

ANALISIS TERMOHIDROLIK ALIRAN AIR PENDINGIN PADA BERKAS EMPAT PIPA PEMANAS SUSUNAN SEBARIS MENGGUNAKAN PAKET PROGRAM FLUENT V4.25

Reinaldy Nazar, *Jurusan Rekayasa Energi Nuklir,
Fakultas Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung*

Aryadi Suwono, T. A. Fauzi Soelaiman

Lab. Termodinamika, PAU - Ilmu Rekayasa, Institut Teknologi Bandung

RINGKASAN

Paket program FLUENT V4.25 merupakan paket simulasi jenis CFD (Computational Fluid Dynamics) yang diantaranya dapat menganalisis aliran fluida dan perpindahan panas pada suatu sistem. Berkaitan dengan hal tersebut perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui tingkat keandalan yang dimilikinya, sehingga dalam upaya untuk melakukan verifikasi hasil eksperimen dapat dipercaya keabsahan data keluaran yang diberikan oleh paket program tersebut. Berdasarkan pengujian yang dilakukan dengan menggunakan data eksperimen karakteristik termohidrolik aliran pendingin pada berkas empat pipa yang disusun sebaris diketahui bahwa hasil perhitungan yang dikeluarkan oleh paket program FLUENT V4.25 memberikan tingkat kesalahan yang cukup kecil terhadap hasil eksperimen. Dengan demikian kemampuan paket program FLUENT V4.25, diharapkan juga dapat diandalkan dalam mengkaji karakteristik termohidrolik suatu sistem yang sejenis.

ABSTRACT

The FLUENT V4.25 program is the CFD (Computational Fluid Dynamics) simulation. It can be used for fluid flow and heat transfer analyses and others. Regarding the program, the test is needed to know the validity, to verify that the program will give good output. Based on the test using experimental data on four heated parallel rod bundles, the output FLUENT V4.25, it gave a good result, where the differences between calculation and experimental data are not significant. It is expected that the FLUENT V4.25 program may achieve success in thermohydraulic analysis on other similar systems.

Keywords : CFD Simulation, FLUENT V4.25, Thermohydraulic, Four Heated Parallel Rod bundles

1. PENDAHULUAN

Masalah utama pada penggunaan reaktor nuklir adalah terbentuknya hasil fisi radioaktif yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan. Berkaitan dengan keselamatan dalam pengoperasian reaktor, peranan aspek termohidrolik sangat dominan karena sistem termohidrolik membatasi operasi reaktor [1]. Oleh karena itu, dalam rancangan dan analisis termohidrolik, dituntut perhitungan dengan ketelitian yang sangat tinggi, sehingga batas-batas keselamatan yang telah ditetapkan dapat dipatuhi secara ketat.

Karena adanya keterbatasan informasi yang dapat diperoleh dari hasil eksperimen termohidrolik reaktor, maka perlu dilakukan kaji teoritik, misalnya menggunakan paket-paket program komputer yang sesuai.

Dalam menggunakan suatu paket program perlu dilakukan pengujian terhadap tingkat ketelitian

perhitungan, sehingga keabsahan (tingkat ketelitian) informasi-informasi yang diberikan oleh keluaran paket program tersebut dapat diketahui.

Dalam makalah ini, dilakukan pengujian paket program FLUENT V4.25 yang dimiliki Laboratorium Termodinamika, PAU-ITB, terhadap hasil eksperimen karakteristik termohidrolik aliran pendingin pada berkas empat pipa pemanas yang disusun sejajar (model bahan bakar reaktor PWR) [2].

Pada eksperimen, pengkajian dibatasi pada kondisi aliran satu fasa. Dengan demikian untuk simulasi eksperimen ini dengan paket program FLUENT V4.25 diasumsikan bahwa :

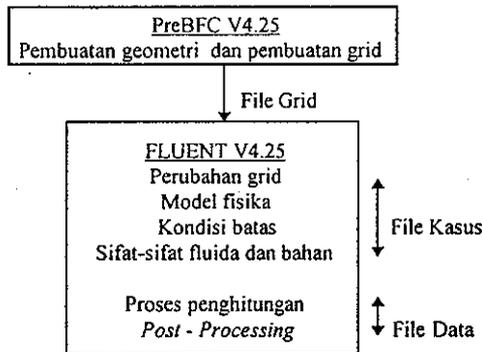
1. Air pendingin bersifat inkompresibel,
2. Aliran turbulen,
3. Kondisi aliran tunak, dan
4. Sifat-sifat fisika dan transport air pendingin konstan.

2. PAKET PROGRAM FLUENT V4.25

2.1 Gambaran Paket Program FLUENT V4.25

Paket program FLUENT merupakan paket simulasi komputer untuk melakukan perhitungan terhadap dinamika fluida yang cukup lengkap saat ini [3]. Paket program FLUENT V4.25 terdiri dari dua program [4] yaitu :

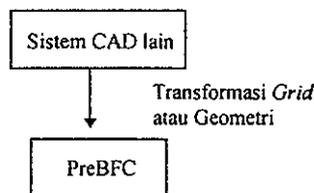
1. PreBFC V4.25 sebagai *preprocessor*
2. FLUENT V4.25 sebagai modul utama



Gambar 1 Diagram hubungan PreBFC dengan FLUENT.

