

PENGARUH GAP DI DALAM PERPINDAHAN PANAS ELEMEN BAHAN BAKAR REAKTOR TRIGA MARK II

Heddy Krishyana Suyarto, Martias Nurdin, Sukodijat, Henky Pudjo Raharjo, Tantowi Lubay.
Pusat Penelitian Teknik Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PENGARUH GAP DIDALAM PERPINDAHAN PANAS ELEMEN BAHAN BAKAR REAKTOR TRIGA MARK II. Dilakukan pengukuran suhu elemen bakar reaktor TRIGA MARK II PPTN-BATAN pada posisi di Ring B-4, C-6, D-10, E-12 dan F-13 dengan menggunakan *Instrumented Fuel Element* (IFE) serta pengukuran suhu fluida didalam teras reaktor. Dari hasil pengukuran dihitung harga-harga konduktifitas bahan bakar dengan mempertimbangkan *gap* ada dan *gap* tidak ada diantara bahan bakar dan kelongsong. Dari hasil perhitungan diperoleh kesimpulan bahwa dengan adanya *gap* terjadi penurunan suhu antara bahan bakar dan kelongsong yang sangat besar, sedangkan tanpa *gap* penurunan suhu sangat kecil.

ABSTRACT

GAP EFFECT IN THE HEAT TRANSFER FUEL ELEMENT TRIGA MARK II REACTOR. An experimental has been performed to measure the fuel element and fluid temperatures in the TRIGA Mark II reactor at PPTN-BATAN by using Instrumented Fuel Element (IFE). From the experimental results, the fuel conductivity, the *gap* conductance, and the temperature distribution in the fuel element were calculated by assuming there is a *gap* and no *gap* between fuel meat and cladding. The calculation results showed that the *gap* will cause a large temperature drop. Otherwise, without the *gap*, the temperature drops very small.

PENDAHULUAN

reaktor nuklir didisain untuk menghasilkan panas yang dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik. Akan tetapi reaktor TRIGA Mark II di PPTN-BATAN yang telah beroperasi selama 25 tahun adalah reaktor riset dimana panas yang dihasilkan dibuang ke lingkungan. Panas didalam teras reaktor terjadi akibat adanya reaksi fisi antara bahan bakar uranium dan neutron. Panas ini dibangkitkan dalam elemen bakar nuklir dan dihantarkan ke pendingin. Untuk mengetahui besarnya tingkat panas yang dihasilkan elemen bahan bakar tersebut perlu diukur sehingga dapat dihitung perpindahan panasnya. Alat yang digunakan untuk mengukur suhu bahan bakar tersebut dinamakan *Instrumented Fuel Element* (IFE). Alat ini merupakan sebuah elemen bakar nuklir yang dilengkapi dengan 3 buah termokopel. Kemudian suhu fluida pendingin yang mengalir diantara bahan bakar didalam teras reaktor diukur dengan termokopel *crommel alumel*. Dari hasil pengukuran ini diperoleh harga suhu bahan bakar pusat, daya panas volumetrik, konduktifitas bahan bakar, konduktansi dari *gap*, suhu *gap* (bagian dalam dari kelongsong), dan suhu pada permukaan kelongsong.

Maksud dan tujuan dari makalah ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh dari *gap*

yang mempunyai lebar 0.0127 cm [1] terhadap distribusi suhu elemen bahan bakar dibandingkan dengan elemen bahan bakar yang tidak mempunyai *gap*. Untuk lebih jelasnya pada bagian selanjutnya dalam makalah ini akan dibahas mengenai perpindahan panas pada elemen bakar nuklir.

Agar perhitungan dapat disederhanakan, maka dalam melakukan perhitungan ini diambil beberapa asumsi, yaitu antara lain *gap* diantara bahan bakar dan kelongsong terisi oleh gas helium, sedangkan untuk gas hasil fisi yang terkungkung didalam kelongsong tidak diperhitungkan, fluks neutron dianggap tidak terlalu banyak berubah baik ke arah radiasi maupun aksial dan hantaran panas dianggap hanya ke arah radial dan merata kesegala arah.

