

# Analisis aerodinamis bodi mobil listrik Geni Biru KMHE 2020 terhadap kecepatan menggunakan simulasi CFD

Ade Sudaryono\*, Hadi Pranoto

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta, Indonesia

## Article Info

### Article history

Received February 15, 2021

Revised September 17, 2021

Accepted November 9, 2021

## Keywords

KMHE;  
Prototype;  
Electric vehicles;  
Aerodynamics;  
CFD

## ABSTRACT

Many aspects and parameters were taken to overcome energy savings in prototype electric vehicles that were incompatible with the engine system, including an aerodynamic / streamlined body of car to reduce drag. The purpose of this study is to determine the value of the drag coefficient (CD) and lift coefficient (CL) and to visualize the contours and streamlines of the fluid passing through the body Geni Biru KMHE 2020 electric vehicle using the CFD (Computational Fluid Dynamics) method with three steps: pre-processing, solving, and post-processing. From numerical analysis with the CFD method, the air fluid that passing through the body of Geni Biru KMHE 2020 electric vehicle in velocity 7 m/s show results a drag coefficient (CD) value of 0,1394 and the lift coefficient (CL) value is 0,0054. The results of the contour pressure analysis show that there is a stagnation area at the front of the body (nose) marked in red and bubble separation occurs at several points marked in green. And from the streamline velocity analysis, there are several separation points on the rear which cause the wake area which also affects the magnitude of the drag force.

This is an open access article under the [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



## \*Corresponding Author

Ade Sudaryono,  
Jurusan Teknik Mesin,  
Universitas Mercu Buana,  
Kp. Bali No. 39 Rt: 002 Rw: 004, kelurahan Kalideres, Kecamatan Kalideres, Jakarta Barat.  
Email: aurakatan@gmail.com

## 1. PENDAHULUAN

Dalam dunia otomotif, mahasiswa sebagai *agent of change* dituntut untuk mengikuti perkembangannya. Dari segi perkembangan hingga kekurangan atau kendala – kendala yang ada dalam dunia otomotif. Adapun upaya untuk ikut andil dalam perkembangan dunia otomotif adalah dengan memodifikasi atau merancang teknologi baru supaya penggunaan bahan bakar atau energi bisa lebih hemat dan dikurangi, yaitu dengan memanfaatkan energi listrik sebagai sumber tenaga [1].

Dalam memenuhi tujuan tersebut, Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) merupakan wadah bagi mahasiswa antar universitas untuk menguji kemampuan merancang mobil agar dapat sehemat mungkin dalam penggunaan sumber energi [2].

Banyak aspek dan parameter yang dilakukan untuk mengatasi penghematan konsumsi energi pada mobil listrik prototipe selain memodifikasi sistem mesin, di antaranya bentuk bodi mobil yang *Aerodynamics/streamline* untuk mengurangi gaya hambat (*drag*) yang ditimbulkan [3].

Aerodinamika adalah salah satu faktor terpenting juga dalam *racing sport*. Seri mobil balap open *wheel* seperti Formula 1 atau *IndyCar* sangat bergantung pada aerodinamika mobil mereka untuk meningkatkan performa balapan [4]. Dalam beberapa tahun terakhir, aerodinamika kendaraan mendapatkan perhatian yang meningkat, terutama karena penggunaan prinsip negatif gaya angkat (*downforce*), yang menghasilkan beberapa peningkatan kinerja yang penting [5]. Hal serupa juga dipaparkan oleh [6] gaya hambat menjadi faktor kunci yang membatasi peningkatan kecepatan mobil. Cara mengurangi tarikan mobil

yang sedang berjalan memiliki arti penting dalam meningkatkan kecepatan mobil. Dalam hal ini, fokusnya adalah pada bodi, karena mereka terkena udara, menghasilkan sebagian besar gaya aerodinamis.

Perkembangan lebih lanjut dalam teknologi untuk meningkatkan efisiensi mesin hampir mencapai keadaan jenuhnya. Penelitian sekarang berfokus pada meningkatkan aspek aerodinamis kendaraan untuk meningkatkan kinerjanya [7].

Selain aspek keamanan dan kenyamanan bagi pengemudi atau penumpang bodi kendaraan juga harus mempertimbangkan unsur aerodinamika dan seni [8]. Dasar-dasar aerodinamika kendaraan jalan raya dijelaskan dalam beberapa buku teori. Untuk kasus kami, kami akan menjelaskan tiga parameter penting yang berdampak besar pada performa aerodinamis kendaraan. Ini adalah *ground clearance*, sudut serang bodi (*body angle attack*), dan area frontalnya. Semua parameter ini sangat bergantung pada bentuk bodi kendaraan [9].

### 1.1. Gaya Aerodinamis

Gaya aerodinamis merupakan gaya-gaya yang diterima oleh satu bodi akibat fluida yang mengalir. Dengan adanya fluida yang mengalir maka mendapat gaya tekan dan geser. Akibatnya gaya-gaya tersebut membentuk resultan gaya yang disebut gaya aerodinamika. aerodinamika adalah suatu ilmu yang mempelajari gerak suatu udara ataupun suatu gas yang menghasilkan *drag force* yang mempengaruhi pada bodi mobil dan laju kendaraan, *drag force* adalah gaya yang searah dengan aliran, sedangkan gaya yang tegak lurus aliran adalah gaya lift [10].

Pada saat kendaraan bergerak dengan arah maju dari udara permukaan mobil mengalami tekanan maka *drag force* tergantung pada besarnya tekanan. Secara matematis *drag force* dapat dituliskan [11]:

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

*Drag* sendiri akan bertambah secara kuadrat apabila bertambah juga kecepatan alirannya. Hal ini berarti menambah kecepatan dua kali berarti menambah *drag* sebanyak empat kali. Hal ini berlaku ketika pada fase subsonik, atau kecepatan lebih rendah daripada kecepatan suara. *Drag force* yang tinggi akan memberikan efek konsumsi daya atau bahan bakar yang lebih tinggi.

Secara matematis *drag coefficient* dapat dituliskan [11]:

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

Di mana:

|            |  |
|------------|--|
| $F_D$      | : <i>Drag Force</i> [Kg.m/s <sup>2</sup> ] |
| $\rho$     | : Massa jenis [Kg/m <sup>3</sup> ]         |
| $U_\infty$ | : <i>Fluid velocity</i> [m/s]              |
| $A$        | : Frontal Area [m <sup>2</sup> ]           |
| $C_D$      | : Koefisien <i>drag</i>                    |

Gaya lift bekerja dalam arah vertikal dan biasanya ke atas ditandai sebagai arah positif dan ke bawah sebagai arah negatif. *Coefficient lift* secara total dapat dirumuskan sebagai berikut [11]:

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A} \quad (3)$$

Dan untuk gaya lift dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_L = \frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A C_L \quad (4)$$

Di mana:

|            |  |
|------------|--|
| $F_L$      | : <i>Lift Force</i> [Kg.m/s <sup>2</sup> ] |
| $\rho$     | : Massa jenis [Kg/m <sup>3</sup> ]         |
| $U_\infty$ | : <i>Fluid velocity</i> [m/s]              |
| $A$        | : Frontal Area [m <sup>2</sup> ]           |
| $C_L$      | : Koefisien <i>lift</i>                    |

## 1.2. Computational Fluid Dynamics (CFD)

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) didasarkan pada penyelesaian persamaan kekekalan yang memodelkan aliran fluida. Salah satu keuntungan simulasi CFD adalah lebih terjangkau daripada eksperimen di terowongan angin. Dimungkinkan untuk merealisasikan studi para metrik dengan pengurangan waktu tunggu yang substansial, mempelajari sistem kompleks dalam kondisi berbahaya dengan tingkat detail hasil yang tinggi dan bekerja dalam sistem volume besar yang tidak mungkin dilakukan dalam sebuah eksperimen [12].

