

Studi Numerik Pengaruh *Baffle Inclination* pada Alat Penukar Kalor Tipe *U – Tube* terhadap Aliran Fluida dan Perpindahan Panas

Reza Hidayatullah dan Bambang Arip Dwiyantoro
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail : bambangads@me.its.ac.id

Abstrak— Alat penukar kalor sangat berpengaruh dalam industri terhadap keberhasilan keseluruhan rangkaian proses, karena kegagalan operasi alat ini baik akibat kegagalan mekanikal maupun opsional dapat menyebabkan berhentinya operasi unit. Penelitian terhadap desain *heat exchanger* masih terus dilakukan untuk mencari kinerja dari *heat exchanger* yang paling optimal, baik pada bagian *baffle cut* dan *baffles inclination* maupun susunan dari *tube* dengan menggunakan *heat exchanger* ukuran kecil sebagai model. Berdasarkan pada permasalahan di atas, maka dilakukan penelitian terhadap kinerja *heat exchanger* tipe *U-tube* dengan memvariasikan *baffle inclination*. Penelitian ini dilakukan secara numerik dengan variasi *baffle inclination* sebesar 0° , 10° , 20° dan variasi laju aliran massa sebesar 0,5 kg/s, 1kg/s, dan 2 kg/s. *Tube* yang digunakan adalah tipe *U-tube* yang disusun secara persegi. Model viskous yang digunakan adalah turbulensi model yaitu $k-\epsilon$ standar, dimana fluida yang digunakan adalah air pada *boundary condition*. Hasil analisa numerik menunjukkan adanya pengaruh *baffle inclination* pada alat penukar kalor tipe *U – tube* terhadap aliran fluida dan perpindahan panas. Peningkatan laju aliran massa dapat meningkatkan *pressure drop* secara cepat, alat penukar kalor *shell and tube* tipe *U – tube* dengan *baffle inclination* 20° memiliki unjuk kerja yang terbaik dibandingkan dengan *baffle inclination* 0° dan 10° .

Kata kunci: alat penukar kalor, *baffle inclination*, perpindahan panas, *pressure drop*.

I. PENDAHULUAN

ALAT penukar kalor (*Heat Exchanger*) merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menukarkan energi dalam bentuk panas antara fluida yang berbeda temperatur yang dapat terjadi melalui kontak langsung maupun secara kontak tidak langsung. Fluida yang bertukar energi dapat berupa fluida yang sama fasanya (cair ke cair atau gas ke gas) atau dua fluida yang berbeda fasanya. Ada berbagai macam alat penukar kalor berdasarkan bentuknya antara lain:

- Alat Penukar Kalor *Shell* dan *Tube*
- Alat Penukar Kalor *Coil* dan *Box*
- Alat Penukar Kalor *Double* dan *Pipe*
- Alat Penukar Kalor tipe *Plate*

Alat penukar kalor sangat berpengaruh dalam industri terhadap keberhasilan keseluruhan rangkaian proses, karena kegagalan operasi alat ini baik akibat kegagalan mekanikal maupun opsional dapat menyebabkan berhentinya operasi unit. Suatu alat penukar kalor (*Heat exchanger*) dituntut untuk memiliki kinerja yang baik agar dapat diperoleh hasil yang maksimal serta dapat menunjang penuh terhadap suatu operasional unit. Salah satu karakteristik

unjuk kerja dari penukar panas ini adalah efektivitas penukar panas.

Jenis umum dari penukar kalor pada umumnya digunakan dalam kondisi tekanan relatif tinggi yang terdiri dari sebuah tabung (*shell*) yang di dalamnya disusun suatu selongsong (*tube*) dengan rangkaian tertentu (untuk mendapatkan luas permukaan yang optimal). Fluida dingin mengalir melalui selongsong, sedangkan fluida panas mengalir melalui tabung sehingga terjadi perpindahan panas antar fluida secara konduksi dan konveksi pada bagian dinding. Terdapat beberapa jenis rangkaian selongsong seperti triangular, segiempat, dan lain – lain.

Umumnya, aliran fluida dalam *shell and tube heat exchanger* adalah paralel atau berlawanan. Untuk membuat aliran fluida dalam *shell-and-tube heat exchanger* menjadi *cross flow* biasanya ditambahkan penyekat atau *baffle*. Aliran *cross flow* yang didapat dengan menambahkan *baffle* akan membuat luas kontak fluida dalam *shell* dengan dinding *tube* makin besar, sehingga perpindahan panas di antara kedua fluida meningkat. *Baffle* juga berguna untuk menjaga supaya *tube* tidak melengkung (berfungsi sebagai penyangga) dan mengurangi kemungkinan adanya vibrasi atau getaran oleh aliran fluida. Secara teoritis, *baffle* yang dipasang terlalu berdekatan akan meningkatkan perpindahan panas yang terjadi di antara kedua fluida, namun hambatan yang terjadi pada aliran yang melalui celah antar *baffle* menjadi besar sehingga penurunan tekanan menjadi besar. Jika *baffle* dipasang terlalu berjauhan penurunan tekanan yang terjadi akan kecil, namun perpindahan panas yang terjadi kurang baik dan timbul bahaya kerusakan pipa-pipa karena melengkung atau vibrasi. Hal ini menunjukkan bahwa jarak antar *baffle* tidak boleh terlalu dekat ataupun terlalu jauh, ada jarak tertentu yang optimal untuk *heat exchanger* tertentu. Untuk itu akan dilakukan suatu penelitian untuk mempelajari pengaruh penggunaan *baffle* pada suatu *shell and tube heat exchanger*.

