

PERANCANGAN DAN VALIDASI DESAIN ALAT PENUKAR KALOR TIPE *SHELL AND TUBE* MENGGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

Eko Kiswoyo¹, Anwar Ilmar Ramadhan^{2,*}

¹Mahasiswa Pasca Sarjana Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Indonesia

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Indonesia

*E-mail: anwar.ilmar@ftumj.ac.id

ABSTRAK

Dalam studi ini akan dilakukan analisa tentang alat penukar kalor tipe shell and tube dengan menggunakan CFD (Computational Fluids Dynamic) dan perhitungan manual. Hasil analisa akan dibandingkan kemudian dicari perbedaan dan persamaan sehingga dapat diketahui pengaruh yang membuat perbedaan atau persamaan hasil analisa tersebut. Analisa dengan menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD) meliputi pembuatan model, penentuan boundary condition, pembuatan mesh, input data material, kemudian proses iterasi. Setelah proses iterasi, akan didapatkan hasil dalam bentuk visual dengan menggunakan skala warna. Analisa perhitungan manual dilakukan setelah semua data dikumpulkan kemudian dimasukan kedalam rumus perhitungan. Hasil dari kedua analisa terdapat selisih temperatur yang keluar dari sisi shell sebesar 1,84 OF. Perbedaan selisih ini dikarenakan pada hasil analisa CFD secara visual dengan menggunakan skala warna sehingga bukan merupakan angka pasti. Sedangkan untuk analisa manual perhitungan menggunakan angka yang pasti sehingga terdapat perbedaan hasil. Walaupun demikian perbedaan tersebut relatif kecil tetapi dari sisi efisiensi perhitungan dengan menggunakan program CFD lebih baik dari pada perhitungan manual.

Kata kunci: perancangan, desain, alat penukar kalor, CFD

ABSTRACT

In this study will be analyzed on a heat exchanger shell and tube type by using CFD (Computational Fluids Dynamic) and analytic calculations. The results of the analysis will be compared later searched the differences and similarities that can be seen the effect that makes a difference or similarity of the analysis results. Analysis using Computational Fluid Dynamics (CFD) includes the manufacture of the model, determining boundary condition, the manufacture of mesh, material data input, then the iteration process. After the iterative process, we will get the results in a visual form by using a color scale. Analysis manual calculation performed after all the data is collected and then put into the calculation formula. The results of both analyzes are the difference in temperature that comes out of the shell of 1.84 OF. The difference is due to the difference in the CFD analysis results visually using a color scale that is not an exact figure. As for the manual analysis calculations using exact numbers, so there are differences in the results. Nevertheless, these differences are relatively small but in terms of efficiency calculations using CFD program is better than the manual calculation.

Keywords: planning, design, heat exchanger, CFD

1. PENDAHULUAN

Alat penukar kalor merupakan suatu alat pertukaran energi panas antara beberapa fluida (Sitompul, 1993, Soekardi, 2012). Alat ini banyak digunakan diberbagai jenis aplikasi seperti pada proses heating ventilation and air conditioning (HVAC) sistem, sistem radiator dan lain- lain. Seperti pada proses dalam

radiator mobil, air radiator mengambil panas mesin dan kemudian didinginkan dalam pipa oleh udara yang mengalir dengan menggunakan bantuan fan (Gaos dkk, 2012, Handayani dkk, 2012).

Beberapa tipe dari konstruksi alat penukar kalor antara lain tipe *shell and tube*, *double pipe*, *cross flow* dan tipe *plate*. Tipe *shell and*

tube sangat baik untuk fluida yang bertekanan tinggi (Hui dkk, 2012, Shinde dkk, 2012). Pada tipe plat memiliki permukaan yang luas sehingga peluang untuk proses transfer panas sangat besar. Pada tipe *double pipe*, aliran fluida dapat searah ataupun berlawanan satu dengan yang lainnya.

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan alat penukar kalor tipe *shell and tube* yang menggunakan air sebagai objek pendinginan dan air sebagai fluida pendingin. Dari kedua fluida, alat penukar kalor tipe *shell and tube* dan kecepatan aliran yang ditentukan akan dicari kapasitas perpindahan panas yang terjadi dari alat penelitian ini.

