

PENDINGINAN PADA BERBAGAI JUMLAH PELAT DI DALAM ELEMEN BAKAR TIPE MTR

Muh. Darwis Isnaini, Iman Kuntoro
Pusat Reaktor Serba Guna

ABSTRAK

PENDINGINAN PADA BERBAGAI JUMLAH PELAT DI DALAM ELEMEN BAKAR TIPE MTR. RSG-GAS merupakan reaktor jenis kolam dan berelemen bakar jenis MTR dalam bentuk dispersi U_3O_8 -Al dengan pengkayaan 19,75 % U-235. Sejalan dengan dikuasainya teknologi pembuatan elemen bakar oleh PEBN-BATAN, penelitian untuk mengembangkan dan membuat model elemen bakar tipe pelat menjadi menarik. Di dalam makalah ini ditulis penelitian model elemen bakar yang jumlah pelatnya bervariasi ditinjau dari segi termohidraulika. Perhitungan dilakukan untuk elemen bakar yang masing-masing mempunyai 17, 19, 21, 23, 25 dan 27 buah pelat bahan bakar dengan tebal pelat dan ukuran elemen bakar yang sama dan dengan batasan untuk daya reaktor yang sama yaitu 30 MW (daya nominal) dan 34,2 MW (daya lebihnya), serta laju alir primer 800 kg/detik. Hasil analisis yang dilakukan dengan program COOLOD-N menunjukkan bahwa hanya elemen bakar antara 19 dan 23 saja yang memenuhi kriteria keselamatan.

ABSTRACT

COOLING ON SEVERAL NUMBERS OF PLATES IN THE MTR TYPE FUEL ELEMENTS. RSG-GAS is a pool type reactor that uses material testing reactor (MTR) type fuel element of U_3O_8 -Al with U-235 enrichment of 19.75 %. In accordance with the advancement of fuel fabrication technology by the Centre for Nuclear Fuel Element Development (PEBN-BATAN), a research to develop and product the fuel of MTR type modelled will be interesting. This paper describes the thermal-hydraulics aspect in development of fuel model of several numbers of plates. The calculations were done for number of plates of 17, 19, 21, 23, 25 and 27 plates with the same plate width and fuel element dimension, for reactor power of 30 MW (nominal power) and 34.2 MW (over power), and primary coolant of 800 kg/s. Analyses using the COOLOD-N code showed that only fuel element with the number of plates between 19 and 23 meets the safety criterions.

PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) adalah reaktor riset yang bertipe kolam yang berdaya nominal 30 MW, pada saat ini menggunakan elemen bakar tipe pelat (tipe MTR) dengan pengkayaan 19,75 %. RSG-GAS saat ini tersusun atas 40 elemen bakar dan 8 elemen kendali, yang masing-masing terdiri 21 buah pelat tiap elemen bakar dan 15 buah pelat tiap elemen kendali, dengan ketebalan masing-masing pelat 1,30 mm. Baik itu elemen bakar maupun elemen kendali mempunyai ukuran penampang lintang 76,1 mm x 80,5 mm. Dengan kondisi saat ini, kanal pendingin sebelum dalam yaitu kanal yang terbentuk antara dua pelat yang berhadapan di dalam satu elemen bakar, mempunyai ukuran 67,1 mm x 2,55 mm¹.

Sejalan dengan semakin dikuasainya teknologi pembuatan elemen bakar tipe pelat oleh Pusat Elemen Bakar Nuklir (PEBN - BATAN), penelitian ke arah pembuatan model elemen bakar tipe pelat menjadi menarik. Salah satu segi penelitian yang penting adalah segi

termalhidrauliknya, yaitu evaluasi masalah pendinginan dan keselamatan pada elemen bakar tipe MTR yang berbeda-beda jumlah pelatnya.

Di dalam makalah ini disajikan hasil perhitungan perpindahan panas untuk elemen bakar yang masing-masing mempunyai 17, 19, 21, 23, 25 dan 27 buah pelat bahan bakar dengan tebal pelat dan ukuran elemen bakar yang sama. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program COOLOD-N².