Informasi tentang grid dari model geometri yang dibuat di dalam PreBFC ditransformasikan ke dalam bentuk file grid (*Grid File*) FLUENT. Selanjutnya di dalam FLUENT diberikan informasi tambahan tentang perubahan grid, model-model fisika, sifat-sifat fluida dan kondisi batas yang digunakan. Informasi ini disimpan di dalam file kasus (*Case File*) FLUENT dan hasil proses penghitungan disimpan dalam bentuk file data (*Data File*). Hubungan antara PreBFC dengan FLUENT V4.25 dapat dilihat pada Gambar 1.

PreBFC V4.25 juga dilengkapi dengan fasilitas-fasilitas untuk memanipulasi geometri melalui transformasi geometri dan mendefinisikan kembali elemen-elemen yang telah didefinisikan. Oleh karena itu geometri dapat dibentuk dengan program CAD (*Computational Aided Design*) yang lain. Transformasi ini dapat dilihat pada diagram di bawah ini.



Gambar 2 Impor informasi geometri atau *Grid* ke dalam PreBFC.

2.2 Konsep Dasar FLUENT V4.25

Sesuai dengan asumsi yang digunakan terhadap aliran air pendingin pada berkas empap pipa pemanas, persamaan dasar (pengendali) aliran turbulen dengan kondisi tunak yang digunakan FLUENT V4.25 untuk menganalisis aspek termohidroliknya adalah sebagai berikut:

Persamaan kontinuitas

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

Persamaan momentum

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

$$\rho(\overline{u'_i u'_j}) = \text{tegangan Reynolds}$$

Dengan menerapkan model aliran turbulen (k-ε), maka dari hipotesis *Boussinesq* dinyatakan bahwa :

$$(\rho \overline{u'_i u'_j}) = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}$$

Notasi : indeks i = 1, 2, 3

indeks j = 1, 2, 3

δ_{ij} = delta Kronecker = 1, jika i = j dan = 0, jika i ≠ j

\bar{u} = komponen kecepatan rata-rata

ρ = rapat massa

g = gravitasi

P = tekanan

Persamaan energi

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

T = temperatur

P = tekanan

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

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

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

C_p = kapasitas panas spesifik

k = konduktivitas molekular fluida

μ = viskositas dinamik fluida

μ_t = viskositas turbulen

Persamaan transport energi kinetik turbulen (k)

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \bar{u}_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \epsilon \quad (4)$$

$$\sigma_k = \mu_t \frac{C_p}{k_t}$$

Persamaan transport laju disipasi energi kinetik turbulen (ε)

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \bar{u}_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{1,3} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + \quad (5)$$

$$1,44 \frac{\epsilon}{k} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right] - 1,92 \rho \frac{\epsilon^2}{k}$$

$$\mu_t = 0,09 \rho \frac{k^2}{\epsilon}$$

2.3 Teknik Penyelesaian Yang Digunakan FLUENT

FLUENT V4.25 menggunakan metoda volume hingga (*Finite Volume*) dalam menyelesaikan persamaan aliran, dimana persamaan diferensial pengendali diubah menjadi persamaan diskret volume hingga, yaitu :

Momentum arah x

$$A_p \bar{u}_p = \sum_{NB} A_{NB} \bar{u}_{NB} + S_x + (P_w - P_e) A_x \quad (6)$$

Momentum arah y

$$B_p \bar{v}_p = \sum_{NB} B_{NB} \bar{v}_{NB} + S_y + (P_s - P_n) B_y \quad (7)$$

Momentum arah z

$$C_p \bar{w}_p = \sum_{NB} C_{NB} \bar{w}_{NB} + S_z + (P_b - P_f) C_z \quad (8)$$

Koreksi tekanan

$$D_p P'_p = \sum_{NB} D_{NB} P'_{NB} + D \quad (9)$$

Energi

$$E_p T_p = \sum_{NB} E_{NB} T_{NB} + E \quad (10)$$

Transport energi kinetik turbulen

$$F_p k_p = \sum_{NB} F_{NB} k_{NB} + F \quad (11)$$

Transport laju disipasi energi kinetik turbulen

$$G_p \epsilon_p = \sum_{NB} G_{NB} \epsilon_{NB} + G \quad (12)$$

Definisi notasi-notasi yang digunakan pada Persamaan 6 hingga Persamaan 12 dapat dilihat pada Pustaka 5.

Perolehan suatu solusi yang konvergen sangat penting pada simulasi FLUENT V4.25, karena solusi yang tidak konvergen akan memberikan hasil yang sangat menyesatkan [6]. Suatu solusi akan dikatakan konvergen jika persamaan-persamaan kekekalan (pengendali) dipenuhi pada setiap titik nodal. Proses dalam menuju tercapainya kriteria solusi konvergen dilaporkan oleh FLUENT V4.25 dalam bentuk laporan *Normalized Residual* untuk setiap iterasi, dimana solusi akan dinyatakan memenuhi kriteria konvergen jika *Normalized Residual* telah mencapai tingkat (nilai) ketelitian yang ditentukan.