Perpindahan Panas

Apabila dua benda yang berbeda temperatur dikontakkan, maka panas akan mengalir dari benda bertemperatur tinggi ke benda yang bertemperatur lebih rendah. Mekanisme perpindahan panas yang terjadi dapat berupa konduksi, konveksi atau radiasi.

Sistem aliran penukar panas

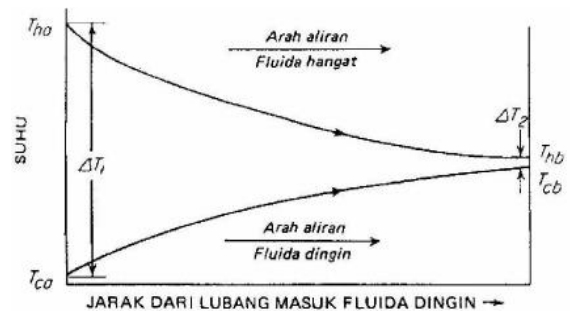
Proses pertukaran panas antara dua fluida dengan temperatur yang berbeda, baik bertujuan memanaskan atau mendinginkan fluida banyak diaplikasikan secara teknik dalam berbagai proses *thermal* di industri.

1. Pertukaran panas secara langsung

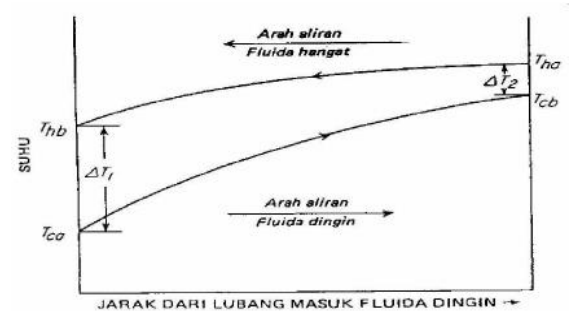
Yaitu Materi yang akan dipanaskan atau didinginkan dikontakkan langsung dengan media pemanas atau pendingin.

2. Pertukaran panas secara tidak langsung

Pertukaran panas jenis ini, kedua fluida (dingin dan panas) masuk pada sisi penukar panas yang sama, mengalir dengan arah yang sama, dan keluar pada sisi yang sama pula. Berikut ini adalah 2 jenis pertukaran panas yang digambarkan dalam bentuk Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Profil temperatur pada aliran *co current* (Kreith, et al, 1980)



Gambar 2. Profil temperatur pada aliran *counter current* (Kreith, et al, 1980)

Computational Fluid Dynamic (CFD)

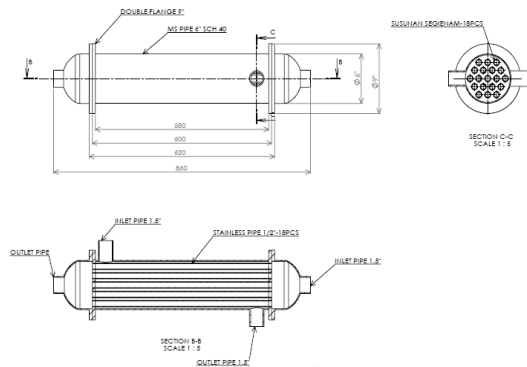
Secara definisi, CFD adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika (model matematika). Pada dasarnya, persamaan-persamaan pada fluida dibangun dan dianalisis berdasarkan persamaan-persamaan diferensial parsial (*Partial Differential Equation*) yang mempresentasikan hukum-hukum konservasi massa, momentum, dan energi (Ramadhan, 2013).

CFD ini dapat melakukan analisis keseluruhan aspek perpindahan panas mencakup distribusi suhu dan kecepatan aliran fluida serta lainnya. Dengan menggunakan beberapa persamaan-persamaan tersebut dengan diubah menjadi metode volumen hingga.

