

Simulasi Numerik Kerugian Aliran Udara Pada Susunan Pipa Segitiga

Wawan Septiawan Damanik^{1*}

Email: wawanseptiawan@umsu.ac.id

Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jl.Kaptan Mukhtar Basri No.3 Medan

Edi Sarman Hasibuan²

Email: edisarmanhsb@gmail.com

Dosen Program Studi Teknik Mesin Universitas Amir Hamzah
Jl. Pancing Pasar V Barat, Medan Estate, Sumatera Utara

ABSTRAK

Susunan pipa segitiga merupakan jenis susunan pipa pada rangkaian alat penukar kalor (*heat Exchanger*) yang digunakan untuk memindah panas, bahan pipa yang saya gunakan pada penelitian kali ini adalah baja karbon dengan dimensi diameter luar 33,4 mm, diameter dalam 31,10 mm dan panjang pipa 500 mm. Untuk mengetahui seberapa besar kerugian yang terjadi akibat gesekan fluida yang menghantam pipa. Tujuan simulasi tersebut adalah untuk mengetahui gambaran kecepatan aliran fluida, gambaran laju aliran massa fluida, dan tekanan udara yang masuk menghantam pipa, penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data seperti : kecepatan aliran fluida (V), laju aliran massa (m), dan Kerugian gesekan (f). selanjutnya data tersebut akan di input ke *solidwork* untuk dilihat simulasinya dengan memvariasikan bilangan reynold dan tara 1000-10000. Dari hasil perhitungan, diketahui bahwa kecepatan, laju aliran massa, tekanan dan kerugian akan berubah setelah divariasikan oleh bilangan reynold yang berbeda. Kecepatan yang paling rendah ketika fluida memiliki bilangan reynold 1000 dan yang paling tinggi ketika fluida memiliki kondisi bilangan Reynold 10000. Namun tidak untuk kerugian karena kerugian dipengaruhi oleh tekanan, kecepatan dan gravitasi. Suhu fluida juga harus diperhatikan karena berpengaruh pada viskositas kinematik (ν) dan berat jenis fluida (γ).

Kata kunci :Susunan pipa segitiga, (eksperimen), kecepatan, laju aliran massa, kerugian aliran

Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan sumber energi angin karena adanya dukungan kondisi geografis sebagai negara kepulauan yang berada pada khatulistiwa sehingga Indonesia memiliki limpahan potensi energi angin[1]. Setiap hari kita semua selalu berhubungan dengan fluida tanpa kita sadari [2]. Banyak gejala alam yang indah dan menakjubkan, seperti bukit-bukit dan sungai-sungai yang dalam, terjadi akibat gaya-gaya yang ditimbulkan oleh aliran fluida. Semua fluida mempunyai atau menunjukkan sifat-sifat atau karakteristik yang penting dalam dunia rekayasa. Namun dalam penggunaannya selalu terjadi kerugian aliran. Salah satunya pada instalasi alat penukar kalor. Instalasi alat penukar kalor sudah sangat sering kita jumpai di kehidupan sehari – hari. Salah satunya yaitu pada pembangkit listrik. Tabung yang disusun *straggered* (segitiga) yang merupakan susunan secara *zigzag* akan menghasilkan celah pada instalasi alat penukar kalor tersebut. Arah susunan bersifat longitudinal yang disusun dengan jarak berdekatan bertujuan agar susunan pipa memiliki turbulensi yang aliran yang lebih tinggi sehingga perpindahan panas yang terjadi semakin besar [3].

Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh J.P Holman pada tahun 1997 mengatakan konsekuensi dari kerapatan susunan berkas tabung tersebut adalah terjadinya *pressure drop* yang lebih besar sehingga mengakibatkan gesekan yang besar pula. Hal ini akan mengakibatkan kerugian aliran pada susunan pipa segitiga tersebut. Semakin kompleksnya sebuah susunan instalasi alat penukar kalor yang digunakan, semakin banyak pula kerugian aliran yang dapat ditemukan. Fluida yang menabrak susunan pipa pada instalasi alat penukar kalor dapat melemahkan pipa yang sedang beroperasi. Kecuali ketebalan pada dinding pipa yang sedang beroperasi cukup untuk mempertahankan tekanan yang bekerja pada instalasi pipa[4]. Gerakan aliran fluida melintasi suatu benda (*bluff body*) memegang peranan penting dalam aplikasi *engineering* seperti pada penukar kalor, pembakaran dan alat transportasi.



Dengan demikian penelitian fenomena aliran tersebut menjadi sangat penting jika dikaitkan dengan krisis energi yang melanda dunia dewasa ini [5]. Mengetahui kerugian aliran pada suatu sistem yang memanfaatkan fluida mengalir sebagai media, akan menentukan tingkat efisiensi. Jika ingin mengetahui kerugian yang terjadi pada pipa maka harus dilakukan penelitian. Besarnya kerugian aliran pada susunan pipa dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti: tekanan yang menghantam pipa, luas penampang, suhu fluida, viskositas, dan kekasaran pipa, berat jenis fluida, dan panjang pipa. Berdasarkan latar belakang tersebut maka penulis membuat tugas akhir (skripsi) dengan judul :“*Simulasi Numerik Kerugian Aliran Udara Pada Susunan Pipa Segitiga*”. Dengan menggunakan perangkat lunak *solidworks* untuk mempermudah proses desain dan perhitungannya.

Tinjauan Pustaka

Aliran Eksternal

Aliran eksternal dapat didefinisikan sebagai aliran dari sebuah *fluida* yang gerakannya melingkupi permukaan dari sebuah benda padat. Aliran *fluida* yang melintasi *bluff body* dan *streamlined body* adalah contoh dari aliran eksternal. Beberapa fenomena terjadi selama aliran eksternal berlangsung. *Freestream flow* yang akan melintasi sebuah benda padat terpisah pada stagnation point lalu mengalir di sekitar permukaan benda padat di sisi *upper* dan *lower*. Selama perjalanan aliran di permukaan, terbentuk *Boundary Layer* dengan thickness tertentu akibat efek gesekan. Aliran pada sisi upstream yang awalnya Laminar dapat mengalami *Transition* menjadi Turbulent pada jarak tertentu dari titik stagnasi, bergantung pada kondisi *freestream flow*, kekasaran permukaan benda padat, dan *Pressure Gradient*. [6].

Rugi Tekanan Minor (Minor Head Loss)

Untuk sebuah sistem perpipaan, disamping kerugian Major yang dihitung untuk seluruh panjang pipa, ada pula yang disebut kerugian Minor yang disebabkan oleh:

1. Lubang masuk atau lubang keluar pipa.
2. Pemuaian atau penyusutan tiba-tiba.
3. Kelokan, siku, sambungan T dan suaian lain.
4. Katup, yang terbuka atau sebagian tertutup.
5. Pemuaian atau penyusutan berangsur.

Kerugian head total dalam pipa adalah penambahan antara kerugian major dan kerugian minor yang dirumuskan:

$$h_1 = h_f + h_m \quad (1)$$

Dari hasil eksperimen para ahli dengan fluida pada bilangan Reynolds yang tinggi memperlihatkan bahwa kerugian minor adalah sama dengan hasil kali energi kinetik persatuan berat dari fluida dengan koefisien kerugian [7]:

$$h_m = K \frac{U^2}{2g} \quad (2)$$

Dimana : h_m = Kerugian minor (m H₂O), K = koefisien kerugian, U = kecepatan aliran (m/s), g = gaya gravitasi (9,81 m/s²) [8].

Pada zat cair diam gaya-gaya yang bekerja dapat dihitung dengan mudah karena dalam hidrostatis hanya bekerja gaya tekan sederhana. Faktor-faktor yang diperhitungkan tidak hanya kecepatan dan arah partikel, tetapi juga pengaruh kekentalan yang menyebabkan gesekan antar partikel-partikel zat cair dengan dinding batas. Persamaan energi yang menggambarkan gerak partikel diturunkan dengan persamaan gerak [9].



