

Observation of Flow Loss on Pneumatic Fly Ash Transport System in Cement Plant

Pengamatan Rugi-rugi Aliran pada Sistem Transport Pneumatic Fly Ash pada Pabrik Semen

Muhammad Akhbar^{1*}, Yolli Fernanda¹, Refdinal¹, Arwizet K¹

Abstract

Pneumatic conveying is a material transport tool that utilizes compressed air in a pipe that comes from a blower or compressor. The EP dust raw mill material transport equipment is designed using the pneumatic conveying principle which aims to deliver the material optimally to the cement mill. Therefore, this study aims to analyze the fluid flow in the EP dust Raw Mill material transport system pipe which aims to determine the phenomenon of fluid flow in the pipe design and find the head loss of the material transport pipe. This analysis uses a numerical method that is solving problems by being formulated mathematically by calculating operations and assisted by solidworks software. The size of the pipe to be analyzed is 330 meters long with a diameter of 0.2 meters and has 8 elbows and a head loss of 425.53 meters is obtained, while the results of theoretical calculations obtained a major loss of 374.61 meters and a minor loss of 20.87 meters and the total head loss is 395.48 meters.

Keywords

Pneumatic Conveying, Solidworks, Pressure Drop, Head loss

Abstrak

Pneumatic conveying merupakan alat transpor material yang memanfaatkan udara bertekanan dalam pipa yang berasal dari blower maupun compressor. Alat transpor material EP dust raw mill dirancang menggunakan prinsip pneumatic conveying yang bertujuan untuk menghantarkan material secara optimal menuju cement mill. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aliran fluida yang berada didalam pipa sistem transpor material EP dust Raw Mill yang bertujuan untuk mengetahui fenomena aliran fluida pada desain pipa dan mencari head loss dari pipa transpor material tersebut. Analisis ini menggunakan metode numerik yaitu menyelesaikan permasalahan dengan diformulasikan secara matematis dengan cara operasi hitungan dan dibantu oleh software solidworks. Ukuran Pipa yang akan dianalisis sepanjang 330 meter dengan diameter 0,2 meter dan memiliki elbow sebanyak 8 buah dan didapatkan headloss sebesar 425,53 meter sedangkan dari hasil perhitungan teoritis didapatkan major loss sepanjang 374,61 meter dan minor loss sebesar 20,87 meter dan total head lossnya sebesar 395,48 meter.

Kata Kunci

Pneumatic Conveying, Solidworks, Head loss

¹ Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar, Padang, Sumatra Barat, Indonesia

* makhbar49@gmail.com

Submitted : August 18, 2022. Accepted : October 03, 2022. Published : October 05, 2022.

PENDAHULUAN

Pada Proses pembuatan semen selalu terjadinya proses transpor material. Transpor material merupakan proses penghubung antara proses di *raw mill*, proses di *kiln* dan juga proses di *cement mill*. Umumnya transpor material pada industri semen menggunakan prinsip *mechanical conveyor* dan *pneumatic conveyor*. Pada pabrik Indarung V, alat transpor material debu menggunakan sistem *pneumatic conveyor*. *Pneumatic conveyor* adalah sistem yang digunakan untuk memindahkan partikel butiran maupun serbuk dari satu tempat ke tempat lain dengan memanfaatkan udara bertekanan yang berasal dari *blower* maupun *compressor* [1]. Debu yang ditranspor pada pabrik indarung V berasal dari *Electrostatic Precipitator (EP)*. *Electrostatic Precipitator (EP)* adalah suatu alat yang berfungsi untuk menyaring debu yang berasal dari penggilingan pada *raw mill*. Pada dasarnya partikel debu memiliki muatan netral [2]. Prinsip kerja *Electrostatic Precipitator (EP)* yaitu dengan memberikan muatan negatif pada debu yang kemudian debu tersebut akan melewati kolom yang terbuat dari plat yang memiliki muatan positif, maka secara alami debu akan tertarik oleh plat bermuatan positif tersebut [3]. Debu yang menempel pada plat kemudian dijatuhkan menggunakan sistem *rappet* dan akan keluar dari sistem EP tersebut [3].

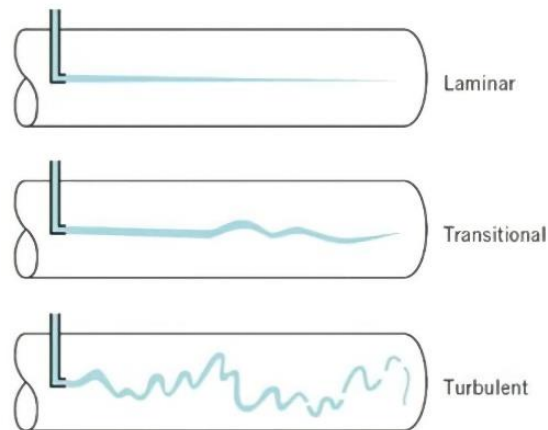
Dengan menggunakan *Electrostatic Precipitator* maka debu yang keluar melalui *chimney* akan berkurang sebesar 95-99% [4]. Pada alat transpor material debu unit Indarung V menggunakan sistem *pneumatic conveying*, transpor material debu menggunakan pipa yang diberi udara bertekanan untuk menyalurkan debu menuju *cement mill*, akan tetapi material debu yang disalurkan menggunakan sistem *pneumatic conveying* tersebut tidak terhantarkan secara maksimal, sehingga material debu yang dikirim menuju *cement mill* tidak mencapai kapasitas maksimalnya. Oleh karena itu penulis melakukan analisis numerik fluida menggunakan aplikasi *solidworks licence education*, dari analisis tersebut didapatkan *head loss* pada pipa dan melihat fenomena yang terjadi pada aliran udara di *elbow* pipa transpor material tersebut selain itu penulis juga melakukan perhitungan secara teoritis untuk mendapatkan berapa *head loss* dan *pressure loss* dari pipa transpor material tersebut. Kerugian tekanan pada pipa bisa terjadi akibat dari gesekan aliran fluida dengan dinding pipa (*major losses*) atau kerugian aliran fluida yang disebabkan oleh sambungan pipa seperti saringan, *elbow*, percabangan, dan juga pengecilan atau pembesaran pipa (*minor loss*) [5]. Adanya *elbow* pada sistem perpipaan dapat menyebabkan terjadinya kerugian pada aliran karena *elbow* dapat merubah arah aliran fluida pada pipa [6]. Selain kerugian tekanan (*head loss*) pada aliran fluida dalam pipa juga bisa terjadi *pressure loss*. Semakin besar *pressure loss* maka akan semakin kecil kecepatan udara yang dialirkan kedalam pipa .

