

## Aerodynamic Analysis of Diesel Engine Prototype Vehicle Body Design Using Ansys Fluent

Fadhilah Ikhsan Dinul<sup>1\*</sup>, Randi Purnama Putra<sup>1</sup>, Refdinal<sup>1</sup>, Fitrah Qalbina<sup>1</sup>

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Padang, INDONESIA

Corresponding author: [ikhsandinul48@gmail.com](mailto:ikhsandinul48@gmail.com)

Received Agustus 13<sup>th</sup> 2024; Revised Agustus 30<sup>th</sup> 2024; Accepted September 9<sup>th</sup> 2024

### Abstract

Transportation industry is the third largest energy consumer, the focus on energy saving in vehicles and reducing exhaust emissions is major concern. Aerodynamics is one of the important subjects in vehicle engineering today. The more aerodynamic the vehicle, the lighter the engine performance, which can reduce fuel usage. This study aims to examine the effect of vehicle body design on the value of drag coefficient ( $C_d$ ), lift coefficient ( $C_\ell$ ), and the ratio between lift coefficient and drag coefficient ( $C_\ell/C_d$ ). The method in this research is a numerical method that utilizes the CFD feature in the Ansys Fluent 2024 R1. The drag coefficient value with a speed of 10 m/s is 0.0155, a speed of 20 m/s is 0.0110, and a speed of 30 m/s is 0.0083. While the value of the lift coefficient with a speed of 10 m/s is obtained worth 0.0177, a speed of 20 m/s worth 0.0358, and a speed of 10 m/s worth 0.0455. Then the vehicle body design obtained the value of the  $C_\ell/C_d$  ratio with a speed of 10 m/s worth 1.1419, a speed of 20 m/s worth 3.2545, and a speed of 30 m/s worth 5.4819. The conclusion this research is that the design of the vehicle body has a drag coefficient value decreasing as the speed increases and conversely the lift coefficient value increases. Based on the  $C_\ell/C_d$  ratio value, it indicates that the vehicle body design is an aerodynamic design because the higher  $C_\ell/C_d$  ratio, the more efficient the vehicle performance.

**Keywords:** Aerodynamics; Vehicle; Prototype; ANSYS; CFD

## Analisis Aerodinamika Rancangan *Body* Kendaraan *Prototype* Bermesin Diesel Menggunakan ANSYS *Fluent*

### Abstrak

Industri transportasi merupakan konsumen energi terbesar ketiga, sehingga fokus untuk penghematan energi pada kendaraan dan penurunan emisi gas buang menjadi perhatian utama. Aerodinamika adalah salah satu subjek penting dalam rekayasa kendaraan saat ini. Semakin aerodinamis kendaraan, semakin ringan kinerja mesinnya, sehingga dapat mengurangi penggunaan bahan bakar. Pada penelitian ini bertujuan meneliti pengaruh desain *body* kendaraan terhadap nilai koefisien *drag* ( $C_d$ ), koefisien *lift* ( $C_l$ ), dan rasio antara koefisien *lift* dan koefisien *drag* ( $C_l/C_d$ ). Metode pada penelitian ini ialah metode numerik yang memanfaatkan fitur CFD (*Computational Fluid Dynamics*) pada aplikasi Ansys *Fluent* 2024 R1 *Student Version*. Dari hasil penelitian diperoleh nilai koefisien *drag* dengan kecepatan 10 m/s senilai 0,0155, kecepatan 20 m/s senilai 0,0110, dan kecepatan 30 m/s senilai 0,0083. Sedangkan nilai koefisien *lift* dengan kecepatan 10 m/s diperoleh senilai 0,0177, kecepatan 20 m/s senilai 0,0358, dan kecepatan 10 m/s senilai 0,0455. Kemudian desain *body* kendaraan didapatkan nilai rasio  $C_l/C_d$  dengan kecepatan 10 m/s senilai 1,1419, kecepatan 20 m/s senilai 3,2545, dan kecepatan 30 m/s senilai 5,4819. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa desain *body* kendaraan memiliki nilai koefisien *drag* menurun seiring peningkatan kecepatan dan sebaliknya nilai koefisien *lift* meningkat. Berdasarkan nilai rasio  $C_l/C_d$  menandakan bahwa desain *body* kendaraan termasuk desain yang aerodinamis karena semakin tinggi rasio  $C_l/C_d$  maka semakin efisien performa kendaraan.

**Kata kunci:** Aerodinamika; Kendaraan; *Prototype*; ANSYS; CFD

## I. PENDAHULUAN

Peningkatan populasi di Indonesia diiringi dengan peningkatan kebutuhan energi. Industri transportasi merupakan konsumen energi terbesar ketiga, setelah sektor industri dan perumahan, sehingga fokus untuk penghematan energi pada kendaraan dan penurunan emisi gas buang menjadi perhatian utama (Hidayat, 2016). Mobil dan bentuk transportasi darat lainnya menjadi sangat penting bagi semua orang. Namun, peningkatan ini akan menghasilkan lebih banyak emisi CO<sub>2</sub> dan dampak negatif terhadap lingkungan. (Wibowo et al., 2022). Pertumbuhan jumlah kendaraan yang mengonsumsi bahan bakar juga telah menyebabkan berkurangnya sumber bahan bakar. Pengembangan kendaraan hemat energi adalah salah satu caranya. (Zhao et al., 2021).