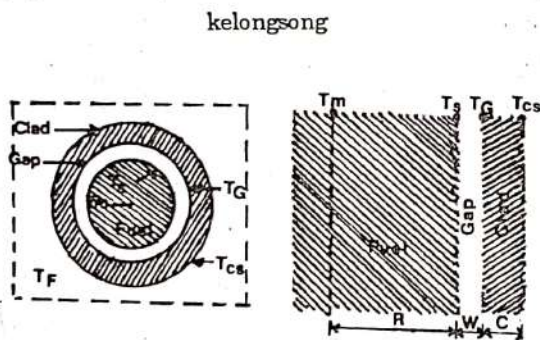
PERPINDAHAN PANAS DI DALAM ELEMEN BAKAR NUKLIR

Reaktor TRIGA Mark II di PPTN-BATAN menggunakan bahan bakar padat dari campuran homogen Uranium yang diperkaya 20% dengan moderator zirconium hidrida. Pada Tabel 1 berikut ini dapat dilihat spesifikasi elemen bakar reaktor TRIGA Mark II dan *Instrumented Fuel Element* (IFE). [2]

Tabel 1. Spesifikasi Elemen Bakar TRIGA MARK II dan IFE.

SPESIFIKASI	FUEL TRIGA	IFE
Panjang keseluruhan, in	28,37	45,25
Panjang aktif bh. bakar, in	15	15
Diameter keseluruhan, in	1,48	1,48
Diameter bahan bakar, in	1,43	1,43
Komposisi bahan bakar	U-Zr-H	U-Zr-H
Berat U ²³⁵ , g	1,6	1,6
Kadar U, WT %	55	55
Pengkayaan U ²³⁵ , %	12	12
Bahan kelongsong	20	20
Tebal kelongsong, in	SS-304	SS-304
Perbandingan H/ Zr	0,02	0,02
	1,6	1,6

Karena reaktor TRIGA Mark II ini menggunakan elemen bahan bakar nuklir berbentuk silinder, maka dalam bagian ini akan ditinjau khusus pembangkitan dan hantaran panas dalam elemen bahan bakar yang berbentuk silinder. Gambar 1 memperlihatkan bagian dari geometri bahan bakar TRIGA Mark II.



Gambar 1. Geometri elemen bakar TRIGA MARK II.

Dari pustaka [3,4] penurunan suhu sepanjang bahan bakar memenuhi persamaan sebagai berikut :

$$\Delta T_{fuel} = T_M - T_s = \frac{q''' R_2}{K_f} \quad (1)$$

dimana :

T_M = suhu pusat bahan bakar, °C.

T_s = suhu permukaan bahan bakar, °C.
 q''' = Daya panas volumetrik, Watt/ Cm³.
 K_f = Konduktifitas panas bahan bakar, Watt/ Cm-°C.
 R = Jari-jari bahan bakar, Cm.

Jika K_f konstan maka persamaan ini dapat diselesaikan dengan segera, akan tetapi harga K_f ini sangat bergantung sekali pada suhu bahan bakar, maka dari itu perlu dihitung harga K_f sebagai fungsi suhu dari persamaan berikut [1] :

$$K_f = (10,7 - 6,42 \cdot 10^{-4} T_g) * 0,0173 \text{ Watt/cm}^{\circ}\text{C}$$

dimana:

T_g = suhu rata-rata dalam Rankine

Pada elemen bakar TRIGA Mark II, diantara bahan bakar Uranium-Zirconium-Hidrida dengan kelongsong SS-304 terdapat *gap* yang lebarnya 0.0127 cm yang dalam keadaan masih baru biasanya diisi oleh gas mulia, misalnya gas helium. Akan tetapi walaupun *gap* ini cukup kecil dan mempunyai konduktifitas termal gas rendah, akan menyebabkan perubahan penurunan suhu yang sangat besar sepanjang *gap*. Jika diasumsikan tebal *gap* ini uniform, maka persamaan untuk penurunan suhu akan mudah disederhanakan. Karena tidak ada panas yang dihasilkan dalam *gap* dan gas tersebut dianggap mempunyai konduktifitas termal gas K sebesar Watt/ CmoC maka dapat dituliskan persamaan penurunan suhu sepanjang *gap* sebagai berikut [4] :

$$\Delta T_{Gap} = T_G - T_s = \frac{q''' R_2}{K_G} \ln \left[\frac{R + W}{R} \right] \quad (3)$$

dimana :

$$K_G(T) = 1,79 \cdot 10^{-3} (T)^{0,77} \text{ Watt/m}^{\circ}\text{K} \quad (4)$$

K_g = bukan merupakan fungsi dari tekanan gas
 T = suhu gas dalam oK
 W = Tebal dari *gap* (Cm)
 T_s = Suhu permukaan bagian dalam dari kelongsong, °C.

