

# Simulasi Numerik Boundary Layer Pada Aliran Di Dalam Pipa Lurus

Oleh:

Muhama Ridwan Yunus

All Akbar

Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Februari 2025

# 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.

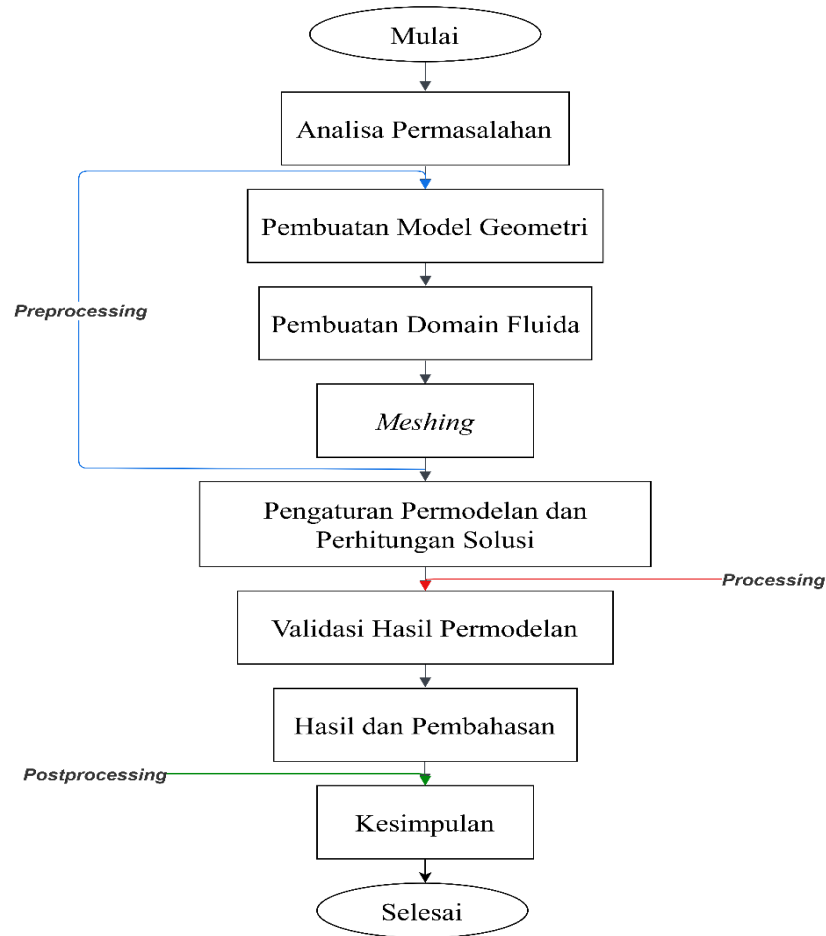
Viskositas merupakan salah satu faktor kunci dalam mekanika fluida karena memengaruhi resistensi aliran dan kehilangan energi. Ketika fluida mengalir melalui pipa, interaksi antara lapisan fluida dan dinding pipa menghasilkan gaya gesekan yang mengurangi kecepatan aliran dan menurunkan tekanan.

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

# Pertanyaan Penelitian (Rumusan Masalah)

1. Bagaimana mengembangkan model CFD untuk analisis boundary layer pada permukaan pipa lurus?
2. Bagaimana metode CFD dapat digunakan untuk menganalisa aliran boundary layer di sepanjang permukaan pipa lurus?
3. Bagaimana distribusi kecepatan dan tekanan di dalam pipa lurus?

