

Experimental Study Of Boundary Layer Analysis On Straight Pipes [Studi Eksperimental Analisa Boundary Layer Pada Pipa Lurus]

Keigant Abdullah Barafi¹⁾, Ali Akbar^{*2)}

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: aliakbar@umsida.ac.id

Abstract. *The boundary layer is a boundary layer formed due to friction between the cross-sectional surface and the fluid, resulting in a velocity gradient. This study observes the fluid velocity gradient in the boundary layer in a straight pipe using an experimental method. The fluid velocity distribution was measured using a 1" diameter acrylic pipe and a 1.5 mm diameter blunt needle that resembles a pitot tube with a system of stagnation pressure and static pressure differences. Fluids with various viscosities and flow rates were tested to understand their effects on the characteristics of the boundary layer. With a flowrate of 10 liters/minute shows that the results of fluid velocity measurements increase with increasing radial distance on the pipe wall starting from $r_1 = 2 \text{ mm}$ (0,334 m/s), $r_2 = 5,5 \text{ mm}$ (0,341 m/s), $r_3 = 7,5 \text{ mm}$ (0,425 m/s), $r_4 = 10,5 \text{ mm}$ (0,438 m/s), dan pada $r_5 = 12,7 \text{ mm}$ (0,443 m/s). The highest velocity was recorded at the middle point of the pipe which proves that the available results are in accordance with the boundary layer characteristics, where frictional and viscous forces are reduced.*

Keywords – Boundary Layer, Viscosity, Velocity

Abstrak. Boundary layer adalah lapisan batas yang terbentuk akibat gesekan antara permukaan penampang dan fluida, sehingga terjadi gradiensi kecepatan. Penelitian ini mengamati gradiensi kecepatan fluida pada boundary layer dalam pipa lurus menggunakan metode eksperimental. Distribusi kecepatan fluida diukur menggunakan pipa akrilik berdiameter 1" dan jarum tumpul berdiameter 1,5 mm yang menyerupai tabung pitot dengan sistem perbedaan tekanan stagnasi dan tekanan statis. Fluida dengan berbagai viskositas dan laju aliran diuji untuk memahami pengaruhnya terhadap karakteristik lapisan batas. Dengan flowrate 10 liter/menit menunjukkan hasil pengukuran kecepatan fluida meningkat seiring bertambahnya jarak radial pada dinding pipa mulai dari $r_1 = 2 \text{ mm}$ (0,334 m/s), $r_2 = 5,5 \text{ mm}$ (0,341 m/s), $r_3 = 7,5 \text{ mm}$ (0,425 m/s), $r_4 = 10,5 \text{ mm}$ (0,438 m/s), dan pada $r_5 = 12,7 \text{ mm}$ (0,443 m/s). Kecepatan tertinggi tercatat di titik tengah pipa yang membuktikan bahwa hasilnya sesuai dengan karakteristik boundary layer, di mana gaya gesekan dan viskositas berkurang.

Kata Kunci – Lapisan Batas, Viskositas, Kecepatan

I. PENDAHULUAN

Fluida merupakan zat yang memiliki sifat mudah berubah bentuk serta bisa menyesuaikan tempat yang dilaluinya. Fluida sendiri sering digunakan dalam dunia industri maupun penelitian ilmiah, khususnya udara[1]. Untuk mendukung pendistribusian fluida tentunya memerlukan instalasi perpipaan sebagai media transportasi serta perangkat seperti peniup (*Blower*) untuk membantu memindahkan udara dari satu tempat ke tempat lainnya[2][3]. Peniup menghisap fluida dan mengeluarkannya pada sisi tekan peniup, pada sistem peniup terdapat hal yang mempengaruhi kinerjanya. Selain dari kemampuan peniup itu sendiri, kinerja peniup dipengaruhi oleh sistem penyaluran fluida. Penurunan kerja peniup atau bisa disebut dengan *head loss* yang diakibatkan oleh besar kecilnya ukuran pipa penyalur, panjang pipa penyalur, kekerasan permukaan pada dinding pipa penyalur, sambungan – sambungan pada pipa penyalur, jenis fluida, serta kecepatan fluida dan jenis aliran fluida[4].