Kehilangan Energi (*Head Loss*)

Adanya kekentalan pada fluida akan menyebabkan terjadinya tegangan geser pada waktu bergerak. Tegangan geser ini akan merubah sebagian energi aliran menjadi bentuk energi lain seperti panas, suara dan sebagainya[10].

Aliran Laminar

Aliran dimana pergerakan dari partikel – partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami pencampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu Jurnal Suara Teknik Fakultas Teknik Hal| 3 bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian – kerugian aliran[10.11]. Tingginya koefisien gesek antara fluida dengan dinding pipa berpengaruh secara langsung kepada besarnya penurunan tekanan dan pada akhirnya pada besarnya energi yang diperlukan untuk mengalirkan fluida[13].

Metode Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian Simulasi Numerik Kerugian Aliran Udara Pada Susunan Pipa Segitiga ini adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan desain simulasi aliran yang akan dibuat pada susunan pipa segitiga
2. Menyiapkan berapa ukuran yang akan di buat pada susunan pipa segitiga, Panjang pipa, diameter pipa, jenis fluida, aliran kecepatan dan laju aliran massa yang akan digunakan dalam melakukan simulasi
3. Merancang aliran yang akan disimulasikan dengan menggunakan aplikasi *solidwork* dengan desain yang sebelumnya sudah dibuat
4. Setelah rancangan selesai, mulailah menjalankan simulasi dengan menggunakan *solidwork*
5. Mengamati simulasi dan mencatat hasil kecepatan aliran pada susunan pipa segitiga dan melakukan simulasi numerik
6. Mencatat hasil pengujian dan hasil dari pengujian

Hasil Penelitian

Dalam mengevaluasi data dan perhitungan simulasi pada susunan pipa segitiga menggunakan perangkat lunak *solidwork* 2014, terdapat bilangan reynold yang di variasikan sampai 10 (sepuluh) variasi bilangan reynold dapat dianalisis dari hasil simulasi menghasilkan nilai kecepatan pada setiap percobaan dan laju aliran massa fluidanya.berikut ini hasil simulasi eksternal yang divariasikan berdasarkan bilangan reynold dari 1000 – 10000.

Pembahasan

Aliran Pada Bilangan Reynold 1000

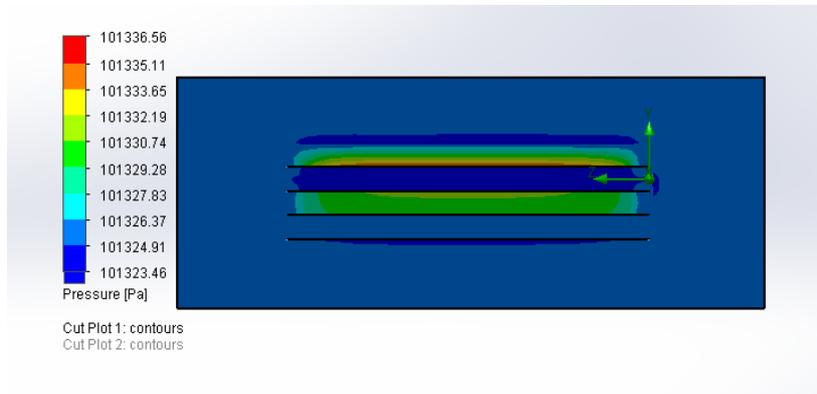
Untuk menentukan nilai kecepatan (V) dari variasi aliran yang pertama, pada temperature fluida 300 K dapat dilakukan dengan perhitungan berikut ini:

$$V = \frac{Re \cdot \nu}{d}$$
$$V = \frac{1000 \cdot 15,69 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}{0,0334 \text{ m}}$$

$$V = \frac{0,01569 \text{ m}^2/s}{0,0334 \text{ m}}$$

$$V = 0,469 \text{ m/s}$$

Yang dipakai pada proses simulasi adalah *boundary condition* pada nilai *inlet velocity* yaitu 0,469 m/s, pada temperature fluida 300 K sehingga dapat hasil simulasi sebagai berikut :