FLUENT V4.25 mendefinisikan *Normalized Residual* (\bar{R}_Φ) untuk setiap variabel pengendali Φ pada titik nodal P sebagai berikut :

$$\bar{R}_u = \frac{\sum_{NODAL P} \left[\sum_{NB} A_{NB} \bar{u}_{NB} + S_x + (P_w - P_e) A_x - A_p \bar{u}_p \right]}{\sum_{NODAL P} [A_p \bar{u}_p]} \quad (13)$$

$$\bar{R}_v = \frac{\sum_{NODAL P} \left[\sum_{NB} B_{NB} \bar{v}_{NB} + S_y + (P_s - P_n) B_y - B_p \bar{v}_p \right]}{\sum_{NODAL P} [B_p \bar{v}_p]} \quad (14)$$

$$\bar{R}_w = \frac{\sum_{NODAL P} \left[\sum_{NB} C_{NB} \bar{w}_{NB} + S_z + (P_b - P_f) C_z - C_p \bar{w}_p \right]}{\sum_{NODAL P} [C_p \bar{w}_p]} \quad (15)$$

$$\bar{R}_T = \frac{\sum_{NODAL P} \left[\sum_{NB} E_{NB} T_{NB} + E - E_p T_p \right]}{\sum_{NODAL P} [E_p T_p]} \quad (16)$$

$$\bar{R}_k = \frac{\sum_{NODAL P} \left[\sum_{NB} F_{NB} k_{NB} + F - F_p k_p \right]}{\sum_{NODAL P} [F_p k_p]} \quad (17)$$

$$\bar{R}_\epsilon = \frac{\sum_{NODAL P} \left[\sum_{NB} G_{NB} \epsilon_{NB} + G - G_p \epsilon_p \right]}{\sum_{NODAL P} [G_p \epsilon_p]} \quad (18)$$

Residual tekanan

Residual tekanan dihitung berdasarkan persamaan berikut

$$R = \sum_{NODAL P} [(M_w - M_e + M_s - M_n + M_f - M_b)] \quad (19)$$

dimana, M_w, M_s, M_f , adalah laju aliran massa (kg/s) yang masuk melalui setiap permukaan volume atur di sekeliling titik nodal P dan M_e, M_n, M_b adalah laju aliran massa (kg/s) yang keluar melalui setiap permukaan volume atur di sekeliling titik nodal P.

Normalized Residual Tekanan

Normalized residual tekanan dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$\bar{R} = \frac{R_{\text{iterasi ke } N}}{R_{\text{iterasi ke } 2}} \quad (20)$$

Untuk membatasi perubahan perhitungan yang terjadi pada setiap variabel pengendali, FLUENT menggunakan proses *Under-Relaxation*, dimana pengaturan ini dilakukan berdasarkan persamaan berikut:

$$\Phi^N = \Phi^{N-1} + f_\Phi (\Phi^{\text{hasil hitungan}} - \Phi^{N-1}) \quad (21)$$

dengan f_Φ = faktor *Under-Relaxation* untuk variabel pengendali Φ (u, v, w, T, h, k, ϵ).



Gambar 3 Diagram alir proses penghitungan yang dilakukan FLUENT V4.25.

Penyelesaian persamaan (pengendali) diskret Pers. (6) sampai (9) dipilih dengan menggunakan Algoritma *SIMPLE*, yaitu untuk mencari hubungan antara medan kecepatan dengan medan tekanan yang memenuhi persamaan kontinuitas dan persamaan momentum. Selanjutnya dalam proses mencari solusi, FLUENT melakukan langkah-langkah berdasarkan diagram alir pada Gambar 3.

3. EKSPERIMEN

Data pembanding yang digunakan untuk menguji program FLUENT V4.25 diambil dari hasil eksperimen karakteristik termohidrolik aliran pendingin pada berkas empat pipa pemanas susunan sebaris yang ditempatkan di dalam kotak berkas pipa pemanas [2].

3.1 Kotak Berkas Pipa Pemanas

Kotak berkas pipa pemanas digunakan untuk menempatkan empat pipa pemanas yang disusun sejajar. Kotak berkas pipa pemanas dibuat dari *Stainless Steel* dengan ketebalan 0,8 cm. Tinggi kotak adalah 150 cm dan lebar sisi dalam adalah 6,736 cm. Pada dinding kotak terdapat dua buah lubang pada bagian sisi yang berseberangan masing-masing 5 cm dari ujung tabung dengan diameter 2,54 cm. Kedua lubang ini berfungsi untuk saluran air pendingin ke dalam dan ke luar kotak berkas pipa pemanas.

Pada saluran masuk dan keluar tersebut ditempatkan termokopel untuk mengukur temperatur masuk dan keluar air pendingin. Selain itu, pada saluran masuk dipasang *Flowmeter*.

3.2 Pipa Pemanas

Pipa pemanas terbuat dari pipa *Stainless Steel* berdiameter luar 2,54 cm. Kemudian ke dalam pipa pemanas dimasukkan kawat pemanas diameter 0,1 cm yang terbuat dari bahan *Nickel Chromium* dengan batasan temperatur maksimum 1523 K. Kawat tersebut digulungkan pada pipa *Stainless Steel* berdiameter 1,27 cm dan bagian luar gulungan dilapisi dengan asbes untuk mengatasi hubungan singkat dengan pipa pemanas. Pada kedua ujung gulungan pemanas tersebut dipasang keramik supaya tidak terjadi aliran arus listrik dari gulungan pemanas ke kotak berkas pipa pemanas. Dudukan termokopel pada dinding pipa pemanas mempergunakan karbon sehingga termokopel tersebut terlindung dari pemanasan secara langsung. Ujung-ujung termokopel menyentuh dinding dalam pipa pemanas. Hambatan masing-masing gulungan pemanas tersebut adalah 40 ohm.

