

## ANALISIS KASUS KONVEKSI ALAMIAH PADA TERAS REAKTOR DENGAN ASUMSI DAYA MERATA

B. Soekodijat, Henky P.R., Putranto Ilham Yazid, Sudjatmi K.A.  
Pusat Penelitian Teknik Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

ANALISIS KASUS KONVEKSI ALAMIAH PADA TERAS REAKTOR DENGAN ASUMSI DAYA MERATA. Pada teras reaktor Triga Bandung, proses perpindahan panas yang terjadi dari elemen bakar ke fluida adalah proses perpindahan panas konveksi alamiah. Gerakan fluida dalam konveksi alamiah sangat rendah sehingga sangat sulit diukur. Oleh karena itu untuk mempelajari pendinginan yang terjadi, diperlukan cara tertentu yang dapat mewakili data pengukuran secara menyeluruh di setiap elemen bakar. Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan numerik dan pengukuran untuk menentukan bentuk distribusi suhu dan kecepatan aliran dari fluida pendingin di sekitar elemen bakar reaktor. Perhitungan dilakukan dengan menganggap bahwa sumber panas hanya berasal dari elemen bakar yang dianalisis saja, sedang pengaruh panas yang dihasilkan oleh elemen bakar yang lain sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Dari cara tersebut di atas dapat diperoleh data-data distribusi suhu dan kecepatan fluida pendingin untuk semua titik pada elemen bakar. Daya reaktor dianggap terdistribusi rata di antara masing-masing bahan bakar. Perhitungan numerik dilakukan dengan metode eksplisit. Hasil yang diperoleh sudah cukup baik untuk menunjukkan bentuk distribusi-distribusi kecepatan vertikal dan horisontal serta distribusi suhu.

### ABSTRACT

NATURAL CONVECTION ANALYSIS IN REACTOR CORE ASSUMING FLAT POWER DISTRIBUTION. For Bandung TRIGA reactor core, the heat transfer from fuel element to cooling fluid is a natural convection. The fluid move in natural convection is very low such that it is very difficult to be measured. In order to study the cooling process taken place, it is required a certain means which can represent the overall measuring data in each fuel element. In this research, the numerical calculation and the measurement are performed to determine the form of temperature and velocity distribution of the cooling fluid at the surrounding of reactor fuel element. The calculation is carried out by assuming that the heat source comes only from the analyzed fuel element, while the influence of the heat produced by the other fuel elements is very small and can be neglected. From that means it can be obtained the data of the temperature and velocity distribution for points surrounding of the fuel element. Reactor power is assumed uniformly distributed in each fuel element. Numerical calculation is carried out by explicit method. The results are good enough to show the forms of vertical and horizontal velocities and also temperature distributions.

### PENDAHULUAN

Salah satu aspek yang dapat mempengaruhi keselamatan suatu reaktor nuklir adalah aspek perpindahan panas. Perpindahan panas yang baik akan menyebabkan pendinginan reaktor menjadi baik pula. Perpindahan panas yang baik berarti akan banyak panas yang dapat dipindahkan ke fluida pendingin sehingga semua material yang berada di dalam sistem reaktor dalam keadaan aman.

Pendinginan di dalam reaktor tergantung pada proses perpindahan panas yang terjadi dari elemen bakar reaktor ke fluida pendinginnya. Di dalam teras reaktor, proses perpindahan panas yang paling dominan adalah proses konveksi, yang antara lain tergantung pada gerak-

an fluida pendingin. Dari perbedaan penyebab gerakan fluida, proses konveksi dapat dibedakan dalam dua macam, yaitu konveksi paksa dan konveksi alamiah. Pada konveksi paksa, gerakan fluida disebabkan oleh usaha dari luar seperti pompa, fan, kompresor dan sebagainya; sedang pada konveksi alamiah, gerakan fluida hanya disebabkan oleh gradien rapat massa sebagai akibat adanya perbedaan suhu antara tempat yang satu dengan tempat lain serta adanya gaya massa (body force) yang bekerja. Gerakan fluida dalam konveksi paksa dapat dengan mudah dilihat dan diukur, karena gerakan terjadi sebagai akibat adanya usaha dari luar sehingga gerakan tersebut relatif cukup

besar di daerah pengukuran. Sedang gerakan fluida dalam konveksi alamiah sangat rendah sehingga sangat sulit diukur.