# Metode

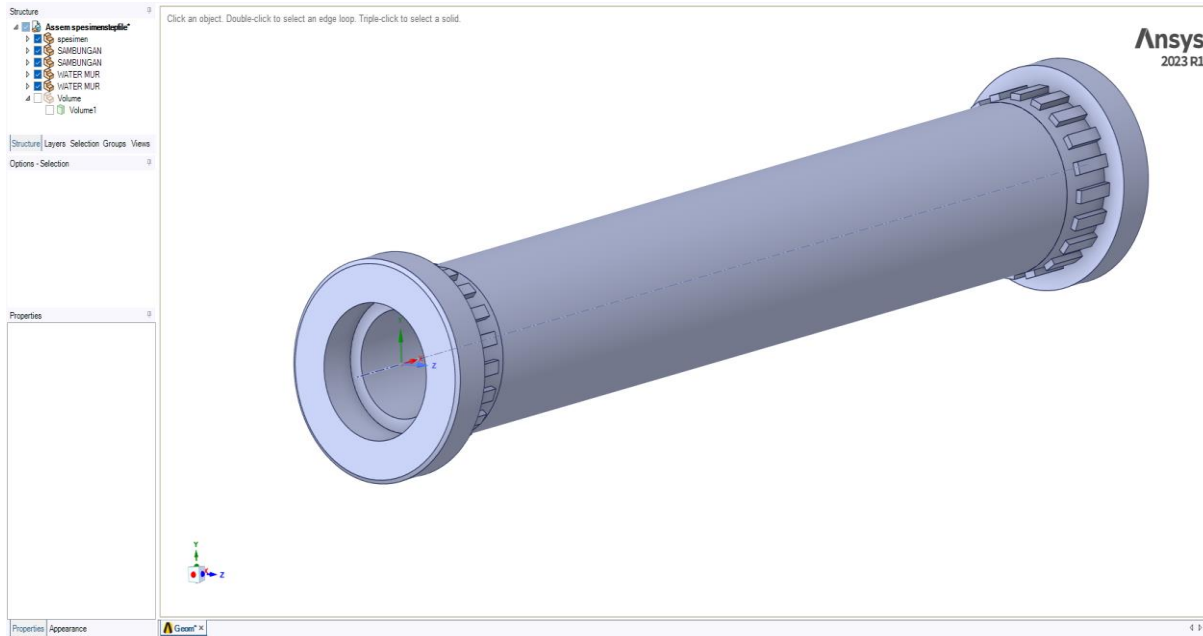


Proses pemodelan dalam penelitian ini dimulai dalam beberapa langkah dengan mempertimbangkan temuan eksperimen yang telah diterapkan pada item tersebut. Berikut adalah penjelasan terperinci tentang metodologi penelitian ini :

