

ISSN (ONLINE) 2598-9936



INDONESIAN JOURNAL OF INNOVATION STUDIES
PUBLISHED BY
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO

Table Of Contents

Journal Cover	1
Author[s] Statement	3
Editorial Team	4
Article information	5
Check this article update (crossmark)	5
Check this article impact	5
Cite this article.....	5
Title page	6
Article Title	6
Author information	6
Abstract	6
Article content	7

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>

Indonesian Journal of Innovation Studies

Vol. 26 No. 4 (2025): October
DOI: 10.21070/ijins.v26i4.2111

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

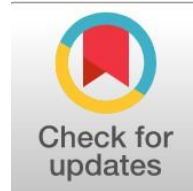
Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

How to submit to this journal ([link](#))

Article information

Check this article update (crossmark)



Check this article impact (*)



Save this article to Mendeley



(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

CFD Simulation Reveals Pressure Drop in Pipe Flow System: Simulasi CFD Mengungkap Penurunan Tekanan pada Sistem Aliran Pipa

Muhamad Ridwan Yunus, aliakbar@umsida.ac.id (*)

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Ali Akbar, aliakbar@umsida.ac.id

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Rachmat Firdaus, aliakbar@umsida.ac.id

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Metatia Intan \ Mauliana, aliakbar@umsida.ac.id

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

(*) Corresponding author

Abstract

General Background Fluid flow analysis in piping systems is essential for understanding energy losses and system performance in engineering applications. **Specific Background** Computational Fluid Dynamics (CFD) has been widely applied to simulate fluid behavior and pressure distribution in complex pipe geometries. **Knowledge Gap** However, detailed analysis of flow characteristics and pressure drop in specific pipe configurations, particularly at bends, remains limited. **Aims** This study aims to analyze fluid flow patterns and pressure drop in a piping system using CFD simulation. **Results** The results show that pressure drop increases with higher flow velocity and is significantly affected by pipe geometry, especially at bends where turbulence and vortex formation occur. Flow visualization indicates non-uniform pressure distribution and localized energy losses. **Novelty** This study provides detailed numerical insight into the interaction between flow velocity and pipe geometry using CFD visualization. **Implications** The findings can support the optimization of piping system design to reduce energy losses and improve operational efficiency.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, Pressure Drop, Pipe Flow, Fluid Simulation, Turbulence

Key Findings Highlights

Increased velocity intensifies energy loss along piping sections

Flow separation appears prominently in curved geometry regions

Numerical visualization clarifies localized pressure distribution

Published date: 2026-04-30

Pendahuluan

Fluida adalah zat yang bergerak ketika diberikan gaya. Fluida dapat berubah bentuk dan bersifat tidak tetap. Fluida membentuk berbagai jenis benda padat sesuai dengan bentuk benda yang dilaluinya. Karakteristik aliran fluida meliputi massa jenis, tekanan, viskositas, koefisien gesek dan kecepatan aliran[1]

Viskositas merupakan salah satu faktor kunci dalam mekanika fluida karena memengaruhi resistensi aliran dan kehilangan energi. Ketika fluida mengalir melalui pipa, interaksi antara lapisan fluida dan dinding pipa menghasilkan gaya gesekan yang mengurangi kecepatan aliran dan menurunkan tekanan. Faktor-faktor seperti bilangan Reynolds, diameter pipa, dan faktor gesekan mempengaruhi seberapa besar penurunan tekanan ini terjadi. Bilangan Reynolds, yang merupakan perbandingan antara gaya inersia dan gaya viskos, membantu menentukan apakah aliran bersifat laminar atau turbulen, yang pada gilirannya mempengaruhi distribusi kecepatan fluida dan penurunan tekanannya. Pada aliran turbulen, misalnya, viskositas fluida berperan dalam mengatur distribusi energi antara lapisan fluida, memperbesar gaya gesekan dan menghasilkan penurunan tekanan yang lebih besar[2]-[4].

