

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

Rezky Fadil Arnaw 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—*Heat exchanger* atau alat penukar kalor merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk memindahkan sejumlah energi dalam bentuk panas dari satu fluida ke fluida yang lain. Perpindahan panas tersebut terjadi dari suatu fluida yang suhunya lebih tinggi ke fluida lain yang suhunya lebih rendah. Pada tugas akhir ini akan dilakukan penelitian tentang pengaruh *baffle inclination* terhadap aliran fluida dan perpindahan panas pada alat penukar kalor tipe *shell and tube*. Dalam penelitian ini akan dilakukan tiga variasi sudut *baffle inclination* yaitu 0° , 10° dan 20° dengan besar laju aliran massa yang divariasikan yaitu sebesar 0.5 kg/s, 1 kg/s dan 2 kg/s. Tipe *baffle* yang digunakan adalah *single segmental baffle* dengan *baffle cut* sebesar 36% dan menggunakan arah aliran jenis *parallel*. Hasil analisa simulasi menunjukkan bahwa laju aliran massa yang meningkat akan menyebabkan kenaikan *pressure drop* yang cukup drastis dan penurunan temperatur *outlet*. Alat penukar kalor dengan *baffle inclination* 0° memiliki nilai perpindahan panas terbaik jika dibandingkan dengan *baffle inclination* 10° dan 20° .

Kata kunci - *baffle inclination*, *baffle cut*, *fluent*, *pressure drop*.

I. PENDAHULUAN

Heat exchanger atau alat penukar kalor merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk memindahkan sejumlah energi dalam bentuk panas dari satu fluida ke fluida yang lain. Perpindahan panas tersebut terjadi dari suatu fluida yang suhunya lebih tinggi ke fluida lain yang suhunya lebih rendah. Alat ini biasa digunakan pada berbagai bidang industri sebagai pendingin atau merubah fasa suatu fluida. Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) sering menggunakan alat penukar kalor terutama diaplikasikan untuk pembangkit uap, kondensor dan menara pendingin. Ada dua jenis dari alat penukar kalor yaitu alat penukar kalor kontak langsung dan tidak langsung. Tipe pipa dan kelongsong (*shell and tube*) merupakan alat penukar kalor tipe kontak tidak langsung dan paling sering digunakan untuk dunia industri.

Alat penukar kalor tipe *Shell and tube* terdiri dari susunan serangkaian *tube* dimana terdapat aliran fluida di dalamnya dan di bungkus oleh kelongsong (*shell*) dan terdapat fluida yang mengalir pada sisi kelongsong di luar *tube*. *Baffle* merupakan bagian yang terdapat di dalam *shell* yang berfungsi untuk mendukung kekuatan dari segi kekakuan dan mencegah pipa mengalami perubahan bentuk akibat getaran yang disebabkan oleh aliran fluida. *Baffle* memiliki fungsi utama yaitu untuk mengarahkan aliran fluida ke pipa secara merata untuk mendapatkan efisiensi perpindahan panas yang lebih besar. Jenis *baffle*, besar potongan *baffle* dan sudut kemiringan *baffle* berpengaruh terhadap koefisien perpindahan panas dari suatu alat penukar kalor. Tugas akhir akan memilih konstruksi pipa segitiga (*staggered*), pemilihan

ini didasarkan pada pertimbangan bahwa susunan pipa segitiga memiliki nilai koefisien perpindahan panas yang tinggi disebabkan oleh pola turbulensi aliran yang tinggi. Jenis *baffle* yang digunakan yaitu *segmental baffle* dengan potongan *baffle* sebesar 36% dan kemiringan *baffle* terhadap sumbu x akan divariasikan yaitu 0° , 10° , 20° dan laju aliran massa juga divariasikan yaitu 0.5, 1 dan 2 kg/s. Jenis aliran yang dipilih adalah aliran sejajar (*parallel*). Analisa pada tugas akhir ini akan disimulasikan menggunakan program komputer untuk mengetahui distribusi aliran, suhu dan efektifitas kemampuan memindahkan panas dari alat penukar kalor dengan memvariasikan kemiringan dari *baffle*.

