

STUDI KARAKTERISTIK LAJU ALIRAN ENERGI UNTUK FLUIDA AIR DAN UDARA PADA PIPA HORIZONTAL

Edy Suryono^{1*}, Agustinus Eko Budhi Nusantoro²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Akademi Teknologi Warga Surakarta
Jl. Raya Solo Baki Km.2 Kwarasan, Solo Baru, Sukoharjo

*Email: qwedys@yahoo.com

INTISARI

Penelitian untuk mengetahui karakteristik laju aliran energi antara fluida air dan udara pada pipa horisontal, yaitu perubahan temperatur masuk dan keluar pipa. Diameter pipa 0,04 m, panjang pipa 1 m, dan kecepatan masuk aliran air sebesar 5,4 m/s. Temperatur awal fluida 400 °K, temperatur lingkungan 300 °K, dan koefisien perpindahan panas (h_0) sebesar 5 W/m²K. Mesh berukuran 20x1000, dengan garis inlet dan outlet dibagi menjadi 20 node dengan rasio 0,9 semakin rapat ke arah dinding. Sedangkan garis dinding dan axis dibagi menjadi 1000 node dengan rasio 1. Tipe tiap boundary yaitu velocity_inlet, pressure_outlet, wall dan axis. Kualitas mesh dicek menggunakan equiangleskew dan aspect ratio. Analisis menggunakan Fluent. Hasilnya menunjukkan fluida udara di dinding mengalami penurunan sebesar 13,6004 K atau 3,4% dan suhu di outlet mengalami penurunan sebesar 9,4893 K atau 2,37%. Tekanan maksimal sebesar 2,125e+04 Pa untuk fluida air dan 1,525e+04 Pa untuk fluida udara. Tekanan maksimal terjadi pada kisaran jarak 0,7 m- 0,75m. Perambatan energi yang relatif merata di seluruh pipa menunjukkan bahwa air memiliki nilai koefisien konveksi yang lebih besar dibanding udara. Dengan kata lain air akan lebih mudah dalam melepas dan menerima panas.

Kata kunci: fluent, fluida air, fluida udara, laju aliran energi, mesh

1. PENDAHULUAN

Suatu fase merupakan salah satu kondisi suatu zat yang dapat berupa padat, cair, maupun gas. Aliran multifase adalah aliran serempak dari beberapa fase. Aliran dua-fase merupakan keadaan yang paling sederhana dari aliran multifase yang banyak dijumpai dalam kegiatan industri. Persoalan aliran dua fase sudah menjadi sangat penting dalam teknologi keteknikan, terutama sekali untuk generator uap, industri pengolahan khususnya teknologi nuklir. Selain itu, aplikasi dua fase tidak hanya relevan dengan masalah-masalah keteknikan dan ilmu pengetahuan modern, tapi juga berkaitan dengan fenomena alam, sehingga perlu adanya penelitian-penelitian lebih lanjut.

Pada beberapa industri seperti industri kimia, pemindahan fluida umumnya dilakukan melalui sistem perpipaan. Dalam sistem perpipaan, selain memerlukan pipa-pipa utama, juga memerlukan beberapa komponen pipa, seperti belokan pipa, siku, katup, perbesaran saluran, pengecilan saluran, dan kombinasi saluran. Dalam sistem pipa yang besar, kerugian pada komponen pipa biasanya hanya merupakan kerugian yang kecil dibandingkan dengan kerugian akibat gesekan sepanjang saluran. Namun pada sistem yang tidak besar, kerugian pada komponen pipa dapat menjadi kerugian utama terhadap kerugian total sepanjang lintasan aliran.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan karakteristik laju aliran energi antara air dan udara. Sehingga diharapkan dapat memperluas pengetahuan karakteristik fluida air dan fluida udara serta laju aliran energi terutama panas akibat perbedaan temperatur.

Sejak ditemukannya aliran dua-fase oleh Heron dan Leonardo da Vinci [Koestoer, 1994], penggunaan system aliran dua-fase yang diikuti dengan perubahan fase untuk mengubah energi termal menjadi energi kinetik sudah lama dikenal. H. Monji (1995) dalam suatu konferensi melaporkan tentang adanya pengurangan *pressure drop* dalam aliran dua fase (campuran partikel dalam air) pada kondisi laju aliran yang tinggi.