Karena tebal W sangat kecil (0.0127 Cm), maka bentuk persamaan (3) dapat menjadi :

$$\Delta T_{Gap} = \frac{q''' R W}{2 K_G} \quad (5)$$

Setelah beroperasi beberapa lama, *gap* akan berisi campuran dari gas helium yang diisi dan gas hasil fisi seperti Xenon (Xe) dan Krypton (Kr). Oleh karena itu harga konduktifitas panas dari *gap* akan selalu berubah sepanjang umur teras.

Karena reaksi fisi tersebut terjadi didalam bahan bakar, maka kemungkinan pellet bahan bakar akan mengembang atau retak, dan akan menyebabkan kontak antara bahan bakar dengan kelongsong diberapa tempat. Fenomena ini sangat sulit untuk diterangkan secara analitis, oleh karena itu biasanya didefinisikan koefisien perpindahan panas efektif H_G Watt/ $\text{Cm}^2\text{-}^\circ\text{C}$, dimana penurunan suhu sepanjang *gap* adalah sbb :

$$\Delta T_{Gap} = \frac{q''}{H_G} \quad (6)$$

dimana :

q'' = fluks panas, Watt/ cm^2 .

Koefisien empiris dari H ini sebagai fungsi dari tebal *gap*, konduktivitas gas, kekasaran dari permukaan bahan bakar dan kelongsong, tekanan kontak antara bahan bakar dan kelongsong bahan dari kelongsong, dan juga *Burn-up*. Apabila fluks panas sepanjang *gap* ini dalam keadaan setimbang, maka :

$$q'' = q''' \frac{(\pi R_2 L)}{2\pi R L} = \frac{q''' R}{2} \quad (7)$$

sehingga dari persamaan (5) (6) dan (7) dapat dihitung :

$$\Delta T_{Gap} = \frac{q''' R}{2 H_G} \quad (9)$$

Jika konduktivitas termal K_c Watt/ $\text{Cm}\text{-}^\circ\text{C}$ dari kelongsong adalah konstant dan tidak ada panas yang dihasilkan dalam kelongsong, maka dapat dituliskan persamaan penurunan suhu dari bagian dalam kelongsong ke permukaan luar kelongsong sebagai berikut :

$$\Delta T_{clad} = T_G - T_{cs} = \frac{q''' R^2}{2K_c} \ln \frac{R + W + C}{R} \quad (10)$$

dimana :

T_{cs} = suhu permukaan kelongsong, $^\circ\text{C}$

C = tebal kelongsong, cm

Sedangkan perpindahan panas dari permukaan kelongsong ke pendingin diuraikan dalam hukum pendingin dari Newton, yaitu :

$$q'' = h_f (T_{cs} - T_f)$$

$$q'' = \frac{q''' R^2}{2(R + W + C)} \quad (11)$$

$$T_{cs} - T_f = \frac{q''' R^2}{2(R + W + C)} \quad (12)$$

dimana :

T_f = suhu fluida pendingin, $^\circ\text{C}$

h_f = koefisien perpindahan panas konveksi sangat bergantung pada sifat-sifat dan kondisi aliran dari pendingin, dimana untuk reaktor TRIGA Mark II yang diasumsikan mempunyai sistem pendinginan secara konveksi alam untuk silinder vertikal dapat diperoleh dari persamaan sebagai berikut [5] :

$$h_f = \frac{N_u k}{L} 0.0005678 \quad (\text{watt}/\text{cm}^2\text{-}^\circ\text{C}) \quad (13)$$

dimana N_u = Bilangan Nusselt

$$= 0.13 [N_{GR} P_R]^{1/9} \quad (14)$$

N_{GR} = Bilangan Grashoff

$$= \frac{L^3 \rho^2 g \beta \Delta t}{\mu^2} \quad (15)$$

$$P_R = \text{Bilangan Prandtl} = \frac{C_p \mu}{k} \quad (16)$$

L = panjang elemen bahan bakar, Feet

ρ = kerapatan massa, lb/Ft^3

g = percepatan gravitasi = $4.17 \text{ E-}8 \text{ Ft}/\text{hr}^2$

β = satu per suhu rata-rata antara kelongsong dan fluida pendingin, $1/^\circ\text{F}$.

