

Perancangan Dan Simulasi Aerodinamis Bodi Mobil Balap Formula Anobrain Singaperbangsa Ev Menggunakan Komputasi Dinamika Fluida

Muhammad Herjuno Darpito^{1,*}

¹Jurusan S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

Article Info

Article history:

Received August 17, 2024

Accepted January 10, 2025

Published May 20, 2025

Keywords:

Aerodynamics

Convergent

Computational Fluid Dynamics

Formula Anobrain

Singaperbangsa EV racing car

ABSTRACT

Aerodynamics is a branch of dynamics that studies the movement of air flows, especially when the air interacts with solid objects or vehicles. In the aerodynamics of a racing car, the most important thing for a car to go fast is to reduce the drag force as small as possible by increasing lift force and downforce as much as possible. Modelling the aerodynamics body shape of the Formula Anobrain Singaperbangsa EV racing car can have an impact on reducing battery usage and minimizing drag force that hinder the speed of the racing car. The aim of this research was to find out whether the body of the Formula Anobrain Singaperbangsa EV racing car when traveling at a speed of 6,94444 m/s, 13,8889 m/s, 20,8333 m/s, 27,7778 m/s was convergent and to find out drag force value is smaller than lift force and downforce values on the racing car body and looks at the air flow characteristics based on velocity streamline, velocity contours and pressure contours. The research methodology used is computational fluid dynamics simulation using Ansys 2021 R2 software.



Corresponding Author:

Muhammad Herjuno Darpito,

Faculty of Engineering and Mechanical Engineering,

Singaperbangsa Karawang University,

Jl. HS. Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361

Email: herjunvito1252@gmail.com

1. PENGANTAR

Pada tahun 2014 sampai dengan sekarang sedang gencar – gencarnya khususnya di industri otomotif menciptakan dan terus melakukan pengembangan pada mobil jenis *Electric Vehicles* (EV) atau kita kenal adalah mobil listrik. Peran mobil listrik banyak membawa dampak positif selain untuk lingkungan itu tidak menghasilkan emisi gas buang juga mengurangi penggunaan bahan bakar minyak. Dalam industri riset otomotif, banyak penelitian yang melakukan suatu pengembangan teknik untuk meningkatkan performa bahkan yang menjadi topik permasalahan yaitu melakukan suatu pembaharuan bodi mobil balap Formula pada aliran udara yaitu aerodinamika. Aerodinamika adalah salah satu cabang dinamika yang mempelajari tentang pergerakan aliran udara, terutama ketika udara tersebut berinteraksi dengan benda padat atau kendaraan.

Pemodelan bentuk mobil balap sangat penting untuk diperhatikan terutama pemodelan terhadap *front* dan *rear wings spoiler* karena sangat berpengaruh keaerodinamisan, yaitu bahwa sekitar 30% sampai 35 % dari total *downforce* dihasilkan dengan bantuan *rear wing* pada mobil balap modern [8] dan [16]. Kemudian penggunaan *front wing* menghasilkan 20% sampai 30% *downforce* dari total *downforce* kendaraan [14]. Dengan penggunaan *front* dan *rear wings spoiler* juga dapat mengurangi gaya hambat pada mobil balap.

Dalam dunia otomotif pada mobil balap dapat melaju dengan stabil. Konvergen menjadi topik utama yang melibatkan pada pendekatan desain dan teknik aerodinamika untuk meningkatkan performa mobil balap di lintasan. Aliran udara yang bertumbukkan atau bertabrakan dengan bagian bodi mobil balap, sehingga aliran udara mengalami perlambatan. Kemudian kecepatan aliran udara dari *free stream* kemudian menuju berhenti dan tekanan yang terjadi pada bodi mobil balap semakin tinggi dimana energi kinetik aliran udara diubah

menjadi energi potensial dan kecepatan aliran menjadi nol, sehingga tidak ada gaya yang bekerja pada objek [4]. Keadaan ini dinamakan kondisi stagnasi.

Kesalahan pemodelan dapat berakibat fatal, selain terjadinya gaya hambat besar juga dapat menimbulkan separasi aliran. Separasi aliran ini merupakan kondisi dimana udara mengalir disepanjang permukaan benda yang tidak mampu lagi menempel pada permukaan benda tersebut, hal ini mengakibatkan terjadinya penurunan distribusi tekanan dan menyebabkan perbedaan tekanan antara bagian yang terjadi separasi aliran dengan bagian lainnya. Adanya separasi aliran dapat menimbulkan aliran balik atau *wake* dibelakang silinder yang mengakibatkan semakin besar gaya hambat yang terjadi [18].

Secara global, dalam dunia transportasi sangat menghindari keadaan *drag* karena berpengaruh pada performa kendaraan juga berpengaruh pada pemakaian emisi bahan bakar. Pada Formula, gaya angkat sangat penting untuk meningkatkan cengkeraman atau menciptakan gaya tekan ke bawah (*downforce*) karena fakta bahwa sayap depan mobil balap Formula menciptakan struktur vertikal yang berinteraksi dengan seluruh bagian bodi kendaraan. Dalam pemilihan sayap depan mobil Formula sangat penting karena didasarkan pada dua aturan praktis: mengurangi *drag forces* sebanyak mungkin, meningkatkan *downforce* sebanyak mungkin, sehingga performa aerodinamis mobil akan meningkat [1].

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah cabang ilmu dari mekanika fluida yang menggunakan analisis numerik dan data yang terstruktur untuk menganalisis dan memecahkan permasalahan dengan melibatkan aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena yang terkait berdasarkan simulasi berbasis komputer. Analisis aliran fluida dengan CFD didasarkan pada hukum konservasi seperti konservasi massa, momentum dan energi yang ketika diterapkan secara benar akan menghasilkan hasil yang akurat untuk simulasi fisika aliran dan studi parametrik yang praktis.

Berbagai penelitian tentang mobil balap yang mendukung pada penelitian ini antara lain:

Francesco Mariani, dkk (2015) melakukan penelitian dan pemodelan yang berkonsentrasi dibagi menjadi dua bagian utama, bagian pertama membahas evaluasi eksperimental dan numerik *Coefficient Drag* (CD). Ketersediaan nilai CD eksperimental memungkinkan optimalisasi *mesh* dan pilihan model CFD/3D yang sesuai yang diadopsi. Bagian kedua mengikuti pendekatan numerik saja dan membandingkan hasil yang diperoleh dari simulasi geometri mobil asli, dengan hasil simulasi yang dijalankan pada mobil yang sama yang dimodifikasi dengan beberapa fitur performa. Istilah dasar perbandingan antara dua model yang disimulasikan adalah nilai CD dan gaya turun atau *down forces* yang diakibatkan [5].

Robert H. Liebeck (1978) melakukan penelitian mobil Formula Mazda pada *gurney flap* yang merupakan plat datar yang terletak normal terhadap *chord line* di tepi belakang *airfoil* dan dapat mempunyai beberapa efek pada hidrodinamika sayap mobil. Sebagian melibatkan *airfoil* untuk *lift forces* atau gaya angkat tinggi dan kondisi bilangan Reynolds rendah. Pada studi **Liebeck** menyelidiki pengaruh interaksi sayap/bodi pada dua bentuk umum mobil balap roda tertutup [9].

