

Numerical Analysis of Aerodynamic Design of Energy-Efficient Cars

Analisa Numeris Desain Aerodinamis Mobil Hemat Energi

Muhammad Ramdhan Adi Pratama¹⁾, Rachmat Firdaus^{*,2)}

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

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

firdausr@umsida.ac.id

Abstract. *This study aims to analyze and compare the aerodynamic performance of two prototype body designs for energy-efficient cars using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method in ANSYS Fluent 2019 R3 software. The analysis was conducted to determine the effect of differences in body geometry on the characteristics of airflow around the vehicle, especially velocity distribution and aerodynamic efficiency. Body modeling was carried out using Autodesk Inventor 2024 with two design variations that have different dimensions of length, width, height, and frontal area. Simulations were carried out under steady incompressible flow conditions with an air speed of 30 km/h, an ambient temperature of 27°C, and a pressure of 1 atm. The results showed that the body design of model 1 has better aerodynamic performance than model 2. This is indicated by a more stable airflow distribution and a maximum velocity value of 14.99 m/s, while model 2 obtained a value of 14.42 m/s. In addition, model 1 produces a more streamlined flow pattern, thereby reducing the potential for turbulence and wake formation at the rear of the vehicle. Based on the CFD simulation results, the body design of model 1 is deemed more optimal in reducing air resistance and increasing vehicle energy efficiency. This research demonstrates that body geometry optimization through CFD simulation is an effective method for developing more aerodynamic, efficient, and competitive energy-efficient vehicles.*

Keywords - Aerodynamics; Computational Fluid Dynamics (CFD); Energy-Efficient Car

Abstrak. *Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan performa aerodinamis dua desain bodi prototype mobil hemat energi menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD) pada perangkat lunak ANSYS Fluent 2019 R3. Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan geometri bodi terhadap karakteristik aliran udara di sekitar kendaraan, khususnya distribusi velocity dan efisiensi aerodinamika. Pemodelan bodi dilakukan menggunakan Autodesk Inventor 2024 dengan dua variasi desain yang memiliki perbedaan dimensi panjang, lebar, tinggi, dan frontal area. Simulasi dilakukan pada kondisi aliran steady incompressible dengan kecepatan udara 30 km/jam, temperatur lingkungan 27°C, dan tekanan 1 atm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain bodi model 1 memiliki performa aerodinamis yang lebih baik dibandingkan model 2. Hal tersebut ditunjukkan oleh distribusi aliran udara yang lebih stabil dan nilai velocity maksimum sebesar 14,99 m/s, sedangkan model 2 memperoleh nilai sebesar 14,42 m/s. Selain itu, model 1 menghasilkan pola aliran yang lebih streamline sehingga mampu mengurangi potensi terbentuknya turbulensi dan wake di bagian belakang kendaraan. Berdasarkan hasil simulasi CFD, desain bodi model 1 dinilai lebih optimal dalam mengurangi hambatan udara dan meningkatkan efisiensi energi kendaraan. Penelitian ini menunjukkan bahwa optimasi geometri bodi melalui simulasi CFD merupakan metode yang efektif dalam pengembangan kendaraan hemat energi yang lebih aerodinamis, efisien, dan kompetitif.*

Kata Kunci - Aerodinamis; computational fluid dynamics(CFD); Mobil Hemat Energi

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi transportasi saat ini menekankan perlunya inovasi yang tidak hanya fokus pada kecepatan dan kenyamanan, tetapi juga efisiensi energi serta kelestarian lingkungan.[1]. Industri otomotif menghadapi tantangan besar untuk mengembangkan kendaraan yang mengurangi konsumsi energi tanpa mengurangi performa dan keamanan. Di tengah krisis energi global dan polusi udara, mobil hemat energi menjadi solusi strategis untuk transportasi berkelanjutan di masa depan. Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) di Indonesia menjadi platform vital bagi mahasiswa dan peneliti untuk mengembangkan kendaraan ber-efisiensi tinggi.[2].

