

# Optimalisasi Alternatif Desain *Mask of Car* Kereta Cepat Terhadap Aerodinamika Variasi Kecepatan Dengan Simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

Maulana Rio Fransiko<sup>1</sup>, Rafael Slamet Firdaus<sup>2</sup>, Kevin Bayu Pradana<sup>3</sup>, Muzdalifah Devani<sup>4</sup> Okta  
Dilla Risqy<sup>5</sup>, Izza Fadillah Muthi<sup>6</sup>, Alfi Tranggono Agus Salim<sup>7\*</sup>,

<sup>1,2,3,4,7</sup>Program Studi Perkeretaapian, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun,

<sup>5,6</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Otomotif, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun

Corresponding Author : alfitranggono@pnm.ac.id

## ABSTRAK

Pengurangan *coefficient drag* adalah cara untuk meningkatkan aerodinamika kereta cepat. Tantangan dalam riset ini adalah kurangnya studi tentang analisis aerodinamika *mask of car* pada kereta cepat, yang relevan dengan perkembangan Rencana Induk Perkeretaapian Nasional (RIPNAS) yang menyatakan bahwa kereta cepat akan terverifikasi pada tahun 2025. Riset ini bertujuan untuk mensimulasikan aerodinamika kereta cepat dengan kecepatan 100 km/jam, 200 km/jam, 300 km/jam, dan lebar rel 1435 mm. Riset ini menganalisis beberapa desain *mask of car*, termasuk desain *mask of car 1* sebagai alternatif dari kereta cepat *Intercity Express (ICE) 3*, desain *mask of car 2* sebagai alternatif dari kereta cepat *Automotrice Grande Vitesse (AGV) Italo*, desain *mask of car 3* sebagai alternatif dari kereta cepat *Pamela Jones*, dan desain *mask of car 4* sebagai alternatif dari Kereta Cepat Jakarta Bandung (KCJB). Metode yang digunakan dalam riset ini adalah metode kuantitatif eksperimental dengan analisis aerodinamika menggunakan *Computational Fluid Dynamics (CFD)* melalui *software Ansys Workbench 2023*. Hasil riset menunjukkan bahwa desain *mask of car 3* memiliki *coefficient drag* terendah.

**Kata Kunci:** *coefficient drag, aerodinamika, kereta cepat, mask of car, Computational Fluid Dynamics (CFD).*

## ABSTRACT

*Drag coefficient reduction is a way to improve the aerodynamics of high-speed trains. The challenge in this research is the lack of studies on the aerodynamic analysis of the mask of car on fast trains, which is relevant to the development of the National Railway Master Plan (RIPNAS) which states that fast trains will be verified in 2025. This research aims to simulate the aerodynamics of high-speed trains with speeds of 100 km/h, 200 km/h, 300 km/h, and a rail width of 1435 mm. This research analyzes several mask of car designs, including mask of car 1 as an alternative to the Intercity Express (ICE) 3 high-speed train, mask of car 2 as an alternative to the Automotrice Grande Vitesse (AGV) Italo high-speed train, mask of car 3 as an alternative to the Pamela Jones high-speed train, and mask of car 4 as an alternative to the Jakarta Bandung High Speed Train (KCJB). The method used in this research is an experimental quantitative method with aerodynamic analysis using Computational Fluid Dynamics (CFD) through Ansys Workbench 2023 software. The results show that the mask of car 3 design has the lowest drag coefficient.*

**Keywords:** *coefficient drag, aerodynamics, high-speed trains, mask of car, Computational Fluid Dynamics (CFD).*

## 1 PENDAHULUAN

Riset ini berfokus pada pengembangan kereta cepat sesuai RIPNAS (Rencana Induk Perkeretaapian Nasional) yang menargetkan validasi desain pada tahun 2025, serta observasi pada PT INKA (Persero) yang tengah mempersiapkan pengembangan kereta cepat. Penting dilakukannya analisis aerodinamika *mask of car* kereta cepat sehingga mempercepat proses pengembangan kereta cepat di Indonesia.

Kereta cepat umumnya memiliki bodi yang aerodinamik [1]. Bodi aerodinamik pada kereta cepat terletak pada bentuk geometri *mask of car* [2]. *Mask of car* faktor yang mempengaruhi dari besarnya nilai *coefficient drag* [3]. Semakin kecil nilai *coefficient drag* maka semakin aerodinamik *mask of car* kereta tersebut. Menurut [4], dalam risetnya *ansys fluent* difungsikan untuk menganalisis *coefficient drag* dan *pressure contour* pada profil muka kereta Sulawesi PT INKA bentuk #3 dipilih sebagai alternatif profil muka karena mempunyai nilai *coefficient drag* paling kecil dan diketahui bentuk profil geometri sangat mempengaruhi *coefficient drag* pada kereta api yang sama dilakukan kereta Sulawesi PT INKA.

