

Peningkatan Efisiensi Bahan Bakar Melalui Redesain Aerodinamis Bodi Bus Dengan Metode Simulasi *Computational Fluid Dynamics*

Defryan Yusuf^{1*}, Leonardo Paksi Sukoco²

^{1,2}Program Studi Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan

^{1,2}Jln. Perintis Kemerdekaan No.17, Slerok, Kec.Tegal Timur, Kota Tegal, 52125, Indonesia

E-mail: yusufdefryan@gmail.com¹, leonardopaksi@gmail.com²

Abstrak

Info Naskah:

Naskah masuk: 30 Mei 2025

Direvisi: 2 Juli 2025

Diterima: 9 Juli 2025

Bus pada umumnya dirancang dengan mengutamakan aspek estetika. namun terkadang faktor kinerja aerodinamis juga sangat butuh diperhatikan dalam perancangan, dikarenakan secara langsung mempengaruhi stabilitas kendaraan, efisiensi bahan bakar, yang pada akhirnya berpengaruh pada tingkat produksi emisi. Studi ini mengusulkan desain ulang aerodinamis pada bodi bus untuk mengurangi konsumsi bahan bakar. Dengan dua rancangan model yang lebih terarah menggunakan bantuan SolidWorks dan pendekatan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) nilai yang diharapkan dapat diperhitungkan. Metode ini digunakan untuk mengevaluasi pengaruh desain bodi terhadap kinerja kendaraan. Hasil menunjukkan bahwa bus konvensional mengonsumsi 30.016,17 kJ/tahun, sementara bus yang dirancang ulang hanya mengonsumsi 21.935,79 kJ/tahun, dengan pengurangan penggunaan bahan bakar sebesar 26,93%. Selain itu, bus yang dirancang ulang menunjukkan koefisien hambatan, gaya hambatan, dan input energi yang lebih rendah, menunjukkan efektivitas perbaikan aerodinamis.

Abstract

Keywords:

redesign;

aerodynamic;

computational fluid

dynamics.

Buses are generally designed with an emphasis on aesthetics. However, the design also needs to consider aerodynamic performance factors, as they directly affect vehicle stability, fuel efficiency, and emissions levels. This study proposes an aerodynamic redesign of the bus body to reduce fuel consumption. The expected values can be calculated using two more targeted design models with the assistance of SolidWorks and Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation method. This method was used to evaluate the influence of body design on vehicle performance. Results show that the conventional bus consumes 30,016.17 kJ/year, while the redesigned bus only consumes 21,935.79 kJ/year, with a 26.93% reduction in fuel consumption. Additionally, the redesigned bus exhibits a lower drag coefficient, drag force, and energy input, indicating the effectiveness of the aerodynamic improvements.

*Penulis korespondensi:

Defryan Yusuf

E-mail: yusufdefryan@gmail.com

1. Pendahuluan

Aerodinamika merupakan ilmu yang mempelajari gaya aerodinamis pada fluida yang bekerja pada benda yang bergerak melalui fluida, termasuk gaya angkat, gaya tarik, dan gaya gesek [1]. Pada kendaraan, aerodinamika merupakan gaya hambat atau *drag force* yang berlawanan arah dengan gerak kendaraan dan sangat memengaruhi performa kendaraan [2]. Nilai koefisien hambatan atau *drag coefficient* (C_d) menjadi parameter utama dalam menentukan seberapa besar hambatan fluida terhadap kendaraan. Bentuk bodi kendaraan yang aerodinamis dengan nilai koefisien drag yang kecil dapat memaksimalkan kinerja mesin dan meningkatkan efisiensi konsumsi bahan bakar [3].

Bus merupakan salah satu kendaraan yang perlu mempertimbangkan nilai hambatan, dikarenakan sangat berpengaruh pada performa dan juga konsumsi bahan bakar [4]. Diimbangi dengan data yang ada di Indonesia, bus merupakan jenis kendaraan umum yang banyak digunakan sebagai sarana transportasi [5]. Secara umum inovasi aerodinamika masih belum menjadi perhatian dalam pengembangan desain bus oleh karoseri lokal. Fokus utama tetap pada kenyamanan, keamanan, dan visibilitas [6]. Kondisi aerodinamika yang tidak optimal pada bodi bus menyebabkan penurunan performa kendaraan, berkurangnya stabilitas saat berkendara, serta meningkatnya konsumsi bahan bakar. Hal ini berdampak langsung terhadap peningkatan emisi gas buang, yang pada akhirnya turut memperburuk kualitas udara dan memperbesar kontribusi terhadap polusi lingkungan [7].