Oliviera dan Barbosa (2013), distribusi tekanan statis lokal berbeda secara signifikan antara dua orientasi aliran, terutama karena efek gravitasi yang dominan pada laju aliran gas yang rendah. Kemudian pada campuran rendah kecepatan khas arus bertingkat, perbedaan signifikan yang diamati antara gas *holdup* di inlet dan outlet belokan. Ini dapat dikaitkan dengan fenomena yang berbeda bergantung pada orientasi aliran, seperti aliran cairan berlawanan di belokan (aliran ke atas) dan pembentukan lompatan hidrolis di bagian keluar (mengalir ke bawah). Karena kedua gas

dan kecepatan superfisial cairan meningkat (meningkatkan inersia aliran), perbedaan antara *inlet* dan *outlet* pada *gas holdup* menjadi lebih kecil.

Awaludin (2014) dalam penelitiannya menyatakan bahwa *pressure drop* (Δp) aliran dua fase melalui belokan 45° mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya *gas volume fraction* (β). Perubahan bilangan Reynolds superfisial air ($ResL$) dari turbulen ke laminar terjadi penurunan yang sangat signifikan baik eksperimental maupun secara teoritis. Hal ini terjadi karena *friction factor* pada aliran laminar lebih besar dari aliran turbulen. Pemilihan faktor korelasi pada masing-masing perubahan aliran juga mengalami perubahan (Kim, 2010).

Untuk kebutuhan penelitian bahkan sampai dengan tingkat desain, perlu dibutuhkan suatu alat yang mampu menganalisis atau memprediksi dengan cepat dan akurat. Maka berkembanglah suatu ilmu yang dinamakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) yang dalam bahasa Indonesia dikenal dengan Komputasi Aliran Fluida Dinamik (Cengel, 2004).

1.1. Laju aliran massa

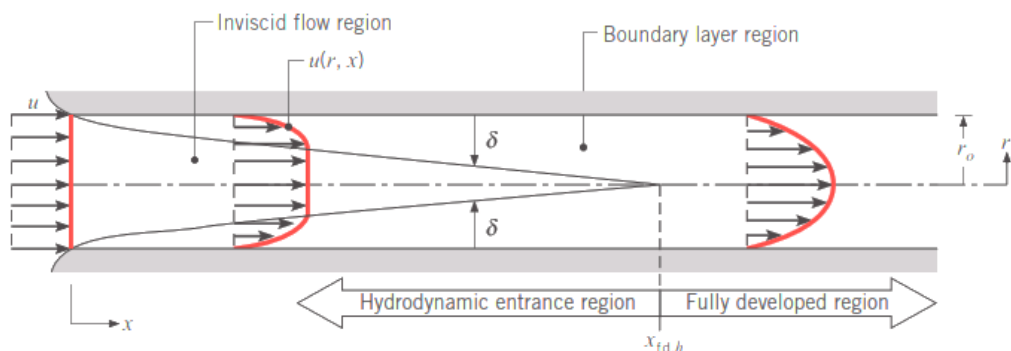
Laju aliran massa secara perhitungan manual menggunakan rumus:

$$\dot{m} = \rho V A \quad (1)$$

Kecepatan maksimum terjadi pada $y=0$ atau terjadi di area axis, dimana

$$V_{maks} = \frac{Vx(n+1)x(2n+1)}{2n^2} \quad (2)$$

Dimana, $n = -1.7 + 1.8 \log Re$ (3)



Gambar 1. Aliran fluida dalam pipa horisontal (Bergman, et.al, 2011)

Kecepatan seragam hanya terjadi pada bagian *inlet*, artinya kecepatan selanjutnya terus berkembang sampai mendapatkan *Fully developed*.

