

Analisis Aerodinamika Bodi Mobil Prototipe KMHE Tim Laskar Madani Menggunakan Simulasi Computational Fluid Dynamics SolidWorks Flow Simulation

Muhammad Alfin Rayzeno ^{1*} and Annisa Fyona., S.K.M., M.K.K.K. ^{1*}

· Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Mesin

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail alfin6364@gmail.com

Abstrak

Salah satu faktor utama yang memengaruhi efisiensi energi kendaraan adalah bentuk bodi, karena desain yang kurang aerodinamis menimbulkan hambatan udara (*drag*) dan gaya angkat (*lift*) yang besar sehingga meningkatkan beban kerja mesin dan mengurangi stabilitas kendaraan. Tim Laskar Madani menghadapi tantangan dalam menentukan desain bodi prototipe yang optimal untuk kategori diesel sebelum masuk tahap fabrikasi, sementara pengujian *wind tunnel* secara langsung memerlukan biaya yang besar. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi performa aerodinamika desain bodi mobil prototipe Tim Laskar Madani menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) melalui *SolidWorks 2022 Flow Simulation*, guna memperoleh nilai *drag coefficient* (Cd) dan *lift coefficient* (Cl) pada kecepatan 30 km/jam (8,33 m/s) sebagai dasar evaluasi sebelum fabrikasi. Hasil simulasi menunjukkan nilai *coefficient drag* sebesar 0,1205065 dan *coefficient lift* sebesar 0,0811071, dengan validasi terhadap perhitungan manual menunjukkan selisih yang sangat kecil sehingga hasil simulasi dinyatakan valid. Kontur tekanan memperlihatkan tekanan tertinggi 101.371,58 Pa pada bagian depan bodi sebagai titik stagnasi dan tekanan terendah 101.255,17 Pa pada bagian belakang yang menimbulkan *pressure drag*. Nilai Cd dan Cl yang diperoleh juga sebanding dengan penelitian terdahulu pada kategori mobil hemat energi sejenis. Secara keseluruhan, desain bodi Tim Laskar Madani terbukti memiliki performa aerodinamika yang baik dan layak dilanjutkan ke tahap fabrikasi.

Kata Kunci: Efisiensi Energi, Aerodinamika, Simulasi CFD, KMHE 2024, Koefisien Drag, Mobil Prototipe.

Abstract

One of the main factors that affect the energy efficiency of a vehicle is the shape of the body, as the less aerodynamic design creates a large drag and lift force that increases the workload of the engine and reduces the stability of the vehicle. The Laskar Madani team faced the challenge of determining the optimal prototype body design for the diesel category before entering the fabrication stage, while direct wind tunnel testing was costly. This study aims to evaluate the aerodynamic performance of the Laskar Madani Team's prototype car body design using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation through SolidWorks 2022 Flow Simulation, in order to obtain drag coefficient (Cd) and lift coefficient (Cl) values at a speed of 30 km/h (8.33 m/s) as the basis for evaluation before fabrication. The simulation results showed a drag coefficient value of 0.1205065 and a lift coefficient of 0.0811071, with validation of manual calculations showing a very small difference so that the simulation results were declared valid. The pressure contour shows the highest pressure of 101,371.58 Pa at the front of the body as the stagnation point and the lowest pressure of 101,255.17 Pa at the rear which causes pressure drag. The Cd and Cl values obtained were also comparable to previous research on similar energy-efficient car categories. Overall, the body design of the Laskar Madani Team is proven to have good aerodynamic performance and deserves to be continued to the fabrication stage.

Keywords: Energy Efficiency, Aerodynamics, CFD Simulation, KMHE 2024, Drag Coefficient, Prototype Car.

1. Pendahuluan

Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) adalah kompetisi kendaraan hemat energi tingkat nasional yang diselenggarakan oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia, untuk mendorong mahasiswa merancang kendaraan efisien dan ramah lingkungan [1]. Konsumsi bahan bakar mobil bisa berbeda-beda tergantung beberapa hal, salah satunya adalah bentuk bodi mobil yang memengaruhi angin mengalir di sekelilingnya. Semakin bentuk mobilnya aerodinamis, beban kerja mesin akan semakin ringan, sehingga penggunaan bahan bakar juga bisa diperkecil. Dengan bentuk tubuh yang aerodinamis, gaya gesekan samping dan momen yang terjadi pada mobil bisa terkontrol dengan lebih baik, sehingga mobil tetap stabil dan aman ketika berjalan dengan kecepatan tinggi, seperti saat mengubah kecepatan, mempercepat, mengemudi di belokan, naik turun bukit, serta melakukan berbagai gerakan lainnya [2].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil desain bodi kendaraan prototipe hingga lanjut ke tahap fabrikasi, yang perlu dievaluasi secara aerodinamika yaitu untuk mengetahui nilai *drag coefficient* (C_d) dan *lift coefficient* (C_L) yang dihasilkan, dengan kecepatan 30 Km/Jam, pada suhu 27°C, mengikuti kecepatan uji yang digunakan pada penelitian sejenis [5].

