

## SIMULASI NUMERIK PENURUNAN TEKANAN PADA ALAT UJI RUGI – RUGI ALIRAN DENGAN MENGGUNAKAN SOLIDWORKS 2020

Muhammad Afif Fadila<sup>1</sup> dan Muhamad Fitri<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta  
Jl. Meruya Selatan No. 1, Kembangan, Jakarta Barat 11650, Indonesia

E-mail: muhammadafiffadila7@gmail.com

**Abstrak--** Penelitian ini dilatarbelakangi oleh perancangan alat uji rugi – rugi aliran pada instalasi pipa yang dilakukan di Laboratorium Program Studi Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana Jakarta untuk melengkapi fasilitas praktikum mata kuliah mekanika fluida. Setelah beberapa bulan program berjalan, akhirnya alat uji rugi – rugi aliran pada instalasi pipa berhasil dirancang. Akan tetapi dalam rancangan awal yang sudah dibuat ini, belum diketahui bagaimana simulasi distribusi aliran yang terjadi pada alat tersebut. Di dalam penelitian ini, akan dilakukan simulasi penurunan tekanan pada rancangan alat uji rugi – rugi aliran yang ada di Laboratorium Program Studi Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana Jakarta. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan simulasi Computational Fluid Dynamics yang diaplikasikan pada perangkat lunak Solidworks 2020. Hasil simulasi yang dilakukan pada alat uji ini menunjukkan penurunan tekanan terbesar terjadi pada simulasi pipa lurus sepanjang 2 meter, untuk penurunan tekanan terkecil terjadi pada simulasi perubahan sudut pipa yang melalui elbow  $45^{\circ}$ , sedangkan pada perubahan penampang pipa dari 1.5 inch ke 1 inch terjadi peningkatan dan penurunan kecepatan yang signifikan karena berlakunya hukum kontinuitas. Dapat dipastikan fluida (air) yang mengalir pada alat uji ini adalah aliran turbulen ( $> 4000$ ).

**Kata kunci:** Fluida, Simulasi, Penurunan Tekanan, Pipa

**Abstract--** This study was motivated by the design of a flow loss test tool for pipe installations, which was completed at the Mechanical Engineering Study Program Laboratory, Mercu Buana University, Jakarta, to complete the practicum facilities for fluid mechanics courses. After months of running the program, a flow loss test tool for pipe installation was successfully designed. However, the initial design does not yet know how to simulate the flow distribution that occurs in the device. In this study, a pressure drop simulation on the design of a flow loss test tool will be carried out in the Mechanical Engineering Study Program Laboratory at Mercu Buana University in Jakarta. Computational Fluid Dynamics simulation on the Solidworks 2020 software was used in this study. The results of the simulations performed on this test equipment show that the largest pressure drop occurs in a 2 meter long straight pipe simulation and the smallest pressure drop occurs in a change simulation. The angle of the pipe through the elbow is  $45^{\circ}$ , but when the cross section of the pipe is changed from 1.5 inches to 1 inch, there is a significant increase and decrease in speed due to the application of the law of continuity. The fluid (water) flowing in this test equipment has a turbulent flow ( $> 4000$ ).

**Keywords:** Fluid, Simulation, Pressure Drop, Pipe

### 1. PENDAHULUAN

Di era perkembangan teknologi yang pesat ini, sektor industri setiap harinya berusaha untuk meningkatkan hasil produksi yang lebih baik dengan memaksimalkan sistem penunjang yang ada salah satunya seperti sistem perpipaan. Sistem perpipaan memiliki peran yang penting dalam menentukan *performance* tersebut [1]. Pipa mengalirkan fluida seperti air, minyak maupun gas dari satu titik penampungan ke tempat pemakaian yang membutuhkan sehingga proses produksi bisa berlangsung [2].

Instalasi sistem perpipaan memiliki beberapa variasi seperti pipa tunggal dan pipa

bercabang. Pada saat penggunaannya, sistem perpipaan yang ada umumnya memiliki rangkaian desain yang biasanya dapat mempengaruhi ketidakstabilan dalam mengalirkan fluida itu sendiri, hal tersebut mengakibatkan fluida mengalami penurunan tekanan yang disebabkan oleh kerugian aliran atau *Head Losses*. Rugi aliran (*Head Losses*) secara teori adalah pengurangan energi per satuan berat fluida pada aliran di dalam sistem perpipaan. *Head Losses* dibagi menjadi 2 jenis yaitu, *major head loss* dan *minor head loss* [3]. *Major Losses* atau rugi aliran akibat gesekan adalah rugi aliran yang terjadi karena adanya turbulensi dan kekentalan zat cair yang diakibatkan oleh kekerasan dinding batas pipa

