + 8.w_{bk} + 8.w_{ip} \quad (1)$$

dengan  $w$  = laju alir ( $m^3/jam$ )

karena  $w = A.V$  (2)

$A$  = luas/tampang lintang aliran,  $m^2$

$V$  = kecepatan pendingin,  $m/jam$

maka

$$w_{ta} = 40.A_{eb}.V_{eb} + 8.A_{bk}.V_{bk} + 8.A_{ip}.V_{ip} \quad (3)$$

Setiap penggantian penutup IP dengan *stringer* akan memperbesar luas/tampang lintang aliran IP yang berarti memperbesar laju alir yang melalui IP.

$$A^1_{ip} > A_{ip} \text{ dan}$$

$$w^1_{ip} > w_{ip} \quad (4)$$

Dimana  $A^1$  dan  $W^1$  adalah luas/tampang aliran dan laju alir sesudah penggantian penutup IP dengan *stringer*. Menurut hukum kesetaraan massa, apabila laju alir pendingin yang melalui teras aktif tetap, dengan kenaikan laju alir pendingin di IP, berarti, laju alir rerata yang melalui elemen bakar dan batang kendali menjadi berkurang.

Dalam program COOLOD\_N [2], perhitungan suhu plat elemen bakar berdasar asumsi bahwa pembangkitan panas di dalam *meat* elemen bakar konstan sepanjang arah aksial, yang berarti konduksi panas hanya terjadi pada satu arah saja. Distribusi suhu aksial sebuah plat elemen bakar dihitung dari suhu campuran lokal pendingin (*local bulk temperatures of coolant*) dan faktor puncak aksial (*axial peaking factors*).

Faktor keselamatan yang ditetapkan di dalam SAR adalah besarnya harga (batas) keselamatan terhadap ketidak-stabilan aliran (*Onset of Flow Instability Ratio-OFIR*) yang harga minimalnya 3,38 (pada daya nominal), dengan korelasi :

$$\eta = \frac{[T_s(z) - T_c(z)] V(z)}{q''(z)} \quad (5)$$

$\eta$  = parameter pelepasan gelembung (*bubble detachment parameter*)

$T_s$  = suhu saturasi pendingin,  $^{\circ}C$

$T_c$  = suhu pendingin campuran (*bulk coolant temperature*),  $^{\circ}C$

$V$  = kecepatan pendingin,  $cm/detik$

$q''$  = fluks panas,  $W/cm^2$

$z$  = jarak dari kanal masukan pendingin,  $cm$

Sedangkan batas keselamatan yang digunakan di dalam program COOLOD\_N adalah :

- batas suhu terhadap awal pendidihan titik (*Onset of Nucleate Boiling-ONB*)

- batas keselamatan terhadap ketidakstabilan aliran (*Onset of Flow Instability Ratio-OFIR*), dengan korelasi Whittle dan Forgan:

$$\frac{T_o - T_i}{T_s - T_i} = \frac{1}{1 + \eta \frac{D_H}{L_H}} \quad (6)$$

$T_o$  = suhu pendingin keluaran,  $^{\circ}C$

$T_i$  = suhu pendingin masukan,  $^{\circ}C$

$L_H$  = panjang yang dipanasi,  $m$

$D_H$  = diameter ekuivalen yang dipanasi,  $m$

- batas keselamatan terhadap pelepasan dari pendidihan titik (*Departure from Nucleate Boiling-DNBR*)

**TATAKERJA**

*Pengukuran laju alir.*

Pengukuran laju alir di posisi elemen bakar di dalam teras menggunakan turbin flow meter yang dipasang pada *end fitting* elemen bakar *dummy* yang dihubungkan dengan alat pencah (*counter*), sedangkan laju alir total sistem primer maupun tekanan di teras reaktor dapat dibaca pada panel instrumentasi JE01/CF811/821/831 dan CP811/821/831 yang terdapat di ruang kontrol utama, bisa juga dicetak pada *line recorder* bergantian dengan laju aliran pompa JE01 AP001, AP002 dan AP003 atau dengan bantuan digital multimeter. Pengukuran laju alir ini dilakukan tanpa dan dengan pemasukan 1, 2, 3 dan 4 *stringer* ke dalam IP. Posisi elemen bakar yang diukur laju alirnya untuk kondisi teras standar (dalam artian tidak ada *stringer* dimasukkan ke dalam IP) adalah D-5, E-8, F-7, A-9 dan G-8, sedangkan posisi elemen bakar yang diukur laju alirnya dengan pemasukan 1, 2, 3 dan 4 *stringer* adalah D-5 dan F-7. Kondisi awal reaktor yang dibutuhkan :

- konfigurasi teras X telah terpasang,
- reaktor dalam keadaan padam (tidak beroperasi),
- sistem *flushing* sekunder beroperasi,
- sistem pemurnian primer beroperasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengukuran laju alir.