Pneumatic Conveyor

Pneumatic conveyor merupakan alat transpor yang berguna untuk mengirim material padat berupa debu hingga butiran. Prinsip kerja *pneumatic conveyor* yaitu dengan cara memasukkan udara bertekanan tinggi ke dalam pipa sehingga material akan terkirim ke dalam tempat penampungan. Udara bertekanan tinggi berasal dari *blower* maupun kompresor.

Aliran Fluida Dalam Pipa

Fluida yang dialirkan kedalam pipa bisa berbentuk padat, cair, gas, maupun udara. Jenis aliran fluida didalam pipa terbagi atas beberapa jenis yaitu aliran laminar, aliran transisi, dan aliran turbulen. Aliran laminar merupakan aliran yang garis alir fluidanya bergerak secara teratur, aliran turbulen merupakan aliran yang bergerak secara tidak beraturan dan aliran transisi merupakan perubahan aliran dari laminar ke turbulen.



Gambar 1. Jenis aliran fluida [8].

Bilangan Reynolds

Bilangan reynolds digunakan untuk mengidentifikasi apakah jenis aliran tersebut laminer, transisi atau turbulen dalam pipa. Untuk bilangan $Re < 2300$ Berarti laminar, bilangan $Re > 2300-4000$ Berarti transisi sedangkan untuk aliran turbulen $Re > 4000$ [9]. Rumus mencari bilangan reynolds seperti terlihat pada persamaan 1.

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} \quad (1)$$

dengan

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

D = diameter dalam pipa (m)

ρ = density (kg/m³)

μ = viskositas dinamik fluida (kg/m.s)

Untuk Mencari Kecepatan aliran udara (V) bisa menggunakan rumus pada persamaan 2.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

dengan

Q = Kapasitas blower

A = Luas Penampang

Pressure Drop

Pressure drop merupakan penurunan tekanan dari *inlet* menuju *outlet* pada pipa [10]. *Pressure drop* juga dipengaruhi akibat panjang pipa, diameter pipa, suhu aliran, maupun kecepatan aliran. Untuk mencari *pressure drop* bisa menggunakan rumus pada persamaan 3.

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \rho \quad (3)$$

dengan

f = faktor gesekan

L = panjang pipa (m)

V = kecepatan fluida dalam pipa (m/s)

D = diameter dalam pipa (m)

ρ = Density (kg/m³)

Head Loss

Rugi aliran (*Head loss*) terbagi atas dua macam yaitu yang pertama akibat gesekan fluida pada dinding dalam pipa (*major loss*) [11]. Rugi aliran pada pipa tidak akan berubah sepanjang jalur pipa, asalkan kekerasan dan diameter pipa tidak berubah dan yang kedua rugi

aliran yang disebabkan oleh sambungan dari pipa seperti *fitting, elbow, tee (minor loss)*. Rumus untuk *major loss* terlihat pada persamaan 4.

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (4)$$

dengan

h_f = *major loss* (m)

f = faktor gesekan

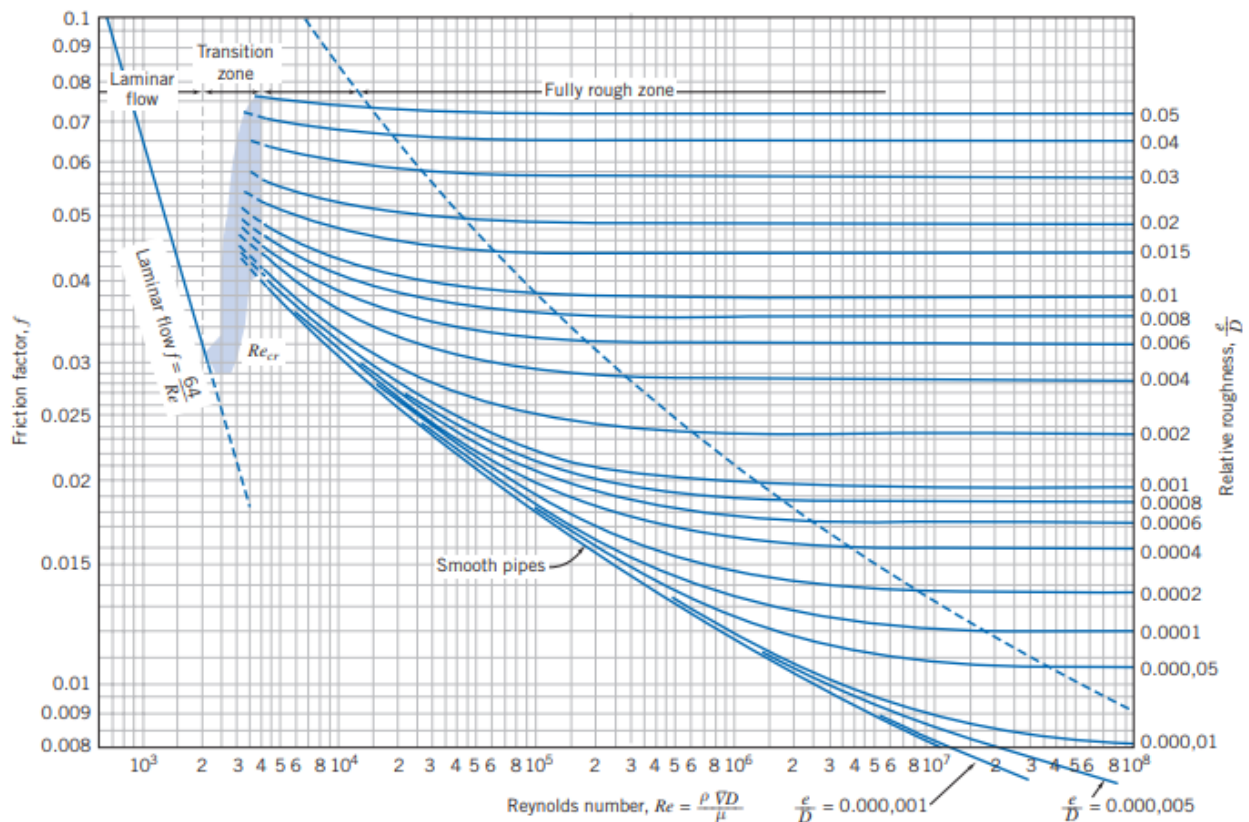
L = panjang pipa (m)