Head losses merupakan penurunan tekanan pada fluida di dalam pipa penyalur yang dimana sangat mempengaruhi nilai efisiensi pada kinerja peniup dan membuat energi terbuang sia-sia. Pada rugi-rugi aliran (*head loss*) memiliki beberapa jenis kerugian yang terbagi menjadi 2 yaitu, *minor losses* dan *major losses*. *minor losses* merupakan kerugian yang terjadi pada sistem perpipaan yang diakibatkan oleh adanya sambungan pada pipa. "*sudden expansion*" dan "*sudden contraction*" adalah istilah yang digunakan dalam rekayasa fluida untuk menggambarkan kondisi di mana diameter pipa bertambah besar dan semakin kecil. *Major losses* merupakan kerugian pada sistem perpipaan yang diakibatkan oleh gesekan pada fluida dengan dinding pipa memanjang[5][6].

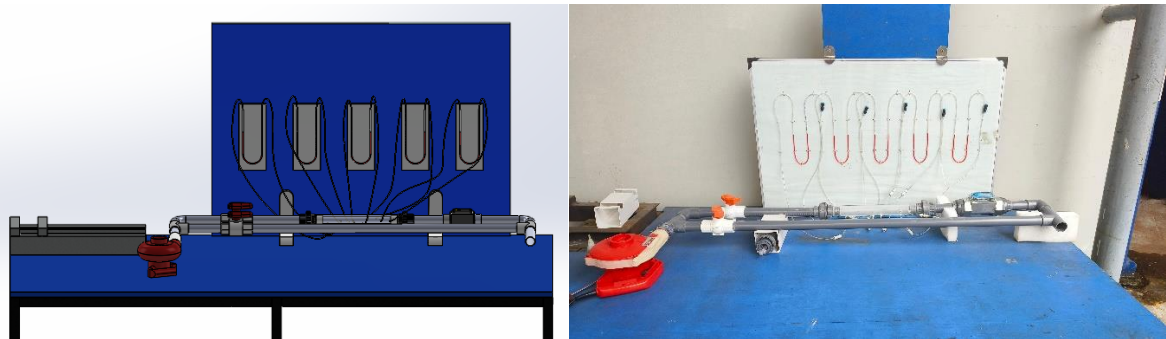
Suatu fluida yang melewati dinding datar maupun lengkung akan membentuk suatu lapisan batas (*boundary layer*). lapisan batas (*boundary layer*) tersebut terbentuk karena adanya gesekan antara permukaan penampang dengan fluida. Lapisan yang sangat dipengaruhi ialah lapisan yang dekat dengan permukaan penampang. Semakin jauh dari permukaan penampang dan semakin halus permukaan penampang, gaya gesek antara fluida dan penampang akan

semakin melemah hingga pada batas yang mempengaruhi gaya gesek terhadap fluida. Untuk meningkatkan kepercayaan terkait hasil studi sistem perpipaan, maka dilakukannya studi eksperimental analisa *boundary layer* pada pipa lurus yang bereaksi pada perpipaan sebagaimana riset ini diaplikasikan dengan perancangan instalasi perpipaan yang bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penerapan metode *boundary layer* pada skala laboratorium terhadap instalasi perpipaan. Metode *boundary layer* adalah pendekatan yang penting dalam rekayasa fluida untuk memahami perilaku aliran fluida di sekitar permukaan penampang, terutama dalam konteks perpipaan[7].