Dalam aplikasi industri, penting untuk mempertimbangkan penurunan tekanan ini, terutama pada sistem perpipaan yang kompleks seperti dalam pembangkit listrik, industri kimia, dan sistem distribusi air, karena penurunan tekanan yang besar dapat memengaruhi efisiensi sistem dan kebutuhan energi tambahan untuk mempertahankan aliran yang diinginkan. Pipa dengan tikungan atau belokan juga akan mengalami penurunan tekanan tambahan karena perubahan arah aliran yang menambah gangguan dan menghasilkan lebih banyak gesekan. Faktor-faktor ini harus diperhitungkan dalam desain dan analisis sistem aliran fluida dalam pipa[5]-[7]

Efek gesekan yang terjadi antara fluida dan permukaan pipa menyebabkan terbentuknya *boundary layer* atau lapisan batas dengan ketebalan yang terus bertambah seiring dengan perjalanan aliran di sepanjang permukaan pipa. Di dalam *boundary layer* ini, kecepatan fluida meningkat dari nol (di permukaan pipa) hingga mengakibatkan mendekati kecepatan aliran bebas (di luar *boundary layer*)[8]-[10]. Fenomena ini sangat bergantung pada beberapa faktor utama, seperti gradien tekanan, kekasaran permukaan pipa, dan kondisi aliran bebas. Dalam kehidupan sehari-

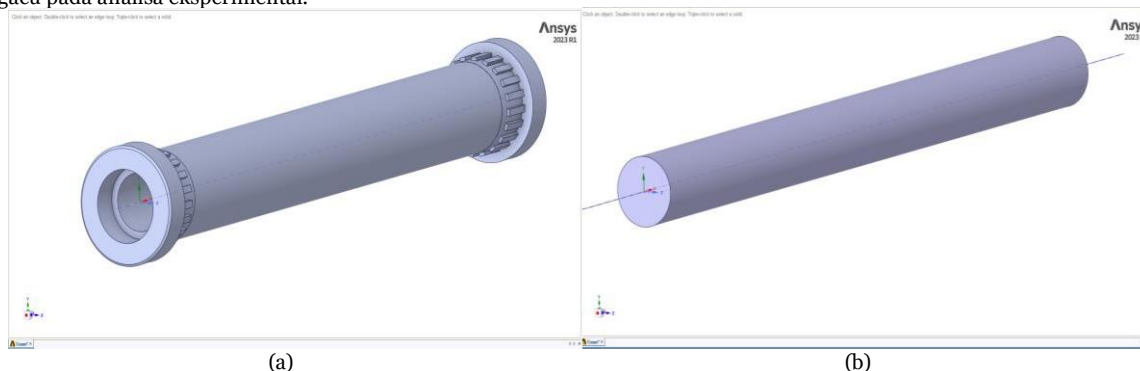
hari, prinsip-prinsip *boundary layer* dan aliran fluida, termasuk transisi dari aliran laminar ke turbulen, memiliki penerapan yang luas di berbagai bidang teknik, seperti penukar kalor, pipa air, hidrodinamika, aerodinamika, kipas angin dan turbin[11].

Oleh karena itu, untuk memperkirakan aliran fluida kompleks yang terjadi dalam sistem perpipaan maka studi numerik seperti *computational fluid dynamics (CFD)* dilakukan. Metode *CFD* memberikan kemudahan untuk menganalisis aliran *boundary layer* di sepanjang permukaan pipa lurus dan karakteristik aliran fluida [11]-[13].

METODE

A. Geometri Pipa Penelitian

Pembuatan geometri pipa menggunakan *software Solidwork* dan kemudian di export ke *Ansys SpaceClaim*, desain pipa ini mengacu pada analisa eksperimental.



Gambar 1. (a) Desain Pipa Penelitian (b) Domain Fluida Pipa

Pada penelitian ini digunakan pipa akrilik digunakan sebagai objek simulasi *CFD* memiliki dimensi sebagai berikut:

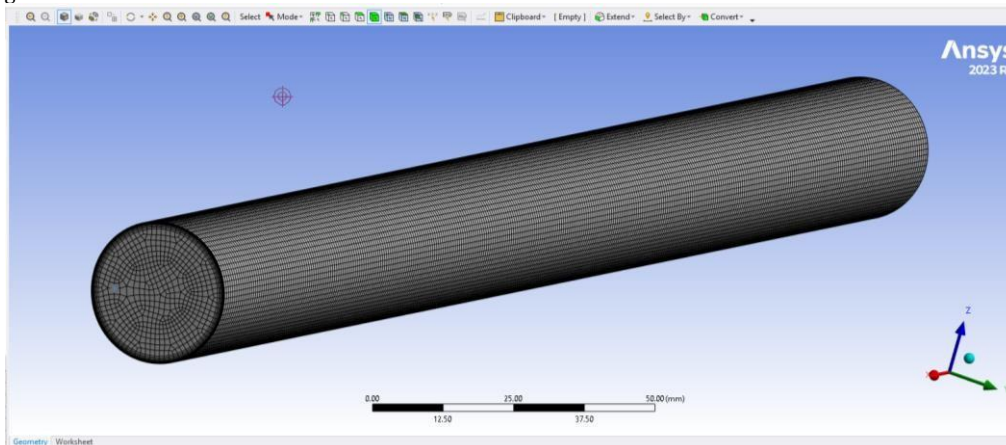
Tabel 1. Informasi Dimensi Ukuran Geometri Pipa Penelitian dan Domain Pipa