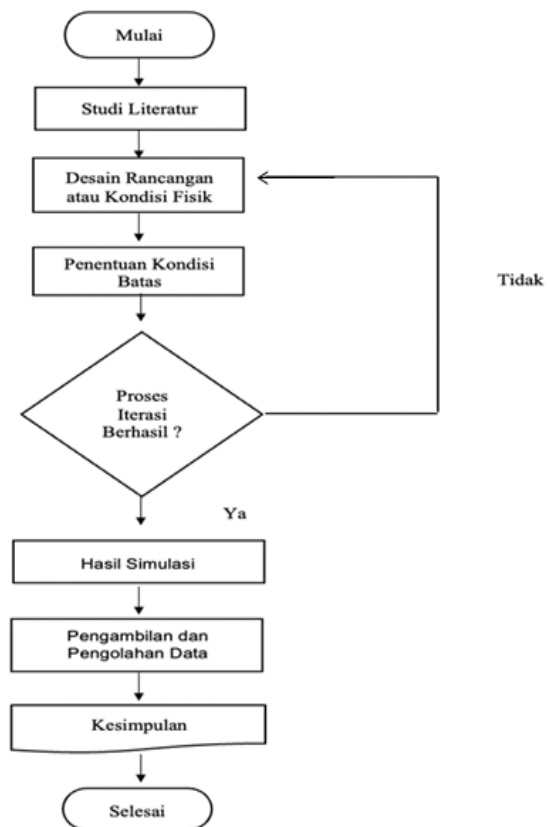
sehingga menimbulkan gaya gesek yang menyebabkan rugi aliran pada sepanjang pipa yang memiliki kecepatan konstan dengan aliran seragam [3]. *Minor Losses* atau rugi aliran akibat perubahan penampang adalah rugi aliran yang diakibatkan oleh perubahan arah seperti pembesaran penampang (*expansion*), pengecilan penampang (*contraction*), pembelokan (*elbow*), dan bengkokan (*bends*) [3]. *Minor Losses* menimbulkan adanya tumbukan antara partikel zat cair dan semakin besarnya gesekan karena turbulensi, serta distribusi kecepatan yang tidak seragam pada suatu penampang pipa. Pusaran air dapat terjadi akibat adanya lapisan batas terpisah dari dinding pipa, pusaran air ini akan mengganggu pola aliran laminar sehingga akan meningkatkan tingkat turbulensi. Pemahaman secara mendalam dari penjelasan diatas tersebut dibutuhkan untuk mengetahui nilai efisiensi dari sistem distribusi di dalam perpipaian, sehingga kita dapat menentukan sistem distribusi tersebut layak bangun atau tidak. Oleh karena itu, rangkaian pipa yang sederhana dapat digunakan menjadi alat uji untuk dapat mengetahui perhitungan tekanan fluida yang masuk atau keluar pada rangkaian pipa [4].

Belakangan ini, sudah banyak alat uji - rugi aliran yang dirancang terutama oleh peneliti - peneliti sebelumnya. Perancangan alat uji rugi-rugi aliran memiliki spesifikasi yang bervariasi seperti debit aliran, instalasi pipa, diameter pipa serta metode yang digunakan pada pengujian atau praktikum yang dilakukan. Di dalam penelitian - penelitian yang sudah dilakukan, alat uji rugi - rugi aliran ini terbukti dapat dijadikan acuan untuk menganalisis distribusi aliran fluida yang bekerja pada instalasi perpipaian baik saat pengujian rugi - rugi aliran minor maupun pada saat pengujian rugi - rugi aliran mayor yang memiliki jenis aliran berbeda [5]. Akan tetapi, dalam beberapa kasus pengujian alat uji ini masih memiliki tingkat kesalahan pada pengukuran *headloss*, seperti kesalahan yang disebabkan pengukuran manual pada pipa ukur, serta kesulitan mengatur fluida agar tidak terlalu turbulen saat melewati titik ukur *headloss* [4]. Di dalam penelitian ini, akan dilakukan simulasi penurunan tekanan pada rancangan alat uji rugi - rugi aliran yang ada di Laboratorium Program Studi Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana. Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana penurunan tekanan terjadi pada alat uji rugi aliran yang ada di laboratorium, sehingga dapat diketahui kerugian energi yang diakibatkan oleh sistem perpipaian tersebut dengan menghubungkan hasil simulasi pada persamaan

*Bernoulli*. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* yang diaplikasikan pada perangkat lunak *Solidworks* 2020. Diharapkan dengan dilakukannya penelitian ini nantinya hasil penelitian dapat dijadikan referensi atau bahan penelitian selanjutnya untuk mahasiswa maupun dosen yang menggunakan alat uji tersebut.