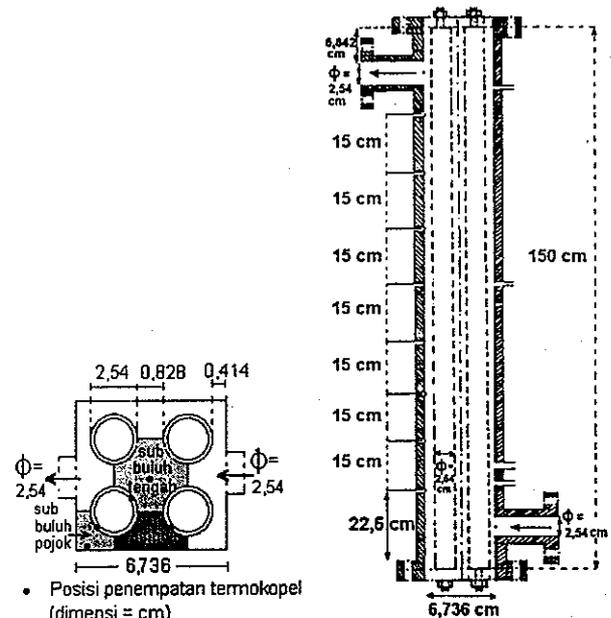
3.3 Pembangkitan Daya Pemanas

Untuk memanaskan keempat pipa pemanas yang ada digunakan jaringan listrik PLN dengan tegangan 220 volt. Sebelum melewati pipa-pipa pemanas, arus listrik dilewatkan melalui regulator dengan daya maksimum 2000 watt. Pada keluaran regulator dipasang sebuah *Voltmeter* dan *Amperemeter* untuk mengukur tegangan operasi dan arus yang melewati pipa-pipa pemanas tersebut.

3.4 Posisi Penempatan Termokopel

Karena analisis yang dilakukan dalam eksperimen ini adalah menggunakan metoda sub buluh, maka pengukuran data dilakukan pada sub buluh pojok, sub buluh pinggir dan sub buluh tengah. Sub buluh yang dianalisis serta posisi-posisi penempatan termokopel untuk mengukur temperatur air pendingin dan dinding luar pipa pemanas pada setiap sub buluh dapat dilihat pada Gambar 4.

Untuk mengukur temperatur pendingin pada setiap sub buluh, maka sepanjang dinding kotak berkas pipa pemanas ditempatkan 8 termokopel untuk setiap sub buluh yang ditinjau dengan jarak antara termokopel 15 cm. Untuk mengukur temperatur dinding luar pipa pemanas, maka pada setiap dinding pipa pemanas dari sub buluh yang ditinjau dipasang termokopel.



- Posisi penempatan termokopel (dimensi = cm)

Gambar 4 Penampang kotak berkas pipa pemanas dan posisi penempatan termokopel.

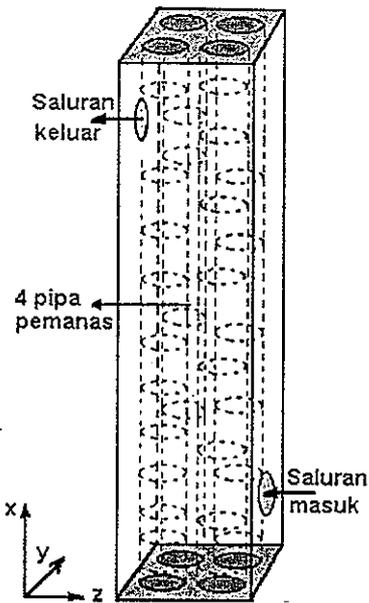
3.5 Kondisi Batas Pada Eksperimen

Guna menerapkan eksperimen tersebut di dalam paket program FLUENT V4.25, maka dalam pengujian ini dipilih kondisi batas yang digunakan pada Percobaan 3.4 [2], yaitu : laju aliran pendingin masuk kotak berkas pipa pemanas melalui saluran masuk 8 liter/s, temperatur aliran air pendingin ketika masuk kotak berkas pipa pemanas 301 K, tekanan aliran pendingin ketika masuk kotak berkas pipa pemanas 40 bar, tegangan listrik dari regulator 120 volt dan kuat arus 12 ampere. Dengan demikian daya total untuk seluruh pipa pemanas 1440 watt, sehingga laju pembangkitan panas pada setiap pipa pemanas 360 watt.

4. PENERAPAN EKSPERIMEN PADA FLUENT V 4.25

4.1 Geometri Kotak Berkas dan Pipa Pemanas

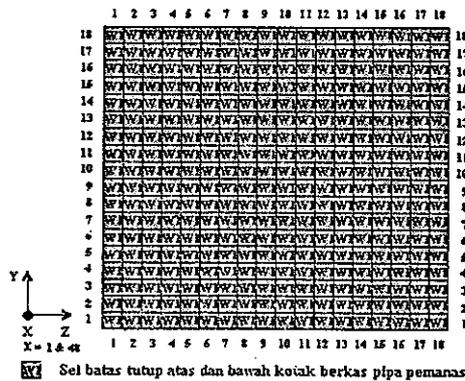
Untuk menerapkan model kotak berkas dan pipa pemanas ke dalam program FLUENT V4.25, maka geometri kotak berkas dan pipa pemanas tersebut digambarkan dengan menggunakan program PreBFC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



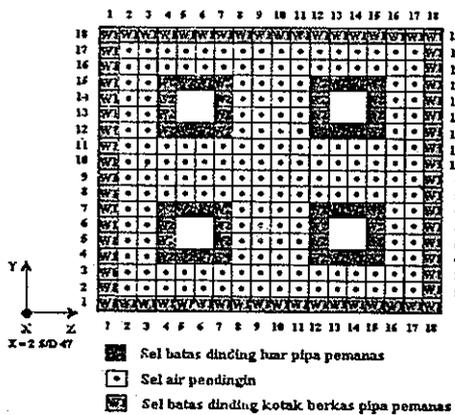
Gambar 5 Geometri kotak berkas dan empat pipa pemanas yang dibentuk dengan PreBFC.

