

Analisa Aerodinamika Body Mobil Listrik Dengan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD) pada Variasi Frontal Area dan Kecepatan Aliran Udara Menggunakan Software Ansys Fluent

Rangga A. P¹, Asnawi^{1*}, Ahmad Nayan¹, Adi Setiawan², Muhammad³

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Malikussaleh, Indonesia

Program Studi Magister Teknik Energi Terbarukan, Universitas Malikussaleh, Indonesia

Program Studi Teknik Material, Universitas Malikussaleh, Indonesia

*Corresponding Author: asnawi@unimal.ac.id

Abstract – Currently the government is working to achieve a Golden Indonesia 2045 and Indonesia Net Zero Emissions (NZE) 2060. In an effort to reduce carbon emissions, one of the government's efforts is to use electric vehicles in the transportation sector and create an Energy Saving Car (KMHE) competition organized by Ministry of Education, Culture, Research and Technology (Kemendikbudristek). This research was conducted to determine the aerodynamic values and their influence on variations in the frontal area and leading edge of the Pasa Team Electric car body at Malikussaleh University. This simulation analysis was carried out using the computational fluid dynamic (CFD) method using Ansys Fluent software as a simulation tool. With variations in air flow speed of 2.7 m/s, 5.5 m/s, 8.3 m/s and 11.1 m/s, the aerodynamic values and influences on each body variation are obtained. For the drag coefficient on a body with a frontal area $A=0.48\text{m}^2$, the average value obtained from the three leading edge angles 36° , 15° and 0° is 0.151. Then for the lift coefficient, an average value of -0.255 is obtained, which means the body produces a relatively low CD but produces large downforce. For the drag coefficient on a body with a frontal area $A=0.39\text{m}^2$, the average value obtained from the three leading edge angles 36° , 15° and 0° is 0.134. Then for the lift coefficient, the average value was -0.138. So it can be concluded that by reducing the frontal area on the body and the leading edge angle, the Cd value can be reduced by 11.34% and CL by -46%.

Abstrak – Saat ini pemerintah sedang mengupayakan untuk bisa mencapai Indonesia Emas 2045 dan Indonesia Net Zero Emissions (NZE) 2060. Dalam upaya mengurangi emisi karbon maka salah satu upaya pemerintah adalah penggunaan kendaraan listrik di sektor transportasi dan membuat kompetisi Mobil Hemat Energi (KMHE) yang diselenggarakan oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset Dan Teknologi (Kemendikbudristek). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai aerodinamika serta pengaruhnya pada variasi frontal area dan leading edge terhadap body mobil Listrik Pasa Team Universitas Malikussaleh. Analisis simulasi ini dilakukan menggunakan metode computational fluid dynamic (CFD) dengan menggunakan software Ansys Fluent sebagai sarana simulasi. Pada variasi kecepatan aliran udara 2.7 m/s, 5.5 m/s, 8.3 m/s dan 11.1 m/s maka didapatkan nilai dan pengaruh aerodinamika pada setiap variasi body. Untuk drag coefficient pada body dengan frontal area $A=0.48\text{m}^2$ didapatkan dari ketiga sudut leading edge 36° , 15° dan 0° nilai rata-ratanya sebesar 0,151. Kemudian untuk lift coefficient didapatkan nilai rata-rata sebesar -0,255 yang berarti body menghasilkan CD yang relative turun tetapi menghasilkan downforce yang besar. Untuk drag coefficient pada body dengan frontal area $A=0.39\text{m}^2$ didapatkan dari ketiga sudut leading edge 36° , 15° dan 0° nilai rata-ratanya sebesar 0,134. Kemudian untuk lift coefficient didapatkan nilai rata-rata sebesar -0,138. Maka dapat disimpulkan dengan memperkecil frontal area pada body dan sudut leading edge dapat menurunkan nilai Cd sebesar 11,34% dan CL sebesar -46%.

Keywords: aerodinamika, KMHE, ansys fluent, drag coefficient, lift coefficient, kontur pressure, kontur velocity, turbulence

1 PENDAHULUAN

Indonesia saat ini tengah menyusun strategi untuk menuju Indonesia Emas Tahun 2045, dimana pemerintah mendobrak untuk menyiapkan generasi muda yang unggul dan berdaya saing. Kemudian Indonesia saat ini berupaya melakukan transformasi menuju *Net Zero Emissions* (NZE) pada Tahun 2026. Untuk mengurangi emisi karbon dan mencapai kondisi *Net Zero Emissions* maka salah satu upaya pemerintah adalah penggunaan kendaraan listrik di sektor transportasi.

Pada Kompetisi Mobil Hemat Energi (KMHE), yang diselenggarakan oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset Dan Teknologi (Kemendikbudristek), merupakan upaya pemerintah untuk memberikan peluang bagi mahasiswa melalui kreativitas dan inovasi dalam merancang dan membuat serta mengembangkan kendaraan yang lebih aman, hemat dan ramah lingkungan. Dalam kompetisi ini mahasiswa harus merancang dan mendesain kendaraan dengan menggunakan sumber energi seminimal mungkin. Model atau *body* kendaraan adalah aspek (*engine*, transmisi, kemudi, suspensi, rem dan estetika) yang mempengaruhi performa kendaraan (Badrawada, dkk., 2019). Dalam kasus ini aerodinamika menjadi salah satu aspek yang mempengaruhi hematnya bahan bakar pada sebuah kendaraan.

