

## ***Analysis of Fluid Flow in Pipeline and Cyclone Systems for Preduster Coal Mill Indarung V Factory Using Flow Simulation***

### ***Analisis Aliran Fluida pada Sistem Pipa dan Cyclone untuk Preduster Coal Mill Pabrik Indarung V Menggunakan Flow Simulation***

Akhmad Rais<sup>1\*</sup>, Yolli Fernanda<sup>1</sup>, Arwizet K<sup>1</sup>, Andre Kurniawan<sup>1</sup>

#### **Abstract**

*Cyclone is a tool for selling particulates from fluid streams without a filter. Cyclone in this case is to separate particulates from the air stream so they don't enter the coal mill. This study aims to analyze the effectiveness of the cyclone, pressure drop, and head loss in the system. The particles to be separated from the fluid stream are 9 microns in size. Pipe length for flow distribution is 67.24 m and 7 units of elbows. This analysis uses numerical methods with flow simulation features and compares them with theoretical results. Theoretical results obtained a pressure drop of 4042.74 Pa and a head loss of 607.82 m. This pressure drop is greater than the pressure fan, which is 1333 Pa. The simulation results of the inlet pipe 20° with a pressure drop of 4207.42 Pa, a head loss of 632.58 m, and an efficiency of 43%. At the inlet pipe 10° with a pressure drop of 4146.04 Pa, a head loss of 623.35 m, and an efficiency of 17%. At the inlet pipe 25° with a pressure drop of 4362.61 Pa, a head loss of 655.82 m, and an efficiency of 39%. Best results on pipe inlet 20°.*

#### **Keywords**

*Cyclone, Pressure drop, Head loss, Efficiency*

#### **Abstrak**

*Cyclone merupakan alat untuk memisahkan partikulat dari aliran fluida tanpa filter. Cyclone dalam hal ini untuk memisahkan partikulat dari aliran udara supaya tidak masuk ke coal mill. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas cyclone, pressure drop, dan head loss pada sistem. Partikel yang akan dipisahkan dari aliran fluida berukuran 9 mikron. Panjang pipa untuk distribusi aliran yaitu 67,24 m dan elbow sebanyak 7 unit. Analisis ini menggunakan metode numerik oleh fitur flow simulation dan membandingkannya dengan hasil teoritis. Hasil teoritis didapatkan pressure drop 4042,74 Pa dan head loss 607,82 m. Pressure drop ini lebih besar dari pressure fan yaitu 1333 Pa. Hasil simulasi inlet pipa 20° dengan pressure drop 4207,42 Pa, head loss 632,58 m, dan efisiensi 43%. Pada inlet pipa 10° dengan pressure drop 4146,04 Pa, head loss 623,35 m, dan efisiensi 17%. Pada inlet pipa 25° dengan pressure drop 4362,61 Pa, head loss 655,82 m, dan efisiensi 39%. Hasil terbaik pada inlet pipa 20°.*

#### **Kata Kunci**

*Cyclone, Pressure drop, Head loss, Efficiency*

<sup>1</sup> Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang  
Jln. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

\* [akhmadrais027@gmail.com](mailto:akhmadrais027@gmail.com)

Submitted : March 01, 2023. Accepted : April 10, 2023. Published : April 12, 2023.

## PENDAHULUAN

Pabrik semen memiliki peralatan mesin utama, seperti *crusher*, *raw mill*, *suspension preheater*, *cyclone*, *coal mill*, *kiln*, dan *rotary packer*. Material yang diolah pada mesin-mesin ini mengalir secara berkelanjutan. Seiring dengan aliran material, mesin-mesin tersebut juga ada aliran gas panas yang berasal dari pembakaran batubara di *kiln*. Sebagian panas yang terbuang masih bisa dimanfaatkan ke proses lain, seperti untuk memanaskan material di *suspension preheater* dan sebagiannya lagi juga dipakai untuk proses pengeringan batubara pada *coal mill*. *Coal mill* berfungsi untuk menggiling batubara menjadi serbuk batubara (*fine coal*). Bersamaan dengan proses tersebut, dialirkan gas panas untuk mengeringkan *fine coal*. Ketika gas panas dari *suspension preheater* dialirkan ke *coal mill*, debu juga ikut terbawa. Agar nilai kalor *fine coal* tidak rendah, debu harus dipisah menggunakan *cyclone*. Sebagai alat yang digunakan untuk memisahkan *solid* dan gas, *cyclone* banyak digunakan karena memiliki konstruksi yang sederhana dan dengan biaya operasi yang rendah [1]. *Cyclone* memiliki tiga bagian, yaitu badan berbentuk silinder vertikal (*Barrel*) dengan bagian bawah berbentuk kerucut (*cone*), *inlet* masuknya gas, *outlet* pada *top cyclone* untuk mengalirkan gas bersih [2]. Terdapat dua tipe *cyclone* dengan dimensi yang berbeda, yaitu *high efficiency cyclone* dan *high gas rate* [3]. *Cyclone* dengan *high efficiency* digunakan untuk memisahkan partikel dengan ukuran dibawah 10 mikron. Sedangkan *cyclone* dengan desain *high gas rate* digunakan untuk memisahkan partikel dengan ukuran besar dan laju aliran yang tinggi [4]. *Cyclone* dengan efisiensi tinggi cenderung memiliki *pressure drop* yang tinggi. Hal ini karena *cone* yang didesain lebih kecil. Penampang *cone* yang lebih kecil akan menghasilkan gaya sentrifugal yang besar akibat dari kecepatan tangensial yang meningkat [5]. *Pressure drop* yang besar memiliki dampak terhadap daya motor yang diperlukan.

Pada pengamatan di *coal mill* di pabrik Indarung V, *cyclone* sudah tidak dioperasikan selama beberapa waktu. Dari informasi yang diperoleh, *cyclone* tidak difungsikan karena gas panas dari *cyclone* tidak dapat ditarik oleh *fan* pada pipa *outlet*. Akibat *cyclone* tidak difungsikan, maka panas dialirkan ke *coal mill* secara langsung tanpa melalui *cyclone*. Hal tersebut mengakibatkan partikulat debu tidak dapat dipisahkan dari aliran gas sehingga dapat mengurangi nilai kalor batubara [6]. Oleh karena itu penulis melakukan analisis numerik menggunakan fitur *flow simulation* pada aplikasi *solidworks*, dari analisis tersebut didapatkan efisiensi pemisahan partikulat di *cyclone*, *pressure drop*, dan *head loss*. *Pressure drop* yang terjadi pada *cyclone* disebabkan oleh beberapa hal, seperti gesekan aliran masuk dan keluar serta kehilangan energi kinetik didalam *cyclone* [7]. Rugi aliran atau *head loss* pada pipa yang menyebabkan terjadinya *pressure drop*. *Head loss* terbagi menjadi dua macam yaitu *major losses* dan *minor losses*. *Major losses* disebabkan oleh panjang saluran yang dilewatkan fluida tanpa memperhatikan rintangan yang dilalui seperti kontraksi laju fluida, ekspansi, bentuk *entrance* fluida dan *exit* fluida [8].