Gambar Simulasi pada saat reynold 1000 kecepatan aliran 0,469 m/s

Dari hasil simulasi diketahui bahwa tekanan maksimal yaitu sebesar 101337,19 Pa dan tekanan minimum yaitu sebesar 101323,43 Pa

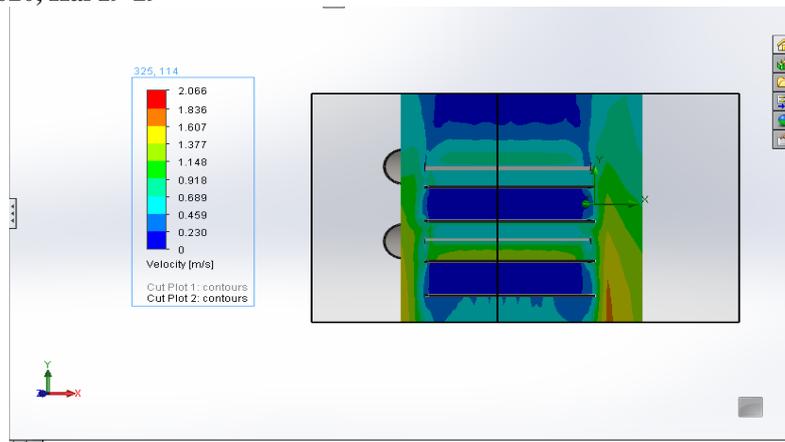
Selanjutnya untuk mencari laju aliran massa (\dot{m}) pada bilangan reynold 1000 dan kecepatan $0,469 \text{ m/s}$ dengan temperature fluida 300 K dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A$$

$$\dot{m} = 1,774 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,469 \text{ m/s} \cdot 0,000876 \text{ m}^2$$

$$\dot{m} = 0,00073 \text{ kg/s}$$

Yang dipakai pada proses simulasi ini adalah *boundary condition* pada nilai *inlet mass flow* yaitu $0,00073 \text{ kg/s}$ pada temperature fluida 300 K sehingga dapat hasil simulasi sebagai berikut :



Gambar Simulasi pada saat reynold 1000 laju aliran massa $0,00073 \frac{kg}{s}$

Diketahui data yang didapat dari hasil simulasi adalah sebagai berikut :

$$\Delta P = 101337,19 \frac{N}{m^2} - 101323,43 \frac{N}{m^2} =$$

$$\Delta P = 13,76 \frac{N}{m^2}$$

$$D = 0,0334m$$

$$L = 0,5m$$

$$V = 0,469$$

Maka f adalah :

$$f = \frac{\Delta P \cdot D \cdot 2 \cdot g}{\rho \cdot L \cdot V^2}$$

$$f = \frac{13,76 \frac{N}{m^2} \cdot 0,0334m \cdot 2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}}{11,55 \frac{N}{m^3} \cdot 0,5m \cdot 0,219961 \frac{m^2}{s^2}}$$

$$f = \frac{9,01703808 \frac{N}{s^2}}{1,270274775 \frac{N}{s^2}}$$

$$f = 7,16$$

Aliran Pada Bilangan Reynold 2000

Untuk menentukan nilai kecepatan (V) dari variasi aliran yang kedua, pada temperature fluida 300 K dapat dilakukan dengan perhitungan berikut ini :

