

KARAKTERISTIK TEMPERATUR PENUKAR PANAS REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG UNTUK BERBAGAI VARIASI JUMLAH PELAT

Reinaldy Nazar

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri, BATAN, Jalan Tamansari No. 71, Bandung, 40132

ABSTRAK

KARAKTERISTIK TEMPERATUR PENUKAR PANAS REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG UNTUK BERBAGAI VARIASI JUMLAH PELAT. Penukar panas reaktor TRIGA 2000 Bandung yang terpasang saat ini adalah tipe pelat dengan konfigurasi single pass (One-pass/one-pass plate-and-frame heat exchanger). Pada awalnya penukar panas ini mampu menunjang pengoperasian reaktor TRIGA 2000 Bandung pada daya 2000 kW dengan aman, selamat dan berkesinambungan. Tetapi pada saat ini reaktor hanya dapat dioperasikan pada daya-daya rendah, karena kenaikan suhu air pendingin primer yang ke luar dari tangki reaktor atau kenaikan suhu air pendingin primer yang masuk ke penukar panas sudah mendekati batas scram operasi reaktor, yaitu 49°C. Hal ini disebabkan oleh efektivitas pemindahan panas dari penukar panas berkurang, dimana proses pendinginan atau pengambilan panas dari air pendingin primer oleh air pendingin sekunder di dalam penukar panas berlangsung tidak secara maksimum, sehingga beda suhu air pendingin masuk dan ke luar penukar panas adalah kecil. Untuk menurunkan suhu air pendingin primer tersebut, secara teknis dapat dilakukan dengan menambah jumlah pelat penukar panas, yang bertujuan untuk menambah luas permukaan perpindahan panas di dalam penukar panas, sehingga akan lebih banyak lagi panas yang dipindahkan dari air pendingin primer ke air pendingin sekunder. Pada penelitian ini dilakukan analisis karakteristik penukar panas reaktor TRIGA 2000 Bandung pada penambahan jumlah pelat dan laju alir pendingin, serta menentukan konfigurasi optimum berdasarkan jumlah pelat yang digunakan serta penggunaan pompa primer dan pompa sekunder di dalam mengoperasikan reaktor TRIGA 2000 Bandung dengan aman, selamat dan berkesinambungan.

Kata kunci: penukar panas tipe pelat, efektivitas, jumlah pelat, reaktor TRIGA 2000 Bandung

ABSTRACT

HEAT EXCHANGER TEMPERATURE CHARACTERISTIC OF BANDUNG TRIGA 2000 REACTOR FOR VARIOUS PLATE AMOUNTS. Heat exchanger of Bandung TRIGA 2000 reactor attached presently installed is a plate type with single pass configuration (One-pass/one-pass plate and-frame heat exchanger). Initially this heat exchanger can support operation of Bandung TRIGA 2000 reactor at power of 2000 kW safely, continuously and safe. But at present reactor can only be operated at low powers, because of the increase of primary cooling water temperature from reactor tank or the increase of primary cooling water temperature come in to the heat exchanger become near to the scram limit of reactor operation, i.e. 49 °C. This thing is caused by the effectiveness of heat transfer from heat exchanger decreases, where cooling process or retrieval of heat from primary cooling water by secondary cooling water in heat exchanger takes place not in maximum, so that admission cooling water temperature difference and heat exchanger exit is small. To reduce the primary cooling water temperature, technically can be done by adding the number of heat exchanger plates, to add heat transfer surface area in heat exchanger, so that would more amount of temperature removed from primary cooling water to secondary cooling water. At this research the analysis of characteristic of heat exchanger of Bandung TRIGA 2000 reactor at addition of number of plates and coolant flow rate was done. It was also determined the optimum configuration based on plate amounts applied and usage of primary pump and secondary pump in operating Bandung TRIGA 2000 reactor safely,

continuously and safe.

Key words: *plate type heat exchanger, effectivity, number of plate, Bandung TRIGA 2000 reactor*

1. PENDAHULUAN

Sistem pendingin reaktor TRIGA 2000 Bandung yang terdiri dari sistem pendingin primer dan sistem pendingin sekunder, berfungsi untuk memindahkan panas dari teras reaktor ke lingkungan. Air pendingin primer mengambil panas dari teras reaktor, kemudian dipompa oleh sistem pendingin primer ke penukar panas (*heat exchanger*). Di dalam penukar panas, panas tersebut dipindahkan ke pendingin sekunder untuk kemudian dibuang ke lingkungan melalui menara pendingin (*cooling tower*).

Pada awalnya penukar panas yang telah terpasang mampu menunjang pengoperasian reaktor TRIGA 2000 Bandung pada daya 2000 kW dengan aman, selamat dan berkesinambungan [1].

Pada saat ini efektivitas penukar panas menurun, dimana proses pendinginan atau pengambilan panas dari air pendingin primer oleh air pendingin sekunder di dalam penukar panas berlangsung tidak secara maksimal, sehingga beda suhu air pendingin masuk dan ke luar penukar panas adalah kecil.

Terdapat beberapa kemungkinan penyebab turunnya efektivitas pemindahan panas dari penukar panas reaktor TRIGA 2000 Bandung, diantaranya laju alir air pendingin pada sisi primer dan sisi sekunder penukar panas menjadi turun. Keadaan ini terjadi, karena adanya endapan pengotor dari air pendingin pada sisi primer dan sisi sekunder penukar panas yang mengurangi laju alir pendingin di tempat tersebut.

Secara teknis, ada beberapa tindakan yang dapat dilakukan untuk menurunkan suhu air pendingin primer masuk dan ke luar penukar panas, diantaranya membersihkan pelat penukar panas dari endapan pengotor, mengoperasikan secara bersamaan dua pompa primer dan dua pompa sekunder untuk mendapatkan laju alir maksimum di dalam penukar panas, menambah jumlah pelat pada penukar panas dan mengganti seluruh pelat penukar panas yang ada dengan pelat baru.

Adapun dalam mengoperasikan dua pompa primer dan dua pompa sekunder secara bersamaan, untuk mendapatkan laju alir maksimum di dalam penukar panas, perlu diperhatikan adanya batas maksimum operasi

laju alir pada sisi primer dan sisi sekunder penukar panas [2].

Penambahan jumlah pelat penukar panas dimaksudkan untuk menambah luas permukaan perpindahan panas di dalam penukar panas, sehingga akan lebih banyak lagi panas yang dipindahkan dari air pendingin primer ke air pendingin sekunder, dan beda suhu antara air pendingin primer masuk dengan ke luar penukar panas menjadi besar.