Masalah yang muncul dengan bervariasinya jumlah pelat elemen bakar dari 17 hingga 27 pelat tiap elemen bakar adalah bahwa dengan bertambahnya jumlah pelat di dalam elemen bakar, panas yang dibangkitkan perpelat bahan bakar semakin kecil, tetapi hal ini berarti juga bahwa jumlah kanal menjadi semakin banyak sedangkan tebal kanal pendingin (luas aliran pendingin tiap elemen bakar) menjadi semakin kecil. Jika fraksi laju alir volumetrik yang mengalir melalui teras tetap, maka dengan bertambahnya kanal pendingin akan memberikan laju alir volumetrik perkanal akan menjadi kecil,

meskipun kecepatan pendingin menjadi semakin besar.

DASAR TEORI

Batas keselamatan yang dipakai untuk mengkaji pemilihan jumlah pelat elemen bakar dari segi termalhidraulika memakai kriteria sebagai berikut :

- a. harga suhu maksimum permukaan pelat dan pusat elemen bakar, yang besarnya masing-masing 145 °C dan 175 °C¹.
- b. harga suhu maksimum pusat elemen bakar yang besarnya 175 °C untuk elemen bakar di awal siklus dan 200 °C untuk akhir umur elemen bakar¹,
- c. batas keselamatan terhadap ketakstabilan aliran S (*Onset of Flow Instability Ratio - OFIR*) dengan menggunakan persamaan di dalam SAR¹:

$$OFIR \text{ atau } S = \frac{\eta}{\eta_c} \dots\dots\dots(1)$$

di mana h : parameter pelepasan gelembung (*bubble detachment parameter*) yang di dalam SAR ditentukan dengan korelasi:

$$\eta = \frac{[T_s(z) - T_c(z)]V(z)}{q'(z)} \dots\dots\dots(2)$$

dengan

- T_s : suhu saturasi pendingin, °C
- T_c : suhu pendingin campuran (*bulk coolant temperature*), °C
- V : kecepatan pendingin, cm/detik
- q" : fluks panas, W/cm²
- z : jarak dari kanal masukan pendingin, cm
- h_c : parameter pelepasan gelembung kritis, 22,1 cm³°K/W detik

Besarnya harga batas keselamatan terhadap ketidakstabilan aliran (S minimum) untuk untuk operasi RSG-GAS pada daya nominal 30 MW adalah 3,38¹

- d. batas keselamatan terhadap rejim pendidihan titik (*Departure from Nucleate Boilling - DNBR*), dituliskan dengan korelasi² :

$$DNBR = \frac{q_{DNB}''(z)}{q''(z)} \dots\dots\dots(3)$$

di mana

$$q_{DNB}'' = q_{DNB}'' h_{fg} \sqrt{\lambda \rho_g g (\rho_f - \rho_g)} 3600 \dots\dots\dots(4)$$

dan

$$q_{DNB,1}'' = 0,005 |G^*|^{0,611} \dots\dots\dots(5)$$

$$q_{DNB,2}'' = \frac{A}{A_H} \frac{\Delta h_f}{h_{fg}} |G^*|$$

q"DNB : fluks panas yang menyebabkan terjadinya rejim pendidihan inti

- l : panjang karakteristik = s/(r_f - r_g) , m
 - s : tegangan muka, kg/m
 - r : massa jenis, kg/m³
 - g : percepatan gravitasi, 9,8 m/det²
 - h_{fg} : panas laten penguapan, kcal/ kg
 - G* : laju alir massa (tanpa dimensi) = G/ l.g.r_g.(r_f - r_g)
 - G : laju alir massa, kg/m².detik
- subscript f untuk fluida dan g untuk uap (*steam*).

Besarnya harga batas keselamatan terhadap rejim pendidihan titik (DNBR minimum) adalah 1.00².