4.2 Identifikasi Sel-sel Batas

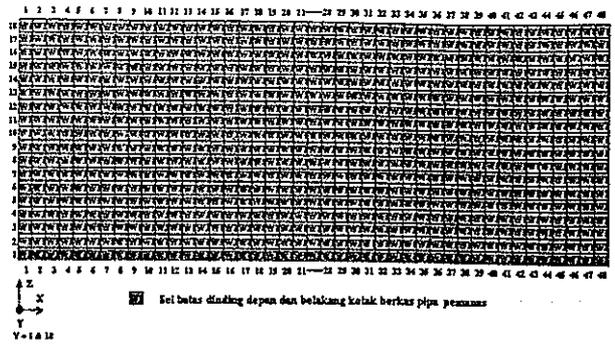
Untuk dapat menerapkan kondisi batas yang digunakan pada eksperimen dalam program FLUENT V4.25, maka tipe-tipe sel batas yang digunakan pada model geometri tersebut dinyatakan pada Gambar 6 hingga Gambar 10 berikut:



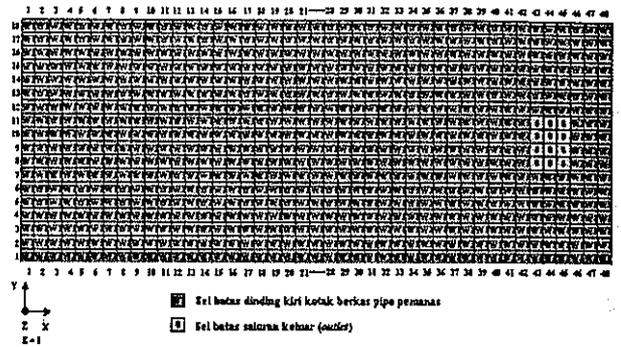
Gambar 6 Tipe sel pada tutup atas dan bawah kotak berkas pipa pemanas.



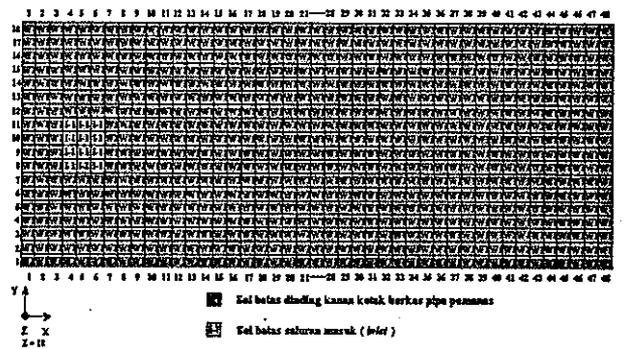
Gambar 7 Tipe sel penampang horizontal kotak berkas dan pipa pemanas.



Gambar 8 Tipe sel pada dinding depan dan belakang kotak berkas pipa pemanas.



Gambar 9 Tipe sel pada dinding kiri kotak berkas pipa pemanas.



Gambar 10 Tipe sel pada dinding kanan kotak berkas pipa pemanas.

Lima tipe sel batas yang dinyatakan pada Gambar 6 hingga Gambar 10 di atas merupakan tipe-tipe sel volume atur yang terdapat pada geometri kotak berkas dan pipa pemanas Gambar 5, dimana definisi tipe-tipe sel tersebut adalah sebagai berikut:

1. Tipe sel *inlet* (I-1) : bidang batas saluran masuk untuk menyatakan harga-harga kondisi batas pendingin ketika masuk kotak berkas pipa pemanas,
2. Tipe sel *outlet* (O) : bidang batas saluran keluar untuk menyatakan daerah dimana pendingin keluar dari kotak berkas pipa pemanas,
3. Tipe sel *wall-1* (W-1) : bidang batas padatan dinding kotak berkas pipa pemanas untuk memasukkan harga kondisi batas yang terdapat pada dinding tersebut,
4. Tipe sel *wall-2* (W-2) : bidang batas padatan dinding luar pipa pemanas untuk memasukkan harga kondisi batas yang terdapat pada dinding tersebut, dan
5. Tipe sel *live* (.) : untuk menyatakan daerah-daerah yang ditempati oleh air pendingin.

4.3 Kondisi Batas yang Diberikan

Sesuai dengan Percobaan 3.4 [2], maka penerapan kondisi batasnya pada FLUENT V4.25 dilakukan sebagai berikut :

Pada bidang batas sel *inlet* (I-1) diberikan kondisi batas berikut:

1. Laju aliran pendingin ketika masuk kotak berkas pipa pemanas(komponen kecepatan -z) 8 liter/s,
2. Temperatur aliran pendingin ketika masuk kotak berkas pipa pemanas 301 K,
3. Tekanan aliran pendingin ketika masuk kotak berkas pipa pemanas 4 MPa, dan
4. Model aliran turbulen k-ε.

Pada bidang batas sel *wall-1* (W-1) diberikan kondisi batas:

1. Fluks panas 0 watt/m², dan
2. Komponen kecepatan arah x, y, dan z masing-masing 0 m/s.

Pada bidang batas sel *wall-2* (W-2) diberikan kondisi batas berikut :

1. Fluks panas 3007,653 watt/m², dan
2. Komponen kecepatan arah x, y, dan z masing-masing 0 m/s.

Sifat-sifat air pendingin konstan dan didasarkan pada data temperatur 301 K

4.4 Cara Pemilihan Data untuk Analisis

Analisis data-data keluaran program FLUENT V4.25 dilakukan terhadap data-data pada barisan sel di posisi x yang tepat sama dengan posisi penempatan termokopel pada setiap sub buluh yang ditinjau. Berdasarkan Gambar 4 dan Gambar 7, maka barisan sel di posisi x yang tepat sama dengan posisi penempatan termokopel untuk mengukur temperatur pendingin dan temperatur dinding luar pipa pemanas pada setiap sub buluh yang ditinjau dapat dilihat pada Tabel 1.