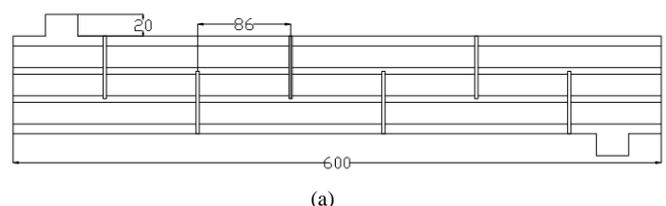
Analisa akan dilakukan khusus untuk fluida pada daerah sisi *shell* dengan menggunakan program CFD yaitu *fluent*. *Fluent* adalah jenis program CFD yang menggunakan volume hingga. *Fluent* menyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap dan dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh (grid)* yang tidak terukur. Diharapkan penelitian pada tugas akhir ini dapat digunakan untuk memahami kinerja dan karakteristik alat penukar kalor yang banyak kegunaannya pada industri pembangkit terutama pada pembangkit listrik tenaga uap.

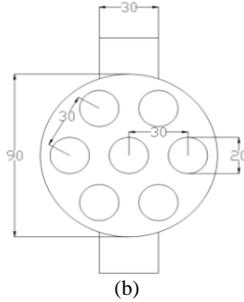
II. PEMODELAN

Penelitian ini memiliki fokus analisa tentang karakter aliran sisi *shell* dan akan dianalisa secara numerik dengan menggunakan *software CFD FLUENT 6.3.26*. Karakter aliran antara lain yaitu besar *pressure drop*, koefisien konveksi dan perpindahan panas akibat pengaruh dari kemiringan *baffle* terhadap sumbu y. Kemiringan *baffle* yang digunakan adalah 0° , 10° dan 20° sama dengan yang digunakan pada penelitian [1] pada tahun 2012 tetapi berbeda orientasi *baffle inclination*. Penelitian [1] orientasi *baffle inclination* adalah terhadap sumbu y sedangkan pada penelitian ini *baffle inclination* terhadap sumbu x, untuk lebih jelasnya dapat dilihat dibawah ini.

A. Geometri Pemodelan

Model di desain sesuai dengan dimensi alat penukar kalor yang digunakan pada penelitian [1] pada tahun 2012 dan dimensi secara lengkap sebagai berikut :



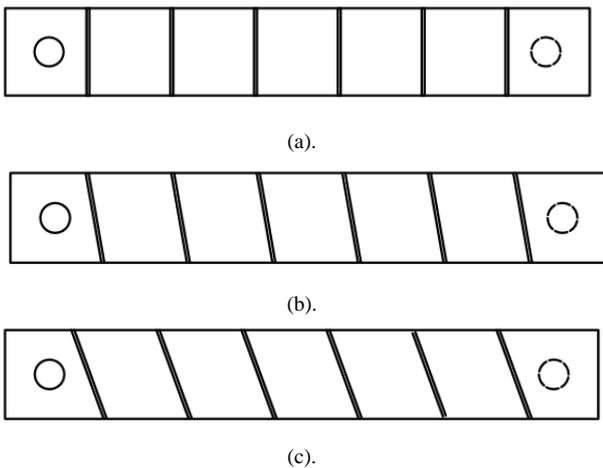


Gambar 1. Geometri alat penukar panas (a) tampak samping, (b) tampak depan

Tabel 1 Dimensi geometri alat penukar kalor tipe shell and tube

Panjang Alat Penukar Kalor, L	600 mm
Diameter dalam Kelongsong, D_i	90 mm
Diameter luar pipa, d_o	20 mm
Jarak antara pipa (pitch)	30 mm
Jumlah pipa (tube), N_t	7
Jumlah baffle, N_b	6
Jarak antara baffle, B	86 mm
Kemiringan baffle terhadap sumbu y, θ	0°, 10°, 20°

Orientasi *baffle inclination* yang digunakan pada penelitian ini untuk dimensi alat penukar kalor seperti di atas adalah sebagai berikut



Gambar 2. Orientasi *baffle inclination* terhadap sumbu x: (a) 0°, (b) 10°, (c) 20°