Hasil pengukuran laju alir pada berbagai posisi, dicantumkan pada Tabel 1 dan Tabel 2, sebagai berikut :

### Perhitungan dengan program COOLOD\_N

Dengan memasukkan hasil-hasil pengukuran antara lain laju alir (laju alir total = 3268 m<sup>3</sup>/jam atau 900,000 kg/det), fluks neutron di posisi D-5 dan F-7 serta suhu bahan bakar serta

Tabel 1. Hasil pengukuran distribusi laju alir teras X pada konfigurasi teras standar\*) [3]

Laju alir (m <sup>3</sup> /jam) pada elemen bakar di posisi						
D - 5	D - 5	D - 5	E - 8	F - 7	A - 9	G - 8
48,92 ± 1,7	48,84 ± 1,7	48,42 ± 1,7	48,67 ± 1,7	48,40 ± 1,7	48,65 ± 1,7	48,60 ± 1,7
Laju alir total (m <sup>3</sup> /jam), dengan kombinasi pompa primer JE01						
AP01 + 02	AP01 + 03	AP02 + 03	AP01 + 02	AP01 + 02	AP01 + 02	AP01 + 02
3268 ± 49	3268 ± 39	3264 ± 49	3268 ± 49	3268 ± 49	3268 ± 49	3268 ± 49

\*) - yang dimaksudkan konfigurasi teras standar adalah dalam artian tidak ada *stringer* atau bahan iradiasi yang lain di dalam teras reaktor.  
- Pengukuran dilakukan pada tanggal 8-9 Nopember 1993.

Tabel 2. Hasil pengukuran laju alir dengan pemasukan 1, 2, 3 dan 4 *stringer*, dengan kombinasi pompa primer JE01 AP01 dan AP02

Konfigurasi teras X standar	Laju alir (m <sup>3</sup> /jam)			
	D - 5	kum.	F - 7	kum.
tanpa <i>stringer</i>	48,92	0,00	48,40	0,00
+ 1 st di D - 6	48,21	0,71	48,06	0,34
+ 2 st di D - 6 dan E - 7	47,62	1,30	47,51	0,89
+ 3 st di D - 6, E - 7 dan G - 7	47,25	1,67	47,13	1,27
+ 4 st di D - 6, E - 7, G - 7 dan B - 6	46,58	2,34	46,50	1,90

Catatan : - st : *stringer*

- kum : penurunan kumulatif

- masing-masing *stringer* berisi 1 kapsul, dan 3 buah lubang lainnya terbuka.

a. Laju alir rerata tiap elemen bakar tanpa dan dengan pemasukan 1, 2, 3 dan 4 *stringer* masing-masing 48,63; 48,14; 47,57; 47,19 dan 46,54 m<sup>3</sup>/jam.

b. Dengan pemasukan 1, 2, 3 dan 4 *stringer* terjadi penurunan kumulatif rerata untuk tiap bahan bakar sebesar 0,525; 1,095; 1,47 dan 2,12 m<sup>3</sup>/jam atau 1,05; 2,22; 3,00 dan 4,34 %.

dengan faktor radial  $F_R = 2,40$  sebagai data masukan untuk program COOLOD\_N, diperoleh hasil yang terangkum pada Tabel 3 dan 4.

Jika dilihat dari Tabel 4 yang memakai asumsi pembangkitan panas bersih di teras sebesar 95 % dari daya total reaktor, dengan pemasukan sampai 4 *stringer*, pada daya 30 MW, batas keselamatan reaktor terhadap terjadinya ketidak-stabilan aliran (OFIR) untuk kanal

Tabel 3. Hasil perhitungan pada kanal rerata pada daya 30 MW dengan laju alir total 3268 m<sup>3</sup>/jam.

	Tanpa stringer	Dengan memasukkan stringer			
		1 bh	2 bh	3 bh	4 bh
1. a. Laju alir rerata tiap elemen bakar, m <sup>3</sup> /jam	48,63	48,14	47,57	47,19	46,54
2. Suhu pendingin primer					
a. masukan, °C	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
b. keluaran, °C	47,57	47,57	47,57	47,57	47,57
c. Delta T, °C	7,57	7,57	7,57	7,57	7,57
3. a. Suhu pendingin keluar kanal, °C	49,92	50,02	50,14	50,23	50,37
b. Suhu maks. plat, °C	74,12	74,40	74,73	74,96	75,35
c. Suhu maks. meat, °C	76,51	76,78	77,10	77,32	77,72
4. Fluks panas q", W/cm <sup>2</sup>					
a. rerata	36,326	36,326	36,326	36,326	36,326
b. maksimum	54,439	54,439	54,439	54,439	54,439
5. Batas suhu thd. ONB DT <sub>ONB</sub> = T <sub>ONB</sub> - T <sub>plat</sub>	53,81	53,59	53,34	53,16	52,85
6. Batas keselamatan thd.					
a. DNB minimum	5,49	5,43	5,37	5,32	5,25
b. OFI minimum	4,47	4,42	4,37	4,33	4,28

Catatan: Tabel 3 dan 4, daya termal reaktor 30 MW dengan asumsi pembangkitan panas netto di teras sebesar 28,5 MW atau 95 % dari daya total reaktor.

terpanas besarnya 1,48 (nilai ini setara dengan 5,72 berdasar korelasi SAR), ini menunjukkan bahwa reaktor masih aman beroperasi.