Pase Team sendiri merupakan team mobil listrik dari Universitas Malikussaleh yang masih dalam proses perancangan kendaraan untuk dapat mengikuti perlombaan dalam ajang KMHE nantinya. Salah satu perancangan kendaraan yang dilakukan adalah pembuatan *body*. Dalam memperkecil gaya hambat dan konsumsi daya, maka aspek yang perlu diperhatikan ialah ke-aerodinamikaan *body*. Untuk dapat diketahui pengaruh aerodinamika terhadap *body* dilakukan simulasi menggunakan metode CFD dengan bantuan *Software Ansys Fluent*. *Software Ansys* merupakan *software engineering* dari Ansys. Ansys, Inc. sendiri merupakan perusahaan multinasional dari Amerika yang mengembangkan dan memasarkan perangkat lunak berupa *engineering simulation software* untuk produk desain, pengujian dan pengoperasian produk serta menawarkan produk.

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi *frontal area* dan sudut *leading edge* pada *body* mobil Listrik terhadap *coefficient drag* dan *coefficient lift* diberbagai kecepatan aliran udara. Diharapkan untuk hasil simulasi ini bisa menjadi data acuan berupa gaya hambat (*force drag*) gaya angkat (*force lift*) serta struktur *wake* dan kontur pada *body* dalam

pengembangan penelitian selanjutnya.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mekanika Fluida

Mekanika merupakan ilmu fisika yang mempelajari mengenai zat fluida. Pada hal ini perilaku fluida yang dalam keadaan diam (fluida statis) atau dalam gerak (fluida dinamika) serta gaya akibat yang ditimbulkan oleh fluida tersebut pada batasnya (Cengel dan Cimbala, 2014).

Berdasarkan pergerakannya, aliran fluida dibedakan menjadi aliran laminar dan aliran turbulen. Aliran laminar merupakan suatu aliran yang partikelnya bergerak secara sejajar atau lapisan yang membentuk garis lurus aliran serta tidak berpotongan. Hal ini terjadi karena tidak adanya efek tegangan geser antara partikel fluida dengan plat datar yang dilaluinya. Sedangkan aliran turbulen merupakan aliran yang partikel fluidanya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Hal ini terjadi karena laju aliran yang melewati plat/benda akan membentuk tegangan geser atau gradien kecepatan sehingga terjadi titik separasi yang kemudian menimbulkan aliran *wake* atau aliran pusaran (turbulen) (Cengel dan Cimbala, 2014).

2.2 Sifat Fluida

Udara adalah fluida yang mempunyai kerapatan (*density*) dan kekentalan (*viscosity*). Densitas (ρ) didefinisikan sebagai massa persatuan volume. Kendaraan di jalanan biasanya berjalan atau bergerak pada kecepatan dibawah sepertiga kecepatan suara. Pada saat batas kecepatan tersebut harga variasi tekanan dan temperatur dalam aliran dengan harga *freestream* sangat kecil, maka dari itu perubahan pada densitas dapat diabaikan. Dengan demikian udara yang bergerak mengalir di sekeliling kendaraan dapat dikategorikan sebagai aliran fluida *incompressible*. Pada kondisi standar $P = 1 \text{ atm}$ dan $T = 288 \text{ K}$, nilai densitas atau $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ (Hasugian, 2018).

1. Densitas

Densitas (ρ) atau kerapatan suatu zat merupakan jumlah/kuantitas suatu zat pada suatu unit volume yang dinyatakan dalam massa persatuan volume pada atmosfer bumi. Densitas dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

Dimana :

P = massa jenis (kg/m^3)

m = massa (kg)

V = volume (m^3)

2. Viskositas

Viskositas atau kekentalan adalah sifat dari zat cair untuk melawan tegangan geser, viskositas sendiri disebabkan oleh gesekan molekul antara partikel-partikel fluida. Gesekan ini berhubungan dengan fluks momentum karena *gradient* kecepatan. Untuk aliran fluida *incompressible*, properti ini bergantung pada temperatur (Hasugian, 2018). Viskositas dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\mu = \frac{\tau}{dv} \quad (2.2)$$

Dimana :

μ = kekentalan dinamis ($\text{Pa}\cdot\text{s}$ atau Ns/m^2 atau kg/ms)

τ = tegangan geser (N/m^2)

dv = gradien kecepatan

2.3 Teori Aliran Eksternal

1. Lapisan Batas (*Booundary Layer*)

Konsep lapisan batas merupakan konsep yang dikembangkan oleh Prandtl (1874-1953). . Lapisan batas muncul pada permukaan benda karena sifat viskositas dari fluida yang cenderung menempel pada permukaan yang bersifat stationer menyebabkan aliran fluida di atasnya melambat karena interaksi berupa tumbukan antarmolekul.