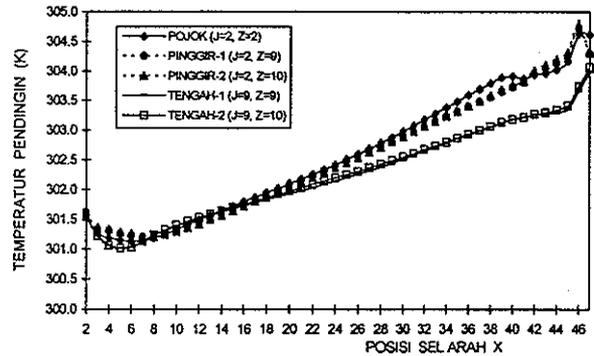
Tabel 1. Barisan Sel pada Sub Buluh yang Ditinjau

Sub buluh	Sel air pendingin			Sel dinding luar pipa pemanas			Sel pendingin di sisi dinding pipa pemanas		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
Pojok-1	2 - 47	2	2	2 - 47	4	4	2 - 47	3	4
Pojok-2	2 - 47	2	9	2 - 47	4	12	2 - 47	4	3
Pinggir-1	2 - 47	2	10				2 - 47	4	11
Pinggir-2	2 - 47	2					2 - 47	3	12
Tengah-1	2 - 47	9	9	2 - 47	7	7	2 - 47	7	8
Tengah-2	2 - 47	9	10				2 - 47	8	7

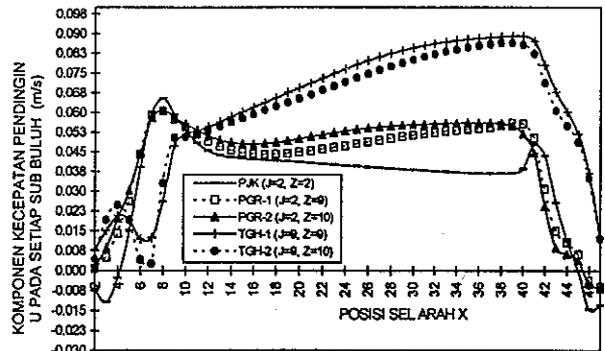
5 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Gambar 11 diketahui, temperatur pendingin sub buluh pojok turun dari posisi sel 2 hingga posisi sel 6, dan naik mulai posisi sel 7 hingga posisi sel 40, lalu turun pada posisi sel 41 dan naik lagi mulai posisi sel 42 hingga mencapai posisi sel 47. Keadaan ini terjadi karena posisi sel 4, 5 dan 6 adalah posisi arah x sel volume atur untuk bidang batas *inlet* (saluran masuk pendingin yang terdapat pada dinding kanan kotak berkas pipa pemanas (lihat Gambar 10)), sehingga terjadi aliran pendingin dari posisi sel 4 ke arah posisi

sel 2 (kecepatan aliran berharga negatif) (Gambar 12). Dengan demikian terjadi penurunan temperatur dari posisi sel 2 hingga posisi sel 6. Temperatur pendingin sub buluh pojok turun pada posisi sel 40, karena posisi sel 43, 44 dan 45 adalah posisi arah x sel volume atur untuk bidang batas *outlet* (saluran keluar pendingin yang terdapat pada dinding kiri kotak berkas pipa pemanas (lihat Gambar 9)).



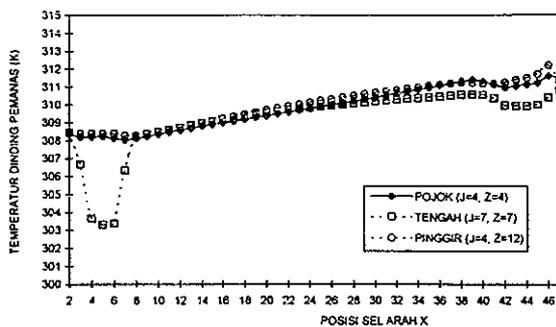
Gambar 11 Temperatur air pendingin hasil perhitungan FLUENT V4.25.



Gambar 12 Distribusi kecepatan arah aksial aliran pendingin pada posisi yang berkaitan dengan Gambar 11.

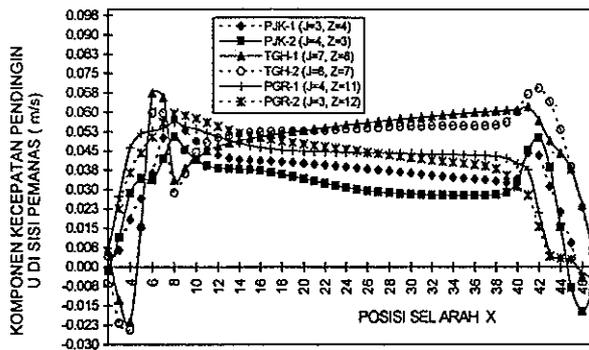
Turunnya temperatur pendingin pada posisi sel 2 hingga posisi sel 6 di dalam sub buluh pinggir dan sub buluh tengah, disebabkan pengaruh aliran silang dari sub buluh pojok ke sub buluh pinggir dan dari sub buluh pinggir ke sub buluh tengah pada posisi tersebut, sehingga perpindahan panas yang terjadi adalah antara dinding pemanas dengan pendingin yang berasal dari aliran silang tersebut. Pada eksperimen gejala-gejala ini tidak kelihatan, karena pada posisi-posisi tersebut tidak ditempatkan termokopel.