Data dari Korps Lalu Lintas menunjukkan peningkatan jumlah bus sebanyak 22.405 unit dalam beberapa tahun terakhir [8]. Di sisi lain, menurut Badan Pusat Statistik Indonesia, cadangan minyak bumi nasional menurun sebesar 21,3% dari tahun 2020 hingga 2022, sehingga menuntut upaya penghematan bahan bakar yang signifikan demi keberlanjutan sumber daya energi yang tidak dapat diperbarui [9]. Oleh karena itu, pengembangan desain kendaraan yang mampu mengurangi hambatan aerodinamis sangat diperlukan untuk menekan konsumsi bahan bakar dan dampak negatif bagi lingkungan [3].

Gaya hambat udara (*drag force*) pada kecepatan tinggi dapat mencapai kontribusi sebesar 50% terhadap konsumsi bahan bakar kendaraan [10]. Pada kendaraan bus memiliki koefisien hambatan yang relatif lebih besar dibandingkan kendaraan lain yang didesain dengan tipe *streamline*, seperti sedan yang memiliki nilai C_d di bawah 0,3 [11]. Faktor desain seperti tipe kaca (*single glass* atau *double glass*) dan variasi spion juga berdampak pada nilai hambatan, meskipun kajian tentang pengaruh jenis kaca terhadap aerodinamika bus masih sedikit [12]. Selain itu, penggunaan spion pada kendaraan pribadi dapat menyumbang hingga 5,8% dari total gaya hambat [13].

Pada era teknologi modern, pendekatan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menjadi metode yang efisien dan efektif dalam hemat biaya untuk mempelajari dan mengoptimalkan aspek aerodinamis kendaraan dibandingkan pengujian tradisional menggunakan *wind tunnel* [14]. Metode CFD digunakan untuk simulasi aerodinamika dengan tahapan mulai dari

definisi masalah, pemilihan model, penyelesaian persamaan aliran fluida, hingga visualisasi pola aliran udara di sekitar model kendaraan sebagai hasil simulasi [15]. *Software SolidWorks 2023* dengan fitur *flow simulation* menjadi salah satu perangkat yang banyak digunakan dalam simulasi aerodinamika kendaraan [16].

Modifikasi desain dapat menurunkan koefisien hambatan secara signifikan pada kendaraan, perubahan pada bagian depan dan belakang bus menghasilkan nilai C_d terkecil dibandingkan modifikasi parsial dan desain eksisting [17]. Pemasangan *deflector* pada bus juga meningkatkan performa aerodinamis dengan menurunkan koefisien hambatan [18]. Pengaruh sudut kemiringan atau *leading edge* juga menjadi karakteristik dari aerodinamika, pada sudut $53,4^\circ$ menghasilkan tekanan hambatan paling rendah. Perubahan kecil pada *leading edge* dan *trailing edge* pada bus dapat secara signifikan mempengaruhi aliran udara dan nilai hambatan serta *lift coefficient* [19].

Optimalisasi desain dalam simulasi CFD berguna dalam peningkatan efisiensi bahan bakar. Menjadikan penelitian ini bermanfaat dalam mengisi kekurangan penelitian terdahulu, yang fokus pada desain estetika saja. Dengan simulasi pada bagian depan dan belakang bus, sekaligus mengadopsi desain aerodinamis yang terinspirasi dari *profile airfoil* burung, yang dikenal memiliki performa optimal dalam mengurangi hambatan dan meningkatkan stabilitas [20].

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan membandingkan koefisien hambatan pada bus konvensional, mendesain ulang bodi bus secara aerodinamis, serta membandingkan konsumsi bahan bakar antara desain konvensional dan desain yang terinspirasi dari *profile airfoil* burung, penelitian ini menghadirkan pendekatan yang sistematis dan inovatif. Sangat penting dilakukan karena hasilnya tidak hanya berpotensi meningkatkan efisiensi bahan bakar dan stabilitas kendaraan, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca dan pemenuhan target penghematan energi nasional. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi langkah krusial dalam mendukung pengembangan transportasi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan di Indonesia.