2. Bilangan *Reynolds*

Untuk menentukan suatu aliran fluida tersebut *laminar* atau *turbulen* dapat dilihat dari nilai bilangan *Reynold*-nya, pada *externalflow* (aliran tersebut melewati suatu *contour body* yang berada pada aliran fluida tanpa batas), pada aliran fluida *laminar* bilangan *reynold*-nya $\leq 5 \times 10^5$, dan pada aliran fluida *turbulen* bilangan *reynold*-nya $> 5 \times 10^5$. Persamaan bilangan *reynolds* dapat dirumuskan dalam persamaan berikut :

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (2.3)$$

Dimana :

Re = bilangan *reynolds*

ρ = massa jenis (kg/m^3)

v = kekentalan kinematis (m/s)

μ = kekentalan dinamis (kg/ms)

L = panjang karakteristik kendaraan (m)

3. *Incompressible* dan *Compresible*

Aliran tak termampatkan (*incompressible*) adalah aliran dimana densitas fluidanya $\rho = \text{constant}$, dan viskositasnya $\mu = \text{constant}$. Aliran ini terjadi jika fluida yang mengalir tidak mengalami perubahan volume

(massa jenis). Pada kondisi ini di isi oleh cairan dan juga gas di angka bilangan Mach ≥ 0.3 . karena efek kompresibilitas dan variasi kepadatan gas maka dapat diabaikan pada kecepatan yang relatif rendah, (Cengel dan Cimbala, 2014). Aliran *incompressible* dapat dirumuskan menggunakan persamaan bernoulli yaitu sebagai berikut :

$$p + \frac{1}{2}\rho V^2 + \rho gh = \text{konstan} \quad (2.4)$$

Dimana :

p = tekanan fluida

ρ = densitas fluida (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi bumi

z = ketinggian relative terhadap suatu referensi

h = ketinggian relative terhadap suatu referensi

V = kecepatan fluida (m/s)

4. Kecepatan suara (*Speed of Sound*)

Kecepatan suara merupakan jarak yang ditempuh per satuan waktu yang merambat melalui media elastis. Variasi kecepatan suara suatu material tergantung pada temperatur. Dalam kondisi temperatur konstan yaitu 20 °C (293 K) pada tekanan 1 atm nilai kecepatan suaranya adalah 343,2 m/s (1.126 ft/s; 1.26 km/h). Untuk mencari nilai kecepatan suara dapat menggunakan persamaan berikut :

$$c = \sqrt{KRT} \quad (2.5)$$

Dimana :

c = kecepatan suara (m/s)

K = rasio panas

R = konstanta gas udara ($\text{KJ/Kg}\cdot\text{K}$)

T = temperatur

5. Bilangan *Mach*

Bilangan Mach adalah parameter dominan dalam analisis aliran kompresibel, dengan berbagai efek tergantung pada besaran nilainya. Angka Mach dapat ditulis :

$$Ma = \frac{v}{c} \quad (2.6)$$

Dimana :

Ma = bilangan mach

v = kecepatan aliran (m/s)

c = kecepatan suara (m/s)

Para ahli terdahulu terutama membuat indikator perbedaan antara berbagai rentang bilangan *mach number* dan klasifikasi dibidang aerodinamika yaitu sebagai berikut :

1. $Ma < 0,3$: aliran *incompressible*, di mana efek kerapatan (*density*) diabaikan.
2. $0,3 < Ma < 0,8$: aliran *subsonic*, di mana efek kerapatan (*density*) penting tapi gelombang kejut yang muncul kecil.
3. $0,8 < Ma < 1,2$: aliran *transonic*, di mana *wake* pertama kali muncul, membagi wilayah *subsonic*, dan wilayah

supersonic penerbangan di wilayah transonic sulit karena karakter campuran medan aliran.

- 4. $1.2 < Ma < 3,0$: aliran *supersonic*, dimana terjadi *wake* namun tidak ada daerah *subsonic*.
- 5. $3,0 < Ma$: aliran *hypersonic*, dimana *wake* dan aliran lainnya mengalami perubahan yang sangat kuat.

2.4 Dasar Aerodinamika

1. Gaya Hambat (*Drag Force*)

Gaya hambat merupakan gaya yang bekerja dalam arah horizontal (paralel terhadap aliran) dan berlawanan arah dengan arah gerak maju kendaraan. Nilai hambatan aerodinamika dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: model *body* kendaraan, luas mdaerah penampang depan (*Frontal Area*). Gaya hambat dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot V^2 \cdot Af \tag{2.7}$$

Coefficient drag (C_D) adalah koefisien hambatan yang menunjukkan seberapa besar suatu benda dapat melawan hambatan fluida. Semakin kecil nilai koefisien *drag* maka akan semakin mudah suatu benda untuk melawan hambatan fluidanya, Koefisien drag didapatkan dari persamaan berikut :

$$C_D = \frac{2F_D}{\rho V^2 A} \tag{2.8}$$

Dimana :

C_D = Koefisien *Drag*

F_D = Gaya Hambat (*force drag*) (N)

ρ = Massa jenis fluida (Kg/m^3)

V = Kecepatan relatif (m/s)

A = Luas permukaan (*surface area*) (m^2)