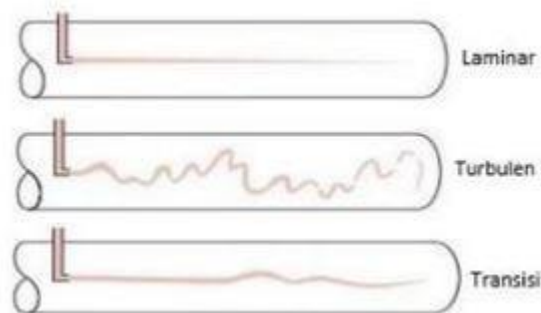
### Cyclone

*Cyclone* adalah suatu unit operasi yang menggunakan prinsip kerja gaya sentrifugal dan gaya gravitasi serta adanya perbedaan massa jenis untuk memisahkan partikulat yang terbawa aliran fluida. Di dalam *cyclone* terjadi pusaran akibat dari geometri desain yang mengakibatkan partikel dengan massa jenis besar akan jatuh dan udara dengan massa jenis besar akan naik ke *top cyclone* dan dihisap oleh *fan*. Efektivitas pemisahan partikel dipengaruhi oleh ukuran partikel, massa jenis, dan jumlah partikel yang terbawa udara bersih. Rumus untuk menentukan efisiensi *cyclone* menggunakan persamaan 1.

$$\eta = \frac{\text{Partikel masuk} - \text{Partikel keluar}}{\text{Partikel masuk}} \times 100\% \quad (1)$$

## Aliran Fluida di Dalam Pipa

Pipa merupakan suatu sistem yang digunakan untuk mengalirkan fluida [9]. Fluida akan bergerak dan mengalami perubahan bentuk secara terus menerus yang diakibatkan oleh tekanan dan tegangan geser [10]. Pada sistem pipa, aliran udara tidak selalu pada aliran yang lurus, namun ada juga yang melewati *elbow* (Belokan). Aliran yang melewati *elbow* ini merupakan salah satu faktor terbentuknya aliran turbulen yang menyebabkan rugi aliran sehingga dapat terjadi *pressure drop*. Hal tersebut dikarenakan adanya perubahan arah aliran fluida yang dapat menyebabkan terjadinya pusaran dan juga gesekan aliran dengan dinding pipa [11]. Tipe aliran fluida terbagi menjadi tiga macam yaitu aliran laminar terjadi apabila fluida bergerak secara teratur, aliran turbulen terjadi ketika pergerakan fluida arahnya tidak teratur, dan aliran transisi terjadi ketika aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Bentuk aliran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Jenis aliran fluida [12].

## Bilangan Reynolds

Bilangan reynolds adalah bilangan tak berdimensi yang menyatakan rasio antara inersia massa dan viskositas fluida yang digunakan untuk menentukan jenis aliran. Rumus bilangan reynolds yang digunakan untuk menentukan jenis aliran pada persamaan 2.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2)$$

dengan

Re = Bilangan Reynolds

$\rho$  = Densitas fluida (kg/m<sup>3</sup>)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

$\mu$  = Viskositas fluida (kg/m.s)

D = diameter pipa (m)

Berdasarkan rumus diatas, dapat diklasifikasikan jenis aliran fluida di dalam pipa sebagai berikut.

$Re \leq 2300$ , aliran Laminar

$2300 \leq Re \leq 4000$ , aliran Transisi

$Re \geq 4000$ , aliran turbulen

## Pressure Drop

*Pressure drop* adalah penurunan tekanan dari satu titik di dalam pipa [13]. *Pressure drop* dipengaruhi oleh beberapa hal seperti, kecepatan fluida, tekanan, laju alir, diameter pipa, viskositas, dan temperatur fluida. Untuk menghitung *pressure drop* pada sistem pipa dapat menggunakan rumus pada persamaan 3.

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

dengan

$\Delta P_L =$  Pressure drop (Pa)

$f =$  Friction factor

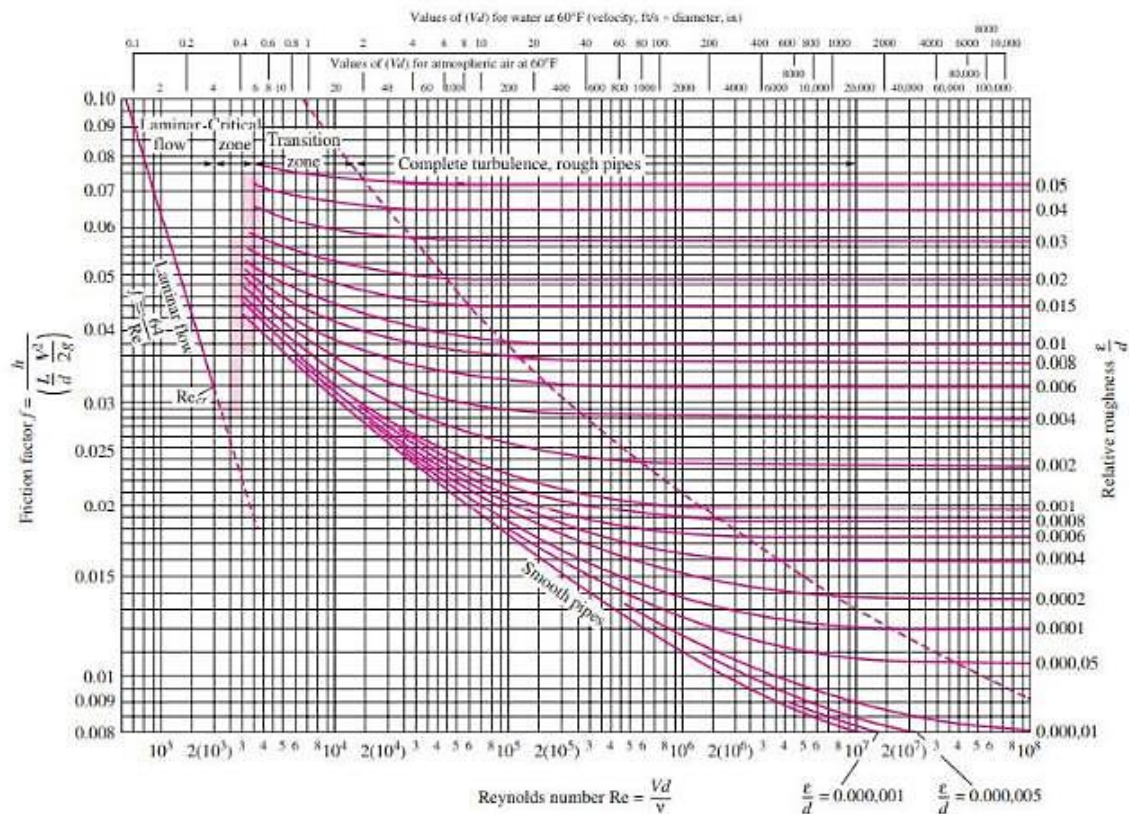
$L =$  Panjang pipa (m)