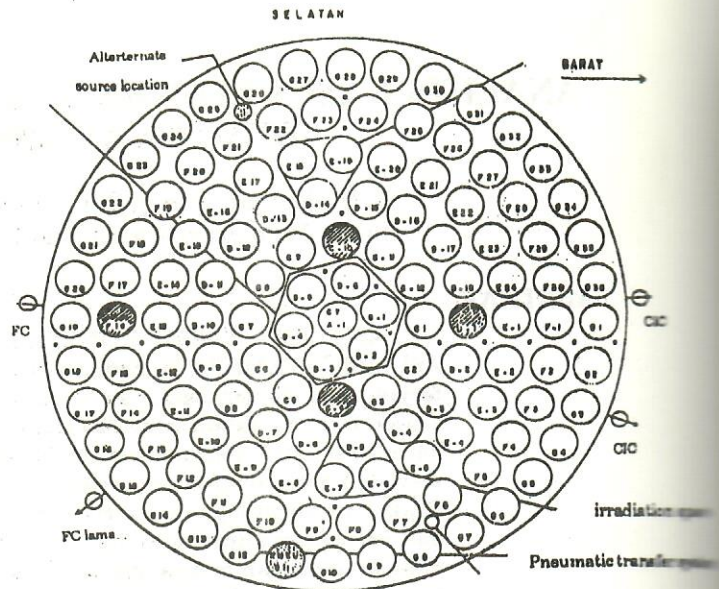
Demikian pula yang terjadi pada teras reaktor Triga Bandung, proses perpindahan panas yang terjadi dari elemen bakar ke fluida adalah proses perpindahan panas konveksi alamiah, sehingga sulit untuk memperoleh data-data eksperimen melalui pengukuran. Oleh karena itu untuk mempelajari pendinginan yang terjadi diperlukan cara-cara tertentu yang dapat mewakili data pengukuran secara menyeluruh di setiap elemen bakar.

Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan numerik dan pengukuran untuk menentukan bentuk distribusi suhu dan kecepatan aliran fluida pendingin di sekitar elemen bakar reaktor. Perhitungan dilakukan dengan menganggap bahwa sumber panas hanya berasal dari elemen bakar yang dianalisis saja, sedang pengaruh panas yang dihasilkan oleh elemen bakar yang lain sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Data pengukuran suhu elemen bakar dan fluida pendingin hanya diperoleh untuk satu titik pengukuran yang terletak di tengah-tengah elemen bakar. Oleh karena itu untuk membandingkan dua hasil tersebut, maka hasil perhitungan yang diperoleh hanya diambil pada titik yang berada di tengah-tengah elemen bakar untuk dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran. Dari cara di atas diperoleh data distribusi suhu dan kecepatan fluida pendingin untuk semua titik pada elemen bakar.

## TEORI

Konfigurasi teras reaktor Triga Mark II Bandung ditunjukkan dalam Gambar 1. Fluida mengalir di dalam celah yang terbentuk di antara batang-batang elemen bakar. Akibat adanya perbedaan rapat massa fluida panas dan dingin serta bentuk celah di antara batang-batang elemen bakar maka akan terjadi aliran fluida yang bervariasi dalam semua arah. Karena perpindahan panasnya secara konveksi alamiah, maka arah aliran air di dalam tangki yang dominan adalah arah vertikal dari bawah ke atas. Arah ini diambil sebagai arah X. Kecepatan aliran air arah horisontal jauh lebih kecil dari pada kecepatan air arah vertikal. Oleh karena itu untuk mempermudah perhitungan, aliran air horisontal itu dapat diwakili oleh komponen Y saja. Jadi peninjauan cukup dalam 2 dimensi saja.

Karena elemen bakar berbentuk silinder di mana panjang batang elemen bakar  $L \gg$  diameternya, maka arah aliran konduksi panas



Gambar 1. Konfigurasi teras reaktor Triga Mark II Bandung

dalam elemen bakar hanya dalam arah horisontal (radial) saja sedang konduksi panas arah vertikal dapat diabaikan.

## PERPINDAHAN PANAS DALAM BATANG ELEMEN BAKAR

a. Perbedaan suhu akibat perpindahan panas konduksi dalam bahan bakar (pelet) Uranium.

$$T_o - T_1 = \frac{Q}{4 \pi L k_p} \quad (1)$$

$T_o$  = suhu pusat (tengah-tengah) bahan bakar [ $^{\circ}\text{C}$ ].