2. Gaya Angkat (*Lift Force*)

Gaya angkat (*lift force*) merupakan suatu gaya yang disebabkan oleh adanya efek bernauli, ketika fluida bergerak cepat maka tekanan yang timbul akan semakin kecil. Maka kecepatan fluida pada permukaan atas benda akan lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan fluida yang di bawah permukaan benda. Sehingga menghasilkan perbedaan tekanan pada sebuah benda antar permukaan atas dan permukaan bawah. Secara umum persamaan gayng angkat dirumuskan sebagai berikut :

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \tag{2.9}$$

Untuk menentukan nilai koefisien *lift* (C_L) dapat menggunakan persamaan :

$$C_L = \frac{2F_D}{\rho V^2 A} \tag{2.10}$$

2.5 Computational Fluid Dynamic

Computational Fluid Dynamic (CFD) atau dinamika aliran fluida secara komputasi adalah analisis sistem

untuk memprediksi fenomena seperti aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena reaksi kimia yang menggunakan perangkat lunak komputer dengan menerapkan kondisi nyata di lapangan.

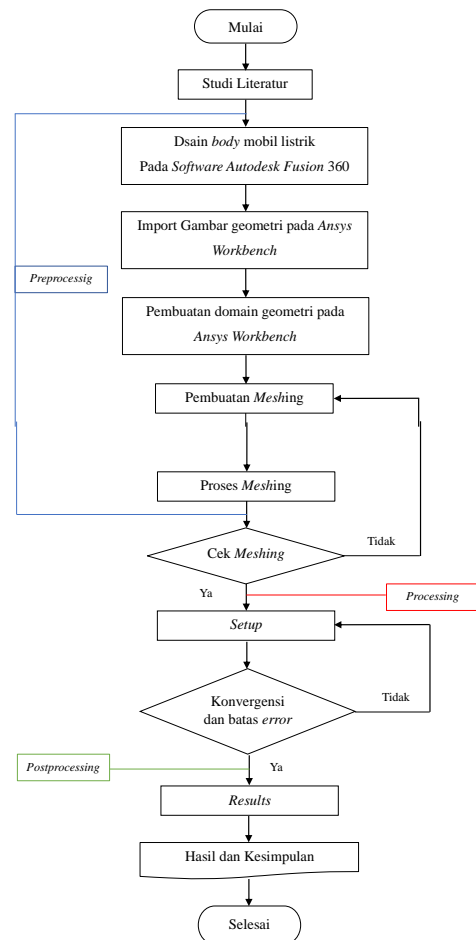
Dalam melakukan simulasi dengan menggunakan CFD, terdapat tiga prosedur yang harus dilaksanakan, bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Tahapan dalam proses simulasi

Pre-processing Pendefinisian Masalah	Processing Menyelesaikan Persamaan Numerik	Post-processing Visualisasi dari Hasil Simulasi
1. Pembuatan geometri 2. Pembuatan <i>meshing</i> 3. Pengaturan properti <i>fluid</i> 4. Penentuan kondisi batas	1. Pengaturan skema diskritisasi 2. Pengaturan algoritma penyelesaian 3. Kriteria konvergensi	1. Analisis data hasil 2. Visualisasi data hasil

3 METODE PENELITIAN

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan dijabarkan melalui diagram alir pada Gambar 3.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

3.1. Peralatan dan Bahan Penelitian

1. Alat

Untuk melakukan penelitian simulasi ini maka dibutuhkan beberapa perangkat *software* untuk dapat membantu proses dalam penelitian simulasi.

a. Autodesk Fusion 360

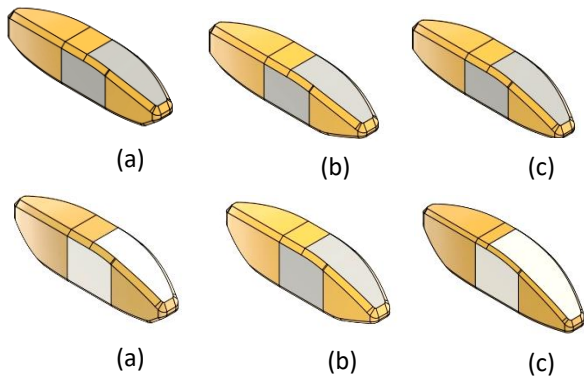
Software ini digunakan untuk mendesain bentuk *body* mobil listrik dengan geometri merujuk pada pedoman regulasi KMHE tipe prototipe.

b. Ansys workbench 2022 Student version

Software CFD yang digunakan pada penelitian ini adalah Ansys workbench 2022 Student version dengan Ansys fluent solver sebagai sarana simulasi.

2. Bahan

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah berupa desain *body* mobil listrik dengan variasi *frontal area* dan *leading edge* yang di desain menggunakan *Software* Autodesk Fusion 360.