μ = viskositas, $\text{lb}/\text{hr-Ft}$

C_p = panas jenis, $\text{Btu}/\text{lbm-}^\circ\text{F}$

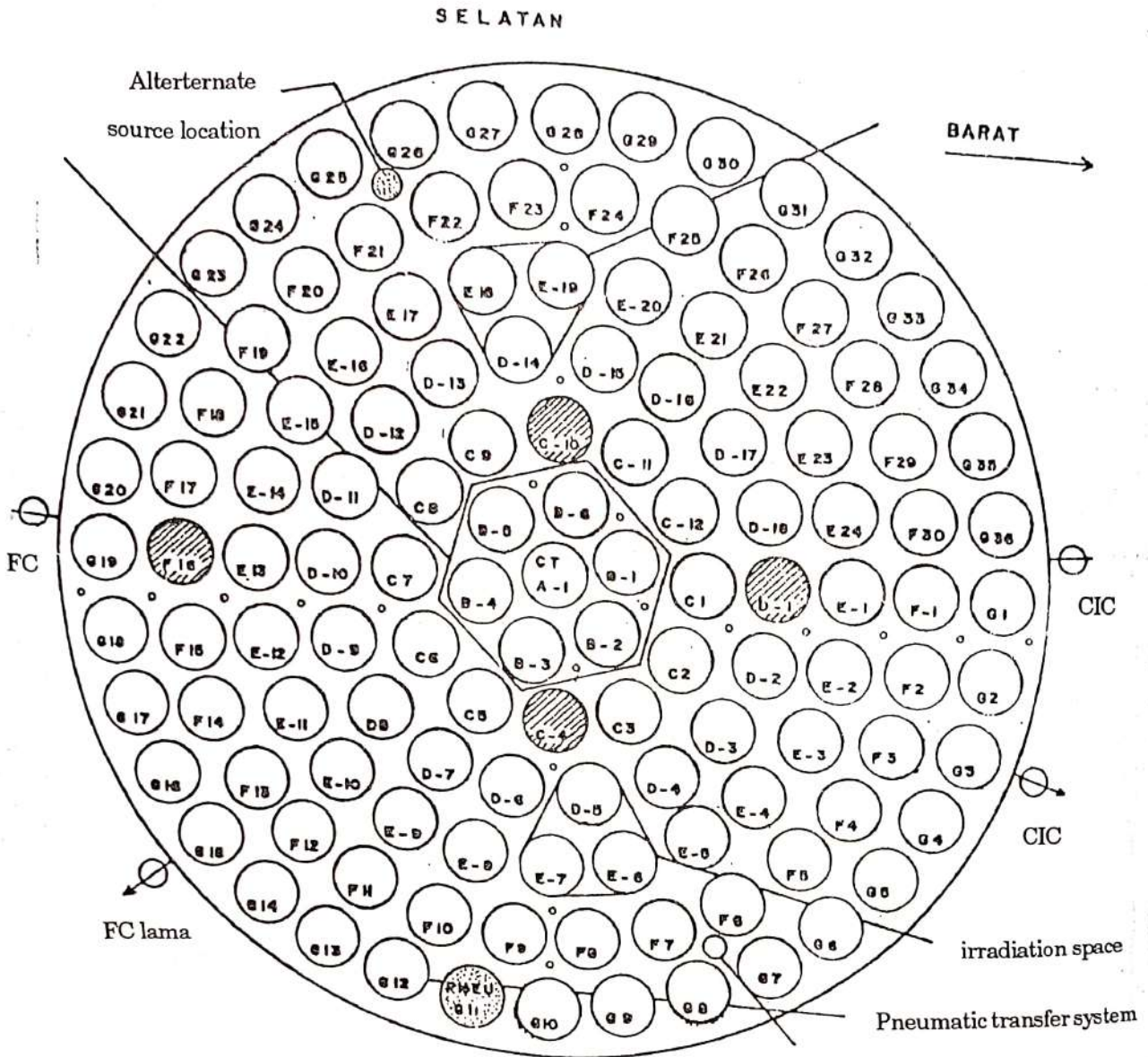
k = konduktivitas termal dari fluida, $\text{Btu}/\text{hr-Ft-}^\circ\text{F}$