Menurut [5], hasil bodi Lintang Samudra 1 memiliki nilai *coefficient drag* = 0,07598 - 0,07025, pada bodi Lintang Samudra 2 memiliki nilai *coefficient drag* = 0,072451 - 0,067020. Perbedaan bentuk aliran fluida pada bodi Lintang Samudra 1 dan bodi Lintang Samudra 2 yaitu bodi kedua lebih aerodinamik dari bodi pertama. Riset [4], membatasi variabel yaitu bentuk #0, bentuk #1, Bentuk #2, dan bentuk #3 desain profil muka kereta Sulawesi PT INKA. Riset [5], membatasi variabel kecepatan 40, 50, 60, dan 70 km/h. Penelitian sebelumnya seperti [4] dan [5] hanya menganalisis kecepatan di bawah 70 km/jam dan desain kereta konvensional, sehingga belum menjawab kebutuhan aerodinamika kereta cepat berkecepatan tinggi (300 km/jam) di Indonesia. Studi terbaru oleh [14] menunjukkan bahwa bentuk hidung kereta (*nose shape*) secara signifikan memengaruhi drag pada kecepatan di atas 200 km/jam, namun belum ada adaptasi untuk kondisi rel Indonesia.

Sehingga tujuan dari riset ini adalah menganalisis dan membandingkan nilai *coefficient drag*, *pressure contour* (Pa), *velocity contour* (m/s), dan *velocity streamline* (m/s) pada desain *mask of car* 1, desain *mask of car* 2, desain *mask of car* 3, dan desain *mask of car* 4 dengan variasi kecepatan 100, 200, 300 km/h.

## 2 STUDI LITERATUR

### 2.1 Kereta Cepat

Kereta cepat yang digunakan pada riset ini seperti kereta cepat *ICE (Intercity Express)* 3 yang memiliki kecepatan operasi 300 km/jam, *AGV (Automotrice Grande Vitesse) Italo* yang memiliki kecepatan rata-rata 300 km/jam, dan *Pamela Jones* yang memiliki kecepatan 300 km/jam [6]. Kereta cepat pada riset ini difungsikan sebagai objek dalam riset dan mengambil beberapa sampel dari kereta cepat *ICE 3*, *AGV Italo*, *Pamela Jones*, dan Kereta Cepat Jakarta Bandung (KCJB).

### 2.2 Computational Fluid Dynamics

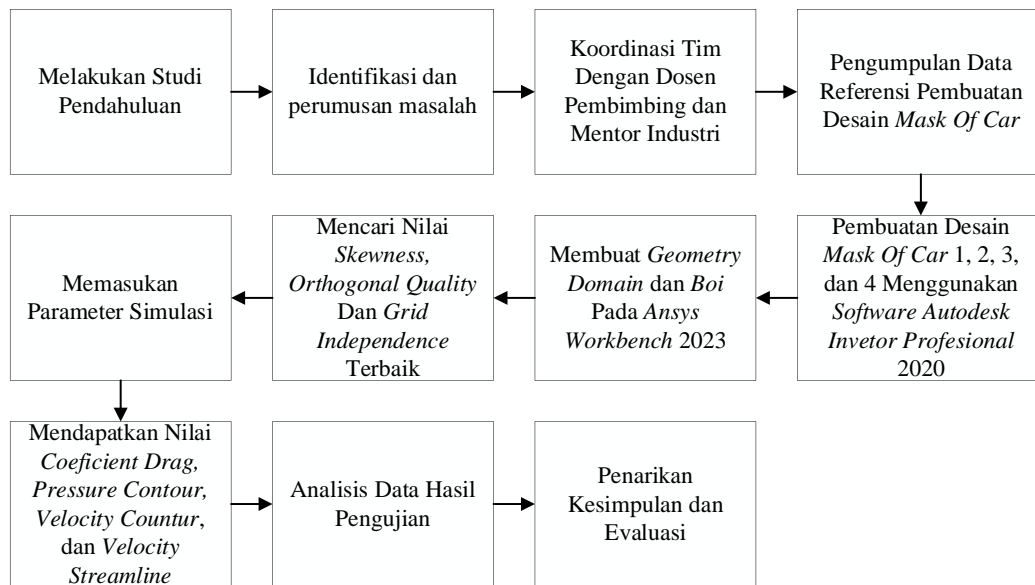
*Computational Fluid Dynamics* atau *CFD* menggunakan metode pendekatan dan perhitungan aliran fluida secara numerik dengan bantuan *computer* [7]. Aliran fluida dalam kehidupan nyata memiliki banyak jenis dan karakteristik yang kompleks seperti pada kebutuhan biologi, teknik, geologi, dan lain sebagainya. Fluida dinamik pada teknik sangat bermanfaat dan signifikan terhadap mengurangi biaya produk, mempermudah teknik dalam mendesain dan lain sebagainya [8].

