



# Analisis Modifikasi Desain pada Lokomotif CC-201 Tipe GE U18C dengan Metode Simulasi CFD

## Design Modification Analysis on the CC-201 Locomotive Type GE U18C using the CFD Simulation Method

Fahmi Ahmad Yulianto<sup>1</sup>, Riyan Ariyansah<sup>1\*</sup> dan Goodman Octavianus<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA, Jl. Tanah Merdeka, No.6, Ciracas, Jakarta Timur, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta, Jl. Boulevard Raya, No.2, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia

### Informasi artikel:

Diterima:  
09/01/2023  
Direvisi:  
14/01/2023  
Disetujui:  
17/01/2023

### Abstract

The CC-201-type U18C locomotives are widely used for public transportation in Indonesia. Like other modes of transportation or vehicles, the body's design is an important factor to consider because it influences the aerodynamic capabilities of the vehicle. The study aims to analyze the effect of variations in the design angle of the CC-201 type U18C locomotive body on the coefficient of drag and aerodynamics. The method used in this research is CFD simulation using CAE-based engineering software, Ansys Fluent R2 2022. CFD simulations were performed on locomotive body designs with angle variations of 90°, 135°, and 150° using the same boundary condition parameters. The results show that the locomotive body design with the 60° variation has the smallest drag coefficient value of 0.51076379. The study conclusion explains that changing the angle of 150 degrees at the top of the GE U18C-type locomotive body has a significant effect on lowering the value of the drag coefficient by up to 29%.

**Keywords:** locomotive body, CFD, coefficient drag, Ansys fluent, body pressure.

### SDGs:



### Abstrak

Lokomotif CC-201 tipe U18C banyak digunakan sebagai transportasi umum di Indonesia. Sama halnya dengan jenis transportasi atau kendaraan lainnya dimana bentuk bodi merupakan salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan karena mempengaruhi sifat aerodinamisnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi sudut desain bodi lokomotif U18C tipe CC-201 terhadap koefisien drag dan aerodinamika. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ialah simulasi CFD menggunakan *software engineering* berbasis CAE yaitu Ansys Fluent R2 2022. Simulasi CFD dilakukan pada desain bodi lokomotif dengan variasi sudut 90°, 135° dan 150° menggunakan parameter batas kondisi yang sama. Kemudian, hasil simulasi CFD menunjukkan bahwa desain bodi lokomotif dengan variasi sudut 150° memiliki nilai koefisien drag yang paling kecil yaitu 0,51076379. Kesimpulan penelitian menjelaskan bahwa perubahan sudut 150 derajat pada bagian atas bodi lokomotif tipe GE U18C memiliki pengaruh yang signifikan dalam menurunkan nilai koefisien hambat hingga 29%.

**Kata Kunci:** bodi lokomotif, CFD, koefisien hambat, Ansys fluent, tekanan bodi.

\*Penulis Korespondensi  
email : [riyan\\_ariyansah@uhamka.ac.id](mailto:riyan_ariyansah@uhamka.ac.id)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## 1. PENDAHULUAN

Lokomotif CC-201 tipe U18C yang diproduksi oleh General Electric yang bobotnya lebih ringan 84 ton dari pendahulunya CC 200 dan memiliki tenaga mesin 1950 HP banyak digunakan sebagai transportasi publik di Indonesia (Rahardjo, Hakim dan Wahab, 2017). Seperti pada transportasi lainnya desain dari suatu bodi kendaraan atau bodi lokomotif ini merupakan salah satu aspek penting dimana efisiensi kinerja lokomotif dapat dimaksimalkan apabila desain bodi lokomotif dapat dirancang sehingga memiliki desain bodi yang aerodinamis dan memiliki gaya hambat atau coefficient drag (Cd) yang kecil, dimana nilai Cd dapat dihitung dengan persamaan 1 (Sulistiyono, Finahari dan Farid, 2013):

$$C_d = \frac{D}{\frac{\rho}{2} v^2 A} \quad (1)$$

dimana:

Cd = *coefficient drag*

D = gaya hambat (N)

$\rho$  = massa jenis air ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

A = luasan yang mewakili daerah tegak lurus dengan aliran udara ( $\text{m}^2$ )

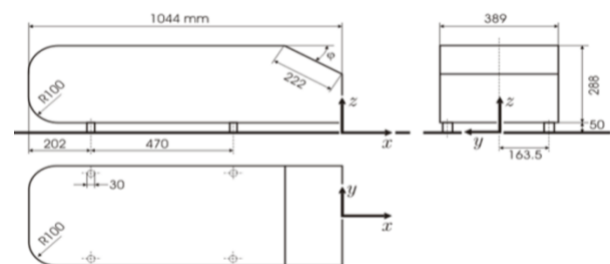
v = kecepatan udara (m/s)