Antisipasi untuk kondisi terburuk yang mungkin terjadi, akan diperoleh :

a. jika diasumsikan daya termal seluruhnya (100 %) dibangkitkan di dalam teras, maka untuk daya 30 MW atau 105,26 % dari 28,5 MW dengan data masukan lain yang sama, dengan pemasukan 4 stringer, diperoleh harga antara lain suhu keluaran kanal, suhu plat maksimum dan suhu meat maksimum masing-masing sebesar 70,54; 132,63 dan 138,31 °C, serta OFIR minimum sebesar 1,41 (setara dengan 5,32 rumusan SAR), reaktor juga masih tetap aman.

b. antisipasi untuk kondisi over power atau daya termal reaktor sebesar 34,2 MW (114 % dari daya nominal), tetap dengan asumsi seluruh panas dibangkitkan di teras, diperoleh harga suhu keluaran kanal, suhu plat

maksimum dan suhu meat maksimum masing-masing sebesar 74,81; 138,14 dan 145,20 °C, serta OFIR minimum sebesar 1,23 (setara dengan 4,39 rumusan SAR). Jika dilihat dari harga OFIR reaktor masih cukup aman beroperasi pada daya lebih ini, namun harga suhu keluaran kanal terpanas sudah sama atau sedikit melampaui batas yang diijinkan (74,4 °C) ini berarti reaktor masih dalam limit batas aman.

c. antisipasi faktor radial FR = 2,60, harga yang diisyaratkan dalam SAR [1], dan reaktor beroperasi pada daya 30 MW (asumsi 100 % panas dibangkitkan di teras) diperoleh harga suhu keluaran kanal, suhu plat maksimum dan suhu meat maksimum masing-masing sebesar 71,59; 135,68 dan 142,38 °C, serta OFIR minimum sebesar 1,30 (setara dengan 4,85 rumusan SAR), ini berarti reaktor masih tetap aman.

Tabel 4. Hasil perhitungan pada kanal terpanas pada daya 30 MW dengan laju alir total 3268 m<sup>3</sup>/jam.

	Tanpa stringer	Dengan memasukkan stringer			
		1 bh	2 bh	3 bh	4 bh
1. a. Laju air rerata tiap elemen bakar, m <sup>3</sup> /jam	48,63	48,14	47,57	47,19	46,54
b. Kecep. pendingin, m/s	3,955	3,916	3,869	3,839	3,786
2. Suhu pendingin primer					
a. masukan, °C	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
b. keluaran, °C	47,57	47,57	47,57	47,57	47,57
c. Delta T, °C	7,57	7,57	7,57	7,57	7,57
3. Penurunan tekanan total teras reaktor, kg/cm <sup>2</sup>	0,580	0,569	0,555	0,546	0,531
4. a. Suhu pendingin keluar kanal, °C	67,77	68,05	68,39	68,62	69,01
b. Suhu maks, plat, °C	128,61	129,01	129,48	129,79	130,33
c. Suhu maks, meat, °C	134,48	134,89	135,36	135,67	136,21
d. Suhu atrurasi pada keluaran plat, °C	115,75	115,86	115,99	116,07	116,21
5. Fluks panas q", W/cm <sup>2</sup>					
a. rata-rata	109,850	109,850	109,850	109,850	109,850
b. maksimum	164,624	164,624	164,624	164,624	164,624
6. Batas suhu thd. ONB $DT_{ONB} = T_{ONB} - T_{plat}$	- 0,30	-0,65	- 1,05	- 1,32	- 1,77
7. Batas keselamatan thd.					
a. DNB minimum	1,90	1,88	1,86	1,85	1,82
b. OFI minimum	1,55	1,53	1,51	1,50	1,48

### KESIMPULAN

Dari hasil percobaan perhitungan yang dirangkum dalam tabel- tabel di atas, dapat disimpulkan :

Dari hasil perhitungan dengan program COOLOD\_N, dengan memasukkan sampai 4 stringer, reaktor tetap aman dioperasikan pada daya 30 MW.

### DAFTAR PUSTAKA

1. INTERATOM, Safety analysis report on RSG-GAS research reactor, Revisi 7 (September 1986).
2. Kaminaga, M., Core thermohydraulic analysis of the Indonesian research reactor RSG-GAS using COOLOD\_N code, Serpong Indonesia (Nopember 1989).

3. Muh. Darwis Isnaini, Dewanto S., Kurnia Putranta, Asnul S., Laporan pengukuran distribusi laju alir teras X, RSGEFT/93.03/T10.02/L, PRSG-BATAN, Serpong (Nopember 1993).
4. El Wakil, M.M., Nuclear Heat Transpor", The American Nuclear Society La Grange Park, Illionis (1978).
5. Arief Wibowo, dkk, Analisis distribusi laju alir pendingin teras IV, Prosiding Seminar Pen-dayagunaan Reaktor Nuklir Untuk Kesejahteraan Masyarakat, PPTN-BATAN, Bandung (September 1990).