II. METODE

A. Desain Penelitian

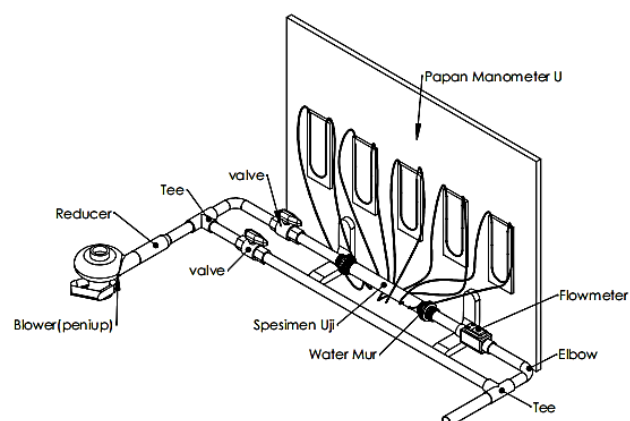
Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan tujuan untuk mengetahui distribusi kecepatan fluida di area *boundary layer* pada pipa lurus. Dalam penelitian ini diperlukan konsep desain benda kerja untuk menunjang keberhasilan eksperimen. Benda kerja tersebut berupa pipa lurus panjang yang bebahan akrilik untuk mempermudah observasi visual. Adanya konsep desain pada benda kerja yakni bertujuan untuk mempermudah saat perancangan menggunakan proses permesinan dan dapat membuat benda kerja yang mempunyai nilai efisiensi tinggi. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo [8]. Berikut desain dan hasil jadi objek penelitian serta sistem instalasi yang digunakan.



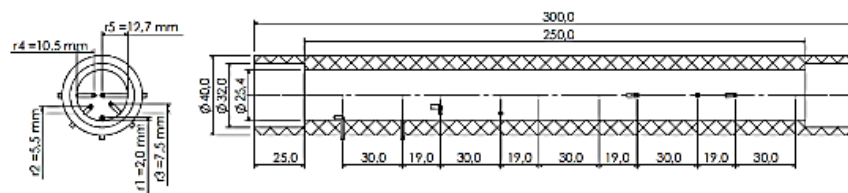
Gambar 1. Desain Instalasi Penelitian



Gambar 2. Desain Spesimen dan Hasil Jadi Objek Penelitian



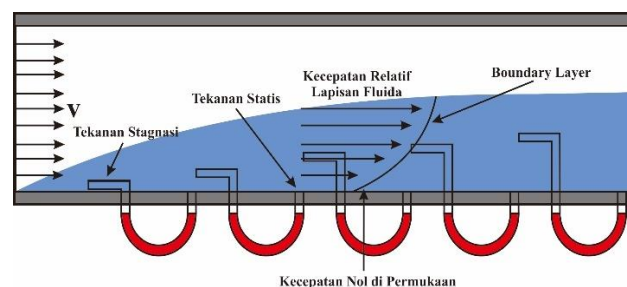
Gambar 3. Skema Instalasi Pengujian



Gambar 4. Dimensi Spesimen Uji

B. Karakteristik Boundary Layer

Boundary layer atau lapisan batas adalah lapisan tipis yang terbentuk di dekat permukaan benda ketika fluida mengalir melewatinya. Pada lapisan ini, kecepatan fluida berubah sangat signifikan yang mulanya nol dari permukaan (karena efek viskositas dan kondisi tanpa hambatan) hingga mencapai kecepatan bebas aliran (*free-stream velocity*) di luar lapisan tersebut. Karakteristik *boundary layer* terhadap kecepatan fluida dapat di jelaskan di bawah ini.



Gambar 5. Skema *Boundary Layer*

C. Teknik Pengambilan Data

Untuk memperoleh data dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Teknik ini mencakup beberapa cara seperti, persiapan alat dan bahan, pengambilan data, pengolahan data.

1. Persiapan Alat dan Spesimen Penelitian

Tahap ini melibatkan perancangan instalasi perpipaan dengan penyesuaian desain:

- Peniup (*Blower*) : Mengalirkan udara melalui sistem instalasi perpipaan menuju objek Penelitian,
- Manometer U : Parameter untuk mengukur perbedaan tekanan pada titik pengukuran.
- *Flowmeter* : Memastikan laju aliran (*flowrate*) sesuai dengan yang diinginkan.
- Objek Penelitian : Pipa lurus panjang yang diberi jarum pitot sesuai pada desain.