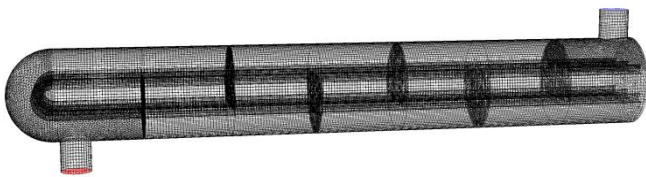
II. PEMODELAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan model penukar kalor berukuran kecil untuk menunjang detail dan melakukan pengamatan yang solid tentang aliran dalam *shell*. Beberapa parameter desain dan parameter geometris yang ditentukan sebelumnya disajikan pada Tabel 1. Model geometris dengan enam *baffle* ditunjukkan pada Gambar 1. *Baffle cut* sebesar 36% dipilih sebagai pengaruh aliran pada alat penukar kalor ini. Fluida kerja dari sisi *shell* adalah air. Walaupun sifat air telah didefinisikan sebagai konstanta dalam database FLUENT, namun untuk meningkatkan

akurasi, peneliti menggunakan tabel "Thermo-Physical Properties of Saturated Water" yang terdapat dalam literatur [1]. Penelitian ini menggunakan enam *baffle* yang dipasang di sepanjang *shell* dengan orientasi potongan saling bergantian memotong menghadap ke atas, memotong menghadap ke bawah, memotong menghadap ke atas lagi dan seterusnya, yang bertujuan menciptakan lintasan aliran sepanjang tabung. Model geometrik dioptimalkan dengan memvariasikan sudut kemiringan *baffle* sebesar 0°, 10° dan 20°. Pemodelan komputasi melibatkan pra-pengolahan, pemecahan dan pasca pengolahan. Pemodelan geometri *shell and tube heat exchanger*.

A. Geometri Pemodelan

Model di desain berdasarkan standar TEMA (*Tubular Exchanger Manufacturers Association*) menggunakan program GAMBIT yang dapat dilihat pada gambar . Parameter desain dan geometri terdapat pada tabel 1.



Gambar 1. Pandangan isometris dari alat penukar kalor *shell and tube* tipe U-Tube dengan *baffle inclination* 0°.

Tabel 1. Geometri dari alat penukar kalor *shell and tube* tipe U-Tube dengan *baffle inclination* 0°.

Nama	Ukuran
Panjang heat exchanger, L	600 mm
Diameter shell, D	90 mm
Diameter tube, d	10 mm
Jarak pitch tube	30 mm
Jumlah tube, N _t	3
Jumlah Baffle, N _b	6
Jarak central per baffle, B	86 mm
Sudut baffle, θ	0°, 10°, 20°
Potongan baffle	36%

B. Persamaan Umum.

Persamaan yang berhubungan dengan aliran fluida dimodifikasi sesuai dengan kondisi permasalahan pada simulasi [2]. Kondisi aliran dianggap *steady state*, tergantung parameter waktu yang diturunkan dari persamaan. Persamaan yang dihasilkan adalah:

Konservasi Massa : $\nabla \cdot (\rho V_r) = 0$ (1)

Momentum - x : $\nabla \cdot (\rho u V_r) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z}$ (2)

Momentum - y : $\nabla \cdot (\rho v V_r) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z}$ (3)

Momentum - z : $\nabla \cdot (\rho w V_r) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z}$ (4)

Energi : $\nabla \cdot (\rho e V_r) = -p \nabla V_r + \nabla \cdot (k \nabla T + q + \Phi)$ (5)

Pada persamaan (3.5), Φ adalah fungsi disipasi yang didapat dari :

$$\Phi = \mu \left[2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right] \quad (6)$$

C. Kondisi Batas

Kondisi batas yang diterapkan pada pemodelan ini adalah:

1. Fluida yang digunakan adalah air.
2. Jenis aliran adalah aliran silang (*cross flow*) satu dimensi.
3. Temperatur inlet pada *shell* sebesar 300K.
4. Temperatur konstan pada *tube* sebesar 450 K dimana *tube* dianggap sebagai dinding.
5. Rugi-rugi diabaikan karena isolator pada sistem pendingin dianggap sempurna.
6. Pada saat pengambilan data, sistem dianggap telah berada pada kondisi tunak (*steady state*).
7. Perpindahan panas secara konduksi antara *tube* dengan *baffle* diabaikan.