- e. kecepatan kritis pendingin yaitu kecepatan pendingin yang dapat menyebabkan pelat bahan bakar bergetar (*vibrasi*). Apabila kecepatan pendingin makin tinggi sedangkan pelat bahan bakar dapat bergerak (*movable*) atau fleksibel, maka kanal lintasan akan secara otomatis berkurang menuju nol dan aliran pendingin akan berhenti artinya kanal tersebut menjadi tidak dialiri oleh pendingin. Khan³ menuliskan persamaan Miller untuk menghitung kecepatan kritis untuk perangkat pelat datar sebagai :

$$V_{kritis} = \left[\frac{15 \times 10^5 E (t_p^3 - t_m^3) t_w}{\rho W^2 (1 - \nu^2)} \right]^{0,5} \dots\dots\dots(6)$$

di mana :

- E : Modulus Elastisitas Young = 70 N/mm² ¹
- t_p : tebal pelat, mm
- t_m : tebal *meat*, mm
- t_w : tebal kanal pendingin, mm
- W : lebar kanal pendingin, mm
- X : Poissons Ratio = 0,35¹

Untuk desain direkomendasikan bahwa ratio (perbandingan kecepatan pendingin dengan kecepatan kritis) harus berharga antara 0,63 sampai 0,85³.

- Kriteria lain yang perlu diperhatikan adalah :
- batas suhu terhadap awal pendidihan titik (*Onset of Nucleate Boilling - ONB*) yang di dalam program COOLOD-N² dituliskan dengan korelasi:

$$\Delta T_{omb} = T_{omb}(z) - T_{plat}(z) \dots \dots \dots (7)$$

Yang mana perlu dicari harga DT_{ONB} minimum yang berharga positif atau lebih dekat ke arah positif, artinya pada kanal tersebut tidak terjadi pendidihan titik atau hanya sedikit terjadi pendidihan titik.

TATA KERJA

Dengan batasan bahwa tebal pelat dan ukuran penampang lintang elemen bakar tetap masing-masing 1,30 mm dan 76,1 mm x 80,5 mm, dapat dihitung tebal kanal untuk masing-masing jumlah pelat 17, 19, 21, 23, 25 dan 27. Ukuran kanal ini merupakan salah satu data masukan di dalam program COOLOD-N. Data masukan yang lain di dalam perhitungan ini seperti yang disyaratkan di dalam SAR¹ adalah :

- perhitungan dilakukan untuk daya reaktor 30 MW (pada daya nominal) dan 34,2 MW (pada daya lebihnya),
- dengan anggapan (asumsi) 100% daya dibangkitkan dari hasil pembelahan bahan bakar,
- laju alir total pendingin primer 800 kg/detik, di mana laju alir sebesar ini adalah laju alir minimum yang harus dipenuhi untuk RSG,
- distribusi daya aksial berbentuk kosinus, dan
- faktor radial total untuk kanal panas berharga 3,415, yang mana faktor radial total ini berasal dari :
 - faktor kanal panas akibat pengaruh ketinggian batang kendali 1,61,
 - faktor peningkat panas yang disebabkan oleh lokasi elemen bakar 1,25,
 - faktor dari ketidak pastian perhitungan 1,20,
 - faktor fleksibilitas di dekat posisi iradiasi 1,08,
 - faktor akibat variasi kerapatan daya 1,07,
 - faktor yang disebabkan oleh terjadinya peningkatan suhu 1,07, dan
 - faktor fluks panas 1,20.

Perhitungan untuk variasi jumlah pelat ini hanya dilakukan untuk elemen bakar dengan tingkat pengkayaan 19,75% dan dengan densitas

2,965 gram U²³⁵/cc artinya muatan U²³⁵ per pelatnya tetap yaitu sekitar 11,9 gram, sehingga untuk elemen bakar dengan jumlah pelat berbeda akan berbeda pula muatan U²³⁵ nya. Demikian juga dengan jumlah elemen bakar dan elemen kendali dipergunakan jumlah yang sama yaitu masing-masing 40 dan 8. Data-data spesifikasi elemen bakar ini adalah data-data yang saat ini dipergunakan untuk elemen bakar RSG-GAS.

Perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan program COOLOD-N ini akan menghasilkan data distribusi suhu, distribusi fluks panas, batas terhadap awal pendidihan titik, batas keselamatan terhadap DNB dan S.

HASIL DAN BAHASAN

Data ukuran elemen bakar untuk variasi jumlah pelat dirangkum pada Tabel 1.