V = kecepatan fluida dalam pipa (m/s)

D = diameter dalam pipa (m)

g = gravitasi (m/s²)

Untuk faktor gesekan bisa dicari dengan rumus $f=64/Re$ untuk aliran laminar, dan untuk aliran turbulen bisa dicari dengan menggunakan diagram moody [12] yang bisa dilihat pada Gambar 2. Untuk menggunakan diagram moody kita harus mengetahui bilangan reynolds dan kekasaran relatif pipa (ϵ/D). Kekasaran dalam pipa (ϵ) tergantung dari jenis material pipa yang digunakan [13].



Gambar 2. Diagram Moody [14]

Sedangkan untuk mencari rugi aliran yang disebabkan oleh sambungan pipa ataupun belokan pada pipa bisa menggunakan persamaan 5.

$$h_L = K \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

dengan

h_L = *minor loss* (m)

k = koefisien rugi aliran

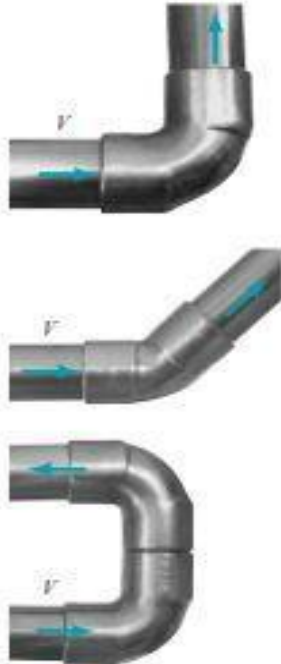
V = kecepatan fluida dalam pipa (m/s)

g = gravitasi (m/s²)

Koefisien kerugian aliran (K) akibat *elbow* ataupun sambungan pipa memiliki nilai yang berbeda-beda tergantung bentuk sambungan pipa, bisa dilihat pada Gambar 3.

Loss Coefficients for Pipe Components $\left(h_L = K_L \frac{V^2}{2g}\right)$ (Data from Refs. 5, 10, 27)

Component	K_L
a. Elbows	
Regular 90°, flanged	0.3
Regular 90°, threaded	1.5
Long radius 90°, flanged	0.2
Long radius 90°, threaded	0.7
Long radius 45°, flanged	0.2
Regular 45°, threaded	0.4
b. 180° return bends	
180° return bend, flanged	0.2
180° return bend, threaded	1.5
c. Tees	
Line flow, flanged	0.2
Line flow, threaded	0.9
Branch flow, flanged	1.0
Branch flow, threaded	2.0



Gambar 3. Koefisien loss pada komponen pipa [15]

METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

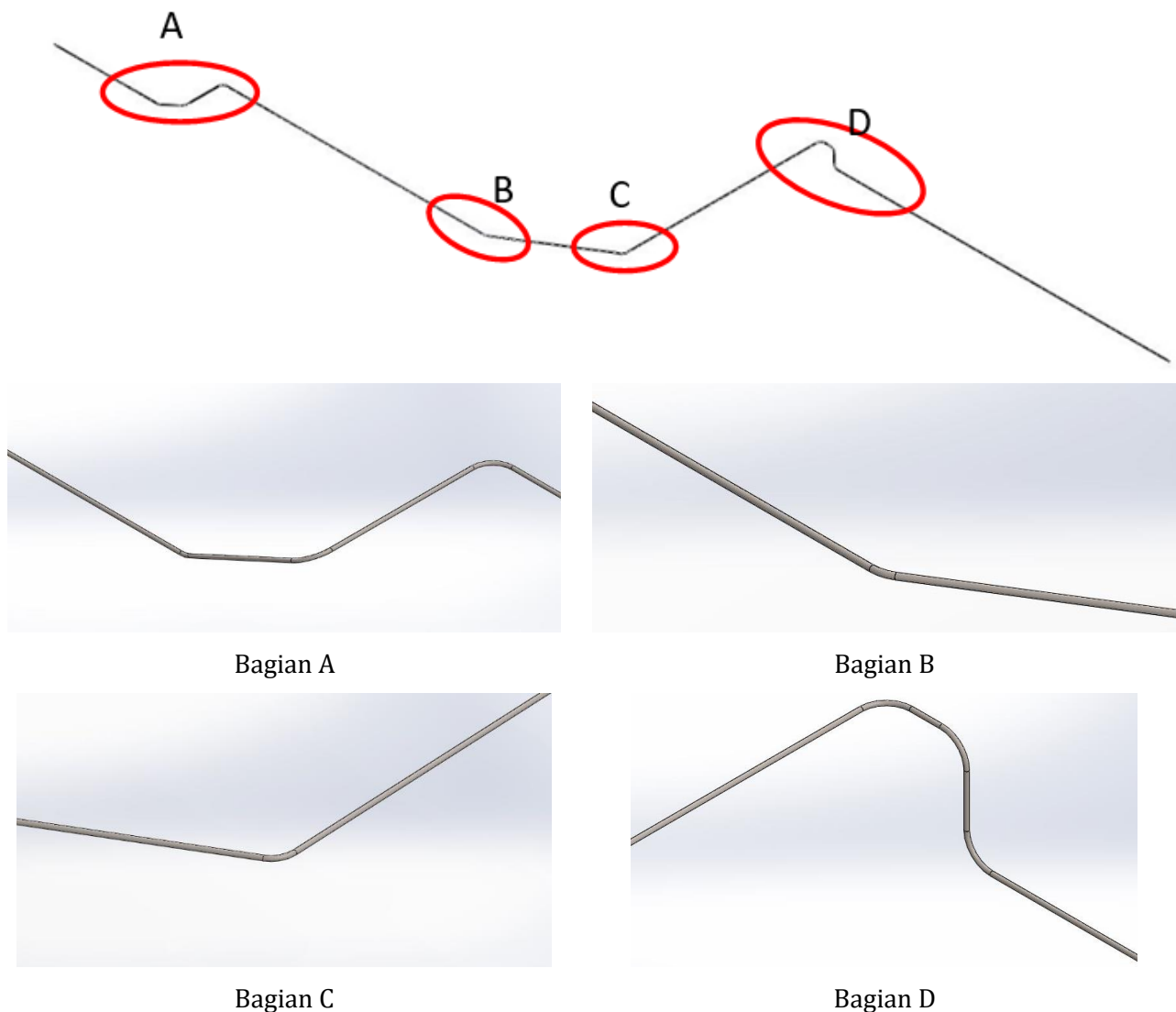
Jenis penelitian ini merupakan analisis numerik menggunakan software yang nantinya akan dilakukan pembuatan 3D model pipa, kemudian akan dilakukan analisis CFD untuk mengamati fenomena aliran yang terjadi pada elbow pipa tersebut. Selain itu juga dilakukan perhitungan teoritis untuk mendapatkan berapa *head loss* dari pipa tersebut.