## 3 METODE PENELITIAN

Metode riset yang dilakukan pada riset ini sesuai dengan uraian pada Gambar 1. Waktu pelaksanaan riset dilakukan selama 4 bulan dan dilakukan pada 2 tempat yaitu di Laboratorium Desain dan Simulasi Politeknik Negeri Madiun dan PT INKA (Persero), proses pemodelan desain *mask of car* kereta cepat dilakukan di Laboratorium Desain dan Simulasi Politeknik Negeri Madiun. Proses simulasi aerodinamika *mask of car* kereta cepat dilakukan di PT INKA (Persero). Dalam melakukan riset dilakukan beberapa proses yaitu sebagai berikut.

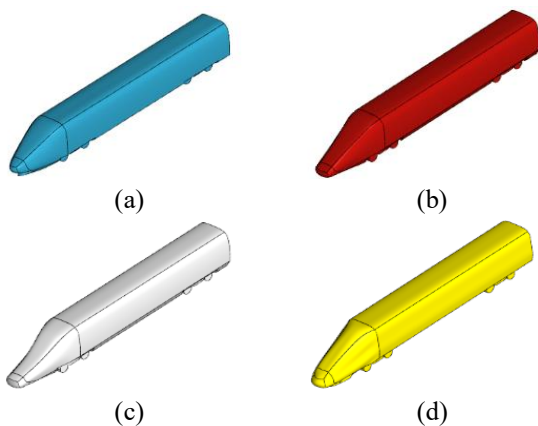
### 3.1 Desain *Mask of car*

Pembuatan *surface mask of car* dilakukan menggunakan fitur *freeform* di *Autodesk Inventor Professional 2020*. Setelah *surface* desain selesai, desain tersebut diubah menjadi solid dan komponen boogie ditambahkan dengan mengikuti jarak yang telah ditentukan pada kereta cepat, seperti yang terlihat pada Gambar 2. Bentuk *carbody* yang digunakan dalam riset ini mengacu pada Peraturan Menteri No 60 tahun 2012, sementara bentuk depan *mask of car* disesuaikan



Gambar 1. Diagram Alir Riset

Dengan kebutuhan riset menjelaskan rancangan kegiatan penelitian, ruang lingkup atau objek penelitian, bahan dan alat utama, tempat, teknik pengumpulan data, definisi operasional variable penelitian, dan teknik analisis.



Gambar 2. (a) Solid Mask of car 1 (b) Solid Mask of car 2 (c) Solid Mask of car 3 (d) Solid Mask of car 4

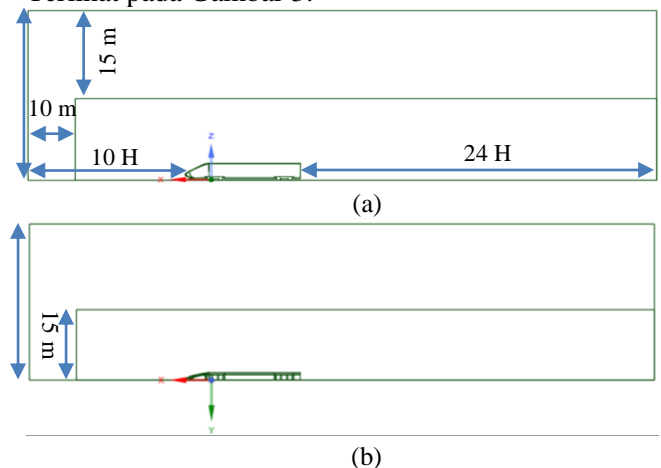
Berdasarkan Gambar 2, desain *mask of car* 1 menyerupai kereta *Intercity Express (ICE)* 3, desain *mask of car* 2 menyerupai kereta *Automotrice Grande Vitesse (AGV)*, desain *mask of car* 3 menyerupai kereta *Haramain High Speed Railway*, dan desain *mask of car* 4 menyerupai Kereta Cepat Jakarta Bandung (KCJB) dengan panjang 24,35 m dan lebar rel 1435 mm.

### 3.2 Analisis Aerodinamika

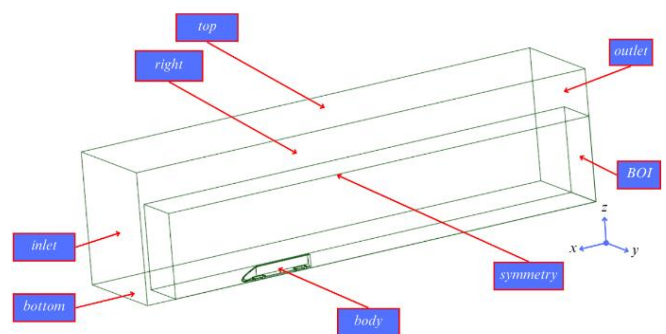
Analisis aerodinamika terdiri dari empat tahap yaitu pembuatan *geometry*, *meshing*, *setup and solution*, dan *result*.