Penelitian-penelitian terdahulu telah mengkaji aerodinamika berbagai bodi kendaraan hemat energi menggunakan simulasi CFD, seperti pada penelitian [2,4,5,6]. Namun, setiap penelitian tersebut menggunakan objek bodi yang berbeda, dengan bentuk dan ukuran masing-masing. Bodi prototipe Tim Laskar Madani sendiri belum pernah dievaluasi secara khusus, sehingga nilai *drag coefficient* dan *lift coefficient* perlu dianalisis tersendiri.

Penelitian ini juga memiliki tujuan yang berbeda dari studi-studi sebelumnya. Jika penelitian terdahulu umumnya bersifat analitik untuk mengukur dan membandingkan nilai C_d dan C_L , penelitian ini digunakan secara langsung sebagai dasar pengambilan keputusan sebelum bodi kendaraan masuk tahap fabrikasi. Dengan begitu, hasil penelitian ini tidak hanya bermanfaat secara akademis, tetapi juga mendukung langsung proses pengembangan kendaraan Tim Laskar Madani untuk KMHE 2024.

Pengujian *wind tunnel* memerlukan biaya besar sehingga simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dipilih sebagai alternatif yang lebih terjangkau namun akurat, dan setelah proses evaluasi masuk ke tahap fabrikasi pembuatan bodi. *SolidWorks 2022 Flow Simulation* digunakan karena terintegrasi langsung dengan model 3D dan terbukti menghasilkan nilai C_d yang valid pada penelitian kendaraan sejenis [3].

Drag force atau gaya hambat (F_d) adalah gaya aerodinamika yang bekerja berlawanan dengan arah gerak suatu objek melalui fluida (cair atau gas). Gaya ini merupakan gaya mekanik yang timbul dari interaksi fisik antara permukaan benda padat dan fluida di sekitarnya. Untuk terjadinya gaya hambat, harus ada kontak fisik dan gerakan relatif antara objek dan fluida. *Drag coefficient* atau koefisien hambat (C_d) adalah bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk menilai semua ketergantungan kompleks dari bentuk objek dan kondisi aliran fluida terhadap gaya hambat. Nilai C_d ditentukan melalui eksperimen di terowongan angin atau simulasi komputasi (*Computational Fluid Dynamics*-CFD) [6].

$$C_d = \frac{2 F_d}{\rho v^2 A} \dots (1)$$

Lift force atau gaya angkat (F_L) adalah gaya aerodinamika yang bekerja tegak lurus terhadap arah aliran fluida atau arah gerak objek. Gaya ini krusial untuk penerbangan pesawat, memungkinkan mereka melawan gravitasi. Pembentukan gaya angkat utamanya disebabkan oleh perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah objek (misalnya, sayap pesawat) dan perubahan momentum aliran udara. *Lift coefficient* atau koefisien angkat (C_L) adalah bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk memodelkan pengaruh bentuk objek, sudut serang (*angle of attack*), dan kondisi aliran fluida terhadap gaya angkat [6].