1. Preprocessing
2. Processing
3. Postprocessing

# Metode

## Pembuatan Geometri



## Pembuatan Geometri Pipa

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

Diameter Pipa uji : 25,4 mm

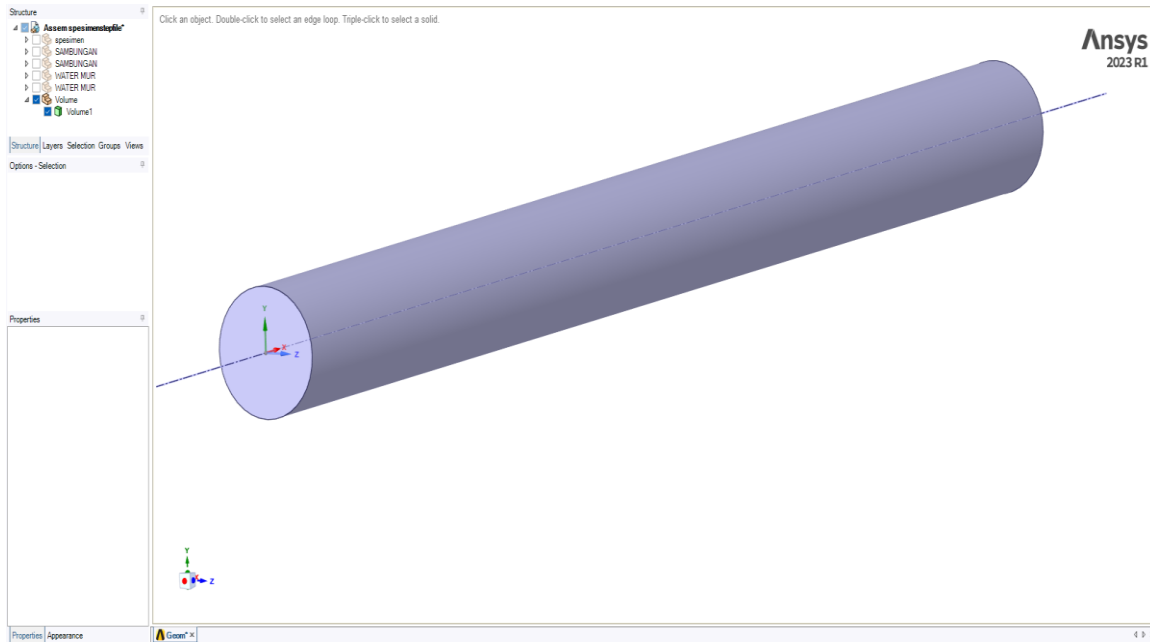
Diameter sambungan pipa : 59 mm

Panjang pipa total : 368 mm

Panjang pipa uji : 250 mm

# Metode

## Domain Fluida

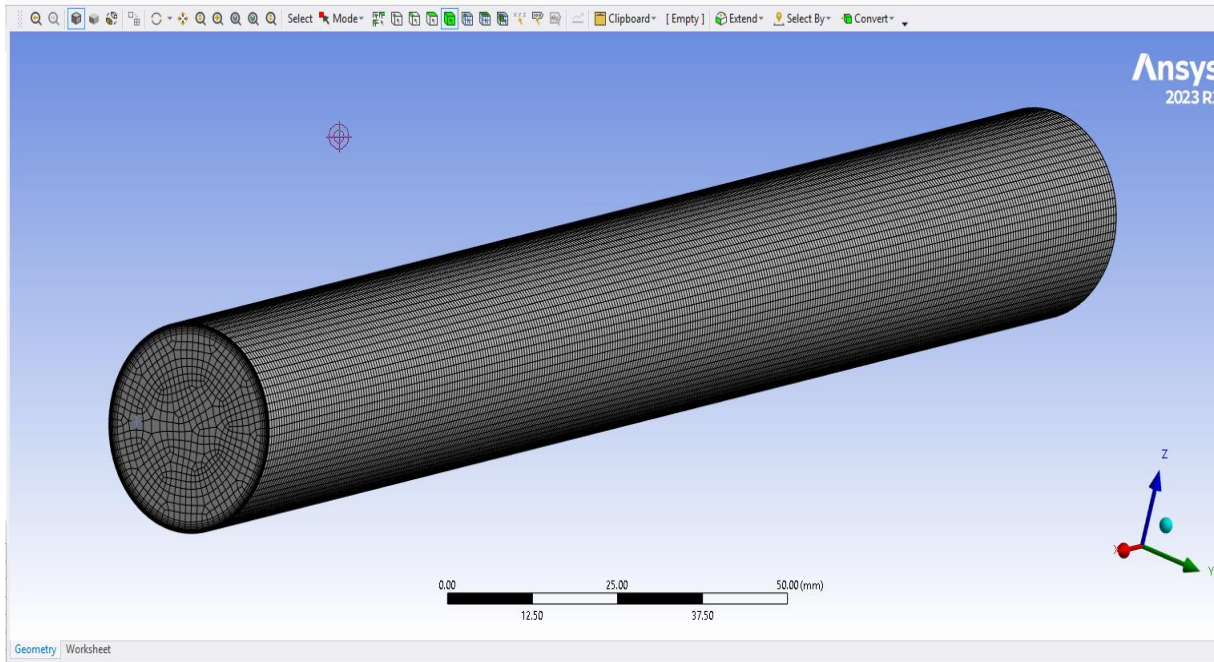


Kondisi batas kemudian diberikan untuk memfasilitasi pengumpulan data, khususnya dalam memilih bagian yang selanjutnya akan dimasukkan dengan nilai properti untuk digunakan dalam operasi *Ansys Meshing* dan *Fluent*..