Bullet Racing Team San Clemente (2002) melakukan penelitian dan pemodelan mobil balap merk Mazda dengan roda terbuka berkursi tunggal yang dilengkapi dengan ban balap *slick*. Dimana dalam pembuatannya sesuai dengan Peraturan *Sport Car Club of America* (SCCA), Inc, 2002, yang membatasi bentuk *wing plan* dan profil penampang hanya yang disediakan oleh pabrikan. Sudut serang dapat disesuaikan hingga maksimum +16, diukur dari bagian atas, bagian tengah sayap hingga bagian atas tepi belakang [9].

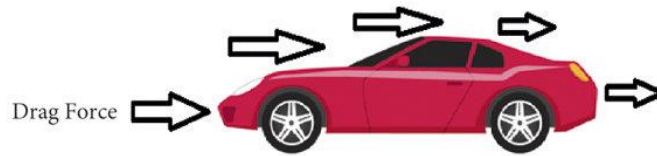
Penelitian tentang optimalisasi aerodinamis terhadap model mobil balap Formula Anobrain *Singaperbangsa EV*, yang berfokus pada kelajuan mobil balap dengan pencapaian mengurangi nilai gaya hambat sebanyak mungkin (*drag forces*) dan meningkatkan nilai gaya angkat (*lift forces*) dan gaya turun (*down forces*) sebanyak mungkin pada kecepatan 25 Km/jam, 50 Km/jam, 75 Km/jam, 100 Km/jam. Kemudian dalam penelitian aerodinamis pada mobil balap Formula Anobrain *Singaperbangsa EV* diterapkan pada lintasan lurus dengan sistem pengujian *drag races*, untuk itu semua pengujian aerodinamis diterapkan menggunakan *software Ansys Fluid-Flow (Fluent with Meshing)*.

Penelitian ini tidak hanya menyajikan profil kekonvergenan gaya hambat dan gaya angkat dari model mobil balap Formula Anobrain *Singaperbangsa EV*, tetapi juga menyajikan karakteristik aliran udara berdasarkan aliran arus kecepatan (*velocity streamline*), kontur kecepatan (*velocity contour*), dan kontur tekanan (*pressure contour*). Semua penelitian dilakukan oleh penulis ini karena untuk memaksimalkan kesempurnaan pada model mobil balap Formula Anobrain *Singaperbangsa EV* yang dibuat oleh penulis.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Gaya Hambat (F_d)

Gaya hambat atau *drag forces* adalah gaya yang diberikan pada benda padat (kendaraan) yang bergerak terhadap suatu fluida akibat pergerakan fluida. Ketika pergerakan fluida melewati suatu permukaan, maka permukaan tersebut menahan gerakannya. Oleh karena itu gaya hambat bekerja berlawanan dengan arah kecepatan aliran fluida yang datang.



Gambar 1. Pengaruh *Drag Force* Pada Gerak Kendaraan [11]

Drag aerodinamika, ketika kendaraan melaju dengan kecepatan tertentu, gerak maju kendaraan akan bertemu dengan *lift* udara yang berlawanan dengan gerakannya [11]. Selambat – lambatnnya sebuah mobil melaju, dibutuhkan sejumlah energi untuk menggerakkan mobil tersebut di udara.

Berikut adalah rumus *drag forces* :

$$F_d = \frac{1}{2} \rho V^2 A C_D \quad (2.1)$$

2.2 Koefisien Hambat (Cd)

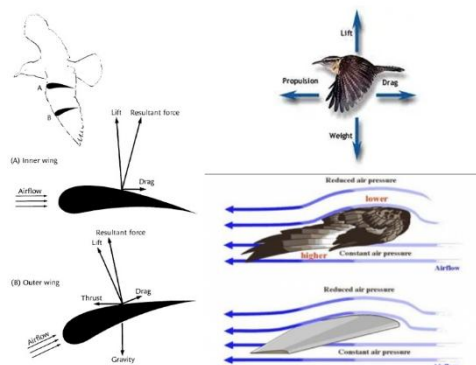
Koefisien *drag* disebut juga indeks hambatan adalah ukuran berat suatu benda dalam jumlah total hambatan angin yang menahan gerakan selama aliran fluida seperti udara atau air terhadap bentuk dan permukaan mobil pada saat bergerak dengan tingkat kecepatan tertentu. Koefisien *drag* merupakan kemampuan mobil melewati hadangan angin yang berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar.

Berikut adalah rumus mencari koefisien *drag* sebagai berikut :

$$C_d = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (2.2)$$

2.3 Gaya Angkat (Fl)

Gaya angkat adalah suatu gaya yang memberikan efek **bernaulli** ketika aliran fluida bergerak cepat maka tekanan yang dihasilkan semakin kecil. Penerapan paling umum diperlihatkan pada sayap burung pada figure 2.2



Gambar 2. Penerapan gaya angkat pada sayap burung [5]

Puncak sayap burung melengkung, dan bagian bawah mendatar. Bentuk ini memungkinkan kecepatan udara diatas sayap lebih cepat, tekanan yang dihasilkan rendah bagian atas dibandingkan dengan bagian bawah. Berikut adalah rumus gaya angkat sebagai berikut :

$$F_l = C_l \left(\frac{1}{2} \rho V^2 \right) A \quad (2.3)$$

2.4 Koefisien angkat (Cl)

Koefisien *lift* adalah besaran tak berdimensi yang digunakan ahli aerodinamika dengan menghubungkan gaya angkat untuk memodelkan semua ketergantungan kompleks berupa bentuk benda, kemiringan, dan beberapa kondisi aliran yang dihasilkan oleh gaya angkat pada benda dengan massa jenis fluida disekitar benda, kecepatan fluida dan area responsif yang terkait dengan tekanan dinamis.

Berikut ada rumus untuk mencari koefisien *lift* sebagai berikut :

$$C_l = \frac{F_l}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (2.4)$$

2.5 Gaya Bawah (D)

Gaya turun atau *down forces* adalah tekanan yang dihasilkan oleh karakteristik aerodinamika pada benda padat atau kendaraan. *Down forces* terjadi karena adanya aliran udara di depan mobil yang diarahkan kebawah oleh spoiler, sehingga timbul adanya gaya tekan kebawah.

Tujuan dari *down forces* adalah memastikan mobil bisa melewati pada tikungan dengan kecepatan tinggi, dimana meningkatkan kekuatan vertikal pada ban. Alhasil, ketika mobil melewati tikungan dengan kecepatan tinggi tidak terjadi *spin*.



Gambar 3. Pengaruh *Down Forces* pada permukaan bodi mobil (F1 Education, 2022)

Berikut adalah rumus untuk mencari *down forces* :

$$D = \frac{1}{2} W_s H F_l \rho V^2 A \quad (2.5)$$

2.6 Komputasi Dinamika Fluida (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah cabang ilmu dari mekanika fluida yang menggunakan analisis numerik dan data yang terstruktur untuk menganalisis dan memecahkan permasalahan dengan melibatkan aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena yang terkait berdasarkan simulasi berbasis komputer. Analisis aliran fluida dengan CFD didasarkan pada hukum konservasi seperti konservasi massa, momentum dan energi yang ketika diterapkan secara benar akan menghasilkan hasil yang akurat untuk simulasi fisika aliran dan studi parametrik yang praktis.