Penghematan energi kendaraan dicapai dengan mengubah mesin atau mengidentifikasi variabel aerodinamis yang optimal untuk meningkatkan kecepatan kendaraan, menghemat bahan bakar, dan meminimalkan emisi gas buang (Winoko et al., 2019). Aerodinamika *body* kendaraan memainkan peran penting dalam desain kendaraan. Desain aerodinamis *body* kendaraan dapat membantu mengurangi gaya hambat sehingga mengurangi konsumsi bahan bakar pada kendaraan. Aerodinamika mempengaruhi gaya – gaya yang dihadapi oleh kendaraan agar dapat memberikan kecepatan yang baik sehingga kecepatan kendaraan menjadi maksimal saat melaju dan menjaga kestabilan kendaraan agar tetap aman saat mobil mengubah kecepatan, mengerem, berbelok, dan melakukan berbagai manuver lainnya (Piechna, 2021).

Aerodinamika adalah salah satu subjek terpenting dalam rekayasa kendaraan saat ini. Untuk mendapatkan performa kendaraan yang diinginkan, aerodinamika sebuah benda sangat penting karena mempengaruhi aspek eksternal dan bentuk kendaraan itu sendiri. Kondisi kendaraan di jalan raya sangat dipengaruhi oleh gaya dan koefisien aerodinamis. Aerodinamika mengacu pada bentuk dari desain kendaraan. Secara umum, pembebanan aerodinamis terdiri dari gaya *drag* yang membatasi kecepatan kendaraan, gaya *lift* yang mengangkat kendaraan, dan distribusi tekanan. *Body* kendaraan yang aerodinamis berdampak pada penghematan bahan bakar. Hasilnya, semakin aerodinamis kendaraan,

semakin ringan kinerja mesinnya, sehingga dapat mengurangi konsumsi bahan bakar (Hidayati et al., 2017).

Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) adalah kejuaraan mobil nasional dengan mengedepankan efisiensi bahan bakar. *Prototype* dengan kelas mesin diesel merupakan salah satu jenis kendaraan yang kini fokus dalam mengoptimalkan aerodinamika dengan tetap mengutamakan efisiensi bahan bakar. Kendaraan masa depan yang dikenal dengan sebutan *prototype* ini memiliki desain unik yang mengutamakan penghematan bahan bakar. (Kemendikbudristek, 2024). Penggunaan mesin diesel pada kendaraan *prototype* sangat tepat karena karakteristiknya yang dapat beradaptasi di berbagai kondisi jalan tidak rata. Mesin diesel lebih efisien dibanding mesin bensin karena mengonsumsi energi lebih sedikit dengan *output* daya yang lebih tinggi. Ini dapat menghemat biaya operasional dan meningkatkan efisiensi energi kendaraan *prototype*. (Winoko et al., 2019).

Berdasarkan permasalahan tersebut upaya mengurangi nilai koefisien *drag* dan koefisien *lift* kendaraan dapat membantu meningkatkan aerodinamika *body* kendaraan berdasarkan isu – isu tersebut. Menciptakan *body* kendaraan yang lebih aerodinamis akan mengurangi nilai koefisien *drag* dan koefisien *lift*. Kemudian kendaraan dapat melaju dengan mulus dan hemat bahan bakar berkat gaya *body* yang aerodinamis. Dengan metodologi *computational fluid dynamics* (CFD), penelitian ini menggunakan metodologi analisis data aliran fluida eksternal. Selain itu, penelitian ini berfokus untuk melakukan analisis aerodinamika pada rancangan *body* kendaraan *prototype* bermesin diesel menggunakan ANSYS *Fluent* 2024 R1 *Student Version* dan *fluent solver*. Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat diidentifikasi dan dioptimalkan aspek – aspek desain yang mempengaruhi efisiensi aerodinamis kendaraan. Penelitian ini juga memfokuskan pada simulasi aliran udara dan evaluasi koefisien *drag* dan koefisien *lift* untuk berbagai modifikasi desain *body* kendaraan, dengan tujuan akhir untuk mengurangi nilai koefisien *drag* dan nilai koefisien *lift* pada *body* kendaraan.