Aerodinamika pada bodi lokomotif dapat dianalisis menggunakan metode *true experimental* dengan melakukan uji terowongan angin pada prototipe lokomotif (Sicot dkk., 2018). Selain itu, aerodinamika pada bodi lokomotif dapat juga disimulasikan dengan metode *computational fluid dynamics* menggunakan perangkat lunak *engineering* berbasis CAE seperti Ansys Fluent disertai data-data parameter yang didapatkan dari referensi pustaka (García dkk., 2015). Metode ini telah banyak digunakan untuk menyimulasikan aerodinamika dari kereta atau lokomotif karena metode ini dapat mempercepat proses penelitian, disebabkan tidak perlu lagi membuat alat uji dan bahan uji secara nyata, sehingga meringankan biaya penelitian (Bahman dan Iannuzzo, 2018).

Ansys Fluent merupakan salah satu bagian dari satu paket perangkat lunak Ansys Student yang dapat diunduh secara gratis dan mendapat lisensi resmi dari ANSYS (ANSYS, 2022). Dimana dalam penggunaannya ada beberapa syarat yang

perlu diperhatikan agar analisis atau simulasi aerodinamika yang dilakukan mendapatkan hasil yang maksimal seperti desain harus sesuai dengan spesifikasi masalah, lalu data material yang digunakan harus sesuai standar, proses *mesh* tidak melebihi batas maksimal, *boundary condition* harus lengkap dan spesifik, serta melakukan *input solution* untuk mendapatkan hasil simulasi yang divisualisasikan dengan perbedaan gradasi warna *contour*, *streamline*, *vector*, dan lain-lain (Gamayel dan Octavianus, 2022).

Sehingga, diperlukan validasi dalam menentukan metode turbulen proses simulasi CFD menggunakan Ansys Fluent. Dari kajian literatur yang relevan, model turbulen yang tepat untuk mengetahui nilai *coefficient drag* (Cd) dengan mensimulasikan desain *ahmed body* yaitu *k-epsilon realizable non-equilibrium wall functions* memiliki nilai *error* terkecil kurang dari 5%. Dimensi geometri dari *ahmed body* seperti pada Gambar 1 (Banga dan Zunaid, 2015).



Gambar 1. Dimensi 2D geometri Ahmed Body (Banga dan Zunaid, 2015)

Tinjauan pustaka dari beberapa penelitian sebelumnya yang memiliki relevansi dengan analisis bodi lokomotif menggunakan metode CFD seperti penelitian *optimization design for aerodynamic elements of indian locomotive of passenger train* (Goswami dkk., 2019). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengoptimasi lokomotif India WAP-5 dengan bantuan Teknik optimasi multi-objektif sehingga dapat menstabilkan faktor aerodinamika.

Untuk menentukan efisiensi teknik ini, dilakukan desain kepala kereta api yang memiliki gaya hambat aerodinamis dan gaya aerodinamis yang dioptimalkan dalam kaitannya dengan mempengaruhi kereta api lainnya. Hasil penelitian menunjukkan pareto yang dapat diterima dan

diperoleh dengan bantuan algoritma evolusi lokomotif generasi ke-10 (Goswami dkk., 2019).

Selanjutnya, terdapat penelitian lainnya seperti *drag reducing nose fairings for existing freight train locomotives* (Stucki dan Maynes, 2022). Penelitian ini membahas tentang pengurangan hambatan yang dapat direalisasikan dengan penggunaan *nose fairing* tambahan yang dipasang pada lokomotif terdepan dalam rangkaian kereta api. Salah satu bentuk *fairing* memiliki penampilan seperti baji dan *fairing* lainnya juga berbentuk baji, tetapi dengan fitur dinding samping yang mengarahkan aliran. Untuk setiap bentuk *fairing* umum, dimensi-dimensi penting divariasikan secara parametrik dengan cara yang sistematis untuk mengidentifikasi dimensi yang menghasilkan pengurangan hambatan maksimum. Hasil penelitiannya menjelaskan bahwa *fairing* berbentuk baji yang berkinerja terbaik mengurangi hambatan lokomotif terdepan secara nominal sebesar 14% dan bentuk *fairing* dengan dinding samping yang berkinerja terbaik mengurangi hambatan sebesar 17% (Stucki dan Maynes, 2022).