Perhitungan *pressure drop* menggunakan rumus:

$$\Delta P = f \frac{L}{2D} \rho V^2 \quad (4)$$

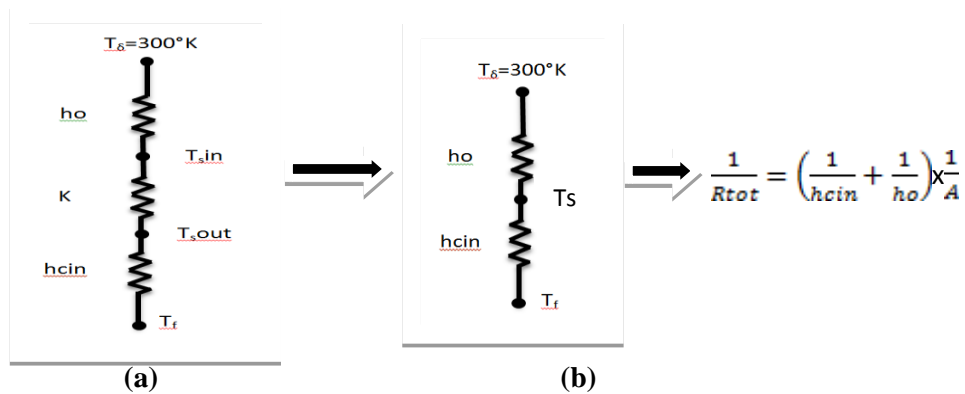
Rumus *pressure drop* yang perlu dicermati adalah nilai koefisien friksi dan kecepatan. Koefisien friksi sangat tergantung dari kekasaran permukaan material pipa, dimana perhitungannya menggunakan diagram Moody.

1.2. Laju aliran energi

Proses terjadi pada sistem terbuka, dimana terjadi aliran massa ke dalam sistem dan perpindahan energi keluar sistem. Persamaan sistem :

$$Q - W = \dot{m}\Delta h + \dot{m}\Delta ke + \dot{m}\Delta Pe \quad (5)$$

Aliran termal pada pipa horisontal dapat di modelkan menjadi :



Gambar 2. Pemodelan aliran termal pada pipa horisontal

Gambar 2. (a). menunjukkan model aliran termal pada pipa horizontal dengan pengaruh konduksi, sedangkan gambar 2. (b) menunjukkan model aliran termal dimana pengaruh konduksi diabaikan karena dengan asumsi tebal dinding yang cukup tipis.

Hambatan yang terjadi pada aliran di pipa tersebut adalah:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{A h_{cin}} + \frac{1}{A h_o} \quad (6)$$

Hal ini menjadikan semua jenis material dianggap sama ketika tebal dinding cukup tipis, dimana pengaruh konduksi dapat diabaikan. Koefisien perpindahan kalor pada aliran masuk h_{cin} dihitung dengan rumus:

$$h_{cin} = \frac{Nu \cdot k \cdot f}{D} \quad (7)$$

Sedangkan angka Nusselt dicari dengan rumus:

$$Nu = 0,0265 \cdot Re^{0,8} Pr^{0,3} \quad (8)$$

Selanjutnya perpindahan kalor Q dihitung dengan rumus :

$$Q = \frac{\Delta t}{R_{tot}} \quad (9)$$

Temperatur keluar dapat dihitung dengan mencari koefisien perpindahan panas awal (h_1) aliran dengan acuan temperatur masuk T_{in} menggunakan tabel *Saturated water temperature table*.

Koefisien perpindahan panas keluar (h_2) dihitung dengan rumus:

$$h_2 = \frac{Q}{m} + h_1 \quad (10)$$

Temperatur keluar (T_{out}) dicari menggunakan tabel *Saturated water temperature table* dengan acuan koefisien perpindahan panas keluar (h_2).

Sedangkan perhitungan untuk fluida udara setelah mendapatkan angka Nusselt dan koefisien perpindahan panas awal h_{cin} , selanjutnya menghitung temperatur surface T_s dengan rumus bahwa konveksi luar pipa sama dengan konveksi dalam pipa:

$$h_o.A(T_s - T_\delta) = h_{cin}.A(T_{in} - T_s) \quad (11)$$

Aliran panas konveksi pipa dapat dihitung dengan rumus :