No	Nama	Keterangan Dimensi Ukuran
1	Diameter Pipa Uji	25.4 mm
2	Panjang Total Pipa	368 mm
3	Panjang Pipa Uji	250 mm
4	Diameter Domain Fluida	25.4 mm
5	Panjang Domain Fluida	340 mm

B. Meshing

Untuk menemukan keseimbangan yang wajar antara upaya komputasi dan akurasi solusi, kualitas mesh menjadi krusial [14],[15].

Meshing menggunakan Metode *multizone* dan dipermukaan dinding pipa di tambahnya 10 *inflation layer* diharapkan untuk hasil simulasi yang lebih akurat.



Gambar 2. Multizone Mesh dan Inflation Layer Detail dari informasi mesh di tunjukan pada tabel 1.

Tabel 2. Informasi *Meshing*

No	Nama	Keterangan <i>Meshing</i>
1	<i>Nodes</i>	460023
2	<i>Element</i>	444808
3	<i>Orthogonal Quality</i>	0.99322
4	<i>Skewness</i>	7.2255e-002
5	<i>Method</i>	<i>Multizone</i>
6	<i>Inflation</i>	10

C. Setup (processing)

1. Boundary Condition

Berikut adalah parameter-parameter yang di terapkan pada software ansys dalam *boundary condition*, terlihat pada tabel 2.

Tabel 3. Informasi *Boundary Conditions*

Nama	Keterangan
<i>Velocity Inlet</i>	
<i>Velocity Magnitude</i>	0.315 m/s
<i>Hydraulic Diameter</i>	25.4 mm
<i>Pressure Outlet</i>	
<i>Gauge Pressure</i>	0
<i>Hydraulic Diameter</i>	25.4 mm
<i>Wall-Plexiglass (Akrilik)</i>	
<i>Wall Motion</i>	<i>Stationary wall</i>
<i>Shear Condition</i>	<i>No-Slip</i>
<i>Height Rougness</i>	0.000041 mm

Boundary conditions dalam analisis *CFD* sangat penting untuk menentukan karakteristik aliran fluida. Seperti *velocity inlet*, mempengaruhi distribusi kecepatan, sedangkan *pressure outlet*, menentukan penurunan tekanan di sepanjang pipa[16]. Pada dinding pipa, *wall boundary conditions*, seperti *no-slip*, membentuk lapisan batas dan memengaruhi profil kecepatan. Kekasaran dinding juga berperan signifikan terhadap distribusi kecepatan dan headloss. Dengan penentuan *boundary conditions* yang tepat, distribusi kecepatan dan tekanan dapat dimodelkan secara akurat[17].

2. Model *Viskos* dan Solver

Dalam aliran turbulen maupun laminar perbedaan solver dan model *viscous* pada pengaturan sangat berperan penting dalam menentukan hasil dan ketelitiannya dalam sebuah analisis *CFD*.

Tabel 4. Informasi *Viscous* dan Solver

Nama	Keterangan
Fluida (Udara)	
Densitas (kg/m^3)	1.225
Viskositas ($kg/m \cdot s$)	0.00001789
Viscous dan Solver	
Dimensi	3D

Kondisi Aliran	Steady-State
Energy	Off
Multiphase	Off
Viskos	K-Omega SST
Tipe	COUPLED
Initialisasi	Hybrid

D. Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan mengambil nilai tekanan dan kecepatan pada titik yang di tentukan, titik tersebut berada pada posisi depan lubang jarum pada studi ekperimentalnya. Pengambilan data dari titik origin ke arah yang di tentukan mulai dari point-p1, point-p2, point-p3, point-p4, dan point-p5. Untuk detail posisi point yang dapat dilihat pada tabel berikut.