## II. METODE PENELITIAN

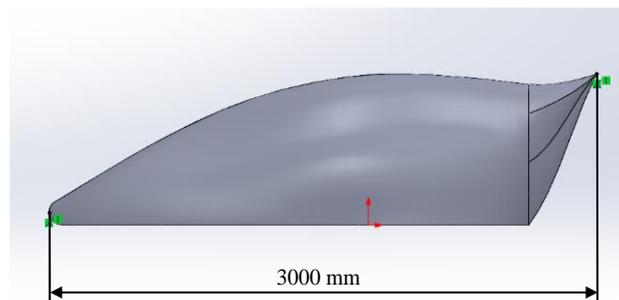
Metode yang digunakan pada penelitian ini ialah metode numerik dengan memanfaatkan fitur CFD (*Computational Fluid Dynamics*) pada aplikasi Ansys *Fluent*. CFD adalah metode yang dibantu komputer untuk menganalisis komputasi menggunakan data numerik dan algoritma. Ansys *Fluent* 2024 R1 *Student Version* adalah *software* yang dimanfaatkan pada penelitian ini.

### 1. Desain *Body* Kendaraan

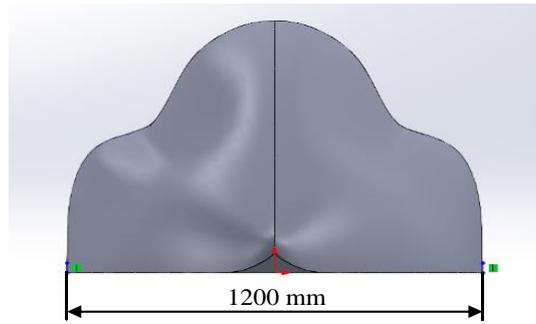
Rancangan *body* kendaraan *prototype* bermesin diesel ini menggunakan *software Solidworks* untuk mendesain geometri *body* kendaraan. Desain *body* kendaraan ini merujuk pada regulasi KMHE 2024 untuk kendaraan kategori *prototype*. Adapun pada tabel 1 dan gambar 1, gambar 2, dan gambar 3 yang merupakan dimensi dan geometri tiga dimensi dari *body* kendaraan *prototype* bermesin diesel.

Tabel 1. Dimensi *Body* Kendaraan *Prototype* Bermesin Diesel

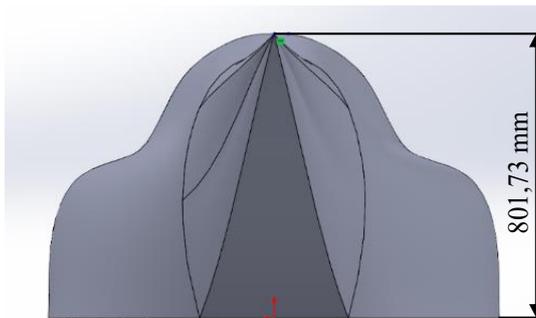
Parameter	Dimensi (mm)
L	3000
W	1200
H	801,73



Gambar 1. Panjang (L) Desain *Body* Kendaraan



Gambar 2. Lebar (W) Desain *Body* Kendaraan



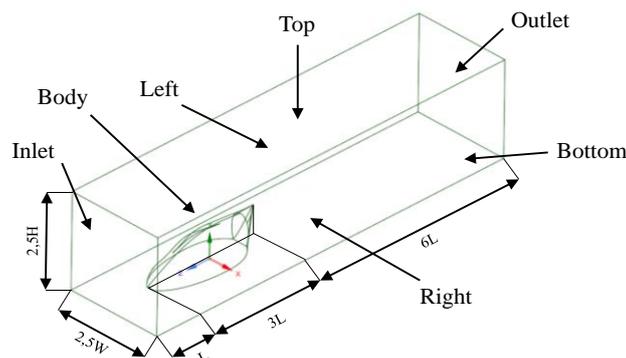
Gambar 3. Tinggi (H) Desain *Body* Kendaraan

## 2. Simulasi Desain *Body* Kendaraan

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan *fluid domain* sebagai *boundary condition* untuk menganalisis aliran fluida melewati *body* kendaraan di *wind tunnel*. *Boundary condition* dari model ini adalah *body*, *wall* (*top*, *bottom*, *right*, dan *left*), *inlet* untuk aliran udara masuk, dan *outlet* sebagai batas analisis pada dinding atas dan bawah. Pada tabel 2 menampilkan parameter dari *boundary condition* dan gambar 4 diperlihatkan pembuatan *fluid domain*.

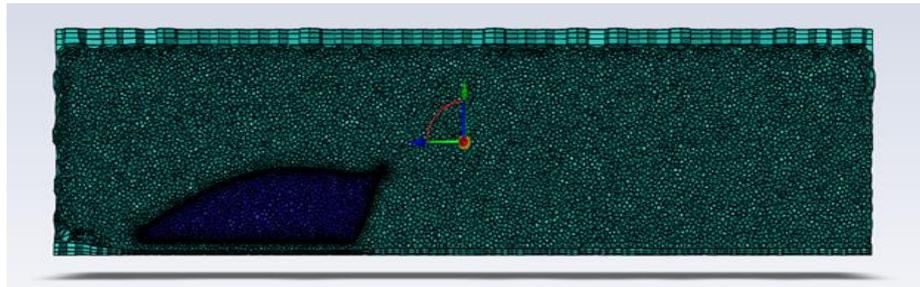
Tabel 2. Parameter *Boundary Conditions*