Cara lain untuk menurunkan suhu air pendingin yang ke luar teras adalah dengan mengoptimalkan jumlah air pendingin yang masuk ke teras reaktor, yaitu mengarahkan ujung pipa primer masukan langsung ke bawah teras reaktor.

Mengingat masalah keselamatan mendapat perhatian utama dalam sistem pengoperasian reaktor TRIGA 2000 Bandung, maka pada penelitian ini dilakukan analisis karakteristik temperatur penukar panas reaktor TRIGA 2000 Bandung terhadap berbagai variasi penambahan jumlah pelat penukar kalor, laju alir pendingin primer dan laju alir pendingin sekunder.

Berdasarkan hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui pengaruh penambahan pelat penukar panas, pengaturan laju alir pendingin primer dan laju alir pendingin sekunder terhadap penurunan temperatur pendingin primer. Sehingga dapat menjadi sumbangan analisis dalam kegiatan menurunkan temperatur pendingin reaktor.

Analisis ini dilakukan melalui metode numerik volume atur dengan bantuan paket program *CFD (Computational of Fluid Dynamic)*.

Analisis ini dibatasi pada operasi reaktor TRIGA 2000 kW dengan daya 2000 kW. Untuk mempermudah masalah digunakan asumsi berikut:

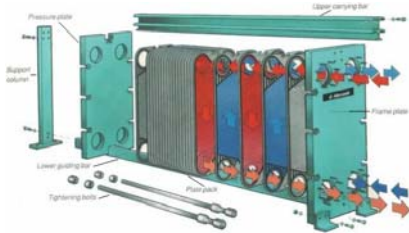
1. Semua alat ukur temperatur terkalibrasi baik.
2. Rugi-rugi panas diabaikan
3. Endapan pengotor pada sisi primer dan sekunder penukar panas diabaikan
4. Bentuk permukaan pelat penukar panas adalah rata (tidak bergelombang). Adapun pengaruh bentuk permukaan pelat yang bergelombang terhadap aliran pendingin, dikompensasikan pada penambahan luas pelat yang ditinjau.

- Keberadaan reaktor dan menara pendingin diabaikan, jadi air primer masuk ke penukar panas dari suatu sumber air panas kemudian ke luar ke suatu bak penampung, dan begitu juga air sekunder masuk ke penukar kalor dari suatu sumber air dingin kemudian ke luar ke bak penampung lainnya.

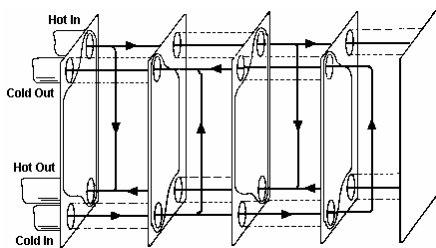
berfungsi sebagai penahan bocor dan mengarahkan fluida agar mengalir dalam arah berlawanan. Permukaan pelat dibuat bergelombang dimaksudkan untuk meningkatkan arus turbulensi dan menyangga pelat terhadap perbedaan tekanan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penukar panas reaktor TRIGA 2000 Bandung yang terpasang saat ini adalah tipe pelat dengan konfigurasi *single pass* (*One-pass/one-pass plate- and-frame heat exchanger*) [3], diproduksi oleh *Baltimore Air Coil* dengan model pelat EC7. Gambar dan diagram aliran penukar panas tipe pelat dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Data teknis pelat dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Sistem penukar panas tipe pelat

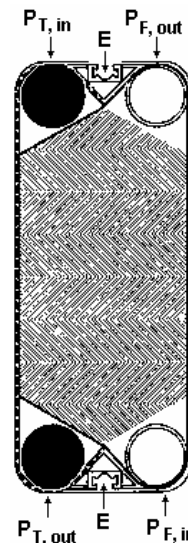


Gambar 2. Diagram aliran pendingin pada penukar panas tipe pelat

Konstruksi penukar panas reaktor TRIGA 2000 Bandung terdiri dari susunan pelat logam bergelombang (Gambar 3) yang dilengkapi dengan lubang pemasukan dan pengeluaran pada bagian atas dan bawah (*port hole*). Lubang ini berfungsi sebagai saluran fluida untuk mengalir di atas permukaan pelat. Susunan pelat-pelat ini ditempatkan antara dua pelat penekan (*pressure plate*), kemudian dikencangkan menggunakan baut pengencang. Antara dua pelat dipisahkan oleh gasket yang

Tabel 1. Data teknis penukar panas

NO.	PARAMETER	UKURAN
1.	Jumlah pelat	144 lembar
2.	Panjang pelat	177 cm
3.	Lebar pelat	61 cm
4.	Tebal pelat	0,06 cm
5.	Jarak antar pelat	0,35 cm
6.	Diameter port	19,05 cm
7.	Diameter pipa primer	15 cm
8.	Diameter pipa sekunder	20 cm
9.	Pitch	0,41 cm
10.	Laju alir pendingin primer	950 gpm
11.	Laju alir pendingin sekunder	1200 gpm (4541 liter/mnt)



Gambar 3. Pelat penukar panas

Bahan pelat penukar panas yang digunakan adalah *SS 304*, sedangkan untuk gasket digunakan *Neoprene* dan *Nitrile Rubber*

Analisis karakteristik penukar panas dapat dilakukan melalui kajian eksperimen, kajian teoritik atau gabungan kajian teoritik dengan kajian eksperimen. Kajian teoritik diantaranya dapat dilakukan dengan bantuan paket program

CFD (Computational of Fluid Dynamic). Sebagai masukan utama yang dibutuhkan program *CFD* dalam kajian ini adalah temperatur masukan sisi primer dan sisi sekunder, laju alir masukan pada sisi primer dan sisi sekunder penukar panas, sifat-sifat fisika air primer dan sekunder, sifat fisika material pembentuk penukar panas.

Bentuk persamaan dasar matematik yang digunakan program *CFD* dalam menganalisis model hidrodinamika penukar panas yang ditinjau adalah sebagai berikut [4,5]:

Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \bar{u}_i) = 0 \quad (1)$$

Persamaan momentum arah i

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u'_i u'_j) + \rho g \quad (2)$$

$$(\rho u'_i u'_j) = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} = \text{tegangan Reynold aliran turbulen model } (k-\varepsilon)$$

Notasi : indeks $i = 1, 2, 3$ dan $j = 1, 2, 3$.