Aerodinamika bodi kendaraan sangat menentukan efisiensi energi. Desain aerodinamis yang optimal secara signifikan mengurangi hambatan udara saat kendaraan bergerak, sehingga menghemat energi untuk menjaga kecepatan konstan. Desain ini juga meningkatkan stabilitas, yang berkontribusi pada keamanan dan kenyamanan pengendara.[3].

Optimasi aerodinamis kini memanfaatkan Computational Fluid Dynamics (CFD) selain uji terowongan angin tradisional. CFD memungkinkan analisis detail aliran udara, termasuk kecepatan, distribusi tekanan, tanpa perlu prototipe fisik. Metode ini menghemat biaya, waktu, dan membuka peluang desain inovatif yang lebih luas.[4].

Dalam KMHE, prototype kendaraan harus memenuhi standar efisiensi, keamanan, dan estetika, dengan aerodinamika sebagai tantangan utama. Penelitian yang membandingkan dua model bodi via CFD membantu menentukan desain terbaik untuk meminimalkan hambatan. Hal ini secara langsung meningkatkan efisiensi energi kendaraan.[5].

Firmansyah meneliti optimalisasi bodi mobil KMHE 2022 menggunakan metode Taguchi (L8 array) untuk delapan variasi desain. Simulasi CFD di ANSYS dengan inlet 30 km/jam dan model k-epsilon menghasilkan data koefisien hambat, turbulensi, tekanan, kecepatan, serta streamline aliran. Pendekatan ini terbukti efektif menciptakan kendaraan aerodinamis optimal dengan konsumsi energi rendah.[6].

Penelitian ini membandingkan dua model bodi prototype KMHE menggunakan CFD untuk mengoptimalkan aerodinamika. Diharapkan hasilnya mendukung pengembangan mobil hemat energi yang efisien, kompetitif, dan ramah lingkungan, serta memperkaya ilmu teknik mesin di bidang simulasi otomotif.[7].

II. METODE

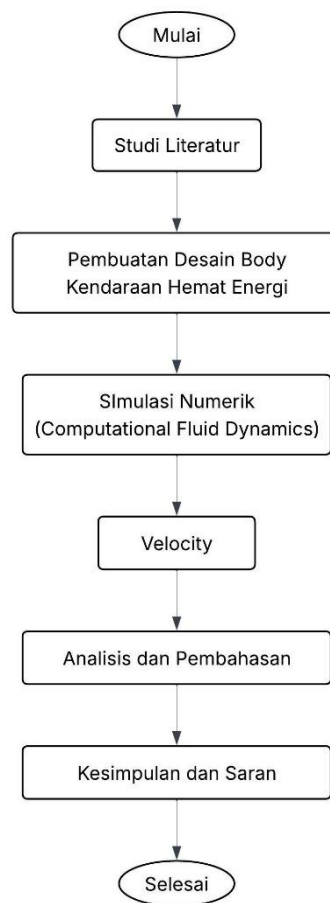
Penelitian ini menerapkan analisis aerodinamis berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan software Ansys Fluent 2019 R3 untuk mengumpulkan data simulasi, khususnya parameter kecepatan (velocity). Data tersebut kemudian dianalisis guna membandingkan variabel-variabel utama yang diteliti.[8].

Penelitian ini melibatkan sejumlah variabel kunci untuk menganalisis performa aerodinamis pada bodi prototype mobil hemat energi. Variabel-variabel tersebut dirangkum dalam tabel berikut ini.

Tabel 1. Variabel Penelitian

body	variabel terikat	variabel bebas	variabel kontrol
model 1	<i>velocity</i>	Konfigurasi hidung, atap, ekor, serta dimensi kendaraan.	kecepatan aliran udara pada 30 km/jam, suhu lingkungan sebesar 27°C, tekanan 1 atm, serta kondisi aliran <i>steady</i> dan <i>incompressible</i> .
model 2			

Dalam melihat dan mengetahui bentuk bodi agar bisa dilakukan proses pengujian aerodinamis melalui beberapa parameter pengujian berupa velocity pada dua model desain bodi prototipe mobil hemat energi. Pemodelan bodi sesuai ukuran utama dilakukan menggunakan Autodesk Inventor 2024.