Kode CFD disusun di sekitar algoritma numerik yang dapat mengatasi masalah aliran fluida. Struktur ini terbagi dalam tiga elemen utama, yaitu *pre-processing*, *solving* dan *post-processing* [12].

### 1.2.1. Pre-Processing

*Pre-processing* terdiri dari input masalah aliran ke program CFD dan dapat dibagi dalam tahapan berikut:

- Pembuatan geometri.
- Pembuatan kisi, yaitu pembagian domain dalam elemen-elemen kecil (meshing).
- Parameter pemodelan *boundary condition* yang sesuai.

Keakuratan solusi CFD sebanding dengan jumlah elemen (sel) dalam kisi, dan umumnya untuk jumlah sel yang lebih besar semakin baik solusinya. Namun, penting untuk melihat hubungan antara keakuratan solusi dan biayanya dalam hal perangkat keras komputer yang diperlukan dan waktu kalkulasi. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian terhadap solusi independensi *mesh* untuk mencapai *mesh* yang optimal dengan akurasi yang cukup dan sumber daya komputasi yang minimal [13].

### 1.2.2. Solving

Saat *pre-processing* kita telah menetapkan proses pengolahan dan perhitungan. Ini adalah bagian utama dalam simulasi CFD, di mana persamaan yang mengatur aliran akan di diskritkan dan diselesaikan. [12]

### 1.2.3 Post – Processing

*Post-processing* terdiri dari menganalisis solusi yang diperoleh. Untuk itu, paket CFD dilengkapi dengan alat visualisasi data yang serbaguna. Ini termasuk:

- Geometri domain dan tampilan kisi.
- Plot vektor.
- Garis dan plot kontur berbayang.
- Plot permukaan.
- Pelacakan partikel.
- Warna keluaran *postscript*.

## 1.3 Fluent Model

*Fluent* adalah satu jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga (*finite volume*). Dalam dunia industri, sering digunakan untuk desain otomotif dan juga untuk mencari sumber atau analisis kegagalan suatu sistem fluida.

Pada *Fluent* terdapat beberapa model dan persamaan dasar yang dapat dipilih sesuai dengan kasus yang akan dianalisis. Persamaan-persamaan tersebut meliputi model multifasa, persamaan energi, model *viskos*, model spesies Transport dan reaksi, model fase diskrit, model pembekuan dan peleburan, dan model akustik. Pada topik kali ini akan dibahas lebih lanjut mengenai persamaan energi dan model *viskos*.

Pemodelan turbulensi yang baik dalam memprediksi tekanan statis dinding adalah pemodelan  $k - \epsilon$  *realizable*. Hal ini dikarenakan *error* yang terjadi pada model tersebut adalah paling kecil, sehingga dapat dikatakan lebih akurat dibandingkan pemodelan lain untuk mendeskripsikan tekanan statis. Model *k-epsilon realizable* merupakan pengembangan model yang relatif baru dan berbeda dengan model *k-epsilon* dalam dua hal, yaitu [14]:

- Pada model *k-epsilon realizable* terdapat formulasi baru untuk memodelkan viskositas turbulen.
- Sebuah persamaan untuk epsilon telah diturunkan dari persamaan untuk menghitung fluktuasi vortisitas rata - rata.

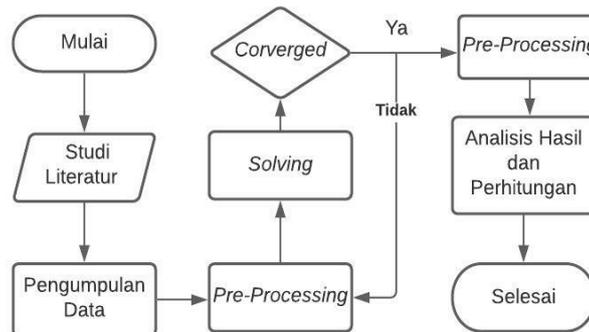
Istilah *realizable* mempunyai arti bahwa model tersebut memenuhi beberapa batasan matematis pada bilangan *Reynolds*, konsisten dengan bentuk fisik aliran turbulen. Kelebihan dari model *k-epsilon realizable* adalah lebih akurat untuk memprediksikan laju penyebaran fluida dari pancaran jet/nozel. Model ini juga memberikan performa yang bagus untuk aliran yang melibatkan putaran, lapisan batas yang mempunyai gradien tekanan yang besar, separasi, dan resirkulasi. Salah satu keterbatasan model *k-epsilon*

*realizable* ialah terbentuknya viskositas turbulen non fisik pada kasus di mana domain perhitungan mengandung zona fluida yang diam dan berputar (*multiple reference frame, sliding mesh*) [14].

## 2. METODE DAN BAHAN

### 2.1. Diagram Alir

Dalam pelaksanaan penelitian perlu dilakukan kerangka pemikiran yang secara garis besar disusun dalam metode penelitian, di bawah ini di jelaskan *flow*/alur pelaksanaan penelitian.



**Gambar 1:** Flow Chart Metodologi

### 2.2. Alat dan bahan

Alat yang digunakan pada analisis aerodinamika yang akan dilaksanakan ini dapat dipaparkan sebagai berikut:

1. Laptop yang mempunyai spesifikasi mumpuni dalam hal rancangan desain dan simulasi. Berikut merupakan data spesifikasi komputer yang digunakan untuk analisis melalui program Ansys 19.0 CFD:
  - Processor : AMD A9-9425 , CPU @3.10GHz
  - Memory (RAM) : 7.46 GB
  - Graphic Chipset : AMD Radeon R5
  - OS : Microsoft Windows 10 64- bit
2. Meteran untuk mengukur dimensi aktual bodi mobil listrik *Geni Biru* KMHE 2020.
3. *Software* Autodesk Alias Speedform berguna sebagai aplikasi *modelling body* mobil listrik *Geni Biru* KMHE 2020.
4. *Software* ANSYS 19.0 berguna sebagai aplikasi simulasi pengetesan aerodinamika kendaraan.

Bahan yang digunakan untuk penelitian adalah desain bodi mobil listrik *Geni Biru* KMHE 2020. Desain dibuat dengan *software* Autodesk Alias *Speedform* yang kemudian diubah formatnya ke (\*.stp).

Dalam penelitian analisis Aerodinamika ini yang menjadi subjek penelitian adalah mobil listrik *Geni Biru* KMHE 2020 sedangkan objeknya adalah bodi dari mobil listrik tersebut.

### 2.3. Pengukuran Bodi Mobil

Dengan menggunakan meteran peneliti mengukur bodi mobil dan didapat dimensi sebagai berikut:

**Tabel 1:** hasil pengukuran bodi mobil

| Parameter               | Dimensi |
|-------------------------|---------|
| Panjang Bodi            | 2710 mm |
| Lebar Bodi              | 840 mm  |
| Tinggi Bodi             | 570 mm  |
| <i>Ground Clearance</i> | 100 mm  |



**Gambar 2:** Mobil listrik geni biru KMHE 2020

## Pembahasan alur proses

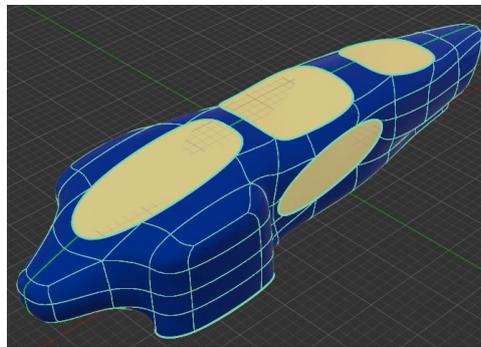
### 1. Pre - Processing

*Preprocessing* merupakan langkah pertama dalam membangun dan menganalisa sebuah model komputasi (CFD). Tahapan ini meliputi beberapa sub-tahapan antara lain: pembuatan geometri, penentuan domain, pembuatan *meshing* dan penentuan parameter - parameter yang digunakan [14].