Penelitian ini menggunakan aplikasi solidworks dan pada Tabel 1 bisa dilihat data yang digunakan untuk menganalisis pipa.

Tabel 1. Spesifikasi pipa dan blower

No	Nama	Nilai	Satuan
1	Panjang pipa	330	Meter
2	Diameter dalam pipa	0,2	Meter
3	Elbow LR 90 thread	5	Buah
4	Elbow LR 45 thread	3	Buah
5	Kecepatan Aliran udara	16	m/s
6	Kapasitas Blower	30,14	m ³ /min

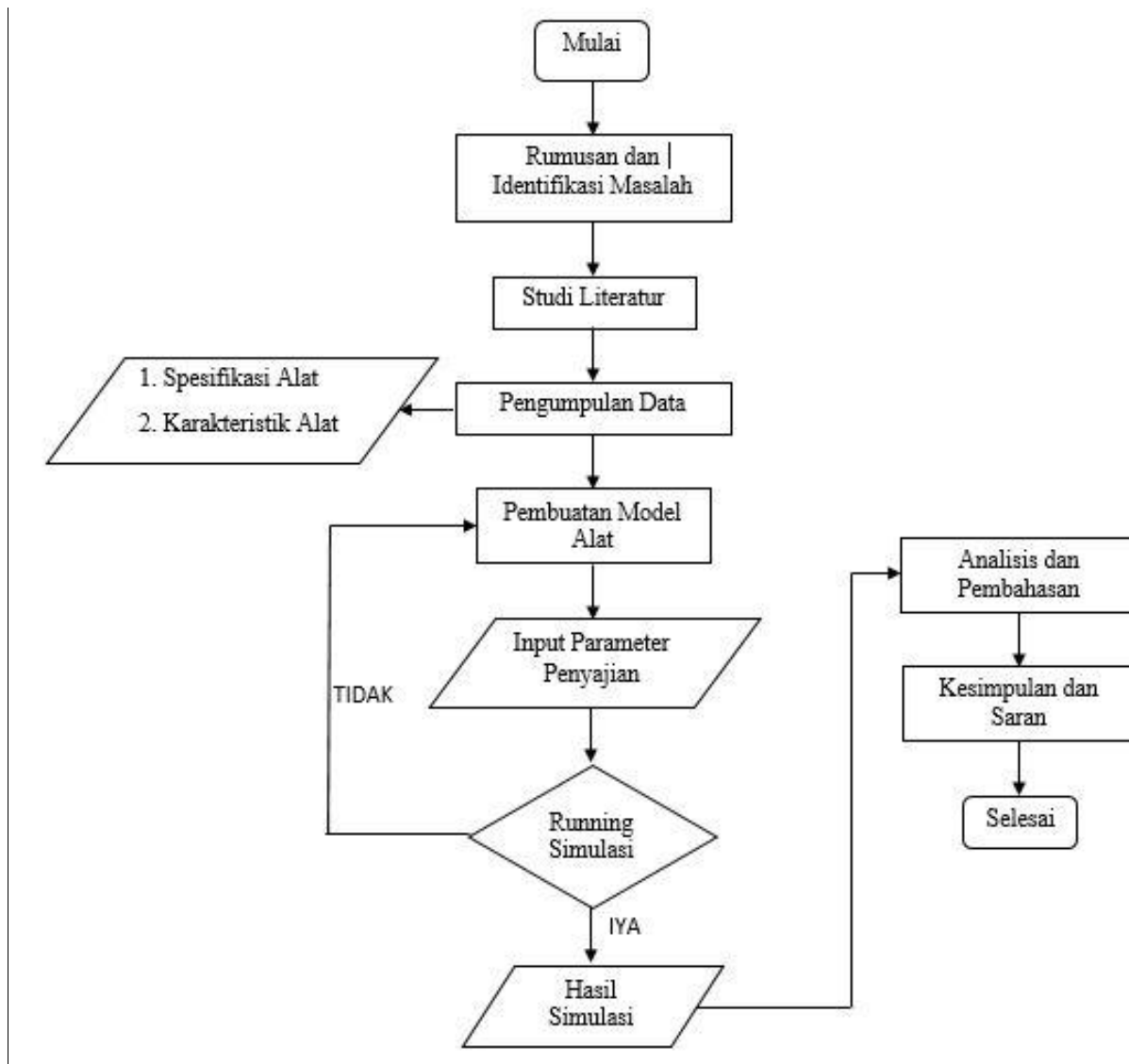
Setelah mendapatkan diameter dan panjang pipa maka dilakukan pembuatan 3D model pipa, material pipa yang digunakan adalah material *carbon steel* dengan *roughness* pipa sebesar 0,05, pipa memiliki panjang 330 meter dan elbow long radius 90 derajat berjumlah lima buah dan elbow long radius 45 derajat tiga buah. Untuk desain 3D pipa bisa dilihat pada [Gambar 4](#). Setelah melakukan pembuatan desain 3D kita harus menentukan *boundary conditions* pada desain yang telah dibuat. Pada desain pipa ini penulis mendefinisikan dua buah *boundary conditions* yaitu aliran masuk (*inlet*) dan juga aliran keluar (*outlet*).