- a. Inlet (aliran masuk)
- b. Outlet (aliran keluar)
- c. Wall (dinding batas fluida)
- d. Wall Sambungan

# Metode

## Meshing



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

# Metode

## Setup(Processing)

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

# Metode

## Setup(Processing)

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

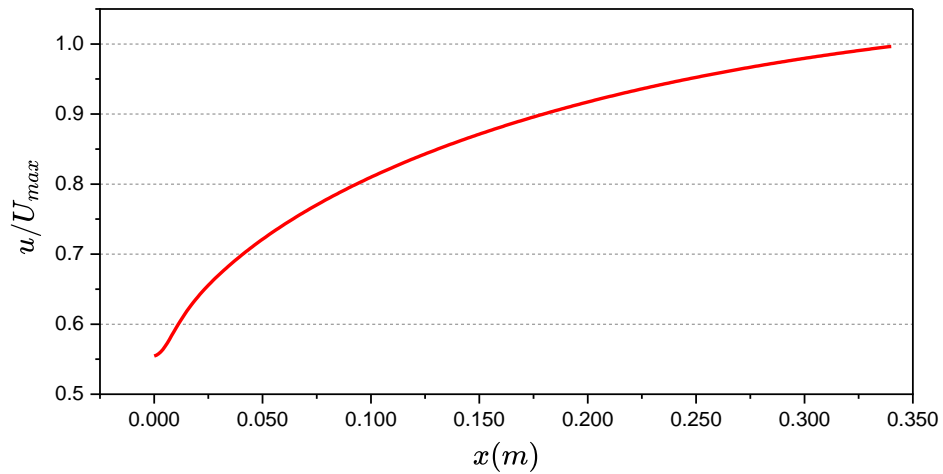
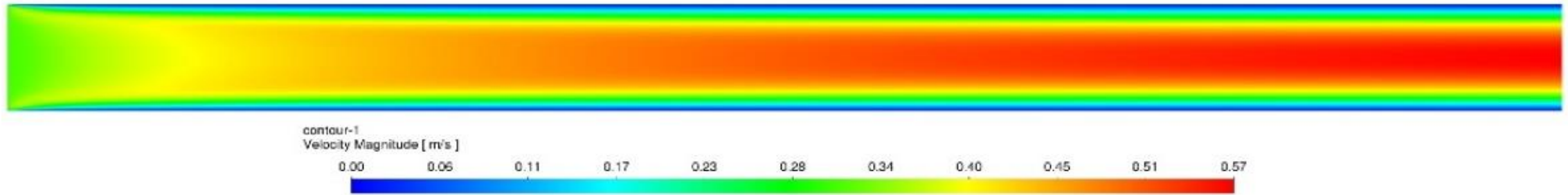
# Metode

## Teknik 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

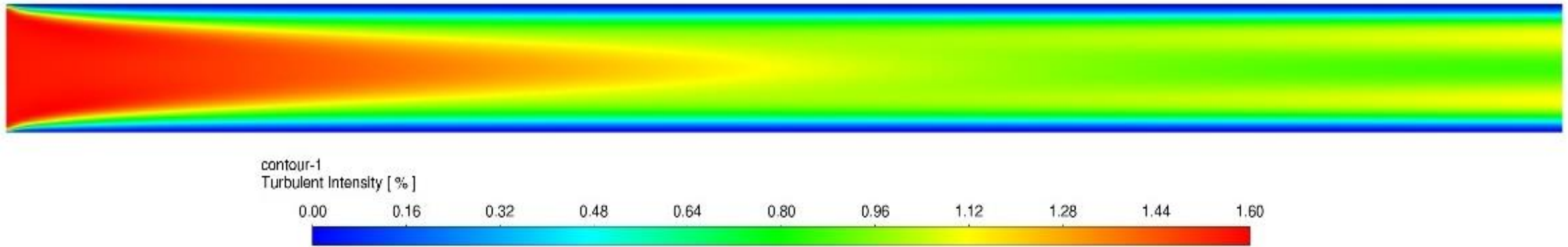
## Profil Kontur Kecepatan



Grafk  $u/U_{max}$  berbanding Panjang pipa dimana ini diambil di tengah penamparan pipa.