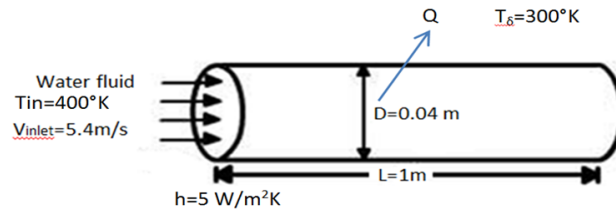
$$Q(W) = h_o.A_s.(T_s - T_\delta) \quad (12)$$

sehingga :

$$T_{out} = T_{in} - \frac{Q}{m.C_p} \quad (13)$$

2. METODOLOGI

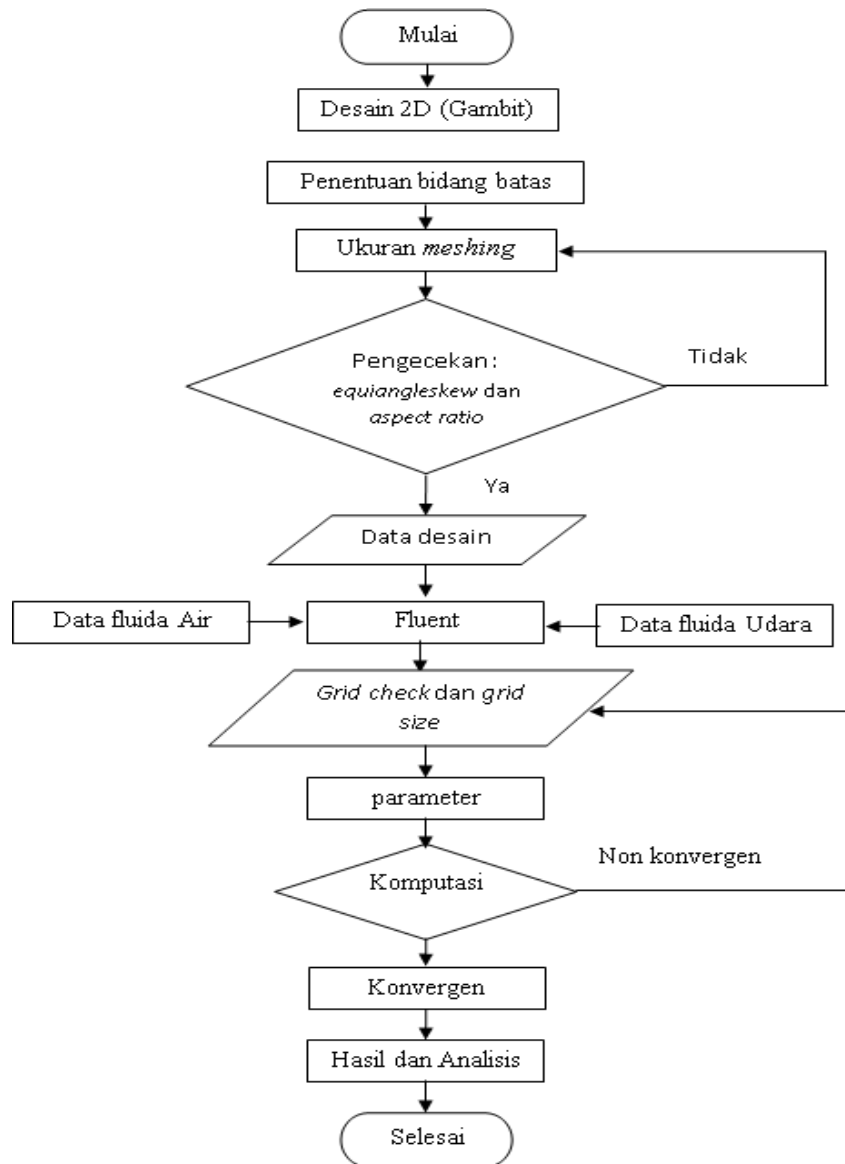
Penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak untuk mensimulasikan aliran air dan aliran udara pada pipa horisontal. Perangkat lunak yang digunakan untuk mendesain adalah Gambit. Desain berupa gambar 2D dari pipa yang dibuat simetri. Desain pipa horisontal dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Desain aliran fluida pada pipa horisontal

Tabel 1. Parameter fluida air dan fluida udara

No	Parameter	Satuan	Air	Udara
1	Luas penampang (A)	m ²	1,256e-3	1,256e-3
2	Laju aliran massa (ṁ)	kg/s	6,7702	0,0059
3	Temperatur masuk (Tin)	K	400	400
4	Temperatur lingkungan (Tδ)	K	300	300
5	Kecepatan (V)	m/s	5,4	5,4
6	Massa jenis (ρ)	kg/m ³	998,2	0,871
7	Viskositas (μ)	kg/m.s	1,0030e-03	2,30e-05
8	Kalor spesifik (Cp)	J/kg-K	4256	1014
9	Thermal konduktivitas (kf)	W/mK	0,688	0,0338
10	Koefisien perpindahan panas (ho)	W/m ² K	5	5
11	Angka Prandlt		1,34	0,69