$\rho =$  Massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

$D =$  Diameter pipa (m)

$V =$  Kecepatan fluida (m/s)

Untuk menentukan *friction factor* pada aliran laminar dapat menggunakan rumus  $f=64/Re$ . Sedangkan untuk menentukan *friction factor* pada aliran turbulen menggunakan diagram moody pada Gambar 2. Langkah yang dilakukan untuk menggunakan diagram moody yaitu menentukan bilangan reynolds dan kekasaran relatif pipa ( $\epsilon/D$ ).



Gambar 2. Diagram Moody [14]

Untuk menghitung *pressure drop* pada *cyclone* dapat menggunakan rumus pada persamaan 4.

$$\Delta P = \zeta P_d \tag{4}$$

$$P_d = \frac{\rho}{2} w^2$$

$$w = \frac{\bar{V}}{\pi r^2}$$

dengan

$\Delta P =$  Pressure drop (Pa)

$\zeta =$  Resistance coefficient

$P_d =$  Dynamic Pressure (Pa)

$\rho =$  Massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

$w =$  kecepatan (m/s)

$r^2 =$  inner channel (m)

### Head Loss

*Head loss* adalah rugi aliran yang diakibatkan fluida melewati saluran, sehingga arah aliran cenderung terjadi pengurangan energi total yang dipindahkan [15]. Perubahan penampang dan *elbow* yang ada dalam sistem pipa dapat mengganggu aliran normal [16]. *Head loss* terbagi menjadi dua yaitu *major loss* dan *minor loss*. *Major loss* disebabkan panjang saluran yang dilewatkan fluida tanpa memperhatikan rintangan yang dilalui. Rumus *major loss* dapat dilihat pada persamaan 5.

$$h_L = \frac{\Delta P}{\rho g} \quad (5)$$

dengan

$\Delta P$  = Pressure drop (Pa)

$h_L$  = Head loss (m)

$\rho$  = Massa jenis ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$g$  = Percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$ )

Sedangkan *minor loss* disebabkan oleh *elbow bends* yang mempengaruhi laju fluida. Rumus *minor loss* dapat menggunakan rumus pada persamaan 6.

$$R/D \quad (6)$$

dengan

R = Radius *elbow* (mm)

D = Diameter pipa (mm)

## METODE PENELITIAN

### Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian numerik dengan bantuan fitur *flow simulation* pada aplikasi *solidworks*. Pada aplikasi *solidwork* digunakan untuk membuat 3D model pipa dan *cyclone*, kemudia 3D model tersebut dianalisis dengan fitur *flow simulation* yang menampilkan fenomena aliran dan hasil perhitungan numerik yang pada sistem pipa dan *cyclone*. Selain itu juga dilakukan perhitungan secara teoritis untuk mendapatkan *pressure drop*, *head loss* dan *power motor*.

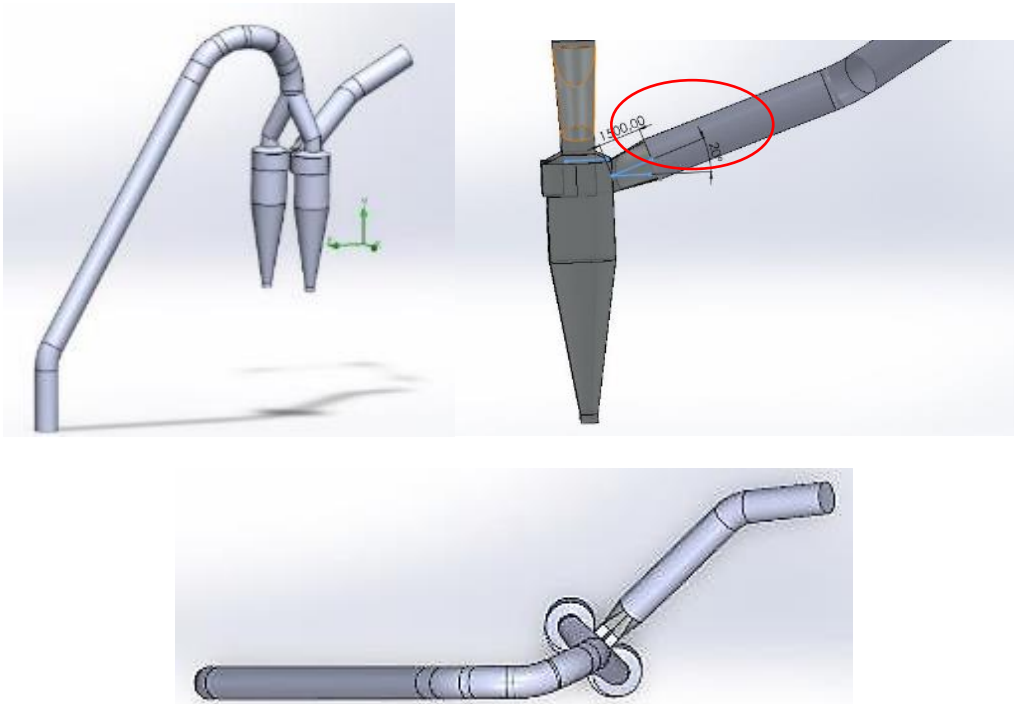
Berikut pada [Tabel 1](#) merupakan data operasi yang digunakan untuk perhitungan numerik maupun teoritis.