Hasil perhitungan dengan program COOLOD-N untuk variasi jumlah pelat di dalam elemen bakar pada daya nominal 30 MW dan laju alir minimum 800 kg/detik dirangkum pada Tabel 2. Sedangkan pada Gambar 1 ini dimuat grafik suhu pendingin keluaran kanal, suhu maksimum pelat dan suhu maksimum pusat *meat* bahan bakar, serta batas keselamatan terhadap rejim pendidihan titik (DNBR minimum) dan terhadap ketidakstabilan aliran (S minimum) sebagai perbandingan hasil perhitungan pada daya nominal 30 MW dan daya lebihnya 34,2 MW.

Dengan menerapkan kriteria yang terdapat dalam dasar teori, maka dari Tabel 2 dapat dirangkum ke dalam Tabel 3.

Dari rangkuman perhitungan yang dimuat di dalam Tabel 3 terlihat bahwa :

- Yang betul-betul memenuhi kriteria keselamatan di atas hanyalah elemen bakar dengan jumlah pelat 21 atau 23 buah,
- Elemen bakar dengan jumlah pelat 17 sangat tidak memenuhi kriteria keselamatan namun,
- Elemen bakar dengan jumlah pelat 25 atau 27 tidak memenuhi kriteria keselamatan, karena kecepatan pendingin di dalam kanalnya melebihi kecepatan kritisnya, hal ini dapat menyebabkan bengkaknya pelat bahan bakar yang selanjutnya dapat mengakibatkan penyempitan kanal atau bahkan penutupan kanal apabila pembuatan elemen bakar kurang baik,
- Sedangkan elemen bakar dengan jumlah pelat 19 tidak memenuhi kriteria karena suhu pelat dan *meatnya* lebih besar dari batas yang diijinkan. Namun pada kenyataannya, selama operasi RSG-GAS suhu pendingin masukan

tidak pernah melebihi $40,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ⁷, sehingga dimungkinkan suhu pelat dan suhu *meat* akan berkurang $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ dari harga pada Tabel 2 yaitu masing-masing menjadi sekitar $143\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $173\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang artinya elemen bakar dengan jumlah pelat 19 masuk kriteria. Pengambilan suhu masukan reaktor $44,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sendiri berdasarkan batasan suhu pada sistem

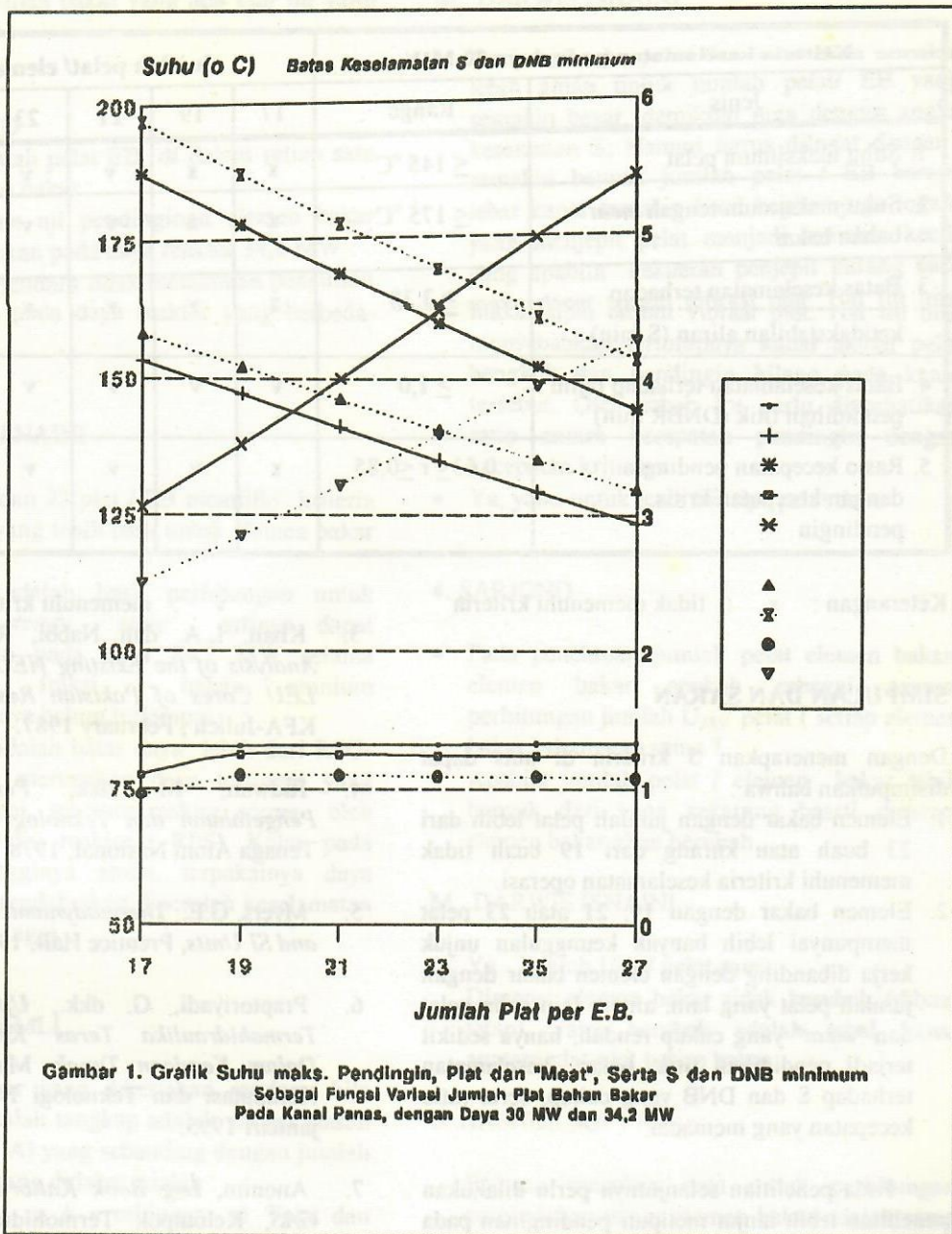
proteksi reaktor (*reactor protecting system - RPS*) di mana reaktor akan *scram* apabila suhu pendingin masukan mencapai harga suhu tersebut. Demikian juga bahwa perhitungan ini dilakukan untuk kondisi laju alir minimum, padahal kenyataannya RSG-GAS selalu beroperasi pada laju alir nominal 860 kg/detik atau lebih ⁷.