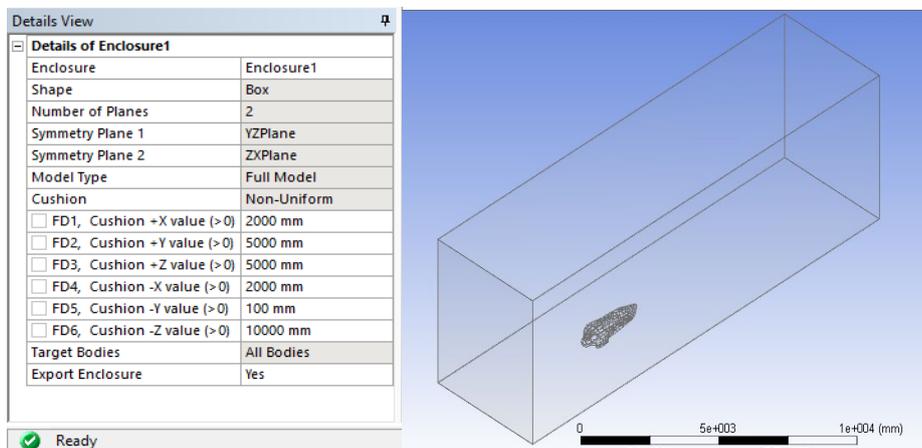
#### a) Pembuatan Geometri *Body*

Pembuatan geometri *body* mobil listrik Geni Biru KMHE 2020 ini menggunakan *software* Autodesk Alias *Speedform*. Adapun dimensi dan geometri 3D dari *body* mobil listrik Geni Biru KMHE 2020 dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

| <b>Parameter</b>        | <b>Dimensi</b>           |
|-------------------------|--------------------------|
| <b>Panjang Bodi</b>     | 2717 mm                  |
| <b>Lebar Bodi</b>       | 843 mm                   |
| <b>Tinggi Bodi</b>      | 570 mm                   |
| <b>Frontal Area</b>     | 0,4626522 m <sup>2</sup> |
| <b>Ground Clearance</b> | 100 mm                   |



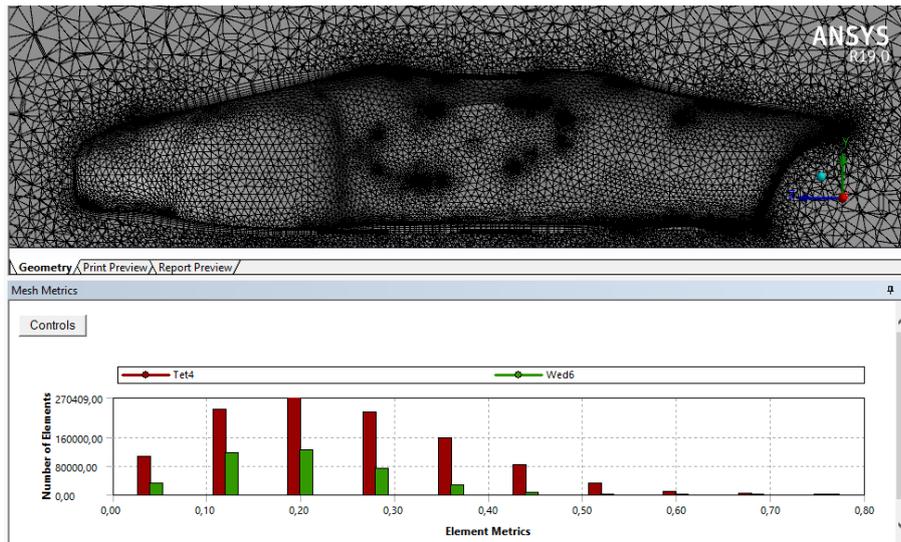
**Gambar 3:** Geometri 3D Body Mobil Listrik Geni Biru KMHE 2020



**Gambar 4:** Modelling enclosure mobil

#### b) Meshing

Bidang atau volume yang diisi oleh fluida dibagi menjadi sel-sel kecil (*meshing*) sehingga kondisi batas dan beberapa parameter yang diperlukan dapat diaplikasikan ke dalam elemen - elemen kecil tersebut.



**Gambar 5:** Hasil *Tetrahedrons Mesh* dengan *Patch Conforming Algorithm*

Detail dari *mesh* yang didapatkan secara *default* dapat dilihat pada Gambar 6, Pada percobaan kali ini jenis fungsi ukuran *mesh* yang digunakan yaitu *Proximity and Curvature*, untuk membuat bentuk dari ukuran *mesh* berbeda-beda tergantung dari permukaan bidang, semisal untuk bagian lengkungan dan garis otomatis dibuat ukuran *mesh* yang sangat kecil dibanding dengan bidang permukaan yang datar.

| details of "Mesh"                               |                             |
|---|-----------------------------|
| <b>Sizing</b>                                   |                             |
| Size Function                                   | Proximity and Curvature     |
| <input type="checkbox"/> Max Face Size          | 250,0 mm                    |
| <b>Mesh Defeaturing</b>                         |                             |
| <input type="checkbox"/> Defeature Size         | Default (1,250 mm)          |
| <input type="checkbox"/> Growth Rate            | Default (1,20)              |
| <input type="checkbox"/> Min Size               | Default (2,50 mm)           |
| <input type="checkbox"/> Max Tet Size           | Default (500,0 mm)          |
| <input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle | 12,0 °                      |
| <input type="checkbox"/> Proximity Min Size     | Default (2,50 mm)           |
| <input type="checkbox"/> Num Cells Across Gap   | 5                           |
| Proximity Size Function Sou... Faces and Edges  |                             |
| Bounding Box Diagonal                           | 19211 mm                    |
| Average Surface Area                            | 1,8411e+006 mm <sup>2</sup> |
| Minimum Edge Length                             | 0,993530 mm                 |
| <b>Quality</b>                                  |                             |
| Check Mesh Quality                              | Yes, Errors                 |
| <input type="checkbox"/> Target Skewness        | Default (0.900000)          |
| <b>Smoothing</b>                                |                             |
| High  |                             |
| <b>Mesh Metric</b>                              |                             |
| Skewness  |                             |
| <input type="checkbox"/> Min                    | 5,0036e-005                 |
| <input type="checkbox"/> Max                    | 0,79992                     |
| <input type="checkbox"/> Average                | 0,22624                     |
| <input type="checkbox"/> Standard Deviation     | 0,11813                     |
| <b>Inflation</b>                                |                             |
| <b>Assembly Meshing</b>                         |                             |
| <b>Advanced</b>                                 |                             |
| <b>Statistics</b>                               |                             |
| <input type="checkbox"/> Nodes                  | 399081                      |
| <input type="checkbox"/> Elements               | 1493425                     |

**Gambar 6:** Details of *Mesh*

**c) Parameter pemodelan**

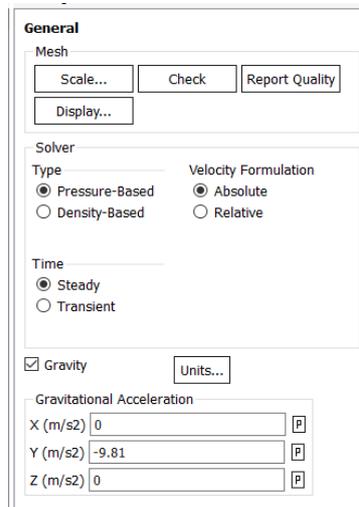
Pada pemodelan karakteristik fluida ini, pertama yang harus dilakukan adalah dengan membuka proses selanjutnya setelah *mesh* yaitu *setup*, yang otomatis membawa kita ke *software CFD-Pre*.