#### 3.2.1 Geometry

Domain komputasi dari simulasi dirancang untuk menangkap struktur belakang model kereta. Domain komputasi memiliki dimensi panjang  $32H$ , tinggi  $10H$ , dan lebar  $16H$  di mana  $H$  adalah tinggi model kereta cepat dan memenuhi persyaratan EN14067 [9]. Terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Dimensi Domain (a) Left View (b) Top View



Gambar 4. Create Name Selection

Berdasarkan Gambar 3, sumbu X, Y, dan Z masing-masing mewakili tampilan depan, tampilan kanan, dan tampilan atas kereta, di mana H adalah tinggi kereta. Tahap selanjutnya pada *geometry* fluida adalah memberi nama pada setiap daerah (ruang), seperti yang terlihat pada Gambar 4.

### 3.2.2 Mesh

*Meshing* adalah proses membagi domain menjadi subdomain-subdomain kecil, yang disebut elemen, untuk menyimpan variabel-variabel mekanika fluida. Semakin banyak elemen yang digunakan, semakin akurat hasil yang diperoleh. Namun, peningkatan jumlah elemen menyebabkan waktu simulasi numerik menjadi lebih lama dan ukuran file hasil simulasi menjadi lebih besar dalam *CFD*. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil *Meshing* Desain *Mask of car 3*

Kualitas	Skewness	Orthogonal Quality	Cells	Coefficient drag
Kasar	0,67	0,150	24.789	0,39332558
Sedang	0,68	0,150	376.448	0,38344524
Baik	0,48	0,200	1.952.705	0,32991796

Berdasarkan Tabel 2, *skewness* dan kualitas *ortogonal* digunakan untuk memvalidasi *mesh* pada *geometry* desain *mask of car*. Pengaturan ukuran *mesh* dilakukan dengan menambah ukuran *face size*, *boi*, serta *mesh* minimum dan maksimum hingga mencapai nilai yang memenuhi standar validasi untuk *skewness*, kualitas *ortogonal*, dan *grid independence*. Dengan pengaturan ukuran *face size* 0,05 m, *boi* 0,5 m, *mesh* minimum 0,05 m, dan *mesh* maksimum 1 m, diperoleh nilai *skewness* 0,48 dan kualitas *ortogonal* 0,200, yang keduanya menunjukkan hasil yang sangat baik dan sesuai dengan standar. Referensi [10] memberikan standar untuk menilai dan memvalidasi nilai-nilai ini, memastikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan untuk simulasi dan analisis desain.

### 3.2.3 Setup and Solution

*Setup and Solution* adalah langkah awal dalam simulasi aliran fluida. Pada tahap ini, parameter dan kondisi diatur sesuai kebutuhan. Dalam simulasi alternatif desain *mask of car* pada kereta cepat, beberapa pengaturan dilakukan untuk memastikan hasil yang akurat. *Velocity magnitude* yang digunakan adalah 100 km/jam, 200 km/jam 300 km/jam, dan *pressure* ditetapkan pada 101325 Pa dalam kondisi *no slip*. Luas area yang digunakan dalam simulasi adalah 6,0344 m<sup>2</sup>, sementara panjang kereta cepat adalah 24,35 m. Jumlah iterasi yang dilakukan adalah sebanyak 500 untuk mencapai konvergensi yang diinginkan. Metode *simple* digunakan dalam simulasi ini agar hasil yang diperoleh

maksimal dan sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan.

### 3.2.4 Result

Hasil dari simulasi menampilkan *output* seperti *coefficient drag*, *pressure contour*, *velocity contour*, dan *velocity streamline*. *Output* ini ditampilkan dengan pola warna tertentu dan memiliki nilai masing-masing

### 3.2.5 Keterbatasan

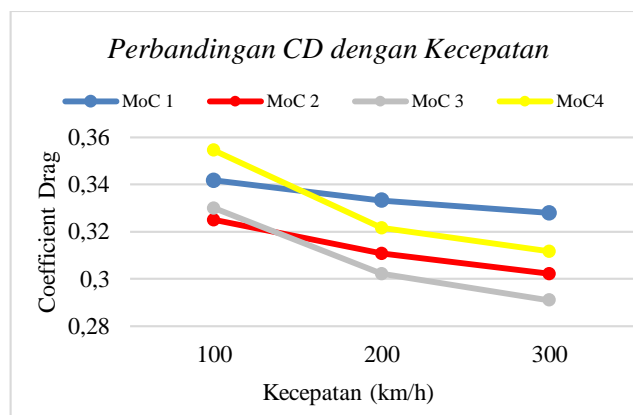
Simulasi ini belum mempertimbangkan efek *crosswind* yang umum di lintasan Indonesia. Studi multidomain (*CFD* + struktur) diperlukan untuk analisis vibrasi [17].

## 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Hasil Simulasi

#### 4.1.1 Coefficient Drag

Perbandingan data nilai *coefficient drag* alternatif desain *mask of car 1* hingga desain *mask of car 4* dapat dilihat pada Gambar 5.