δ_{ij} = delta Kronecker

Persamaan energi

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_i h) = -\frac{\partial}{\partial x_i}(k_f + k_t) \frac{\partial T}{\partial x_i} + \bar{u}_i \frac{\partial P}{\partial x_i} + \mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \quad (3)$$

\bar{u} = komponen kecepatan rata - rata

ρ = rapat massa , g = gravitasi

P = tekanan

k_f = konduktivitas molekular fluida

C_p = kapasitas panas spesifik

μ = viskositas dinamik fluida

μ_t = viskositas turbulen

T = temperatur

$h = \int_{T_{ref}}^T C_p dT = C_p (T - T_{ref})$ = entalpi

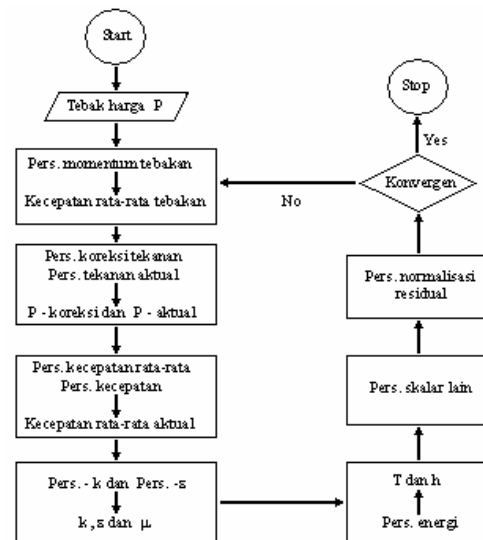
$k_t = C_p \frac{\mu_t}{Pr_t}$ = konduktivitas turbulen

$Pr_t = \frac{C_p \mu_t}{k_t}$ = bilangan Prandtl turbulen

k = energi kinetik turbulen

Penyelesaian persamaan dasar matematika di atas dilakukan program *CFD* menggunakan

metode volume hingga (*Finite Volume*), yaitu mengubah persamaan-persamaan di atas menjadi bentuk persamaan diskret volume hingga. Diagram alir proses penyelesaian persamaan diskret tersebut dilakukan program *CFD* berdasarkan Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir proses penghitungan yang dilakukan program *CFD*.

Ke luaran paket program *CFD* yang penting untuk digunakan di dalam perhitungan ini, diantaranya adalah temperatur ke luaran sisi primer dan sisi sekunder, laju alir ke luaran pada sisi primer dan sisi sekunder penukar panas. Data ke luaran paket program *CFD* dijadikan input dalam menghitung efektivitas (E) penukar panas menggunakan korelasi empirik berikut [6].

Jika $(M.c_p)_{primer} > (M.c_p)_{sekunder}$, maka:
 $(M.c_p)_{sekunder} = (M.c_p)_{minimum}$

$$E = \frac{T_{sekunder, keluar} - T_{sekunder, masuk}}{T_{primer, masuk} - T_{sekunder, masuk}} \quad (4)$$

Jika $(M.c_p)_{primer} < (M.c_p)_{sekunder}$, maka:
 $(M.c_p)_{primer} = (M.c_p)_{minimum}$

$$E = \frac{T_{primer, masuk} - T_{primer, keluar}}{T_{primer, masuk} - T_{sekunder, masuk}} \quad (5)$$

3. TATA KERJA DAN METODE

Pelaksanaan penelitian ini dimulai dengan kegiatan mengumpulkan data operasi reaktor, dan dipilih data operasi reaktor pada daya 2000 kW. Adapun perolehan data tersebut dinyatakan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data operasi reaktor daya 2000 kW

DAYA 2 MW		PRIMER			SEKUNDER		
Tgl (2005)	Jam	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	M (gpm)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	M (liter/mnt)
30-12	11.00	41,6	34,3	906	30,9	35,8	5025
30-12	12.00	41,8	34,3	906	30,8	35,8	5025
30-12	13.00	41,3	33,8	906	30,5	35,5	5025
30-12	14.00	41,2	33,9	906	30,6	35,5	5025

Adapun geometri penukar panas yang ditinjau, dibentuk dengan menggunakan *Preprocessor CFD*, yaitu membangun bentuk penukar panas pada Gambar 2 dalam model benda tiga dimensi, dan dalam hal ini dibangun bentuk penukar panas yang memiliki 384 lembar pelat.

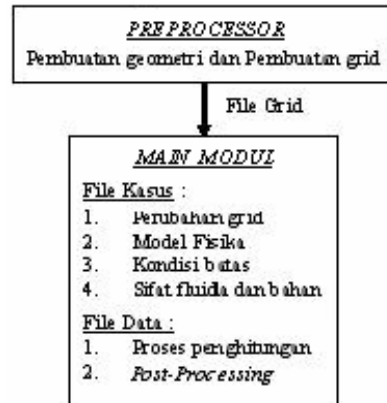
Agar program *CFD* dapat melakukan proses operasi penghitungan terhadap geometri penukar panas yang telah dibangun, maka perlu dilakukan pembentukan *grid-grid* pada geometri tersebut, yaitu membagi geometri penukar panas yang telah dibangun menjadi banyak sel-sel satuan volume. Karena program *CFD* hanya dapat melakukan operasi penghitungan pada geometri yang di-*grid*, maka dalam menetapkan jumlah pelat penukar panas untuk setiap tahap penghitungan, ditentukan berdasarkan jumlah geometri pelat yang di-*grid*.

Grid geometri yang telah dibentuk, kemudian dimasukkan ke *Main Modul CFD*, untuk diberikan kondisi-kondisi batas yang ada sebelum dilakukan proses eksekusi penghitungan.

Untuk jelasnya prosedur kerja yang dilakukan dalam pemodelan alat penukar panas reaktor TRIGA 2000 Bandung dengan menggunakan paket program *CFD* dinyatakan pada Gambar 5

Sebagai langkah awal dilakukannya perhitungan dengan menggunakan program *CFD*, adalah melakukan penghitungan ulang besarnya laju alir pendingin primer dan laju alir pendingin sekunder terhadap perolehan data T_{in-primer}, T_{out-primer}, T_{in-sekunder} dan T_{out-sekunder} seperti yang ditampilkan pada Tabel 2. Hal ini

berkaitan dengan salah satu asumsi yang digunakan, bahwa alat ukur temperatur sudah terkalibrasi dengan baik, sehingga data laju alir pendingin yang perlu untuk dihitung ulang. Penghitungan ulang ini merupakan penghitungan awal yang bertujuan untuk mendapatkan perbandingan antara data laju alir pendingin hasil pengukuran di lapangan dengan laju alir pendingin hasil hitungan program *CFD*.