Temperatur dinding luar pipa pemanas pada sub buluh tengah cenderung turun dari posisi sel 2 hingga posisi sel 5 (Gambar 13), karena kecepatan aliran arah aksial di sisi dinding luar pemanas pada posisi yang bersangkutan berharga negatif, yaitu terdapat aliran pendingin dari posisi sel 4 ke posisi sel 3 (lihat Gambar 14). Dengan demikian perpindahan panas yang terjadi pada daerah tersebut adalah antara dinding pemanas dengan pendingin yang berasal dari posisi sel 4. Keadaan ini disebabkan pengaruh penempatan pipa masukan pendingin yang berhadapan dengan sub buluh tengah (lihat Gambar 4 dan Gambar 7).

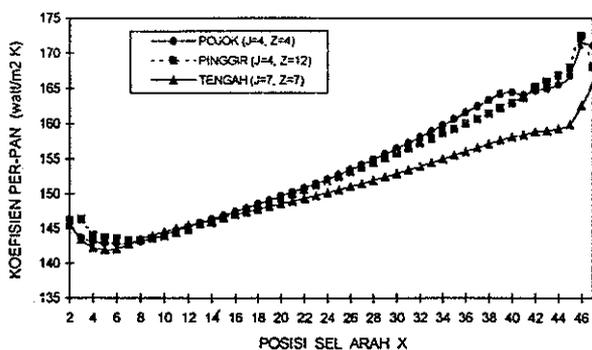


Gambar 13 Distribusi temperatur dinding luar pipa pemanas.

Pada posisi tersebut (Gambar 13) terlihat juga, temperatur dinding luar pipa pemanas sub buluh tengah turun lebih tajam jika dibandingkan dengan sub buluh yang lain, karena daerah sub buluh tengah lebih dekat terhadap pipa masukan dibandingkan dengan sub buluh pojok dan sub buluh pinggir yang diamati. Diketahui juga bahwa temperatur dinding luar pipa pemanas pada setiap sub buluh selalu lebih tinggi dari temperatur air pendingin pada setiap sub buluh yang bersangkutan. Dengan demikian hasil-hasil perhitungan paket program FLUENT V4.25 sangat realistis.



Gambar 14 Distribusi kecepatan arah aksial aliran pendingin di pinggir permukaan dinding pemanas yang ditinjau Gambar 13.



Gambar 15 Koefisien perpindahan panas.

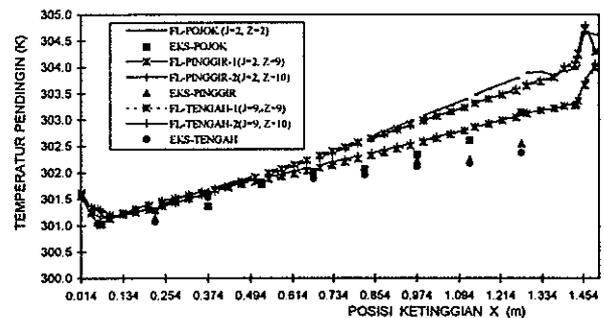
Pengaruh penempatan saluran masuk pada dinding kotak berkas pipa pemanas juga terlihat pada distribusi koefisien perpindahan panas di dinding luar pipa pemanas yang ditinjau (lihat Gambar 15), dimana harga koefisien perpindahan panas pada posisi sel 2 hingga posisi sel 16 rendah secara fisik. Secara umum

koefisien perpindahan panas pada sub buluh pojok > sub buluh pinggir > sub buluh tengah. Hal ini disebabkan pengaruh aliran silang dari sub buluh pojok ke sub buluh pinggir dan dari sub buluh pinggir ke sub buluh tengah.

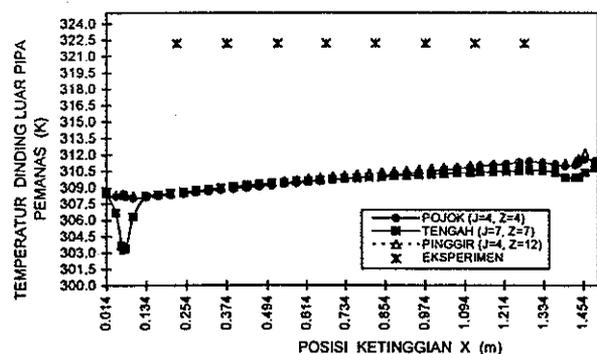
Pada eksperimen, posisi arah aksial (arah panjang pipa pemanas) penempatan termokopel untuk mengukur temperatur pendingin dan temperatur dinding luar pipa pemanas tiap-tiap sub buluh (lihat Gambar 4) adalah sebagai berikut :

1. Posisi 0,225 m (antara sel $x = 10$ dengan sel $x = 11$),
2. Posisi 0,375 m (antara sel $x = 14$ dengan sel $x = 15$),
3. Posisi 0,525 m (antara sel $x = 18$ dengan sel $x = 19$),
4. Posisi 0,675 m (antara sel $x = 22$ dengan sel $x = 23$),
5. Posisi 0,825 m (antara sel $x = 26$ dengan sel $x = 27$),
6. Posisi 0,975 m (antara sel $x = 30$ dengan sel $x = 31$),
7. Posisi 1,125 m (antara sel $x = 34$ dengan sel $x = 35$),
8. Posisi 1,275 m (antara sel $x = 38$ dengan sel $x = 39$).