Populasi Sample Penelitian

Untuk mendapatkan koefisien perpindahan kalor menyeluruh maka penelitian ini dapat

direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk pengambilan data yang diperlukan. Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa alat penukar kalor pipa ganda dan dilengkapi dengan peralatan atau instrument-instrumen penunjang lainnya, seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain spesifikasi alat penukar kalor tipe *Shell* dan *Tube*

Pada penelitian ini, *Heat Exchanger* yang akan di analisa adalah seperti yang terlihat pada Gambar 3. diatas dengan spesifikasi:

- Material Shell : MS Ø6"
- Material Tube : SUS 304 Ø 1/2"
- Pipa Inlet : MS Ø2"
- Pipa Outlet : MS Ø2"
- Panjang Shell : 600mm
- Jumlah Tube : 18 pcs
- Fluida panas : air
- Temperatur masuk T_{h1} : 70 °C
- Laju aliran m_h : 352 kg/hr
- Fluida Dingin : air
- Temperatur masuk T_{c1} : 30°C
- Laju aliran m_c : 880 kg/hr

2. METODE PENELITIAN

Pembuatan model design dengan CAD Code

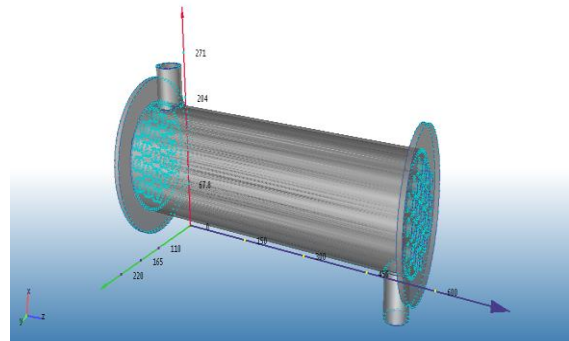
Dalam penelitian ini dibatasi untuk analisa pada bagian *Shell* dan *Tube* dari *Heat Exchanger*, seperti Gambar 4.



Gambar 4. Model *heat exchanger*

Pembuatan mesh

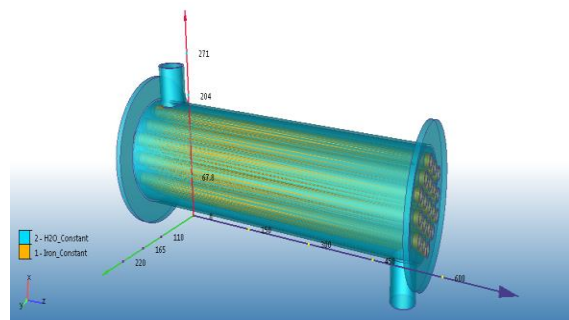
Mesh dilakukan pada CAD (*Computer Aided Design*) Code seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Proses mesh pada model *heat exchanger*

Pengisian Data Material

Data material yang telah ditentukan kita masukan ke dalam data analisa CFD (Tuakia, 2008). Input data material sangat penting dilakukan dan harus sesuai dengan data sebenarnya, karena akan sangat berpengaruh ke hasil analisa dan juga perbandingan dengan hasil pengukuran secara aktual dengan alat sebenarnya. Hasil inputan material seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Input Data Material

Proses Iterasi

Proses iterasi adalah proses inti dalam analisa menggunakan CFD, didalam proses ini berisi software akan menghitung data dan kondisi yang diterapkan pada saat preprosesing. Kalau data yang dimasukan ada kesalahan maka proses iterasi bisa gagal atau juga bisa selesai tapi dengan hasil yang tidak akurat. Cepat atau lambatnya proses iterasi tergantung dari besar kecilnya dimensi serta dimensi mesh yang digunakan.

Postprocessing

Postprocessing adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasikan data hasil simulasi CFD yang bisa berupa gambar, kurva, dan animasi.