2. Prosedur Pengambilan Data

- Pengujian Awal : Memastikan sistem instalasi perpipaan berfungsi dengan baik, dengan memeriksa kebocoran dan kalibrasi pada alat ukur.
- Pengaturan Debit Aliran : Mengatur laju aliran (*flowrate*) menggunakan *flowmeter* dengan nilai 10 Liter/menit.
- Pengukuran Tekanan : Data tekanan diukur menggunakan manometer U pada titik Δh_1 sampai Δh_5 , pada masing-masing Δh mempunyai jenis tekanan yang berbeda antara tekanan stagnasi dan tekanan statis.
- Replika Pengukuran : pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali untuk memastikan hasil uji data yang akurat.

3. Pengolahan Data

Kecepatan fluida pada *flowmeter* merupakan salah satu parameter utama untuk menentukan laju aliran fluida. Dalam konteks ini, kecepatan umumnya merujuk pada kecepatan rata-rata fluida di dalam pipa atau saluran lainnya, yang dihitung berdasarkan volume fluida yang melewati penampang pipa per satuan waktu. Kecepatan ini menjadi faktor penting dalam menghitung debit aliran dan memastikan akurasi pengukuran *flowmeter* pada kecepatan aliran diperoleh dari persamaan :

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

V : Kecepatan (meter/detik)

Q : Laju Aliran (meter/detik)

A : Luas Penampang

D : Diameter pipa

$\pi : 3,14/\frac{22}{7}$

- **Tekanan Manometer u pada tiap $\Delta h1$ sampai $\Delta h5$**

Menghitung tekanan dari hasil $\Delta h1$ sampai $\Delta h5$:

$$P = \rho \cdot g \cdot \Delta h \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

P : Tekanan (Pa)

ρ : Densitas fluida pada manometer U (Air = 1.000 kg/m³)

g : Percepatan gravitasi (9,81 meter/detik)

Δh : Selisih antara tekanan stagnasi ($h1$) dan tekanan statis ($h2$)

- **Kecepatan Fluida**

Menghitung kecepatan fluida dari hasil langkah diatas :

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\rho \text{ udara}}} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

V : Kecepatan (meter/detik)

P : Tekanan (Pa)

ρ : Densitas fluida pada manometer U (udara = 1,225 kg/m³)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Data Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan flowmeter yang diatur pada debit Aliran 10L/menit, diperoleh data selisih tinggi tekanan (Δh) pada lima titik pengukuran, yaitu $\Delta h1$, $\Delta h2$, $\Delta h3$, $\Delta h4$, dan $\Delta h5$. Data rata-rata selisih tinggi tekanan di masing-masing titik pengukuran disajikan pada tabel dibawah.

Tabel 1. Hasil Pengujian

Flowrate 10L/menit					
No	$\Delta h1$	$\Delta h2$	$\Delta h3$	$\Delta h4$	$\Delta h5$
1	8 mm	9 mm	12 mm	13 mm	15 mm
2	7 mm	8 mm	12 mm	13 mm	13 mm
3	6 mm	5 mm	10 mm	10 mm	9 mm
Rata-rata (m)	0,007 m	0,0073 m	0,0113 m	0,012 m	0,0123 m

Dari hasil tabel diatas terlihat bahwa nilai selisih tekanan meningkat dari titik pengukuran $\Delta h1$ hingga $\Delta h5$. Hal ini menunjukkan distribusi kecepatan fluida yang bervariasi sepanjang penampang pipa, dimana kecepatan fluida cenderung meningkat seiring dengan menjauhnya titik pengukuran dari permukaan pipa menuju bagian tengah pipa.

B. Perhitungan Kecepatan Fluida

Menghitung kecepatan rata-rata pada *flowmeter* yang nantinya dijadikan acuan pada hasil Tabel 2.

Diketahui :

Q : 10 L/menit = 0,01 m³/menit = 0,00016 m³/detik

D : Diameter = 1 inci = 25,4 mm = 0,0254 m

$\pi : 3,14/\frac{22}{7}$

A : 0,0005064 m²

Kecepatan rata-rata fluida dapat dicari menggunakan debit dimana :

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}}$$

Nilai yang digunakan pada d yaitu pipa yang memiliki diameter 1" inci = 25,4 mm = 0,0254 m, sehingga :

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,00016 \text{ m}^3/\text{detik}}{\frac{3,14}{4} \cdot 0,0254^2} = 0,315 \text{ m/s}$$

Hasil kecepatan rata-rata didapatkan dengan nilai 0,315 m/s, maka dari hasil perhitungan kecepatan pada Tabel 2 harus mendekati nilai kecepatan rata-rata.