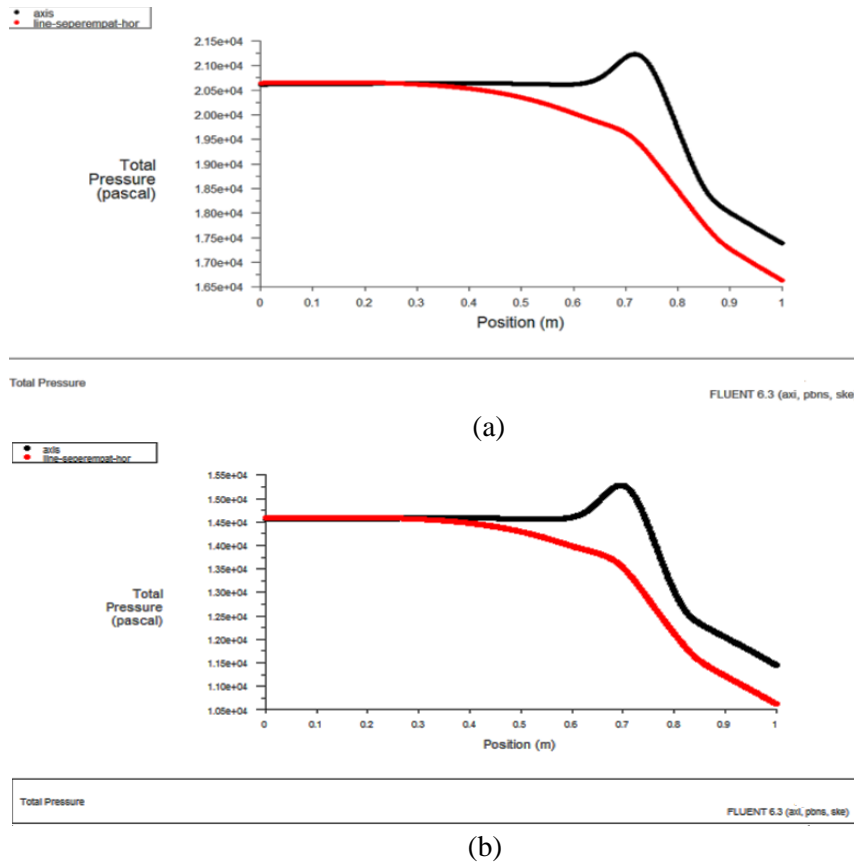
Gambar 4. Alur penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Temperatur *inlet* diatur pada kondisi 400 K, didapat suhu dinding maupun di bagian *outlet* untuk fluida air relatif tidak mengalami perubahan. Sedangkan pada fluida udara suhu di dinding mengalami penurunan sebesar 13,6004 K atau 3,4% dan suhu di *outlet* mengalami penurunan sebesar 9,4893 K atau 2,37%.. Pressure drop air memiliki perbedaan yang sangat besar dibanding udara, hal ini terjadi karena massa jenis air juga lebih besar dari massa jenis udara.