## 2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics*. *Computational Fluid Dynamics (CFD)* merupakan metode kalkulasi atau perhitungan pada sebuah volume, dimensi dan luas dengan mengandlakan komputasi untuk memperhitungkan elemen - elemen pembagiannya. Dapat dianalogikan jika terdapat suatu ruangan yang berisi fluida, *CFD* melakukan proses meshing atau pembagian domain menjadi beberapa bagian - bagian atau sel. Sehingga bagian - bagian yang telah ditentukan tersebut menjadi kontrol perhitungan yang akan diaplikasikan pada suatu perangkat lunak [14].

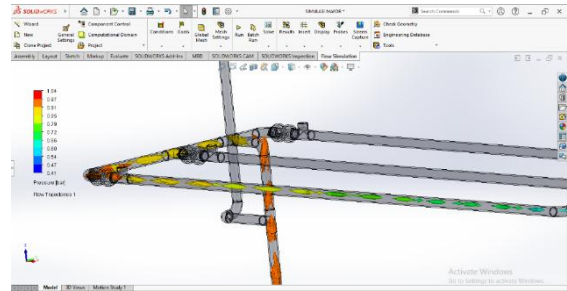


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

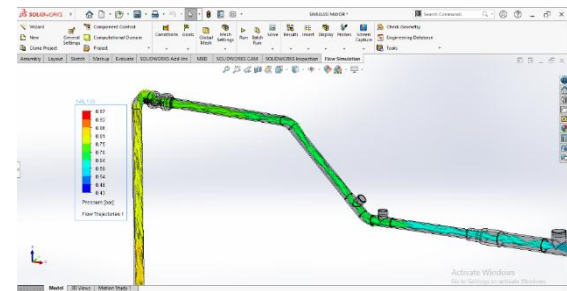
Metode *CFD* memiliki kelebihan untuk memperoleh parameter – parameter yang didapatkan pada pengujian dengan tidak harus melakukan pengujian secara aktual. Proses simulasi ini dilakukan dengan mengguakan *Solidworks 2020* yang telah terintegrasi flow simulation. Simulasi akan dilakukan satu persatu yaitu melakukan simulasi pada bagian rugi aliran mayor dan minor dengan terpisah.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan simulasi penurunan tekanan fluida pada pipa lurus (rugi mayor) yang terbagi menjadi 3 saluran dan setelah itu pada fluida yang melewati mengalami belokan, pembesaran atau pengecilan dan katup (rugi minor). Dan terakhir yaitu proses analisis besarnya penurunan tekanan yang terjadi pada tiap sambungan.

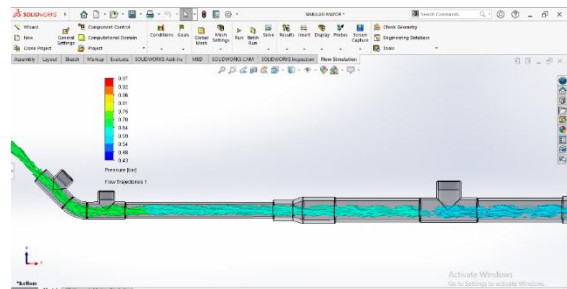
**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**



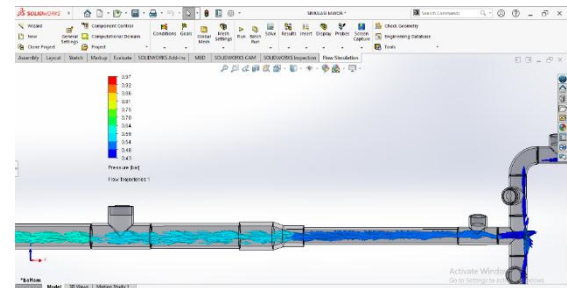
**Gambar 5.** Simulasi Pipa Lurus *Stainless Steel*.