2. Metode

Penelitian menggunakan pendekatan eksperimental dengan metode simulasi numerik untuk mengkaji pengaruh variasi desain bodi bus terhadap karakteristik aerodinamisnya. Simulasi numerik memanfaatkan pemodelan matematika yang diselesaikan melalui komputasi dan analisis numerik [21]. Penerapan penelitian dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) memungkinkan perolehan solusi yang cepat dan akurat dalam menggambarkan hubungan antara variabel bebas yang merupakan desain bus konvensional dan desain bus modifikasi dan variabel terikat pada studi aerodinamika kendaraan, yaitu mencari nilai C_d atau *drag force* [27].

2.1. Diagram Alur Penelitian

Proses tahapan penelitian yang dilakukan pada artikel ini adalah seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Penelitian dimulai dengan kajian literatur yang komprehensif untuk mengidentifikasi konsep aerodinamika pada kendaraan bus, serta mempelajari dimensi dan komponen bodi yang relevan. Berdasarkan kajian yang ada, dirumuskan permasalahan penelitian yang fokus pada pengaruh variasi desain bodi terhadap performa aerodinamis bus. Selanjutnya, model tiga dimensi dari desain yang ada dan beberapa desain modifikasi dibuat menggunakan perangkat lunak.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

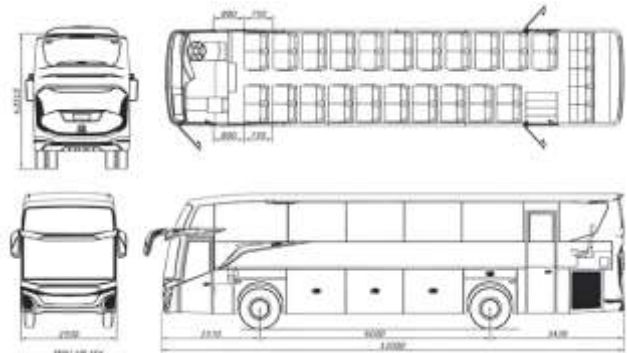
Proses *meshing* dilakukan untuk menghasilkan *grid computational* yang optimal, sehingga simulasi aliran udara dapat dilakukan dengan tingkat akurasi tinggi. Simulasi numerik kemudian dijalankan dengan variasi kecepatan uji yang berulang untuk memastikan validitas hasil, di mana konvergensi solusi menjadi indikator utama kestabilan simulasi. Data hasil simulasi selanjutnya dianalisis secara sistematis untuk menguji hipotesis dan menjawab permasalahan yang telah dirumuskan.

2.2. Alat dan Bahan Penelitian

Perangkat lunak SolidWorks versi 2023 dengan fitur *Flow Simulation* digunakan sebagai alat utama untuk melakukan analisis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) secara terintegrasi. SolidWorks memungkinkan pembuatan model tiga dimensi bus secara detail, sementara *Flow Simulation* memfasilitasi simulasi aliran udara dan

pengukuran gaya hambatan pada bodi kendaraan dengan tingkat akurasi tinggi [22]. Dengan kemampuan mengolah persamaan aliran fluida secara numerik langsung pada model CAD, perangkat lunak ini mempercepat proses evaluasi desain aerodinamis tanpa perlu transfer data antar *platform*, sehingga sangat efektif dalam mendukung optimasi desain bus untuk peningkatan efisiensi bahan bakar dan pengurangan hambatan udara [3].

Dua desain bus digunakan untuk analisis aerodinamika, model pertama adalah bus konvensional yang diadopsi dari data teknis Bus XYZ, yang merepresentasikan desain bus standar yang banyak digunakan saat ini. Model kedua merupakan hasil desain ulang yang dikembangkan oleh peneliti dengan pendekatan aerodinamis, mengacu pada *profile airfoil* burung untuk mengoptimalkan bentuk bodi bus. Perbandingan kedua model ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan desain terhadap koefisien hambatan dan efisiensi bahan bakar, sehingga memberikan gambaran empiris mengenai potensi peningkatan performa melalui inovasi desain bodi. Rancangan kedua model ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 2. Spesifikasi Bus XYZ



Gambar 3. Desain Bus A (Konvensional)



Gambar 4. Desain Bus B (Modifikasi)

Acuan desain bus B ini berasal dari bentuk *droplet* atau tetesan air yang memiliki koefisien hambatan yang rendah. Terjadi beberapa perubahan yaitu pada bagian depan yang dibuat lebih melengkung agar dapat membelah angin lebih mudah, pada roda belakang dibuat setengah tertutup agar udara tidak melewati bagian tersebut. Pada bagian belakang perubahan dilakukan pada bagian atas dan bawah yang dibuat lebih mengerucut seperti acuan desain.