[Gambar 4](#). Desain 3D pipa

Diagram alir penelitian

Untuk langkah-langkah dalam penelitian ini bisa dilihat pada diagram alir penelitian yang tertera pada [Gambar 5](#).

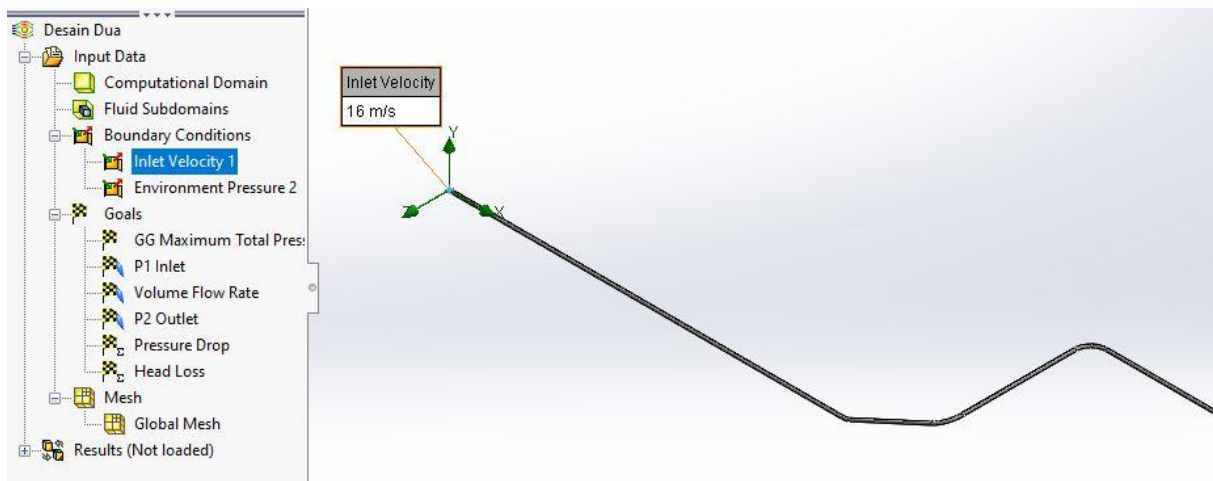


Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

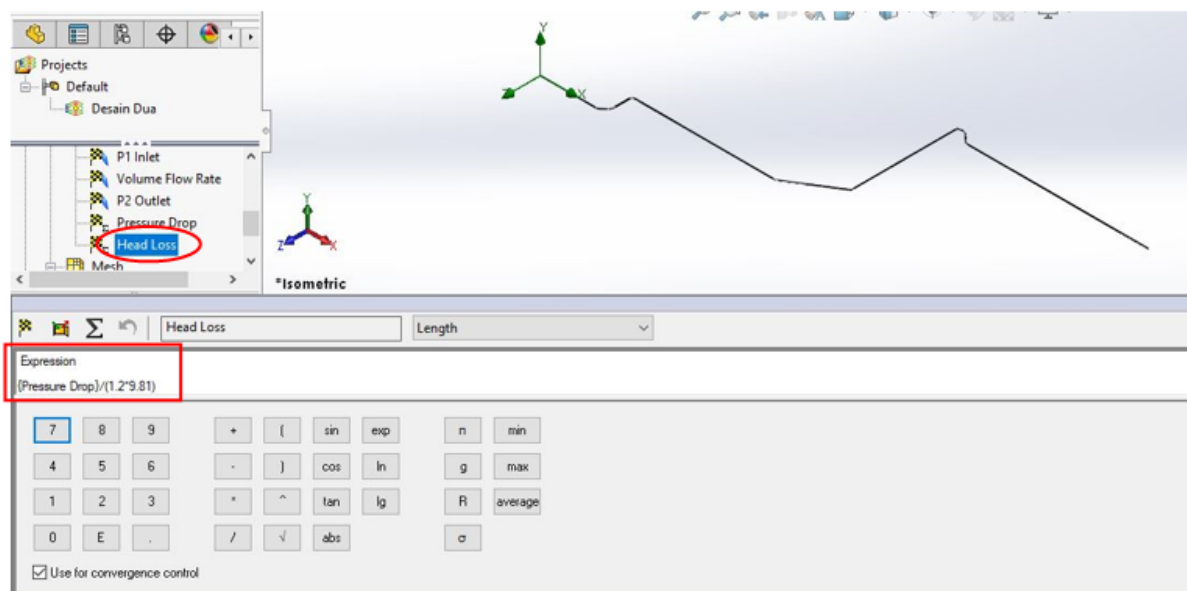
Hasil Analisis Aliran Fluida

Berdasarkan hasil dari perhitungan penurunan tekanan yang terjadi pada pipa yang dilakukan secara teoritis dengan menggunakan data yang tertera pada [tabel 1](#), maka didapatkan *mayor lossnya* (h_f) sebesar 376,61 meter, *minor lossnya* (h_L) sebesar 20,87 meter, dan untuk total *head lossnya* yaitu sebesar 395,48 meter. Sedangkan untuk mengamati fenomena aliran fluida pada pipa maka dilakukan analisis CFD menggunakan aplikasi solidwork. Bisa dilihat pada [Gambar 6](#) yaitu pada bagian inlet diinputkan kecepatan udara sebesar 16m/s. Kecepatan udara didapatkan dari hasil perhitungan kapasitas blower dibagi luas penampang.