B. Persamaan Umum.

Persamaan yang berhubungan dengan aliran fluida dimodifikasi sesuai dengan kondisi permasalahan pada simulasi [1]. Kondisi aliran dianggap *steady state*, tergantung parameter waktu yang diturunkan dari persamaan. Persamaan yang dihasilkan adalah:

$$\text{Konservasi Massa} : \nabla \cdot (\rho V_r) = 0 \tag{1}$$

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

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

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

$$\text{Energi} : \nabla \cdot (\rho e V_r) = -\rho \nabla V_r + \nabla \cdot (k \nabla T + q + \Phi) \tag{5}$$

Pada persamaan (5), Φ adalah fungsi disipasi yang didapat dari :

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

C. Kondisi Batas

- Kondisi batas yang diterapkan pada pemodelan ini adalah:

 1. Fluida yang mengalir pada sisi *shell* adalah air.
 2. Temperatur masuk sisi *shell* adalah 300°K.
 3. Temperatur pada sisi *tube* dianggap konstan sebesar 450°K.
 4. Profil aliran pada sisi masuk *shell* dianggap *uniform*.
 5. Perpindahan panas secara konduksi dari *tube* ke *baffle* diabaikan dan suhu *baffle* dianggap sama dengan temperatur fluida kerja.
 6. Kondisi *slip* pada semua permukaan diabaikan
 7. Alat penukar kalor dianggap terisolasi secara sempurna tidak ada panas masuk dan keluar

D. Meshing

Model geometri alat penukar kalor yang dibangun akan dibagi menjadi elemen-elemen kecil. Bentuk, ukuran dan jumlah elemen yang dibutuhkan ditentukan sesuai kebutuhan untuk mendapatkan hasil yang akurat dan baik. Bentuk *meshing* yang dipilih adalah *hex/wedge* untuk daerah sekitar *tube* dan *tet/hybrid* untuk daerah *inlet* dan *outlet*.

E. Model Turbulensi

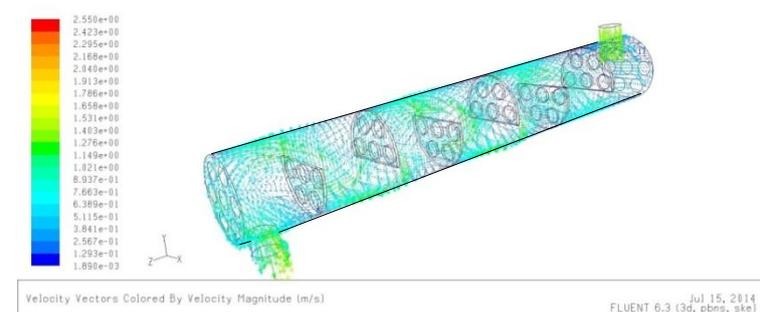
Jenis penyelesaian yang digunakan yaitu model *viscous*. Model *viscous* yang digunakan adalah model *k - ε standart*. Model tersebut digunakan karena banyak dipakai untuk kebutuhan industri, tangguh, baik untuk simulasi heat exchanger dan baik untuk analisa pengaruh turbulensi energi kinetik per satuan massa.

III. ANALISA DAN DISKUSI

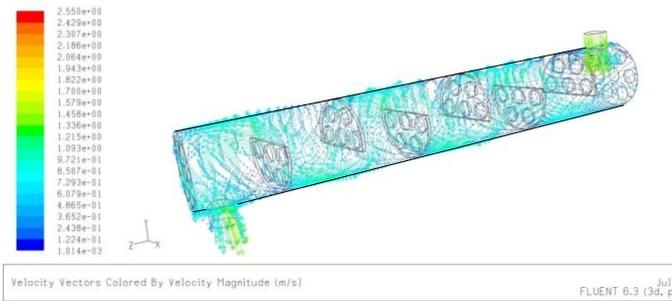
A. Validasi

Tahap validasi merupakan tahap membandingkan hasil *running CFD* terhadap data eksperimen atau empiris. Data validasi dari data empiris terhadap hasil *running* dari model geometri yang telah dibuat menggunakan metode *kern*. Metode ini menganalisa aliran pada sisi *shell* dan tidak menghiraukan kebocoran pada daerah sekitar *baffle* dengan *shell* dan daerah *baffle* dengan *tube*. Metode *Kern* juga mengadaptasi persamaan Nusselt untuk mengevaluasi kondisi fluida pada temperature film. Metode ini tidak dapat digunakan pada aliran laminar dimana nilai *Reynolds Number* kurang dari 2000. Batas penggunaan persamaan ini yaitu untuk besar *Reynolds Number* $2000 < Re < 10^6$.