D. Meshing

Meshing dilakukan untuk tiap bagian volum yang terdapat pada system menggunakan GAMBIT. Jenis *mesh* berbeda-beda untuk tiap jenis volume, bergantung pada kerumitan bentuk geometri volume yang bersangkutan. Untuk bagian volume yang beraturan, digunakan bentuk *mesh Hex/Wedge* tipe *Cooper*. Untuk bentuk geometri yang rumit, digunakan bentuk *mesh Tet/Hybrid* tipe *Tgrid* yang tak beraturan.

E. Model Turbulensi

Model turbulensi yang dipakai adalah *k-ε realizable* dan parameter lainnya diset seperti *default*, lalu mengaktifkan persamaan energi. Persamaan untuk mencari nilai k dan ε pada kondisi *steady state* [3] didapat dari:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon + S_k \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{2\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (8)$$

Pada viskositas turbulen didapat dari persamaan :

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (9)$$

Nilai kontanta dari persamaan pemodelan memiliki nilai :

$$C_{1\epsilon} = 1.44 \quad C_{2\epsilon} = 1.92 \quad C_\mu = 0.09 \quad \sigma_k = 1.0 \quad \sigma_\epsilon = 1.3$$

III. ANALISA DAN DISKUSI

A. Validasi

Validasi yang digunakan adalah perhitungan dengan menggunakan metode *bell-delaware* untuk melakukan perhitungan koefisien perpindahan panas dan *pressure drop* untuk aliran fluida satu fase pada bagian *shell* dari alat penukar kalor tipe *shell and tube* berdasarkan eksperimental

ekstensif dan program penelitian secara analitis yang dilakukan oleh *Department of Chemical engineering at University of Delaware* pada tahun 1946 – 1963. Data – data untuk melakukan perhitungan dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 2. Propertis air [1]

Bagian	T (K)	μ_r (N.s/m ²)	k (W/m.K)	Pr	Cp (J/Kg.K)	ρ (Kg/m ³)
Shell	300	0.000855	0.609	5.88	4179	996.54
Tube	450	0.000152	0.675	1.09	4400	858.2

Persamaan yang digunakan untuk menghitung *shell-side heat transfer coefficient* adalah [2]:

Shell Outer Tube Limit (D_{OTI})

$$D_{OTI} = D_s - \Delta_b \tag{10}$$

Crossflow Area (S_m)

$$S_m = L_B \times \left\{ D_s - D_{OTI} + \left(\frac{(D_{OTI}-d_o) \times (P_T-d_o)}{P_T} \right) \right\} \tag{11}$$

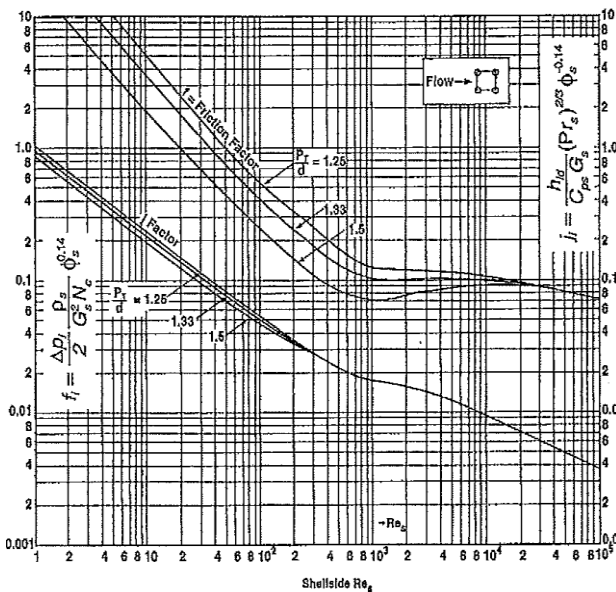
Shell-Side Reynold Number (Re_s)

$$Re_s = \frac{\dot{m}_s}{S_m} \times \frac{d_o}{\mu_{f,s}} \tag{12}$$

Colburn j-factor Untuk *Tube Bank Ideal* (j_i)

$$a = \frac{a_3}{1+0,14 \times (Re_s)^{0,4}} \tag{13}$$

$$j_l = a_1 \times \left(\frac{1,33}{P_T/d_o} \right)^{a_2} \times (Re_s)^{a_2} \tag{14}$$



Gambar 2. Grafik tube bank ideal *Colburn j-factor* untuk 90° susunan *in-line* tube [2].