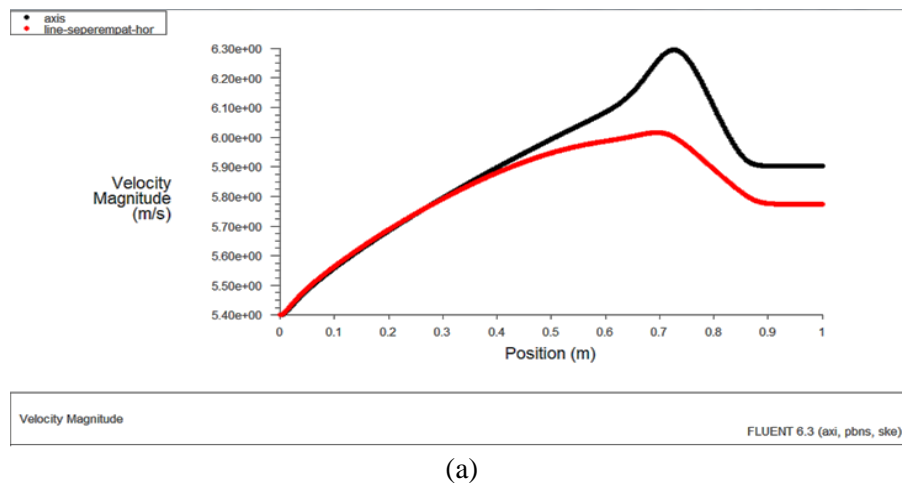
Tabel 2. Hasil analisis

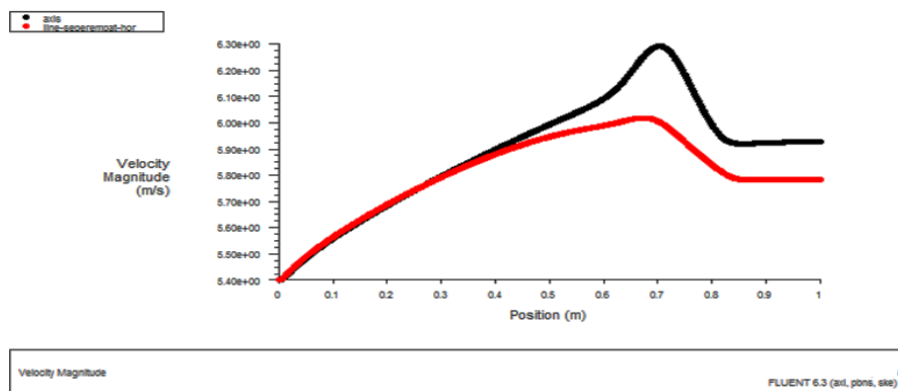
Variabel	Air	Udara
Laju Aliran Massa (kg/s)	6.7736259	0.005911
Pressure drop (N/m ²)	6185.3463	5.3972
Vmaks (m/s)	6.2944312	6.2922697
Temperatur Inlet (K)	399.99976	399.9808
Temperatur Wall (K)	399.97012	386.3804
Temperatur Outlet (K)	399.99960	390.4915



Gambar 5. Tekanan total di sepanjang pipa, a. fluida air dan b, fluida udara.

Tekanan yang terjadi selama aliran fluida di bagian axis baik air maupun udara memiliki bentuk yang relatif sama. Dimana tekanan awal adalah konstan, sampai pada jarak 0,65 m mengalami peningkatan dan maksimal pada kisaran jarak 0,7 m- 0,75m. Tekanan maksimal sebesar $2,125e+04$ Pa untuk fluida air dan $1,525e+04$ Pa untuk fluida udara.

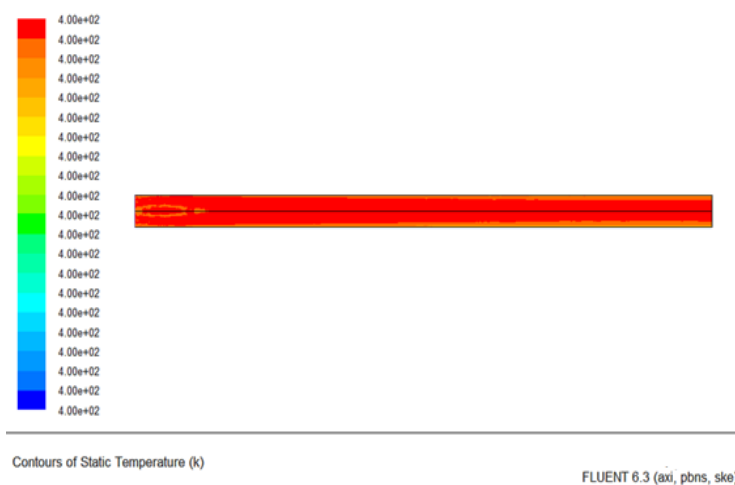




(b)