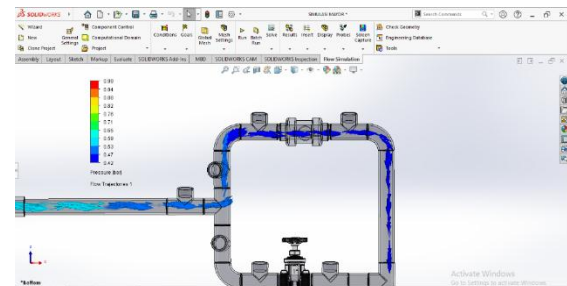
**Gambar 6.** Simulasi *Elbow 45°*.



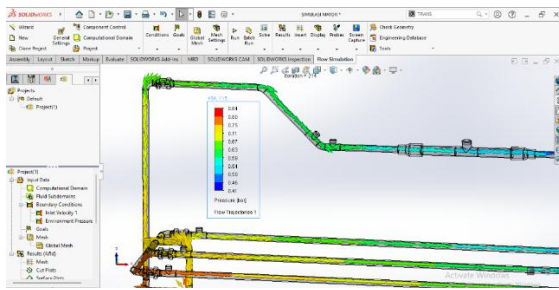
**Gambar 7.** Simulasi Pembesaran Penampang.



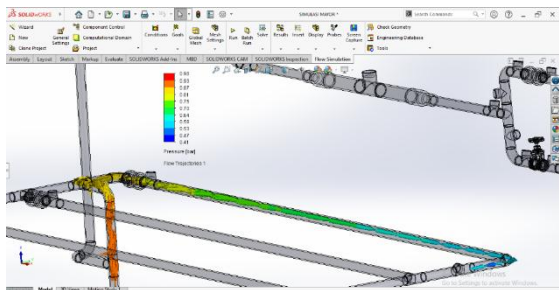
**Gambar 8.** Simulasi Pengecilan Penampang.



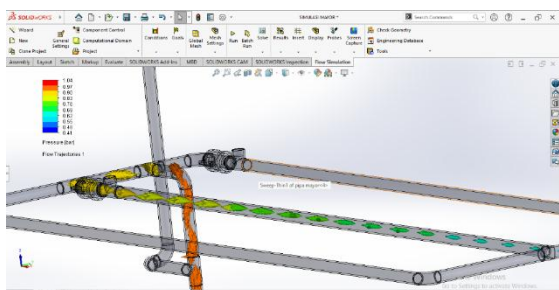
**Gambar 9.** Simulasi *Ball Valve*.



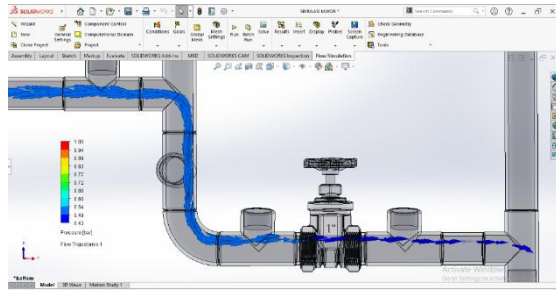
**Gambar 2.** Tampilan Simulasi.



**Gambar 3.** Simulasi Pipa Lurus *PVC*.



**Gambar 4.** Simulasi Pipa Lurus *Galvanized Steel*.



Gambar 10. Simulasi Gate Valve.

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat diketahui nilai penurunan tekanan, kerugian energi dan Bilangan Reynolds nya sebagai berikut :

1. Perhitungan Pada Simulasi Pipa Lurus PVC

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$= 0.79 \text{ bar} - 0.53 \text{ bar}$$

$$= 0.26 \text{ bar} = 26000 \text{ Pa}$$

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + H$$

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\gamma_{1,2}}$$

$$H = \frac{\Delta P}{\gamma_{1,2}} \text{ (V dan Z dihilangkan karena konstan)}$$

$$H = \frac{26000 \text{ N/m}^2}{9810 \text{ N/m}^3}$$

$$H = 2.650 \text{ m}$$

$$H = 2.650 \text{ m}$$

Bilangan Reynolds (Re) :

$$Re = \frac{v \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.67 \text{ m/s} \cdot 0.025 \text{ m}}{0.804 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 51297 (>4000 = \text{Aliran Turbulen})$$