Sehingga dari persamaan (1), (3), (10) dan (12) kalau digabung akan membentuk sebuah persamaan perpindahan panas dari pusat bahan bakar ke fluida pendingin.

$$T_M - T_f = \frac{q''' R^2}{2} \left[\frac{1}{2K_f} + \frac{1}{H_G R} + \frac{1}{K_c} \ln \frac{(R + W + C)}{R} + \frac{1}{h_f (R + W + C)} \right] \quad (17)$$

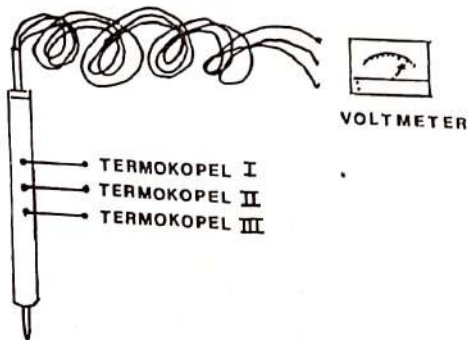
PENGUKURAN DAN PERHITUNGAN

Pengukuran suhu elemen bahan bakar dari teras reaktor TRIGA Mark II dilakukan ada daya 700 Kwatt, dengan menggunakan sebuah alat yang dinamakan *Instrumented Fuel Element* (IFE). Pengukuran dilakukan pada ring B-4, C-11, D-17, E-21 dan F-24. Sedangkan pengukuran suhu fluida pendingin dilakukan dengan menggunakan termokopel crommel alumel yang dimasukkan ke dalam tabung aluminium yang berdiameter kecil. Termokopel ini kemudian dimasukkan ke lubang fluks didalam teras reaktor diantara ring B-5, B-6.



Gambar 2. Bagan teras reaktor dilihat dari atas.

Gambar 2 memperlihatkan skematik bagan bagian atas teras reaktor TRIGA Mark II, sedangkan gambar 3 memperlihatkan posisi termokopel pada IFE.



Gambar 3. Posisi Termokopel di dalam IFE.

Dari hasil pengukuran diperoleh data suhu pusat bahan bakar dan suhu fluida. Kemudian dengan menggunakan persamaan (17) dan mengasumsikan harga-harga yang tidak diketahui seperti K_f , H_G dan h_f dapat dihitung daya panas volumetrik q''' . Dari harga q''' ini, maka dapat dihitung harga-harga lainnya. Karena perhitungan ini memerlukan banyak proses iterasi, maka untuk itu perhitungan dilakukan dengan komputer dengan menggunakan Bahasa BASIC.

Sesuai dengan judul makalah ini yang membicarakan masalah pengaruh *gap* didalam elemen bahan bakar nuklir, maka dalam makalah ini selain menghitung distribusi suhu dengan mempertimbangkan faktor *gap*, juga dihitung distribusi suhu tanpa mempertimbangkan faktor *gap* dimana persamaan yang digunakan sesuai seperti

persamaan dari (1) s/d (17), hanya perbedaannya adalah pada persamaan (10), dimana faktor *gap* dihilangkan sehingga persamaan (17) perpindahan panas dari pusat elemen bahan bakar ke fluida pendingin berubah menjadi :

$$T_M - T_f = \frac{q''' R^2}{2} \left[\frac{1}{2K_f} + \frac{1}{K_c} \ln \frac{(R+W+C)}{R} + \frac{1}{h_f(R+W+C)} \right] \quad (18)$$

Oleh karena data suhu fluida yang diperoleh hanya pada ring B dan C, maka dari itu data suhu fluida pendingin untuk ring lainnya diperoleh dengan membuat asumsi bahwa suhu fluida pendingin lainnya lebih kecil dari suhu fluida di Ring B. Suhu fluida pendingin diantara ring B dan C diperoleh dari hasil pengukuran untuk daya 700 kwatt sebesar 60.9 °C.