2.3. Computational Fluid Dynamics (CFD)

Pre-processing menjadi tahap awal dalam analisis yang berfokus pada persiapan model dan pengaturan parameter simulasi. Pada tahap ini, dilakukan pemilihan jenis fluida yang sesuai, umumnya udara, beserta karakteristik alirannya untuk mendekati kondisi nyata. Penentuan kondisi ini sangat penting agar simulasi dapat merefleksikan skenario fisik secara akurat. Selain itu, pada tahap *pre-processing* juga dilakukan persiapan geometri dengan *meshing* dan definisi *boundary conditions* yang tepat sebagai dasar proses analisis aerodinamika. Hasil dari tahap ini akan menjadi input penting dalam simulasi CFD guna mendapatkan data koefisien hambatan dan koefisien angkat sebagai indikator performa aerodinamis.

Processing menjadi tahap selanjutnya, dimana simulasi dijalankan dengan memasukkan persamaan matematis yang relevan untuk menghitung parameter aerodinamis, khususnya gaya hambatan. Proses ini dilakukan dengan menginput rumus detail pada fitur *Insert Equation Goal* di bagian *Goals* dalam perangkat lunak SolidWorks *Flow Simulation* [22]. Pendefinisian ini memungkinkan perangkat untuk secara otomatis menghitung dan memonitor nilai koefisien hambatan selama proses simulasi berlangsung. Selain itu, simulasi dilakukan pada berbagai kondisi kecepatan untuk memperoleh data yang komprehensif dan memastikan hasil yang konvergen serta *representatif* terhadap performa aerodinamis bodi bus.

Post-processing menjadi tahap akhir, dimana hasil simulasi aliran udara pada sumbu X dianalisis secara visual dan kuantitatif menggunakan fitur visualisasi di dalam SolidWorks *Flow Simulation*. Dari hasil ini, area turbulensi dapat diidentifikasi dan dibandingkan antar desain bodi bus. Analisis ini menjadi dasar penting untuk mengevaluasi efektivitas modifikasi desain dalam meningkatkan efisiensi aerodinamis dan potensi penghematan bahan bakar.

3. Hasil dan Pembahasan

Penyajian analisis terhadap hasil simulasi aerodinamika diperoleh dari pengujian desain bodi bus konvensional dan desain modifikasi menggunakan. Pembahasan difokuskan pada perbandingan koefisien hambatan, pola aliran udara, serta dampaknya terhadap efisiensi bahan bakar dan stabilitas kendaraan. Dengan menganalisis data kuantitatif dan visualisasi simulasi, evaluasi dilakukan untuk mengidentifikasi keunggulan dan keterbatasan masing-masing desain, sekaligus menghubungkan temuan tersebut dengan teori aerodinamika yang relevan.

3.1 Perhitungan Nilai Hambatan

Penyajian analisis terhadap hasil simulasi aerodinamika diperoleh dari pengujian desain bodi bus konvensional dan desain modifikasi menggunakan. Pembahasan difokuskan pada perbandingan koefisien hambatan, pola aliran udara, serta dampaknya terhadap efisiensi bahan bakar dan stabilitas kendaraan. Dengan menganalisis data kuantitatif dan visualisasi simulasi, evaluasi dilakukan untuk mengidentifikasi keunggulan dan keterbatasan masing-masing desain, sekaligus menghubungkan temuan tersebut dengan teori aerodinamika yang relevan.

Untuk melakukan simulasi, dibutuhkan pengaturan terkait kondisi batas (*boundary condition*). Kondisi merupakan skema kondisi dari simulasi. Simulasi ini merupakan simulasi aliran eksternal, dimana objek bergerak dalam aliran. Jenis dari fluida yang digunakan adalah *air* atau udara dengan suhu konstan pada 293,2 K. Kecepatan yang digunakan adalah 100 km/jam, atau 27,78 m/s. berikut merupakan rincian dari *boundary condition* yang digunakan pada simulasi.