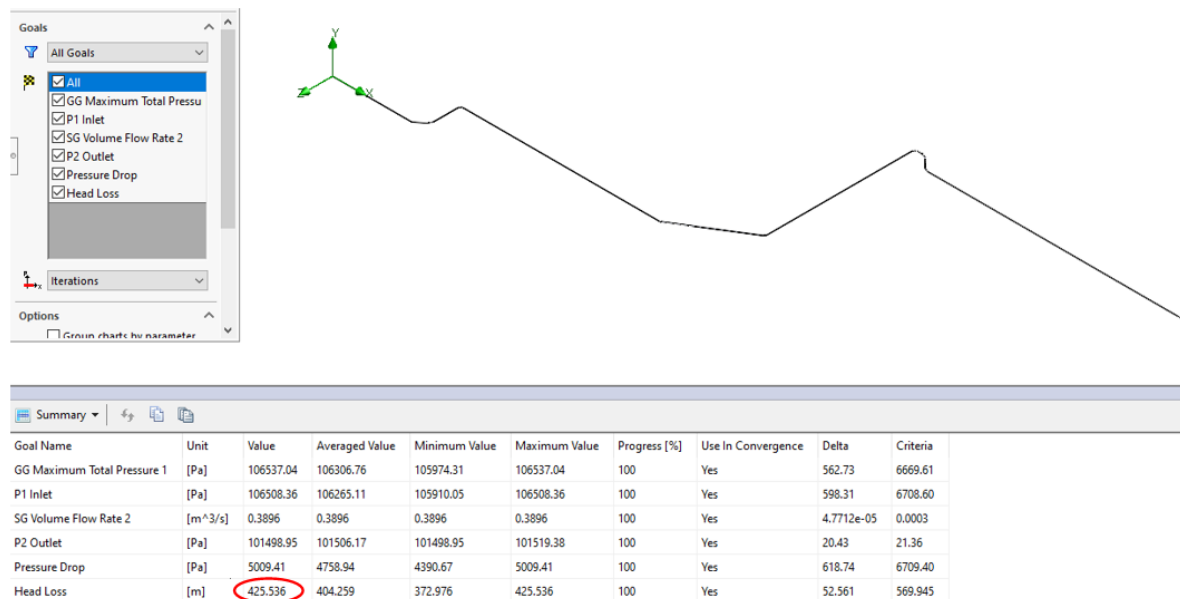
Gambar 6. Inlet Masuknya Udara

Setelah menginputkan parameter kecepatan udara kemudian kita masukkan rumus $(\text{pressure drop}) / (1,2 * 9,81)$ pada aplikasi *solidworks* untuk mencari *head loss* pada pipa yang bisa dilihat pada Gambar 7.



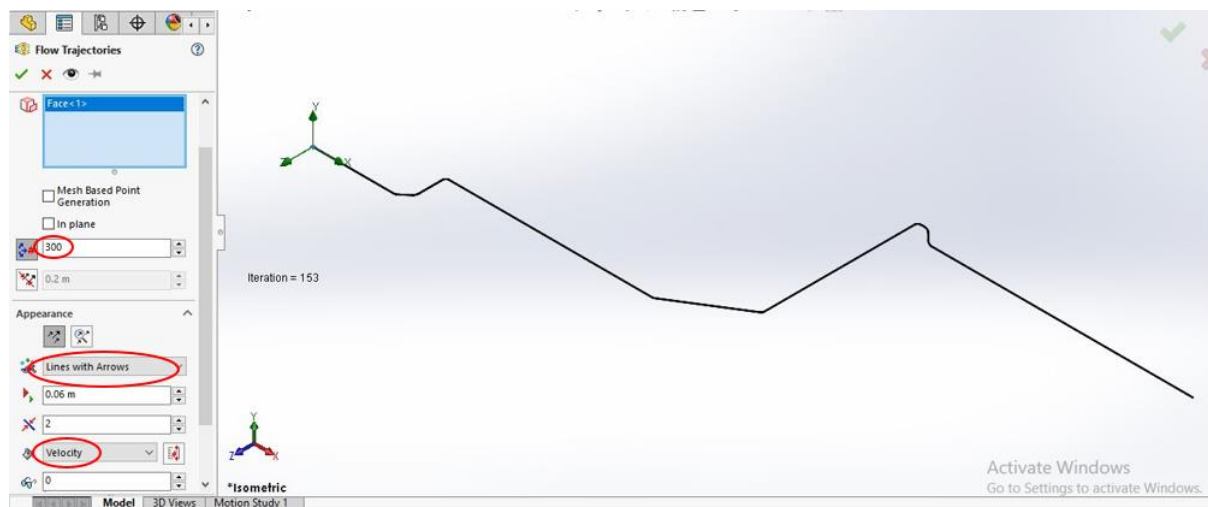
Gambar 7. Inputkan Rumus Perhitungan *Head loss*

Setelah menginputkan rumus kemudian lakukan *running* analisis untuk mendapatkan hasil *head loss* dengan menggunakan perhitungan dari simulasi *solidworks*. Hasil perhitungan *head loss* menggunakan *software solidworks* yaitu sebesar 425,53 meter yang bisa dilihat pada Gambar 8.