**Tabel 3:** Parameter masukan

| No. | Parameter             | Keterangan                                |
|-----|-----------------------|---|
| 1   | Massa jenis           | 1,225 kg/m <sup>3</sup>                   |
| 2   | <i>Viscosity</i>      | 1,7894.10 <sup>-5</sup> kg/m <sup>4</sup> |
| 3   | <i>Inlet velocity</i> | 7 m/s                                     |

|   |  |     |
|---|--|-----|
| 4 | <i>Inlet turbulence intensity</i>        | 1 % |
| 5 | <i>Inlet turbulence viscosity ratio</i>  | 10  |
| 6 | <i>Outlet turbulence intensity</i>       | 5%  |
| 7 | <i>Outlet turbulence viscosity ratio</i> | 10  |

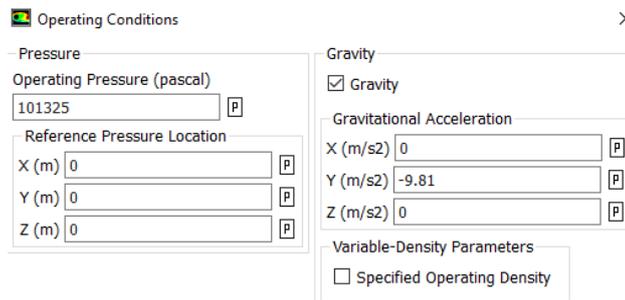
#### d) CFD Model Set-up



Gambar 7: General setting

#### Domain Models

*Default Domain* berupa tekanan (P) di sekitar mobil, yaitu sebesar 1 atm = 101325 Pascal.



Gambar 8: Operating Conditions

#### Fluid Models

Pada aturan resmi KMHE dikatakan: "Untuk upaya mereka divalidasi, tim harus menyelesaikan sepuluh lap dalam waktu maksimum 39 menit dengan kecepatan rata-rata sekitar 25 km/jam." [2]. Penting juga untuk menentukan interval panjang yang diperbolehkan untuk *body* kendaraan. 2717 mm sebagai panjang *body* mobil listrik Geni Biru KMHE 2020, dan 3500 mm yang merupakan panjang maksimum yang diizinkan oleh aturan KMHE.

Untuk menentukan model dari sifat fluida maka pada *Default Domain* terdapat pengaturan *Fluid Models*, pertama-tama yang harus dilakukan adalah mencari jenis aliran fluida dengan menentukan bilangan *Reynolds* (Re) untuk aliran eksternal, dengan menggunakan persamaan 1.5 [14]:

$$Re = \frac{\rho U_{\infty}^2 L}{(\frac{\mu U_{\infty}}{L}) L^2} = \frac{\rho U_{\infty} L}{\mu} \quad (5)$$

$$Re = \frac{1,225 \frac{kg}{m^3} \cdot 7 \frac{m}{s} \cdot 2,717 m}{1,7894 \times 10^{-5} N \cdot s/m^2}$$

$$Re = 1,302016 \times 10^6$$

$$Re = \frac{1,225 \frac{kg}{m^3} \cdot 14 \frac{m}{s} \cdot 2,717 m}{1,7894 \times 10^{-5} N \cdot s/m^2}$$

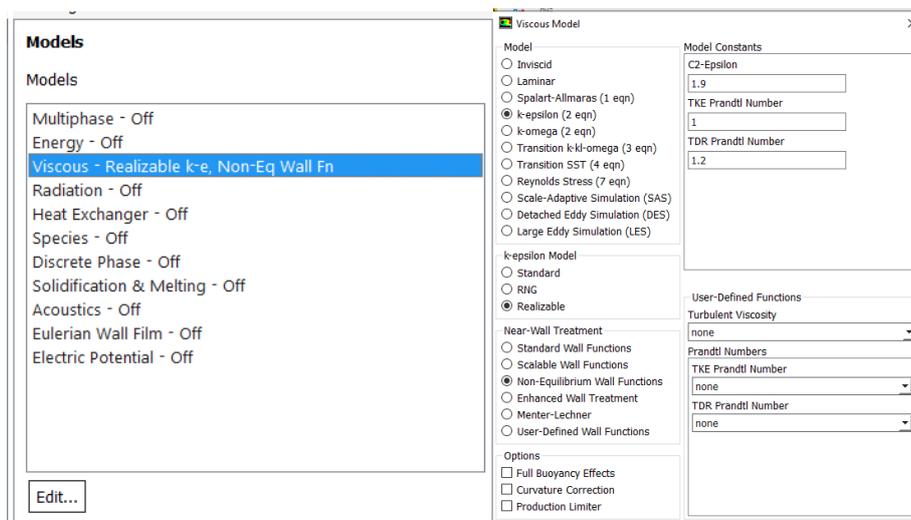
$$Re = 2,604032 \times 10^6$$

$$Re > 4000 \text{ (Turbulent)}$$

di mana:

|              |   |   |
|--------------|---|---|
| $\rho$       | = | Massa jenis fluida [Kg/m <sup>3</sup> ]           |
| $U_{\infty}$ | = | Fluid velocity [m/s], 7 m/s sama dengan 25 km/jam |
| $L$          | = | Panjang dari mobil listrik Geni Biru              |
| $\mu$        | = | Viskositas dinamis [N.s/m <sup>2</sup> ]          |

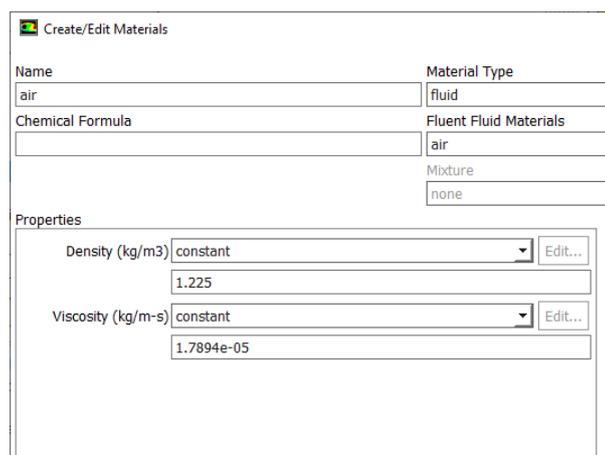
Jadi, dalam kasus ini digunakan aliran turbulen dengan model k-epsilon karena diharapkan hasil yang diperoleh akan lebih akurat dalam memprediksi laju penyebaran fluida.



Gambar 9: Model selection

### Material

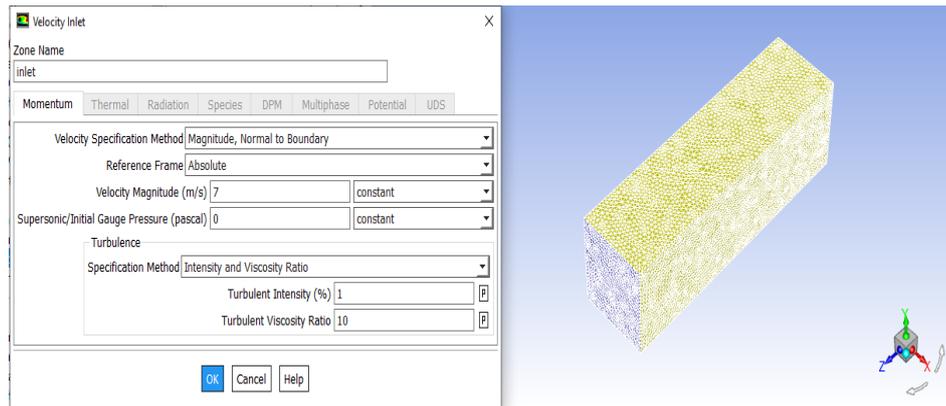
Dalam hal ini material yang digunakan adalah air ideal gas dengan *density* 1,225 kg/m<sup>3</sup> dan *dynamic viscosity* ( $\mu$ ) 1,7894x10<sup>-5</sup> kg/ms [14].