Tabel 1. Data *Pre-processing*

No	Pre-Processing data	
1	Setting unit system	SI (m-kg-s)
2	Analysis type	External
3	Default Fluid	Air (gases)
4	Initial and ambient condition	Pressure: 101,325 Pa Temperature: 293,2 K
5	Velocity (x)	27,78 m/s

Selanjutnya adalah memasukan rumus detail pada *insert equation goal* pada bagian *goals*. Untuk mendapatkan nilai C_d penulis melakukan perhitungan berdasarkan nilai *drag force* yang telah didapat. Berikut pada persamaan (1) merupakan rumus yang digunakan untuk mencari *coefficient of drag* dari penelitian oleh Arabaci [2]:

$$C_D = \frac{2 \times F_D}{\rho \times A \times V^2} \quad (1)$$

Catatan:

- C_d = Koefisien hambatan
- F_d = Gaya hambatan (N)
- A = Luas *frontal area* (m^2)
- ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)
- V = Kecepatan rata-rata (m/s)

Gambar 5 merupakan *equation* untuk menghitung besar C_d . Besaran frontal area yang digunakan pada bus konvensional adalah $7,74 m^2$.



Gambar 5. Equation Perhitungan C_d Bus Konvensional

Gambar 6 merupakan *equation* untuk menghitung besar C_d . Besar frontal area yang digunakan pada bus modifikasi adalah $7,63 \text{ m}^2$. Sedangkan kecepatan yang digunakan adalah 100 km/jam atau $22,78 \text{ m/s}$. Hasil pada simulasi menunjukkan ambang batas yang ditentukan dan disertakan pada Gambar 7.



Gambar 6. Equation Perhitungan C_d Bus Modifikasi



Gambar 7. Klasifikasi hasil simulasi



Gambar 8. Desain dan Simulasi Bus Konvensional

Dari hasil simulasi pada Gambar 8 yang sudah dilakukan maka dilanjutkan pada tahap simulasi yang didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Simulasi Desain Bus Konvensional

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value
GG Force (X) 1	(N)	1851.436	1855.619
Equation Goal 1	(N)	0.506	0.507

Hasil simulasi pada Tabel 2 CFD pada desain bus konvensional menunjukkan nilai koefisien hambatan (C_d) sebesar 0,5 dengan gaya hambatan maksimum yang tercatat sebesar $1851,436 \text{ N}$. Nilai ini mengindikasikan tingkat hambatan udara yang signifikan pada bodi bus konvensional, yang dapat memengaruhi efisiensi bahan bakar dan performa kendaraan secara keseluruhan. Visualisasi aliran udara pada gambar menunjukkan pola aliran dengan area turbulensi yang relatif besar di bagian belakang bus, yang berkontribusi pada peningkatan gaya hambatan. Kondisi ini konsisten dengan karakteristik aerodinamika kendaraan besar dengan desain bodi konvensional yang kurang optimal dalam mengurangi hambatan udara. Temuan ini menjadi dasar pertimbangan dalam pengembangan desain bodi bus.



Gambar 9. Desain dan Simulasi Bus Modifikasi

Dari simulasi Gambar 9 yang sudah dilakukan maka dilanjutkan pada tahap simulasi yang didapatkan hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Simulasi Desain Bus Modifikasi

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value
GG Force (X) 1	(N)	1353.031	1359.264
Equation Goal 1	(N)	0.3751565	0.3768849

Hasil simulasi pada Tabel 3 CFD pada desain bus modifikasi yang dianalisis menunjukkan nilai koefisien hambatan (C_d) sebesar 0,373 dengan gaya hambatan maksimum yang tercatat sebesar $1353,031 \text{ N}$ pada sumbu yang searah dengan arah gerak kendaraan. Nilai ini mengindikasikan tingkat hambatan udara yang lebih rendah dibandingkan dengan desain bus konvensional, yang berpotensi meningkatkan efisiensi bahan bakar dan performa kendaraan secara keseluruhan. Visualisasi aliran udara pada simulasi SolidWorks memperlihatkan area turbulensi yang lebih kecil dibandingkan dengan hasil simulasi sebelumnya, yang menunjukkan aliran udara yang lebih stabil dan teratur di sekitar bodi kendaraan. Kondisi ini konsisten dengan upaya pengoptimalan desain aerodinamika untuk mengurangi hambatan udara dan meningkatkan stabilitas kendaraan saat bergerak. Temuan ini menjadi dasar penting dalam pengembangan desain kendaraan yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