# Hasil

## Profil Turbulen Intensitas

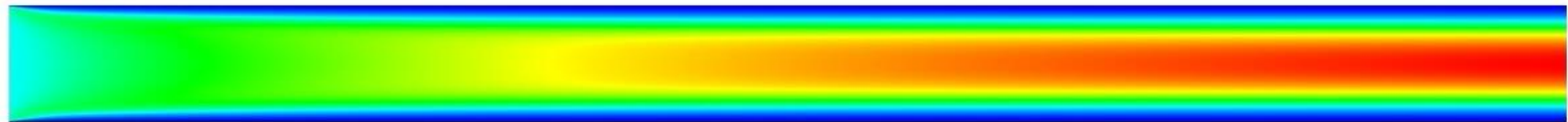


# Hasil

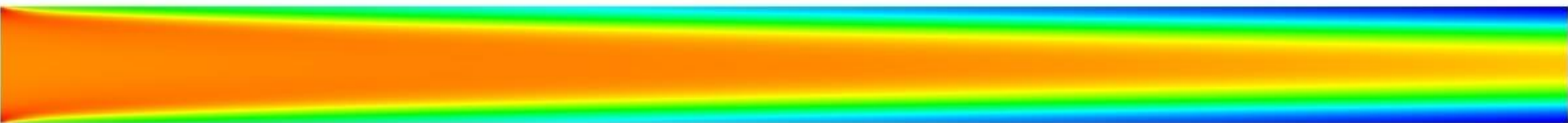
## Profil Tekanan



Tekanan Statis



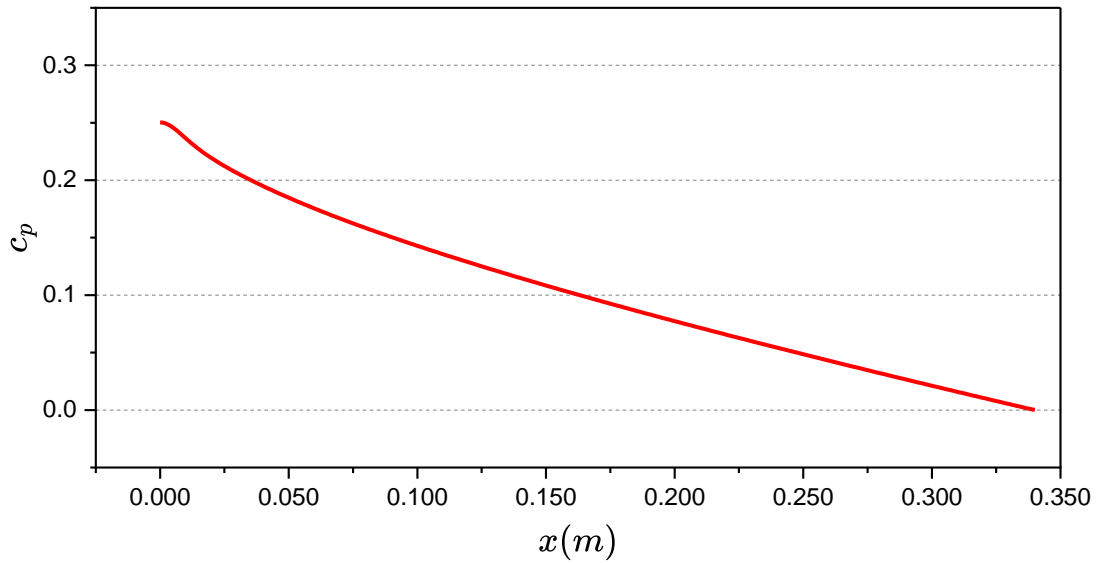
Tekanan Dinamis



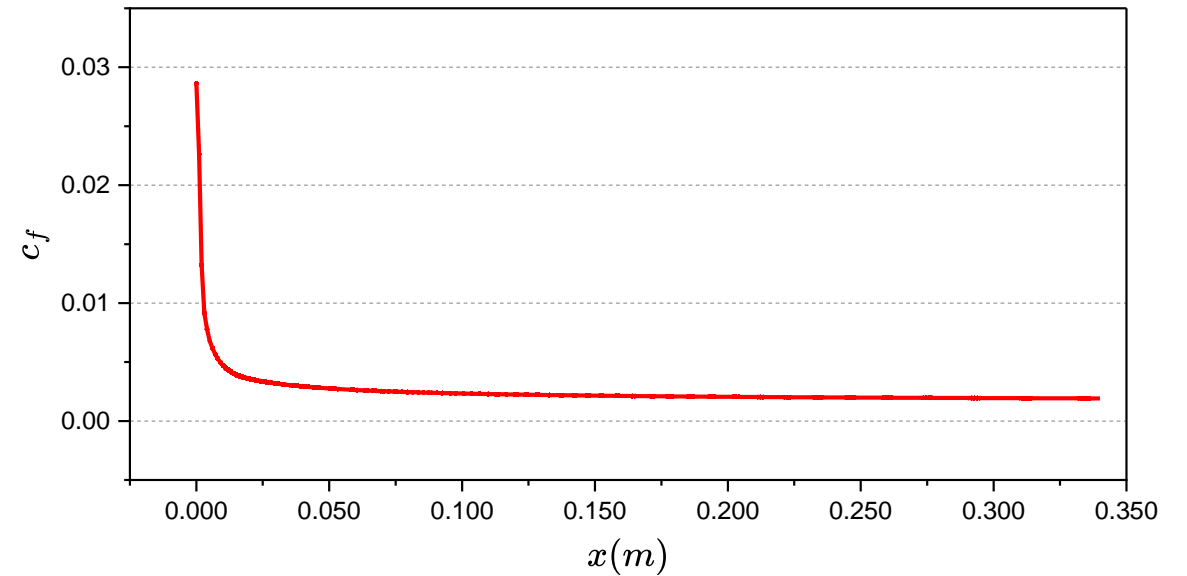
Tekanan Total



# Hasil



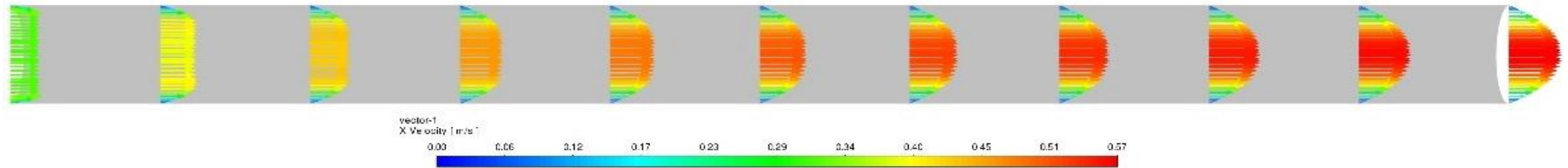
Grafik koefisien Tekanan Terhadap Panjang Penampang pipa



Grafik koefisien Gesekan Terhadap Panjang Penampang pipa

# Hasil

Profile Boundary Layer sepanjang penampang Pipa



# Hasil

## Data hasil pada titik tertentu

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

# Pembahasan

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%.

# Temuan Penting Penelitian

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.

# Manfaat Penelitian

1. Pengetahuan dan pemahaman tentang metode *Computational Fluid Dynamics*.
2. Memvisualisasikan secara jelas distribusi aliran fluida pada *boundary layer*.
3. Meningkatkan efisiensi, keamanan, dan keandalan sistem perpipaan dalam berbagai aplikasi, termasuk industri, infrastruktur, dan lingkungan.

# 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) Abstrak,” *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. 8, no. 1, pp. 97–108, 2019, doi: <https://doi.org/10.29103/jtku.v8i1.3396>.
- [2] Y. Ge *et al.*, “Application and development of optical-based viscosity measurement technology,” *Opt Lasers Eng*, vol. 181, no. April, p. 108413, 2024, doi: 10.1016/j.optlaseng.2024.108413.