Gambar 16 menunjukkan perbandingan temperatur pendingin pada setiap sub buluh antara hasil perhitungan FLUENT V4.25 dengan hasil eksperimen. Secara umum, hasil perhitungan FLUENT V4.25 dan hasil eksperimen memberikan hasil yang hampir sama untuk posisi pengamatan yang sama dalam hal ini terdapat perbedaan yang cukup kecil, yaitu berkisar antara 0,0033% - 0,27%. Dengan demikian hasil-hasil perhitungan FLUENT V4.25 tersebut dapat diandalkan.



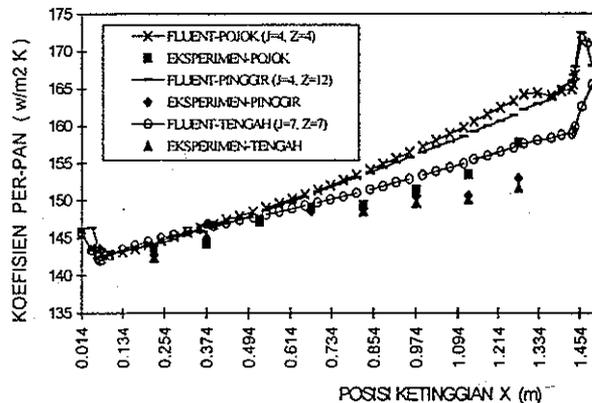
Gambar 16 Perbandingan temperatur pendingin hasil perhitungan FLUENT dan eksperimen.



Gambar 17 Temperatur dinding luar pipa pemanas hasil perhitungan FLUENT dan eksperimen.

Cara penempatan termokopel untuk mengukur temperatur dinding luar pipa pemanas pada eksperimen [2], memberikan data yang hampir sama pada setiap termokopel yaitu 322,2 K. Tetapi dari hasil perhitungan FLUENT V4.25 dapat diketahui distribusi temperatur permukaan pada dinding pemanas yang ditinjau, dimana

perbedaan maksimum antara temperatur dinding luar pipa pemanas hasil perhitungan FLUENT dengan eksperimen adalah $\cong 4\%$. Pada Gambar 17 diinformasikan perbandingan temperatur dinding luar pemanas antara hasil perhitungan FLUENT V4.25 dan hasil eksperimen.



Gambar 18 Koefisien perpindahan panas hasil perhitungan FLUENT dan eksperimen.

Koefisien perpindahan panas hasil perhitungan FLUENT mempunyai perbedaan maksimum $\cong 4\%$ dibandingkan dengan hasil eksperimen, dan secara umum mempunyai kecenderungan yang sama, jika dilihat pada posisi-posisi yang sama. Hanya saja mulai dari posisi dasar tabung pipa uji hingga posisi 0,0951 m kecenderungannya lain, karena pengaruh penempatan pipa masukan air pendingin. Begitu juga yang terjadi pada posisi 1,4 m hingga posisi 1,494 m, karena pengaruh penempatan pipa keluaran. dan di dalam eksperimen tidak dilakukan pengukuran pada posisi-posisi tersebut.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian terhadap paket program FLUENT V4.25 dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. FLUENT V4.25 merupakan paket program CFD yang memberikan tingkat kesalahan yang cukup kecil terhadap hasil eksperimen, sehingga memungkinkan untuk digunakan dalam mengkaji karakteristik termohidrolik suatu sistem.
2. Perbedaan yang terjadi antara hasil perhitungan FLUENT V4.25 dan hasil eksperimen terhadap temperatur permukaan pemanas kemungkinan diakibatkan oleh kesalahan pengukuran pada eksperimen, karena dari hasil eksperimen diperoleh temperatur permukaan pemanas yang hampir sama pada setiap tempat dan setiap pipa pemanas.

6.2 Saran

Untuk mengkaji karakteristik termohidrolik pada sistem-sistem dengan dimensi yang besar sebaiknya dilakukan dengan menggunakan program FLUENT yang mampu melakukan perhitungan untuk penggunaan jumlah sel volume atur yang besar (> 100.000 sel), karena dengan menggunakan program

FLUENT yang hanya mampu menghitung untuk penggunaan jumlah sel yang kecil akan memberikan hasil yang kurang memuaskan.

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis tujukan kepada Bapak Ketut Kamajaya atas izin penggunaan data eksperimen karakteristik termohidrolik aliran pendingin pada berkas empat pipa pemanas yang disusun sejajar [2] untuk menguji paket program FLUENT V4.25.

8. DAFTAR PUSTAKA

1. El Wakil, M.M, *Nuclear Power Engineering*, McGraw-Hill Books Company, New York, 1962.
2. Ketut Kamajaya, *Studi Eksperimental Termohidrolik Berkas Empat Pipa Susunan Sebaris Pada Fasilitas Nilo I*, Tugas Akhir S-2, Jurusan Rekayasa Nuklir ITB, 1995.
3. Freitas, C.J, "Perspective: Selected Benchmarks From Commercial CFD Codes", *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 117, 1995, pp. 208 - 218.
4. Anonim, *Introduction to PreBFC V4*, Fluent Inc., Lebanon, 1993.
5. Reinaldy Nazar, *Kaji Teoritik Aspek Termohidrolik Reaktor Riset Pada Daya 2 MW*, Tesis Magister, Jurusan Rekayasa Energi Nuklir - ITB, 1997.
6. Anonim, *Fluent Version 4 Training*, Fluent Inc., Lebanon, 1993.