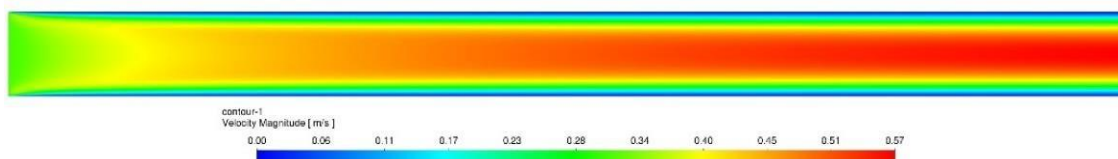
Tabel 5. Letak Titik Pengambilan Data

Nama	Koordinat (mm)		
	X	Y	Z
point-p1	63	-11	0
point-p2	112	-5.66	-5.66
point-p3	161	-4.24	4.24
point-p4	210	0	-4
point-p5	256	0	0

HASIL DAN PEMBAHASAN

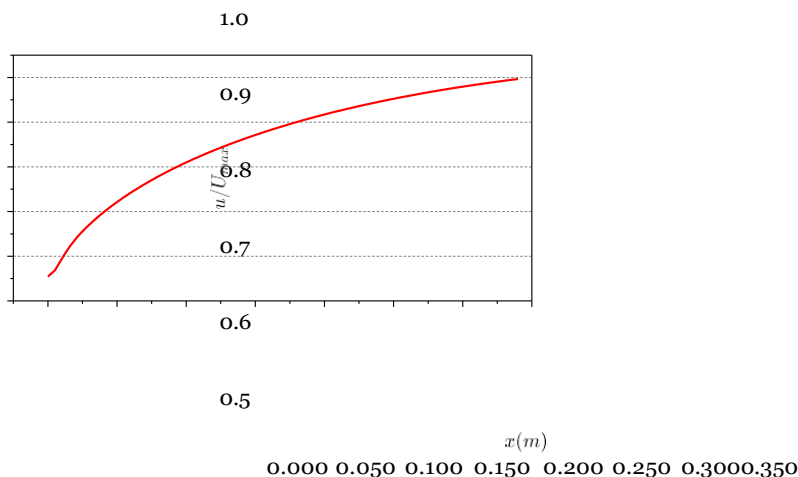
A. Hasil Simulasi

1. Profile Kecepatan



Gambar 3. Kontur Kecepatan

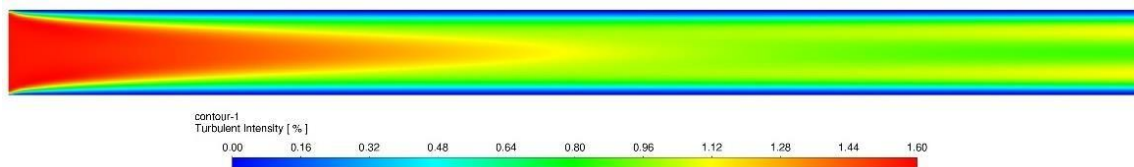
Pada gambar 3.1 menunjukkan distribusi kecepatan aliran dalam sebuah pipa dengan skala warna yang mewakili besar kecepatan dalam satuan meter per detik (m/s). Pada bagian masuk (*inlet*) di sebelah kiri. Pada bagian tepi atas dan bawah pipa menunjukkan aliran melambat ketika mendekati dinding pipa karena gesekan antara fluida dan permukaan pipa, hal ini disebabkan oleh efek *boundary layer*.



Gambar 4. Grafik Kecepatan Pada Penampang Pipa

Pada grafik tersebut, sumbu horizontal menunjukkan posisi sepanjang penampang pipa dalam meter (m), sedangkan sumbu vertikal merupakan rasio kecepatan fluida pada arah aliran utama terhadap kecepatan maksimum (u/U_{max}) dalam penampang pipa, dengan nilai bersifat tanpa dimensi (dimensionless).