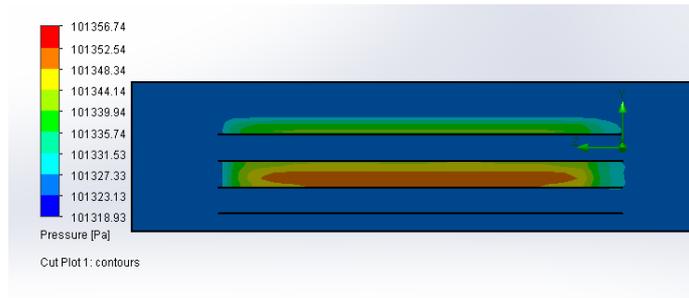
$$V = \frac{Re \cdot \nu}{d}$$

$$V = \frac{2000 \cdot 15,69 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}{0,0334m}$$

$$V = \frac{0,03138 \frac{m^2}{s}}{0,0334m}$$

$$V = 0,939 \frac{m}{s}$$

Yang dipakai pada proses simulasi adalah *boundary condition* pada nilai *inlet velocity* yaitu 0,939 m/s, pada temperature fluida 300 K sehingga dapat hasil simulasi sebagai berikut:



Gambar Simulasi pada saat reynold 2000 kecepatan aliran 0,0939 m/s

Dari hasil simulasi diketahui bahwa tekanan maksimal yaitu sebesar 101359,28 Pa dan tekanan minimum yaitu sebesar 101318,86 Pa

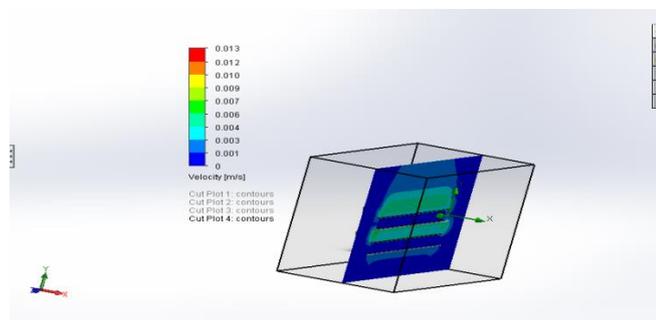
Selanjutnya untuk mencari laju aliran massa (\dot{m}) pada bilangan reynold 2000 dan kecepatan $0,939 \text{ m/s}$ dengan temperature fluida 300 K dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$V = \rho.V.A$$

$$V = 1,774 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,939 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,000876 \text{ m}$$

$$V = 0,00097 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Yang dipakai pada proses simulasi ini adalah *boundary condition* pada nilai *inlet mass flow* yaitu $0,00097 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ pada temperature fluida 300 K sehingga dapat hasil simulasi sebagai berikut :



Gambar Simulasi pada saat reynold 2000 laju aliran massa $0,00097 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

Diketahui data yang didapat dari hasil simulasi adalah sebagai berikut :

$$\Delta P = 101359,28 \frac{N}{m^2} - 101318,86 \frac{N}{m^2} =$$

$$\Delta P = 40,42 \frac{N}{m^2}$$

$$D = 0,0334m$$

$$L = 0,5m$$

$$V = 0,939 \frac{m}{s}$$

Maka f adalah

$$f = \frac{\Delta P \cdot D \cdot 2 \cdot g}{\gamma_{udara} \cdot L \cdot V^2}$$

$$f = \frac{40,42 \frac{N}{m^2} \cdot 0,0334m \cdot 2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}}{11,55 \frac{N}{m^3} \cdot 0,5m \cdot 0,881721 \frac{m^2}{s^2}}$$

$$f = \frac{26,48754936 \frac{N}{s^2}}{5,091938775 \frac{N}{s^2}}$$

$$f = 5,20$$

Aliran Pada Bilangan Reynold 9000

Untuk menentukan nilai kecepatan (V) dari variasi aliran yang keempat pada temperature fluida 300 K berikut ini :