*Tabel 1. Data operasi dan spesifikasi*

No	Nama	Nilai	Satuan
1	Kecepatan aliran udara	35	m/s
2	Volume flow air	63	$\text{m}^3/\text{s}$
3	Temperature	340	$^{\circ}\text{C}$
4	Panjang pipa lurus diameter 1,5 m	37,71	m
5	Panjang pipa lurus diameter 1,15 m	23,53	m
6	Elbow R3000	4	Unit
7	Elbow R2250	1	Unit
8	Elbow R617	2	Unit

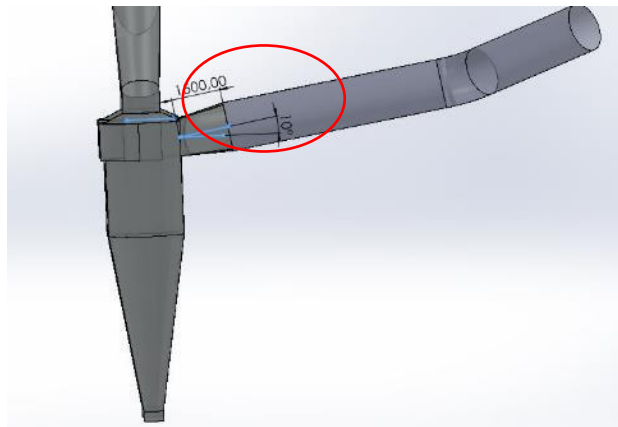
Setelah dimensi dari sistem diketahui, maka dilakukan pembuatan 3D model. Material pipa yang digunakan yaitu *carbon steel* dengan *roughness* pipa sebesar 0,05. Untuk desain 3D model dapat dilihat pada [Gambar 3](#). Setelah pembuatan desain 3D, langkah selanjutnya

menentukan *boundary conditions* pada desain yang telah dibuat yaitu pada aliran masuk (*inlet*), *outlet* pada *down cyclone*, dan aliran keluar (*outlet*).

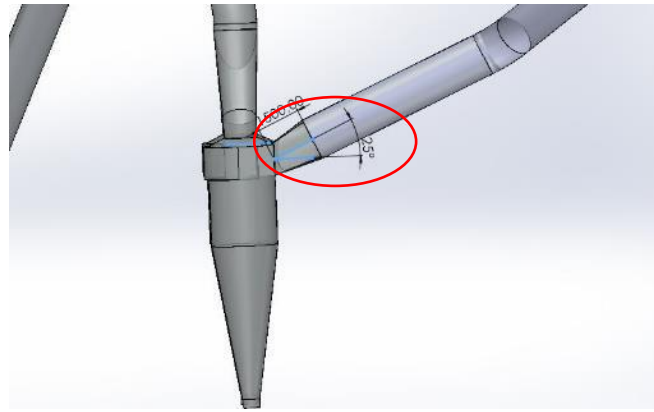


Gambar 3. Desain eksisting 3D pipa dan *cyclone*

Kemudian dilakukan modifikasi pada pipa *inlet* dengan dua kondisi yaitu, pada Gambar 4 *inlet* pipa dengan kemiringan  $10^\circ$  dan pada Gambar 5 *inlet* pipa dengan kemiringan  $25^\circ$ . Pada kondisi desain eksisting *inlet* pipa dengan kemiringan  $20^\circ$ .



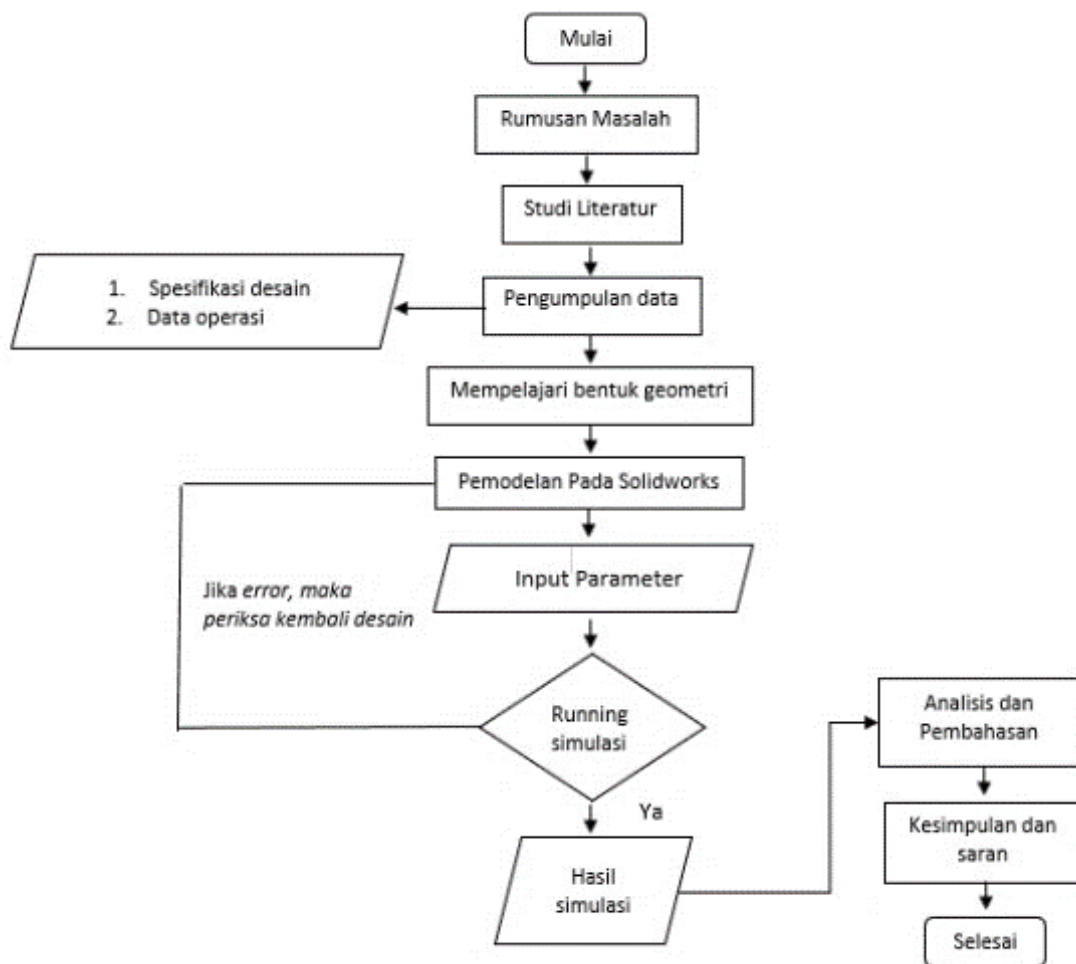
Gambar 4. Modifikasi *inlet* pipa kemiringan  $10^\circ$



Gambar 5. Modifikasi *inlet* pipa kemiringan 25°

### Diagram alir penelitian

Untuk langkah-langkah dalam penelitian, bisa dilihat pada diagram alir penelitian pada Gambar 6.