$$C_L = \frac{2 F_L}{\rho v^2 A} \dots (2)$$

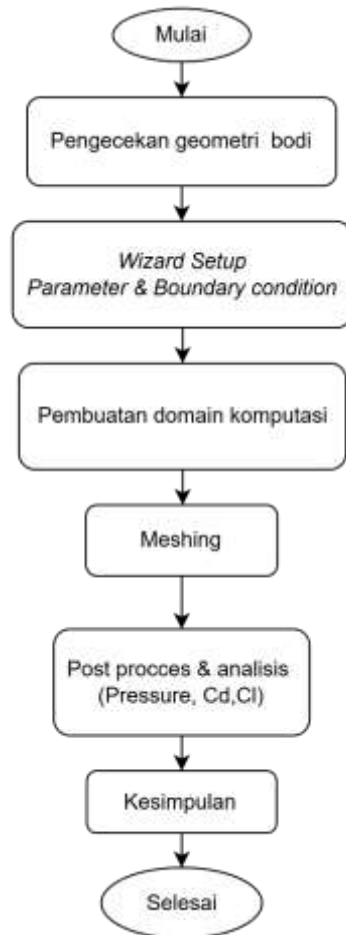
Kondisi aliran laminar atau turbulen dapat dijelaskan dengan bilangan reynolds untuk aliran incompressible. Reynolds kritis (critical reynold number) merupakan aliran udara yang mulus dan berlapis, kemudian berubah menjadi aliran yang kacau. Ukuran panjang kendaraan, viskositas kinematik, dan densitas udara pada kendaraan berpengaruh terhadap bilangan Reynolds, koefisien untuk sebagian besar

aliran eksternal terutama bergantung pada bilangan reynolds. Bilangan Reynolds dapat dirumuskan dalam persamaan [6].

$$Re = \frac{(\rho \times v \times L)}{\mu} \dots\dots (3)$$

2. Metodologi Penelitian

Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1. Studi Literatur

Aerodinamika mobil hemat energi berkaitan erat dengan pengaruh bentuk bodi terhadap gaya hambat udara (*drag*) saat kendaraan bergerak. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa desain bodi yang lebih ramping, moncong membulat, dan bagian belakang yang halus dapat menurunkan nilai koefisien drag (*Cd*) serta memperkecil terjadinya aliran udara yang terpisah [2]. Peneliti melakukan analisis aerodinamika bodi mobil hemat energi kelas prototipe dengan menggunakan simulasi CFD *Solidwork 2022 Flow Simulation* dan untuk membuktikan bahwa bodi yang baik dapat mengurangi konsumsi energi pada kecepatan tertentu. Selain itu, penelitian tentang simulasi aerodinamika bodi mobil menunjukkan bahwa kombinasi bentuk depan, atap, dan bagian belakang yang halus dapat mengurangi gaya *drag* dan meningkatkan efisiensi pemakaian energi, yang relevan bagi kendaraan hemat energi seperti KMHE.

2.2. Geometri Bodi Mobil Prototipe

Model 3D bodi mobil prototipe dibuat menggunakan *Solidwork 2022* dengan dimensi seperti pada Tabel 1. Geometri disederhanakan dengan menghilangkan komponen kecil yang tidak berpengaruh signifikan terhadap karakteristik aerodinamika [1].

Tabel 1. Parameter ukuran regulasi & prototipe

Parameter	Regulasi KMHE 2024	LASKAR MADANI
Tinggi Kendaraan	130 cm (maksimal)	68,5 cm
Lebar Kendaraan	130 cm (maksimal)	67,5 cm
Panjang Kendaraan	350 cm (maksimal)	260,7 cm

2.3. Boundary Condition

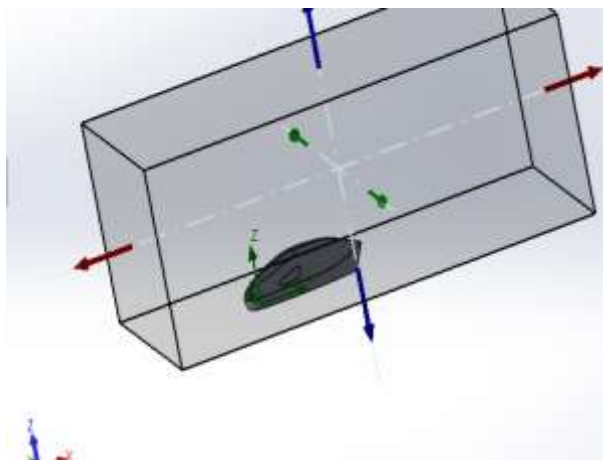
Boundary condition merupakan syarat batas yang diterapkan pada batas-batas domain komputasi untuk mendefinisikan perilaku aliran fluida selama proses simulasi berlangsung. Menurut Versteeg & Malalasekera (2007), penetapan boundary condition yang tepat merupakan hal yang krusial karena secara langsung mempengaruhi keakuratan dan kestabilan solusi numerik yang dihasilkan oleh solver CFD [7].