2. Perhitungan Pada Simulasi Pipa Lurus Galvanized Steel

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$= 0.87 \text{ bar} - 0.59 \text{ bar}$$

$$= 0.28 \text{ bar} = 28000 \text{ Pa}$$

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + H$$

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\gamma_{1,2}}$$

$$H = \frac{\Delta P}{\gamma_{1,2}} \text{ (V dan Z dihilangkan karena konstan)}$$

$$H = \frac{28000 \text{ N/m}^2}{9810 \text{ N/m}^3}$$

$$H = 2.854 \text{ m}$$

$$H = 2.854 \text{ m}$$

Bilangan Reynolds (Re) :

$$Re = \frac{v \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.67 \text{ m/s} \cdot 0.025 \text{ m}}{0.804 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 51297 (>4000 = \text{Aliran Turbulen})$$

3. Perhitungan Pada Simulasi Pipa Lurus Stainless Steel

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$= 0.89 \text{ bar} - 0.63 \text{ bar}$$

$$= 0.26 \text{ bar} = 26000 \text{ Pa}$$

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + H$$

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\gamma_{1,2}}$$

$$H = \frac{\Delta P}{\gamma_{1,2}} \text{ (V dan Z dihilangkan karena konstan)}$$

$$H = \frac{26000 \text{ N/m}^2}{9810 \text{ N/m}^3}$$

$$H = 2.650 \text{ m}$$

$$H = 2.650 \text{ m}$$

Bilangan Reynolds (Re) :

$$Re = \frac{v \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.67 \text{ m/s} \cdot 0.025 \text{ m}}{0.804 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 51297 (>4000 = \text{Aliran Turbulen})$$

4. Perhitungan Pada Simulasi Perubahan Sudut 45°

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$= 0.67 \text{ bar} - 0.65 \text{ bar}$$

$$= 0.02 \text{ bar} = 2000 \text{ Pa}$$

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + H$$

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\gamma_{1,2}} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} + z_1 - z_2$$

$$H = \frac{\Delta P}{\gamma_{1,2}} + z_1 - z_2 \text{ (V dihilangkan karena konstan)}$$

$$H = \frac{2000 \text{ N/m}^2}{9810 \text{ N/m}^3} + (1.42 \text{ m} - 1.35 \text{ m})$$

$$H = 0.203 \text{ m} + 0.07 \text{ m}$$

$$H = 0.273 \text{ m}$$

Bilangan Reynolds (Re) :

$$Re = \frac{v \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.67 \text{ m/s} \cdot 0.025 \text{ m}}{0.804 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 51297 (>4000 = \text{Aliran Turbulen})$$

5. Perhitungan Pada Simulasi Pembesaran Penampang

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$= 0.65 \text{ bar} - 0.59 \text{ bar}$$

$$= 0.06 \text{ bar} = 6000 \text{ Pa}$$

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + H$$

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\gamma_{1,2}} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$$

$$H = \frac{\Delta P}{\gamma_{1,2}} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \text{ (Z dihilangkan karena sama)}$$

$$H = \frac{6000 \text{ N/m}^2}{9810 \text{ N/m}^3} + \frac{(1.67)^2 \text{ m/s}^2 - (0.712)^2 \text{ m/s}^2}{19.62 \text{ m/s}^2}$$

$$H = 0.611 \text{ m} + 0.116 \text{ m}$$

$$H = 0.727 \text{ m}$$

Bilangan Reynolds (Re) :

$$Re = \frac{v \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.67 \text{ m/s} \cdot 0.025 \text{ m}}{0.804 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 51297 (>4000 = \text{Aliran Turbulen})$$

6. Perhitungan Pada Simulasi Pengecilan Penampang

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$= 0.59 \text{ bar} - 0.50 \text{ bar}$$

$$= 0.06 \text{ bar} = 6000 \text{ Pa}$$

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + H$$

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\gamma_{1,2}} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$$

$$H = \frac{\Delta P}{\gamma_{1,2}} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \text{ (Z dihilangkan karena sama)}$$

$$H = \frac{9000 \text{ N/m}^2}{9810 \text{ N/m}^3} + \frac{(0.712)^2 \text{ m/s}^2 - (1.68)^2 \text{ m/s}^2}{19.66 \text{ m/s}^2}$$

$$H = 0.917 \text{ m} - 0.117 \text{ m}$$

$$H = 0.8 \text{ m}$$

Bilangan Reynolds (Re) :

$$Re = \frac{v \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{0.712 \text{ m/s} \cdot 0.038 \text{ m}}{0.804 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 33651 (>4000 = \text{Aliran Turbulen})$$