$T_1$  = suhu luar bahan bakar (suhu bagian dalam kelongsong) [ $^{\circ}\text{C}$ ].

$Q$  = panas yang dihasilkan oleh bahan bakar [Watt].

$L$  = panjang elemen bakar [m].

$k_p$  = konduktivitas panas pelet bahan bakar [Watt/m  $^{\circ}\text{C}$ ].

b. Di antara bahan bakar Uranium dan kelongsong SS-304 terdapat celah setebal 0,0127 cm. Waktu keadaan masih baru, celah ini biasanya diisi gas helium. Untuk penurunan suhu sepanjang celah

$$T_1 - T_c = \frac{Q}{2 \pi R_1 H_o} \quad (2)$$

$T_c$  = suhu celah rata-rata (bagian dalam kelongsong) [ $^{\circ}\text{C}$ ].

$R_1$  = jari-jari celah rata-rata [m].

$$H_o = \frac{K_o}{t_c} \quad (2a)$$

$$k_o(T) = 1,79 \cdot 10^{-5} T^{0,77} \text{ [Watt/cm}^\circ\text{C]} \quad (2b)$$

$t_c$  = tebal celah [cm].

$T$  = suhu rata-rata celah [ $^\circ\text{K}$ ]

c. Perbedaan suhu akibat perpindahan panas konduksi dalam kelongsong SS-304

$$T_1 - T_2 = \frac{Q \ln(R_2/R_1)}{2 \pi L k_k} \quad (3)$$

$T_2$  = suhu dinding luar kelongsong elemen bakar [ $^\circ\text{C}$ ].

$k_k$  = konduktivitas panas kelongsong elemen bakar SS-304 [W/m  $^\circ\text{C}$ ].

$R_2$  = jari-jari kelongsong bahan bakar [m].

Perlu diingat bahwa harga konduktivitas panas  $k_p$  dan  $k_k$  berubah dengan perubahan suhu.

### KONVEKSI ALAMIAH DALAM AIR PENDINGIN

Persamaan dasar untuk penentuan distribusi kecepatan aliran dan suhu dapat dijabarkan dari persamaan kekekalan momentum, persamaan kekekalan energi, dan persamaan kontinuitas. [2],[6],[9]

a. Persamaan kekekalan momentum

$$\frac{\delta u}{\delta t} + u \frac{\delta u}{\delta x} + v \frac{\delta u}{\delta y} = g \beta (T - T_w) + \nu \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} \quad (4)$$

b. Persamaan kekekalan energi

$$\frac{\delta (T - T_w)}{\delta t} + u \frac{\delta (T - T_w)}{\delta x} + v \frac{\delta (T - T_w)}{\delta y} = \alpha \frac{\delta^2 (T - T_w)}{\delta y^2} \quad (5)$$

c. Persamaan kontinuitas

$$\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} = 0 \quad (6)$$

$x$  = jarak arah sumbu  $x$

$y$  = jarak arah sumbu  $y$

$u$  = komponen kecepatan arah sumbu  $x$  [m/dt]

$v$  = komponen kecepatan arah sumbu  $y$  [m/dt]

$t$  = waktu [dt]

$g$  = percepatan gravitasi [m/dt<sup>2</sup>]

$\beta$  = koefisien muai volume [ $^\circ\text{C}^{-1}$ ]

$T$  = suhu [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_w$  = suhu fluida pada lapisan batas [ $^\circ\text{C}$ ]

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \text{viskositas kinematik [m}^2/\text{dt]} \quad (7)$$

$\mu$  = viskositas dinamik [kg/m dt]

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} = \text{difusivitas [m}^2/\text{dt]} \quad (8)$$

$k$  = konduktivitas panas [W/m  $^\circ\text{C}$ ]

$\rho$  = rapat massa fluida [kg/m<sup>3</sup>]

$C_p$  = panas jenis fluida pada tekanan konstan [kJ/kg $^\circ\text{C}$ ]