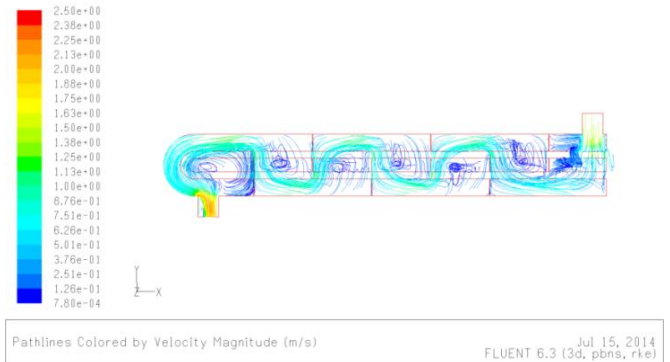
Tabel 3. Koefisien korelasi untuk j_i .

Layout Angle	Reynolds Number	a_1	a_2	a_3	a_4
90°	$10^5 - 10^4$	0,370	-0,395	1,187	0,370
	$10^4 - 10^3$	0,107	-0,266		
	$10^3 - 10^2$	0,408	-0,460		
	$10^2 - 10$	0,900	-0,631		
	< 10	0,970	-0,667		

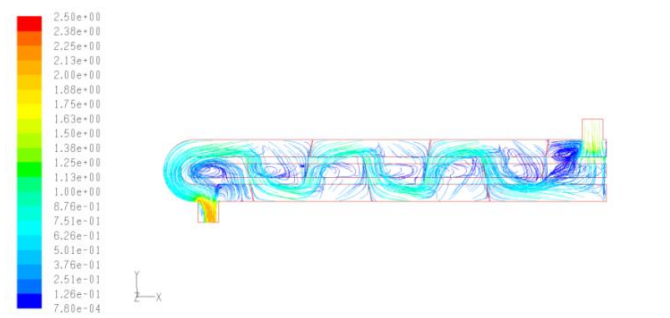
Koefisien Perpindahan Panas (h_s)

$$h_s = j_l \times c_{ps} \times \left(\frac{\dot{m}_s}{S_m} \right) \times \left(\frac{k_s}{c_{ps} \times \mu_s} \right)^{\frac{2}{3}} \times \left(\frac{\mu_{f,s}}{\mu_{f,w}} \right)^{0,14} \tag{15}$$

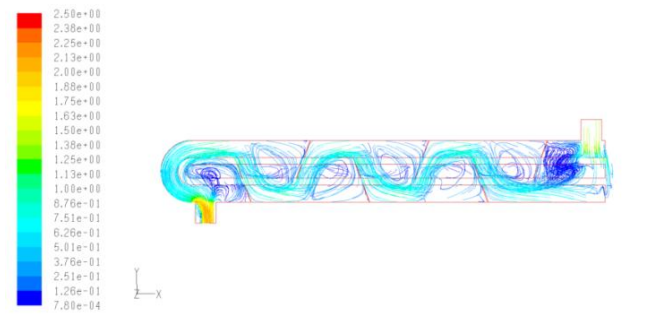
B. Analisa Pada *Pathline* Kecepatan



a.)



b.)

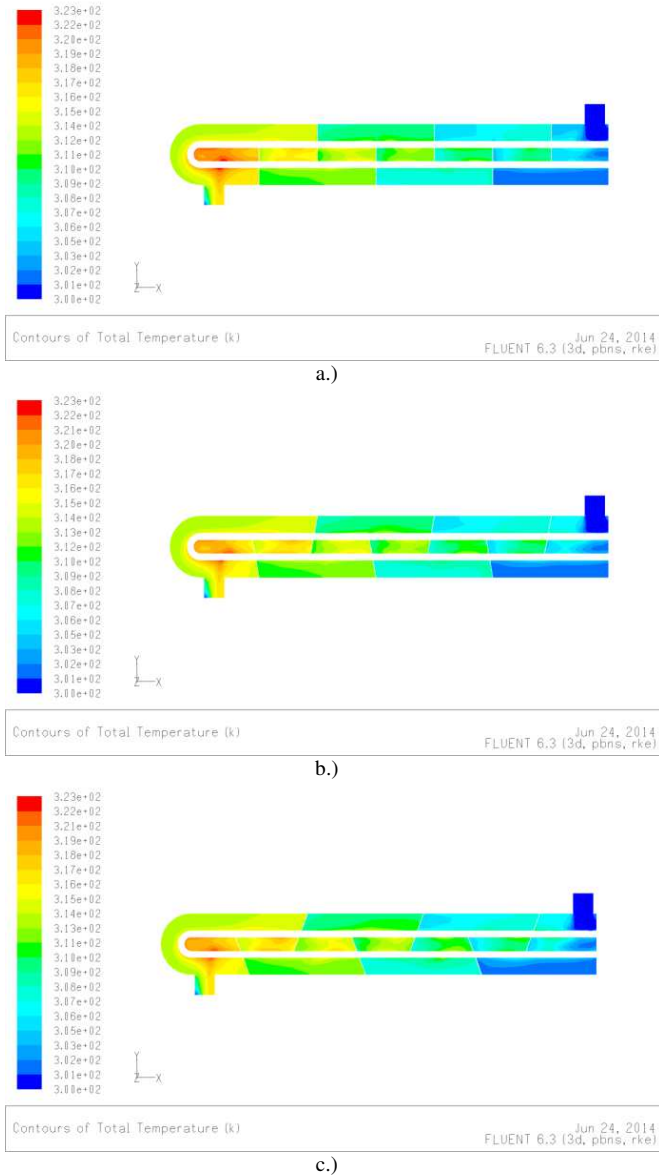


c.)