No.	Nama	Tipe <i>Boundary</i>	Keterangan <i>Boundary</i>
1	<i>Inlet</i>	<i>Velocity inlet</i>	<i>Velocity magnitude</i> : 10, 20, dan 30 m/s
2	<i>Outlet</i>	<i>Pressure outlet</i>	<i>Gauge pressure</i> : 0 Pa
3	<i>Body</i>	<i>Wall</i>	<i>Shear condition</i> : <i>no slip</i>
4	<i>Top</i>	<i>Wall</i>	<i>Shear condition</i> : <i>specified shear</i>
5	<i>Bottom</i>	<i>Wall</i>	<i>Shear condition</i> : <i>no slip</i>
6	<i>Right</i>	<i>Wall</i>	<i>Shear condition</i> : <i>specified shear</i>
7	<i>Left</i>	<i>Wall</i>	<i>Shear condition</i> : <i>specified shear</i>



Gambar 4. Pembuatan *Fluid Domain*

Pembuatan *mesh* dilakukan setelah pembuatan domain selesai. Prosedur *meshing* selanjutnya akan berisi sejumlah proses dan parameter. Bidang atau volume yang berisi fluida yang telah dipisahkan menjadi sel – sel kecil disebut *mesh*. Jenis *mesh polyhedra* dimanfaatkan untuk volume *meshing*. Pada gambar 5 menampilkan hasil *meshing*.



Gambar 5. Hasil *Meshing*

Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan aliran turbulen bersama model *k – epsilon realizable*. Untuk mendapatkan temuan simulasi yang lebih presisi, *Methods* yang dimanfaatkan ialah *scheme coupled* dengan diskritisasi *second order upwind*. Untuk konvergensi pada simulasi ini ialah  $10^{-5}$  dalam proses iterasi. *Hybrid initialization* dimanfaatkan dalam simulasi pada penelitian ini.

### 3. *Grid Independency Analysis*

Untuk mengidentifikasi jumlah *mesh* terbaik yang dapat dimanfaatkan saat melakukan CFD dan yang memiliki *error* paling kecil, maka diperlukan *grid independency analysis*. Jumlah *mesh* yang dievaluasi dan dimanfaatkan adalah 603.509, 701.533, 804.489, dan 904.074. *Grid independency* diteliti dengan menggunakan nilai koefisien *drag* pada *body* kendaraan *prototype* bermesin diesel yang melaju dengan kecepatan 10 m/s. Tabel 3 menampilkan hasil studi *grid independency*.

Tabel 3. *Grid Independency Analysis*

Tipe Mesh	Jumlah Mesh (Cells)	Koefisien Drag	Error (%)
Eksperimen (Rina et al., 2023)	-	0,01507	-
Mesh A	603.509	0,01551	2,91
Mesh B	701.533	0,02213	46,85
Mesh C	804.489	0,02431	61,31
Mesh D	904.074	0,01550	2,85

*Mesh D* memiliki nilai *error* terkecil senilai 2,85 persen, yang dinyatakan sebagai selisih antara koefisien *drag mesh* referensi dengan koefisien *drag* eksperimen dibagi dengan koefisien *drag* eksperimen (Putra et al., 2022). Dapat dirumuskan dalam persamaan berikut.

$$\% \text{ error} = \left[ \frac{\{(C_d \text{ mesh referensi}) - (C_d \text{ eksperimen})\}}{(C_d \text{ eksperimen})} \right] \times 100\%$$

## III. HASIL PENELITIAN

Pada tabel 4 menampilkan variasi kecepatan aliran udara untuk nilai koefisien *drag* juga koefisien *lift* saat 10 m/s, 20 m/s, juga 30 m/s berdasarkan hasil simulasi dan tabel 5 rasio koefisien *lift* juga koefisien *drag* untuk kecepatan aliran udara 10 m/s, 20 m/s, juga 30 m/s.

Tabel 4. Nilai Koefisien *Drag* dan Koefisien *Lift*

No.	Kecepatan Aliran Udara (m/s)	Koefisien Drag	Koefisien Lift
1	10	0,0155	0,0177
2	20	0,0110	0,0358
3	30	0,0083	0,0455

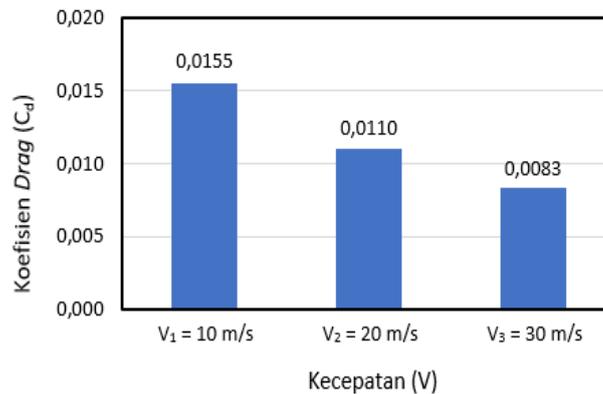
Tabel 5. Nilai Rasio Koefisien *Lift* dan Koefisien *Drag*