Dengan mengambil bentuk tanpa dimensi sebagai berikut :

$$x = \frac{x}{D_h} \longrightarrow x = X \quad D_h, \quad \delta x = D_h \quad \delta X$$

$$y = \frac{y}{D_h} \longrightarrow y = Y \quad D_h, \quad \delta y = D_h \quad \delta Y$$

$$u = \frac{u}{U_w} \longrightarrow u = U \quad U_w, \quad \delta u = U_w \quad \delta U$$

$$v = \frac{v}{U_w} \longrightarrow v = v \quad U_w, \quad \delta v = U_w \quad \delta v$$

$$T = \frac{(T - T_w)}{(T_w - T_w)} \longrightarrow T - T_w = T (T_w - T_w)$$

$$\delta (T - T_w) = (T_w - T_w) \delta t$$

$$\tau = \frac{t U_w}{D_h} \longrightarrow \tau = \frac{\tau D_h}{U_w}, \quad \delta \tau = \frac{D_h}{U_w} \delta \tau \quad (9)$$

$D_h$  = diameter hidrolis kanal air di antara elemen-elemen bakar [m].

$U_w$  = kecepatan pada lapisan batas [m/dt]

$T_w$  = suhu dinding bahan bakar [ $^\circ\text{C}$ ]

maka persamaan (4) berubah menjadi

$$\frac{\delta U}{\delta \tau} + U \frac{\delta U}{\delta X} + V \frac{\delta U}{\delta Y} = \frac{Gr}{Re^2} T + \frac{1}{Re} \frac{\delta^2 U}{\delta Y^2} \quad (10)$$

persamaan (5) berubah menjadi

$$\frac{\delta T}{\delta \tau} + U \frac{\delta T}{\delta X} + V \frac{\delta T}{\delta Y} = + \frac{1}{Pr Re} \frac{\delta^2 T}{\delta Y^2} \quad (11)$$

persamaan (6) berubah menjadi

$$\frac{\delta U}{\delta X} + \frac{\delta v}{\delta Y} = 0 \quad (12)$$

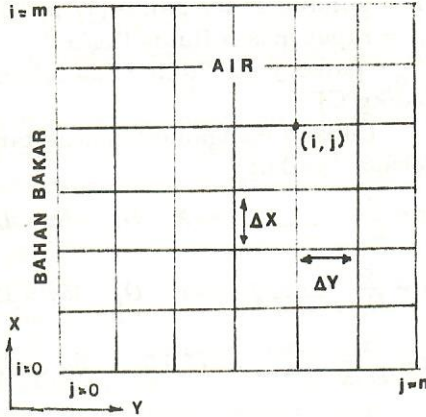
$$Gr = \frac{\rho^2 g \beta (T_w - T_w) L^3}{\mu^2} = \text{Bilangan Grashof} \quad (13)$$

$$Re = \frac{\rho U_w D}{\mu} = \text{Bilangan Reynolds} \quad (14)$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \text{Bilangan Prandtl} \quad (15)$$

Persamaan-persamaan (10), (11), dan (12) adalah persamaan-persamaan dalam bentuk

tanpa dimensi. Daerah yang diteliti adalah air di sekitar elemen bahan bakar. Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan cara membagi-bagi daerah yang diteliti atas bagian-bagian kecil  $\Delta X$  dan  $\Delta Y$  seperti terlihat dalam Gambar 2.



Gambar 2. Pembagian daerah air pendingin yang diteliti

Dengan menggunakan metode beda hingga eksplisit (explicit finite difference method) maka persamaan-persamaan (10), (11), dan (12), berubah menjadi sebagai berikut,

$$\frac{U_{i,j} - U_{i,j}}{\Delta \tau} + U_{i,j} \frac{U_{i,j} - U_{i-1,j}}{\Delta X} V_{i,j} \frac{U_{i,j+1} - U_{i,j}}{\Delta Y} =$$

$$\frac{Gr}{Re^2} T_{i,j} + \frac{1}{Re} \frac{U_{i,j+1} - 2U_{i,j} + U_{i,j-1}}{(\Delta Y)^2} \quad (16)$$

$$\frac{T_{i,j}^4 - T_{i,j}}{\Delta \tau} + U_{i,j} \frac{T_{i,j} - T_{i-1,j}}{\Delta X} V_{i,j} \frac{T_{i,j+1} - T_{i,j}}{\Delta Y} =$$

$$\frac{1}{Pr Re} \frac{T_{i,j+1} - 2T_{i,j} + T_{i,j-1}}{(\Delta Y)^2} \quad (17)$$

$$\frac{U_{i,j} - U_{i-1,j}}{\Delta X} + \frac{V_{i,j} - V_{i,j-1}}{\Delta Y} = 0 \quad (18)$$

dengan  $U'$ ,  $V'$  dan  $T'$  adalah harga-harga akhir setelah satu interval waktu  $\Delta t$ . Untuk penyelesaian ketiga persamaan di atas diberi kondisi awal sebagai berikut :