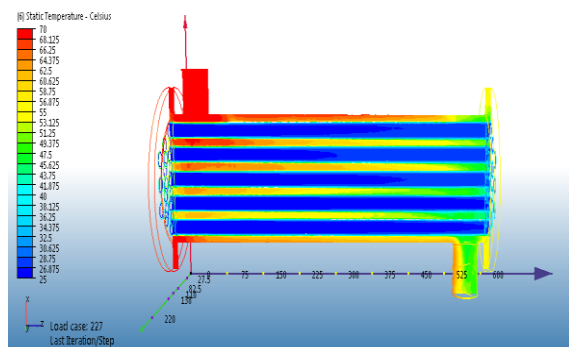
Viewing Result

Setelah proses iterasi selesai maka hasil dari analisa menggunakan CFD design dapat diketahui. Ada beberapa jenis dari hasil yang diperoleh yaitu berupa warna pada model dan juga grafik.

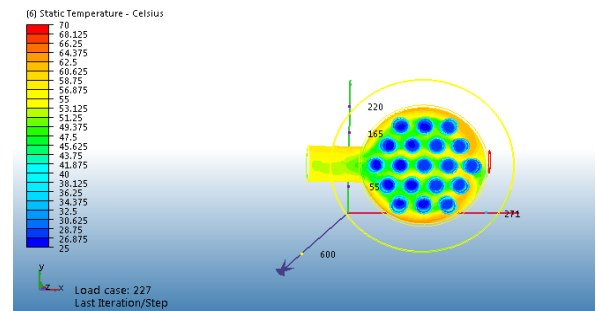
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Distribusi Suhu dari Simulasi

Hasil perhitungan distribusi suhu tampak depan sisi shell dan tube diberikan pada Gambar 7 dan 8, masing-masing memperlihatkan distribusi perpindahan kalor dilihat dari potongan sisi pipa dan sisi samping pipa. pada potongan sisi pipa dapat dilihat terjadinya aliran fluida laminar baik pada shell maupun tube. Sedangkan pada sisi samping terlihat aliran fluida yang terjadi adalah aliran turbulen.



Gambar 7. Hasil analisa dilihat dari potongan sisi pipa



Gambar 8. Hasil analisa dilihat dari sisi samping pipa

Gambar 7 dan 8 menjelaskan yang terjadi pada aliran laminar sisi *tube*, fluida mengalir dari sebelah kiri kearah kanan. Sedangkan distribusi suhu terlihat berwarna mayoritas biru tua. pada gambar tersebut warna biru berarti memiliki suhu terendah yaitu 25 °C, kemudian warnaa biru muda, hijau, kuning, kemudian merah yang menandakan urutan dari suhu terendah sampai tertinggi yaitu 70 °C. Sehingga dari gambar dapat disimpulkan tidak terjadi perubahan suhu yang signifikan pada fluida di dalam pipa, yaitu antara 5 °C sampai 10 °C. Kemudian diluar pipa atau didalam shell menunjukan terjadinya aliran turbulen, dimana fluida masuk pada pipa atas dan keluar pada pipa bawah. Distribusi suhu terjadi perubahan yang signifikan, fluida mauk berwarna merah dan fluida keluar berwarna hijau dan kuning yang berarti suhu fluida masuk 70 °C dan suhu fluida keluar antara 50 °C sampai 60 °C.

Untuk mengetahui pola distribusi suhu yang terjadi pada alat penukar kalor dari hasil simulasi CFD dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisa distribusi suhu pada alat penukar kalor dari CFD

Parameter	Shell		Tube	
	°F	°C	°F	°C
Suhu Masuk	158	70	86	30
Suhu Keluar	133,64	56,47	95	35
Beda Suhu	24,32	14,6	9	5

Perhitungan Analitik**Perpindahan panas yang terjadi pada alat penukar kalor**

Untuk mengetahui besarnya panas yang dapat ditransfer dari fluida panas ke fluida dingin pada HE dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut (Kern, 1950):

$$Q = m_h \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

Maka:

$$Q_h = Q_c$$

$$m_c \cdot C_p \cdot \Delta T_c = m_h \cdot C_p \cdot \Delta T_h$$

$$1936,628 \cdot 1 \cdot (95-86) = 775,44 \cdot 1 \cdot \Delta T_h$$

$$\Delta T_h = 22,48 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_{h1} - T_{h2} = 22,48$$

$$T_{h1} = 158 - 22,48$$

$$= 135,52 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Setelah itu dicari nilai perpindahan kalor yang terjadi :

$$Q = 1936,628 \cdot 1 \cdot (95-86)$$

$$= 17.431,89 \text{ BTU/hr}$$

LMTD (Log Mean Temperatur Difference)