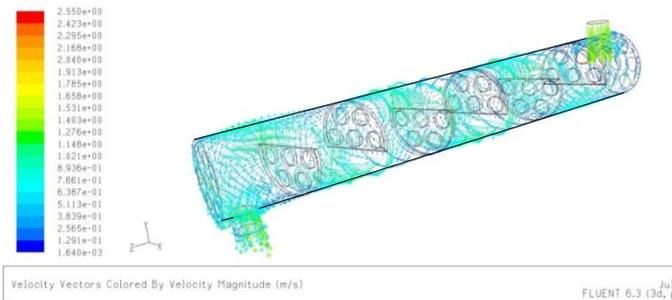
B. Analisa Vektor Kecepatan



(a).



(b).

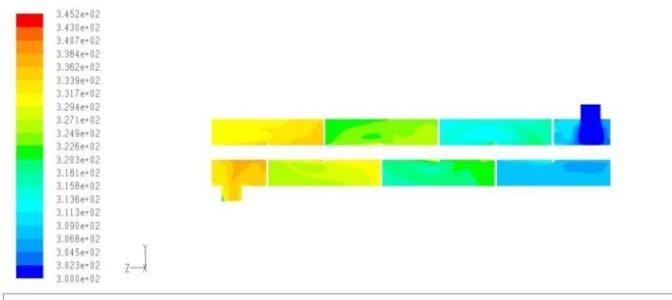


(c).

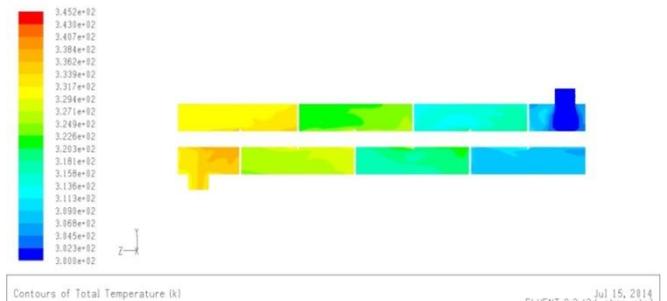
Gambar 3. Vektor Kecepatan dengan laju aliran massa 1 kg/s pada *baffle inclination*: (a) 0°, (b) 10°, (c) 20°

Gambar 3 merupakan tampilan visual dari vektor kecepatan yang diambil sampel laju aliran massa 1 kg/s pada tiap nilai dari *baffle inclination* yaitu 0°, 10° dan 20° dan juga menunjukkan pola aliran akibat *baffle inclination*. Gambar 3a menunjukkan arah aliran masih menyebar merata di dalam *shell* dimana tidak ada kemiringan *baffle* yang terjadi dan juga menunjukkan bahwa turbulensi yang terbentuk juga cukup besar. Gambar 3b memiliki perbedaan dengan gambar 3a dimana vektor kecepatan pada gambar 3b lebih terarahkan menuju sudut yang terbentuk akibat *baffle inclination*. Turbulensi yang terbentuk juga sedikit berkurang. Gambar 3c menunjukkan arah aliran lebih terarahkan akibat sudut *baffle inclination* semakin besar. Gambar 3c juga menunjukkan vektor kecepatan juga semakin berkurang jika dibandingkan dengan gambar 3a dan 3b. Berdasarkan ketiga gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar *baffle inclination* maka arah aliran akan semakin terarah pada sudut yang terbentuk.

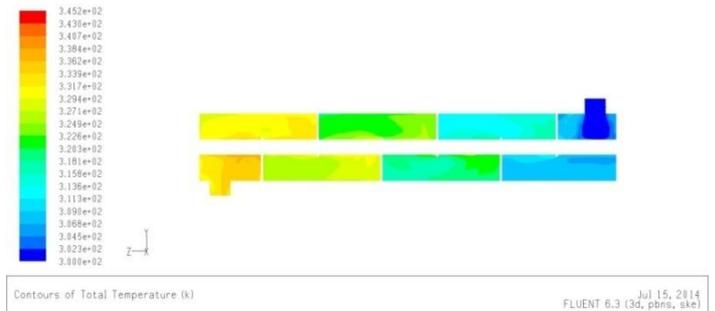
C. Analisa Kontur Temperatur



(a).