Gambar 2 Desain *body* variasi *frontal area* dan *leading edge*

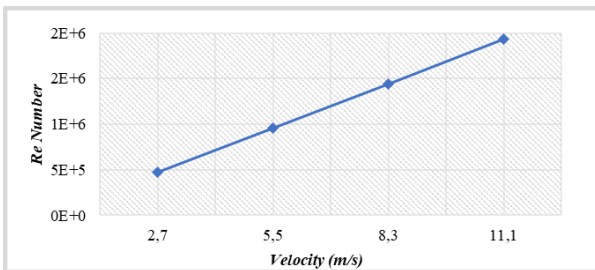
4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Distribusi Aliran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan untuk data distribusi aliran dalam domain simulasi dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2 data distribusi aliran terowongan angin berdasarkan kecepatan

No	V (m/s)	ρ (kg/m ³)	μ (kg/m-s)	T (°C)	Re Number (Re)	Mach (Ma)	Tekanan (Pa)
1	2.7	1,164	$1,872 \times 10^{-5}$	30	470.077	0,0077	1,01325
2	5.5	1,164	$1,872 \times 10^{-5}$	30	957.564	0,0158	1,01325
3	8.3	1,164	$1,872 \times 10^{-5}$	30	1.445.051	0,0238	1,01325
4	11.1	1,164	$1,872 \times 10^{-5}$	30	1.932.538	0,0318	1,01325



Gambar 3 Grafik bilangan reynolds terhadap kecepatan

Dapat dilihat nilai kerapatan (density) dan kekentalan (viskositas) fluida berubah disebabkan perubahan suhu di tiap variasi kecepatan aliran. Sementara untuk bilangan Mach ada pada $Ma < 0,3$ merupakan aliran *incompressible*. Untuk bilangan Reynolds ada pada angka $Re > 4.000$ dengan nilai maksimum pada kecepatan aliran 11.1 m/s yaitu 1,932.538 maka aliran udara didalam domain simulasi merupakan jenis aliran turbulen.

4.2 Hasil Meshing Body

Dengan hasil meshing yang diperoleh maka akan didapatkan data meshing berupa total *number of cells*, nilai *skewness* dan nilai *orthogonal quality*, yang dimana hasil data akan digunakan sebagai acuan dalam simulasi untuk mengetahui baik atau tidanya ketika simulasi dilanjutkan nanti. Hasil data meshing dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 *Diagnotics summary meshing* pada variasi *frontal aerea* dan *leading edge*

Keterangan	Sudut	Frontal Area	
	Leading Edge	A(0.48m ²)	A(0.39 m ²)
Total Number of Cells	36°	256.518	205.375
	15°	196.226	199.026
	0°	260.234	186.084
Maximum Skewness	36°	0.5596	0.5709
	15°	0.6477	0.5533
	0°	0.602	0.5637
Minimum Orthogonal Quality	36°	0.2071	0.2031
	15°	0.2682	0.2095
	0°	0.2446	0.2027
Total Number of faces	36°	19.881	17.464
	15°	18.760	17.033
	0°	18.919	18.152

4.3 Gaya Aerodinamis

Hasil simulasi analisis aerodinamis pada *body* mobil listrik mengenai *drag coefficient* dan *lift coefficient* pada variasi *frontal area* dan variasi sudut *leading edge* terhadap kecepatan aliran udara dalam domain simulasi dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4 Nilai drag force dan drag coefficient pada variasi *frontal area* dan *leading edge*

Leading Edge	Velocity	Variasi Frontal Area Body			
		A(0.48m ²)		A(0.39 m ²)	
	V m/s	Fd (N)	Cd	Fd (N)	Cd
36°	2,7	0,378	0,186	0,255	0,154
	5,5	1,327	0,157	0,939	0,137
	8,3	2,829	0,147	2,008	0,128
	11,1	4,838	0,141	3,426	0,123
Average		2,343	0,158	1,657	0,135
Leading Edge	Velocity	Variasi Frontal Area Body			
		A(0.48 m ²)		A(0.39 m ²)	
	V m/s	Fd (N)	Cd	Fd (N)	Cd
15°	2,7	0,336	0,165	0,260	0,157
	5,5	1,237	0,146	0,959	0,140
	8,3	2,637	0,137	3,036	0,130
	11,1	4,477	0,130	3,461	0,124
Average		2,172	0,145	1,929	0,138

Leading Edge	Velocity V m/s	Variasi Frontal Area Body			
		A(0.48 m ²)		A(0.39 m ²)	
		Fd (N)	Cd	Fd (N)	Cd
0°	2,7	0,360	0,177	0,247	0,149
	5,5	1,300	0,154	0,910	0,133
	8,3	2,782	0,145	1,935	0,124
	11,1	4,784	0,139	3,301	0,118
Average		2,306	0,154	1,598	0,131

Tabel 5 Nilai lift force dan lift coefficient pada variasi frontal area dan leading edge

Leading Edge	Velocity V m/s	Variasi Frontal Area Body			
		A(0.48 m ²)		A(0.39 m ²)	
		Fl (N)	Cl	Fl (N)	Cl
36°	2,7	-0,348	-0,171	-0,225	-0,136
	5,5	-2,248	-0,266	-0,948	-0,138
	8,3	-5,088	-0,264	-2,177	-0,139
	11,1	-9,126	-0,265	-3,967	-0,142
Average		-4,202	-0,242	-1,829	-0,139