7. Perhitungan Pada Simulasi Ball Valve

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$= 0.47 \text{ bar} - 0.44 \text{ bar}$$

$$= 0.03 \text{ bar} = 3000 \text{ Pa}$$

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + H$$

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\gamma_{1,2}}$$

$$H = \frac{\Delta P}{\gamma_{1,2}} \text{ (V dan Z dihilangkan karena konstan)}$$

$$H = \frac{3000 \text{ N/m}^2}{9810 \text{ N/m}^3}$$

$$H = 0.305 \text{ m}$$

Bilangan Reynolds (Re) :

$$Re = \frac{v \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.67 \text{ m/s} \cdot 0.025 \text{ m}}{0.804 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 51297 (>4000 = \text{Aliran Turbulen})$$

8. Perhitungan Pada Simulasi Gate Valve

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$= 0.50 \text{ bar} - 0.47 \text{ bar}$$

$$= 0.02 \text{ bar} = 2000 \text{ Pa}$$

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + H$$

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\gamma_{1,2}}$$

$$H = \frac{\Delta P}{\gamma_{1,2}} \text{ (V dan Z dihilangkan karena konstan)}$$

$$H = \frac{3000 \text{ N/m}^2}{9810 \text{ N/m}^3}$$

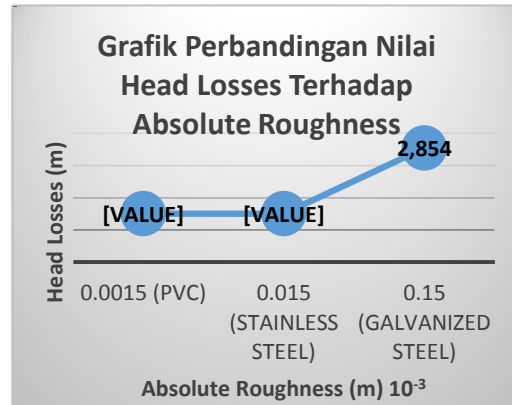
$$H = 0.305 \text{ m}$$

Bilangan Reynolds (Re) :

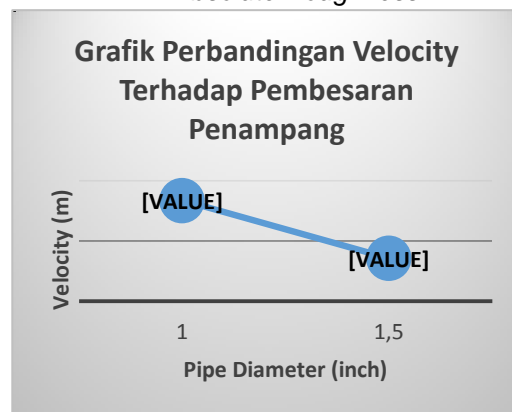
$$Re = \frac{v \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.67 \text{ m/s} \cdot 0.025 \text{ m}}{0.804 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

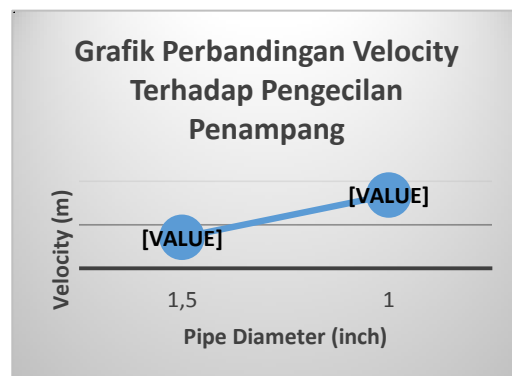
$$Re = 51297 (>4000 = \text{Aliran Turbulen})$$



Gambar 11. Grafik Head Losses Terhadap Absolute Roughness.



Gambar 12. Grafik Velocity Terhadap Pembesaran Penampang.



Gambar 13. Grafik Velocity Terhadap Pengecilan Penampang.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi numerik yang telah dilakukan, dapat penulis simpulkan sebagai berikut:

1. Perangkat lunak *Solidworks 2020* terbukti dapat melakukan simulasi aliran pada desain rancangan alat uji rugi – rugi aliran. Hasil simulasi penurunan tekanan yang didapat adalah sebagai berikut :
  - a) Penurunan tekanan pada pipa lurus dengan material *PVC*, *Stainless Steel* dan *Galvanized Steel* yang memiliki panjang 2 meter dan diameter 1 inch ini tidak berbeda secara signifikan, hal ini diakibatkan oleh nilai kekasaran permukaan pipa yang hampir sama besarnya dan panjang pipa yang digunakan. Penurunan tekanan yang terjadi secara *average* pada ketiga pipa ini yaitu sebesar 0.27 bar.
  - b) Pada pipa yang mengalami perubahan sudut akibat adanya *fitting (elbow 45°)* memiliki penurunan tekanan sebesar 0.02 bar. Penurunan tekanan pada perubahan sudut secara tiba – tiba ini adalah penurunan tekanan yang paling kecil diantara simulasi pada sambungan – sambungan lainnya.
  - c) Pembesaran luas penampang pipa dari 1 inch ke 1.5 inch mengakibatkan penurunan kecepatan fluida, sebaliknya pada pengecilan luas penampang yang serupa mengalami peningkatan kecepatan. Hal ini diakibatkan oleh hukum kontinuitas ( $Q_1=Q_2$ ) yang berlaku pada fluida yang melewati perubahan luas penampang.
  - d) Penurunan tekanan pada *ball valve* dan *gate valve* yang terbuka penuh (*fully opened*) memiliki hasil yang sama yakni sebesar 0.03 bar.
2. Hasil penurunan tekanan kemudian dianalisis dengan menggunakan persamaan *bernoulli* menunjukkan bahwa kerugian energi yang paling besar terjadi pada pipa lurus (*Major Losses*) yang menggunakan material *galvanized steel* dengan besar kerugian 2.854 m. Sementara untuk kerugian energi yang paling kecil terjadi pada pipa yang mengalami perubahan sudut 45° (*Minor Losses*) secara tiba – tiba yakni sebesar 0.273 m.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya ditujukan kepada yayasan Menara Bhakti yang telah membiayai penelitian ini melalui program

MBKM internal Universitas Mercu Buana tahun anggaran 2021/2022, khususnya untuk pembuatan alatnya. Mohon maaf bila jurnal hasil penelitian ini belum sempurna meski Penulis telah berusaha semaksimal mungkin.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Eswanto and D. Syahputra, "Analisa Distribusi Kapasitas Aliran Fluida Di Daerah Percabangan Pada Sistem Perpipaan," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.,* vol. 3, no. 1, pp. 7–11, 2017, doi: 10.31884/jtt.v3i1.7.
- [2] U. Ubaedilah, "Analisa Kebutuhan Jenis Dan Spesifikasi Pompa Untuk Suplai Air Bersih Di Gedung Kantin Berlantai 3 Pt Astra Daihatsu Motor," *J. Tek. Mesin,* vol. 5, no. 3, p. 30, 2017, doi: 10.22441/jtm.v5i3.1215.
- [3] I. Eka Putra, S. Sulaiman, and A. Galsha, "Analisa Rugi Aliran (Head Losses) pada Belokan Pipa PVC," pp. 34–39, 2017, doi: 10.21063/pimimd4.2017.34-39.
- [4] D. Ermadi and Darmanto, "Perancangan Alat Praktikum Pengujian Headloss Aliran Fluida Tak Termampatkan," *J. Ilm. Cendekia Eksakta,* vol. 2, no. 2, pp. 1–7, 2017.
- [5] D. Krisdwiyo and A. M. Akim, "Pengujian Alat Uji Rugi-Rugi Aliran Dalam Pipagalvanis, Pipa Pvc, Pipastainless Steel Dan Pipa Acrylic," *Zo. Mesin,* vol. 8, no. 2, pp. 35–45, 2017.
- [6] D. Darmulia, F. Rahman, I. Ismail, and R. Muhaimin Burhan, "Analisis Pengaruh Perubahan Katup Pada Pipa Galvanis Dan Stainless Terhadap Kerugian Head," *ILTEK J. Teknol.,* vol. 16, no. 2, pp. 65–69, 2021, doi: 10.47398/iltek.v16i2.627.
- [7] N. Yusuf and H. Hariadi, "Analisis Hasil Percobaan Alat Praktikum Rugi-Rugi Aliran Dalam Pipa," *Rang Tek. J.,* vol. 4, no. 1, pp. 180–187, 2021, doi: 10.31869/rjt.v4i1.2315.
- [8] A. Fahrudin and M. Mulyadi, "Rancang Bangun Alat Uji Head Losses Dengan Variasi Debit Dan Jarak Elbow 90O Untuk Sistem Perpipaan Yang Efisien," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin,* vol. 7, no. 1, pp. 32–35, 2018, doi: 10.24127/trb.v7i1.680.
- [9] I. M. Ramadon and A. Syuriadi, "Analisis Faktor Head Losses Penstock Terhadap Daya Yang Dihilangkan Di Plta Saguling,"