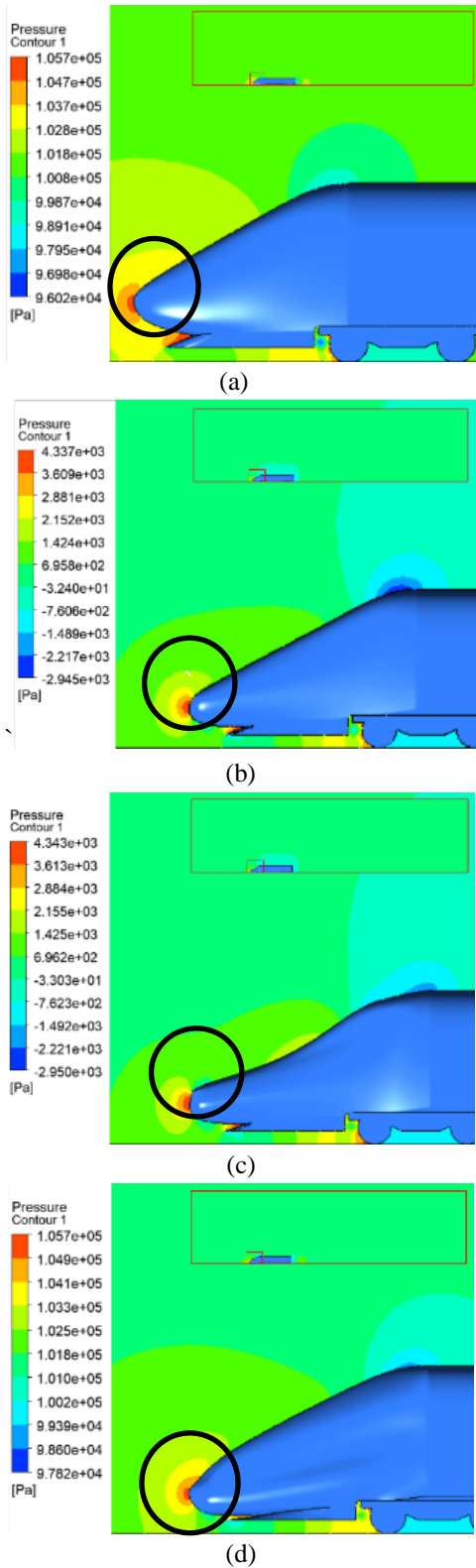


Gambar 5 Hasil Perbandingan Nilai *Coefficient Drag*

Berdasarkan Gambar 5, pada kecepatan 300 km/jam, desain *mask of car 1* menunjukkan nilai *coefficient drag* sebesar 0,32788849. Desain *mask of car 2* pada kecepatan yang sama memiliki nilai *coefficient drag* sebesar 0,30211886. Desain *mask of car 3* mencatat nilai *coefficient drag* terendah, yaitu 0,29090604. Desain *mask of car 4* memiliki nilai *coefficient drag* sebesar 0,31163405. Dengan demikian, desain *mask of car 3* memiliki *coefficient drag* terkecil di antara desain-desain lainnya, menunjukkan bahwa desain ini lebih aerodinamis dibandingkan dengan desain *mask of car 1*, *mask of car 2*, dan *mask of car 4* sesuai dengan temuan dalam referensi [11].

#### 4.1.2 Pressure Contour

*Pressure contour* atau distribusi tekanan pada kontur kereta cepat pada desain *mask of car 1* hingga desain *mask of car 4* terlihat pada Gambar 6.



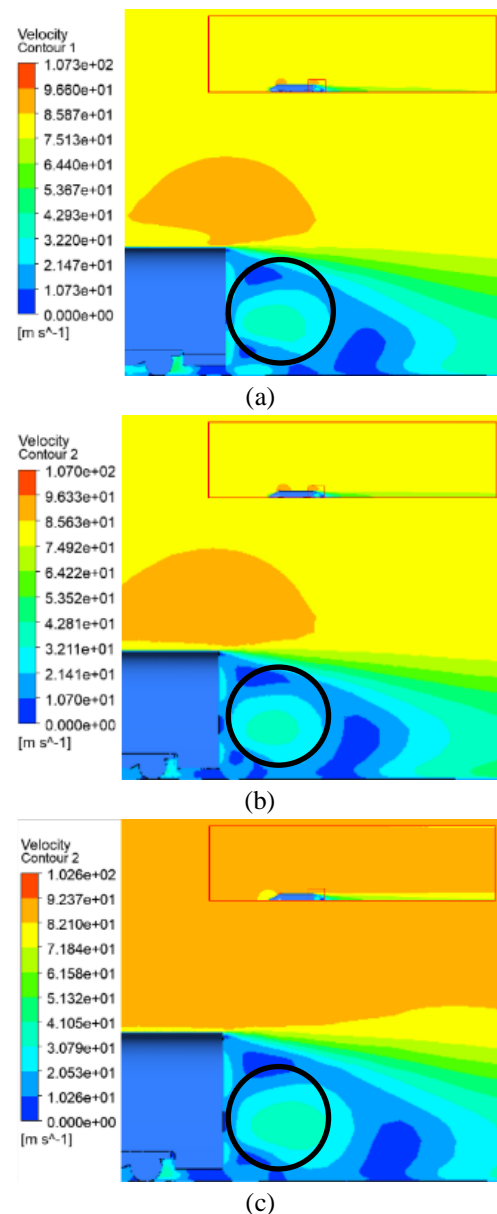
Gambar 6 Pressure Contour Desain Mask of car pada Kecepatan 300 km/h (a) Mask of car 1 (b) Mask of car 2 (c) Mask of car 3 (d) Mask of car 4