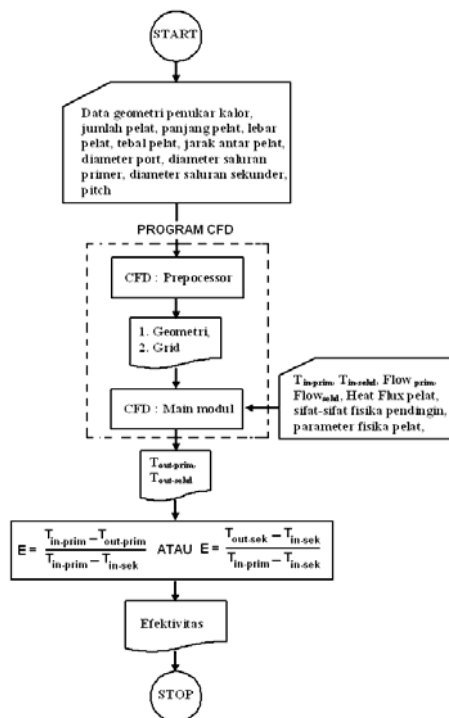
Gambar 5. Diagram hubungan Preprocessor dengan Main Modul di dalam program CFD

Data T_{in-primer}, T_{out-primer}, T_{in-sekunder} dan T_{out-sekunder} yang ditampilkan pada Tabel 2, serta data laju alir pendingin primer dan laju alir pendingin sekunder hasil hitungan ulang program *CFD* dijadikan sebagai acuan dilakukannya optimasi, baik pemilihan jumlah pelat penukar panas atau mengubah laju alir pendingin maupun keduanya. Kemudian data-data ke luaran program *CFD* berupa T_{out-primer} dan T_{out-sekunder} dijadikan input dalam menghitung efektivitas (E) penukar panas menggunakan korelasi empirik persamaan 4 dan persamaan 5.

Secara umum tahapan-tahapan kegiatan yang dilakukan pada penelitian ini dinyatakan dalam diagram alir Gambar :

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

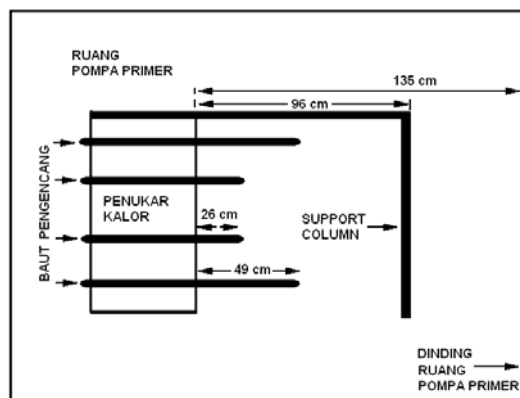
Berdasarkan kondisi yang terdapat di ruang pompa primer reaktor TRIGA 2000 Bandung, maka secara teoritik jumlah pelat penukar panas yang dapat ditambahkan dinyatakan pada Tabel 3 dan Gambar 7. Namun dalam pelaksanaannya di lapangan akan berbeda, karena harus memperhitungkan kondisi ruang gerak pekerja ketika melakukan pekerjaan penambahan pelat.



Gambar 6. Langkah-langkah penelitian

Tabel 3. Tahapan-tahapan penambahan pelat

PANJANG RUANG (cm)	JUMLAH PELAT YANG DAPAT DITAMBAHKAN (lembar)
26	63
49	119
96	234



Gambar 7. Ruang-ruang penambahan pelat penukar panas

Panjang ruang 26 cm adalah tempat yang tersedia berdasarkan panjang baut pengencang

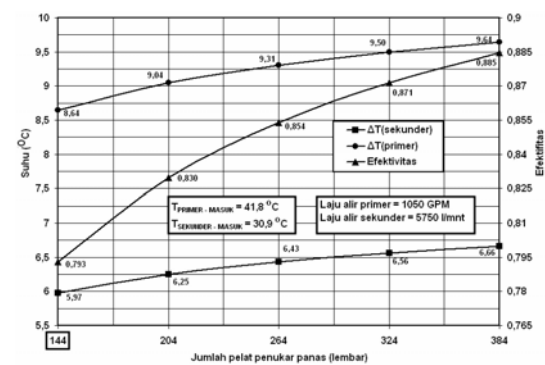
di bagian tengah pelat penekan (*pressure plate*) penukar panas. Panjang ruang 49 cm adalah tempat yang tersedia berdasarkan dengan panjang baut pengencang di bagian atas dan bagian bawah pelat penekan penukar panas. Panjang ruang 96 cm adalah tempat yang tersedia antara pelat penekanan penukar panas dengan *support column*. Panjang ruang 135 cm adalah tempat yang tersedia antara pelat penekan penukar panas dengan dinding ruang pompa primer.

Pada lampiran ditampilkan geometri penukar panas tipe pelat yang dibentuk dengan paket program *CFD*. Geometri penukar panas yang dibentuk memiliki 384 lembar pelat. Untuk mengatur penghitungan supaya sesuai dengan tahapan penambahan jumlah pelat, dilakukan pengaturan jumlah geometri pelat yang di-grid, karena program *CFD* hanya dapat melakukan operasi penghitungan pada geometri yang di-grid.

Tabel 4 menunjukkan data awal operasi reaktor pada daya 2000 kW dan hasil hitungan *CFD*. Selanjutnya data ini digunakan sebagai langkah awal dalam menentukan kondisi optimum.