Pada penelitian ini, di mana inlet ditetapkan sebagai *velocity inlet* sebesar 8,33 m/s pada arah sumbu-x, sementara outlet menggunakan *pressure outlet* sebesar 101.325 Pa. Arah lateral (y dan z) ditetapkan dengan kecepatan 0 m/s untuk mensimulasikan aliran bebas satu arah layaknya kondisi wind tunnel.

Permukaan bodi kendaraan ditetapkan sebagai *Adiabatic Wall* dengan nilai kekasaran permukaan (*roughness*) 1,6 μm . Kondisi *adiabatic wall* berarti tidak terjadi perpukaran kalor antara permukaan bodi dan aliran udara di sekitarnya, atau secara matematis fluks kalor pada dinding sama dengan nol ($q_{\text{wall}} = 0$). Kondisi ini bukan berarti bodi tidak memiliki temperatur, melainkan pengaruh perpindahan panas diabaikan karena fokus simulasi adalah pada kuantitas aerodinamika berupa gaya hambat dan gaya angkat, bukan analisis termal (Versteeg & Malalasekera, 2007). Asumsi ini valid untuk kendaraan yang melaju pada kecepatan rendah (30 km/jam) di mana efek pemanasan aerodinamika (*aerodynamic heating*) sangat kecil dan dapat diabaikan [7].

2.4. Domain Komputasi

Domain komputasi adalah bagian dari ruang di mana solusi komputasi dihitung. Untuk menyelesaikan persamaan simulasi yang sudah dibagi menjadi bagian-bagian kecil, persamaan tersebut harus diatur dalam grid atau mesh komputasi [2].



Gambar 2. Domain computational

2.5. Parameter pengujian aerodinamika

Simulasi dilakukan pada kondisi *steady-state* yaitu aliran udara dianggap stabil dan tidak berubah terhadap waktu. Kondisi ini dipilih karena kendaraan diasumsikan melaju pada kecepatan konstan 30 km/jam P

Tabel 2. Parameter pengujian aerodinamika

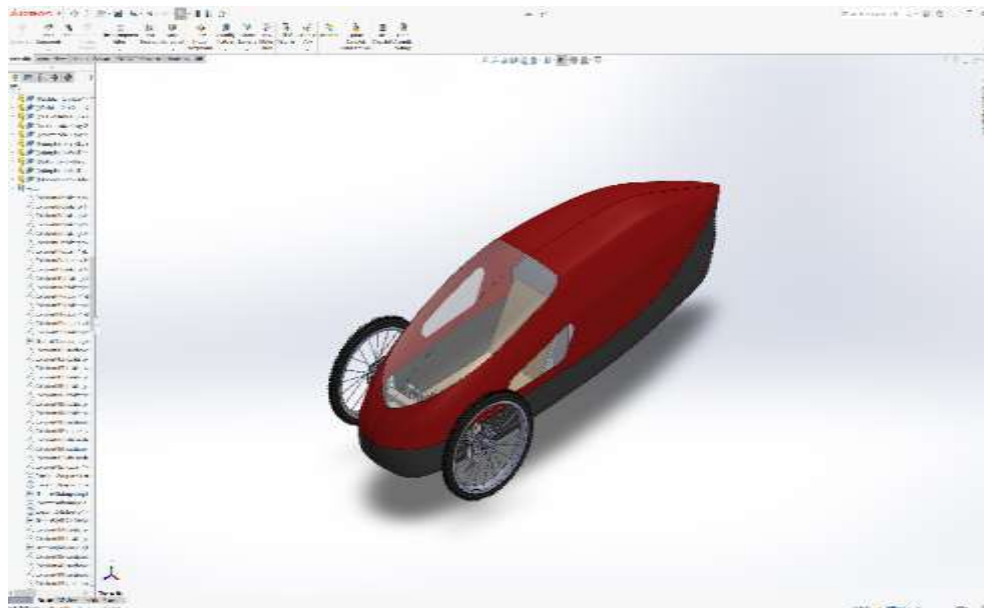
Parameter	Nilai	Sumber & Rumus
Densitas Udara	1.176 kg/m ³	$\rho = \frac{P}{R \times T}$
Pressure	101325 Pa	Internasional Standar Atmosphere (ISA)
Luas Penampang	0,40 m ²	Berdasarkan pengukuran pada solidworks
Viskositas Dinamis Udara	1,846×10 ⁻⁵ Pa.s	$\mu = \mu_0 \cdot \left(\frac{T^{3/2}}{T_0} \right) \cdot \frac{T_0 + S}{T + S}$

2.6. Meshing

Untuk meningkatkan akurasi perhitungan pada aliran turbulen, proses meshing dilakukan secara bertahap. Domain komputasi terlebih dahulu digabungkan dengan bodi kendaraan menjadi satu volume komputasi, kemudian dibagi menjadi elemen-elemen kecil (mesh) dengan ukuran 0,70 m.