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

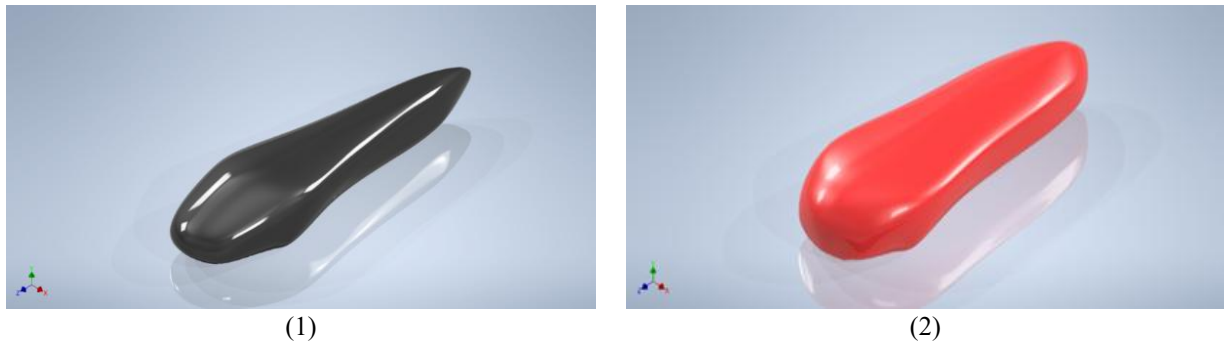
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Desain *Body* Mobil Hemat Energi

Penelitian ini mengembangkan dua varian desain bodi mobil hemat energi yang kemudian disimulasikan dan dianalisis secara mendalam. Hasil analisis tersebut dibandingkan untuk mengidentifikasi desain bodi paling optimal dari segi performa aerodinamis[8].

Desain bodi telah disesuaikan dengan regulasi panduan kompetisi KMHE, mencakup dimensi dan bentuk keseluruhan kendaraan. Konfigurasi meliputi bagian hidung, atap, ekor, serta dimensi dan kontur permukaan bodi yang telah dioptimalkan untuk efisiensi energi sebagai berikut.

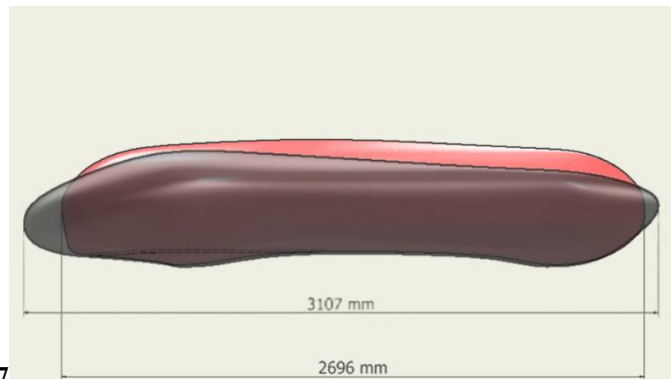
Dimensi Kendaraan	Body Model 1	Body Model 2
Panjang (mm)	3107	2696
Lebar (mm)	819	979
Tinggi (mm)	551	580
Project Surface Area (m²)	0,41	0,508



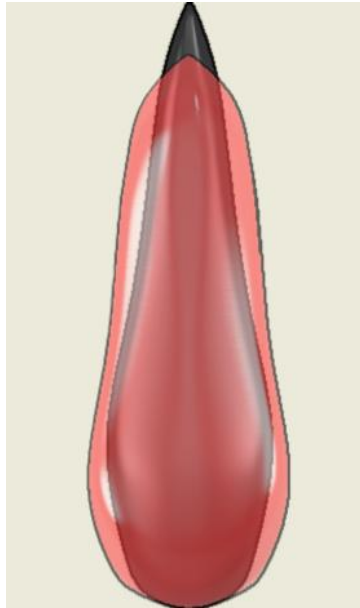
Gambar 2. Desain 3D *Body* Model 1 Dan Model 2