Kecepatan fluida dihitung dengan persamaan :

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\rho}}$$

Untuk nilai tekanan didapatkan dari persamaan :

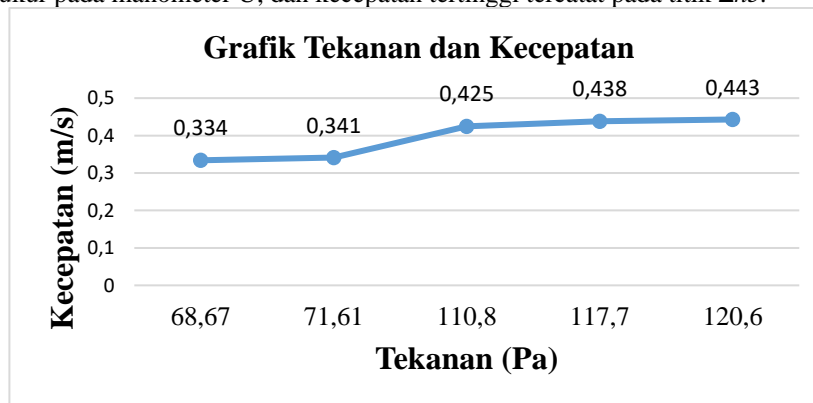
$$P = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

Dari persamaan di atas didapatkan nilai tekanan (Pa) untuk menghitung kecepatan dengan memasukkan nilai Δh sampai Δh_5 . Sehingga didapatkan hasil kecepatan pada Tabel 2.

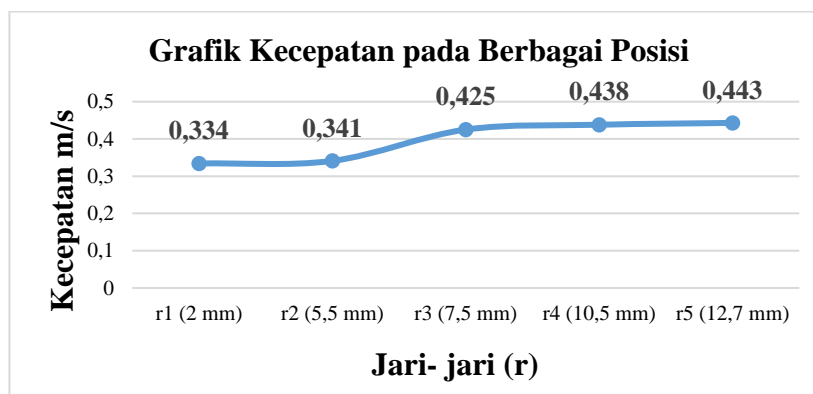
Tabel 2. Hasil Perhitungan Kecepatan

No	Jari-jari (mm)	Δh (m)	Tekanan (Pa)	Kecepatan (m/s)
1	2	0,007	68,67	0,334
2	5,5	0,0073	71,61	0,341
3	7,5	0,0113	110,8	0,425
4	10,5	0,012	117,7	0,438
5	12,7	0,0123	120,6	0,443

Dari hasil diatas kecepatan fluida meningkat seiring dengan meningkatnya selisih perbedaan tekanan (Δh). Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin jauh titik pengukuran dari permukaan pipa maka semakin besar kecepatan fluida yang terukur pada manometer U, dan kecepatan tertinggi tercatat pada titik Δh_5 .