Tabel 4. Data awal operasi reaktor dan hasil *CFD*

PARAMETER	DATA OPERASI	HITUNGAN <i>CFD</i>
T _{primer-masuk}	41,8 °C	41,8 °C
T _{primer-ke luar}	34,3 °C	34,48 °C
T _{sekunder-masuk}	30,8 °C	30,9 °C
T _{sekunder-ke luar}	35,8 °C	36,37 °C
Laju alir primer	906 gpm	1050 gpm
Laju alir sekunder	5025 liter/mnt	5750 liter/mnt



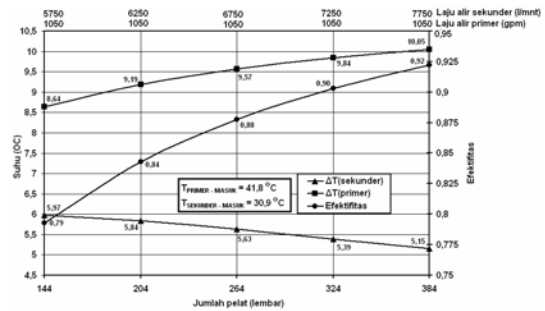
Gambar 8. Perubahan ΔT_{primer} , T_{sekunder} , efektivitas terhadap penambahan pelat

Gambar 8 menunjukkan, bahwa pada kondisi laju alir pendingin primer 1050 gpm

tetap dan laju alir pendingin sekunder 5750 liter/menit tetap, penambahan pelat penukar panas kurang signifikan berpengaruh terhadap kenaikan ΔT_{primer} (perbedaan antara suhu pendingin primer masuk dan ke luar penukar panas) dan kenaikan $\Delta T_{\text{sekunder}}$ (perbedaan antara suhu pendingin sekunder ke luar dan masuk penukar panas) dan efektivitas. Pada penambahan 60 lembar pelat dari 144 lembar pelat semula, hanya memberikan kenaikan $\Delta T_{\text{primer}} = 0,4^{\circ}\text{C}$ ($9,04^{\circ}\text{C} - 8,64^{\circ}\text{C}$), kenaikan $\Delta T_{\text{sekunder}} = 0,28^{\circ}\text{C}$ ($6,25^{\circ}\text{C} - 5,97^{\circ}\text{C}$) dan kenaikan efektivitas = 0,037 (0,83 – 0,793). Untuk penambahan 120 lembar pelat dari 144 lembar pelat semula, hanya memberikan kenaikan $\Delta T_{\text{primer}} = 0,67^{\circ}\text{C}$ ($9,31^{\circ}\text{C} - 8,64^{\circ}\text{C}$), kenaikan $\Delta T_{\text{sekunder}} = 0,46^{\circ}\text{C}$ ($6,43^{\circ}\text{C} - 5,97^{\circ}\text{C}$) dan kenaikan efektivitas = 0,061 (0,854 – 0,793). Untuk penambahan 180 lembar pelat dari 144 lembar pelat semula, hanya memberikan kenaikan $\Delta T_{\text{primer}} = 0,86^{\circ}\text{C}$ ($9,50^{\circ}\text{C} - 8,64^{\circ}\text{C}$), kenaikan $\Delta T_{\text{sekunder}} = 0,59^{\circ}\text{C}$ ($6,56^{\circ}\text{C} - 5,97^{\circ}\text{C}$) dan kenaikan efektivitas = 0,078 (0,871 – 0,793). Untuk penambahan 240 lembar pelat dari 144 lembar pelat semula, hanya memberikan kenaikan $\Delta T_{\text{primer}} = 1,0^{\circ}\text{C}$ ($9,64^{\circ}\text{C} - 8,64^{\circ}\text{C}$), kenaikan $\Delta T_{\text{sekunder}} = 0,69^{\circ}\text{C}$ ($6,66^{\circ}\text{C} - 5,97^{\circ}\text{C}$) dan kenaikan efektivitas = 0,092 (0,885 – 0,793).

Gambar 9 menunjukkan pengaruh penambahan laju alir pendingin sekunder dan penambahan jumlah pelat pada laju alir pendingin primer tetap, kurang signifikan berpengaruh terhadap kenaikan ΔT_{primer} (perbedaan antara suhu pendingin primer masuk dan ke luar penukar panas) dan efektivitas. Pada penambahan 60 lembar pelat dari 144 lembar pelat semula dan penambahan laju alir sekunder sebesar 500 liter/mnt dari 5750 liter/mnt semula, hanya memberikan kenaikan $\Delta T_{\text{primer}} = 0,55^{\circ}\text{C}$ ($9,19^{\circ}\text{C} - 8,64^{\circ}\text{C}$), penurunan $\Delta T_{\text{sekunder}} = 0,13^{\circ}\text{C}$ ($5,97^{\circ}\text{C} - 5,84^{\circ}\text{C}$) dan kenaikan efektivitas = 0,05 (0,84 – 0,79). Untuk penambahan 120 lembar pelat dari 144 lembar pelat semula dan penambahan laju alir sekunder sebesar 1000 liter/mnt dari 5750 liter/mnt semula, hanya memberikan kenaikan $\Delta T_{\text{primer}} = 0,93^{\circ}\text{C}$ ($9,57^{\circ}\text{C} - 8,64^{\circ}\text{C}$), penurunan $\Delta T_{\text{sekunder}} = 0,34^{\circ}\text{C}$ ($5,97^{\circ}\text{C} - 5,63^{\circ}\text{C}$) dan kenaikan efektivitas = 0,09 (0,88 – 0,79). Untuk penambahan 180 lembar pelat dari 144 lembar pelat semula dan penambahan laju alir sekunder sebesar 1500 liter/mnt dari 5750 liter/mnt semula, hanya memberikan kenaikan $\Delta T_{\text{primer}} = 1,20^{\circ}\text{C}$ ($9,84^{\circ}\text{C} - 8,64^{\circ}\text{C}$), penurunan $\Delta T_{\text{sekunder}} = 0,58^{\circ}\text{C}$ ($5,97^{\circ}\text{C} - 5,39^{\circ}\text{C}$) dan kenaikan efektivitas = 0,11 (0,90 – 0,79). Untuk

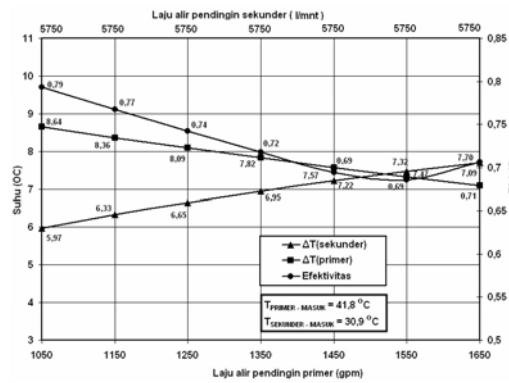
penambahan 240 lembar pelat dari 144 lembar pelat semula dan penambahan laju alir sekunder sebesar 2000 liter/mnt dari 5750 liter/mnt semula, hanya memberikan kenaikan $\Delta T_{\text{primer}} = 1,41^{\circ}\text{C}$ ($10,05^{\circ}\text{C} - 8,64^{\circ}\text{C}$), penurunan $\Delta T_{\text{sekunder}} = 0,82^{\circ}\text{C}$ ($5,97^{\circ}\text{C} - 5,15^{\circ}\text{C}$) dan kenaikan efektivitas = 0,13 (0,92 – 0,79).