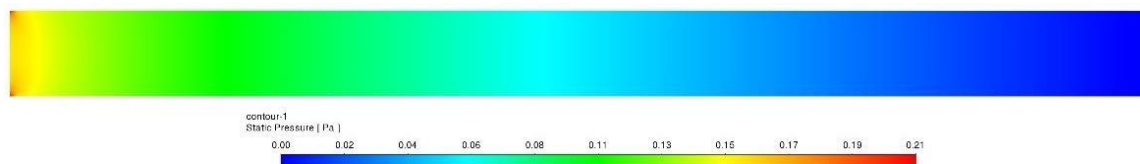
2. Intensitas Turbulen



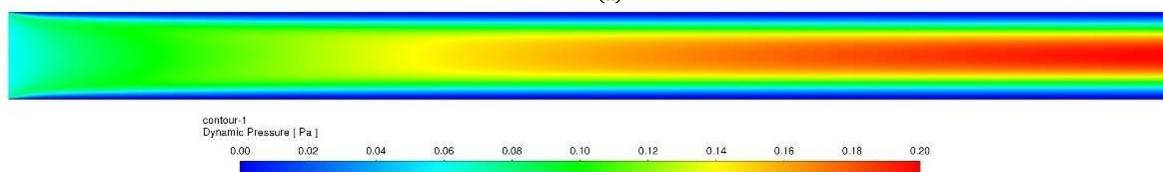
Gambar 5. Profile Intensitas Turbulent

Gambar distribusi Intensitas turbulensi direpresentasikan dengan gradasi warna, di mana setiap warna menunjukkan tingkat turbulensi tertentu berdasarkan persentase. Warna biru gelap mengindikasikan intensitas turbulensi yang sangat rendah, sekitar 0.01%, yang umumnya terjadi di dekat dinding pipa atau pada daerah aliran yang stabil.

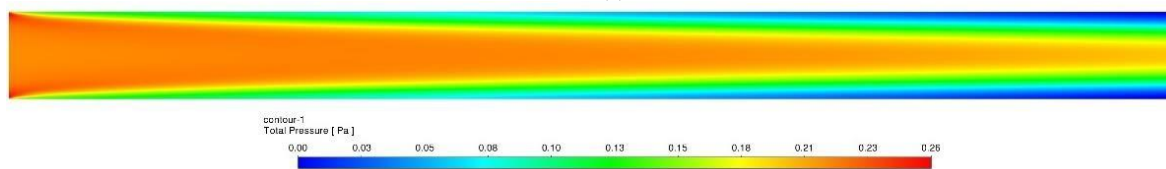
3. Profile Tekanan



(a)



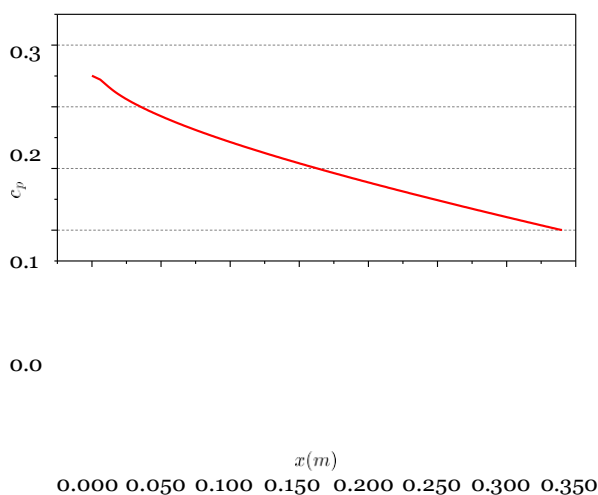
(b)



(c)

Gambar 6. Hasil Distribusi Kontur (a) Tekanan Statis, (b) Tekanan Dinamis dan (c) Tekanan Total

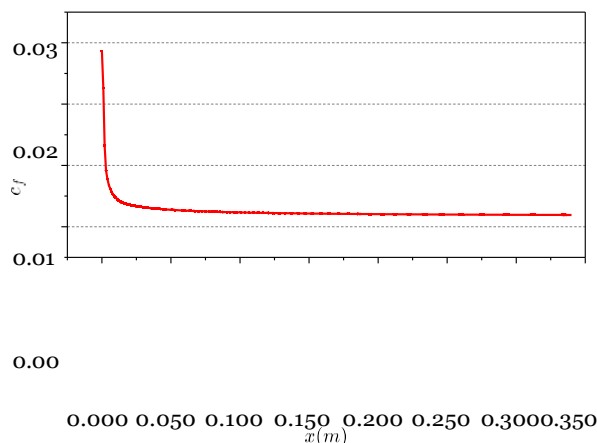
Tekanan statis bervariasi sepanjang pipa, dengan penurunan tekanan terjadi secara perlahan-lahan sepanjang penampang pipa. Untuk tekanan dinamis, terkait erat dengan kecepatan aliran, ditunjukkan oleh variasi warna pada gambar. Daerah dengan warna merah mengindikasikan kecepatan aliran yang tinggi, sementara daerah dengan warna biru menunjukkan kecepatan aliran yang rendah. Perubahan tekanan dinamis ini umumnya disebabkan oleh perubahan penampang pipa.