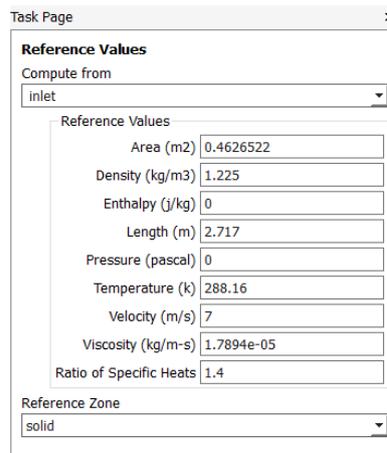
Gambar 10: Material Properties Fluid udara

### Boundary Condition

Pada kondisi batas *inlet* kecepatan 7 m/s dan pada kondisi batas *outlet* adalah *outflow*. Untuk kondisi batas dinding kanan, dinding kiri, dinding atas dan dinding bawah adalah *wall* dengan pilihan no slip *wall* termasuk juga seluruh bodi dari mobil listrik *Geni Biru* KMHE 2020, bisa dilihat pada gambar di bawah.



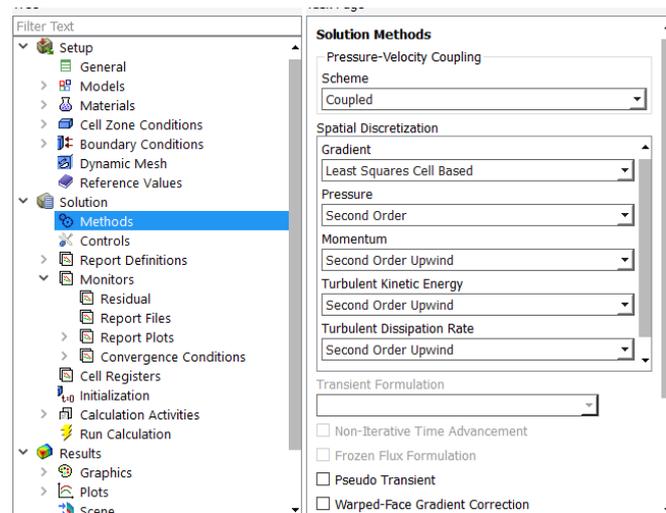
**Gambar 11:** Boundary Condition inlet velocity 7 m/s



**Gambar 12:** Reference Values

### Solution Methods

*Solution methods* menggunakan *schema coupled*. Metode diskritisasi yang digunakan adalah *second order upwind* untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.



**Gambar 13:** Solution Methods

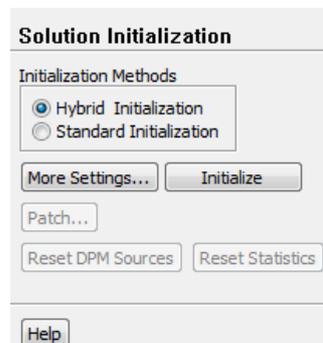
### Convergence Condition

Pada akhir setiap iterasi *solver*, jumlah *residual* untuk masing-masing variabel yang dikonservasi dihitung dan disimpan, sehingga mencatat riwayat konvergensi. Secara *default*, nilai *residual* untuk semua variabel yang relevan dicetak dalam teks di konsol setiap iterasi. Tidak ada metrik universal untuk menilai konvergensi. Definisi *residual* yang berguna untuk satu tingkat masalah terkadang *misleading* untuk tingkat masalah lainnya. Untuk sebagian besar masalah, kriteria konvergensi *default* sudah cukup. Kriteria ini

mensyaratkan bahwa residu yang diskalakan harus berkurang menjadi  $10^{-3}$  untuk semua persamaan kecuali persamaan energi, yang kriterianya adalah  $10^{-6}$  [15].

### **Initialization solution**

Sebelum memulai simulasi CFD apa pun, *fluent solver* memerlukan "tebakan" awal untuk solusi bidang aliran. Dalam banyak kasus, Anda harus lebih berhati-hati untuk memberikan *initial solution* supaya *final solution* yang diinginkan tercapai. Metode inisialisasi default untuk aliran *steady-state* fase tunggal adalah metode *Hybrid Initialization* dan digunakan untuk semua kasus CFD [15].



**Gambar 14:** *Solution Initialization*

### **Iterasi**

Menentukan kriteria konvergensi (tebakan awal dari hasil iterasi). Dalam analisis ini *max iteration* ditetapkan dengan sebesar 500, artinya jumlah maksimal iterasi untuk mendapatkan kriteria konvergensi yang diinginkan.

#### **a. Solving**

Pada tahap *solving* dengan mengklik *Run Calculations*, kondisi-kondisi yang telah ditetapkan pada saat *pre-processing* di dalam akan dihitung (diiterasi). Jika status analisis sudah *converged* dan terlihat di *plot console*, maka tahapan dilanjutkan pada *post-processing* dan jika tidak tercapai tahapan akan mundur ke belakang pada tahapan *pre-processing*.

#### **b. Post - Processing**

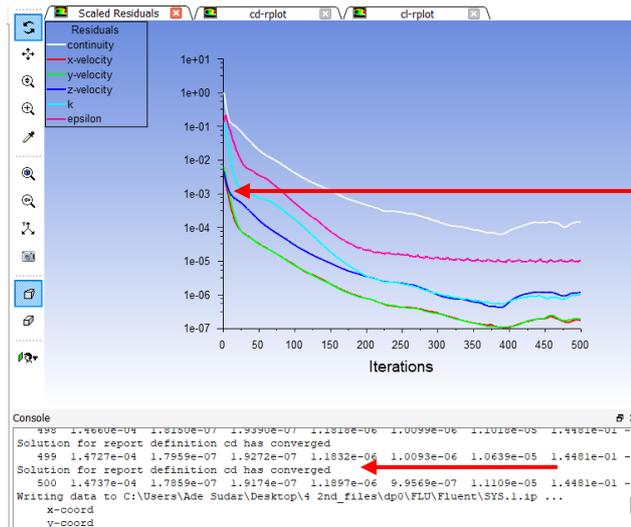
*Postprocessing* merupakan visualisasi hasil serta analisa terhadap hasil yang telah diperoleh berupa data kualitatif dan data kuantitatif. Data kuantitatif berupa distribusi koefisien tekanan, Gaya drag dan Gaya lift. Sedangkan data kualitatif berupa visualisasi aliran dengan menampilkan *pathlines* berupa *velocity magnitude*.

## **3. HASIL DAN DISKUSI**

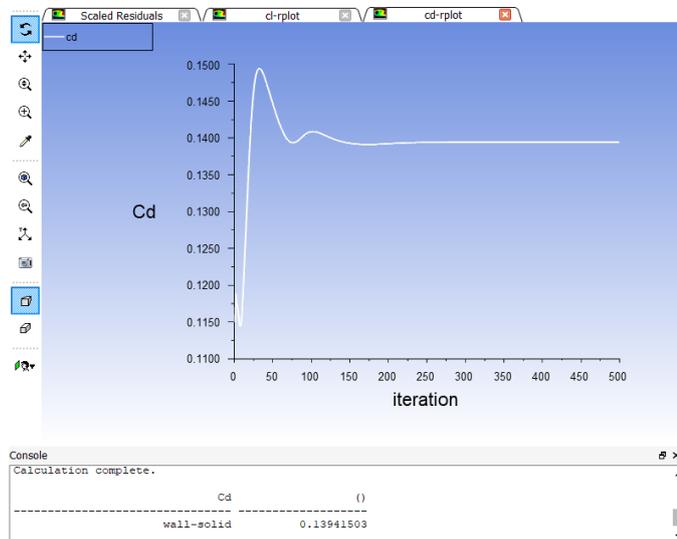
Bentuk bodi mobil listrik Geni Biru KMHE 2020 dilakukan analisa 3 dimensi dengan pengujian menggunakan *software ANSYS CFD*, untuk mendapatkan *contour of pressure*, vektor *velocity*, *pathlines of velocity*, grafik koefisien tekanan ( $C_p$ ), koefisien drag ( $C_d$ ), koefisien lift ( $C_l$ ). Sehingga dapat dilakukan analisa gaya drag dan lift.