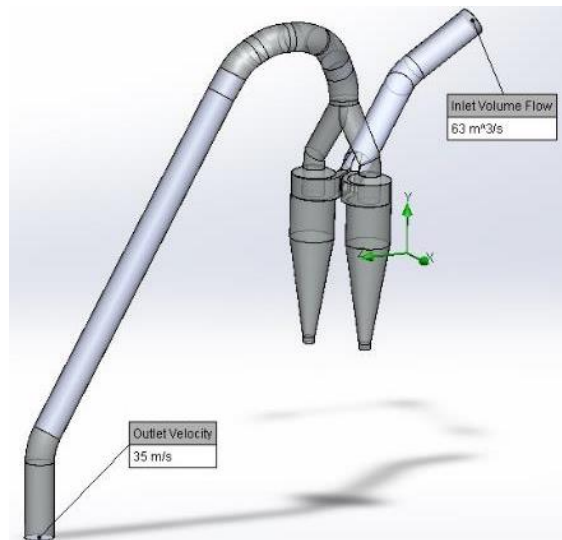


Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

### HASIL DAN PEMBAHASAN

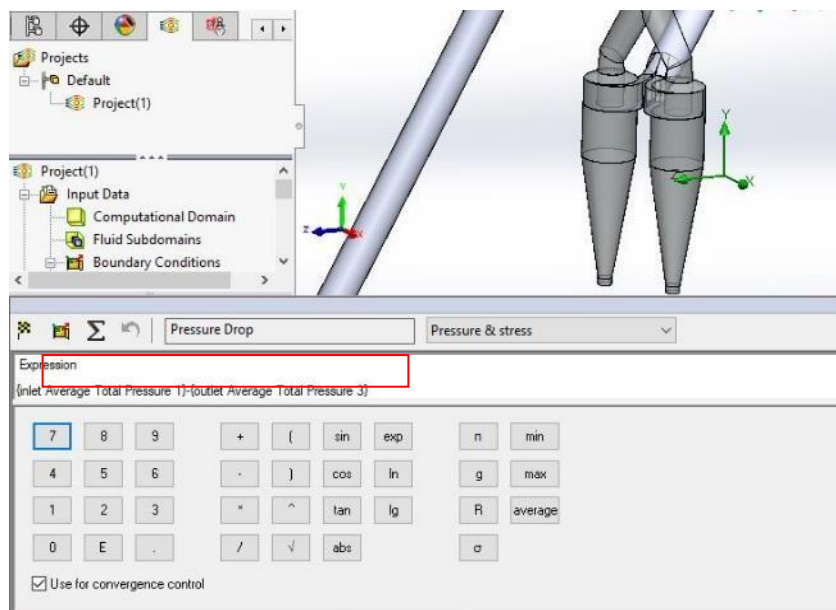
Berdasarkan hasil perhitungan teoritis dengan menggunakan data pada Tabel 1, maka didapatkan *pressure drop* sebesar 4042,74 Pa dan *head loss* sebesar 607,82 meter. *Pressure drop* ini lebih besar dari *pressure fan* yaitu sebesar 1333 Pa, maka hal ini yang menyebabkan

gas tidak dapat ditarik oleh *fan* dari pipa *outlet* . Kemudian untuk hasil perhitungan numerik dapat dilihat dengan fitur *flow simulation*. Pada [Gambar 7](#) yaitu bagian *inlet* dengan diinputkan *volume flow rate* sebesar  $63 \text{ m}^3/\text{s}$  dan *outlet* sebesar  $35 \text{ m/s}$ .