Proses pada tahap *computational fluid dynamic* ada 3 yaitu :

1. **Tahap Pre-processing** merupakan langkah pertama dalam membangun dan menganalisa sebuah model dengan menggunakan metode CFD. Dalam tahapan ini meliputi beberapa sub-tahapan, antara lain pembuatan geometri, penentuan domain, *meshing*, dan penentuan parameter – parameter yang digunakan.
2. **Tahap Processing** Pada tahapan *processing* ini merupakan tahap *setup*, semua kondisi-kondisi yang sudah ditetapkan di tahap sebelumnya akan dilakukan perhitungan (iterasi). Pada tahap iterasi, diharapkan tercapai hasil yang konvergen, jika pada tahap iterasi ini belum tercapai hasil yang konvergen maka *mesh* perlu diperbaiki lagi atau kembali ke tahap *meshing* untuk memperbaiki *mesh*. Namun jika hasil yang didapatkan adalah konvergen, maka dapat melanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu tahap *post-processing*.
3. **Tahap Post-processing** Pada tahap ini merupakan tahapan *result*, hasil dari perhitungan (iterasi) yang telah dilakukan di tahap sebelumnya (*processing*) ditampilkan berupa data kualitatif dan data kuantitatif. Data kuantitatif berupa data distribusi *coefficient drag*. Kemudian data yang bersifat kualitatif ditampilkan secara visualisasi antara lain *velocity contour*, *velocity streamlines*, dan *pressure contour*.

3. SIMULASI

Dalam prosesnya simulasi akan dilakukan pada langkah-langkah berikut ini:

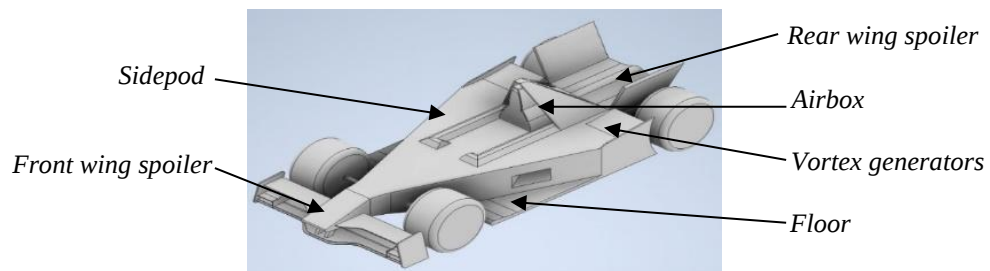
1. Pembuatan model bodi mobil balap Formula *Singaperbangsa EV*
2. Menjalankan solver menggunakan *software Ansys Fluid-Flow (Fluent with Meshing)*
3. Hasil simulasi

Pada tahap pertama, pemodelan bodi mobil balap Formula *Singaperbangsa EV* menggunakan *software Inventor 2021 R2*, pada pembuatan model mobil balap Formula Anobrain *Singaperbangsa EV* menggunakan *standard KMLI* (Kompetisi Mobil Listrik Indonesia) dan pada mobil balap *Singaperbangsa EV* ini terinspirasi dari model Formula E. Pada bagian depan dibuat mengecil dan membesar sampai bagian belakang yang hampir membentuk segitiga. Pada pemodelan ini menggunakan sudut serang 0° karena di khususnya untuk lintasan lurus atau *drag race* saja. Dimensi bentuk bodi ditampilkan pada tabel 1 dan gambar 4 sebagai berikut:

3.1 Perancangan Mobil Balap Formula Anobrain Singaperbangsa EV

Tabel 1. Dimensi Mobil Balap Formula Anobrain Singaperbangsa EV

Parameter	Dimensi
Panjang Total Kendaraan (L)	286,393 cm
Lebar Total Kendaraan (W)	127,879 cm
Tinggi Total Kendaraan (H)	77,660 cm
<i>Ground Clearance</i>	8,452 cm



Gambar 4. Bodi mobil balap Formula Anobrain Singaperbangsa EV

3.2 Pengaturan Simulasi CFD

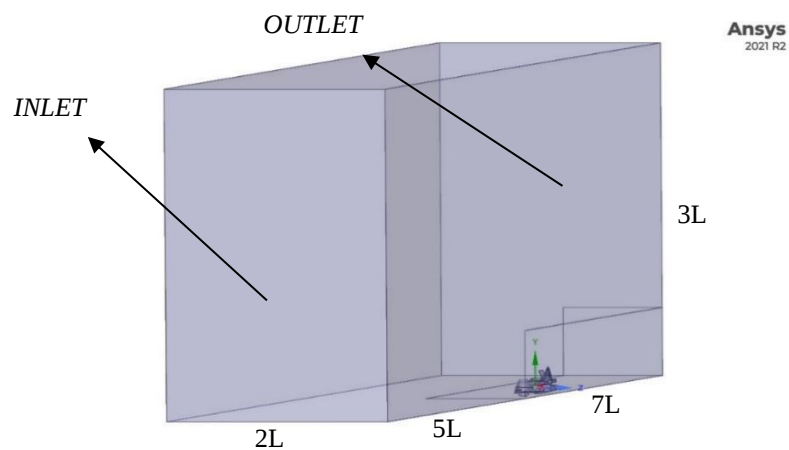
Parameter pengaturan simulasi ditunjukkan pada tabel 3 Kondisi Batas Simulasi CFD yang digunakan untuk simulasi CFD mobil balap Formula Anobrain *Singaperbangsa EV* yang ditunjukkan pada gambar 5 *Computational Domain* [7]. Jarak dari batas dinding depan ke ujung depan mobil balap adalah 5L dan jarak dari belakang mobil balap ke batas dinding ujung adalah 7L. Jarak antara dinding sisi kanan mobil balap dan batas dinding sisi kanan adalah 2L. Jarak antara bagian atas mobil balap dan bagian atas dinding adalah 3L.