Gambar 7. Grafik Koefisien Tekanan Pada Penampang Pipa

Grafik ini merupakan hasil simulasi CFD yang menggambarkan distribusi koefisien tekanan (C_p) sepanjang penampang pipa dengan panjang total 340 mm. Sumbu horizontal (x) menunjukkan posisi sepanjang pipa dalam satuan meter, sedangkan sumbu vertikal merepresentasikan nilai koefisien tekanan tanpa dimensi.

4. Koefisien Gesek Dinding

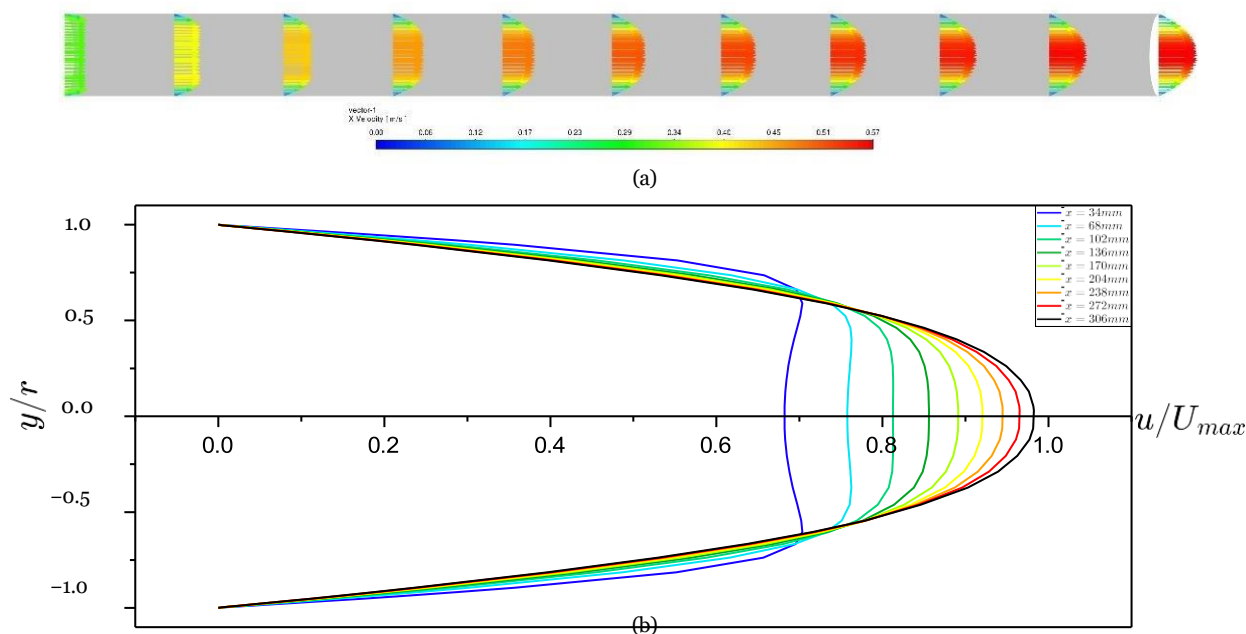


Gambar 8. Koefisien Gesek Sepanjang Permukaan Dinding Pipa

Grafik ini menggambarkan distribusi koefisien gesekan dinding (c_f) pada dinding pipa dengan panjang total 340 mm berdasarkan hasil simulasi CFD. Sumbu horizontal (x) menunjukkan posisi sepanjang pipa dalam satuan meter, sedangkan sumbu vertikal merepresentasikan nilai yaitu koefisien gesekan kulit (c_f) tanpa dimensi.