Leading Edge	Velocity V m/s	Variasi Frontal Area Body			
		A(0.48 m ²)		A(0.39 m ²)	
		Fl (N)	Cl	Fl (N)	Cl
15°	2,7	-0,508	-0,250	-0,233	-0,141
	5,5	-2,165	-0,256	-0,989	-0,144
	8,3	-4,928	-0,256	-2,331	-0,149
	11,1	-8,989	-0,261	-4,288	-0,153
Average		-4,147	-0,256	-1,960	-0,147

Leading Edge	Velocity V m/s	Variasi Frontal Area Body			
		A(0.48 m ²)		A(0.39 m ²)	
		Fl (N)	Cl	Fl (N)	Cl
0°	2,7	-0,499	-0,245	-0,207	-0,125
	5,5	-2,266	-0,268	-0,885	-0,129
	8,3	-5,441	-0,283	-2,091	-0,134
	11,1	-9,814	-0,285	-3,839	-0,137
Average		-4,505	-0,270	-1,756	-0,131

4.4 Perhitungan Gaya Aerodinamis

Untuk menghitung gaya aerodinamis dapat menggunakan persamaan (2.7) dan (2.8). Pada perhitungan ini menggunakan data validasi awal yaitu pada body dengan sudut leading edge 36° dengan pada kecepatan aliran udara awal yaitu 2,7 m/s.

1. Gaya Hambat (Drag Force)

Untuk menghitung nilai gaya hambat digunakan persamaan 2.7 :

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

$$F_D = \frac{1}{2} (0,18567772 \times 1,164 \text{ Kg/m}^3 \times 2,7^2 \text{ m/s}^2 \times 0,48 \text{ m}^2)$$

$$F_D = 0,37813906 \text{ N}$$

Untuk menghitung nilai koefisien gaya hambat digunakan persamaan 2.8 :

$$C_D = \frac{2 F_D}{\rho \times V^2 \times A}$$

$$C_D = \frac{2 \times 0,37813906 \text{ N}}{1,164 \text{ kg/m}^3 \times 2,7^2 \text{ m/s}^2 \times 0,48 \text{ m}^2}$$

$$C_D = 0,185$$

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

2. Gaya Angkat (Lift Force)

Untuk menghitung nilai gaya angkat digunakan persamaan 2.9 :

$$F_L = \frac{1}{2} C_D \times \rho \times V^2 \times A$$

$$F_L = \frac{1}{2} (-0,170 \times 1,164 \text{ Kg/m}^3 \times 2,7^2 \text{ m/s}^2 \times 0,48 \text{ m}^2)$$

$$F_L = -0,347 \text{ N}$$

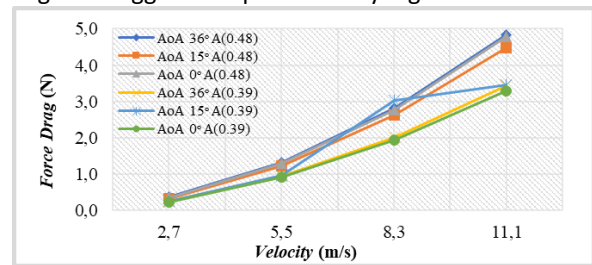
Untuk menghitung nilai koefisien gaya angkat digunakan persamaan 2.10 :

$$C_L = \frac{2 F_L}{\rho \times V^2 \times A}$$

$$C_L = \frac{2 \times (-0,347) \text{ N}}{1,164 \text{ kg/m}^3 \times 2,7^2 \text{ m/s}^2 \times 0,48 \text{ m}^2}$$

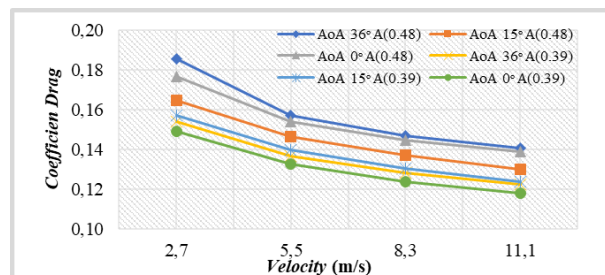
$$C_L = -0,17081685$$

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



Gambar 4 Garfik drag force terhadap velocity pada variasi frontal area dan leading edge

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa body dengan frontal area A(0.48m²) didapatkan nilai drag force terkecil pada sudut leading edge 15° sebesar 2,171 N pada kecepatan rata-rata m/s. Hal ini dikarenakan sudut leading edge 15° menghasilkan aliran turbulensi lebih kecil pada bagian belakang body dari pada sudut leading edge 36° dan 0°. Sementara body dengan frontal area A(0.39m²) untuk nilai drag force terkecil didapatkan pada body dengan sudut leading edge 0° sebesar 1,598 N pada kecepatan rata-rata m/s. Hal ini terjadi dikarenakan hambatan udara yang diterima oleh body semakin kecil dan bentuk body yang hampir streamline dengan frontal area yang kecil serta sudut leading edge yang datar dengan area permukaan jalan yang membuat aliran udara bergerak lebih bebas pada area permukaan di atas body, sehingga menghasilkan aliran turbulen yang kecil di belakang body yang membuat drag force semakin kecil. Kemudian untuk drag coefficient dapat dilihat pada Gambar 5.