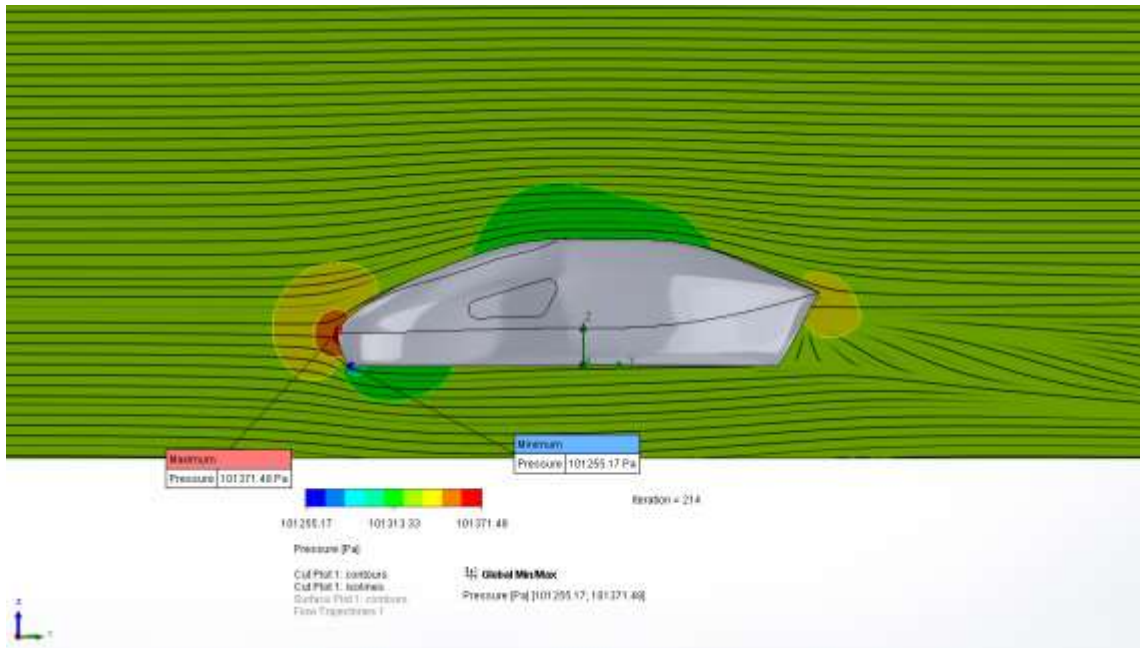
Ukuran ini dipilih berdasarkan hasil uji coba pada software. Jika ukuran mesh dibuat lebih besar dari 0,70 m, proses perhitungan (calculation) mengalami error. Sebaliknya, jika ukuran mesh dibuat lebih kecil dari 0,70 m, proses pembuatan mesh (meshing) itu sendiri yang gagal. Oleh karena itu, 0,70 m ditetapkan sebagai ukuran yang paling optimal karena berada di luar kedua batas kegagalan tersebut [2].