Gambar 3. *Velocity pathlines* dengan laju aliran massa 1 kg/s pada *baffle inclination*: a.) 0° b.) 10° c.) 20°

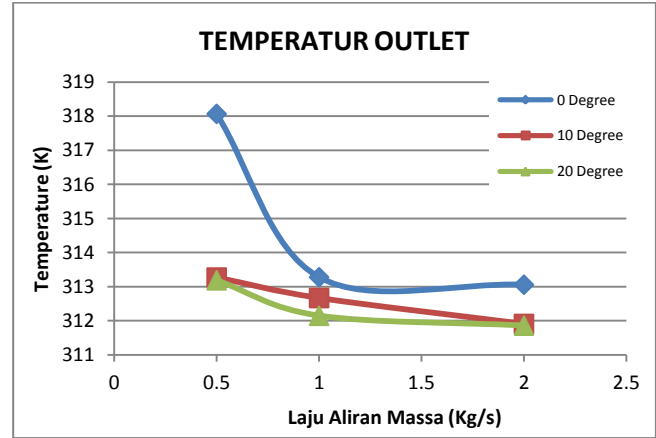
Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa terdapat aliran resirkulasi yang terjadi di dekat dinding *baffle* pada *baffle inclination* 0°, 10°, dan 20°. Resirkulasi yang terbentuk di dekat dinding *baffle* tersebut akan membentuk pusaran turbulensi yang mengakibatkan terjadinya *pressure drop* pada alat penukar kalor *shell and tube* tipe *U-tube*. Pada *baffle inclination* 0°, terdapat aliran resirkulasi dengan intensitas yang besar. Pada *baffle inclination* 10°, terdapat aliran resirkulasi, namun dengan intensitas yang lebih kecil. Pada *baffle inclination* 20°, terdapat aliran resirkulasi yang intensitasnya paling kecil daripada *baffle inclination* 0° dan 10°.

C. Analisa Pada Temperatur Outlet



Gambar 4. Kontur dari total temperatur dengan laju aliran massa 1 kg/s pada *baffle inclination*: a.) 0° b.) 10° c.) 20°

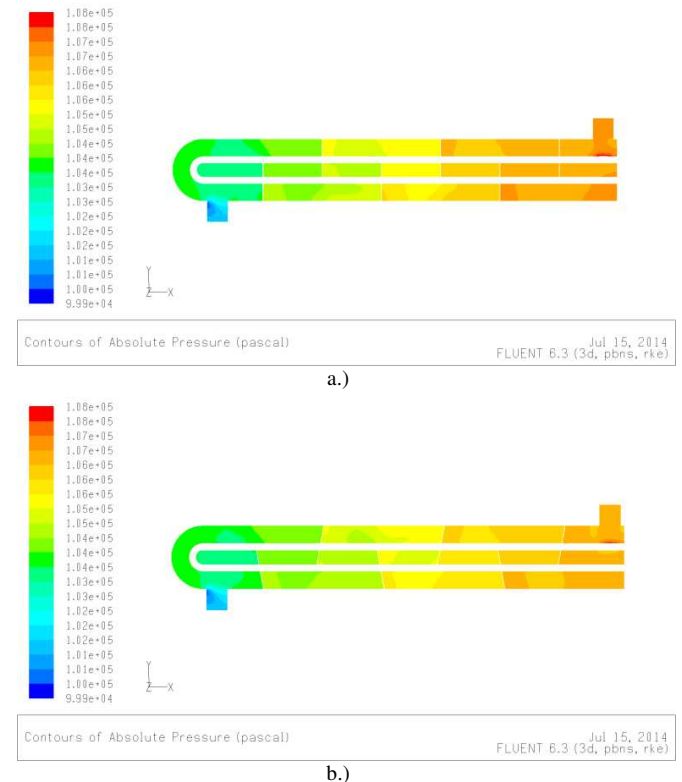
Dari kontur total temperatur pada gambar 4 dapat kita lihat terdapat sejumlah gradasi warna sepanjang *shell*, khususnya pada bagian outlet. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat penurunan temperatur pada sepanjang aliran secara *gradually*. Semakin besar nilai *baffle inclination*, dominasi warna oranye pada outlet semakin berkurang yang berarti nilai temperatur semakin menurun pada setiap peningkatan nilai *baffle inclination*. Hal ini disebabkan karena penurunan hambatan aliran akibat dari pengurangan intensitas vorteks yang terjadi di dekat dinding *baffle* pada setiap peningkatan *baffle inclination* sehingga aliran yang terjadi di dalam *shell* mempengaruhi nilai dari temperatur *outlet*.