Tabel 1. Data ukuran elemen bakar untuk variasi jumlah pelat

	Jumlah Pelat Per Elemen Bakar					
	17	19	21	23	25	27
ELEMEN BAKAR						
1. Jumlah E. Bakar	40	40	40	40	40	40
2. Kisi elemen bakar Pitch) mmxmm	81,0x 77,1	81,0x 77,1	81,0x77,1	81,0x 77,1	81,0x 77,1	81,0x 77,1
3. Ukuran penampang lintang eb, mm x mm	80,5x 76,1	80,5x 76,1	80,5x76,1	80,5x 76,1	80,5x 76,1	80,5x 76,1
4. Tebal pelat, mm	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
5. Jum. kanal dalam	16	18	20	22	24	26
6. Tebal kanal, mm	3,46	2,96	2,55	2,22	1,94	1,70
a. kanal dalam	3,54	3,02	2,70	2,26	1,94	1,70
b. kanal terluar	1,52	1,26	1,10	0,88	0,72	0,60
c. Potongan tepi	67,1	67,1	67,1	67,1	67,1	67,1
7. Lebar Kanal, mm	2,3217	1,9862	1,7111	1,4896	1,3017	1,1407
8. Luas kanal, cm^2	37,1466	35,7509	34,2210	32,7716	31,2418	29,6582
9. Luas kanal efektif per E.B., cm^2						
ELEMEN KENDALI						
1. Jumlah E. Kendali	8	8	8	8	8	8
2. Jumlah pelat b.b.	12	13	15	17	18	19
3. Tebal kanal, mm						
a. kanal dalam	3,46	2,96	2,55	2,22	1,94	1,70
b. kanal terluar	2,97	3,59	2,20	1,96	1,60	2,15

Tabel 2. Hasil perhitungan dengan program COOLOD-N pada daya nominal 30 MW dan laju alir 800 kg/detik, untuk variasi jumlah pelat bahan bakar