Tabel 2. Parameter Yang Digunakan

Parameter	Spesifikasi
Model Geometri	3D Solver
<i>Velocity Formulation</i>	Absolute
<i>Time</i> (Keadaan)	Steady State
<i>Models</i>	Viscous (k- ω SST)
<i>Material Properties</i>	Fluid : air

Tabel 3. Kondisi Batas Simulasi CFD

<i>Boundary Condition</i>	<i>Type</i>	<i>Condition</i>
		<i>Inlet : air</i>
		Kecepatan aliran : 6,94444 m/s
<i>Inlet</i>	<i>Velocity - Inlet</i>	13,8889 m/s
		20,8333 m/s
		27,7778 m/s
		<i>Tubulent Intensity : 5%</i>
		<i>Turbulent Viscosity Ratio : 10</i>
		<i>Backflow Reference Frame : Absolute</i>
<i>Outlet</i>	<i>Pressure - Outlet</i>	<i>Gauge Pressure : 0 Pa</i>
		<i>Backflow Turbulent Intensity : 5%</i>
		<i>Backflow Turbulent Ratio : 10</i>
<i>Symmetry</i>	<i>Symmetry</i>	
		<i>Shear Condition : Specified Shear</i>
<i>Top</i>	<i>Wall</i>	X - Component [Pa] : 0
		Y - Component [Pa] : 0
		Z - Component [Pa] : 0
<i>Bottom</i>	<i>Wall</i>	No Slip
		<i>Shear Condition : Specified Shear</i>
<i>Far</i>	<i>Wall</i>	X - Component [Pa] : 0
		Y - Component [Pa] : 0
		Z - Component [Pa] : 0



Untuk pemilihan bentuk *computational domain* sesuai pada gambar 5 yang digunakan untuk aerodinamika sudah di hitung menggunakan rumus *blockage ratio*, sebagai berikut :

$$\text{Blockage ratio} = \frac{A_{\text{Front}}}{A_{\text{Wind Tunnel}}} \times 100\% \quad L=$$

2863,93 mm

$$= \frac{2 \times ((7 \times 2863,93)(2 \times 2863,93)) + ((7 \times 2863,93)(3 \times 2863,93)) + ((2 \times 2863,93)(3 \times 2863,93))}{2 \times ((12 \times 2863,93)(2 \times 2863,93)) + ((12 \times 2863,93)(3 \times 2863,93)) + ((2 \times 2863,93)(3 \times 2863,93))} \times 100\%$$

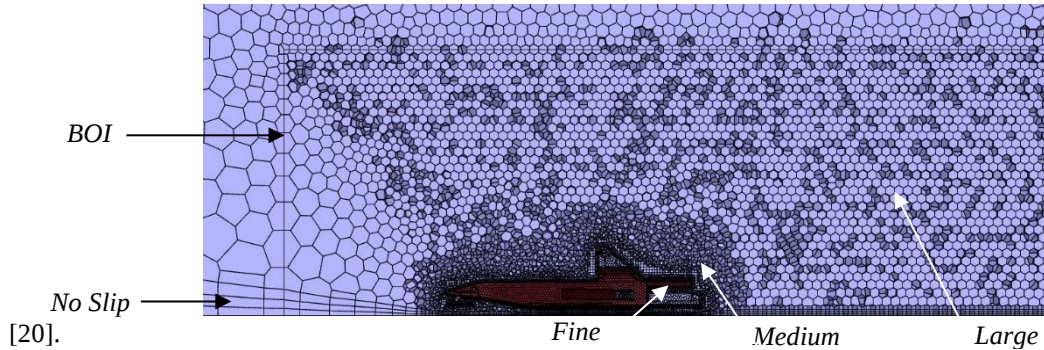
$$\text{Blockage ratio} = 0,976 \%$$

Hasil 0,976% masih dibawah angka riset CFD (7,1% *preferably* < 5% for wind tunnel research and < 3% for CFD reaserch).

Gambar 5. *Computational Domain*

3.3 Meshing

meshing yang merupakan langkah penting dalam menyiapkan simulasi aliran fluida yang dimana proses diskritisasi bagian integral dari proses numerik, geometri dibagi menjadi elemen – elemen kecil. Pada masing-masing elemen tersebut nantinya akan dilakukan persamaan dasar simulasi CFD. *Meshing* akan sangat mempengaruhi konvergensi, akurasi, dan waktu simulasi sehingga perlunya mengatur *meshing* sedemikian rupa untuk hasil yang akurat dengan waktu komputasi yang tidak terlalu lama. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dikatakan proses meshing berhasil menurut **academic version** bahwa untuk nilai $cells \leq 512.000$ baru dikatakan uji aerodinamis berhasil untuk dilanjutkan ke tahap selanjutnya. Beberapa penelitian yang relevan untuk CFD ini menyatakan semakin halus ukuran *mesh* yang digunakan maka hasil simulasi akan semakin mendekati hasil eksperimen, namun hal ini akan meningkatkan waktu komputasi yang dibutuhkan



Gambar 6. *Meshing*

Tabel 4. *Diagnostic Summary Meshing of Frontal Area*

Parameter	A = 0,2934 m ²
<i>Total Number of Faces</i>	61,842
<i>Maximum Skewness</i>	0,84305
<i>Minimum Orthogonal Quality</i>	0,06768
<i>Total Number of Cells</i>	278.614

Hasil yang didapatkan pada proses *meshing*, model mobil balap Formula Anobrain Singaperbangsa EV memenuhi syarat **academic version** bahwa *total number of cells* $278.614 \leq 512.000$.