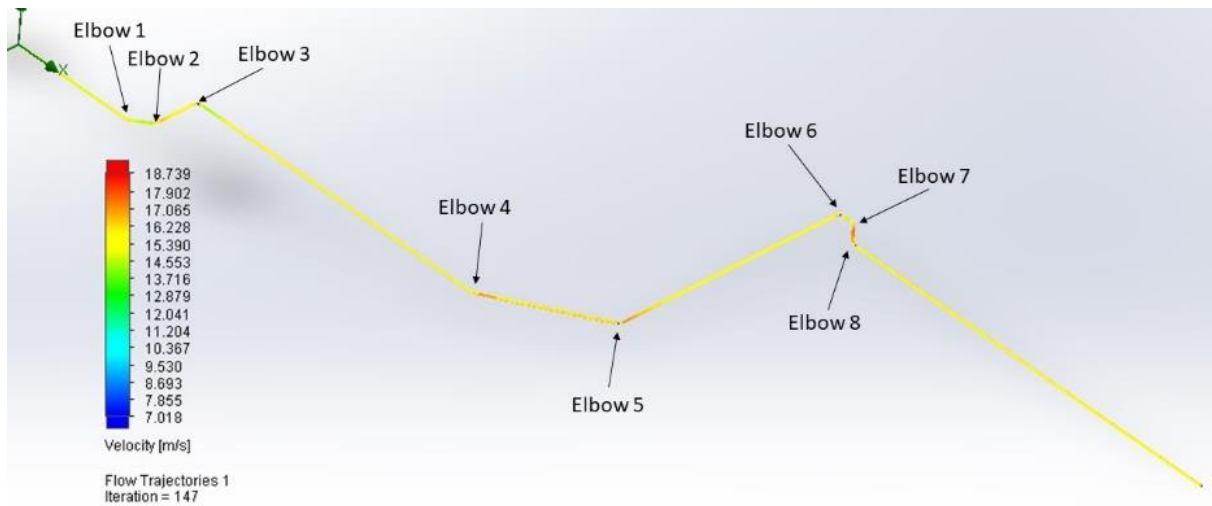
Gambar 8. Hasil Perhitungan *Head loss*

Untuk melihat fenomena aliran pada bagian dalam pipa kita inputkan *flow trajectories* pada bagian *inlet* pipa kemudian berikan jumlah titik pengamatan sebanyak 300 dan pilih *line with arrows* untuk menampilkan aliran dalam bentuk panah. Kemudian klik ok untuk menampilkan *flow trajectories*.



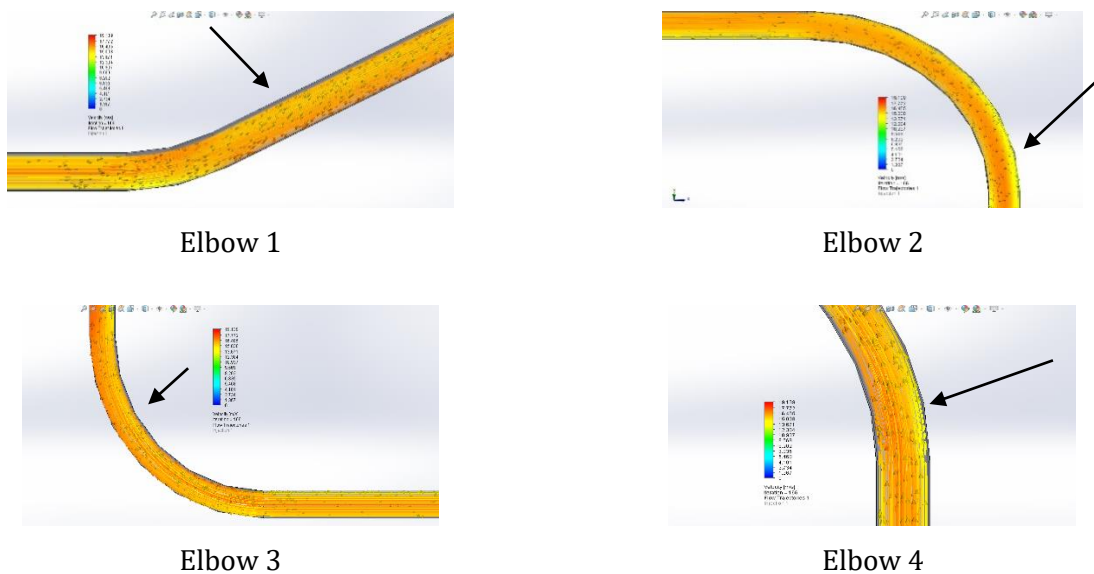
Gambar 9. Input Flow Trajectories

Dapat dilihat pada Gambar 10 hasil dari pengamatan pergerakan aliran fluida dari *inlet* menuju *outlet* dengan parameter pengamatan menggunakan distribusi kecepatan. Kecepatan Maksimum dari hasil analisis adalah sebesar 18,739 m/s.



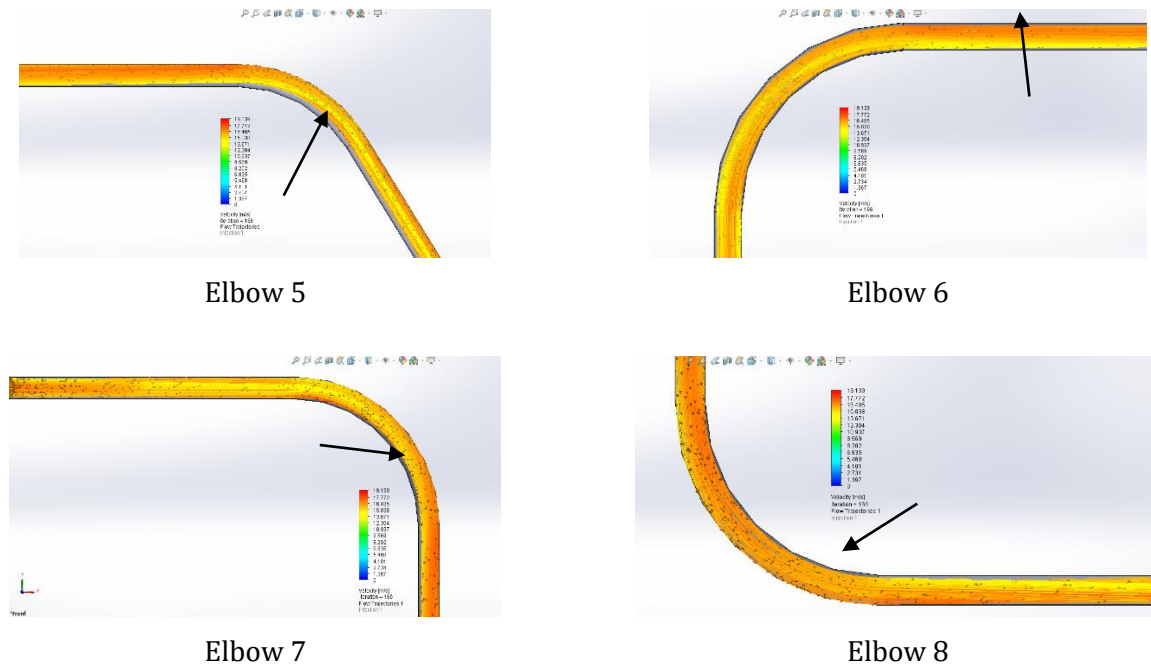
Gambar 10. Hasil Analisis Pada Pipa

Gambar 11. menunjukkan distribusi aliran fluida pada *elbow* pipa, pada *elbow 1* terjadinya kekosongan aliran udara. Kekosongan aliran udara bisa terjadi akibat penurunan kecepatan udara yang berada pada dalam pipa. Pada bagian yang diberi tanda panah, kekosongan aliran tersebut menyebabkan penurunan kecepatan udara pada bagian *elbow 2* yang diberi tanda panah sebesar 13,6 m/s, pada *elbow 3* juga terjadi kekosongan udara pada bagian dalam pipa, dan sedangkan pada *elbow 4* terjadinya penurunan kecepatan udara pada bagian luar *elbow* yang diberi tanda panah.