3.2 Perhitungan Bahan Bakar

Perhitungan bahan bakar pada penelitian ini mengacu dari buku *Fundamental of Thermodynamics* hasil karangan Yunus A Chengel dan Robert H. Turner [24]. Perhitungan dapat dilakukan setelah C_d didapatkan.

$$W_{drag} = F_D \times L \tag{2}$$

$$E_{in} = \frac{W_{drag}}{\eta_{car}} \tag{3}$$

$$\text{Banyak Bahan Bakar} = \frac{m_{fuel}}{\rho_{fuel}} \tag{4}$$

Catatan:

- F_d = Gaya hambatan (N)
- L = Jarak tempuh kendaraan satu tahun (km/tahun)
- HV = *Heating value of diesel* (kJ/kg)
- ρ_{fuel} = Massa jenis bahan bakar solar (kg/l)
- μ_{car} = Efisiensi mesin

Data yang digunakan pada perhitungan ini adalah:

- L = 227.808 km/tahun
- HV = 42840 kJ/kg
- ρ_{fuel} = 0,820 kg/l
- μ_{car} = 0,4

Tabel 4. Spesifikasi Pertamina Dex (80) [25]

No.	KARAKTERISTIK	SATUAN	BATASAN MIN	BATASAN MAX	METODE UJI
1	Arus Listrik, min	-	51	-	ASTM D411
2	Arus Listrik, max	-	52	-	ASTM D411
3	Demak Jenis (pada suhu 15 °C)	kg/m ³	820	860	ASTM D4052
4	Viskositas (pada suhu 40 °C)	mm ² /s	2,0	4,5	ASTM D445
5	Kandungan Sulfur	% w/w	-	0,01	ISO22
Distilat :					
1	1. distilat	°C	-	340	ASTM D93
2	2. distilat	°C	-	360	
3	Titik Didih Akhir	°C	-	370	

Tabel 5. Data Hasil Uji

Hasil	Jenis Bus	
	Bus konvensional	Bus redesain
C_d	0,506	0,375
F_D (N)	1.851,436	1.353,031
W_{drag} (kJ/tahun)	421.771.932,288	308.231.286,048
E_{in} (kJ/tahun)	1.054.429.830,72	770.578.215,12
Jumlah Bahan Bakar (L/tahun)	30.016,107	21.935,796

Berdasarkan tabel spesifikasi spesifikasi pertamina dex (80), berat jenis tercatat sebesar 820 kg/m³ (pertamina) [25]. Dari hasil perhitungan konsumsi energi, penggunaan bahan bakar pada bus konvensional mencapai 30.016,17 liter per tahun, sedangkan pada bus hasil redesain hanya sebesar 21.935,79 liter per tahun. Hal ini menunjukkan adanya penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 26,93% pada bus redesain dibandingkan dengan bus konvensional.

Penurunan signifikan ini sejalan dengan perbaikan nilai koefisien drag (C_d) yang menurun dari 0,506 pada bus konvensional menjadi 0,375 pada bus modifikasi. Penurunan C_d berkontribusi langsung pada pengurangan gaya hambatan udara (*drag force*), yang tercermin dari nilai gaya hambatan yang menurun dari 1.851,436 N menjadi 1.353,031 N. Penurunan gaya hambatan ini mengurangi energi yang diperlukan untuk menggerakkan bus, sehingga konsumsi energi (E_{in}) turun dari 1.054.429.830,72 kJ/tahun menjadi 770.578.215,12 kJ/tahun.

Dengan demikian, desain modifikasi bus yang lebih aerodinamis tidak hanya mengurangi hambatan udara, tetapi juga memberikan dampak positif yang nyata terhadap efisiensi bahan bakar. Pengurangan konsumsi bahan bakar sebesar hampir 27% ini sangat signifikan, terutama dalam konteks operasional jangka panjang yang dapat mengurangi biaya bahan bakar dan emisi gas buang, mendukung upaya keberlanjutan dan ramah lingkungan dalam transportasi.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa desain ulang bus dengan pendekatan aerodinamis yang lebih baik secara signifikan mengurangi koefisien drag dari 0,506 pada bus konvensional menjadi 0,375 pada bus modifikasi. Penurunan koefisien hambatan ini berkontribusi pada pengurangan gaya hambatan udara dari 1.851,436 N menjadi 1.353,031 N, serta menurunkan usaha hambatan dari 1.054.429.830,72 kJ/tahun menjadi 770.578.215,12 kJ/tahun. Akibatnya, konsumsi bahan bakar tahunan juga mengalami penurunan yang signifikan, dari 30.016,107 liter pada bus konvensional menjadi 21.935,796 liter pada bus modifikasi, atau setara dengan penghematan sebesar 26,93%.