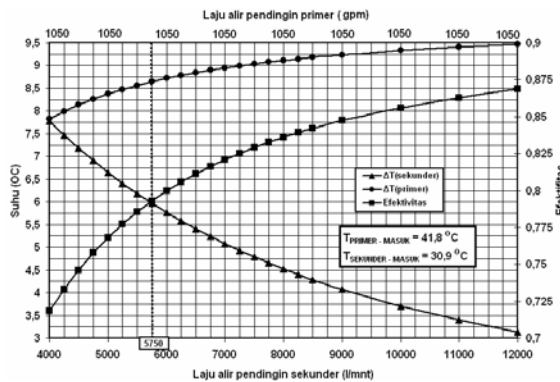
Gambar 9. Perubahan ΔT_{primer} , $\Delta T_{\text{sekunder}}$, efektivitas terhadap penambahan laju alir sekunder dan penambahan jumlah pelat

Gambar 10 menunjukkan pengaruh perubahan laju alir pendingin primer pada kondisi laju alir pendingin sekunder dan jumlah pelat tetap (144 lembar) terhadap ΔT_{primer} , $\Delta T_{\text{sekunder}}$, dan efektivitas. Terlihat jika laju alir air primer dinaikkan (> 1050 gpm) akan menurunkan ΔT_{primer} (suhu air primer ke luar penukar panas menjadi naik) dan efektivitas, tetapi akan menaikkan $\Delta T_{\text{sekunder}}$ (suhu air sekunder ke luar penukar panas menjadi naik). Pada laju alir pendingin primer (>1550 gpm) terjadi kenaikan efektivitas dan ini berbeda jika laju alir pendingin primernya (<1550 gpm), hal ini karena laju alir pendingin primer lebih besar dari laju alir pendingin sekunder. Untuk penurunan laju alir pendingin primer tidak dilakukan, karena akan menaikkan suhu teras reaktor.

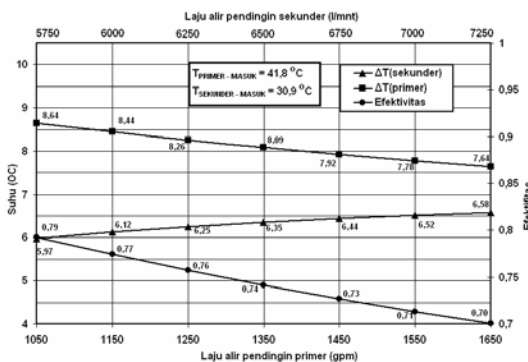
Gambar 11 menunjukkan pengaruh perubahan laju alir pendingin sekunder pada kondisi laju alir pendingin primer 1050 gpm tetap dan jumlah pelat 144 lembar tetap terhadap ΔT_{primer} , $\Delta T_{\text{sekunder}}$, dan efektivitas. Terlihat jika laju alir pendingin sekunder dinaikkan (> 5750 liter/mnt) akan menaikkan ΔT_{primer} (suhu pendingin primer ke luar penukar panas menjadi turun) dan efektivitas, tetapi akan menurunkan $\Delta T_{\text{sekunder}}$ (suhu pendingin sekunder ke luar penukar panas menjadi turun). Dan sebaliknya akan terjadi, jika laju alir pendingin sekunder diturunkan (< 5750 liter/mnt).



Gambar 10. Perubahan ΔT_{primer} , $\Delta T_{\text{sekunder}}$, efektivitas terhadap perubahan laju alir pendingin primer



Gambar 11 Perubahan ΔT_{primer} , $\Delta T_{\text{sekunder}}$, efektivitas terhadap perubahan laju alir sekunder

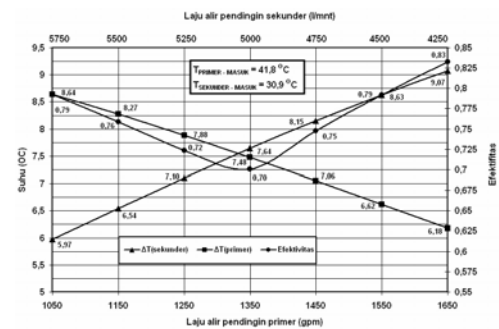


Gambar 12. Perubahan ΔT_{primer} , $\Delta T_{\text{sekunder}}$, efektivitas terhadap perubahan laju alir pendingin primer dan sekunder

Gambar 12 menunjukkan pengaruh perubahan laju alir pendingin sekunder dan primer pada jumlah pelat tetap (144 lembar) terhadap ΔT_{primer} , $\Delta T_{\text{sekunder}}$, dan efektivitas. Terlihat jika laju alir pendingin sekunder dinaikkan (> 5750 liter/mnt) dan laju alir pendingin primer dinaikkan (> 1050 gpm) akan

menurunkan ΔT_{primer} (suhu pendingin primer ke luar penukar panas jadi naik) dan efektivitas, tetapi akan menaikkan $\Delta T_{\text{sekunder}}$ (suhu pendingin sekunder ke luar penukar panas menjadi naik).

Gambar 13 menunjukkan pengaruh pengurangan laju alir pendingin sekunder dan penambahan laju alir pendingin primer pada jumlah pelat tetap terhadap ΔT_{primer} , $\Delta T_{\text{sekunder}}$, dan efektivitas. Terlihat jika laju alir pendingin sekunder diturunkan (< 5750 liter/mnt) dan laju alir pendingin primer dinaikkan (> 1050 gpm) akan menurunkan ΔT_{primer} (suhu pendingin primer ke luar penukar panas menjadi naik) dan efektivitas, tetapi akan menaikkan $\Delta T_{\text{sekunder}}$ (suhu pendingin sekunder ke luar penukar panas menjadi naik). Tetapi pada kondisi laju alir pendingin sekunder (< 4750 liter/mnt) dan laju alir pendingin primer (> 1450 gpm) efektivitas menjadi naik, hal ini terjadi karena jumlah aliran massa pendingin primer lebih besar dari jumlah aliran massa pendingin sekunder.