Gambar 11. Distribusi Aliran Fluida pada Satu sampai Empat

Gambar 12. menunjukkan hasil simulasi aliran udara pada bagian dalam pipa. Pada *elbow 5,7,8* terjadinya kekosongan pada bagian dalam pipa, kekosongan pada bagian pipa tersebut ditunjukkan pada bagian yang diberi tanda panah berwarna hitam. Sedangkan pada *elbow 6* terjadinya perubahan kecepatan udara yaitu sebesar 16,04 m/s pada bagian yang diberi tanda panah berwarna hitam.



Gambar 12. Distribusi Aliran Fluida pada Pipa *Elbow* Enam sampai Delapan

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari hasil analisis perbandingan *head loss* dengan menggunakan rumus teoritis dan simulasi *solidworks* didapatkan nilai *head loss* untuk perhitungan teoritis sebesar 395,48 meter sedangkan *head loss* yang didapat menggunakan *software solidworks* sebesar 425,53 meter. Dari pengamatan kecepatan aliran fluida pada pipa didapatkan kecepatan tertinggi yaitu 18,739 m/s. Pada pengamatan aliran fluida pada pipa penurunan kecepatan terjadi pada *elbow* dua yaitu sebesar 13,6 m/s, sedangkan kerugian aliran terbesar terjadi pada *elbow* lima karena terjadinya kekosongan aliran udara pada bagian dalam pipa, semakin tinggi *head loss* maka semakin berkurangnya kecepatan udara pada pipa.

Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, peneliti hanya memfokuskan pada analisa *head loss* dan melihat fenomena aliran udara pada bagian internal pipa, dan penurunan kecepatan sering terjadi pada bagian *elbow* pipa, oleh karena itu pada penelitian selanjutnya diharapkan adanya perubahan dimensi pada setiap *elbow* pipa untuk mendapatkan nilai *head loss* yang lebih kecil.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] D. E. Simanjuntak and Asral, "KAJI EKSPERIMENTAL RUGI-RUGI ALIRAN CAMPURAN PARTIKEL PADAT-UDARA DALAM SALURAN HORIZONTAL PADA SISTEM PNEUMATIC CONVEYING," *Jom FTEKNIK*, vol. 6, pp. 1–7, 2019.
- [2] Winarno, "Analisis Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) Berdasarkan Pembagian Besarnya Arus Transformator di PT. PJB UBJOM PLTU Paiton," *J. EECCIS*, vol. 14, no. 2, pp. 45–57, 2020.
- [3] N. H. T Molek, S. A. Renelda, and S. Syaiful, "Performa cyclone dan electrostatic precipitator sebagai penangkap debu pada pabrik semen," *J. Tek. Kim.*, vol. 26, no. 1, pp. 22–26, 2020.

-
- [4] A. E. S. Nugroho, "Analisis Kinerja Efisiensi Electrostatic Precipitator Di PLTU Cilacap Unit 1 & 2 (2x300MW)," *STT PLN*, 2017, [Online]. Available: <http://156.67.221.169/id/eprint/984>
- [5] P. N. Wendy, "Perbandingan Analisis Pressure Drop Pada Pipa Lengkung 90 Standart ANSI B36.10 Dengan COSMOSFloworks 2007," *J. Tek. Mesin*, 2016.
- [6] Nurnawaty and Sumardi, "Analisis perubahan tinggi tekanan akibat sudut belokan 90° dan 45° dengan menggunakan fluid friction apparatus," *J. Tek. Hidro*, vol. 13, no. 1, pp. 28–37, 2020.
- [7] A. Felani, "Analisis Statis Konstruksi dan Lance Tube Sootblower Tipe Motorised Rotary Menggunakan Software Solidworks 2016," 2021. doi: 10.21776/ub.jrm.2021.012.02.1.
- [8] T. H. O. Bruce R. Munson, Donald F. young, *Mekanika Fluida Jilid 2*, Keempat. Erlangga, 2003.
- [9] E. A. Pane, I. Ismail, F. D. Yudhanto, and B. Suyitno, "Analisis Penurunan Tekanan Aliran Udara Pada Pipa Bertekanan," *FLYWHEEL J. Tek. Mesin Untirta*, vol. 2, no. 2, pp. 13–20, 2019, doi: 10.36055/fwl.v1i1.3111.
- [10] C. MULYANA, "Model Pengaruh Diameter Pipa Terhadap Pressure Drop Pada Pipa Pltp Dominasi Uap," *J. Ilmu dan Inov. Fis.*, vol. 3, no. 1, pp. 26–32, 2019, doi: 10.24198/jiif.v3i1.20624.
- [11] G. K. Miyarthaluna and R. Hantoro, "Analisis Pressure Drop pada Jaringan Pipa Pelanggan Biogas di TPA Supiturang Kota Malang," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 1, pp. 1–6, 2018, doi: 10.12962/j23373539.v7i1.27699.
- [12] B. Kurniawan, Basuki, and M. A. Irfa'i, "Pengaruh Jenis Sambungan Pipa Elbow 90 ° dan Short Bend Terhadap Head Loss Pada Sistem Perpipa-an," *J. Reaktom*, vol. 5, no. 1, pp. 28–32, 2020.
- [13] S. Dhodapkar, P. Solt, and G. Klinzing, "Understanding bends in pneumatic conveying systems," *Chem. Eng.*, vol. 116, no. 4, pp. 46–52, 2009.
- [14] Philip J. Pritchard, *Fluid Mechanics Eighth Edition*, Eighth Edi. Macmillan Company, 2011.
- [15] T. H. O. Bruce R. Munson, Donald F. young, *Fundamental of Fluid Mechanics*, Sixth Edit. 2009.