- [3] N. Hayati, A. Purwanto, and E. Muladi, “CFD (Computational Fluid Dynamic) untuk menganalisis head loss akibat perubahan diameter,” *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 18, no. 2, pp. 1–4, 2023, doi: 10.36289/jtmi.v18i2.441.
- [4] E. J. Rumaherang, W. M. E. Wattimena, S. M. Rawulun, and E. Noya, “Studi Regim Aliran Fluida Dan Penentuan Head Loss Akibat Gesekan Pada Instalasi Perpipaan,” *ALE Proceeding*, vol. 6, pp. 154–161, 2023, doi: 10.30598/ale.6.2023.154-161.
- [5] D. Pratama, K. Hadiningrum, and R. F. Muldiani, “Studi Awal Pengaruh Temperatur terhadap Karakteristik Aliran Fluida Pada Belokan Pipa 90° melalui Simulasi,” *Jurnal MIPA*, vol. 11, no. 2, p. 68, 2022, doi: 10.35799/jm.v11i2.41826.
- [6] S. Sudirman and H. Harves, “Analisa Headloss Aliran Fluida Pada Pipa Lurus Dengan Variasi Debit Aliran Dan Variasi Diameter Pipa,” *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, vol. 8, no. 2, p. 165, 2022, doi: 10.35308/jmkn.v8i2.5674.
- [7] A. Admin *et al.*, “Rancang Bangun Visualisasi Aliran Air Di Dalam Pipa Tubular Dengan Vortex Generator Untuk Meningkatkan Sifat Turbulensi Fluida,” *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, vol. 7, no. 2, pp. 205–215, 2021, doi: 10.56521/teknika.v7i2.321.