4. HASIL DAN ANALISIS

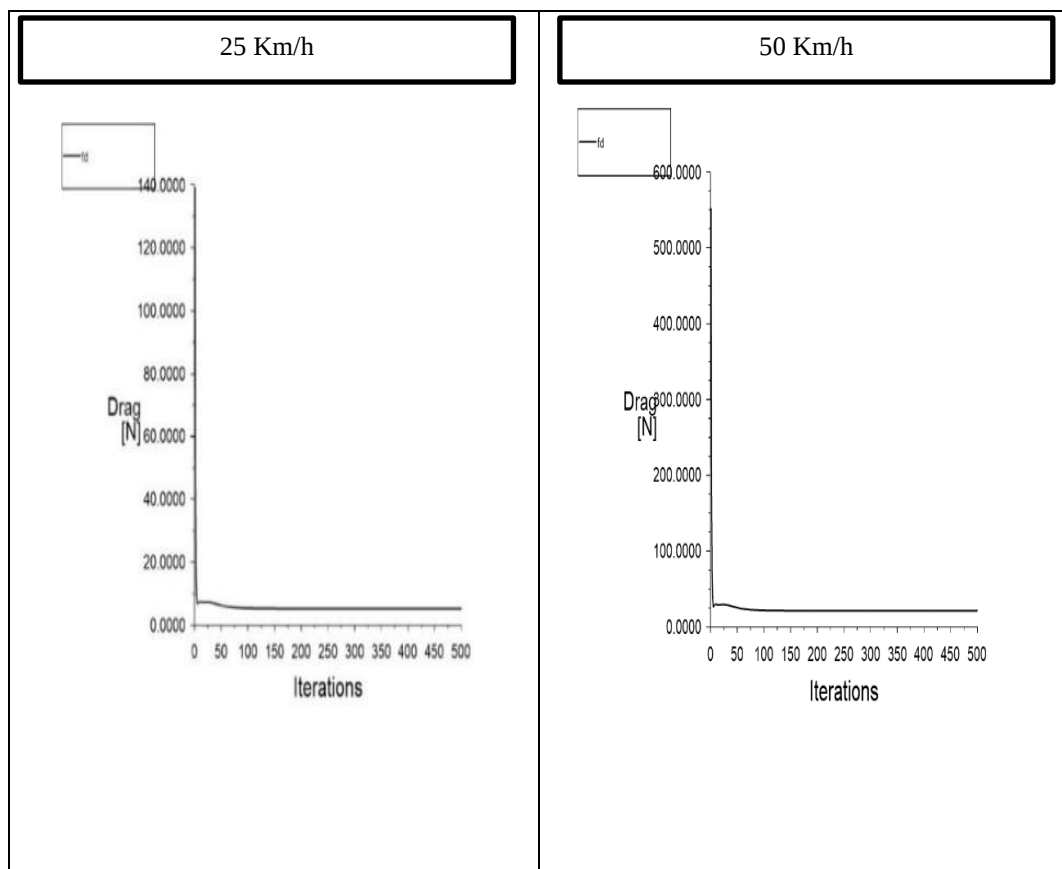
4.1 Hasil Perhitungan Aerodinamis

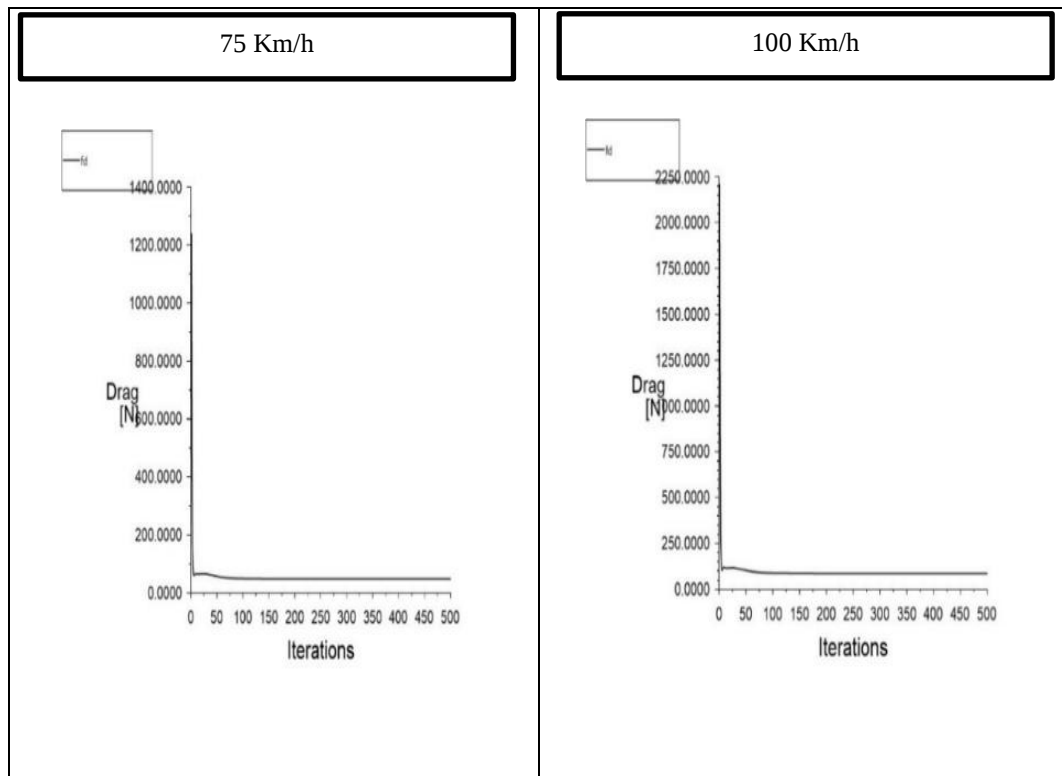
Tabel 5. Hasil Nilai Aerodinamis Bodi Mobil Balap Formula *Singaperbangsa EV* Tiap Perbedaan Kecepatan

Aerodinamis Bodi Model 1 tiap Perbedaan Kecepatan						
No	Kecepatan (m/s)	<i>Drag Force</i> (N)	<i>Drag Coefficien</i> t	<i>Lift Force</i> (N)	<i>Lift Coefficien</i> t	<i>Down Force</i> (N)
1	6,94444	5,25955	0,636264	-5,25471	-0,635679	-31,7083302
2	13,8889	21,3160631	0,644666	-21,5746336	-0,652486	-520,74283
3	20,8333	48,2637057	0,648736	-48,9387798	-0,65781	-2.657,78246
4	27,7778	86,0605968	0,650687	-87,8225795	-0,664009	-8.479,14459
<i>Avarage</i>		40,224979	0,64508825	-40,8976758	-0,652496	-2.922,34455

Dilihat dari hasil tabel 5 bahwa pemodelan mobil balap Formula Anobrain *Singaperbangsa EV* mendapatkan pencapaian karena nilai *drag force* lebih kecil dengan nilai 40,224979 N daripada nilai *lift force* -40,8976758 N dan *down force* -2.922,34455 N. Hal ini dapat dikatakan keberhasilan pemodelan karena mengurangi nilai *drag force* sebanyak mungkin dengan meningkatkan nilai *lift force* dan *down force* sebanyak mungkin.