No.	Kecepatan Aliran Udara (m/s)	$C_l$	$C_d$	$C_l/C_d$
1	10	0,0177	0,0155	1,1419
2	20	0,0358	0,0110	3,2545
3	30	0,0455	0,0083	5,4819

#### IV. PEMBAHASAN

##### 1. Analisis Koefisien *Drag*

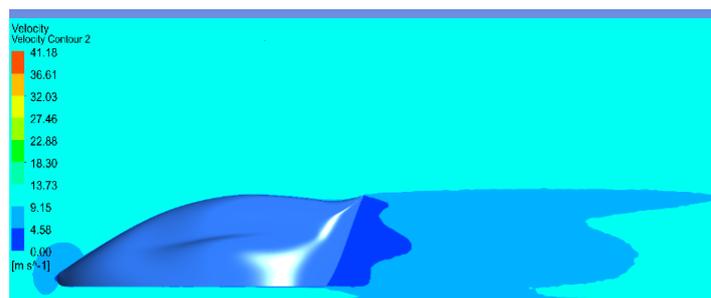
Koefisien *drag* merupakan nilai aerodinamika yang penting pada desain kendaraan karena semakin kecil nilai koefisien *drag* berarti lebih sedikit hambatan udara terhadap *body* kendaraan sehingga konsumsi bahan bakar pada kendaraan akan semakin berkurang. Nilai koefisien *drag* untuk kecepatan 10 m/s, 20 m/s, juga 30 m/s dibandingkan pada gambar 6.



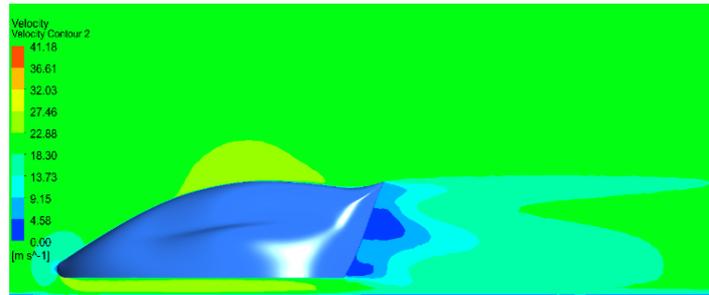
Gambar 6. Perbandingan nilai  $C_d$  pada kecepatan 10 m/s, 20 m/s, dan 30 m/s

Dapat diamati dari gambar di atas bahwa dengan bertambahnya kecepatan, koefisien *drag* turun. Akibatnya, hambatan udara memiliki efek terbesar ketika kendaraan bergerak pada kecepatan paling lambat (Jhon & Utomo, 2017). Pada *body* kendaraan dengan kecepatan 10 m/s didapatkan nilai koefisien *drag* senilai 0,0155; kecepatan 20 m/s didapatkan senilai 0,0110; dan kecepatan 30 m/s didapatkan senilai 0,0083.

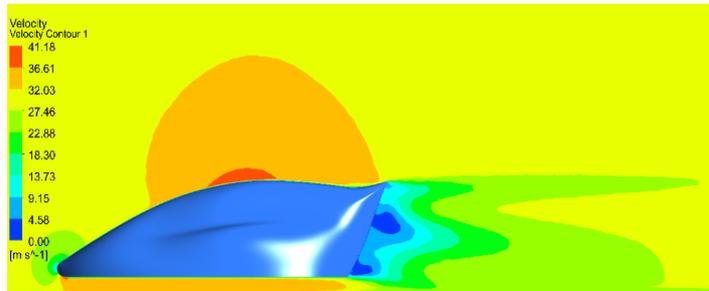
Pada gambar 7 menunjukkan *velocity contour* di sekitar *body* kendaraan untuk kecepatan 10 m/s, 20 m/s, dan 30 m/s. Terlihat adanya fenomena separasi aliran yang membentuk daerah *wake* di belakang kendaraan, yang ditimbulkan dari aliran udara yang tidak dapat mengikuti bentuk *body*. Pada kecepatan 20 m/s dan 30 m/s, *wake* terbentuk lebih kecil dibandingkan kecepatan 10 m/s. Di bagian depan *body*, aliran udara berhenti sepenuhnya di area stagnasi, ditandai dengan warna biru yang menyebabkan kecepatan aliran rendah sehingga terjadinya peningkatan tekanan dan menghasilkan *drag* akibat tekanan tinggi pada titik stagnasi.