- Politeknologi*, vol. 15, no. 3, pp. 239–244, 2016, [Online]. Available: POLITEKNOLOGI VOL.15
- [10] E. Widodo, “Rekayasa Instalasi Pompa Untuk Menurunkan Head Loss,” *Rekayasa Energi Manufaktur*, vol. 1, no. 2, p. 15, 2017, doi: 10.21070/r.e.m.v1i2.378.
- [11] J. Siregar and J. Sinaga, “Perancangan Alat Uji Gesekan Aliran Di Dalam Saluran,” *J. Ilm. Tek. Mesin FEMA*, vol. 1, no. 1, p. 98787, 2013.
- [12] Z. Zainudin, I. M. Adi Sayoga, and M. Nuarsa, “Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap Head Losses Aliran Pipa,” *Din. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 75–83, 2012, doi: 10.29303/d.v2i2.97.
- [13] K. Abidin and S. Wagiani, “Studi Analisis Perbandingan Kecepatanaliran Air Melalui Pipa Venturi Dengan Perbedaan Diameter Pipa,” *J. Din.*, vol. 4, no. 1, pp. 62–78, 2013.
- [14] N. Z. I. Jalaluddin, Saiful Akmal, “Jurnal Teknologi Kimia Unimal Jurnal Teknologi Kimia Unimal Analisa Profil Aliran Fluida Cair dan Pressure Drop pada Pipa L menggunakan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD),” *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 4, no. 2, pp. 20–30, 2013, [Online]. Available: <http://ojs.unimal.ac.id/index.php/jtk>
- [15] A. F. Wicaksono, S. Subekti, and K. Indriyanto, “Analisis Pengaruh Penyumbatan Aliran Fluida Pada Pipa Dengan Metode Fast Fourier Transform,” *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 77–83, 2021, [Online]. Available: <https://journal.uny.ac.id/index.php/dinamik/a/issue/view/2049>
- [16] T. Febrianto, □ Sukiswo, S. E. Sukiswo, and Sunarmo, “Rancang Bangun Alat Uji Kelayakan Pelumas Kendaraan Bermotor Berbasis Mikrokontroler,” *Unnes Phys. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 30–34, 2013, [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/upj>
- [17] M. Tang, “Pengaruh Penambahan Pelarut Organik Terhadap Tegangan Permukaan Larutan Sabun,” vol. 2011, no. Snips, pp. 22–23, 2011.
- [18] S. E. Priyanto, “Analisa Aliran Fluida Pada Pipa Acrylic Diameter 12,7 mm (0,5 inci) Dan 38,1 mm (1,5 inci),” pp. 274–282, 2020.
- [19] R. P. Wardhani, “Sistem Perpipaan Inline Blending Premium (Piping System Of Inline Blending Premium),” vol. 9, no. April, pp. 58–64, 2016.
- [20] H. Ahyadi, D. Suprijatmono, and I. Alcoholili, “Analisis Kinerja Sistem Distribusi Air Bersih Di Anjungan Lepas Pantai Pt. X,” *Presisi*, vol. 23, no. 2, pp. 74–84, 2021.
- [21] I. Rumanto, S. Sunaryo, and A. Irfan, “Analisis Computational Fluid Dynamic (CFD) Penyebaran Panas Pada Dapur Peleburan Aluminium,” *Device*, vol. 11, no. 1, pp. 34–39, 2021, doi: 10.32699/device.v11i1.1785.
- [22] M. Fitri and F. Rizqiansyah, “Design of Frame for the Pump Performance Test Equipment Using Vdi 2221 Method,” *Int. J. Innov. Mech. Eng. Adv. Mater.*, vol. 4, no. 1, p. 17, 2022, doi: 10.22441/ijimeam.v4i1.15374.
- [23] A. Pratama and M. Fitri, “Rancang Bangun Alat Uji Konstanta Pegas Untuk Kapasitas 50 N/Mm Menggunakan Metode Vdi 2221,” *AME (Aplikasi Mek. dan Energi) J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, p. 41, 2020, doi: 10.32832/ame.v6i2.3316.
- [24] A. Basri and D. M. Fitri, “Perancangan Alat Uji Prestasi Pompa Menggunakan Metode VDI 2221,” *J. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 3, 2021.