Gambar 3. Perbandingan Tinggi dan Lebar body 1 dan Body 2

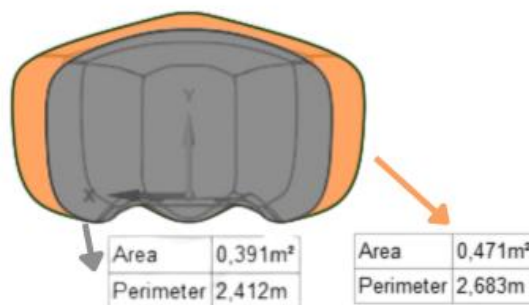


Gambar 4. Perbandingan Panjang Body Model 1 Dan Model 2



Gambar 5. Perbandingan Tampak Atas Body Model 1 Dan 2

Pada gambar 3, 4 dan 5 menunjukkan perbandingan dimensi berupa panjang, lebar dan tinggi kendaraan yang cukup signifikan. Warna abu-abu merupakan desain body model 1 dan warna merah body model 2.



Gambar 6. Frontal Area Body Model 1 Dan Model 2

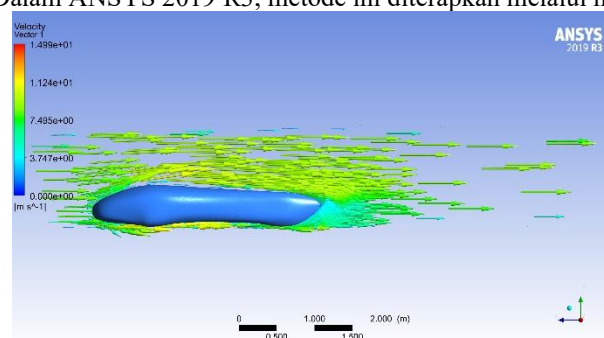
Pada gambar 3 adalah frontal area pada body kendaraan, dijelaskan bahwa desain warna abu-abu adalah body model 1 dan desain body warna orange adalah body model 2.

B. Simulasi

Pengujian bodi kendaraan dilakukan dengan software ANSYS 2019 R3 melalui metode Computational Fluid Dynamics (CFD), yaitu analisis untuk menghitung pola aliran udara dan gaya yang bekerja pada bodi saat bergerak dengan kecepatan tertentu. Dalam ANSYS 2019 R3, metode ini diterapkan melalui modul Fluent[9].

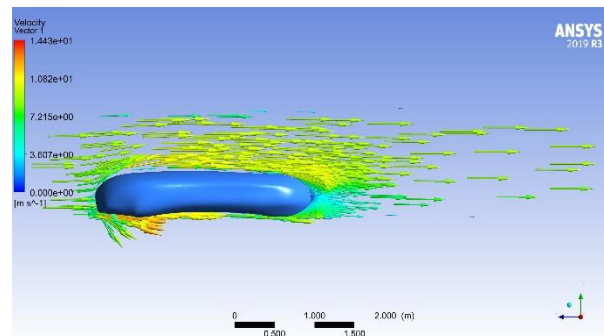
1. Velocity

Pengujian bodi kendaraan dilakukan dengan software ANSYS 2019 R3 melalui metode Computational Fluid Dynamics (CFD), yaitu analisis untuk menghitung pola aliran udara dan gaya yang bekerja pada bodi saat bergerak dengan kecepatan tertentu. Dalam ANSYS 2019 R3, metode ini diterapkan melalui modul Fluent[10].



Gambar 7. *Velocity Vector* Desain *Body* Model 1

dari gambar 6 menunjukkan hasil kecepatan maksimal udara sebesar 14,99 m/s. Simbol panah merupakan arah dari kecepatan udara.

**Gambar 8.** *Velocity Vector* Desain *Body* Model 2

Gambar diatas merupakan pengujian desain *body* model 2 yang ditunjukkan oleh gambar 7 menunjukkan kecepatan udara maksimal adalah 14,42 m/s.

Hasil simulasi mengungkap bahwa model bodi 1 menunjukkan distribusi kecepatan aliran yang lebih stabil dan mengikuti kontur permukaan secara konsisten dibandingkan model bodi 2. Pola ini menandakan geometri bodi 1 efektif meminimalkan gangguan aliran serta mengurangi pembentuk daerah separasi. Aliran udara yang tetap melekat pada permukaan berkontribusi menekan kehilangan energi akibat turbulensi, sehingga hambatan aerodinamis dapat ditekan secara optimal[11].