(a)



(b)

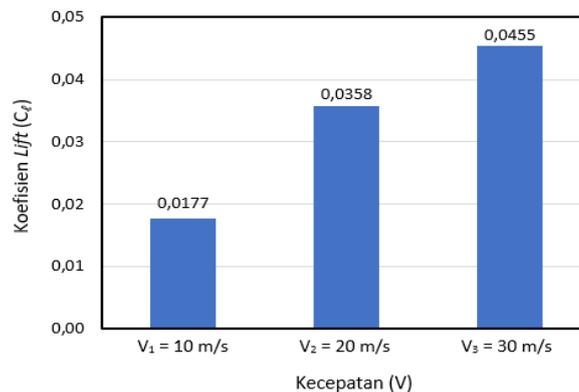


(c)

Gambar 7. *Velocity contour* pada kecepatan (a) 10 m/s, (b) 20 m/s, dan (c) 30 m/s

## 2. Analisis Koefisien Lift

Koefisien *lift* adalah aspek penting dalam aerodinamika pada kendaraan yang memengaruhi stabilitas manuver karena semakin kecil koefisien *lift* maka semakin stabil kendaraan di jalan (Sianipar et al., 2021). Gambar 8 menunjukkan perbandingan nilai koefisien *lift* saat kecepatan udara 10 m/s, 20 m/s, dan 30 m/s.



Gambar 8. Perbandingan nilai  $C_l$  pada kecepatan 10 m/s, 20 m/s, dan 30 m/s

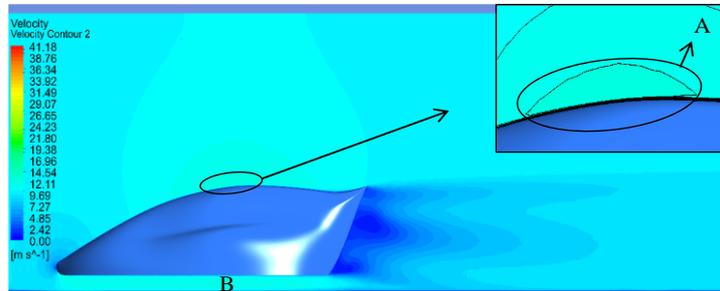
Gambar di atas diketahui bahwa koefisien *lift* semakin bertambah dengan meningkatnya kecepatan aliran udara. Pada *body* kendaraan dengan kecepatan 10 m/s didapatkan nilai koefisien *lift* senilai 0,0177; kecepatan 20 m/s didapatkan senilai 0,0358; dan kecepatan 30 m/s didapatkan senilai 0,0455.

Pada gambar 9 yang merupakan *velocity contour* untuk kecepatan 10 m/s, 20 m/s, dan 30 m/s dimana kecepatan aliran udara yang melewati bagian atas (A) *body* kendaraan lebih tinggi daripada bagian bawah (B) *body* kendaraan. Sehingga tekanan yang terjadi pada bagian atas (X) *body* kendaraan lebih kecil dibandingkan tekanan bagian bawah (Y) *body* kendaraan yang menyebabkan terjadinya gaya angkat pada bagian bawah *body* kendaraan.

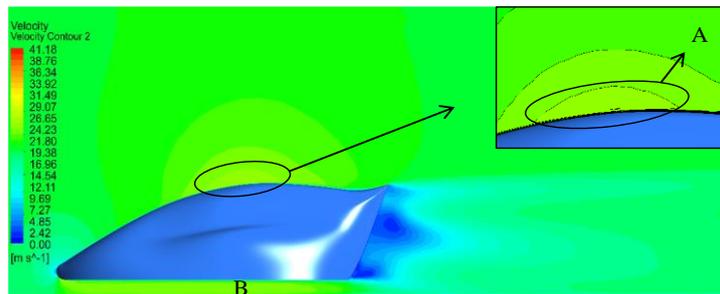
Menurut Badrawada, dkk (2019) kecenderungan pengaruh kecepatan udara ketika meningkatnya kecepatan udara terhadap nilai koefisien *lift*. Hal ini dikarenakan saat kendaraan mencapai kecepatan

yang lebih tinggi, aliran udara di sekitar bodinya menjadi terkompresi sehingga meningkatkan tekanan udara dan mengubah karakteristik aliran, yang pada akhirnya meningkatkan nilai koefisien *lift* pada kendaraan sehingga dapat mengalami peningkatan pada gaya *lift*.

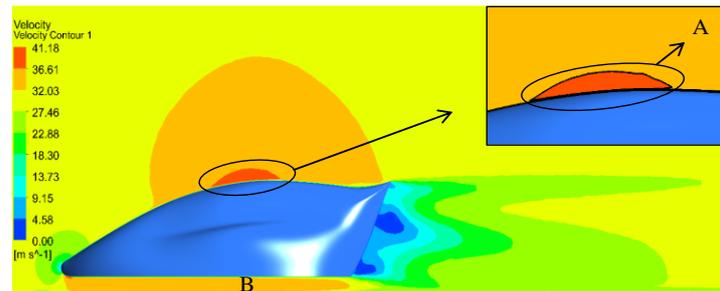
Karena desain *body* bagian atas yang melengkung, yang memaksa udara mengalir lebih cepat untuk mengikuti bentuk kontur *body* sehingga terdapat perbedaan kecepatan di bagian atas dan bawah *body* kendaraan. Sesuai prinsip Bernoulli, yang menyatakan bahwa peningkatan kecepatan aliran menyebabkan penurunan tekanan dan sebaliknya (Rina et al., 2023). *Pressure contour* dari kecepatan aliran udara 10 m/s, 20 m/s, juga 30 m/s dapat ditampilkan di Gambar 10.