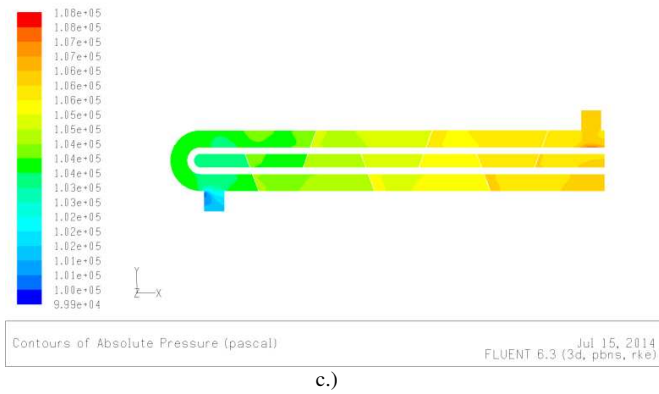
Gambar 5. Grafik temperatur *outlet* dari variasi laju aliran massa.

Pada gambar 5, dapat kita lihat bahwa pada daerah laju aliran masa 0,5 Kg/s, penurunan temperatur terjadi secara signifikan pada perubahan *baffle inclination* 0° ke *baffle inclination* 10° sebesar 4,8 K, sedangkan pada perubahan *baffle inclination* 10° ke 20° pada titik yang sama tidak menunjukkan perubahan temperatur yang berarti yaitu sebesar 0,08 K. Pada daerah laju aliran masa 1 Kg/s, penurunan temperatur terjadi pada setiap perubahan nilai *baffle inclination* yaitu sebesar 0,61 K pada perubahan *baffle inclination* 0° ke *baffle inclination* 10° dan sebesar 0,52 K pada perubahan *baffle inclination* 10° ke *baffle inclination* 20°. Pada daerah laju aliran masa 2 Kg/s, penurunan temperatur terjadi secara pada perubahan *baffle inclination* 0° ke *baffle inclination* 10° sebesar 1,15 K, sedangkan pada perubahan *baffle inclination* 10° ke 20° pada titik yang sama tidak menunjukkan perubahan temperatur yang berarti yaitu sebesar 0,05 K.

D. Analisa Pada Pressure Drop



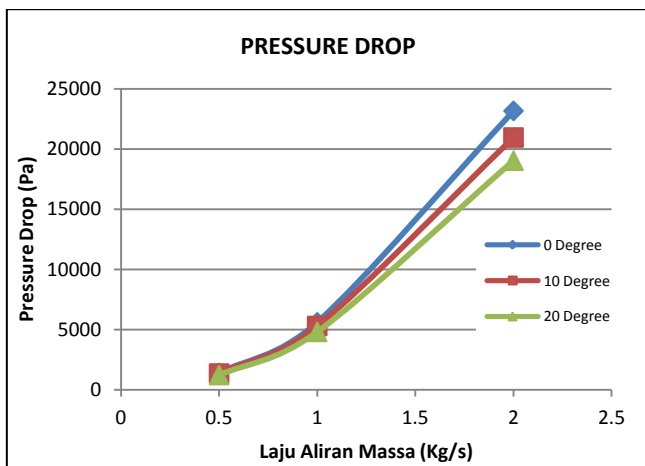
Gambar 6. Kontur dari total tekanan dengan laju aliran massa 1 kg/s pada *baffle inclination*: a.) 0° b.) 10°



c.)

Gambar 6. Kontur dari *pressure drop* dengan laju aliran massa 1 kg/s pada *baffle inclination*: a.) 0° b.) 10° c.) 20°

Dari kontur tekanan absolute pada gambar 6 dapat kita lihat terdapat sejumlah gradasi warna sepanjang *shell*, khususnya pada bagian *outlet*. Pada gambar 6.a), gradasi warna yang ditunjukkan pada bagian *outlet* memiliki variasi gradasi pada tingkatan yang kecil dilihat dari warna yang terdapat pada daerah *outlet*. Pada gambar 6.b) terdapat variasi gradasi namun belum menunjukkan perubahan yang berarti secara visual karena kecilnya angka perubahan yang terjadi pada daerah *outlet* tersebut. Pada gambar 6.c), gradasi warna yang ditunjukkan memiliki perubahan yang lebih terlihat daripada *baffle inclination* 0° dan 10° pada skala yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai tekanan pada *outlet*, semakin rendah selisih tekanan atau *pressure drop* yang terjadi.