- Untuk  $X = 0$ , harga  $T (i,j=1) = 1.0$   
 $U (i,j=1) = 0.0$
- Untuk  $X > 0$ , harga  $T (i,j=1) = 0.0$   
 $U (i,j=1) = 0.0$

**CARA PENELITIAN**

Penelitian dilaksanakan dengan pengukuran suhu elemen bakar dan suhu air pendingin pada masukan (inlet) dan keluaran (outlet) dalam teras reaktor.

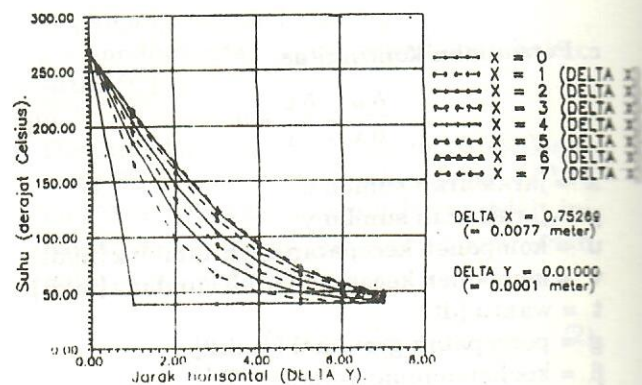
Pengukuran suhu elemen bakar dilaksanakan menggunakan *Instrumented Fuel*

*Element* (IFE) yaitu suatu elemen bakar yang dilengkapi dengan 3 buah termokopel chromel-alumel. IFE dimasukkan pada posisi elemen bakar yang ingin diukur, kemudian reaktor dioperasikan pada daya yang diinginkan dan suhunya dicatat.

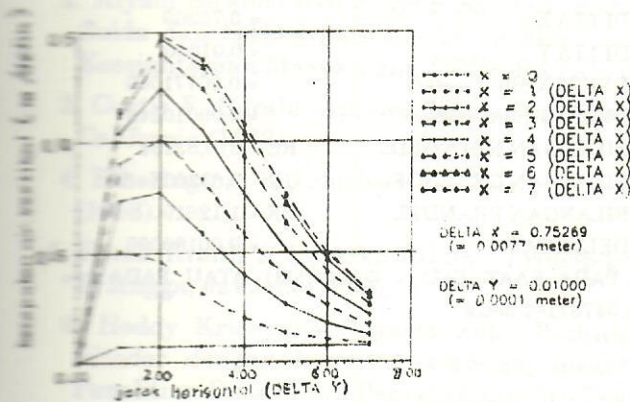
Dengan menggunakan asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Daya reaktor dianggap terdistribusi sama di antara masing-masing elemen bakar dan untuk satu elemen bakar, dayanya terdistribusi merata sepanjang elemen bakar (bukan fungsi sinus). Daya 1 elemen bakar = (Daya reaktor) / (Jumlah elemen bakar).
2. Air dianggap sebagai fluida *incompressible*.
3. Suhu air pada lapisan batas ( $T_w$ ) diambil = suhu air rata-rata antara suhu air masuk ( $T_{in}$ ) dan suhu air keluar ( $T_{out}$ ) :  $T_w = (T_{in} + T_{out})/2$
4. Besaran-besaran fisik air seperti volume spesifik ( $v_f$ ), panas spesifik ( $C_{pf}$ ), viskositas ( $\mu_f$ ) konduktivitas panas ( $k_f$ ), *Prandtl Number* ( $Pr_f$ ) dan koefisien ekspansi ( $\beta_f$ ) diambil pada suhu rata-rata antara suhu dinding elemen bakar/ kelongsong ( $T_w$ ) dan suhu air pada lapisan batas ( $T_w$ ).  $T_{Bar} = (T_D + T_w)/2$
5. Diameter hidrolis ( $D_h$ ) diambil diameter hidrolis dari kanal air berupa luasan diantara 4 elemen bakar dan di antara 1 elemen bakar dan elemen bakar di dekatnya tidak ada jarak.
6. Kecepatan air pada lapisan batas ( $U_w$ ) = laju alir pompa primer dibagi luas penampang tangki reaktor.