(a)

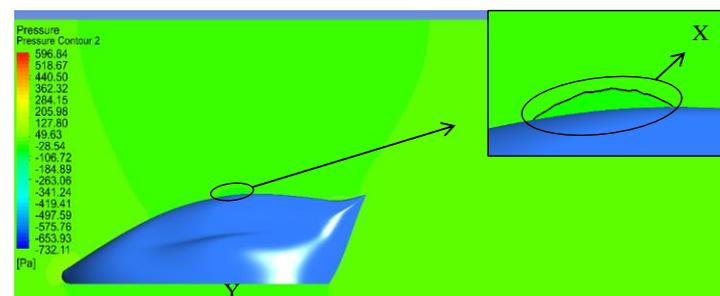


(b)

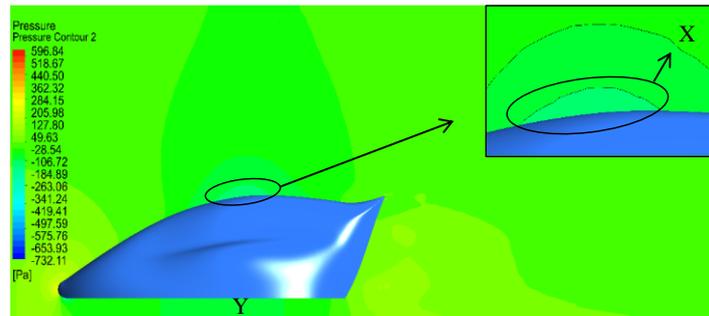


(c)

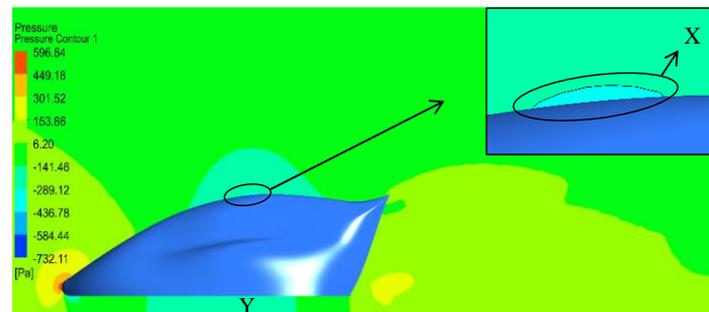
Gambar 9. *Velocity contour* bagian atas dan bawah saat kecepatan (a) 10 m/s, (b) 20 m/s, dan (c) 30 m/s



(a)



(b)

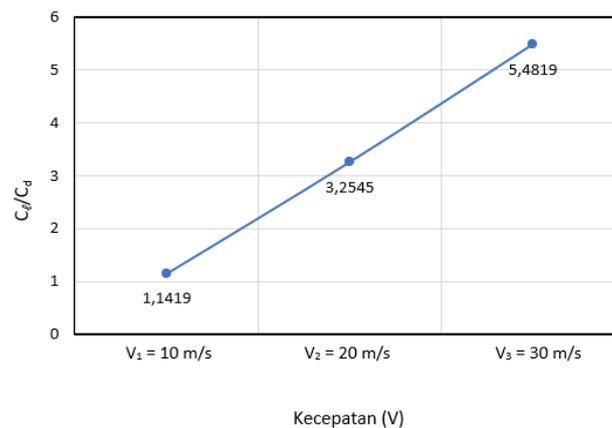


(c)

Gambar 10. *Pressure contour* bagian atas dan bawah pada kecepatan (a) 10 m/s, (b) 20 m/s, dan (c) 30 m/s

### 3. Analisis Rasio antara Koefisien *Lift* dan Koefisien *Drag*

Perbandingan nilai koefisien *lift* dan koefisien *drag* ( $C_l/C_d$ ) kendaraan ditampilkan melalui rasio di antara keduanya. Rasio koefisien *lift* dan koefisien *drag* ditampilkan secara grafis pada gambar 11 untuk kecepatan aliran udara 10 m/s, 20 m/s, dan 30 m/s.



Gambar 11. Grafik rasio  $C_l/C_d$  terhadap kecepatan 10 m/s, 20 m/s, dan 30 m/s