	Jumlah Pelat Per Elemen Bakar					
	17	19	21	23	25	27
Masukan						
1. a. Jumlah pelat total	776	864	960	1056	1144	1232
b. Jumlah muatan U-235/ elemen bakar	202,38	226,19	250	273,81	297,62	321,43
c. Daya reaktor, MW	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
d. Daya rerata/pelat, kW	38,66	34,72	31,25	28,41	26,22	24,35
e. Laju alir total sistem primer (kg/det)	800	800	800	800	800	800
f. Suhu masukan reaktor (°C)	44,5	44,5	44,5	44,5	44,5	44,5
KELUARAN (HASIL)						
Kanal Rerata						
2. a. Suhu pendingin keluar kanal, °C	55,64	55,74	55,78	55,82	55,87	55,90
b. Suhu maks.pelat, °C	92,78	86,10	80,78	76,66	73,26	70,38
c. Suhu maks.meat, °C	102,75	95,05	88,72	83,74	79,79	76,45
d. Suhu saturasi pada keluaran pelat, °C	117,46	116,63	115,64	114,40	112,63	110,19
3. a. Kec. pendingin, m/det	3,68	3,84	3,99	4,14	4,36	4,61
b. Kecepatan kritis, m/det	6,52	6,03	5,59	5,22	4,88	4,57
c. Ratio = a / b	0,56	0,64	0,71	0,79	0,89	1,01
4. P _{total} teras, kg/cm ²	0,489	0,536	0,587	0,649	0,742	0,862
5. Fluks Panas q", W/cm ²						
a. rerata	49,93	44,85	40,36	36,69	33,87	31,39
b. maksimum	82,13	73,77	66,39	60,36	55,71	51,64
6. Batas suhu thd. ONB (T _{onb})	34,24	39,91	44,16	47,26	49,43	50,58
7. Batas Keselamatan thd.						
a. DNB minimum	3,80	4,29	4,26	4,25	4,23	4,22
b. S minimum ^[1]	13,78	15,88	18,18	20,57	23,12	25,79
Kanal panas						
8. a. Suhu pendingin keluar kanal, °C	82,50	82,75	83,02	83,11	83,25	83,37
b. Suhu maks.pelat, °C	153,31	147,20	141,11	135,01	129,32	123,47
c. Suhu maks.meat, °C	187,37	177,78	168,64	160,24	152,33	144,40
d. Suhu saturasi pada keluaran pelat, °C	117,52	116,73	115,73	114,53	112,80	110,44
9. a. Kec. pendingin, m/det	3,70	3,86	4,02	4,18	4,40	4,64
b. Kecepatan kritis, m/det	6,52	6,03	5,59	5,22	4,88	4,57
c. Ratio = a / b	0,57	0,64	0,72	0,80	0,90	1,02
10. DP _{total} teras, kg/cm ²	0,491	0,538	0,588	0,648	0,739	0,856
11. Fluks Panas q", W/cm ²						
a. rerata	166,34	153,15	137,84	125,30	115,66	107,20
b. maksimum	280,49	251,92	226,73	206,12	190,26	176,34
12. Batas suhu thd. ONB (DT _{onb})	-21,98	-16,29	-10,75	-5,80	-1,10	3,43
13. Batas Keselamatan thd.						
a. DNB minimum	1,10	1,25	1,25	1,24	1,24	1,23
b. S minimum ^[1]	3,07	3,52	4,00	4,50	4,99	5,44



Keterangan gambar :

- [1] atau ____ : untuk menggambarkan grafik untuk perhitungan daya 30 MW
- [2] atau --- : untuk menggambarkan grafik untuk perhitungan daya 34,2 MW
- subscript f : fluida atau pendingin
- c : cladding atau kelongsong/pelat
- m : meat bahan bakar

Tabel 3. Cek silang kriteria keselamatan untuk variasi jumlah pelat untuk perhitungan daya 30 MW.