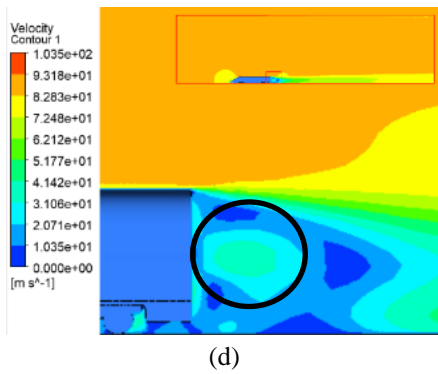
Berdasarkan Gambar 6, diketahui bahwa (a) mask of car 1, (b) mask of car 2, (c) mask of car 3, dan (d) mask of car 4 mendapatkan nilai maksimum yang ditandai oleh lingkaran hitam. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan tekanan pada bagian depan kereta, ditunjukkan oleh warna oranye yang menandakan titik

di mana aliran mulai terpisah dari permukaan, hingga warna merah yang menunjukkan tekanan maksimum pada titik stagnasi akibat konversi energi kinetik aliran menjadi tekanan, berkisar dari 4337 Pa hingga 105700 Pa. Peningkatan tekanan ini menghasilkan gaya resultan dari udara ke kereta dalam arah sumbu x, yang berlawanan dengan arah pergerakan kereta dan memperlambat laju kereta [12]. Pressure contour desain mask of car 2 (4337 Pa) lebih rendah daripada mask of car 3 (4589 Pa), namun secara keseluruhan mask of car 3 lebih aerodinamis. Hal ini mungkin disebabkan oleh distribusi tekanan yang lebih merata pada desain 3, sesuai temuan [15].

#### 4.1.3 Velocity Contour

Velocity contour atau distribusi kecepatan pada kontur kereta cepat pada desain mask of car 1 hingga desain mask of car 4 terlihat pada Gambar 7.





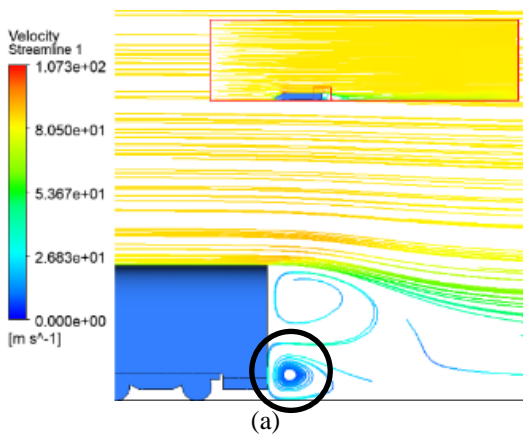
(d)

Gambar 7 Velocity Contour Desain Mask of car pada Kecepatan 300 km/h (a) Mask of car 1 (b) Mask of car 2 (c) Mask of car 3 (d) Mask of car 4

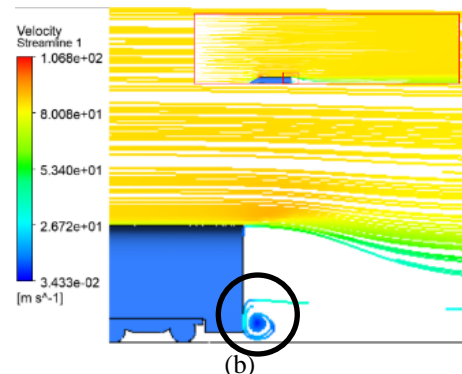
Berdasarkan Gambar 7, dapat diketahui bahwa desain *mask of car 1* memiliki nilai *velocity contour* maksimum sebesar 106 m/s, desain *mask of car 2* sebesar 107 m/s, desain *mask of car 3* sebesar 102,6 m/s, dan desain *mask of car 4* sebesar 103,5 m/s. Pada masing-masing desain, bagian yang ditunjukkan oleh lingkaran hitam menunjukkan adanya turbulensi kecepatan aliran udara di bagian belakang kereta. Hal ini ditandai dengan warna biru, yang menunjukkan titik di mana aliran mengalami turbulensi, hingga warna biru muda yang membentuk lingkaran menunjukkan titik stagnasi akibat konversi energi kinetik aliran menjadi tekanan. Semakin aerodinamis desainnya, semakin berkurang kecepatan yang menghambat kereta [12].