### **3.1. Iteration Running Time**

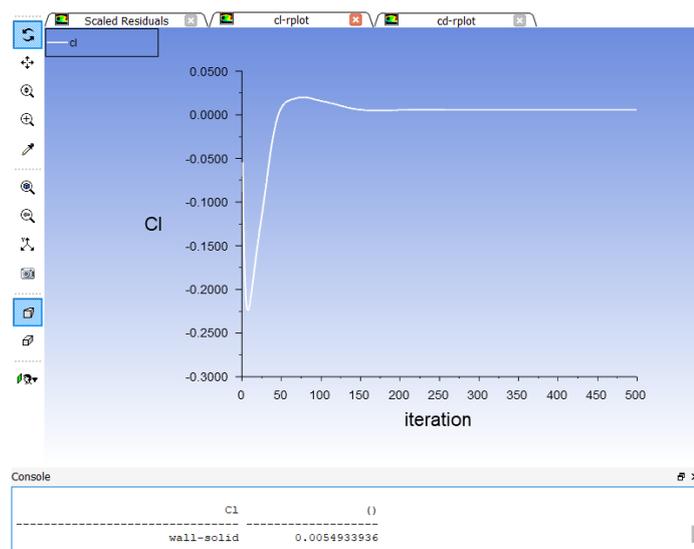
Pada Gambar 15 dibawah, dengan bentuk *Mesh Tetrahedrons* serta untuk mencapai konvergensi ada 500 jumlah iterasi dan membutuhkan waktu untuk *running* 3 jam 31 menit 04 detik terlihat di grafik dan *plot console* bagian bawah.



Gambar 15: Convergence history



Gambar 16: Cd converged history



Gambar 17: Cl converged history

Pada Gambar 16 bisa dilihat dengan iterasi 500 grafik menunjukkan sudah keadaan lurus yang artinya *converged* berada di angka Cd 0,13941503 atau 0,1394. Pada Gambar 17 bisa dilihat dengan iterasi

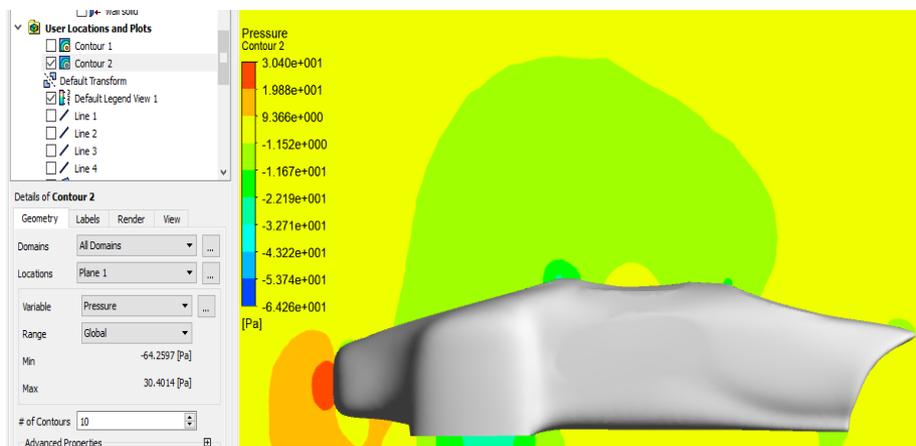
500 grafik menunjukkan sudah keadaan lurus yang artinya *converged* berada di angka CI 0,0054933936 atau 0,0054

### 3.2. Analisa Aliran Fluida pada Bodi Mobil

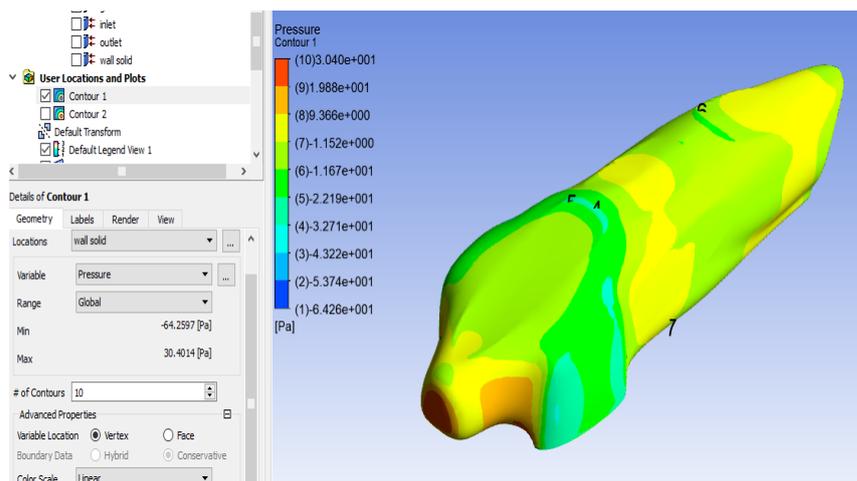
#### 3.2.1. Pressure Contour

Karakteristik aliran di sekitar mobil listrik Geni Biru KMHE 2020 yang mendapat pengaruh dari efek sidebody dapat dijelaskan secara kualitatif melalui visualisasi tekanan pada bodi mobil listrik Geni Biru KMHE 2020 untuk mengetahui tekanan statis pada keseluruhan bodi. Visualisasi analisa *contour* tekanan di sekitar bodi mobil dijelaskan berdasarkan gambar *contour* distribusi tekanan yang diperoleh dari *software CFD-Post*.

Menurut gambar di bawah, aliran udara dari *free stream* mengalir menuju bodi kendaraan bagian depan (*front body*). Aliran udara bertumbukan dengan bagian depan bodi kendaraan. Sehingga aliran udara mengalami perlambatan. Selanjutnya kecepatan aliran udara dari *free stream* seolah-olah berhenti dan tekanan yang terjadi di bagian bodi kendaraan semakin tinggi. Tekanan yang paling tinggi ditandai dengan warna merah, pada keadaan seperti ini dinamakan dengan kondisi stagnasi. Ini bisa di percekil tekanan dengan membuat bodi mobil lebih *streamlined*. Level tekanan bervariasi dari *lower* sampai *upper* dengan nilai *range* variasinya -64,2597 Pa – 30,4014 Pa.