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa dengan adanya *gap*, maka suhu elemen bakar pada permukaan kelongsong tidak melebihi batas suhu yang diizinkan, yaitu tidak melebihi titik didih dari fluida pendingin reaktor yang dalam hal ini adalah air, sebagai contoh suhu aliran pendingin yang mengalir ke permukaan kelongsong untuk di Ring B yaitu sebesar 109.95°C dimana suhu ini masih dibawah titik didih air (112°C) pada tekanan 1,5 Atm. Begitu pula untuk diring-ring lainnya. Akan tetapi untuk perhitungan tanpa mempertimbangkan faktor *gap* dari hasil perhitungan terlihat bahwa suhu pada permukaan kelongsong untuk semua ring lebih besar dari suhu didih air pada tekanan 1.5 atm. Jadi dapat disimpulkan bahwa dengan adanya *gap* diantara bahan bakar dan kelongsong akan menyebabkan terjadinya penurunan suhu yang sangat besar, sedangkan sebaliknya kalau tidak ada *gap* penurunan suhu kecil sekali.

Tabel 2. Hasil Pengukuran dan Perhitungan tanpa *Gap* dan dengan *Gap* (P = 700 Kw)

Tanpa <i>Gap</i>									
T_M deg. C	q''' watt/cm ³	K_f watt/cm ² °C	T_s deg. C	H_G deg. C	T_G watt/cm ² °C	T_{cs} deg. C	H_f watt/cm ² °C	T_f deg. C	Ring
354.5	11.29	0.174	247.80	0.000	0.00	239.84	0.602	207.08	B-4
344.6	10.81	0.174	241.57	0.000	0.00	233.88	0.599	202.03	C-6
329.1	10.16	0.174	231.28	0.000	0.00	223.96	0.593	193.38	D-10
260.6	7.35	0.175	188.93	0.000	0.00	183.54	0.544	158.97	E-12
233.3	6.38	0.176	170.59	0.000	0.00	165.82	0.526	143.37	F-15
dengan <i>Gap</i>									
354.5	22.69	0.174	247.80	0.157	117.91	109.95	0.382	58.27	B-4
344.6	21.77	0.174	241.57	0.156	115.07	107.37	0.382	57.43	C-6
329.1	20.58	0.174	231.28	0.154	109.32	102.00	0.378	54.10	D-10
260.6	15.21	0.175	188.93	0.146	94.25	88.85	0.347	50.29	E-12
233.8	13.34	0.176	170.59	0.142	84.63	79.86	0.337	44.79	F-15

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, "TRIGA 1000 KW REACTOR SAFEGUARD ANALYSIS FOR BANDUNG REACTOR CENTRE", BATAN PRAB, Desember 1971.
2. Anonim, "MANUAL INSTRUMENTED FUEL ELEMENT" General Atomic.
3. Eberley, "DIKTAT KUMPULAN KULIAH EXPERT IAEA DI PPTN", 1983.
4. El Wakil MM, "NUCLEAR POWER ENGINEERING", Mc Graw H. Book. Co.
5. Mc Adam William, "HEAT TRANSMISSION", 3rd Edition, Mc Graw. Hill, Tokyo, 1854.

DISKUSI

Syaiful Tavip :

Pengaruh *gap* dengan suhu fluida dan *centerline fuel* temperatur?

Heddy :

Temperatur b.b diukur pada daya 700 Kw, dimana temperatur B.B. untuk daya tersebut konstant. Maka dengan adanya *gap* suhu fluida menjadi kecil karena adanya konduktivitas dari gas.

Alim Tarigan :

Mohon penjelasan mengenai kesimpulan. Tekanan 1.5 Atm suhu maksimum tertinggi 112 oC. Dasar pengambilan tekanan 1.5 Atm apa ?

Kalau tidak salah 1 Atm = 1 bar = tinggi air 10 m.

Heddy :

Letak teras dalam reaktor kurang lebih 4 meter dibawah permukaan air sehingga tekanan pada daerah ± 1.5 Atm dimana titik didih air dari tabel untuk P 1.5 Atm = ± 112 °C.

Indrawanto :

Pada kenyataannya *gap* ini berisi gas hasil fisi bahan gas Helium saja.

Heddy :

Memang sebenarnya *gap* selain berisi gas Helium setelah dioperasikan berisi gas hasil fisi. Tapi berhubung persamaan harga konduktansi dari *gap* untuk campuran gas hasil fisi dan He belum ada sehingga dibuat asumsi bahwa *gap* hanya berisi gas Helium.