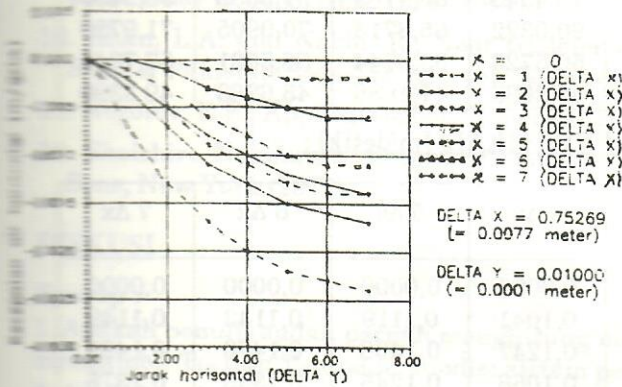
Kemudian dilakukan perhitungan numerik maka hasil yang diperoleh adalah seperti dalam Tabel 1 dan Gambar 4, 5 dan 6.



Gambar 4. Suhu air vs jarak horisontal pada  $\tau = 0,24$  ( $t = 0,35$  detik)



Gambar 5. Kecepatan air vertikal vs jarak horizontal pada Tau = 0,24 ( t = 0,35 detik)



Gambar 6. Kecepatan air horizontal vs jarak horizontal pada Tau = 0,24 ( t = 0,35 detik)

Tabel 1. Hasil perhitungan distribusi kecepatan dan distribusi suhu air pendingin.

**DATA-DATA REAKTOR :**

DAYA REAKTOR [Watt]	Q = 700000,00000
JUMLAH ELEMEN BAKAR DLM. TERAS JEB =	70,00000
BANJANG ELEMEN BAKAR [m]	L = 0,38550
JARI-JARI PELET [m]	R1 = 0,01820
TEBAL CELAH (GAP) [m]	CEL = 0,0001
JARI-JARI LUAR KELONGSONG [m]	R2 = 0,01870
JARI-JARI TANGKI REAKTOR [m]	RT = 1,00000

PERCEPATAN GRAVITASI [m/detik<sup>2</sup>] G = 9,80700

**SUHU-SUHU DALAM ELEMEN BAKAR :**

SUHU DITENGAH-TENGAH PELET [°C] T0 = 376.000  
 SUHU LUAR PELET [°C] TP = 318.112  
 SUHU CELAH/BAG. DLM KELONGSONG [°C] TG = 273.712  
 SUHU DINDING LUAR KELONGSONG [°C] TD = 268.066

**KARAKTERISTIK AIR PENDINGIN :**

SUHU AIR MASUK [°C] TIN = 38.50000  
 SUHU AIR KELUAR [°C] TOUT = 42.00000  
 SUHU AIR BULK [°C] TBULK = 40.25000  
 SUHU RATA-RATA AIR [°C] TBAR = 154.15802  
 LAJU ALIR AIR [m<sup>3</sup>/jam] LA = 80.00000

**PEMBAHASAN DAN KESIMPULAN**

Dari hasil-hasil yang tertera di atas (pada saat Tau = 0,24 atau pada saat t = 0,35 detik) tampak bahwa :

1. Distribusi suhu air harganya sudah cukup baik (Gambar 4), lebih jauh dari elemen bakar harganya menurun, sedang lebih ke atas (harga X bertambah) suhunya bertambah.
2. Distribusi kecepatan air vertikal cukup baik (Gambar 5). Lebih jauh dari elemen bakar mula-mula kecepatan naik, kemudian turun menuju harga  $U_{\infty} = 0,0071$  m/detik. Sedang lebih ke atas (harga X bertambah) kecepatannya lebih besar.
3. Distribusi kecepatan air horizontal cukup baik (Gambar 6), harganya negatif yang berarti arah aliran air menuju ke elemen bakar. Lebih jauh dari elemen bakar, harganya lebih besar (lebih negatif).

Dari hasil-hasil perhitungan ini dapat ditarik kesimpulan bahwa metode beda hingga eksplisit dapat digunakan untuk menentukan distribusi-distribusi kecepatan (vertikal dan horizontal) serta distribusi suhu, dengan asumsi daya reaktor merata sepanjang elemen bakar.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Kami ucapkan banyak terima kasih kepada rekan-rekan :  
 - Sub Bidang Fisika Reaktor  
 - Sub Bidang Operasi Reaktor  
 - Sub Bidang Teknologi Reaktor  
 yang telah membantu membantu terlaksananya penelitian ini.