Hasil ini menegaskan bahwa optimasi desain bodi bus dengan prinsip aerodinamika *streamline* dapat secara efektif meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi konsumsi bahan bakar. Temuan ini memiliki implikasi penting bagi produsen karoseri dan pembuat kebijakan pemerintah dalam merancang dan mengadopsi kendaraan yang lebih ramah lingkungan dan hemat energi. Dengan mengimplementasikan desain aerodinamis yang lebih baik, diharapkan dapat mengurangi biaya operasional serta dampak lingkungan dari sektor transportasi darat.

Pada penelitian kedepannya dapat dilakukan variasi bentuk modifikasi agar lebih mendapat nilai yang maksimal, juga variasi penggunaan perangkat desain dan simulasi diperlukan, agar mengetahui perbandingan nilai hasil. Seperti yang kerap kali digunakan dalam pemodelan dan simulasi yaitu perangkat dan fitur aplikasi ANSYS [26].

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan dalam menyediakan kesempatan hingga tercapainya penelitian ini, juga ditujukan kepada pihak yang telah memberikan bantuan dalam proses penelitian maupun dukungan lainnya.

Daftar Pustaka

- [1] A. Fahira and Sabaruddin, "Optimalisasi aerodinamika pada sayap depan mobil Formula1: Pengaruh drag dan lift terhadap performa mobil di bawah regulasi FIA: Review," *Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya (JUPITER)*, vol. 6, no. 2, pp. 22–28, 2025, doi: 10.31851/jupiter.v6i2.17588.
- [2] R. M. B. Sianipar, A. Hiendro, dan R. A. Wicaksono, "Simulasi aerodinamika bodi mobil listrik Fakultas Teknik menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)," *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN)*, vol. 2, no. 2, pp. 135–141, 2021.
- [3] Fiqih, H. I. 2023. Analisis Koefisien Drag terhadap Konsumsi Bahan Bakar pada Bus Normal Deck dan Double