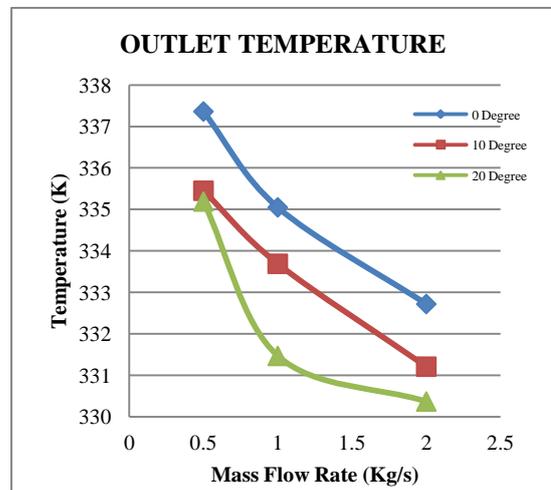
(b).



(c).

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

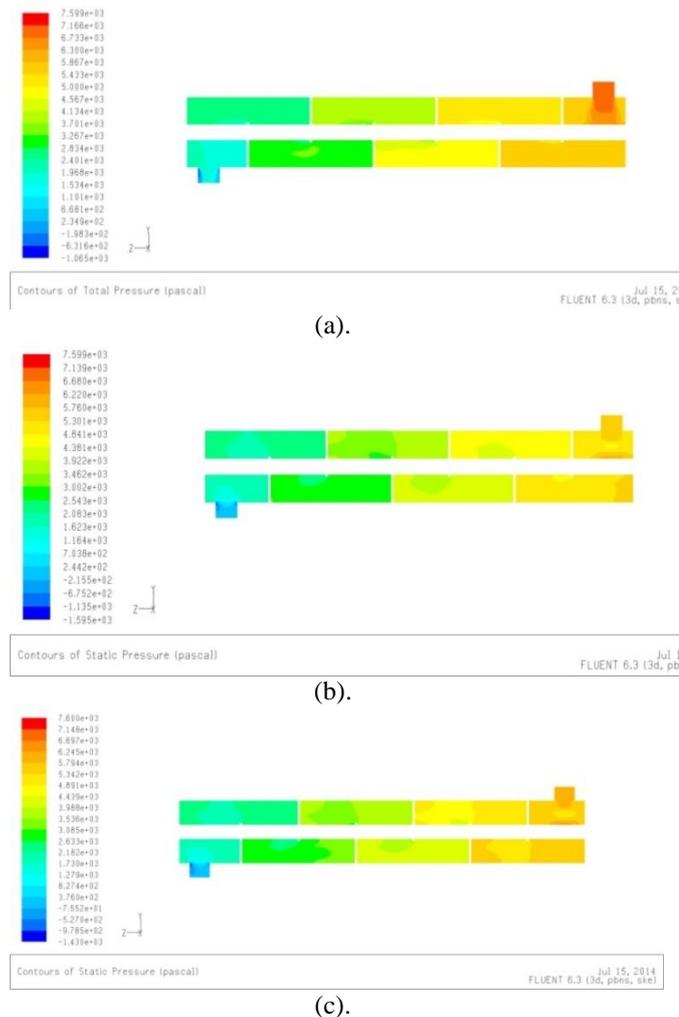
Gambar 4 menunjukkan tampilan visual dari kontur temperatur yang diambil sampel laju aliran massa 1 kg/s pada tiap nilai dari *baffle inclination* yaitu 0°, 10° dan 20°. Bagian ini akan dilihat perbedaan distribusi temperatur yang terjadi akibat dari perubahan *baffle inclination* dengan menggunakan laju aliran massa yang sama. Gambar 4 juga menunjukkan perbedaan distribusi temperatur yang terjadi akibat perbedaan *baffle inclination*. Gambar 4a menunjukkan bahwa gradasi temperatur lebih mencolok daripada gambar 4b dan 4c. Warna oranye pada gambar 4a cenderung lebih banyak daripada gambar 4b dan 4c. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa pada *baffle inclination* 0° perpindahan panas yang terjadi lebih baik daripada *baffle inclination* 10° dan 20° untuk laju aliran massa yang sama. Keadaan tersebut diperkuat dengan gradasi kontur temperatur pada *baffle inclination* 0° derajat lebih mencolok dan distribusi kontur cenderung berkurang setiap penambahan *baffle inclination*. Hal tersebut berhubungan dengan besar perpindahan panas yang dapat dipindahkan dari *tube* ke fluida di dalam *shell*.