Gambar 13 Perubahan ΔT_{primer} , $\Delta T_{\text{sekunder}}$, efektivitas terhadap penambahan laju alir primer dan pengurangan laju alir sekunder

5. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka untuk kondisi-kondisi yang digunakan dapat diambil beberapa kesimpulan berikut:

1. Parameter reaktor pada daya operasi 2000 kW, yaitu $T_{\text{primer-masuk}} = 41,8^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{primer-ke luar}} = 34,3^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{sekunder-masuk}} = 30,8^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{sekunder-ke luar}} = 35,8^{\circ}\text{C}$ dan laju alir primer = 906 gpm, dan laju alir sekunder = 5025 liter/mnt, dianggap program CFD sebagai $T_{\text{primer-masuk}} = 41,8^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{primer-ke luar}} = 34,1^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{sekunder-masuk}} = 30,9^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{sekunder-ke luar}} = 36,1^{\circ}\text{C}$ dan laju alir primer = 1050 gpm, dan laju alir sekunder = 5750 liter/mnt.
2. Berdasarkan kondisi yang tersedia di ruang

- pompa primer, secara teoritik jumlah pelat penukar panas yang dapat ditambahkan adalah 63 pelat, 119 pelat, dan 234 pelat. Namun dalam pelaksanaannya di lapangan akan berbeda, karena harus memperhitungkan kondisi ruang gerak pekerja ketika melakukan pekerjaan penambahan pelat.
3. Untuk kondisi laju alir pendingin primer 1050 gpm tetap dan laju alir pendingin sekunder 5750 liter/menit tetap, penambahan pelat penukar panas kurang signifikan berpengaruh terhadap kenaikan ΔT_{primer} (perbedaan antara suhu pendingin primer masuk dan ke luar penukar panas), kenaikan $\Delta T_{\text{sekunder}}$ (perbedaan antara suhu pendingin sekunder ke luar dan masuk penukar panas) serta kenaikan efektivitas penukar panas.
 4. Optimasi yang lebih baik dan dapat dilakukan untuk menurunkan suhu pendingin primer ke luar dari penukar panas serta sekaligus menurunkan suhu pendingin primer di teras reaktor, adalah dengan menaikkan laju pendingin sekunder bersamaan dengan penambahan jumlah pelat penukar panas.
 5. Pada kondisi laju aliran pendingin sekunder 5750 liter/menit tetap, penambahan laju alir pendingin primer akan menaikkan suhu air pendingin primer ke luar dari penukar panas.
 6. Pada kondisi laju aliran pendingin primer 1050 gpm tetap, penambahan laju alir pendingin sekunder akan menurunkan suhu air pendingin primer ke luar dari penukar panas, dan pengurangan laju alir pendingin sekunder akan menaikkan suhu air pendingin primer ke luar dari penukar panas.
 7. Pada kondisi laju aliran pendingin primer dan laju alir pendingin sekunder ditambah, akan menaikkan suhu air pendingin primer ke luar dari penukar panas.
 8. Pada kondisi laju aliran pendingin primer dinaikkan dan laju alir pendingin sekunder diturunkan, akan menaikkan suhu air pendingin primer ke luar dari penukar panas.

5.2. Saran

1. Untuk menurunkan suhu air pendingin primer ke luar dari penukar panas dapat dilakukan dengan menaikkan laju alir pendingin sekunder, menambah jumlah pelat penukar panas, atau kedua-duanya.

2. Perlu dihindari tindakan pengurangan laju alir pendingin primer dalam upaya untuk menurunkan suhu pendingin primer ke luar dari penukar panas, karena akan menaikkan suhu teras. Hal ini dapat terlihat, jika kajian ini dilakukan terhadap reaktor dan penukar panas dalam satu sistem yang tidak terpisah.
3. Perlu dilakukan kajian lanjutan untuk mengetahui seberapa efektifnya pengaruh penambahan laju alir pendingin primer dalam menurunkan suhu teras reaktor, jika dibandingkan dengan pengaruh penambahan laju alir pendingin primer terhadap kenaikan suhu air pendingin primer ke luar penukar panas. Kajian ini dapat dilakukan terhadap reaktor dan penukar panas dalam satu sistem yang tidak terpisah.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada staf dan teknisi Fisika dan Termohidrolik Reaktor serta teknisi Operasi Reaktor pada Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri–BATAN atas bantuannya.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. **REINALDY NAZAR, DUDUNG AR, MASRI Z.** Karakteristik dan efektifitas menara pendingin reaktor triga 2000. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir. Yogyakarta: P3TM; 2004
2. **SUDJATMI KA.** Laporan analisis keselamatan (LAK) reaktor triga 2000 Bandung. Bandung: Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri; 2006
3. **EFRIZON UMAR, R SURYAWINATA.,** Perancangan dan Pemasangan Sistem Pendingin Sekunder Reaktor TRIGA MARK II 2000 kW, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknik Nuklir; 2000.
4. **ANDERSON JD.** Computational fluid dynamics: the basic with applications. Singapore: Mc Graw-Hill; 1999
5. **VERSTEEG HK, MALALASEKERA W.,** An Introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method. England: Longman Scientific. & Technical; 1999
6. **HEWIT GF, SHIRES GL, BOTT TR.,** Process heat transfer. Madison Avenue New York: Begell House Inc; 2000

7. DISKUSI

Sukmanto Dibyo-PTRKN:

1. Pada mulanya HE mampu
2. Tapi saat ini kemampuannya berkurang
3. Penambahan plat, mengatur konfigurasi

Mengapa problem no.2 diekspansi oleh no.3 sedangkan mulanya no.1 mampu? Jadi kembali saja ke kondisi no.1

Reynaldi Nazar-PTNBR:

Butir (3) yang Bapak sebutkan merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan disamping banyak cara lain untuk mengatasi butir (2) (lihat pendahuluan). Untuk kembali ke butir (1), bisa saja, yaitu dengan menggantikan seluruh pelat yang ada dengan pelat baru, tetapi akan berkaitan dengan masalah dana.

Perlu Bapak ketahui bahwa sebelumnya telah dilakukan pembersihan seluruh pelat HE. Efektivitas HE setelah dibersihkan mencapai 80%, tetapi temperatur di teras tetap tinggi. Jadi mungkin pokok permasalahan bukan terletak di HE tetapi di teras reaktor.

Dudung Abdul Razak-PTNBR:

Perlu sinkronisasi nilai-nilai optimal dengan nilai-nilai optimal dari perhitungan Pak Henky dan Ibu Wardhani untuk memperoleh data optimal yang dilaksanakan di lapangan?!