Untuk menghitung suhu rata – rata dari suatu fluida yang mengalir dalam HE dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$LMTD = \frac{\Delta t_h - \Delta t_c}{\ln \frac{\Delta t_h}{\Delta t_c}} \quad (2)$$

Maka diperoleh Δt :

$$\Delta t = Fr \times LMTD = 0,99 \times 14,726 = 14,578 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Temperatur Kalorik

Temperatur kalorik dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

a. Fluida panas

$$T_h = \frac{t_{h1} + t_{h2}}{2} \quad (3)$$

Diperoleh: $T_h = 146,76 \text{ } ^\circ\text{F}$

b. Fluida dingin

$$T_c = \frac{t_{c2} + t_{c1}}{2} \quad (4)$$

Diperoleh: $T_c = 90,5 \text{ } ^\circ\text{F}$

Flow Area

Yaitu luasan yang dilalui oleh masing – masing fluida. Flow area dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan:

Pada fluida panas:

$$a_s = \frac{ID_s \cdot C_B}{144 \cdot P_t} \quad (5)$$

$$a_s = \frac{6,065 \cdot 0,25 \cdot 23,622}{144 \cdot 1}$$

$$a_s = 0,248 \text{ ft}^2$$

Pada fluida dingin

$$a_c = \frac{N_t \cdot a_t}{144 \cdot n} \quad (6)$$

a_t diperoleh dari Tabel 10 Kern = $0,182 \text{ in}^2$

$$a_c = \frac{18 \cdot 0,182}{144 \cdot 1}$$

$$a_c = 0,02275 \text{ ft}^2$$

Kecepatan massa

Yaitu kecepatan massa dari masing – masing fluida. Kecepatan massa dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan:

Pada fluida panas:

$$G_s = \frac{m_h}{a_s} \quad (7)$$

$$G_s = \frac{775,4}{0,248}$$

$$G_s = 3126,612 \text{ lb/hr.ft}^2$$

Pada fluida dingin:

$$G_t = \frac{m_c}{a_c} \quad (8)$$

$$G_t = \frac{1936,628}{0,02275}$$

$$G_t = 85126,505 \text{ lb/ht.ft}^2$$

Reynold Number

Bilangan Reynold dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

Pada fluida panas, nilai De didapat dari Tabel Kern 28. $\frac{3}{4}$ " Odt dan 1" pitch adalah $0,73$ " atau $0,06079 \text{ ft}$. Pada $t_h 146,76 \text{ } ^\circ\text{F}$,

$$\mu = 0,48 \cdot 2,42 = 1,1616 \text{ lb/ft h}$$

$$R_{es} = \frac{De \cdot Gs}{\mu} \quad (9)$$

$$R_{es} = \frac{0,0608 \cdot 3126,612}{1,1616}$$

$$R_{es} = 163,65$$

Pada fluida dingin, dengan $t_c 90,5^\circ\text{F}$,

$$\mu = 0,8 \cdot 2,42 = 1,936 \text{ lb/ft h}$$

$$R_{et} = \frac{IDt \cdot Gt}{\mu} \quad (10)$$

$$R_{et} = \frac{0,0401 \cdot 8512,6505}{1,936}$$

$$R_{et} = 1763,209$$

Faktor dimensi untuk heat exchanger (JH)

Faktor dimensi atau JH diperoleh dari Kern dengan terlebih dahulu mengetahui harga dari Res, yaitu 7.