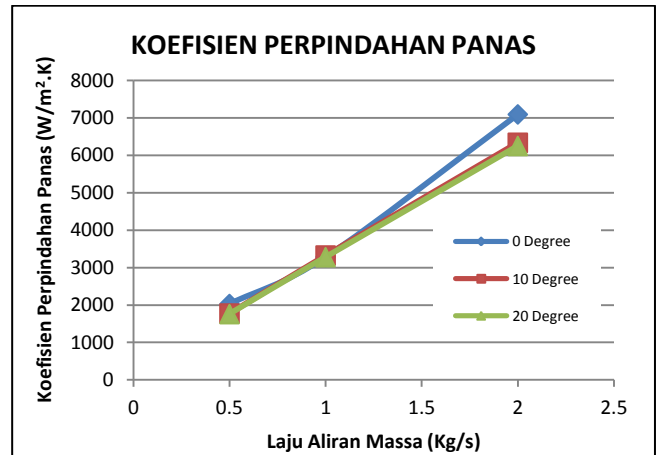


Gambar 7. Grafik *pressure drop* dari variasi laju aliran massa.

Pada gambar 7, dapat kita lihat bahwa pada daerah laju aliran masa 0,5 Kg/s, penurunan *pressure drop* mengalami perubahan yang sangat kecil pada perubahan nilai *baffle inclination* 0° ke *baffle inclination* 10° sebesar 50,29 Pa, sedangkan pada perubahan *baffle inclination* 10° ke 20° pada titik yang sama tidak menunjukkan penurunan *pressure drop* yang sebesar 123,21 Pa. Pada daerah laju aliran masa 1 Kg/s, penurunan *pressure drop* sedikit mulai terlihat. Pada perubahan *baffle inclination* 0° ke *baffle inclination* 10° *baffle inclination* penurunan *pressure drop* yaitu sebesar 303,23 Pa dan pada perubahan *baffle inclination* 10° ke *baffle inclination* 20° sebesar 487,3 Pa. Pada daerah laju aliran masa 2 Kg/s, penurunan *pressure drop* terlihat sangat jelas. Pada perubahan *baffle inclination* 0° ke *baffle inclination* 10° sebesar 2212,1 Pa, sedangkan pada

perubahan *baffle inclination* 10° ke 20° pada titik yang sama menunjukkan penurunan *pressure drop* sebesar 1926,96 Pa.

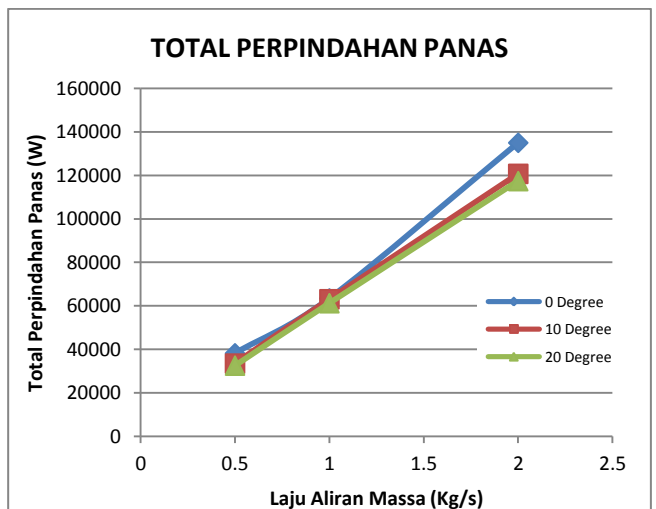
E. Analisa Pada Koefisien Perpindahan Panas



Gambar 8. Grafik koefisien perpindahan panas dari variasi laju aliran massa.

Pada gambar 8, dapat kita lihat bahwa pada daerah laju aliran masa 0,5 Kg/s, koefisien perpindahan panas mengalami perubahan yang kecil. Pada nilai *baffle inclination* 0° ke *baffle inclination* 10° mengalami penurunan sebesar 254,63 W/m².K, sedangkan pada perubahan *baffle inclination* 10° ke 20° pada titik yang sama penurunan koefisien perpindahan panas sebesar 14,66 W/m².K. Pada daerah laju aliran masa 1 Kg/s, penurunan koefisien perpindahan panas sedikit mengalami perubahan. Pada perubahan *baffle inclination* 0° ke *baffle inclination* 10° *baffle inclination* kenaikan koefisien perpindahan panas yaitu sebesar 39,58 W/m².K dan pada perubahan *baffle inclination* 10° ke *baffle inclination* 20° mengalami penurunan sebesar 43,58 W/m².K. Pada daerah laju aliran masa 2 Kg/s, penurunan koefisien perpindahan panas terlihat jelas pada perubahan *baffle inclination* 0° ke *baffle inclination* 10° sebesar 758,12 W/m².K, sedangkan pada perubahan *baffle inclination* 10° ke 20° pada titik yang sama menunjukkan penurunan sebesar 84,75 W/m².K.

F. Analisa Pada Total Perpindahan Panas



Gambar 9. Grafik total perpindahan panas dari variasi laju aliran massa.