3. Analisis Data dan Pembahasan

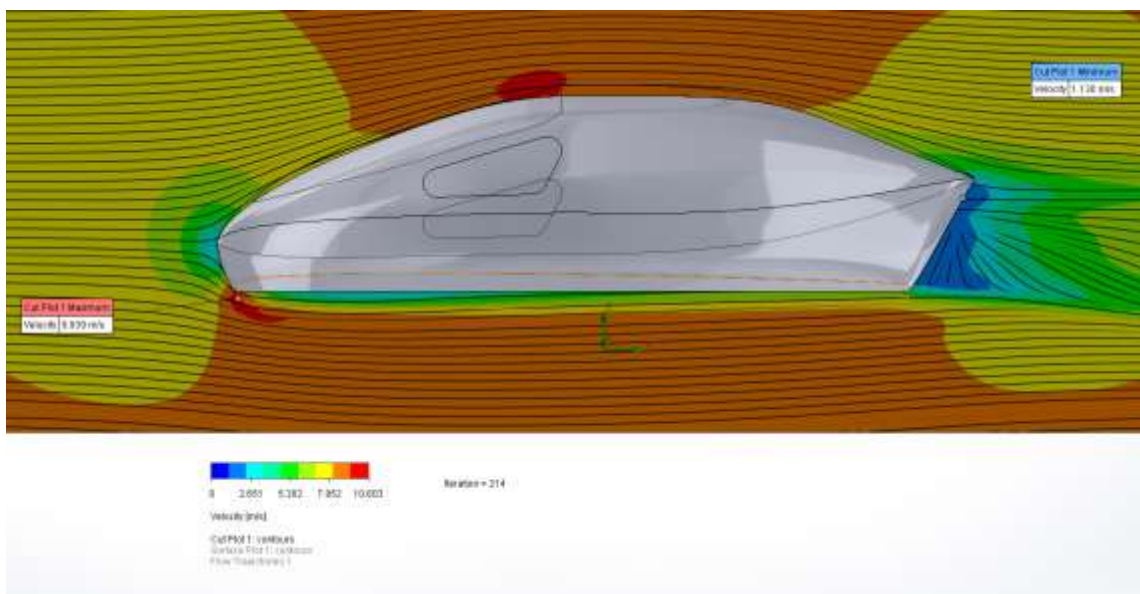


Gambar 3. Desain Bodi tim Laskar madani

Dalam penelitian tugas akhir ini, pengamatan mengenai aerodinamika dilakukan pada bagian bodi dari kendaraan Tim Laskar Madani Polibatam. Pemodelan bentuk bodi mobil memiliki ukuran yang ditentukan dalam KMHE 2024, untuk jenis mobil prototype. Bentuk mobil dianalisis secara 3 dimensi dengan menggunakan *software SolidWorks 2022*, sehingga bisa mendapatkan data tekanan kontur (*contour pressure*), *contour velocity*, koefisien drag (*drag coefficient*), dan koefisien lift (*lift coefficient*). Sehingga bisa dilakukan analisis tentang bagaimana tekanan terdistribusi, bagaimana kecepatan terdistribusi, serta analisis mengenai gaya hambat (*drag force*) dan gaya angkat (*drag lift*).



Gambar 4. Kontur distribusi tekanan pada bodi



Gambar 5. Kontur velocity pada bodi

Gambar 4 dan Gambar 5 menampilkan hasil simulasi kontur distribusi tekanan dan kecepatan aliran udara pada permukaan bodi kendaraan. Kedua hasil simulasi ini dianalisis secara bersamaan untuk memperoleh gambaran yang lebih menyeluruh mengenai karakteristik aerodinamika bodi kendaraan yang diuji.

Berdasarkan hasil simulasi kontur tekanan pada Gambar 4, tekanan tertinggi terjadi di bagian depan bodi dengan nilai 101.371,58 Pa. Kondisi ini terjadi karena bagian depan bodi merupakan titik stagnasi, yaitu titik di mana aliran udara bertumbukan langsung dengan permukaan kendaraan sehingga tekanan udara di area tersebut mencapai nilai maksimum. Hal ini juga didukung oleh hasil simulasi kontur kecepatan pada Gambar 5, di mana kecepatan aliran udara di bagian depan bodi mengalami perubahan signifikan saat udara mulai menyentuh permukaan kendaraan.

Pada bagian atas dan samping bodi, aliran udara bergerak mengikuti kontur permukaan kendaraan. Kecepatan udara di area ini berada pada rentang menengah yang ditunjukkan oleh warna kuning hingga hijau, dengan garis-garis aliran (streamline) yang tampak rapi dan tertib mengikuti bentuk bodi. Distribusi

tekanan di area yang sama juga menunjukkan nilai yang relatif merata, yang mengindikasikan bahwa bentuk bodi pada bagian ini cukup baik dalam mengarahkan aliran udara.

Kecepatan tertinggi aliran udara tercatat sebesar 9,939 m/s di area sekitar bawah bodi bagian depan, karena udara terdesak melewati celah sempit antara bodi dan permukaan tanah. Sebaliknya, kecepatan terendah terjadi di bagian belakang bodi dengan nilai 1,130 m/s, ditunjukkan oleh warna biru pada kontur kecepatan. Kondisi ini selaras dengan hasil kontur tekanan yang menunjukkan tekanan terendah di area yang sama, yaitu 101.255,17 Pa. Penurunan kecepatan di bagian belakang ini disebabkan oleh terjadinya separasi aliran udara setelah melewati ujung belakang bodi, sehingga terbentuk zona aliran yang lambat dan tidak beraturan atau disebut zona wake.