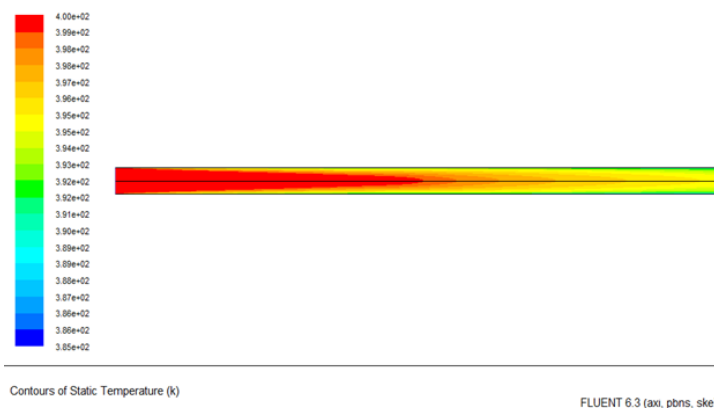
Gambar 6. Kecepatan aliran fluida, a. fluida air dan b. fluida udara

Kecepatan aliran fluida juga memiliki *trendline* yang hampir sama dengan grafik tekanan. Dimana terjadi kecepatan maksimal di area axis pada jarak 0,7 m – 0,75 m..



Gambar 5. Simulasi aliran fluida air

Gambar di atas menunjukkan bahwa aliran fluida air secara signifikan menerima rambatan temperatur yang merata di semua sisi, bahkan mendekati suhu konstan, dimana penurunan suhu di bagian *outlet* hanya sebesar 1.10^{-4} K.



Gambar 6. Simulasi aliran fluida udara

Gambar pada simulasi aliran untuk fluida udara menunjukkan rambatan temperatur dari *inlet* ke *outlet* dengan gradasi warna semakin ke arah kuning kehijauan. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan suhu yang cukup signifikan terutama di dinding bagian *outlet*. Selain itu penurunan suhu juga terlihat jelas di bagian axis terjadi ketika aliran mencapai setengah panjang pipa.

4. KESIMPULAN

Fluida air mengalami perambatan energi yang relatif merata di seluruh pipa, hal ini menunjukkan bahwa air memiliki nilai koefisien konveksi yang lebih besar dibanding udara. Dengan kata lain air akan lebih mudah dalam melepas dan menerima panas (konduktifitas panas (k) air lebih besar dari udara).

Perubahan suhu pada air yang mendekati konstan menunjukkan bahwa air memiliki laju energi yang lebih besar dibanding udara. Hal ini menjadi tepat karena laju aliran massa (\dot{m}) berbanding lurus dengan massa jenisnya. Dimana massa jenis (ρ) air lebih besar dari massa jenis udara. Selain itu massa jenis juga berpengaruh pada *pressure drop* (Δp) air yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Awaluddin, Wahyud, S., dan Widodo, AG., 2014. *Analisis Aliran Fluida Dua Fase Udara-Air) melalui Belokan 45°*, jurnal Rekayasa Mesin Vol. 5, No.3, Universitas Brawijaya, Malang
- Bergman L.T., Adrienne S.L., Frank P.I., and David P.D, 2011. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Seventh edition, John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Çengel, Yunus. A. dan Robert H. Turner. 2004. *Fundamental of Thermal Fluid Sciences*, New York: Mc. Graw Hill
- Hudaya, A.Z., Indarto, dan Deendarlianto. 2013. *Penentuan Sub-sub Daerah Aliran Stratified Udara-Air Pada Pipa Horisontal Menggunakan Constant Electric Current Method*. *Jurnal Simetris*. Vol. 4 (1): 49-57.
- Kim, S., G. Kojasoy dan T. Guo. 2010. *Two Phase Minor Loss in Horizontal Bubbly Flow with Elbows: 45° and 90° Elbows*. *Journal of Nuclear Engineering and Design*. Vol. 240: 284-289.
- Koestoer, R. A., 1994. *Aliran Dua Fase dan Fluks Kalor Kritis*, Cetakan Pertama, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Monji, H., Matsui, G. and Saito, T., 1995. *Pressure Drop Reduction of Liquid – Particles Two-Phase Flow with Nearly Equal Density*, Proceeding of the 2 International Conf. on Multiphase Flow, Kyoto, Japan,
- Oliveira, P.M. dan J.R. Barbosa. 2014. *Pressure Drop and Gas Holdup in AirWater Flow in 180° Return Bends*. *Journal of Multiphase Flow*. Vol. 61: 8393.