- Decker Menggunakan Metode CFD. *Jurnal Penelitian Transportasi Multimoda*, 43–55.
- [4] M. F. Zein, "Studi Numerik Karakteristik Aerodinamik untuk Mereduksi Gaya Hambat pada Model Kendaraan Bus Penumpang," Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2024. [Online]. Tersedia: <https://repository.its.ac.id/107304/>
- [5] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, Laporan Kinerja Instansi Pemerintah (LKIP) Tahun 2024. Jakarta: Kementerian Perhubungan, 2025. [Online]. Tersedia: https://ppid.dephub.go.id/fileupload/informasi-berkala/20250516132623.LKIP_Kemehub_2024.pdf
- [6] Majalah Lintas, "Karoseri Bus Double Decker Makin Diminati, Ini 3 Nama Besar yang Dominasi Pasar," *Majalah Lintas*, 26 Mei 2025. [Online]. Tersedia: <https://www.majalahlintas.com/karoseri-bus-double-decker-makin-diminati-ini-3-nama-besar-yang-dominasi-pasar/>
- [7] A. F. Hanafi, P. B. W. Wardhana, M. L. Umar, A. Finali, dan W. Saputra, "Desain dan Analisis Aerodinamis Body Mobil Hemat Energi Jogopati Tipe Prototipe Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics," *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 100–112, 2024. [Online]. Tersedia: <https://ojs.polmed.ac.id/index.php/Sinergi/article/view/1670>
- [8] Adji, E. W. 2024. Ini Jumlah Bus Di Indonesia Bulan Oktober 2024. diakses dari <https://otodriver.com/mobility/bus/2024/ini-jumlah-bus-di-indonesia-bulan-oktober-2024-inieaedd024>
- [9] Badan Pusat Statistik, *Statistik Pertambangan Minyak dan Gas Bumi 2019–2023*, Jakarta: BPS, 2025. [Online]. Tersedia: <https://www.bps.go.id/id/publication/2025/01/31/455db7c47d02471e6c05fa5f/statistik-pertambangan-minyak-dan-gas-bumi-2019-2023.html>
- [10] Kusaeri, D. 2020. Karakteristik aerodinamika terhadap desain mobil hemat energi pada kecepatan 15 km/jam menggunakan computational fluid dynamics. *Jurnal Engineering*, 1(1), 44–52. <http://e-journal.upstegal.ac.id/index.php/eng/article/view/1497>
- [11] Pangestu, R. A. 2024. Analisis Aerodinamika Body Mobil Listrik Dengan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD) Pada Variasi Frontal Area Dan Kecepatan Aliran Udara Menggunakan Software Ansys Fluent. Universitas Malikussaleh.
- [12] Arabaci, S. K., & Pakdemirli, M. 2023. Aerodynamic Improvements of Buses Inspired by Beluga Whales. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 16(12), 2569–2580. <https://doi.org/10.47176/jafm.16.12.1694>
- [13] Otten, W. A., & Al-Obaidi, A. S. M. 2016. Aerodynamic analysis of personal vehicle side mirror. *Journal of Engineering Science and Technology*, 13(Special Issue on the seventh eureka 2016), 52–64.
- [14] Tominaga, Y. 2024. CFD simulations of turbulent flow and dispersion in built environment: A perspective review. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 249(March), 105741. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2024.105741>
- [15] T. S. Utomo, "SIMULASI AERODINAMIKA PADA MODEL SIMPLIFIED BUS MENGGUNAKAN PROGRAM COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS," *ROTASI*, vol. 8, no. 1, pp. 34–37, Mar. 2012. <https://doi.org/10.14710/rotasi.8.1.34-37>
- [16] E. Ljungskog, S. S. (2020). Inclusion of the physical wind tunnel in vehicle CFD simulations for improved prediction quality. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 104055.
- [17] Damissie, H. Y. (2017). Aerodynamic Drag Reduction on Locally Built Bus Body using Computational Fluid Dynamics (CFD): A Case Study at Bishoftu Automotive Industry. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 276–283.
- [18] Arteaga, O., Hernán, M. V., Terán, H., Chacon, S., Lara, M. A., Rocha-Hoyos, J., Arguello, E., & Aguirre, R. P. 2020. Aerodynamic optimization of the body of a bus. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 872(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/872/1/012002>
- [19] Hidayat, W. (2018). Eksperimen Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan Leading Edge Terhadap Karakteristik Aerodinamika Kendaraan Bus. *JPTM*, 117–126.
- [20] Hidayat, M. F. (2016). Analisa Aerodinamika Airfoil NACA 0021 dengan Ansys Fluent. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 1(1), 43–59. DOI: 10.52447/jktm.v1i1.332.
- [21] Fahmi, M., & Hafli, T. M. 2019. Simulasi Numerik Perubahan Morfologi Pantai Akibat Konstruksi Jetty Pada Muara Lambada Lhok Aceh Besar Menggunakan Software Delft3D. *Jurnal Teknik Sipil*, 8, 50–59. <https://doi.org/10.24815/jts.v8i2.13905>
- [22] Dassault Systèmes, "SOLIDWORKS Flow Simulation," 2023. [Online]. Tersedia di: <https://www.solidworks.com/product/solidworks-flow-simulation>. [Diakses: 29-Mei-2025].
- [23] Çengel, Y. A. (2017). *Fundamentals of Thermal Fluid Sciences Cengel 5th Edition*. New York: McGraw-Hill Education.
- [24] PT Pertamina (Persero). (2020). Spesifikasi Produk BBM, BBN & LPG – Pertamina Dex (B0) [PDF]. One Solution Pertamina. Diakses dari https://onesolution.pertamina.com/Product/Download?filena me=20201201035120atc_spesifikasi.pdf
- [25] L. P. Sukoco, F. Tohom, dan E. Pranoto, "Optimalisasi Material dan Profile Reinforcement Beam Guna Meningkatkan Energi Serap Benturan Berbasis Simulasi FEM," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 1, pp. 327–340, 2025. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.21776/jrm.v16i1.2106>
- [26] M. R. Rony, M. J. Islam, S. Shahriare, and M. M. Alam, "Optimizing fuel efficiency in intercity buses: aerodynamic design enhancements and implications for sustainable transportation in Bangladesh," *J. Appl. Fluid Mech.*, vol. 17, no. 12, pp. 2592–2607, 2024, doi: 10.47176/jafm.17.12.2664.