Gambar 6. Grafik Tekanan dan Kecepatan



Gambar 7. Grafik Kecepatan pada Berbagai Posisi

C. Analisis Distribusi Kecepatan Fluida

Peningkatan kecepatan fluida pada titik pengukuran tersebut sesuai dengan karakteristik *boundary layer*. Di dekat permukaan penampang, fluida mengalami gaya gesek yang signifikan akibat viskositas dan gesekan pada dinding pipa, sehingga kecepatan fluida pada area *boundary layer* rendah. Namun, seiring menjauhnya dari permukaan dinding pipa, pengaruh gaya gesek semakin berkurang, sehingga kecepatan fluida meningkat hingga mencapai kecepatan maksimum di pusat tengah penampang dan aliran

IV. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang analisa distribusi kecepatan fluida di area *boundary layer* dalam pipa lurus dengan menggunakan perbedaan tekanan antara tekanan *stagnasi* dan tekanan statis yang di ukur dari permukaan pipa menuju bagian tengah pipa dapat disimpulkan menjadi beberapa poin :

1. Distribusi Kecepatan Fluida

Kecepatan fluida meningkat seiring bertambahnya jarak dari permukaan pipa menuju bagian tengah pipa. Pada area *boundary layer* yang dekat dengan permukaan pipa, kecepatan fluida rendah akibat pengaruh gaya gesek. Namun, pada titik tengah penampang pipa kecepatan meningkat karena pengaruh gaya gesek berkurang.

2. Karakteristik *boundary layer*

Pada hasil pengujian menunjukkan bahwa fenomena *boundary layer* sesuai dengan teori, dimana kecepatan fluida berubah secara signifikan dari kecepatan rendah di permukaan hingga mencapai kecepatan maksimum di bagian tengah pipa.

3. Efek Viskositas dan *Head Loss*

Viskositas fluida dan *head loss* akibat gesekan disepanjang pipa mempengaruhi distribusi kecepatan fluida. Faktor ini sangat penting dalam evaluasi sistem perpipaan untuk memastikan efisiensi aliran.

Secara menyeluruh, penelitian ini memberikan kontribusi dalam pemahaman perilaku aliran fluida pada area *boundary layer*, terutama dalam konteks desain dan analisis instalasi perpipaan berskala laboratorium.

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] F. Maulana dan W. Sujana, "Analisa Variasi Foot Valve Dan Jatuh Air Terhadap Karakteristik Pada Pompa Sentrifugal," *J. Flywheel*, vol. 12, no. 2, hal. 10–13, 2021, doi: 10.36040/flywheel.v12i2.4277.
- [2] F. Wicaksono dan S. Subekti, "Analisis Pengaruh Penyumbatan Aliran Fluida pada Pipa dengan Metode Fast Fourier Transform," *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, hal. 77–83, 2021, doi: 10.21831/dinamika.v6i1.36339.
- [3] I. Syahrizal dan D. Perdana, "Kajian Eksperimen Instalasi Pompa Seri dan Paralel Terhadap Efisiensi Penggunaan Energi," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, hal. 194–200, 2020, doi: 10.24127/trb.v8i2.1056.
- [4] P. Journal dan O. F. Science, "Proses maintenance dan evaluasi kinerja pompa 56-p- 101 d di unit utilities PT. XYZ," vol. 4, no. 1, hal. 35–38, 2024.
- [5] A. Fahrudin dan 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, hal. 32–35, 2018, doi: 10.24127/trb.v7i1.680.
- [6] W. Wasposito, "Analisa Head Loss Sistem Jaringan Pipa Pada Sambungan Pipa Kombinasi Diameter Berbeda," *Suara Tek. J. Ilm.*, vol. 8, no. 1, hal. 1–12, 2017, doi: 10.29406/stek.v8i1.534.
- [7] S. Hariyadi, "Simulasi Dinamika Aliran Turbulen Pada Flat Plate Boundary Layer Menggunakan Turbulent Model $k - \epsilon$ (Standard, Realizable, RNG)," *J. Teknol. Penerbangan*, vol. 1, no. 1, hal. 1–11, 2017.
- [8] S. H. S.P., "Analisis Perbandingan Velocity Dan Shear Stress Perkembangan Boundary Layer Flat Plate Menggunakan Turbulent Model $k - \epsilon$ (Standard, Realizable, RNG)," *J. Penelit.*, vol. 2, no. 1, hal. 27–37, 2017, doi: 10.46491/jp.v2e1.109.27-37.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.