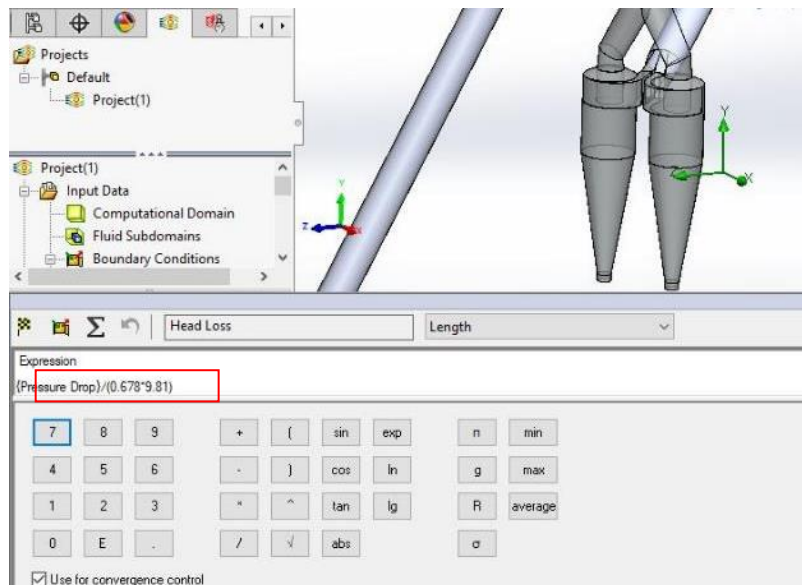


[Gambar 7](#). *Inlet* dan *outlet* aliran udara

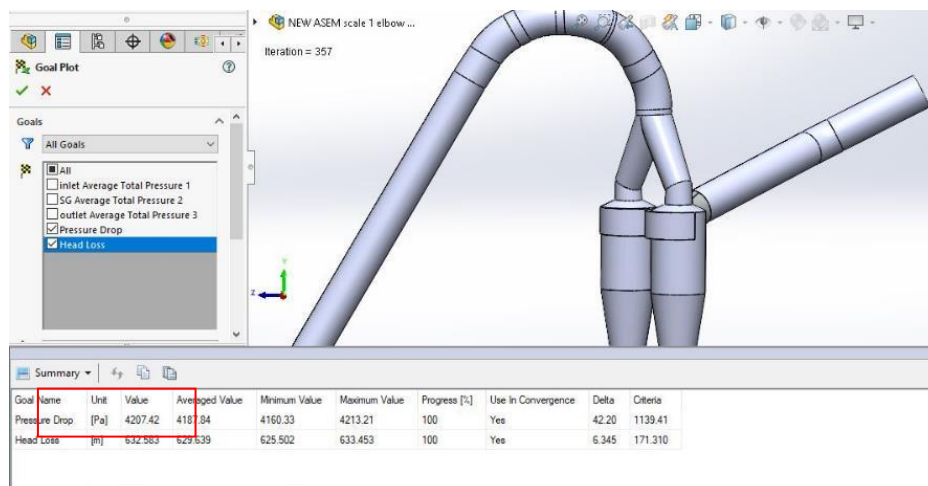
Setelah menginputkan parameter aliran udara, maka selanjutnya pada fitur *flow simulation* untuk menentukan *pressure drop* masukan rumus  $(P1 \text{ inlet})-(P2 \text{ outlet})$  seperti pada [Gambar 8](#). Sedangkan untuk menentukan *head loss* masukan rumus  $(\text{Pressure drop})/(0,678*9,81)$  seperti pada [Gambar 9](#).



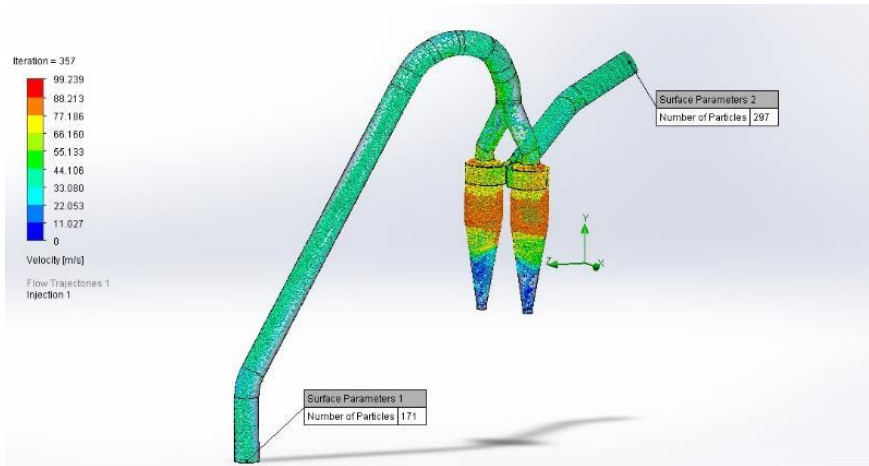
[Gambar 8](#). Input rumus *pressure drop*

Gambar 9. Input rumus *head loss*

Setelah menginputkan rumus, kemudian lakukan *running* untuk mendapatkan hasil *pressure drop* dan *head loss* dengan perhitungan numerik menggunakan *flow simulation*. Hasil perhitungan *pressure drop* sebesar 4207,42 Pa dan *head loss* sebesar 632,58 meter. Perbedaan hasil dengan teoritis dikarenakan pada simulasi menggunakan *mesh level 6* dari 7 level. Semakin tinggi level *mesh* maka hasil akan semakin baik. Dalam hal ini hanya mampu melakukan simulasi pada *mesh level 6* karena kemampuan dari laptop yang digunakan. Hasil perhitungan dengan simulasi pada kondisi desain eksisting dengan kemiringan *inlet* pipa 20° yang dapat dilihat pada Gambar 10.

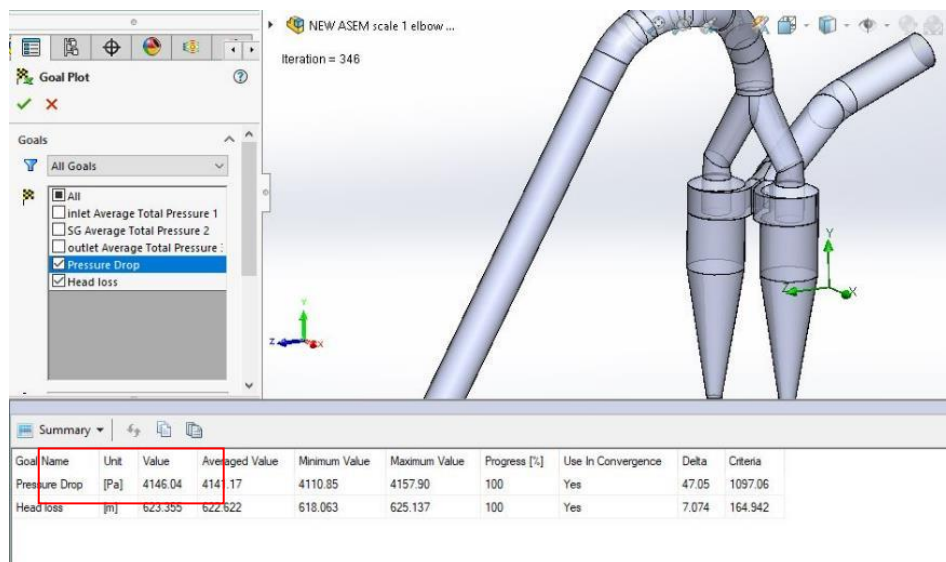
Gambar 10. Hasil perhitungan *pressure drop* dan *head loss* desain eksisting

Kemudian efisiensi pemisahan partikulat pada *cyclone* dengan kemiringan *inlet* pipa 20° yaitu sebesar 43% dengan input partikel sebanyak 300 yang dapat dilihat pada Gambar 11.