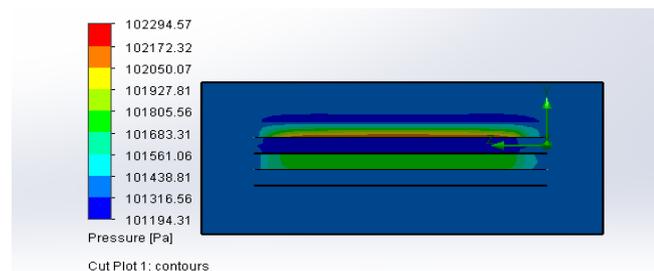
$$V = \frac{Re \cdot \nu}{d}$$

$$V = \frac{9000 \cdot 15,69 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}{0,0334m}$$

$$V = \frac{0,14121 \frac{m^2}{s}}{0,0334m}$$

$$V = 4,227 \frac{m}{s}$$

Yang dipakai pada proses simulasi adalah *boundary condition* pada nilai *inlet velocity* yaitu $4,227 \frac{m}{s}$ pada temperature fluida 300 K sehingga dapat hasil simulasi sebagai berikut :



Gambar simulasi pada saat reynold 9000 kecepatan aliran 4,227 m/s

Dari hasil simulasi diketahui bahwa tekanan maksimal yaitu sebesar 102403,43 Pa dan tekanan minimum yaitu sebesar 101193,45 Pa

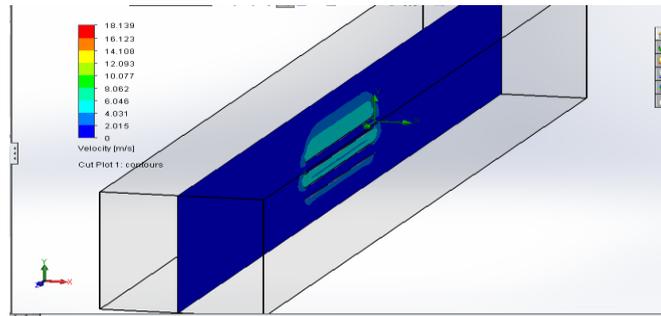
Selanjutnya untuk mencari laju aliran massa (\dot{m}) pada bilangan reynold 9000 dan kecepatan $4,227 \frac{m}{s}$ dengan temperature fluida 300 K dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$V = \rho.V.A$$

$$V = 1,774 \frac{kg}{m^3} 4,227 \frac{m}{s} 0,000876 m$$

$$V = 0,00657 \frac{kg}{s}$$

Yang dipakai pada proses simulasi ini adalah *boundary condition* pada nilai *inlet mass flow* yaitu $0,00657 \frac{kg}{s}$ pada temperature fluida 300 K sehingga dapat hasil simulasi sebagai berikut:



Gambar Simulasi pada saat reynold 9000 laju aliran massa $0,00657 \frac{kg}{s}$

Diketahui data yang didapat dari hasil simulasi adalah sebagai berikut :

$$\Delta P = 102403,43 \frac{N}{m^2} - 101193,45 \frac{N}{m^2}$$

$$\Delta P = 1.209,98 \frac{N}{m^2}$$

$$D = 0,0334 m$$

$$L = 0,5 m$$

$$V = 4,277 \frac{m}{s}$$

Maka f adalah :

$$f = \frac{\Delta P . D . 2 . g}{\gamma u d a r a . L . V^2}$$

$$f = \frac{1.209,98 \frac{N}{m^2} . 0,0334 m . 2 . 9,81 \frac{m}{s}}{11,55 \frac{N}{m^3} . 0,5 m . 18,292729 \frac{m^2}{s^2}}$$

$$f = \frac{792,9095738 \frac{N}{s^2}}{105,64051 \frac{N}{s^2}}$$

$$f = 7,51$$

Untuk menentukan nilai kecepatan (V) dari variasi aliran yang kesepuluh pada temperature fluida 300 K berikut ini :