Perbedaan tekanan antara bagian depan dan belakang kendaraan sebesar 116,41 Pa yang disertai dengan perbedaan kecepatan yang signifikan mengindikasikan adanya pressure drag yang bekerja pada bodi kendaraan selama simulasi berlangsung.

Tabel 3. Hasil komputasi simulasi Drag Force, Lift Force, Cd, Cl

Kecepatan (m/s)	drag coefficient	lift coefficient	Drag Force	Lift Force
8.333 M/s	0,1205065	0,0811071	1,968 N	1,325 N

Pada table 3, menunjukkan bahwa hasil perhitungan simulasi pada bodi dengan kecepatan 8,33 m/s atau 30 Km/h menghasilkan nilai *coefficient drag* sebesar (0.1205) dan nilai *coefficient lift* sebesar (0.0809). Semakin tingginya koefisien drag, maka tingkat aerodinamika pada kecepatan tertentu bisa menghambat kecepatan kendaraan dan semakin rendah nilai cd maka hambatan yang dihasilkan dalam studi aerodinamika yang dihasilkan akan kecil saat fluida melewati bagian bodi kendaraan.

Perhitungan gaya aerodinamis dalam simulasi ini melibatkan pengukuran nilai koefisien pada bagian bodi. Setelah mendapatkan nilai koefisien hambat dari simulasi, maka dapat dicari nilai gaya hambat. dan gaya angkat yang terjadi dengan menggunakan persamaan.

1) Gaya Hambat (Drag Force)

$$Fd = 1 / (2 \times \rho \times v^2 \times Cd \times A)$$

$$Fd = 1 / 2 \times 1,176 \times 8,33^2 \times 0.1205065 \times 0,40$$

$$Fd = 1 / 2 \times 3,9333 = 1,96665 \text{ N}$$

2) Koefisien hambat (Coefficient Drag)

Untuk menghitung nilai koefisien hambat digunakan persamaan.

$$Cd = \frac{2 Fd}{\rho v^2 A} \dots (1)$$

$$Cd = \frac{2 \times 1,96665}{1,176 \times 8,33^2 \times 0,40}$$

$$Cd = \frac{3,9333}{32,6405} = 0,1205036$$

Kemudian untuk menghitung gaya hambat dan koefisien hambat dari variasi yang lainnya, dapat dicari dengan menggunakan persamaan yang sama.

3) Gaya angkat (Lift Force)

$$F = 1 / (2 \times \rho \times v^2 \times Cl \times A)$$

$$Fl = 1 / 2 \times 1,176 \times 8,33^2 \times 0.0811071 \times 0,40$$

$$Fl = 1 / 2 \times 2,6473 = 1,32365 \text{ N}$$

4) Koefisien angkat (Coefficient LIft)

Untuk menghitung nilai koefisien angkat digunakan persamaan.

$$Cl = \frac{2 Fl}{\rho v^2 A} \dots (2)$$

$$Cl = \frac{2 \times 1,32365}{1,176 \times 8,33^2 \times 0,40}$$

$$Cl = \frac{2,6406}{32,6405} = 0,0811047$$

Verifikasi perhitungan simulasi dengan manual *Coefficient drag*, *drag force* dapat dilihat melalui table 4, dan tabel 5 untuk perbandingan *coefficient lift*, *lift force*.

Tabel 4. Perbandingan nilai *drag force*, *coefficient drag* simulasi dan manual

Kecepatan	<i>Coefficient Drag</i>		<i>Drag Force</i>	
	Simulasi	Manual	Simulasi	Manual
8,33 m/s	0,1205065	0,1205036	1,968	1,96665

Tabel 5. Perbandingan nilai *Lift force*, *coefficient Lift* simulasi dan manual

kecepatan	<i>Coefficient Lift</i>		<i>Lift Force</i>	
	Simulasi	Manual	Simulasi	Manual
8,33 m/s	0,0811071	0,0811047	1,325	1,32365

Berdasarkan Tabel 4 dan Tabel 5, hasil simulasi dan perhitungan manual menunjukkan kesesuaian yang sangat baik, di mana nilai *coefficient drag* hasil simulasi sebesar 0,1205065 dan perhitungan manual sebesar 0,1205036, serta nilai *coefficient lift* hasil simulasi sebesar 0,0811071 dan perhitungan manual sebesar 0,0811047. Selisih antara keduanya sangat kecil dan dapat diabaikan, sehingga hasil simulasi CFD pada penelitian ini dinyatakan valid.