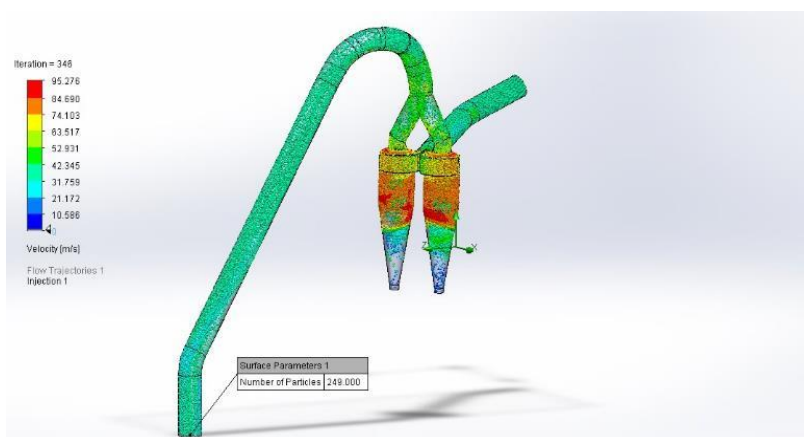
Gambar 11. Aliran partikel dengan kemiringan inlet pipa 20°

Pada kondisi modifikasi inlet pipa 10°, hasil perhitungan *pressure drop* sebesar 4146,04 Pa dan *head loss* sebesar 622,35 meter yang dapat dilihat pada Gambar 12.



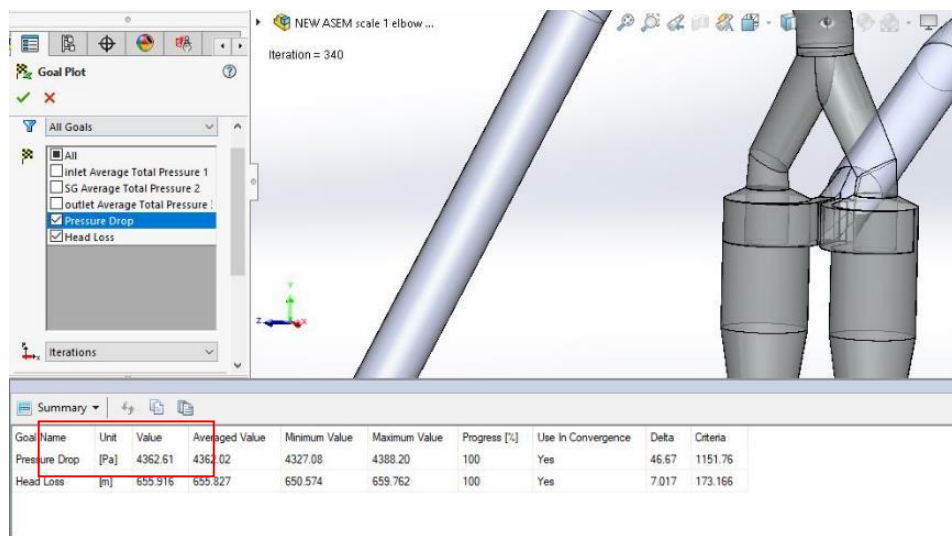
Gambar 12. Hasil perhitungan *pressure drop* dan *head loss* desain modifikasi

Efisiensi pemisahan partikulat pada *cyclone* dengan kemiringan inlet pipa 10° yaitu sebesar 17% dengan input partikel sebanyak 300 yang dapat dilihat pada Gambar 13.



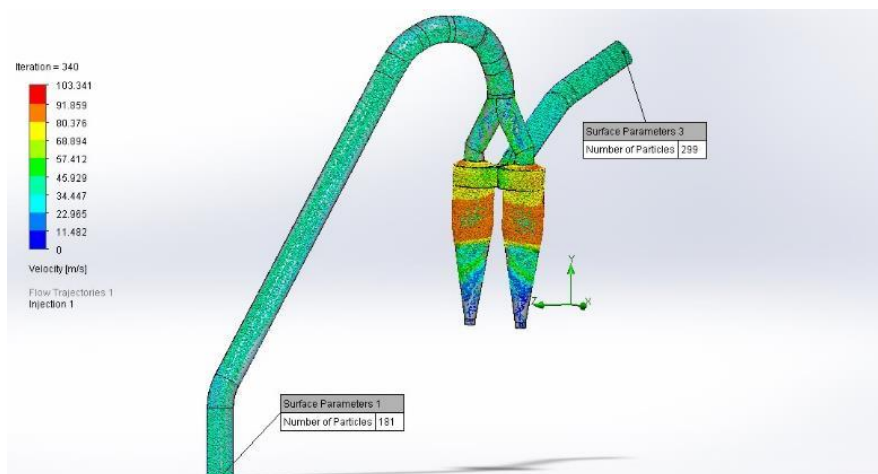
Gambar 13. Aliran partikel dengan kemiringan inlet pipa 10°

Pada kondisi modifikasi *inlet* pipa 25°, hasil perhitungan *pressure drop* sebesar 4362,61 Pa dan *head loss* sebesar 655,91 meter yang dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Hasil perhitungan *pressure drop* dan *head loss* desain modifikasi

Efisiensi pemisahan partikulat pada *cyclone* dengan kemiringan *inlet* pipa 25° yaitu sebesar 39% dengan input partikel sebanyak 300 yang dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Aliran partikel dengan kemiringan *inlet* pipa 25°

Berikut pada Tabel 2 merupakan penjelasan hasil simulasi pada variasi sudut *inlet* pipa.

Tabel 2. Hasil simulasi variasi sudut *inlet* pipa

sudut inlet (derajat)	Pressure Drop (Pa)	Efisiensi pemisahan debu (%)
20	4207,42	43
10	4146,00	17
25	4362,61	39

Variasi sudut gas masuk tidak terlalu signifikan dalam *pressure drop*. Hal ini dikarenakan dengan sudut yang berbeda tersebut menghasilkan perbedaan kecepatan, namun kecepatan yang berubah tidak terlalu besar sehingga perubahan *pressure drop* tidak terlalu besar karena kecepatan berbanding lurus dengan penurunan kecepatan. Tetapi variasi sudut ini

berpengaruh terhadap efisiensi pemisahan partikel debu. Pada sudut *inlet*  $10^{\circ}$  memiliki efisiensi yang rendah dikarenakan partikel debu ketika masuk *cyclone*, putaran partikel tidak dipercepat hingga kebawah karena sudut pipa yang tidak terlalu miring. Maka partikel tidak punya kesempatan untuk terpisah dari aliran gas untuk menuju dasar *cyclone*, sehingga kebanyakan partikel ikut terbawa oleh gas menuju pipa *outlet* dan efisiensi pemisahan partikel debu menjadi rendah. Namun pada sudut *inlet*  $25^{\circ}$ , kondisi ini terlalu miring dengan kecepatan aliran yang diberikan. Sehingga efisiensi pemisahan partikel debu sedikit lebih rendah dari sudut *inlet*  $20^{\circ}$ .