#### 4.1.4 Velocity Streamline

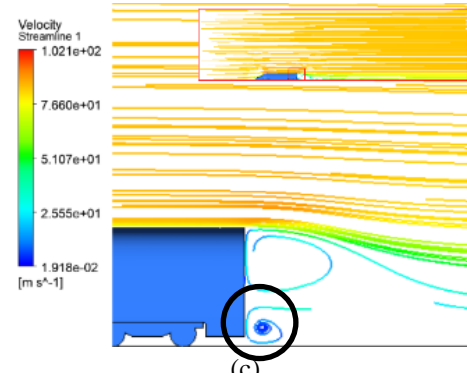
*Velocity streamline* atau garis arus kecepatan tekanan pada kontur kereta cepat pada desain desain *mask of car 1* hingga desain *mask of car 4* terlihat pada Gambar 8.



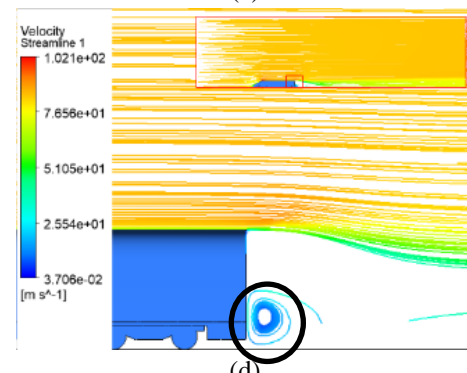
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 8 Velocity Streamline Desain Mask of car pada Kecepatan 300 km/h (a) Mask of car 1 (b) Mask of car 2 (c) Mask of car 3 (d) Mask of car 4

Berdasarkan Gambar 8, dapat diketahui bahwa desain *mask of car 1* memiliki nilai *velocity streamline* maksimum sebesar 107,3 m/s, desain *mask of car 2* sebesar 102,8 m/s, desain *mask of car 3* sebesar 102,1 m/s, dan desain *mask of car 4* sebesar 106,8 m/s. Aliran turbulen (*vortex*) paling kecil terjadi pada *desain mask of car 3*, yang menunjukkan bahwa desain ini lebih aerodinamis dibandingkan dengan desain 1, 2, dan 4. Bentuk bodi lokomotif mempengaruhi besarnya nilai kecepatan aliran udara (*velocity*) dan tekanan (*pressure*) yang diterima oleh permukaan bodi lokomotif tersebut [13].

#### 4.2 Analisis Data

Perbandingan antara *coefficient drag*, *pressure contour*, *velocity contour* dan *velocity streamline* pada alternatif desain *mask of car 1*, desain *mask of car 2*,

desain *mask of car 3*, dan desain *mask of car 4* terlihat Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Data Desain *Mask of car 1*, *Mask of car 2*, *Mask of car 3*, dan *Mask of car 4*,

No	Uraian	<i>Mask of car 1</i>	<i>Mask of car 2</i>	<i>Mask of car 3</i>	<i>Mask of car 4</i>
1	<i>Coefficient drag</i>	0,327888	0,3021188	0,2909060	0,3116340
2	<i>Pressure contour</i>	105700	4337	4589	105700
3	<i>Velocity contour</i>	106	107	102,6	103,5
4	<i>Velocity streamline</i>	107,3	102,8	102,1	102,1

Berdasarkan Tabel 2 terjadi fenomena peningkatan nilai dan perubahan warna yang semakin memudar untuk *velocity contour* dan *velocity streamline* dari desain *mask of car 1* hingga desain *mask of car 4* sedangkan untuk *pressure contour*, tekanan yang diterima sama, hanya saja warna yang terjadi pada desain mengalami perubahan, semakin aerodinamik, semakin berkurang warna untuk tekanan pada desain *mask of car*.

## 5 KESIMPULAN

Berdasarkan data kuantitatif dari simulasi, desain *mask of car 1* memiliki nilai *coefficient drag* sebesar 0,32788849, *pressure contour* sebesar 105700 Pa, *velocity contour* sebesar 106 m/s, dan *velocity streamline* sebesar 107,3 m/s. Desain *mask of car 2* memiliki nilai *coefficient drag* sebesar 0,30211886, *pressure contour* sebesar 4337 Pa, *velocity contour* sebesar 107 m/s, dan *velocity streamline* sebesar 102,8 m/s. Desain *mask of car 3* memiliki nilai *coefficient drag* sebesar 0,29090604, *pressure contour* sebesar 4589 Pa, *velocity contour* sebesar 102,6 m/s, dan *velocity streamline* sebesar 102,1 m/s. Desain *mask of car 4* memiliki nilai *coefficient drag* sebesar 0,31163405, *pressure contour* sebesar 105700 Pa, *velocity contour* sebesar 103,5 m/s, dan *velocity streamline* sebesar 106,8 m/s. Dari data tersebut, urutan desain *mask of car* dari yang terbaik adalah desain *mask of car 3*, diikuti oleh desain *mask of car 2*, desain *mask of car 4*, dan desain *mask of car 1*. Dapat disimpulkan bahwa desain masker kereta mempengaruhi besarnya *coefficient drag*, *pressure contour*, *velocity contour*, dan *velocity streamline*, dengan desain masker kereta 3 dipilih sebagai alternatif desain terbaik. Penelitian lanjutan dapat mengintegrasikan simulasi multidomain (fluida-struktur) untuk analisis vibrasi atau menguji prototipe fisik dalam terowongan.