Perbandingan lebih lanjut dilakukan berdasarkan luas frontal area yang digunakan pada tiap penelitian. Pada referensi penelitian [5] menggunakan frontal area sebesar 0,45 m², mendekati frontal area penelitian ini sebesar 0,40 m², dengan nilai *coefficient drag* hasil perhitungan manual sebesar 0,102 pada kecepatan 8,33 m/s, sama persis dengan kecepatan uji penelitian ini. Sementara itu, pada referensi penelitian [6] menggunakan dua variasi frontal area, yaitu 0,39 m² dan 0,48 m², dengan nilai *coefficient drag* rata-rata pada masing-masing frontal area sebesar 0,134 dan 0,151. Luas frontal area sebesar 0,39 m² pada penelitian tersebut merupakan yang paling mendekati luas frontal area penelitian ini. Kedua perbandingan ini memperkuat bahwa nilai *drag coefficient* penelitian ini, yaitu 0,1205065, berada pada rentang yang wajar dan sejalan dengan penelitian sejenis yang memiliki luas frontal area hampir sama, sehingga nilai Cd sangat bergantung pada luas frontal area yang digunakan sebagai acuan perhitungan

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis aerodinamika yang telah dilakukan, dapat disimpulkan pengujian ini berhasil mengetahui hasil desain bodi hemat energi tim laskar madani, hasil simulasi menunjukkan bahwa desain bodi yang dibuat menghasilkan performa aliran udara yang optimal, dibuktikan secara kuantitatif melalui nilai *coefficient drag* sebesar 0,1205065 dan *coefficient lift* sebesar 0,0811071 pada kecepatan pengujian 30 km/h atau 8,33 m/s.

Kontur tekanan menunjukkan tekanan tertinggi sebesar 101.371,58 Pa terjadi dibagian depan bodi sebagai titik stagnasi, sedangkan tekanan terendah 101.255,17 Pa terjadi dibagian belakang bodi yang secara langsung menghasilkan *pressure drag* (semakin besar perbedaan tekanan semakin besar gaya hambat yang mendorong kendaraan kebelakang). Secara keseluruhan, aerodinamik pada desain bodi tim laskar madani sudah baik dan bisa lanjut ke tahap fabrikasi.

Daftar Pustaka

- [1] Balai Pengembangan Talenta Indonesia, Pusat Prestasi Nasional, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2024). Regulasi Non Teknis Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) 2024..
- [2] Hanafi, A. F., Wardhana, P. B. W., Umar, M. L., Finali, A., & Saputra, W. (2024). Desain dan analisis aerodinamis body mobil hemat energi JOGOPATI tipe prototype menggunakan metode computational fluid dynamics. *SINERGI POLMED J. Ilm. Tek. Mesin*, 5(2), 100-112.
- [3] Fu, C., Uddin, M., & Zhang, C. (2020). Computational analyses of the effects of wind tunnel ground simulation and blockage ratio on the aerodynamic prediction of flow over a passenger vehicle. *Vehicles*, 2(2), 318-341.
- [4] Ananda, R. P., Akbar, A., & Pramesti, Y. (2021, August). Analisis aerodinamika bodi kendaraan KMHE Jayabaya prototype 2.0. In *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi)* (Vol. 5, No. 3, pp. 218-223)
- [5] DwiYanto, A., Julianto, E., Iwan, M., & Irawan, D. (2025). Aerodinamika AERODINAMIKA PADA KENDARAAN TIPE PROTOTYPE CONCEPT DENGAN SIMULASI CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS): Aerodinamika, Desain Kendaraan, Efisiensi. *Majalah Ilmiah Momentum*, 21(1), 41-50.
- [6] Rangga, A. P. (2024). *Analisis Aerodinamika Body Mobil Listrik Dengan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD) Pada Variasi Frontal Area Dan Kecepatan Aliran Udara Menggunakan Software Ansys Fluent* (Doctoral dissertation, Universitas Malikussaleh).
- [7] Versteeg, H.K. & Malalasekera, W. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method* (2nd ed.). Pearson Education.(BUKU).