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

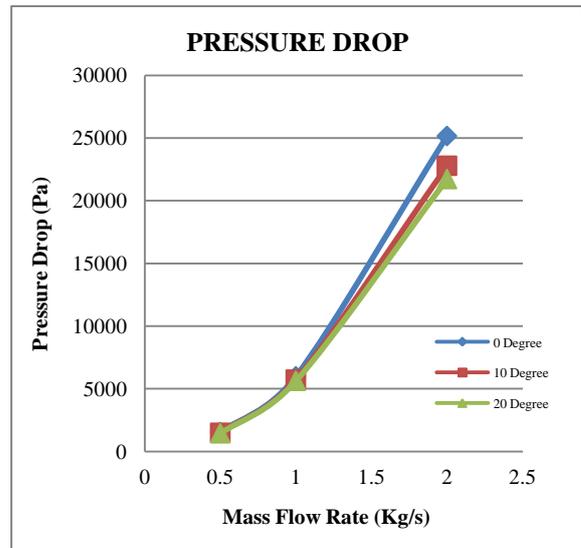
Trend grafik pada gambar 5 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai temperatur *outlet* pada setiap peningkatan laju aliran massa dan hal itu berlaku untuk setiap variasi *baffle inclination* yang ditentukan. Sebagai contoh pada *trendline* grafik untuk nilai *baffle inclination* 10°. Nilai temperatur *outlet* akan semakin turun jika laju aliran massa ditambah. Hal itu terjadi akibat lama pertemuan fluida dengan *surface* yang memiliki temperatur yang lebih besar semakin singkat dengan seiring bertambahnya laju aliran massa. Sebagai akibatnya temperatur *outlet* semakin turun. Hal kedua yang dapat kita analisa dari gambar 5 adalah semakin besar sudut *baffle inclination* maka temperatur *outlet* yang diperoleh akan semakin mengecil dengan variasi laju aliran massa yang sama. Sebagai contoh yaitu nilai temperatur *outlet* untuk laju aliran massa 1 kg/s, dimana nilai temperatur *outlet* dengan *baffle inclination* 0° memiliki nilai yang terbesar jika dibandingkan dengan *baffle inclination* 10° dan 20°. Hal itu disebabkan karena pada saat *baffle inclination* 0° turbulensi yang terjadi tersebar secara merata pada daerah sekitar *baffle*. *Baffle inclination* 10° dan 20° turbulensi hanya terjadi pada daerah sudut yang terbentuk akibat *baffle inclination*. Intensitas perpindahan panas akibat turbulensi pada *baffle inclination* 0° jauh lebih besar daripada variasi *baffle inclination* yang lainnya. Hal itulah yang menyebabkan temperatur *outlet* pada *baffle inclination* 0° terbesar diikuti oleh *baffle inclination* 10° dan 20°

D. Analisa Kontur Tekanan dan Pressure Drop



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

Gambar 6 menunjukkan tampilan visual dari kontur tekanan yang diambil sampel laju aliran massa 1 kg/s pada tiap nilai dari *baffle inclination* yaitu 0°, 10° dan 20°. Gambar 6a menunjukkan gradasi tekanan lebih mencolok pada gambar tersebut daripada gambar 6b dan 6c. Warna oranye pada gambar 6a cenderung lebih banyak daripada gambar 6b dan 6c. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa pada *baffle inclination* 0° *pressure drop* yang terjadi lebih besar daripada *baffle inclination* 10° dan 20° untuk laju aliran massa yang sama. Keadaan tersebut diperkuat dengan gradasi tekanan pada *baffle inclination* 0° lebih mencolok dan distribusi kontur cenderung berkurang setiap penambahan *baffle inclination*. Hal tersebut berhubungan dengan besar *pressure drop* yang terjadi pada alat penukar kalor dengan perbedaan tekanan pada sisi *inlet* dan *outlet*. *Pressure drop* ini berpengaruh terhadap besar daya pompa yang digunakan.