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Dari hasil analisis perbandingan *pressure drop* dan *head loss* secara teoritis dengan hasil simulasi menggunakan *flow simulation* didapatkan nilai secara teoritis *pressure drop* sebesar 4042,74 Pa dan *head loss* 607,82 meter sedangkan pada hasil simulasi *pressure drop* sebesar 4207,42 Pa dan *head loss* sebesar 632,58 meter. Kondisi tersebut merupakan pada desain eksisting. Kemudian dilakukan modifikasi kemiringan pada *inlet* pipa dari kondisi eksisting yaitu  $20^{\circ}$  dilakukan perubahan menjadi  $10^{\circ}$  dan  $25^{\circ}$ . Pada kondisi eksisting efisiensi sebesar 43%. *Inlet* pipa pada kemiringan  $10^{\circ}$  dengan *pressure drop* 4146,04 Pa, *head loss* sebesar 622,35 meter, dan efisiensi sebesar 17%. *Inlet* pipa pada kemiringan  $25^{\circ}$  dengan *pressure drop* 4362,61 Pa, *head loss* sebesar 655,91 meter, dan efisiensi sebesar 39%. Perubahan pada *inlet* pipa *cyclone* berpengaruh terhadap performa *cyclone* yaitu pada efisiensi pemisahan partikel. Namun tidak berpengaruh besar pada perubahan *pressure drop* dan *head loss*.

### Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, peneliti hanya berfokus pada analisis modifikasi *inlet* pipa, *pressure drop*, *head loss*, dan efisiensi pada sistem pipa dan *cyclone*. oleh karena itu pada penelitian selanjutnya diharapkan adanya perubahan pada dimensi *cyclone*, perpindahan panas yang terjadi, variasi kecepatan aliran, untuk mendapatkan performa pada yang lebih baik. Kemudian perlu dilakukan kajian terhadap kinerja *fan* dalam menaggulangi *pressure drop* yang terjadi pada sistem yaitu dengan mengetahui daya motor yang digunakan untuk mengatasi *pressure drop*.

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] S. Bahar, E. Yohana, M. S. K. Tony, S. Utomo, and M. B. Zaman, "Simulasi Numerik Pengaruh Modifikasi Vortex Finder Terhadap Performa New Cyclone Separator," *Rotasi* vol. 24, no. 1, pp. 42–49, 2022.
- [2] R. K. Sinnott, *Chemical Engineering Design, Book*, UK: Elsevier, vol. Vol. 6, 2005.
- [3] N. Gopani and A. Bhargava, "Design of High Efficiency Cyclone for Tiny Cement Industry," *Int. J. Environ. Sci. Dev.*, pp. 350–354, 2011.
- [4] N. Afrian and E. Ervianto, "Analisa Kinerja Electrostatic Precipitator (Esp) Berdasarkan Besarnya Tegangan Dc yang Digunakan Terhadap Perubahan Emisi Di Power Boiler Industri Pulp And Paper," vol. 2, no. 2, pp. 1–12, 2015.
- [5] Suyitno, "Analisis CFD Unjuk Kerja Siklon Dengan Menggunakan Model Turbulen Spalart-Allmaras Dan Rng K- E," *MEDIA MESIN*, 2017, doi: 10.23917/mesin.v6i2.225.
- [6] L. Nababan, Mukiat, R. Pebrianto, "Analisis Perubahan Kualitas Batubara di Front Penambangan dan *Stockpile* PT BPAC, Lahat, Sumatera Selatan," *Jurnal Pertambangan*, vol 6, no. 1, 2022.

- 
- [7] N. V. A. Emenda, "Perancangan Sistem Vacuum Untuk Debu Halus Hasil Pemesinan Resin; Studi Kasus Pada Mesin Cedu CNC," Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, pp. 1–33, 2018.
- [8] F. A. Raharjo, *Mahir Flow Simulation Cfd*, Sleman: CV BUDI UTAMA, 2020.
- [9] A. Intang, B. Junita, "Analisa Pengaruh Kekerasan Permukaan Terhadap Kapasitas Aliran Viskositas dan Tinggi Aliran dalam Pipa," *TEKNIKA: Jurnal Teknik Fakultas Teknik Universitas IBA TEKNIKA*, vol. 9, no. 2, pp. 136–142, 2020.
- [10] M. T. A. Fadli, G. Marausna, F. jayadi, G. D. A. Larasati, V. A. Victoria, "Rancang Bangun Visualisasi Aliran Air Di Dalam Pipa Tubular Dengan Vortex Generator Untuk Meningkatkan Sifat Turbulensi Fluida," *Tek. STTKD J. Tek. Elektron. Engine*, vol. 7, no. 2, pp. 205–215, 2021.
- [11] S. Simbolon and Y. Setia, "Simulasi Distribusi Suhu Tekanan dan Kecepatan Gas Dalam Pipa Pirolisis pada Reaktor – Kondensor," *J. Mechanical Engineering, Manufactures, Material, and Energy*, vol. 6, no. 2, pp. 155–165, 2022.
- [12] Y. A. Cengel, J. M. Cimbala, "Fluid Mechanics Fundamentals and Applications," New York: McGraw-Hill, 2006.
- [13] I. S. Akmal, N. Za, Ishak "Analisa Profil Aliran Fluida Cair dan Pressure Drop pada Pipa L Menggunakan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD)," *J. Teknologi Kimia Unimal*, vol. 18, no. 2, 2019, [Online]. Available: <https://ojs.unimal.ac.id/index.php/jtk/>
- [14] V. L. Streeter and E. B. Wylie, "Fluid mechanics (seventh ed.)," New York: McGraw-Hill, 1979.
- [15] A. Rijanto and S. Rahayuningsih, "Analisis Head Losses Pada Mesin Pompa Air Sawah," *Majamecha*, vol. 4, no. 1, pp. 60–69, 2022.
- [16] M. T. Afifudin, B. Basuki, and M. A. Irfa'i, "Pengaruh perubahan diameter pipa mendadak 1 inch ke  $\frac{3}{4}$  dan  $1 \frac{1}{4}$  inch terhadap pressure drop dengan variasi bukaan katup," *ARMATUR Artik. Tek. Mesin Manufaktur*, vol. 2, no. 2, pp. 100–105, 2021.

Halaman ini sengaja dikosongkan