Sebaliknya, model bodi 2 mengalami perlambatan aliran di beberapa zona kritis, mengindikasikan transisi geometri yang kurang sempurna. Kondisi tersebut berpotensi memicu pembentukan wake di bagian belakang kendaraan, yang secara langsung meningkatkan komponen pressure drag[12].

2. Analisa

Tujuan analisis dalam penelitian ini adalah menentukan desain bodi terbaik berdasarkan hasil simulasi CFD menggunakan Ansys Fluent 2019 R3. Kriteria optimal ditentukan oleh velocity aliran yang lebih aerodinamis dan distribusi pressure yang rendah.

Tabel 2. Hasil Simulasi *Ansys Fluent*
hasil simulasi *ansys fluent*

<i>Body</i>	<i>velocity</i>
model 1	14,99 m/s
model 2	14,42 m/s

Berdasarkan tabel tersebut, dapat disimpulkan bahwa desain *body* model 1 merupakan yang paling optimal. Hal ini ditunjukkan oleh nilai *velocity* yang tinggi di sekitar *body* yang mengindikasikan aliran lebih streamline dan efisien.

Secara keseluruhan, hasil pembahasan menunjukkan bahwa kombinasi distribusi kecepatan aliran yang lebih optimal, tekanan permukaan yang lebih rendah, serta nilai C_d dan C_f yang lebih kecil menjadikan model *body* 1 lebih unggul secara aerodinamis dibandingkan model *body* 2[13]. Penurunan C_d secara langsung berimplikasi pada berkurangnya kebutuhan energi untuk mempertahankan kecepatan kendaraan, sehingga mendukung tujuan utama pengembangan mobil hemat energi[14].

Temuan ini menegaskan bahwa optimasi geometri *body* kendaraan melalui simulasi *cfD* merupakan pendekatan yang efektif dalam meningkatkan efisiensi aerodinamis, serta dapat dijadikan dasar pengembangan desain lanjutan yang lebih kompetitif dan aplikatif[15].

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian aerodinamis menggunakan metode *computational fluid dynamics* (CFD) menggunakan *ansys fluent body* model 1 mendapat hasil lebih baik secara aerodinamis dengan poin-poin sebagai berikut :

1. *Velocity* : Distribusi kecepatan aliran udara di sekitar *body* menunjukkan bahwa model 1 memiliki nilai *velocity* maksimum lebih tinggi (14,99 m/s).

Secara keseluruhan, desain bodi model 1 menunjukkan performa aerodinamis yang lebih optimal dibandingkan model 2, ditinjau dari nilai *velocity* yang lebih tinggi, Dengan demikian, model 1 dinilai lebih efisien dalam mengurangi hambatan udara dan meningkatkan stabilitas, sehingga lebih sesuai untuk diterapkan pada kendaraan mobil hemat energi.

Sebagai pengembangan ke depan, penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan memvariasikan kecepatan aliran, kondisi lintasan, serta penambahan komponen kendaraan lainnya seperti roda dan *underbody* untuk memperoleh hasil yang lebih mendekati kondisi operasional sebenarnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis tujukan kepada kedua orang tua yang sudah memberikan dukungan dan doa hingga mampu berjuang hingga detik ini, kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo serta kawan-kawan Jenggolo Team yang telah memberkan ilmu yang bermanfaat, dan rekan-rekan seperjuangan yang membantu membersamai proses ini.