Kriteria keselamatan pada daya 30 MW		Jumlah pelat/ elemen bakar					
Jenis	Range	17	19	21	23	25	27
1. Suhu maksimum pelat	$\leq 145\text{ }^{\circ}\text{C}$	x	x	v	v	v	v
2. Suhu maksimum tengah <i>meat</i> bahan bakar	$\leq 175\text{ }^{\circ}\text{C}$	x	x	v	v	v	v
3. Batas keselamatan terhadap ketidakstabilan aliran (S min)	$\geq 3,38$	x	v	v	v	v	v
4. Batas keselamatan terhadap rejim pendidihan titik (DNBR min)	$\geq 1,0$	v	v	v	v	v	v
5. Rasio kecepatan pendingin dengan kecepatan kritis pendingin	$0,63 \leq r \leq 0,85$	x	v	v	v	x	x

Keterangan : x : tidak memenuhi kriteria

v : memenuhi kriteria

SIMPULAN DAN SARAN

Dengan menerapkan 5 kriteria di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. Elemen bakar dengan jumlah pelat lebih dari 23 buah atau kurang dari 19 buah tidak memenuhi kriteria keselamatan operasi.
2. Elemen bakar dengan 19, 21 atau 23 pelat mempunyai lebih banyak keunggulan unjuk kerja dibanding dengan elemen bakar dengan jumlah pelat yang lain, antara lain suhu pelat dan "*meat*" yang cukup rendah, hanya sedikit terjadi pendidihan titik, batas keselamatan terhadap S dan DNB yang cukup, serta ratio kecepatan yang memadai.

Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut meliputi pendinginan pada variasi ketebalan pelat, di samping penelitian lain dari segi neutroniknya, dari segi pembuatannya (fabrikasi) dan lain sebagainya.

DAFTAR ACUAN

1. *Multipurpose Research Reactor G.A. Siwabessy, Safety Analysis Report Rev. 7*, BATAN, September 1989.
2. Kaminaga, M., *Coolod-N: A Computer Code, For The Analysis of Steady-State Thermal-Hydraulics in Plate-Type Research Reactors*, JAERI-M, 90-021, JAERI, February 1990.

3. Khan, L.A. dan Nabbi, R., *Heat-Transfer Analysis of the Existing HEU and Proposed LEU Cores of Pakistan Research Reactor*, KFA-Julich, February 1987.

4. Ridwan, M. dkk., *Pengantar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*, Badan Tenaga Atom Nasional, 1978.

5. Myers, G.E., *Thermodynamics Properties US and SI Units*, Prentice Hall, 1989.

6. Praptoriyadi, G. dkk., *Uji "Benchmark" Termohidraulika Teras Kerja RSG-GAS Dalam Keadaan Tunak*, Makalah Seminar Komputasi dan Teknologi Nuklir V, 24-25 Januari 1995.

7. Anonim, *Log Book Kalibrasi Daya RSG-GAS*, Kelompok Termohidraulika, Bidang Fisika Reaktor, PRSG - BATAN.

TANYAJAWAB

1. ABDUL ROJAK

- Dari uraian, tidak diikutsertakan faktor panjang PEB dalam perhitungan pendinginan. Apakah hal tersebut diabaikan ?

M. DARWIS ISNAINI

- Dalam perhitungan ini, faktor perubahan panjang belum dimasukkan, jadi panjang

bahan bakar yang dipakai sama dengan panjang bahan bakar yang ada saat ini yaitu 60 cm

2. SUGIHARTO

- Berapa jumlah pelat EB di dalam setiap satu buah elemen bakar
- Berapa lama uji pendinginan elemen bakar yang dilakukan pada daya reaktor 34,2 MW
- Mengapa Saudara tidak melakukan penelitian yang sama pada daya reaktor yang berbeda-beda

M. DARWIS ISNAINI

- Antara 19 dan 23 plat / EB memiliki kriteria kesehatan yang lebih baik untuk elemen bakar RSG
- Hasil ini adalah hasil perhitungan untuk kondisi *steady state*, artinya dapat dioperasikan pada daya 34,2 MW selama kandungan fraksi bahan uranium maksimumnya belum terlampaui.
- 34,2 MW adalah batas daya lebih dari RSG-GAS yang merupakan daya tertinggi yang dapat dicapai, sebelum reaktor *scram* oleh sistem proteksi reaktor (RPS). Kalau pada daya tertingginya aman, terpakainya daya yang lebih rendah akan diperoleh keselamatan yang lebih tinggi.