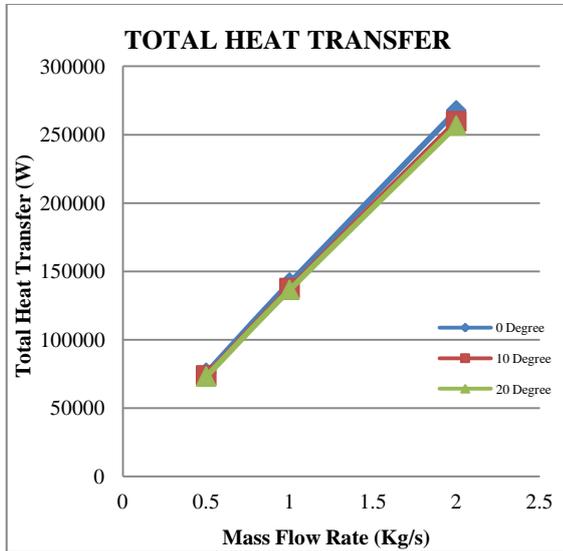
Gambar 7. Grafik *pressure drop* dari variasi laju aliran massa

Berdasarkan *trend* grafik pada gambar 7 dapat kita lihat bahwa terjadi kenaikan nilai besar *pressure drop* pada setiap peningkatan laju aliran massa dan hal itu berlaku untuk setiap variasi *baffle inclination* yang ditentukan. Sebagai contoh pada *trendline* grafik untuk nilai *baffle inclination* 10° yaitu nilai besar *pressure drop* akan semakin naik jika laju aliran massa ditambah. Hal tersebut sudah sesuai dengan persamaan dimana besar *pressure drop* dipengaruhi oleh besar laju aliran massa. Dapat disimpulkan bahwa penambahan besar laju aliran massa berbanding lurus terhadap kenaikan besar *pressure drop*. Hal kedua yang dapat kita analisa dari gambar 7 adalah besar koefisien *minor losses* yang terjadi akibat dari variasi perubahan *baffle inclination* dengan laju aliran massa yang sama.

Besar koefisien *minor losses* berdasarkan persamaan berikut $\Delta P = k \frac{v^2}{2}$. Besar koefisien *minor losses* dipengaruhi oleh besar *pressure drop* dan kecepatan. Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar laju massa maka koefisien *minor losses* akan semakin kecil. Pada penelitian ini akan menganalisa koefisien *minor losses* yang terjadi pada satu variasi laju aliran massa dengan pengaruh perbedaan *baffle inclination*. Sebagai contoh adalah pada laju aliran massa yang tetap yaitu 1 kg/s dengan variasi *baffle inclination* 0°, 10° dan 20°. Hasil yang diperoleh yaitu besar koefisien *minor losses* akan mengalami kenaikan sebesar 1% jika sudut *baffle inclination* dinaikkan dari 0° ke

10°. Koefisien *minor losses* akan mengalami penurunan sebesar 3,41% jika sudut *baffle inclination* dinaikkan dari 10° menuju ke 20°. Berdasarkan analisa tersebut dapat diketahui bahwa nilai koefisien *minor losses* akan naik jika sudut *baffle inclination* dinaikkan dari 0° ke 10° dan akan turun jika sudut *baffle inclination* dinaikkan dari 10° ke 20° untuk besar laju aliran massa yang sama dan untuk dimensi alat penukar kalor seperti di atas.

E. Analisa Total Perpindahan Panas



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

Berdasarkan *trend* grafik pada gambar 4.23 dapat kita lihat bahwa terjadi kenaikan nilai besar perpindahan panas pada setiap peningkatan laju aliran massa dan hal itu berlaku untuk setiap variasi *baffle inclination*. Sebagai contoh pada *trendline* grafik untuk nilai *baffle inclination* 10°, nilai besar perpindahan panas akan semakin naik jika laju aliran massa ditambah. Penjelasan di atas sudah sesuai dengan persamaan $Q = \dot{m}.cp.(T_{out} - T_{in})$. Nilai Q (perpindahan panas) akan naik jika laju aliran massa diperbesar walaupun nilai cp dan selisih temperatur *inlet* dan *outlet* konstan. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa kenaikan besar perpindahan panas berbanding lurus dengan kenaikan laju aliran massa. Perpindahan panas akan semakin besar jika laju aliran massa yang diberikan juga besar.