Berdasarkan tabel dan grafik yang diperoleh menandakan bahwa ketika kecepatan aliran udara meningkat pada *body* kendaraan maka nilai rasio  $C_l/C_d$  meningkat. Pada *body* kendaraan diperoleh rasio  $C_l/C_d$  dengan nilai 1,1419 untuk kecepatan 10 m/s, 3,2545 untuk kecepatan 20 m/s, dan 5,4819 untuk kecepatan 30 m/s. Nilai rasio  $C_l/C_d$  rendah lebih diinginkan karena menunjukkan bahwa kendaraan memiliki koefisien *drag* yang rendah dibandingkan dengan koefisien *lift*, sehingga lebih efisien dan stabil saat melaju dengan kecepatan tinggi. Hal ini menandakan bahwa desain *body* kendaraan termasuk desain yang aerodinamis. Menurut penelitian Zhang, dkk (2022) mengatakan semakin tinggi rasio  $C_l/C_d$  maka semakin tinggi efisiensi aerodinamika kendaraan tersebut karena peningkatan koefisien *lift* sebanding dengan menurunnya koefisien *drag* pada variasi kecepatan aliran udara.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kesimpulan bahwa desain *body* kendaraan memiliki koefisien *drag* yang menurun seiring peningkatan kecepatan. Dengan nilai koefisien *drag* 0,0155 pada 10 m/s, 0,0110 pada 20 m/s, dan 0,0083 pada 30 m/s. Penurunan ini terjadi karena separasi aliran yang membentuk daerah *wake* di belakang kendaraan semakin kecil pada kecepatan yang lebih tinggi. Sebaliknya, nilai koefisien *lift* meningkat dari 0,0177 pada 10 m/s, 0,0358 pada 20 m/s, dan 0,0455 pada 30 m/s, yang disebabkan oleh diferensiasi tekanan antara sisi atas dan bawah *body* kendaraan dengan demikian menghasilkan gaya angkat. Dengan meningkatnya kecepatan aliran udara, rasio  $C_p/C_d$  juga meningkat, menunjukkan efisiensi aerodinamis yang lebih tinggi, dengan nilai 1,1419 untuk kecepatan 10 m/s, 3,2545 untuk kecepatan 20 m/s, dan 5,4819 untuk kecepatan 30 m/s. Berdasarkan nilai rasio  $C_p/C_d$  menandakan bahwa desain *body* kendaraan termasuk desain yang aerodinamis karena semakin tinggi rasio  $C_p/C_d$  maka semakin efisien performa kendaraan. Selain memodifikasi desain, untuk penelitian ke depannya juga dapat mencari faktor lain, seperti memasukkan elemen tertentu ke dalam desain *body* kendaraan, seperti *spoiler* di bagian belakang.

## VI. REFERENSI

- Badrawada, I. G. G., Purwanto, A., & Firlanda, E. R. (2019). Analisa Aerodinamika Bodi Kendaraan Mataram Proto Diesel dengan ANSYS 15.0. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 3(1), 8–14.
- Hidayat, M. F. (2016). Analisa Aerodinamika Airfoil Naca 0021 dengan Ansys Fluent. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 1(1), 43–59.
- Hidayati, N. A., Setiaji, F., Yaqin, M., Ulfa, D. M., & Choiron, M. A. (2017). Analisis Aerodinamis pada Variasi Bentuk Ekor Desain Bodi Mobil Hemat Energi. *J. Energi Dan Manufaktur*, 10(2), 66–70.
- Jhon, J. S., & Utomo, M. S. K. T. S. (2017). Analisis Aerodinamika Body Mobil Hemat Energi Antawirya Residual-Sat dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics. *JURNAL TEKNIK MESIN*, 5(1), 50–59.
- Kemendikbudristek. (2024). *Pedoman Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) Perguruan Tinggi 2024*.
- Putra, R. P., Yuvenda, D., Setiyo, M., Andrizal, A., & Martias, M. (2022). Body City Car Design of Two Passengers Capacity: A Numerical Simulation Study. *Automotive Experiences*, 5(2), 163–172.
- Rina, Fardinal, Putra, R. K., Yetri, Y., & Aulia, A. P. (2023). Aerodynamic Analysis of The “Marapi Evo 1” Car Prototype Using CFD Software. *JOURNAL OF DYNAMICS (International Journal of Dynamics in Engineering and Sciences)*, 8(2), 60–65.
- Sianipar, R. M. B., Hiendro, A., & Wicaksono, R. A. (2021). Simulasi Aerodinamika Bodi Mobil Listrik Fakultas Teknik Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD). *JTRAIN: Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, 2(2), 135–141.
- Wibowo, B. S., Harefa, J. S., & Abdi, M. Z. (2022). Analisis Aerodinamika Kendaraan Tipe Prototype Tim Riset Hemat Energi Teknik Mesin UBB. *BULLET: Jurnal Multidisiplin Ilmu*, 1(05), 880–885.
- Winoko, Y. A., Arifin, I. N., & Ro’isatin, U. A. (2019). Analysis of The Mixture Fuels to The Performance of Diesel Engine. *JEMMME (Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering)*, 4(2), 83–90.
- Zhang, Z., Wang, Q., Song, S., Zhang, C., Ren, L., & Zhang, Y. (2022). Joint Research on Aerodynamic Characteristics and Handling Stability of Racing Car under Different Body Attitudes. *Energies*, 15(1), 1–29. <https://doi.org/10.3390/en15010393>
- Zhao, J., Xi, X., Na, Q., Wang, S., Kadry, S. N., & Kumar, P. M. (2021). The Technological Innovation of Hybrid and Plug-in Electric Vehicles for Environment Carbon Pollution Control. *Environmental Impact Assessment Review*, 86, 106506. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106506>