Bilangan Prandtl (Pr)

Bilangan Prandtl dapat dihitung dengan mempergunakan rumus sebagai berikut:

$$Pr = \left(\frac{Cp \cdot \mu}{K} \right)^{1/2} \quad (11)$$

Nilai k diperoleh 0,385 dari Tabel 4 Kern.

$$Pr = \left(\frac{1 \cdot 1,1616}{0,385} \right)^{1/3}$$

$$Pr = (3,0171)^{1/3}$$

$$Pr = 1,445$$

Rasio viskositas fluida

Rasio viskositas fluida dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

Pada *shell side* dan *tube side* :

ϕ_s , Rasio viskositas fluida pada *tube* dan *shell* dianggap bernilai 1 karena temperatur rata-rata pada dinding tube tidak ada perbedaan yang jauh.

Koefisien perpindahan panas terkoreksi

Koefisien perpindahan panas terkoreksi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Pada *tube side*

$$hi = 1450 \cdot 1,05$$

$$hi = 1522,5$$

harga hi diperoleh dari Tabel 25 Kern.

Pada *dinding tube*

$$hio = \frac{hi \cdot IDt}{ODt} \quad (12)$$

$$hio = 1522,5 \cdot \frac{0,482}{0,75}$$

$$hio = 978,46$$

Pada *dinding shell*

$$ho = \phi_s \cdot JH \cdot \frac{K}{De} \cdot Pr \quad (13)$$

$$ho = 1,7 \cdot \frac{0,385}{0,0608} \cdot 1,445$$

$$ho = 64,05$$

Koefisien clean overall

Koefisien *clean overall* dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan sebagai berikut:

$$Uc = \frac{hio \cdot ho}{hio + ho} \quad (14)$$

$$Uc = \frac{978,46 \cdot 64,05}{978,46 + 64,05}$$

$$Uc = 60,11 \text{ BTU/hr ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

Koefisien design overall

Koefisien *design overal* dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan sebagai berikut:

$$Ud = \frac{Q}{A \cdot \Delta t} \quad (15)$$

a'' merupakan luas permukaan luar dari *tube* yang diperoleh dari tabel kern 10 dan dimasukan dalam persamaan :

$$A = a'' \cdot L \cdot Nt \quad (16)$$

$$A = 0,1963 \cdot 1,967 \cdot 18$$

$$A = 6,95 \text{ ft}^2$$

Maka :

$$Ud = \frac{17431,89}{6,95 \cdot 14,578} \quad (17)$$

$$Ud = 172,053 \text{ BTU/hr ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

Fouling factor / dirty factor

Fouling factor adalah hambatan perpindahan panas karena adanya endapan – endapan didalam HE.

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} \quad (18)$$

$$R_d = \frac{172,053 - 60,11}{60,11 \cdot 172,053}$$

$$R_d = 0,011$$

Pressure drop

Pressure drop dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Dari Tabel 29 Kern Res 163,65 diperoleh $f = 0,0048$

Dari Tabel 26 Kern Ret 1763,209 diperoleh $f = 0,0048$

Number of cross dihitung dengan $= 12 L/B = 12 \cdot 1,9685 / 1,9685 = 12$

$$\Delta P_s = \frac{f G_s^2 ID_s (N+1)}{5,22 \times 10^{10} D_c SG_{gs}} \quad (19)$$

$$\Delta P_s = \frac{0,0048 (3126,612)^2 \cdot 0,505 \cdot (12+1)}{5,22 \times 10^{10} \cdot 0,0608 \cdot 1,1}$$

$$\Delta P_s = 0,00009 \text{ psi}$$

Kemudian untuk ΔP_t :

$$\Delta P_t = \frac{f G_t^2 L N}{5,22 \times 10^{10} ID_t SG_{gt}} \quad (20)$$

$$\Delta P_t = \frac{0,0048 (85126,505)^2 \cdot 1,9685 \cdot 1}{5,22 \times 10^{10} \cdot 0,0401 \cdot 1,1}$$

$$\Delta P_t = 0,0327 \text{ psi}$$

Kemudian untuk nilai G_t :

$G_t = 85126,505 \text{ lb/ht.ft}^2$, dari Tabel 27 Kern diperoleh $V^2/2g = 0,001$