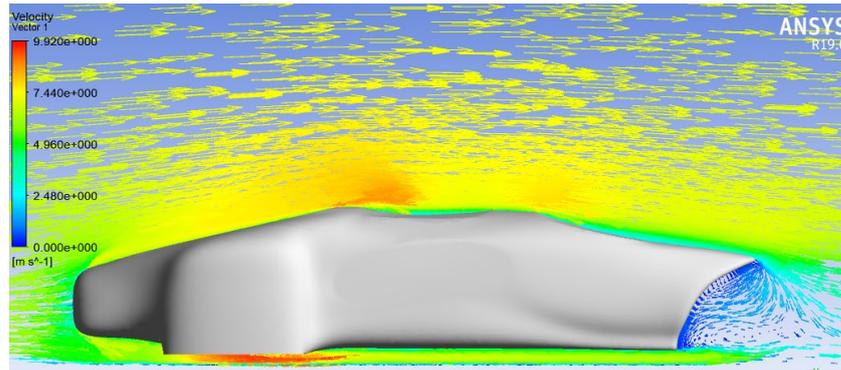


Gambar 18: Static pressure contour



Gambar 19: Pressure body contour

#### 3.2.2. Velocity Vector

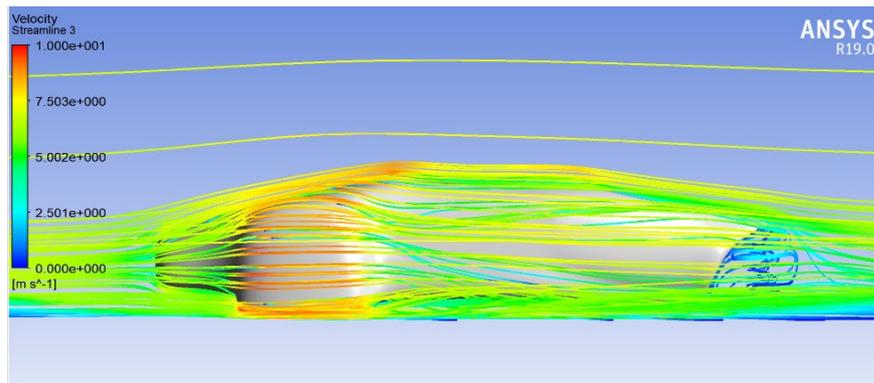


**Gambar 20:** *Velocity vector* kecepatan 7 m/s

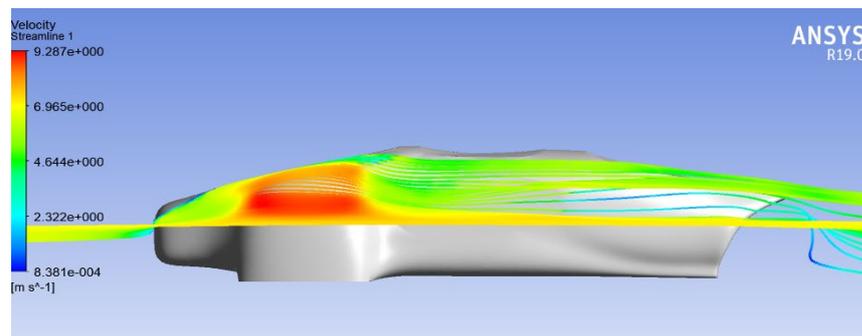
Berdasarkan vektor kecepatan yang diperlihatkan pada Gambar 20 dapat diketahui bahwa terjadi fenomena separasi aliran pada bagian belakang bodi mobil. Adanya separasi aliran akan menyebabkan timbulnya *wake* di belakang bodi mobil yang mengakibatkan *drag*. Oleh karena itu, pengurangan daerah separasi pada mobil listrik Geni Biru KMHE 2020 menjadi hal yang penting untuk diperhitungkan.

### 3.2.3. *Streamline Plot*

Gambar 22 menunjukkan aliran fluida yang melintasi bodi mobil Geni Biru KMHE 2020, terlihat beberapa poin separasi aliran dan yang paling terlihat di bagian belakang bodi mobil terjadi turbulen dan seperti terlihat pada Gambar 20 bahwa arah vektor *velocity* bagian belakang menunjukkan *backflow*.

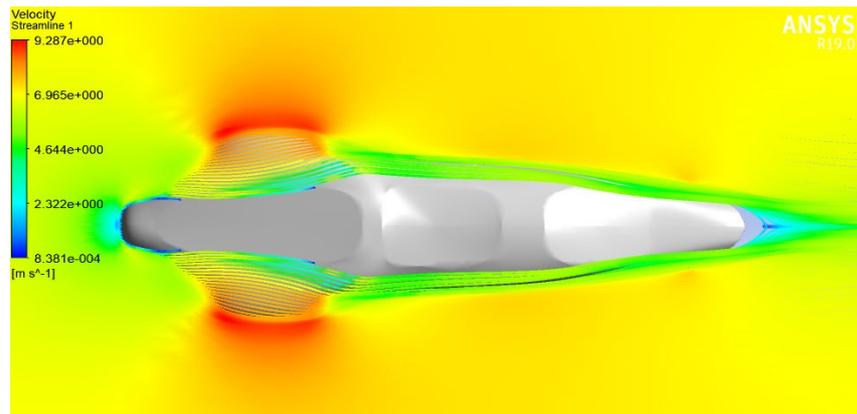


**Gambar 21:** *Streamline* tampak samping



**Gambar 22:** *Streamline* pada ketinggian 250 mm dari bawah

Pada Gambar 22 bahwa pada mobil listrik Geni Biru KMHE 2020 terdapat fenomena separasi aliran pada ketinggian tertentu dari bawah mobil. Pada 250 mm dari bawah mobil, daerah separasi aliran dan *wake* lebih jelas terlihat pada bagian samping menuju ke belakang terjadi separasi yang mengakibatkan fenomena *wake*.



Gambar 23: Streamline tampak atas

### 3.3. Analisa Gaya Aerodinamis

Koefisien *drag* merupakan hal yang paling penting dalam desain aerodinamika, karena jika koefisien *drag* semakin kecil, maka hambatan udara terhadap bodi mobil semakin kecil, sehingga mobil diharapkan bisa semakin mudah melaju dengan tenaga dari mesin yang lebih sedikit, dan akhirnya, diharapkan akan mengurangi pemakaian atau konsumsi *battery* oleh mesin mobil. Oleh karena itu, bentuk bodi mobil Geni Biru KMHE 2020 ini diharapkan memiliki koefisien *drag* yang sekecil mungkin, agar mampu untuk lebih menghemat konsumsi *battery* saat mengikuti lomba.

Tabel 4 menunjukan nilai *coefficient drag* yang setelah proses *solving* selesai seperti pada Gambar 16 dan Gambar 17 untuk *coefficient lift*.

Tabel 4: Nilai *coefficient drag*

| Kecepatan | Bilangan <i>Reynold</i> | $C_d$  | $C_l$  |
|-----------|-------------------------|--------|--------|
| 7 m/s     | $1,302016 \times 10^6$  | 0,1394 | 0,0054 |
| 14 m/s    | $2,604032 \times 10^6$  | 0,1292 | 0,0092 |

#### 3.3.1 Mencari Drag Force

Gaya *drag* yang dihasilkan oleh suatu kendaraan dipengaruhi oleh beberapa factor antara lain: density, kecepatan udara yang melintasi kendaraan, luas frontal dan koefisien *drag*. Hal ini sesuai dengan persamaan 1:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A C_D$$

Di mana:

|            |   |  |
|------------|---|--|
| $F_D$      | = | <i>Drag Force</i> [Kg.m/s <sup>2</sup> ] |
| $\rho$     | = | Massa jenis [Kg/m <sup>3</sup> ]         |
| $U_\infty$ | = | <i>Fluid velocity</i> [m/s]              |
| $A$        | = | Frontal Area [m <sup>2</sup> ]           |
| $C_D$      | = | Koefisien <i>drag</i>                    |

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(7 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 0,4626522 \text{ m}^2 \cdot 0,1394 = 1,935617$$

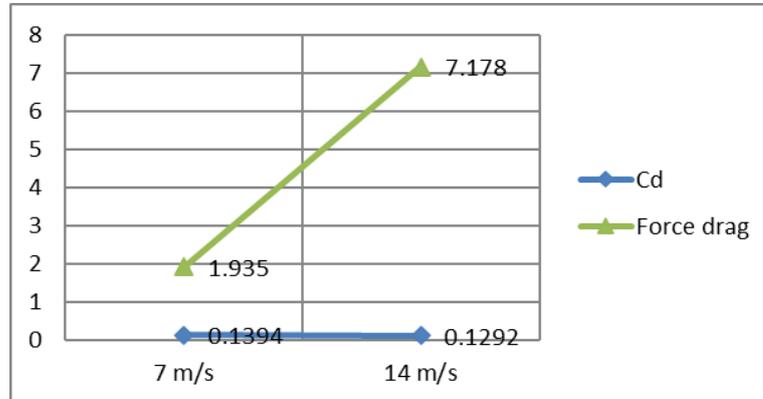
$$= 1,935 \text{ Kg.m/s}^2$$

Dengan Kecepatan ( $U$ ) 7 m/s nilai gaya *drag* pada mobil listrik mobil Geni Biru KMHE 2020 adalah 1,9356 Kg.m/s<sup>2</sup>. Kemudian penulis mencoba meningkatkan nilai kecepatannya dua kali lipat, jadi kecepatannya 14 m/s dengan menggunakan rumus yang sama.