# Referensi

- [8] S. Hutagalung and W. A. Widodo, “Studi Numerik Karakteristik Aliran Melintasi Silinder Sirkular dengan Penempatan Airfoil NACA 0012, NACA 0018, NACA 0024 di Belakang Silinder,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 13, no. 1, 2024, doi: 10.12962/j23373539.v13i1.142096.
- [9] T. Joshi, O. Parkash, and G. Krishan, “Numerical Investigation of Slurry Pressure Drop at Different Pipe Roughness in a Straight Pipe Using CFD,” *Arab J Sci Eng*, vol. 47, no. 12, pp. 15391–15414, 2022, doi: 10.1007/s13369-022-06583-1.
- [10] L. Silvestri, “CFD modeling in Industry 4.0: New perspectives for smart factories,” *Procedia Comput Sci*, vol. 180, no. 2019, pp. 381–387, 2021, doi: 10.1016/j.procs.2021.01.359.
- [11] Luhung, D. Achmad, E. Yohana, and M. Tauviqirrahman, “Investigasi Numerik Pengaruh Penambahan Rotary Agitator Terhadap Karakteristik Hidrodinamika Gas-Solid Fluidized Bed Dengan Pendekatan Two Fluid Model-Kinetic Theory of Granular Flow,” *Jurnal Teknik Mesin S-1*, vol. 10, no. 4, pp. 589–596, 2022.
- [12] A. Yonanda and D. A. Amrizal, “Karakteristik Kolektor Surya Pelat Datar Aliran Spiral Menggunakan Metode Simulasi CFD Characteristics a Spiral Flat Plate Solar Collectors Using CFD Simulation Method,” *Open Science and Technology*, vol. 01, no. 01, pp. 2776–169, 2021, [Online]. Available: <https://opscitech.com/journal>
- [13] M. U. Nuha, A. Fatahillah, and S. Setiawani, “Analisis Numerik Aliran Udara pada Rongga Hidung akibat Penyakit Sinusitis menggunakan Metode Volume Hingga,” *Limits: Journal of Mathematics and Its Applications*, vol. 19, no. 2, p. 217, 2022, doi: 10.12962/limits.v19i2.13683.

# Referensi

- [14] A. Kusmayadi, E. A. Suyono, D. Nagarajan, J. S. Chang, and H. W. Yen, “Application of computational fluid dynamics (CFD) on the raceway design for the cultivation of microalgae: a review,” *J Ind Microbiol Biotechnol*, vol. 47, no. 4–5, pp. 373–382, 2020, doi: 10.1007/s10295-020-02273-9.
- [15] S. Schmelter, M. Olbrich, E. Schmeyer, and M. Bär, “Numerical simulation, validation, and analysis of two-phase slug flow in large horizontal pipes,” *Flow Measurement and Instrumentation*, vol. 73, 2020, doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2020.101722.
- [16] B. Gde Didit Citra Anggarana and I. Made Gatot Karohika, “Analisis Aerodinamika Bodi Mobil Dengan Variasi Kecepatan Menggunakan Perangkat Lunak Cfd,” *SIBATIK JOURNAL: Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, dan Pendidikan*, vol. 1, no. 8, pp. 1455–1462, 2022, doi: 10.54443/sibatik.v1i8.192.
- [17] A. Ruggiero, R. D’Amato, and S. Affatato, “Comparison of meshing strategies in THR finite element modelling,” *Materials*, vol. 12, no. 14, pp. 1–11, 2019, doi: 10.3390/ma12142332.