Pada awal pipa, nilai sangat tinggi, sekitar 0,04. Hal ini disebabkan oleh adanya lapisan batas yang baru terbentuk di dekat inlet, di mana gradien kecepatan normal terhadap dinding sangat besar, menghasilkan gesekan yang signifikan. Namun, seiring bertambahnya Panjang (x), nilai c_f menurun tajam. Penurunan ini mencerminkan perkembangan lapisan batas yang semakin tebal, sehingga efek gesekan terhadap fluida menjadi lebih kecil.

B. Perkembangan Boundary Layer Sepanjang Pipa



Gambar 9. (a) Profile Vektor Kecepatan (b) Grafik Profile Kecepatan di Setiap Posisi X

Seiring bertambahnya jarak x , lapisan batas terlihat tumbuh lebih tebal, yang dapat diamati dari profil kecepatan yang menjadi lebih parabolik. Pada ($x = 0.170\text{ mm}$) dan seterusnya, area dengan kecepatan maksimum di tengah pipa menyusut, dan distribusi kecepatan menunjukkan transisi menuju aliran sepenuhnya berkembang (*fully developed flow*).

Pada posisi lebih hilir ($x = 0.272\text{ mm}$ s/d $x = 0.306\text{ mm}$), profil kecepatan telah berbentuk parabolik sempurna, yang merupakan karakteristik aliran laminar sepenuhnya berkembang dalam pipa. Dalam kondisi ini, gradien kecepatan di dekat dinding tetap konstan, dan tidak ada perubahan signifikan pada profil kecepatan di sepanjang panjang pipa.

C. Data Hasil Pada Titik Tertentu

Data hasil simulasi mencakup kecepatan (m/s) dan Tekanan (Pa) pada titik yang koordinatnya telah ditentukan dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 6. Hasil Kecepatan dan Tekanan Pada Titik yang Ditentukan

Nama	Kecepatan (m/s)	Tekanan Statik (Pa)	Tekanan Dinamis (Pa)	Tekanan Total (Pa)
Point-p1	0.236	0.106	0.034	0.140
Point-p2	0.408	0.082	0.102	0.184
Point-p3	0.467	0.062	0.134	0.196

Point-p4	0.507	0.044	0.158	0.202
Point-p5	0.545	0.027	0.182	0.209

D. Pembahasan Hasil Simulasi

Hasil simulasi menunjukkan perkembangan aliran dari kondisi belum berkembang (developing flow) hingga mencapai aliran berkembang penuh (fully developed flow). Pada daerah dekat inlet, boundary layer mulai terbentuk dan tumbuh secara progresif sepanjang pipa hingga bertemu di tengah penampang. Hal ini menghasilkan profil kecepatan berbentuk parabola, yang khas pada aliran laminar. Efek gesekan antara fluida dan dinding pipa menyebabkan kecepatan fluida di dekat dinding mendekati nol (no-slip condition). Setelah boundary layer mencapai ketebalan maksimum, aliran menjadi sepenuhnya berkembang.

Nilai koefisien gesekan dinding (c_f) mengalami penurunan signifikan di daerah dekat inlet akibat gradien kecepatan yang tinggi. Setelah aliran mencapai kondisi berkembang penuh, nilai c_f stabil dan menunjukkan karakteristik khas aliran laminar. Kecepatan maksimum tercapai di tengah penampang pipa dan lebih tinggi dari kecepatan inlet. Hal ini sesuai dengan prinsip kekekalan massa dan momentum dalam aliran internal. Pada inlet, kecepatan fluida seragam sebesar 0.329 m/s, kemudian boundary layer mulai terbentuk dalam daerah yang disebut entrance region. Setelah boundary layer berkembang sepenuhnya, aliran memasuki fully developed region, yang tetap stabil kecuali ada gangguan seperti belokan, ekspansi, atau kontraksi.

Tekanan statik pada outlet diambil sebagai nol, yang berarti setara dengan tekanan atmosfer. Sementara itu, tekanan dinamis dihitung berdasarkan kecepatan aliran pada penampang pipa. Tidak terdapat perubahan signifikan dalam intensitas turbulensi, yang menegaskan bahwa aliran dalam simulasi ini tetap laminar. Hal ini dikonfirmasi oleh perhitungan Reynolds number, di mana transisi menuju turbulensi biasanya terjadi pada intensitas turbulensi di atas 5%.

IV KESIMPULAN

Dari hasil simulasi CFD pada penampang pipa telah dilakukan didapatkan hasil yang dapat di simpulkan sebagai berikut.