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(14 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 0,4626522 \text{ m}^2 \cdot 0,1292 = 7,178091$$

$$= 7,178 \text{ Kg.m/s}^2$$

Dengan meningkatkan kecepatannya menjadi 14 m/s nilai gaya *drag* juga meningkat menjadi 7,178 Kg.m/s<sup>2</sup>. Dengan demikian semakin besar kecepatan mobil itu melaju maka semakin besar juga gaya *drag* yang terjadi. Dan itu juga di pengaruhi oleh bentuk bodi mobil, semakin *streamline* bentuk bodi mobil dan frontal area maka semakin kecil gaya *drag* yang terjadi. Setiap kendaraan diharapkan mempunyai gaya drag yang rendah.



**Gambar 24:** Grafik *drag force* terhadap kecepatan

### 3.3.2 Mencari Lift Force

Gaya lift yang dihasilkan oleh suatu kendaraan dipengaruhi oleh beberapa *factor* antara lain: *density*, kecepatan udara yang melintasi kendaraan, luas frontal dan koefisien lift. Hal ini sesuai dengan persamaan 1.4 berikut ini:

$$F_L = \frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2 A C_L$$

Dimana:

|              |   |                                   |
|--------------|---|-----------------------------------|
| $F_L$        | = | Lift Force [Kg.m/s <sup>2</sup> ] |
| $\rho$       | = | Massa jenis [Kg/m <sup>3</sup> ]  |
| $U_{\infty}$ | = | Fluid velocity [m/s]              |
| $A$          | = | Frontal Area [m <sup>2</sup> ]    |
| $C_L$        | = | Koefisien lift                    |

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(7 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 0,4626522 \text{ m}^2 \cdot 0,0054 = 0,061208$$

$$= 0,061 \text{ Kg.m/s}^2$$

Dengan kecepatan (U) 7 m/s nilai gaya lift pada mobil listrik mobil Geni Biru KMHE 2020 adalah 0,061 Kg.m/s<sup>2</sup>. Kemudian penulis mencoba meningkatkan nilai kecepatannya dua kali lipat, jadi kecepatannya 14 m/s dengan menggunakan rumus yang sama.

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(14 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 0,4626522 \text{ m}^2 \cdot 0,0092 = 0,51243865$$

$$= 0,512 \text{ Kg.m/s}^2$$

Dengan meningkatkan kecepatannya menjadi 14 m/s nilai gaya lift juga meningkat menjadi 0,512 Kg.m/s<sup>2</sup>. Dengan demikian semakin besar kecepatan mobil itu melaju maka semakin besar juga gaya lift yang terjadi. Setiap kendaraan diharapkan mempunyai gaya lift yang rendah.

### 3.3.3 Evaluasi Aerodinamika *Prototype*

**Tabel 5:** Evaluasi Nilai Cd

| Car          | Frontal Area (A)     | Cd    |
|--------------|----------------------|-------|
| Pac Car II   | 0,254 m <sup>2</sup> | 0,07  |
| IDRA pegasus | 0,258 m <sup>2</sup> | 0,093 |
| Geni Biru    | 0,462 m <sup>2</sup> | 0,139 |

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa frontal area berpengaruh terhadap nilai *coefficient drag*, frontal area pada mobil Pac Car II lebih kecil dari pada mobil Geni Biru dan nilai Cd yang di peroleh pun cukup berbeda terlihat jelas juga dari bentuk bodi mobil masing - masing.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi CFD maka dapat disimpulkan bahwa mobil listrik Geni Biru KMHE 2020:

1. *Coefficient drag* pada kecepatan 7 m/s menghasilkan nilai 0,139 dan nilai gaya drag 1,935 Kg.m/s<sup>2</sup>. Sedangkan untuk *coefficient lift* menghasilkan nilai 0,0054 dan nilai gaya lift 0,061 Kg.m/s<sup>2</sup>.
2. Dari hasil perhitungan *Reynold number* bahwa jenis aliran yang dihasilkan adalah turbulen dan hasil dari plot *velocity vector* menggambarkan demikian, terjadi *backflow* atau seperti pusaran di bagian belakang mobil.
3. Hasil dari analisis *contour pressure*, terdapat daerah stagnasi di bagian depan bodi (*nose*) ditandai dengan warna merah dan terjadi separasi *bubble* di beberapa titik yang di tandai dengan warna hijau. Dan dari analisis *streamline velocity* terdapat *wake area* pada bodi bagian belakang yang berpengaruh juga terhadap besarnya gaya drag. Besar kecilnya *wake area* dipengaruhi oleh bentuk bodi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Liun, "Dampak Peralihan Massal Transportasi Jalan Raya Ke Mobil Listrik.," *J. Pengemb. Energi Nukl.*, vol. 19, no. 2, p. 113, 2018, doi: 10.17146/jpen.2017.19.2.4075.
- [2] Universitas Negeri Malang and RISTEKDIKTI, "Regulasi Teknis Kontes Mobil Hemat Energi 2019," *RISTEKDIKTI*, 2019, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [3] R. Hakim and C. B. Nugroho, "Desain dan Analisa Aerodinamika Dengan menggunakan Pendekatan CFD Pada Model 3D Untuk Mobil Prototype ' Engku Putri ' Mechanical Engineering study Program," *Integrasi*, no. April, 2016.
- [4] W. Mokhtar and S. Durrer, "A CFD Analysis of a Race Car Front Wing in Ground Effect," pp. 1–12, 2016.
- [5] J. Katz, *Race Car Aerodynamics*, 2nd ed., no. 3. Cambridge: Bentley Publishers, 1999.
- [6] G. Gao, F. Li, K. He, J. Wang, J. Zhang, and X. Miao, "Investigation of bogie positions on the aerodynamic drag and near wake structure of a high-speed train," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, no. April 2018, 2019, doi: 10.1016/j.jweia.2018.10.012.
- [7] S. Vignesh, V. S. Gangad, V. Jishnu, Maheswarreddy, A. Krishna, and Y. S. Mukkamala, "Windscreen angle and Hood inclination optimization for drag reduction in cars," *Procedia Manuf.*, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.062.
- [8] Buntarto, *Pengenaln Bodi Otomotif*, 1st ed. Surabaya: Pustaka Baru Press, 2015.
- [9] C. Fonte, "Design of a Low Consumption Electric Car Prototype," Da Beira Interior, 2015.
- [10] A. Anish, S. P.G, and V. . K, "Modelling and Analysis of a Car for Reducing Aerodynamic Forces," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, 2017, doi: 10.14445/22315381/ijett-v47p201.
- [11] S. Ideen, "Aerodynamic Basics," ResearchGate, New York, 2018. doi: 10.13140/RG.2.2.32859.72488/1.
- [12] H. K. Versteeg and W. Malalasekera, *Introduction to Computational Fluid Dynamics*, 2nd ed. London: Pearson Prentice Hall, 2016.
- [13] P. Moin and K. Mahesh, "Direct numerical simulation: A Tool in Turbulence Research," *Annu. Rev. Fluid Mech.*, vol. 30, no. April 2016, pp. 539–578, 2016, doi: 10.1146/annurev.fluid.30.1.539.
- [14] T. Hasugian Daniel, "SIMULASI AERODINAMIKA PADA MOBIL LISTRIK MENGGUNAKAN SOFTWARE ANSYS FLUENT," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [15] I. Oxyzoglou, "Design & Development of an Aerodynamic Package for an FSAE Race Car," University of Thessaly 14/08/2019, 2017.

#### BIODATA PENULIS

|   |  |
|---|--|
|  | <p>Nama: Ade Sudaryono<br/>           Tempat, tanggal lahir: Majalengka, 12 Juli 1993<br/>           Alamat: Kp. Bali No. 39 Rt: 002 Rw: 004 , kelurahan Kalideres, Kecamatan Kalideres, Jakarta Barat<br/>           Email: <a href="mailto:aurakatan@gmail.com">aurakatan@gmail.com</a><br/>           Jurusan Teknik Mesin,<br/>           Universitas Mercu Buana,</p> |
|---|--|