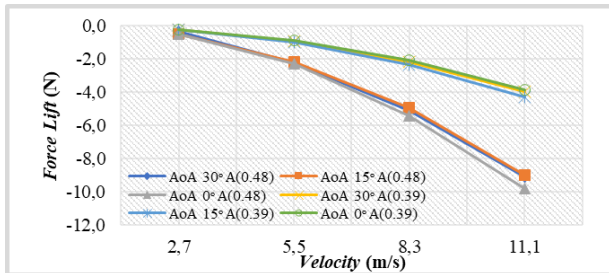


Gambar 5 Grafik drag force coefficient terhadap velocity pada variasi frontal area dan leading edge

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa penurunan sudut leading edge dan frontal area dapat memperoleh

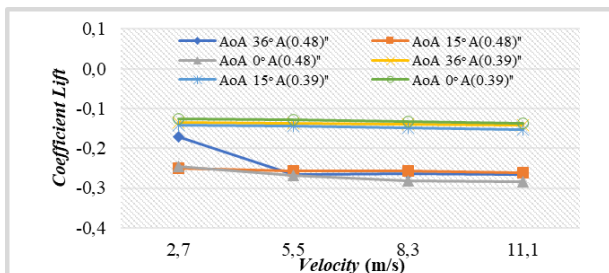
pengurangan drag hingga 4,44% sampai 26,25% yang dimana dapat meningkatkan performa aerodinamis kendaraan.

Kemudian dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan gaya angkat dan persamaan 2.9 dan 2.10 didapatkan nilai gaya angkat pada setiap body dengan pemodelan variasi frontal area dan leading edge terhadap laju aliran udara. Secara lengkap hasil simulasi dapat dilihat pada grafik Gambar 6



Gambar 6 Grafik lift force terhadap velocity pada variasi frontal area dan leading edge

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwasannya ke semua body dengan variasi frontal area dan leading edge tidak mengalami gaya angkat, tetapi mengalami gaya kebawah (*downforce*) dilihat pada nilai arah sumbu (-y), dan body frontal area 0,48m² memiliki nilai downforce yang tinggi dibandingkan body frontal area 0.39m². Untuk *liftcoefficient* dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7 Grafik lift force coefficient terhadap velocity pada variasi frontal area dan leading edge

Gambar 7 menunjukkan nilai lift coefficient antara kedua variasi frontal area memiliki perbedaan yang signifikan, untuk frontal area 0,48 didapatkan nilai Cl tertinggi dan untuk frontal area 0,39 didapatkan nilai Cl terendah. Serta pada variasi leading edge pada setiap body cenderung konstan.

3. Kontur Aerodinamika Body Terhadap Variasi Frontal Area dan Leading Edge

Kontur yang dihasilkan berupa tekanan (pressure) kecepatan aliran udara (velocity) dan turbulen (turbulence kinetic). Dari hasil kontur yang dilihat dapat di analisis pengaruh aerodinamika pada body kendaraan.

4.4.1. Kontur Tekanan

Berikut merupakan hasil simulasi kontur tekanan yang terjadi pada variasi velocity pada desain body, kontur tekanan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Kontur distribusi tekanan pada variasi frontal area dan sudut leading edge

Frontal Area A=0.48 m ²		Frontal Area A=0.39 m ²	
AoA 36°			
V = 2,7 m/s		V = 2,7 m/s	
Min : -5,493 Pa Max : 4,484 Pa		Min : -5,209 Pa Max : 4,487 Pa	
AoA 15°			
V = 2,7 m/s		V = 2,7 m/s	
Min : -3,182 Pa Max : 4,476 Pa		Min : -3,209 Pa Max : 4,688 Pa	
AoA 0°			
V = 2,7 m/s		V = 2,7 m/s	
Min : -5,668 Pa Max : 4,466 Pa		Min : -5,835 Pa Max : 4,470 Pa	

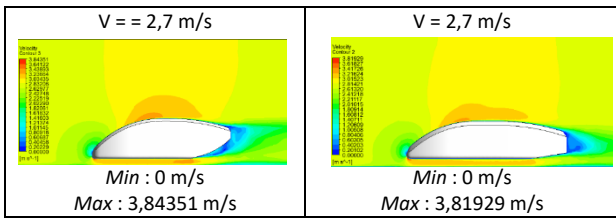
Dalam kontur tersebut, terdapat warna yang mengindikasikan tinggi rendahnya pressure. Pada warna merah menunjukan tekanan tertinggi, sementara warna hijau menunjukan tekanan yang lebih rendah. Pada bagian depan body, tekanan mencapai pada titik tertinggi dan terjadi stagnation point. Stagnation point ini merupakan titik dimana terjadi aliran udara yang sepenuhnya terhenti di bagian depan body, sehingga menyebabkan kecepatan aliran udara menjadi nol dan membuat static pressure semakin tinggi (White, 2011).