Reynaldi Nazar-PTNBR:

Ya betul Pak. Tetapi sebelumnya perlu dilihat dahulu apakah asumsi-asumsi dan pendekatan yang saya lakukan sama dengan perhitungan yang dilakukan Pak Henky. Jadi yang mungkin dapat dilaksanakan adalah sinkronisasi hasil perhitungan yang saya lakukan dengan data di lapangan. Kemudian dari sinkronisasi hasil-hasil perhitungan yang dilakukan akan diketahui metode yang paling mendekati dengan kondisi yang ada di lapangan. Sehingga akan diketahui data optimasi yang dapat dilaksanakan di lapangan berdasarkan metode yang terpilih.

V.I.S. Wardhani-PTNBR:

1. Tabel 4 : ΔT atau T? (pada parameter)
Juga pada kesimpulan 1 (ΔT ?)
2. Dari kesimpulan 2, jadi kira-kira berapa pelat yang harus ditambahkan?
3. Pada kesimpulan.....laju alir primer dan sekunder tetap, berapa?

Reynaldi Nazar-PTNBR:

1. Yang betul adalah T bukan ΔT , terimakasih atas koreksinya.
2. Penambahan pelat dalam pelaksanaannya tergantung teman-teman di reaktor, tetapi secara teori dapat ditambahkan hingga ± 230 pelat.
3. Laju alir primer 1050 gpm, laju alir sekunder 5750 l/menit. Pada analisis dan pembahasan telah saya jelaskan, silahkan lihat kembali ke kurva-kurva yang ditampilkan.

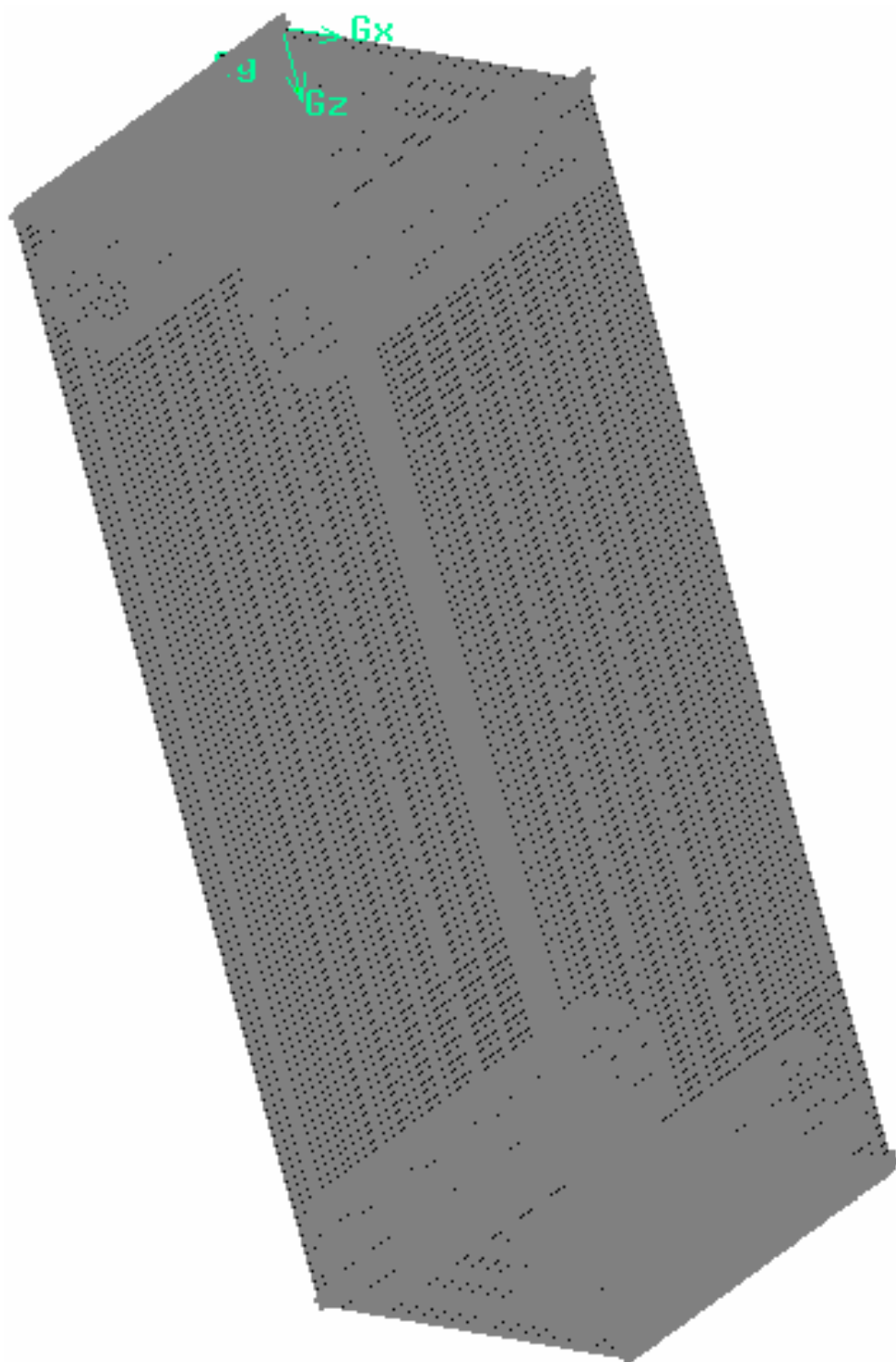
Margono-PTNBR:

Apa bedanya penelitian yang dilakukan ini dengan penelitian yang dilakukan Pak Henky "Pengaruh penambahan jumlah pelat terhadap unjuk kerja penukar panas (HE)"

Reynaldi Nazar-PTNBR:

Penelitian Pak Henky dilakukan penghitungan dengan menggunakan korelasi empirik menggunakan metoda NTU – Efektivitas. Sedangkan penelitian yang saya lakukan menggunakan metode *finite volume* dengan bantuan paket program CFD. Pada dasarnya kedua penelitian yang kami lakukan saling melengkapi, yaitu untuk memberikan pengetahuan dan informasi kepada kegiatan pekerjaan menurunkan temperatur teras reaktor.

LAMPIRAN



Gambar . Geometri penukar panas reaktor TRIGA 2000 Bandung hasil paket program *CFD*