REFERENSI

- [1] G. Muhammad, A. Sari, And R. Firdaus, “Seminar Nasional & Call Paper Fakultas Sains Dan Teknologi (Senasains 7th,” 2024.
- [2] Y. W. R. Putra, F. N. Styaningsih, And W. H. Herviana, “Analisis Perkembangan Transportasi Online Di Indonesia Di Era 4.0 Dengan Metode Penelitian Deskriptif,” *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, Vol. 4, No. 1, Pp. 162–170, 2022.
- [3] R. N. Aprillia, R. Ramdhani, And S. Sriyono, “Analisis Aerodinamika Bodi Kendaraan Urban Single Seater Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (Cfd),” *Aeej: Journal Of Automotive Engineering And Vocational Education*, Vol. 4, No. 2, Pp. 95–102, 2023.
- [4] A. Fahira, “Optimalisasi Aerodinamika Pada Sayap Depan Mobil Formula1: Pengaruh Drag Dan Lift Terhadap Performa Mobil Di Bawah Regulasi Fia,” *Jurnal Penelitian Fisika Dan Terapannya (Jupiter)*, Vol. 6, No. 2, Pp. 22–28, 2025.
- [5] J. Joko *Et Al.*, “Strategi Pembelajaran Inovatif Dalam Bidang Pendidikan Vokasi,” 2025.
- [6] Firmansyah, “Analisis Koefisien Aerodinamis Pada Mobil Kmhe (Kontes Mobil Hemat Energi) Vehicle Argopuro,” Jun. 2023.
- [7] M. Z. Taftazani, M. R. Lubis, M. F. Kuswardana, M. R. N. Syah, M. A. G. Nurfirmansyah, And E. Susanto, “Pengaruh Desain Inlet Terhadap Karakteristik Aliran Fluida Pada Wind Tunnel Dengan Simulasi Computational Fluid Dynamics,” *Jurnal Locus Penelitian Dan Pengabdian*, Vol. 4, No. 2, Pp. 1137–1229, 2025.
- [8] A. J. Fakhrurozi And M. Mulyadi, “Airflow Pattern Simulation In Open Type Wind Tunnel With Test Section 40 Cm X 40 Cm X 80 Cm: Simulasi Pola Aliran Udara Pada Wind Tunnel Type Terbuka Dengan Test Section 40 Cm X 40 Cm X 80 Cm,” *Indonesian Journal Of Innovation Studies*, Vol. 13, Pp. 10–21070, 2021.
- [9] Y. Indrawan And M. Mulyadi, “Pengaruh Variasi Model Body Formula Sae (Formula Society Of Automotive Engineers) Terhadap Efisiensi Kerja Dengan Uji Simulasi Aerodinamika,” *Innovative Technologica: Methodical Research Journal*, Vol. 3, No. 3, P. 12, 2024.
- [10] H. Purwanto, S. R. Andary, And M. Andrianto, “Rekayasa Kecepatan Angin Wind Tunnel Dan Gerak Wings Pada Aerodinamika Berbasis Alat Ukur Anemometer,” *Jurnal Pengembangan Potensi Laboratorium*, Vol. 1, No. 2, Pp. 61–66, 2022.
- [11] R. T. Setyawan, I. Hajar, And G. Gunawan, “Perbandingan Kinerja Aerodinamika Berbagai Geometri Bodi Terhadap Gaya Hambat Dan Gaya Angkat Pada Kendaraan Hemat Energi,” *Jurnal Teknik Terapan*, Vol. 4, No. 2, Pp. 74–79, 2025.
- [12] R. Pratama, “Pengaruh Desain Aerodinamika Terhadap Efisiensi Bahan Bakar Pada Kendaraan Bermotor Listrik,” *Journal Of Engineering And Technological Science*, Vol. 1, No. 2, Pp. 54–60, 2025.
- [13] M. Isnaeni, M. D. Alma’ruf, A. G. Majdi, E. Suwandi, And T. N. Waskito, “Pengaruh Dispersi Hidraulik Aliran Pada Bangunan Pengambilan Irigasi Untuk Efisiensi Debit: The Effect Of Flow Hydraulic Dispersion On Irrigation Setting Structure For Discharge Efficiency,” *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, Pp. 37–50, 2025.
- [14] E. Z. Abdullah, “Bab Iii Sistem Operasi Dan Manajemen Transportasi,” *Manajemen Transportasi*, P. 28.
- [15] I. T. Arifin, F. I. Abdi, A. Nugroho, L. S. Y. Arifianti, And C. A. A. Diandra, “Studi Aerodinamika Kendaraan Listrik Vu-Ev Dengan Pendekatan Computational Fluid Dynamics (Cfd),” *Otopro*, Pp. 22–29, 2025.

Conflict of Interest Statement:

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