## 6 DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Chen, G. Zeng, Y.-Q. Ni, T. H. Liu, J.-Q. Niu, and H.-D. Yao, "Reducing the aerodynamic drag of high-speed train by air blowing from the nose part: effect of blowing speed," Apr. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2023.105429>.
- [2] Zhenfeng Wu, Zihao Xie, Peng Wang, and Wangcai Ding, "Aerodynamic Drag Performance Analysis of Different Types of High-speed Train Pantograph Fairing," *淡江理工學刊*, vol. 23, no. 3, Sep. 2020, doi: 10.6180/jase.202009\_23(3).0015.
- [3] S. S. Kusumaningrum, G. Marausna, F. Jayadi, and A. R. Soemaryanto, "Analisis Aerodinamika Penambahan Winglet Pada Sayap Pesawat Lsu-02 Ngld Dengan Variasi Canted Angle," *J. Tek. Elektron. Engine*, vol. 7, Dec. 2021.
- [4] S. Irfan, "Analisis Aerodinamika Profil Muka Kereta Sulawesi Pt Inka," Sep. 2019.
- [5] B. W. Prastyo, I. Syafa'at, and M. Dzulfikar, "Analisis Aerodinamika Pada Bodi Mobil Hemat Energi Lintang Samudra Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics," *J. Ilm. MOMENTUM*, vol. 16, no. 1, Apr. 2020, doi: 10.36499/mim.v16i1.3366.
- [6] Frommer F, "High Speed Rail," High Speed Rail. [Online]. Available: <https://www.britannica.com>
- [7] A. R. Fitriansyah and Y. Sibaroni, "Analisis Sentimen Terhadap Pembangunan Kereta Cepat Jakarta - Bandung Pada Media Sosial Twitter Menggunakan Metode SVM dan GloVe Word Embedding," Jul. 2023.
- [8] I. Septyan Mulyana and Agung Dwi Sapto, "Pengaruh Tekanan Dan Diameter Nozel Pada Inline Air Conveyor Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD)," *J. Ilm. Tek.*, vol. 1, no. 2, pp. 65–75, May 2022, doi: 10.56127/juit.v1i2.74.
- [9] Mohammad Arafat, Izuan Amin Ishak, Ahmad Faiz Mohammad, Amir Khalid, Md. Norrizam Mohmad Jaát, and Mohd Fuad Yasak, "Effect of Reynolds number on the wake of a Next-Generation High-Speed Train using CFD analysis," *CFD Lett.*, vol. 15, no. 1, pp. 76–87, Jan. 2023, doi: 10.37934/cfdl.15.1.7687.
- [10] Ansys, Inc., "Lecturer 7: Mesh Quality & Advanced Topics.FEA Tips," 2015.
- [11] J. S. J. S and M. S. K. T. S. Utomo, "Analisis Aerodinamika Body Mobil Hemat Energi Antawirya Residual-Sat Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics," *J. Tek. MESIN*, vol. 5, no. 1, Art. no. 1, Jan. 2017.
- [12] A. Rizal and M. Martinus, "Analisis drag force dan aliran fluida pada Desain Mobil Listrik Green Campus UNILA berdasarkan kecepatan," *Open*

- Sci. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 181–189, Nov. 2021, doi: 10.33292/ost.vol1no2.2021.25.
- [13] F. A. Yulianto, R. Ariyansah, and G. Octavianus, "Analisis Modifikasi Desain pada Lokomotif CC-201 Tipe GE U18C dengan Metode Simulasi CFD," *J. Asimetrik J. Ilm. Rekayasa Inov.*, pp. 161–170, Jul. 2023, doi: 10.35814/asimetrik.v5i2.4520.
- [14] X. Li, Y. Wang, and Z. Chen, "High-speed train aerodynamics: Impact of nose shape on drag reduction," *\*Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics\**, vol. 220, p. 104857, 2022. DOI: [10.1016/j.jweia.2022.104857](https://doi.org/10.1016/j.jweia.2022.104857).
- [15] H. Liu, Q. Li, and Y. Zhang, "Crosswind effects on aerodynamics of high-speed trains: A numerical and experimental study," *\*Wind Struct.\**, vol. 30, no. 4, pp. 345–360, 2020. doi: 10.12989/was.2020.30.4.345.