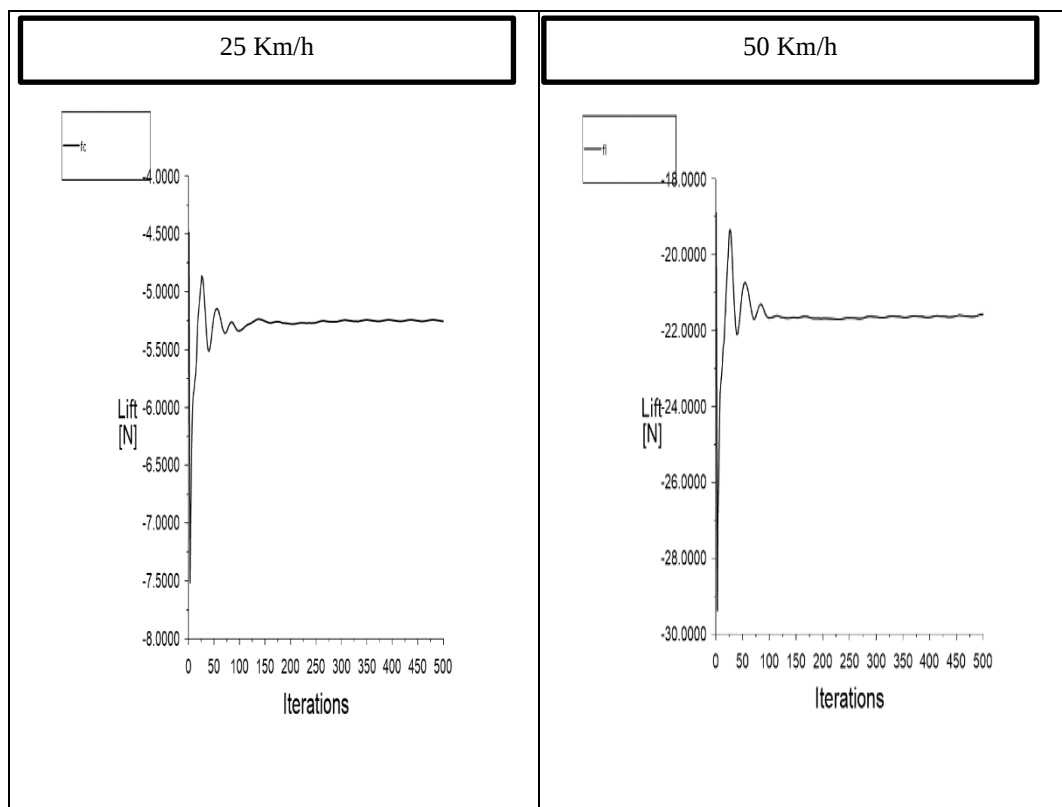
4.2 Kekonvergenan *Drag Force*

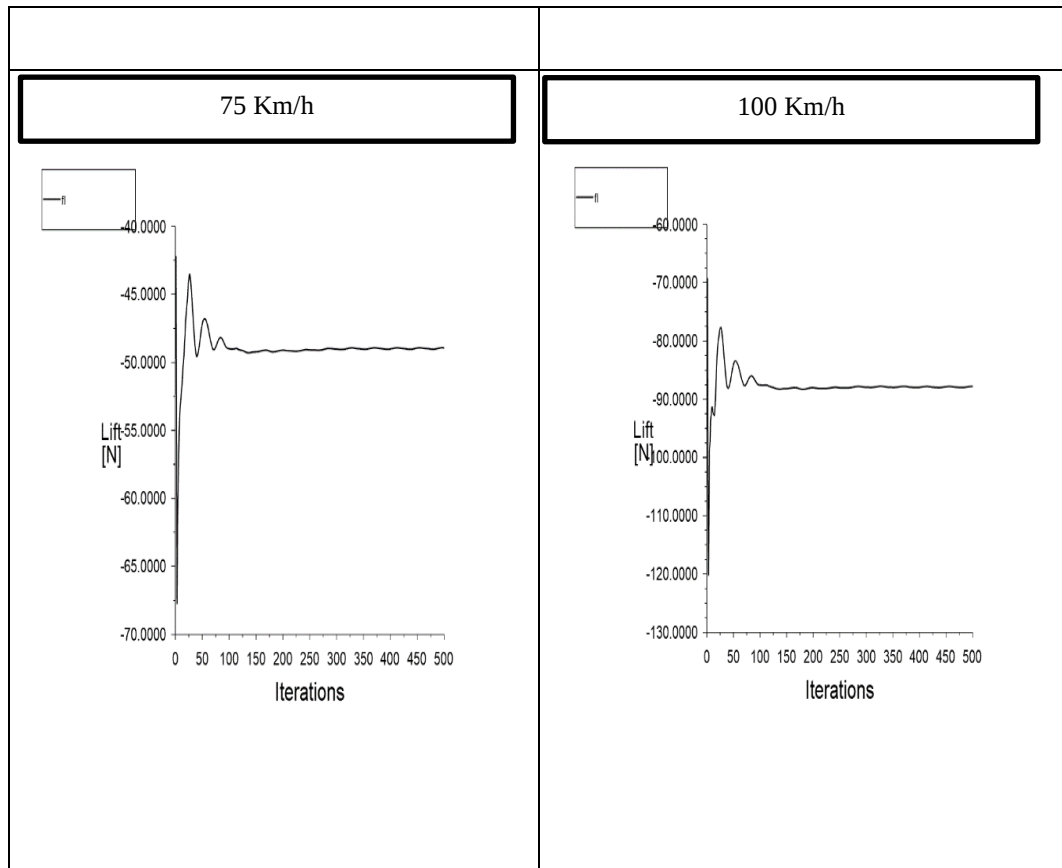




Gambar 7. Konvergen pada *Drag Force Singaperbangsa EV* dengan perbedaan kecepatan 25 Km/h, 50 Km/h, 75 Km/h, 100 Km/h

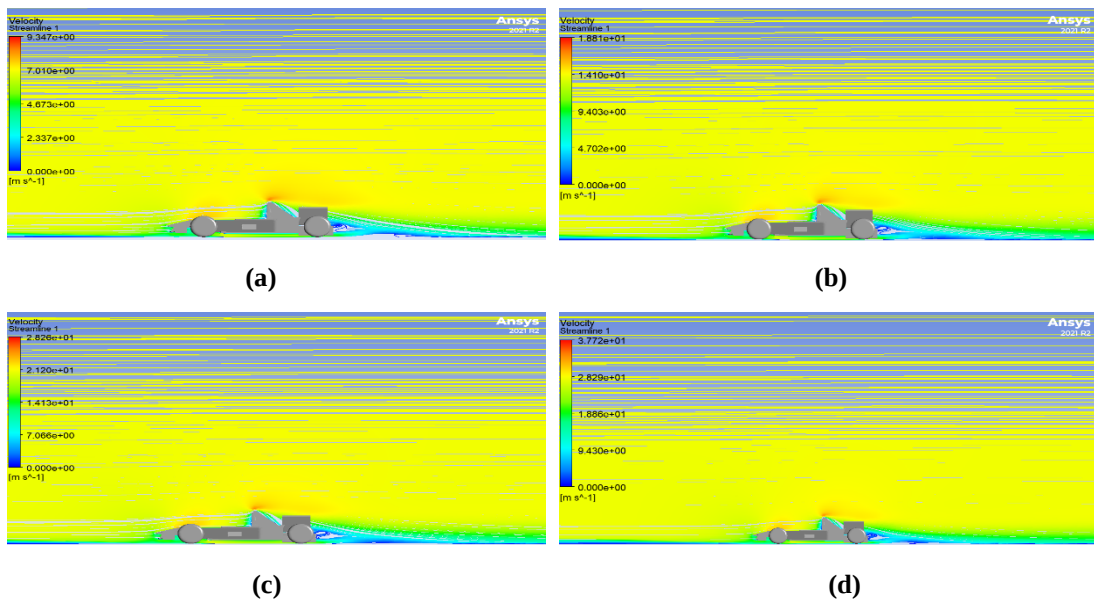
4.4 Kekonvergenan *Lift Force*





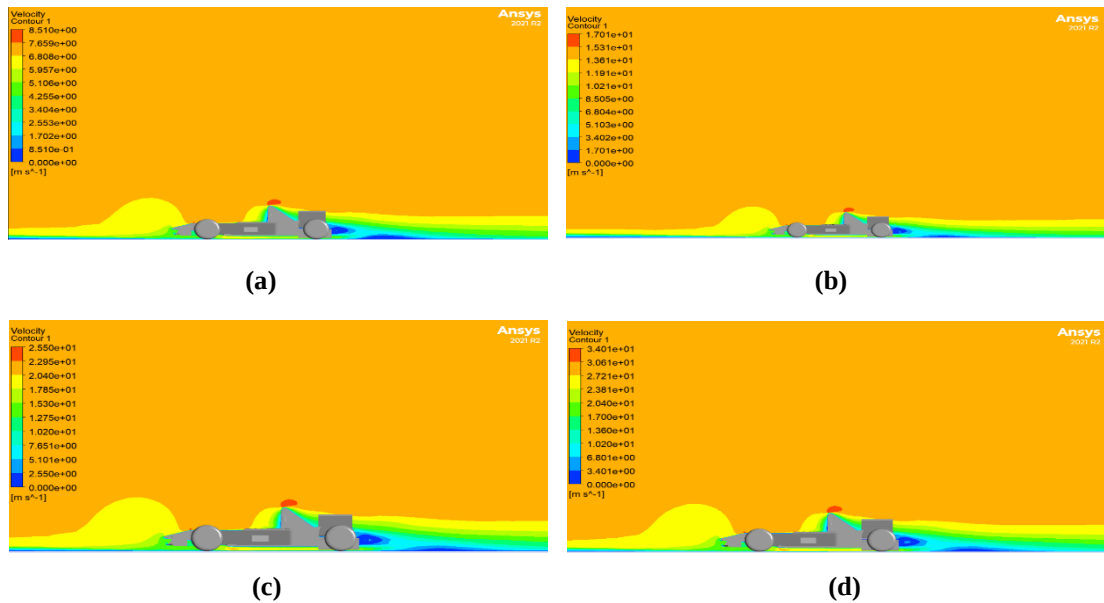
Gambar 8. Konvergen pada *Lift Force Singaperbangsa EV* dengan perbedaan kecepatan 25 Km/h, 50 Km/h, 75 Km/h, 100 Km/h