3. HILMAN RAMLI

- Prinsip dasar yang dikerjakan saudara, bila saya tidak salah tangkap adalah variasi luasan pendingin (A) yang sebanding dengan jumlah pelat hasil yang didapat adalah :
untuk plat $\Rightarrow A \llcorner$ sehingga a). $T_{\text{plat}} \llcorner$ dan $T_{\text{meat}} \llcorner \sim \varnothing / \text{plat} \llcorner$
b). $T_c \llcorner$; c) $\wedge T_{\text{DNB}} \llcorner$; d) $s \llcorner$
Kemudian sebagai *constrain / optimalisasi* hasil, anda mengambil batasan dari ratio $V_{\text{pendingin}}/V$ kritis berdasarkan rumusan miller. Pertanyaannya :

1. Apakah *constrain* tersebut dapat *valid* dari sisi nilai keselamatan (Note : harus dilihat juga artian fisis dan batasan - batasan dalam persamaan Miller)
2. Apakah batasan-batasan dalam persamaan Miller sesuai dengan kondisi perhitungan saudara (Juga kondisi yang ditetapkan dalam teras RSG-GAS)

M. DARWIS ISNAINI

- Dari segi suhu pelat dan *meat* akan semakin lebih aman untuk jumlah pelat/ EB yang semakin besar, demikian juga dengan angka kesematan S. Namun harus diingat dengan semakin banyak jumlah pelat / EB berarti lebar kanal semakin kecil begitu juga logam yang menjepit pelat menjadi semakin kecil, yang apabila kekuatan penjepit kurang baik maka dapat terjadi vibrasi plat. Hal ini bisa menyebabkan tertutupnya kanal akibat pelat bengkok dan pendingin hilang pada kanal tersebut. Oleh sebab itu perlu diperhatikan ratio antara kecepatan pendingin dengan kecepatan kritisnya
- Ya, yaitu untuk jenis EB tipe pelat datar

4. SARJONO

- Pada penentuan jumlah pelat elemen bakar/ elemen bakar apakah sebagai asumsi perhitungan jumlah U_{235} / pelat (setiap elemen bakar) dianggap sama ?
- Apabila jumlah pelat / elemen bakar lebih banyak dari yang sekarang berarti dimensi elemen bakar akan berubah .

M. DARWIS ISNAINI

- Ya, Jumlah U_{235} / pelat sama
- Dimensi elemen bakar tidak berubah (dibuat tetap), yang berubah adalah tebal kanal anatara plat-plat bahan bakar

5. HASNUL SOFYAN

- Batasan masukan data untuk perhitungan perpindahan panas elemen bakar adalah sama (Daya reaktor 34,2 MW, laju pendingin primer 800 Kg/detik)
Apakah dalam penelitian ini tidak dilakukan untuk variasi laju alir pendingin, mohon dijelaskan

M. DARWIS ISNAINI

- Ya, dalam penelitian ini tidak dilakukan variasi laju alir pendingin, 800 Kg/det merupakan laju alir minimum yang disyaratkan dalam SAR-RSG. Jika untuk laju alir minimum sudah memenuhi maka artinya untuk laju alir > 800 Kg/det akan diperoleh hasil yang lebih baik, dan untuk laju alir < 800 Kg/det diperoleh hasil lebih buruk

6. INDRO YUWONO

- Apakah hubungan antara jumlah pelat tipe kanal dan jumlah elemen kendali.
- Apakah dari penelitian Saudara ini berlaku umum atau spesifik. Bila berlaku umum dapatkan hubungan tersebut diformulasikan

M. DARWIS ISNAINI

- Berlaku umum, karena jika jumlah plat/ EB berubah maka tebal kanal pendingin berubah, dan agar tebal kanal pendingin di EB dan E kendali sama maka jumlah plat E kendali juga berubah
- Tidak dapat diformulasikan secara khusus (tidak linier)

7. PUGUH MARTYASA

- Bagaimana distribusi panas terjadi ?
- Apakah ada kemungkinan terjadi *Hot Spot* akibat masing - masing jumlah plat ?

M. DARWIS ISNAINI

- Karena distribusi daya aksial berbentuk kosinus maka distribusi panas (Fluks panas) juga berbentuk kosinus
Dengan bertambah jumlah plat/ elemen bakar, maka fluks panas semakin rendah
- Jika yang dimaksud dengan *Hot Spot* adalah titik terpanas, maka pada masing-masing jumlah pelat ada titik terpanasnya, yaitu yang ditunjukkan dengan T Pelat dan T Meat maksimum