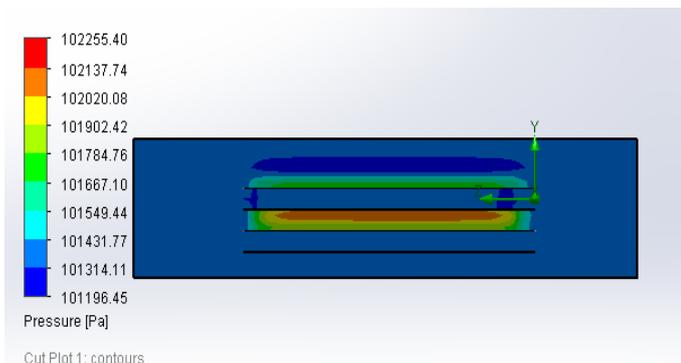
$$V = \frac{Re \cdot \nu}{d}$$

$$V = \frac{10000 \cdot 15,69 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}{0,0334 \text{ m}}$$

$$V = \frac{0,1569 \text{ m}^2/\text{s}}{0,0334 \text{ m}}$$

$$V = 4,70 \text{ m/s}$$

Yang dipakai pada proses simulasi adalah *boundary condition* pada nilai *inlet velocity* yaitu $4,70 \text{ m/s}$ pada temperature fluida 300 K sehingga dapat hasil simulasi sebagai berikut :



Gambar Simulasi pada saat reynold 10000 kecepatan aliran 4,70 m/s

Dari hasil simulasi diketahui bahwa tekanan maksimal yaitu sebesar 102655,92 Pa dan tekanan minimum yaitu sebesar 101194,75 Pa

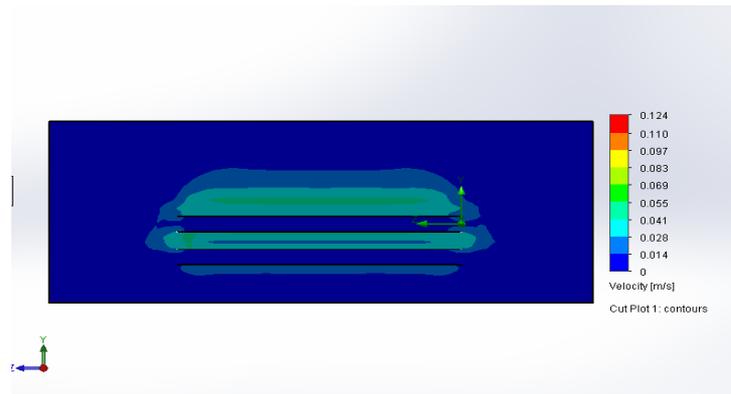
Selanjutnya untuk mencari laju aliran massa (\dot{m}) pada bilangan reynold 10000 dan kecepatan $4,70 \text{ m/s}$ dengan temperature fluida 300 K dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$V = \rho \cdot V \cdot A$$

$$V = 1,774 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,70 \text{ m/s} \cdot 0,000876 \text{ m}^2$$

$$V = 0,00730 \text{ kg/s}$$

Yang dipakai pada proses simulasi ini adalah *boundary condition* pada nilai *inlet mass flow* yaitu $0,00730 \text{ kg/s}$ pada temperature fluida 300 K sehingga dapat hasil simulasi sebagai berikut:



Gambar Simulasi pada saat reynold 10000 laju aliran massa $0,00730 \text{ kg/s}$

Diketahui data yang didapat dari hasil simulasi adalah sebagai berikut :

$$\Delta P = 1023665,92 \text{ N/m}^2 - 101194,75 \text{ N/m}^2$$

$$\Delta P = 1.461,17 \text{ N/m}^2$$

$$D = 0,0334 \text{ m}$$

$$L = 0,5 \text{ m}$$

$$V = 4,70 \text{ m/s}$$

Maka f adalah :

$$f = \frac{\Delta P \cdot D \cdot 2 \cdot g}{\rho \cdot L \cdot V^2}$$

$$f = \frac{1.461,17 \text{ N/m}^2 \cdot 0,0334 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,81 \text{ m/s}}{11,55 \text{ N/m}^3 \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 22,09 \text{ m}^2/\text{s}^2}$$