Aliran berkembang dari kondisi developing flow hingga mencapai fully developed flow. Boundary layer tumbuh secara bertahap sepanjang pipa hingga bertemu di tengah penampang, menghasilkan profil kecepatan parabola khas aliran laminar. Koefisien gesekan dinding (c_f) mengalami penurunan signifikan di dekat inlet akibat gradien kecepatan yang tinggi, lalu stabil setelah aliran berkembang penuh.

Kecepatan maksimum terjadi di tengah penampang pipa dan lebih tinggi dari kecepatan inlet, sesuai dengan hukum kekekalan massa dan momentum. Tekanan statik pada outlet dianggap nol sebagai referensi terhadap tekanan atmosfer, sementara tekanan dinamis bergantung pada kecepatan fluida.

Tidak ada perubahan signifikan dalam intensitas turbulensi, menegaskan bahwa aliran tetap laminar dengan Reynolds number pada inlet yang menunjukkan kondisi fully developed laminar flow

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang bermanfaat serta rekan aslab, rekan himpunan, maupun teman teman seperjuangan yang telah membantu untuk menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

1. J. Jalaluddin, S. Akmal, N. ZA, and I. Ibrahim, "Analisa Profil Aliran Fluida Cair dan Pressure Drop pada Pipa L Menggunakan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD)," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. 8, no. 1, pp. 97–108, 2019, doi: 10.29103/jtku.v8i1.3396.
2. Y. Ge et al., "Application and Development of Optical-Based Viscosity Measurement Technology," *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 181, p. 108413, 2024, doi: 10.1016/j.optlaseng.2024.108413.
3. N. Hayati, A. Purwanto, and E. Muladi, "CFD for Analyzing Head Loss Due to Diameter Change," *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 18, no. 2, pp. 1–4, 2023.
4. E. J. Rumaherang et al., "Study of Fluid Flow Regime and Head Loss Due to Friction in Piping Installation," *ALE Proceeding*, vol. 6, pp. 154–161, 2023.
5. D. Pratama, K. Hadiningrum, and R. F. Muldiani, "Initial Study of Temperature Effect on Fluid Flow Characteristics in Pipe Bend Using Simulation," *Jurnal MIPA*, vol. 11, no. 2, p. 68, 2022.
6. S. Sudirman and H. Harves, "Analysis of Head Loss in Straight Pipe with Flow Rate and Diameter Variation," *Jurnal Mekanova*, vol. 8, no. 2, p. 165, 2022.
7. A. Admin et al., "Design of Water Flow Visualization in Tubular Pipe with Vortex Generator," *Teknika STTKD*, vol. 7, no. 2, pp. 205–215, 2021.
8. S. Hutagalung and W. A. Widodo, "Numerical Study of Flow Across Circular Cylinder with Airfoil Placement," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 13, no. 1, 2024.
9. T. Joshi et al., "Numerical Investigation of Slurry Pressure Drop in Pipe Using CFD," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 47, no. 12, pp. 15391–15414, 2022.
10. L. Silvestri, "CFD Modeling in Industry 4.0," *Procedia Computer Science*, vol. 180, pp. 381–387, 2021.
11. D. Achmad et al., "Numerical Investigation of Rotary Agitator in Fluidized Bed," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 10, no. 4, pp. 589–596, 2022.
12. A. Yonanda and D. A. Amrizal, "Characteristics of Spiral Flat Plate Solar Collectors Using CFD," *Open Science and Technology*, vol. 1, no. 1, 2021.
13. M. U. Nuha et al., "Numerical Analysis of Airflow in Nasal Cavity Using Finite Volume Method," *Limits Journal*, vol. 19, no. 2, p. 217, 2022.
14. A. Kusmayadi et al., "Application of CFD on Raceway Design for Microalgae Cultivation," *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, vol. 47, no. 4–5, pp. 373–382, 2020.
15. S. Schmelter et al., "Simulation of Two-Phase Slug Flow in Pipes," *Flow Measurement and Instrumentation*, vol. 73, 2020.
16. B. G. D. C. Anggarana and I. M. G. Karohika, "Aerodynamic Analysis of Car Body Using CFD," *SIBATIK Journal*, vol. 1, no. 8,

pp. 1455–1462, 2022.

17. A. Ruggiero et al., "Comparison of Meshing Strategies in Finite Element Modelling," *Materials*, vol. 12, no. 14, pp. 1–11, 2019.