Tabel 1. Hasil perhitungan numerik distribusi kecepatan dan distribusi suhu air pendingin. (sambungan)

KECEPATAN AIR RATA-RATA [m/detik] UBAR = ,70771	X MAX	= 37,63432
E-02	Y MAX	= 0,50000
BETA AIR [1/K] BETA = ,10100E-02	DELTA X	= 0,75269
VOLUME SPESIFIK AIR [m <sup>3</sup> /kg] VOLS = ,10930E-02	DELTA Y	= 0,01000
DENSITAS AIR [kg/m <sup>3</sup> ] RHO = 914,91302	DELTA X (dlm. meter)	= 0,00771000
VISKOSITAS AIR [N.detik/m <sup>2</sup> ] MYU = ,17900E-03	DELTA Y (dlm. meter)	= 0,00010243
PANAS SPESIFIK AIR [kJ/kg.K] CP = 4,31600	BILANGAN REYNOLDS	RE = 370,53134
KONDUKTIVITAS PANAS AIR [W/m.K] KA = 0,68600	BILANGAN GRASHOF	GR = 0,63360E+08
DIAMETER HIDROLIK KANAL AIR [m] DH = 0,01024	BILANGAN PRANDTL	PR = 1,12619
KONVEKSI ALAMIAH DALAM TERAS DENGAN :	DELTA TAU	= 0,00100000
BANYAKNYA DELTA X (M) = 50.	PADA SAAT TAU = 0.24000031	ATAU PADA t =
BANYAKNYA DELTA Y (N) = 50.	0,34737161 detik	

DISTRIBUSI SUHU [°C] :

y/x	0	Δx	2 Δx	3 Δx	4 Δx	5 Δx	6 Δx	7 Δx
0	268,0660	268,0660	268,0660	268,0660	268,0660	268,0660	268,0660	268,0660
Δy	40,2500	165,3179	185,2885	194,5542	203,8658	211,1461	214,1779	214,9642
2Δy	40,2500	97,9401	120,1824	132,8358	146,1879	158,8018	164,3744	166,2127
3Δy	40,2500	64,5151	80,4749	91,6851	103,7566	115,6998	122,7744	125,2929
4Δy	40,2500	49,9602	59,6253	67,6937	76,4543	85,4789	91,5038	93,9495
5Δy	40,2500	44,0028	49,3859	54,4755	60,0322	65,8713	70,0905	71,9729
6Δy	40,2500	41,6521	44,4742	47,3791	50,5726	53,9744	56,5631	57,7940
7Δy	40,2500	40,7537	42,1493	43,6726	45,3638	47,1886	48,6263	49,3390

DISTRIBUSI KECEPATAN KOMPONEN U (ARAH VERTIKAL) [m/detik] :

y/x	0	Δx	2 Δx	3 Δx	4 Δx	5 Δx	6 Δx	7 Δx
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Δy	0,0071	0,0514	0,0734	0,0898	0,1041	0,1119	0,1143	0,1149
2Δy	0,0071	0,0464	0,0773	0,1018	0,1247	0,1406	0,1473	0,1491
3Δy	0,0071	0,0314	0,0590	0,0826	0,1056	0,1245	0,1345	0,1378
4Δy	0,0071	0,0201	0,0400	0,0585	0,0768	0,0935	0,1038	0,1079
5Δy	0,0071	0,0134	0,0261	0,0387	0,0514	0,0637	0,0721	0,0758
6Δy	0,0071	0,0099	0,0174	0,0251	0,0330	0,0410	0,0468	0,0496
7Δy	0,0071	0,0083	0,0123	0,0166	0,0211	0,0258	0,0294	0,0312