$$f = \frac{957,5163904 \text{ N/s}^2}{127,56975 \text{ N/s}^2}$$

$$f = 7,51$$

Kesimpulan

1. Laju aliran massa fluida dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida, yang mana fluida yang digunakan adalah udara dengan suhu 300 °K (26,85 °C). Suhu pada fluida mempengaruhi kerapatan fluida dan berat jenis fluida.
2. Kecepatan fluida mempengaruhi tekanan yang akan menghantam pipa. pada simulasi *solidwork*, bagian yang berubah warna merupakan representasi dari perubahan tekanan yang signifikan akibat kecepatan yang berubah ketika melewati sebuah sela – sela dari susunan



pipa segitiga. Pada percobaan didapat tekanan kecepatan minimum 0,469 m/s dan kerugian aliran (f) adalah 7,16 dan kecepatan maksimum yaitu 4,70 m/s dan kerugian aliran (f) adalah 7,51.

3. Adanya Kerugian Gesek (*friction losses*) susunan pipa terjadi akibat faktor tekanan yang menghantam pipa. Besaran tekanan dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida, laju aliran massa fluida dan luas penampang pada susunan pipa segitiga.

Daftar Pustaka

- [1] S. Lubis *et al.*, “Pltb sebagai alternatif energi baru terbarukan,” 2019.
- [2] J. Of and M. Engineering, “Pengaruh Jarak Kaca Terhadap Efisiensi Alat Destilasi Air Laut yang Memanfaatkan Energi Matahari di Kota Medan,” vol. 2, no. 2, pp. 51–55, 2018.
- [3] I. M. A. Sayoga and I. M. Nuarsa, “Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap Head Losses Aliran Pipa,” vol. 2, no. 2, pp. 75–83, 2012.
- [4] J. P. Holman, *J.P. Holman*. .
- [5] P. P. Astawa, F. Teknik, and U. Udayana, “TERHADAP KOEFISIEN DRAG,” vol. 6, no. 3, pp. 157–161, 2015.
- [6] F. T. Industri, “INVESTIGASI NUMERIK 2D PENGARUH VARIASI SUDUT INLET DISTURBANCE BODY TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN DAN PERPINDAHAN PANAS MELINTASI SILINDER SIRKULAR SUDUT INLET DISTURBANCE BODY TERHADAP,” 2017.
- [7] M. A. Djalil and B. Sudia, “Penelitian Kerugian Energi Pada Sistem Exhaust Manifolds Instalasi Pipa Air Bersih Abstrak Aliran turbulen mempunyai koefisien gesek yang lebih tinggi dibandingkan dengan aliran laminar, tingginya koefisien gesek berpengaruh secara langsung pada besarnya,” vol. 4, no. September, pp. 81–92, 2019.
- [8] J. T. Mesin, F. Teknik, and U. Haluoleo, “Pengaruh perubahan aliran terhadap koefisien kerugian,” vol. 1, no. 1, pp. 17–20, 2009.
- [9] D. Syahputra, J. T. Mesin, and F. T. Industri, “Analisa distribusi kapasitas aliran fluida di daerah percabangan pada sistem perpipaan,” vol. 3, pp. 7–11, 2017.
- [10] . P. and S. Wahyudi, “Penurunan Kerugian Head pada Belokan Pipa dengan Peletakan Tube Bundle,” *J. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 1, pp. 51–57, 2010, doi: 10.9744/jtm.12.1.51-57.
- [11] W. Waspodo, “Analisa Head Loss Sistem Jaringan Pipa Pada Sambungan Pipa Kombinasi Diameter Berbeda,” *Suara Tek. J. Ilm.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, 2017, doi: 10.29406/stek.v8i1.534.
- [12] S. Lubis, C. A. Siregar, and F. Abdilah, “Simulation of air flow loss in triangle pipe construction,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 821, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/821/1/012047.
- [13] P. Doktor *et al.*, “Rachmat.S., Jurnal ROTOR, Volume 9 Nomor 2, November 2016,” vol. 9, no. November, pp. 121–124, 2016.