Hal kedua yang dapat kita analisa dari gambar 8 adalah semakin besar sudut *baffle inclination* maka besar perpindahan panas yang diperoleh akan semakin mengecil dengan variasi laju aliran massa yang sama. Sebagai contoh yaitu nilai perpindahan panas untuk laju aliran massa 1 kg/s, dimana nilai perpindahan panas dengan *baffle inclination* 0° memiliki nilai yang terbesar jika dibandingkan dengan *baffle inclination* 10° dan 20°. Hal tersebut dikarenakan pada saat *baffle inclination* 0° selisih temperatur *inlet* dan *outlet* memiliki nilai tertinggi sesuai yang telah dibahas pada gambar 4. Apabila dihubungkan dengan persamaan $Q = \dot{m}.cp.(T_{out} - T_{in})$, maka dengan semakin besar selisih temperatur *inlet* dan *outlet* akan memperbesar nilai perpindahan panas yang terjadi. Dapat disimpulkan bahwa nilai selisih temperatur *inlet* dan *outlet* berbanding lurus terhadap kenaikan perpindahan panas yang terjadi. Gambar 8 menunjukkan bahwa *baffle inclination* memang berpengaruh terhadap selisih temperatur *inlet* dan *outlet* yang terjadi tetapi tidak terlalu berpengaruh secara signifikan dengan perubahan nilai perpindahan panas. Hal

itu dibuktikan dengan hampir berhimpitnya *trendline* grafik antara *baffle inclination* 0°, 10° dan 20°.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa pada alat penukar kalor tipe *shell and tube* dengan variasi *baffle inclination* dan laju aliran massa menggunakan pemodelan numerik *software Fluent 6.3.26* maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Alat penukar kalor dengan geometri seperti di atas, menaikkan laju aliran massa akan menyebabkan kenaikan *pressure drop* yang cukup drastis dengan penurunan temperature *outlet* dengan variasi yang cukup kecil.
2. *Pressure drop* akan berkurang sebesar rata-rata sebesar 9.4 % untuk *baffle inclination* 10° dan 14% untuk *baffle inclination* 20° jika dibandingkan dengan *pressure drop* untuk *baffle inclination* 0°
3. Perubahan sudut *baffle inclination* tidak terlalu berpengaruh terhadap perubahan temperature *outlet* untuk setiap variasi laju aliran massa, tetapi cukup berpengaruh terhadap perubahan *pressure drop* untuk setiap variasi laju aliran massa.
4. Alat penukar kalor dengan *baffle inclination* 0° memiliki nilai perpindahan panas terbaik jika dibandingkan dengan *baffle inclination* 10° dan 20°.
5. Nilai koefisien *minor losses* akan naik jika sudut *baffle inclination* dinaikkan dari 0° ke 10° dan akan turun jika sudut *baffle inclination* dinaikkan dari 10° ke 20° untuk besar laju aliran massa yang sama.

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	337.36	335.45	332.72
1	335.69	333.69	331.47
2	332.72	331.21	330.37

Tabel 3. 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	1547.73	1492.94	1458.54
1	6000.11	5733.95	5640.53
2	25167.86	22794.51	21732.95

Tabel 4. Data hasil iterasi koefisien perpindahan panas dari variasi *baffle inclination* terhadap laju aliran massa.

MASS FLOW RATE	KOEFSISIEN PERPINDAHAN PANAS		
	W/m ² .K		
Kg/s	0 Degree	10 Degree	20 Degree
0.5	1827.16	1765.28	1753.95
1	3407.84	3282.86	3266.76
2	6423.67	6175.61	6130.14

Tabel 5. 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	75840.73	73900.63	73051.91
1	141773.16	137766.63	136473.67
2	267665.93	259769.21	256624.42

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 beproses dalam menjalani perkuliahan di S1 Teknik Mesin FTI – ITS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] RAJ, Rajagopal dan Ganne, Srikanth, (2012), “*Shell Side Numerical Analysis of a Shell and Tube Heat Exchanger Considering The Effects of Baffle Inclination Angle on Fluid Flow*”, Journal Of Thermal Science, vol.16, no. 4, pp.1165-1174.