DISTRIBUSI KECEPATAN KOMPONEN V (ARAH HORIZONTAL) [M/DETIK] :

y/x	0	Δx	2 Δx	3 Δx	4 Δx	5 Δx	6 Δx	7 Δx
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Δy	0,0000	- 0,0007	- 0,0003	- 0,0002	- 0,0002	- 0,0001	- 0,0000	0,0000
2Δy	0,0000	- 0,0013	- 0,0007	- 0,0005	- 0,0005	- 0,0003	- 0,0001	- 0,0000
3Δy	0,0000	- 0,0017	- 0,0011	- 0,0009	- 0,0008	- 0,0006	- 0,0003	- 0,0000
4Δy	0,0000	- 0,0020	- 0,0013	- 0,0011	- 0,0010	- 0,0008	- 0,0004	- 0,0001
5Δy	0,0000	- 0,0022	- 0,0015	- 0,0013	- 0,0012	- 0,0010	- 0,0005	- 0,0002
6Δy	0,0000	- 0,0023	- 0,0016	- 0,0014	- 0,0013	- 0,0011	- 0,0006	- 0,0002
7Δy	0,0000	- 0,0024	- 0,0017	- 0,0014	- 0,0014	- 0,0011	- 0,0006	- 0,0002

## DAFTAR PUSTAKA

1. PPTN, Laporan analisa keselamatan Reaktor Triga Mark II 1000 kW, Badan Tenaga Atom Nasional - Pusat Penelitian Teknik Nuklir, Bandung (1984).
2. Aryadi Suwono dan Sugeng Santosa, Karakteristik aliran dan perpindahan panas antara fluida dan berkas pipa (model reaktor), Seminar Pendayagunaan Reaktor Nuklir untuk Kesejahteraan Masyarakat, PPTN-BATAN Bandung (26-27 September 1990).
3. Curtis F. Gerald, Applied Numerical Analysis, Addison- Wesley Publishing Company Inc., California (1973).
4. Etherington, H., Nuclear Engineering Handbook, McGraw-Hall Book Company, New York (1958).
5. Frank Kreith & Ir. Arko Prijono, Prinsip-prinsip Perpindahan Panas, edisi ketiga, Penerbit Erlangga, Jakarta (1986).
6. Heddy Krishyana Suyarto dkk., Perhitungan distribusi suhu elemen bakar berbentuk silinder dengan konveksi alamiah, disajikan dalam Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta (20-22 Maret 1990).
7. Henky P.R., Penelitian eksperimental pengaruh pemanasan pada laju aliran satu model reaktor nuklir, Tugas akhir Strata dua di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung, Bandung (1987).
8. Holman, J.P. dan Ir. E. Jasjfi MSc., Perpindahan kalor, edisi kelima, Penerbit Erlangga, Jakarta (1984).
9. Incropera, F.P. and DeWitt, D.P., Fundamentals of heat and mass transfer, second edition, John Wiley & Sons, New York (1985).
10. Khan, L.A. and Nabbi, R., Heat transfer analysis of the existing HEU and proposed LEU cores of Pakistan Research Reactor, Kernforschungsanlage (February 1987).
11. Nogotov, E.F., Applications of Numerical Heat Transfer, UNESCO, Paris (1978).
12. Shoichiro Nakamura, Computational Methods in Engineering and Science, John Wiley & Sons, New York (1977).

## DISKUSI

### Syarip :

1. Apakah penulis sudah pernah menghitung/membandingkan hasil perhitungan serupa dengan mengambil  $T_{in}$  dan  $T_{out}$  pada kondisi sistem pendingin primer dimatikan ?
2. Apakah terlalu sulit jika diambil anggapan bahwa distribusi daya kearah axial didekati dengan fungsi cosinus ?
3. Berapa besarnya bilangan Reynold, ( aliran laminer atau turbulen )?

### B. Soekodijat :

1. Belum pernah, karena kondisi primer dimatikan sedang daya reaktor tinggi adalah sangat berbahaya. Akan kami coba jika diizinkan untuk daya rendah dan pompa primer dimatikan.
2. Memang tidak terlalu sulit, akan kami coba dengan daya fungsi cosinus.
3. Bilangan Reynolds  $Re = 370,5$  -----> masih dalam daerah laminer.

### Suwarno Wiryosimin :

Asumsi bahwa pengaruh elemen bakar tetangganya diabaikan, apakah bisa berlaku untuk setiap tingkat daya reaktor ?

### B. Soekodijat :

Asumsi ini bisa berlaku untuk setiap daya reaktor, karena yang ditinjau hanya di daerah sekeliling elemen bakar berdasarkan teori lapisan batas pada pelat datar. Daya reaktor sampai dengan 700 kW. Pada penelitian lebih lanjut, akan kami masukkan pengaruh elemen bakar tetangganya.