Sehingga :

$$\Delta P_r = \frac{(4n)}{s} \times \frac{v^2}{2g} \quad (21)$$

$$\Delta P_r = \frac{(4 \cdot 1)}{1} \times 0,001$$

$$\Delta P_r = 0,004 \text{ psi}$$

$$\Delta P_T = P_t + P_r = 0,0327 + 0,004 = 0,0367 \text{ psi}$$

Setelah mendapatkan hasil analisa numerik dan CFD, kemudian dibuat tabel perbandingan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan analisa CFD dan analitik

Uraian	CFD		Analitik	
Flow rate shell	775,44	lb/hr	775,44	lb/hr
Flow rate tube	1936,628	lb/hr	1936,628	lb/hr
Suhu masuk shell	158	°F	158	°F
Suhu keluar shell	133,64	°F	135,52	°F
Suhu masuk tube	86	°F	86	°F
Suhu keluar tube	95	°F	95	°F
Selisih Suhu shell	24,36	°F	22,48	°F

4. KESIMPULAN

Hasil simulasi distribusi suhu pada alat penukar kalor tipe shell dan tube untuk aliran sejajar. Hasil simulasi menunjukkan efektifitas perpindahan panas ditunjukkan dengan nilai selisih suhu hasil simulasi sisi shell 24,32 °F apabila dilakukan dengan menggunakan CFD, sedangkan untuk hasil perhitungan manual adalah 22,48 °F. Sedangkan hasil analisa temperatur fluida yang keluar dari sisi tube tidak terjadi perbedaan yaitu 95 °F.

Hasil dari kedua analisa terdapat selisih temperatur yang keluar dari sisi shell sebesar 1,84 °F. Perbedaan selisih ini dikarenakan pada hasil analisa CFD secara visual dengan menggunakan skala warna sehingga bukan merupakan angka pasti. Sedangkan untuk analisa manual perhitungan menggunakan angka yang pasti sehingga terdapat perbedaan hasil. Walaupun demikian perbedaan tersebut relatif kecil tetapi dari sisi efisiensi perhitungan dengan menggunakan program CFD lebih baik dari pada perhitungan analitik.

DAFTAR PUSTAKA

Gaos, Y.S., dan Widiawati, C.D., 2012, *Reverse Engineering Oil Cooler Menggunakan Metode Kern Untuk Peningkatan Kapasitas Pendinginan dan Efisiensi Biaya OEM di PLTU Bukit Asam*, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin IX dan Termofluid IV tahun 2012, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Handayani, S.U, dkk, 2012, *Kajian Eksperimental Kelayakan dan Performa Alat*

- Penukar Kalor Tipe Shell dan Tube Single Pass dengan Metode Bell Delaware*, SNST-3, Universitas Wahid Hasyim, Semarang
- Hui, Z., et. al., 2012, *Analysis of Condenser Shell Side Pressure Drop Based on the Mechanical Energy Loss*, Chinese Science Buletin, Volume 57
- Kreith, F. and Balck, W.Z., 1980, *Basic Heat Transfer*, Happer & Row, Publishers, New York.
- Kern, D.Q., 1950, *Proses Heat Transfer*, Mc Graw-Hill. Book Co.
- Ramadhan, A. I., Lasman, A. N., Septilarso, A., 2013, *Analisis Distribusi Suhu Nanofluida Al₂O₃-Water Di Sub Buluh Segi Empat Pada PWR (Pressurized Water Reactor)*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin 2013, Politeknik Negeri Jakarta, Jakarta
- Shinde, S.S., et. al, 2012, *Performance Improvement in Single Phase Tubular Heat Exchanger using Continuous Helical Baffles*, International Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 2
- Soekardi, C., 2012, *Optimasi Design Alat Economizer Sebuah HRSG Instalasi Pembangkit Tenaga Gas-Uap Untuk Meningkatkan Efisiensi Energi*, Seminar Teknik Mesin Universitas Pancasila, Jakarta
- Sitompul, T.M., 1993, *Alat Penukar Kalor*, PT. Karsa Bayu Bangun, Perkasa Raja Grafika Persada, Jakarta.
- Tuakia, F., 2008, *Dasar-dasar CFD Menggunakan FLUENT*, Penerbit Informatika Bandung.