4.4.2. Kontur Kecepatan

Distribusi kecepatan udara yang terjadi pada body kendaraan digunakan untuk melihat pada bagian body area mana yang terjadi perubahan kecepatan aliran udara. Kontur distribusi kecepatan aliran udara dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Kontur distribusi turbulensi terhadap variasi frontal area dan leading edge pada body

Frontal Area A=0.48 m ²		Frontal Area A=0.39 m ²	
V = 2,7 m/s		V = 2,7 m/s	
Min : 0 m/s Max : 3,87980 m/s		Min : 0 m/s Max : 3,7866 m/s	
V = 2,7 m/s		V = 2,7 m/s	
Min : 0 m/s Max : 3,52650 m/s		Min : 0 m/s Max : 3,50355 m/s	



Pada Tabel 7 dapat dilihat aliran udara yang melewati bagian bawah mobil semakin tinggi karena terjadi penyempitan ruang antara body bawah dengan lapisan datar, kemudian bagian atas body terjadi kecepatan udara yang tinggi, hal ini dikarenakan pengaruh dari maximum thickness pada body. Maka perbedaan kecepatan akan sangat mempengaruhi nilai kecepatan udara saat melewati body. Semakin besar kecepatan maka akan semakin tinggi nilai kecepatan udara yang terjadi.

4.4.3. Kontur Turbulen Kinetik

Aliran turbulensi yang terjadi pada body kendaraan dengan variasi sudut leading edge dan frontal area dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Kontur distribusi turbulensi terhadap variasi frontal area dan leading edge pada body

Frontal Area A=0.48 m ² V = 2,7 m/s	Frontal Area A=0.39 m ² V = 2,7 m/s
 Min : 2,53245E-12 m ² /s ² Max : 0,218261 m ² /s ²	 Min : 5,3381E-08 m ² /s ² Max : 0,180285 m ² /s ²
 Min : 3,64844E-09 m ² /s ² Max : 0,207668 m ² /s ²	 Min : 1,98783E-08 m ² /s ² Max : 0,139986 m ² /s ²
 4 m ² Min : 9,29269E-09 m ² /s ² Max : 0,22944 m ² /s ²	 Min : 9,29269E-09 m ² /s ² Max : 0,184469 m ² /s ²

Kontur turbulensi ini terjadi karena adanya sirkulasi udara pada bagian belakang body dan karena adanya ketidakteraturan aliran udara yang terjadi di sekitar body. Adanya perbedaan tekanan serta kecepatan aliran udara yang melewati bagian bawah dan bagian atas body menyebabkan aliran udara yang tidak teratur dan memutar saat melewati bagian belakang body. Kemudian aliran membentuk wake pada bagian belakang body yang mengakibatkan semakin besar kontur wake maka semakin besar juga turbulensi yang dihasilkan. Pada Tabel 8 dapat dilihat bahwa memperkecil frontal area dan

menurunkan leading edge dapat membuat turbulen yang dihasilkan semakin kecil.

5 KESIMPULAN

Dari penelitian dan hasil simulasi yang telah dilakukan ada beberapa hal yang perlu dicermati dan di perbaiki yaitu sebagai berikut :

1. pada analisa CFD pada body yang akan dilakukan selanjutnya hendaknya lebih mempertimbangkan modifikasi bentuk body yang mempengaruhi nilai drag force dan lift force pada aliran udara yang melintasi body pada kondisi stagnasi, karena hal ini akan mempengaruhi koefisien hambat dan angkat serta kesetabilan mobil saat melaju terutama saat pada tikungan atau belokan.
2. Pada proses manufaktur dari body, disarankan untuk dapat menggunakan material carbon fiber agar mendapatkan hasil efisiensi yang lebih optimal untuk kendaraan prototype.
3. Pada penelitian selanjutnya apabila analisis menggunakan software Ansys Workbench 2023 Student Version disarankan untuk menggunakan komputer yang memiliki system requirements yang lebih baik lagi.

References

[1] Aktas, U., Abdallah, K. (2017). Aerodynamics Concept Study of Electric Vehicles. Department of Applied Mechanics, Chalmers University Of Technology Gothenburg, Sweden.

[2] Badrawada, I. G., Purwanto, A., dan R, F. E. (2019). Analisa Aerodinamika Body Kendaraan Mataram Proto Diesel Dengan Ansys 15.0. Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta.

[3] Cengel, Y. A., dan Cimbala, J. M. (2014). Fluid Mechanics Fundamentals and Applications. USA: McGraw-Hill. *Note that edition date and publisher are given.*

[4] Dobrev, I., Massouh, F., Danlos, A., Todrow, M., dan Punov, P. (2017). Experimental And Numerical Study Of The Flow Field Around A Small Car. Technical University Bulgaria. Diambil dari DOI: 10.1051/mateconf/201713302004.

[5] Hasugian, T. D. (2018). Simulasi Aerodinamika Pada Mobil Listrik Nogogeni Dengan Menggunakan Software Ansys Fluent. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

[6] Hucho, W., dan Sovran, G. (1980). Aerodynamics Of Road Vehicles. Diambil dari

[7] White, F. M. (2011). Fluid Mechanics. USA: McGraw-Hill.

[8] Syahputra, A., Asnawi, A., Nayan, A., Alchalil, A., & Islami, N. (2023). Evaluation of Fluid Flow Velocity Variations on the Plate Heat Exchanger Performance. *TRANSMISI*, 19(1), 49-55.