4.5 *Velocity Streamline* dengan Variasi Kecepatan 6,94444 m/s, 13,8889 m/s, 20,8333 m/s, 27,7778 m/s.



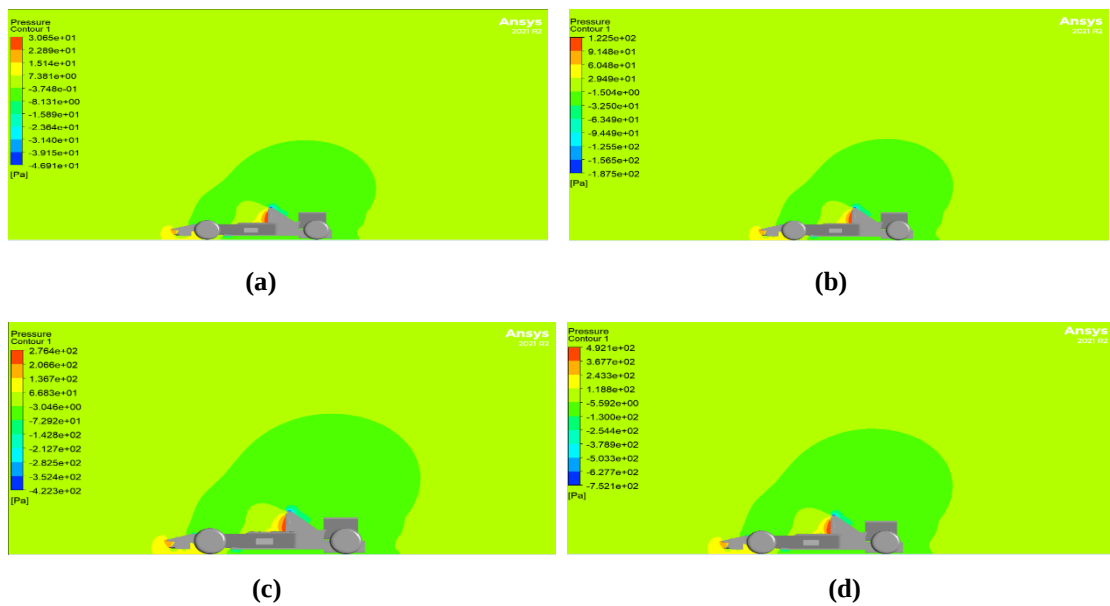
Gambar 9. *Velocity Streamline* Variasi Kecepatan (a) Model *Singaperbangsa EV* (6,94444 m/s) (b) Model *Singaperbangsa EV* (13,8889 m/s) (c) Model *Singaperbangsa EV* (20,8333 m/s) (d) Model *Singaperbangsa EV* (27,7778 m/s)

4.6 Velocity Contour dengan Variasi Kecepatan 6,94444 m/s, 13,8889 m/s, 20,8333 m/s, 27,7778 m/s.



Gambar 10. Velocity Contour Variasi Kecepatan (a) Model Singaperbangsa EV (6,94444 m/s) (b) Model Singaperbangsa EV (13,8889 m/s) (c) Model Singaperbangsa EV (20,8333 m/s) (d) Model Singaperbangsa EV (27,7778 m/s)

4.7 Pressure Contour dengan Variasi Kecepatan 6,94444 m/s, 13,8889 m/s, 20,8333 m/s, 27,7778 m/s.



Gambar 11. *Pressure Contour* Variasi Kecepatan (a) Model *Singaperbangsa EV* (6,94444 m/s) (b) Model *Singaperbangsa EV* (13,8889 m/s) (c) Model *Singaperbangsa EV* (20,8333 m/s) (d) Model *Singaperbangsa EV* (27,7778 m/s)

Pada gambar 7 menjelaskan bahwa pada kecepatan 25 Km/jam dalam iterasi 166-500 dengan nilai $5,2595e+00$ sampai $5,2795e+00$ sudah konvergen atau stabil. Kemudian pada kecepatan 50 Km/h dalam iterasi 151-500 dengan nilai $2,1294e+01$ sampai $2,1400e+01$ sudah konvergen atau stabil. Kemudian pada kecepatan 75 Km/h dalam iterasi 183-500 dengan nilai $4,8301e+01$ sampai $4,8195e+01$ sudah konvergen atau stabil. Dan pada kecepatan 100 Km/h dalam iterasi 181-500 dengan nilai $8,5945e+01$ sampai $8,6193e+01$ sudah konvergen atau stabil.

Pada gambar 8 menjelaskan bahwa pada kecepatan 25 Km/h dalam iterasi 253-500 dengan nilai $-5,2435e+00$ sampai $-5,2628e+00$ sudah konvergen atau stabil. Kemudian pada kecepatan 50 Km/h dalam iterasi 235-500 dengan nilai $-2,1574e+01$ sampai $-2,1700e+01$ sudah konvergen atau stabil. Kemudian pada kecepatan 75 Km/h dalam iterasi 271-500 dengan nilai $-4,8919e+01$ sampai $-4,9101e+01$ sudah konvergen atau stabil. Dan pada kecepatan 100 Km/h dalam iterasi 230-500 dengan nilai $-8,7788e+01$ sampai $-8,8106e+01$ sudah konvergen atau stabil.

Pada gambar 9 menjelaskan pada model *Singaperbangsa EV* dengan semua variasi *velocity* terjadi separasi aliran bagian belakang bawah dekat rem mobil dan terjadi minim *wake* pada bagian depan bawah dekat roda depan mobil balap. Tetapi semua itu tidak memengaruhi kelajuan pada mobil balap Formula *Singaperbangsa EV*, karena *wake* yang terjadi hanya menabrak bagian rem bagian belakang dan aliran udara terpental keluar.

Pada gambar 10 menjelaskan pada model 1 menunjukkan adanya stagnasi yang ditandai dengan warna merah, pada variasi kecepatan 6,94444 m/s dan 13,8889 m/s terjadi stagnasi di area depan dan bagian atas *airbox* dan pada variasi kecepatan 20,8333 m/s dan 27,7778 m/s adanya penambahan area stagnasi di area bawah dan dianalisa pada simulasi *velocity contour*, semakin bertambah kecepatannya di atas 50 Km/jam maka timbulnya area stagnasi baru ditandai dengan warna *orange* karena bertabrakan dengan *sideskirt* mobil, kemudian untuk warna merah menandakan bahwa aliran udara mengalami stagnasi total karena bertabrakan dengan *body* depan dan *airbox inlet* yang membuat aliran udara terjebak.