Pada gambar 9, daerah laju aliran masa 0,5 Kg/s memiliki total perpindahan panas yang mengalami perubahan kecil. Pada nilai *baffle inclination* 0° ke *baffle*

inclination 10° mengalami penurunan sebesar 4736,1 W, sedangkan pada perubahan *baffle inclination* 10° ke 20° pada titik yang sama penurunan total perpindahan panas sebesar 923,48 W. Pada daerah laju aliran masa 1 Kg/s, penurunan total perpindahan panas sedikit mengalami perubahan. Pada perubahan *baffle inclination* 0° ke *baffle inclination* 10° *baffle inclination* penurunan total perpindahan panas yaitu sebesar 389,55 W dan pada perubahan *baffle inclination* 10° ke *baffle inclination* 20° mengalami penurunan sebesar 1.812,3 W. Pada daerah laju aliran masa 2 Kg/s, penurunan total perpindahan panas terlihat jelas pada perubahan *baffle inclination* 0° ke *baffle inclination* 10° sebesar 14.289 W, sedangkan pada perubahan *baffle inclination* 10° ke 20° pada titik yang sama menunjukkan penurunan sebesar 3.320,5 W.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa studi numerik pengaruh *baffle inclination* pada alat penukar kalor tipe *U – tube* terhadap aliran fluida dan perpindahan panas dimana variasi kemiringan *baffle* sebesar 0°, 10°, dan 20° dengan laju aliran massa sebesar 0,5 kg/s, 1kg/s, dan 2 kg/s, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Peningkatan laju aliran massa dapat meningkatkan *pressure drop* secara cepat.
2. *Pressure drop* berkurang sebesar 5,4% pada *baffle inclination* 10° dan sebesar 14,2% pada *baffle inclination* 20° terhadap *baffle inclination* 0°.
3. Pada alat penukar kalor *shell and tube* tipe *U – tube* dengan *baffle inclination* 20° memiliki unjuk kerja yang terbaik dibandingkan dengan *baffle inclination* 0° dan 10°.

LAMPIRAN

Tabel 4. Data hasil iterasi temperatur outlet dari variasi *baffle inclination* terhadap laju aliran massa

MASS FLOW RATE	OUTLET TEMPERATURE		
	K		
Kg/s	0 Degree	10 Degree	20 Degree
0.5	318.07	313.27	313.19
1	313.28	312.67	312.15
2	313.06	311.91	311.86

Tabel 5. Data hasil iterasi *pressure drop* dari variasi *baffle inclination* terhadap laju aliran massa.

MASS FLOW RATE	PRESSURE DROP		
	Pa		
Kg/s	0 Degree	10 Degree	20 Degree
0.5	1405.78	1355.49	1232.28
1	5608.04	5304.81	4817.51
2	23174.11	20962.05	19035.15

Tabel 6. Data hasil iterasi koefisien perpindahan panas dari variasi *baffle inclination* terhadap laju aliran massa.

MASS FLOW RATE	KOEFSIEN PERPINDAHAN PANAS		
	W/m ² .K		
Kg/s	0 Degree	10 Degree	20 Degree
0.5	2030.26	1775.63	1760.97
1	3285.28	3284.86	3281.28
2	7094.64	6336.52	6251.77

Tabel 7. Data hasil iterasi total perpindahan panas dari variasi *baffle inclination* terhadap laju aliran massa.

MASS FLOW RATE	TOTAL PERPINDAHAN PANAS		
	W		
Kg/s	0 Degree	10 Degree	20 Degree
0.5	38230.445	33494.375	32570.898
1	63483.602	63094.055	61281.73
2	135053.25	120764.75	117444.21

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis dalam kesempatan ini ingin mengucapkan terima kasih banyak kepada bapak Dr. Bambang Arip D.,ST., M.Eng., PhD selaku dosen pembimbing yang telah membantu memberikan bimbingan serta berbagi ilmu pengetahuan dalam proses penyelesaian laporan tugas akhir ini, kepada kedua orang tua saya yang selama ini telah memberikan dukungan baik berupa material maupun moral serta doa yang tulus kepada saya selama ini, seluruh dosen yang telah memberikan ilmu pengetahuannya kepada seluruh mahasiswa di jurusan Teknik Mesin FTI – ITS, teman – teman kontrakan yang selalu menjadi penyemangat selama ini, semua pihak yang tak bisa saya sebut namanya yang telah membantu saya selama proses dalam menjalani perkuliahan di D3 Teknik Mesin FTI – ITS.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Incropera FP, Dewitt DP. *Fundamentals of heat and mass transfer*. 4th ed. New York: J. Wiley; 1996.
 [2] Kakac, S., Liu, H.(2002).*Heat Exchangers Selection, Rating and Thermal Design*, CRC press, second ed, Washington D.C. pp. 318–335.
 [3] Fluent, Incorporated.2004. *Gambit 2.2 Tutorial*.