Pada gambar 11 menjelaskan pada hasil *pressure contour*, setelah dianalisa terjadi stagnasi di area *body* depan dan area *airbox*. Hal ini dikarenakan terjebaknya aliran udara yang menyebabkan terhenti karena terhimpit antara hidung *body* depan mobil sela – sela tiang pada *front wing spoiler* kemudian terjadi juga di area *airbox inlet* karena aliran udara terjebak menyebabkan terhenti. Untuk warna hijau menandakan menurunnya tekanan yang diakibatkan dari area stagnasi tersebut.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil perhitungan gaya aerodinamis terhadap variasi *frontal area* disetiap kecepatan aliran udara pada model bodi mobil balap Formula *Singaperbangsa EV* diperoleh berhasil menurunkan nilai *drag force* sekecil mungkin dan meningkatkan nilai *lift force* dan *downforce* sebesar mungkin yaitu memperoleh nilai *drag force* 40,224979 N, nilai *lift force* -40,8976758 N, dan nilai *downforce* -2.922, 34455 (nilai setelah di *average*).
- Karakteristik aliran berdasarkan *velocity streamline*, *velocity contour*, *pressure contour* variasi model bodi mobil balap Formula *Singaperbangsa EV* terhadap variasi kecepatan adalah sebagai berikut :
 - a) Dilihat dari *velocity streamline* terdapat separasi aliran yang menyebabkan aliran balik (*wake*). Model bodi mobil balap Formula *Singaperbangsa EV* mendapatkan nilai *max velocity* terbesar yaitu dari $9,347e+00$ sampai $3,772e+01$ meskipun adanya terjadi separasi aliran tetapi tidak membuat kelajuan mobil menurun alhasil pemakaian baterai normal, karena aliran tidak balik lagi bodi mobil balap, melainkan terpental keluar.
 - b) Dilihat dari *velocity contour* terjadinya kenaikan kecepatan udara dan stagnasi di area di bagian bodi depan, di area pelindung *driver*, dan area bawah tepatnya di *sideskirt* mobil balap. Model bodi mobil balap Formula *Singaperbangsa EV* dapat membuat kelajuan melesat dan seimbang karena *lift force* lebih besar nilainya daripada *drag force* ditandai dengan kecepatan aliran udara *max* dari $8,510e+00$ sampai $3,401e+01$.
 - c) Kemudian jika dilihat dari *pressure contour*, semua model mengalami stagnasi pada bagian hidung bodi depan mobil dan *headrest driver*. Stagnasi yang besar terjadi yaitu *max* $3,065e+01$ sampai $4,921e+02$. Untuk kecepatan aliran udara tercepat yang melesat sekitar min $-4,691e+01$ sampai $-7,521e+02$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F.-J. G. Ortiz, P. M. Higuera and J. O. Casanova, "3D CFD simulation of the interaction between front," *Alexandria Engineering Journal*, pp. 677-698, 2023.
- [2] K. Hidayat and dkk, "AIRFOIL SELECTION ANALYSIS OF LSU-05 NG UNMANNED AERIAL VEHICLE USING ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS," *Teknologi Dirgantara*, pp. 141-156, 2019.
- [3] W. Kieffer, S. Moujaes and N. Armbya, "CFD study of section characteristics of Formula Mazda race car wings," *Mathematical and Computer Modelling*, pp. 1275-1287, 2006.
- [4] F. Mariani, C. Poggiani, F. Risi and L. Scappaticci, "Formula-SAE Racing Car: Experimental and Numerical Analysis of the External Aerodynamics," *Energy Procedia*, pp. 1013-1029, 2015.
- [5] S. Jumini, "GAYA AERODINAMIK DALAM PENERBANGAN PERSPEKTIF Q.S. AN-NAHL:79," *Syariat*, pp. 143-152, 2018.
- [6] H. Dahlberg, "Aerodynamic Development of Formula Student Race Car," KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 2016.
- [7] M. N. Kumar, V. Jagota and M. Shabaz, "Retrospection of the Optimization Model for Designing the Power," *Hindawi Scientific Programming*, pp. 1-9, 2021.
- [8] M. Yogatama and R. Trisno, "Studi Koefisien Drag Aerodinamika pada Model Ahmed Body Terbalik Berbasis Metode Numerik," *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, pp. 10-14, 2018.
- [9] H. K. Versteeg and W. Malalasekera, *An Introduction to COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*, Harlow: Longman, 1995.
- [10] M. J. Kumar M, A. Dubey, S. Chheniya and A. Jadhav, "Effect of Vortex generators on Aerodynamics of a Car: CFD Analysis," *International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJJET)*, pp. 137-144, 2013.
- [11] U. Azmi and H. Sasongko, "Studi Eksperimen dan Numerik Pengaruh Penambahan Vortex Generator pada Airfoil NASA LS-0417," *Jurnal Teknik ITS*, pp. B102-B107, 2015.
- [12] P. Soliman, A. Schommer and M. Martins, "Formula SAE Aerodynamics: Design Process with focus on drivability," *ResearchGate*, 2015.
- [13] M. M. Grabis and R. K. Agarwal, "Computational Fluid Dynamics Analysis of High Lift, Inverted Airfoils in Ground Effect," *Washington University Open Scholarship*, pp. 4-30, 2018.
- [14] S. Karimi, A. Zargar, M. Mani and A. Hemmati, "The Effect of Single Dielectric Barrier Discharge Actuators in Reducing Drag on an Ahmed Body," *fluids. MDPI*, pp. 5, 244, 2020.
- [15] F. R. Menter, "Zonal Two Equation k- ω Turbulence Models for Aerodynamics Flows," *AIAA*, pp. 93-2906, 1993.
- [16] J. Katz, "Aerodynamics of Race Car," *Department of Aerospace Engineering*, pp. 27-63, 2006.
- [17] G. Seljak, "Race Car Aerodynamics," *Ljubljana*, 2008.
- [18] D. P. Nikolaos and I. Oxyzoglou, *DESIGN & DEVELOPEMENT OF AN*, Volos: University of Thessaly, 2017.
- [19] S. P. G. G. Tista, I. G. A. Kade Suriadi and P. P. Astawa, "Pengaruh Penempatan Penghalang Berbentuk Segitiga Didepan Silinder dengan Variasi Kecepatan Aliran Udara terhadap Koefisien Drag," *Jurnal Rekayasa Mesin*, pp. 157-161, 2015.
- [20] A. Volk, U. Ghia and G. R. Liu, "Assessment of CFD-DEM Solution Error Against Computational Cell Size for Flows through a Fixed-Bed of Binary-Sized Particles," *University of Cincinnati*, pp. 519-529, 2018.
- [21] T. D. Hasugian, "Simulasi Aerodinamika Pada Mobil Listrik Nogogeni dengan menggunakan Software Ansys Fluent," *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2018.