Selain itu, penelitian berikutnya seperti *study of flow structure and its effect on indian train using CFD technique* (Kumar dan Singh, 2014). Tujuan dari penelitian ini merupakan untuk menyimulasikan dan menganalisis struktur aliran dan menemukan titik-titik tekanan tinggi dan menyarankan perubahan yang sesuai untuk menghilangkannya dengan titik-titik tekanan rendah dan mempelajari pola kecepatan udara di seluruh bodi kereta. Lebih lanjut, tujuan dari penelitian juga untuk mempelajari aliran udara di atas kereta api India dan untuk mengetahui titik-titik tekanan tinggi yang tercipta karena gerakan kendaraan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain lokomotif dan *bogie* saat ini memiliki beberapa kekurangan. Jika kekurangan-kekurangan tersebut dapat dihilangkan, desain bodi kereta akan lebih menarik dalam penampilan, akan lebih stabil secara aerodinamis dan kecepatan serta efisiensi sistem juga akan meningkat. Desain bodi kereta saat ini memiliki jumlah gaya hambat yang tidak diinginkan dan lebih banyak konsumsi material dalam manufaktur. Titik-titik tekanan tinggi dihasilkan di bagian depan lokomotif dan mesin harus

melakukan kerja ekstra untuk mengatasi gaya hambat yang diciptakan oleh titik-titik ini (Kumar dan Singh, 2014).

Dalam periode penelitian dan pengembangan bodi lokomotif kereta api saat ini di negara-negara maju. Bentuk bodi lokomotif kereta yang menyerupai bentuk peluru atau bentuk paruh burung lebih populer digunakan. Karena dengan bentuk seperti itu rancangan bodi lokomotif menjadi terlihat futuristik dan terbukti memiliki sifat aerodinamis yang lebih baik dan nilai koefisien hambat yang kecil (Wu dkk., 2018). Sedangkan, pada bodi lokomotif CC201 yang banyak digunakan sebagai kereta api di Indonesia. Bentuk bodinya kurang futuristik dan kurang aerodinamis atau dominan berbentuk kotak. Dengan bentuk bodi seperti itu dapat menyebabkan aliran turbulen pada permukaan bodi lokomotif yang kemudian mengakibatkan gaya hambat bodi lokomotif CC201 menjadi lebih besar. Sehingga, diperlukan modifikasi pada desain bodi lokomotif CC201 agar didapatkan desain alternatif dari bodi lokomotif CC201 yang lebih aerodinamis dan lebih kecil nilai koefisien hambatnya. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis pengaruh modifikasi desain pada bodi lokomotif CC 201 tipe U18C terhadap nilai *coefficient drag* dan sifat aerodinamika. Maka, nantinya akan diketahui variasi desain bodi lokomotif yang paling aerodinamis dan memiliki nilai *coefficient drag* (Cd) yang paling kecil.

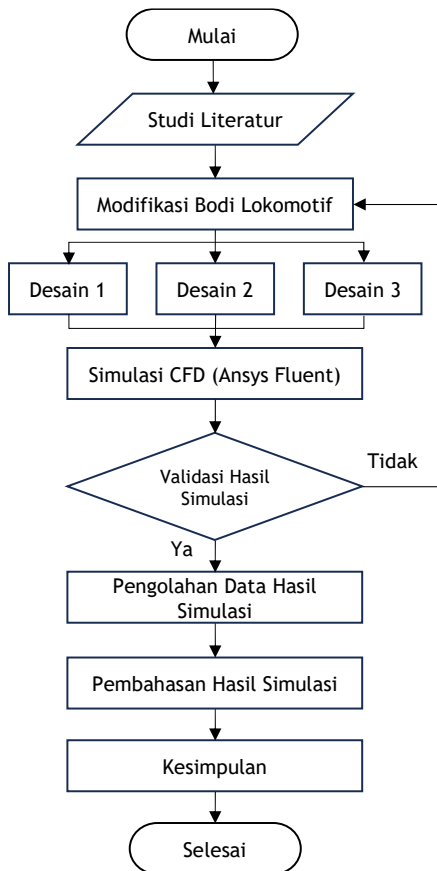
## 2. METODOLOGI

Pendekatan atau metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi *computational fluid dynamics* (CFD). Namun, pendekatan simulasi CFD yang dilakukan pada penelitian ini tidak berdiri sendiri, tapi memiliki keterkaitan dengan pendekatan eksperimental ataupun analitis. Sehingga, kekeliruan dan kekurangan data parameter ketika proses simulasi CFD berlangsung dapat diminimalisir atau dihilangkan (Tu dkk., 2023; Liawan, Tanujaya dan Darmawan, 2023).

### 2.1. Metode Penelitian

Diagram alir penelitian seperti pada Gambar 2 disusun agar proses penelitian dapat berjalan

secara terstruktur dan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

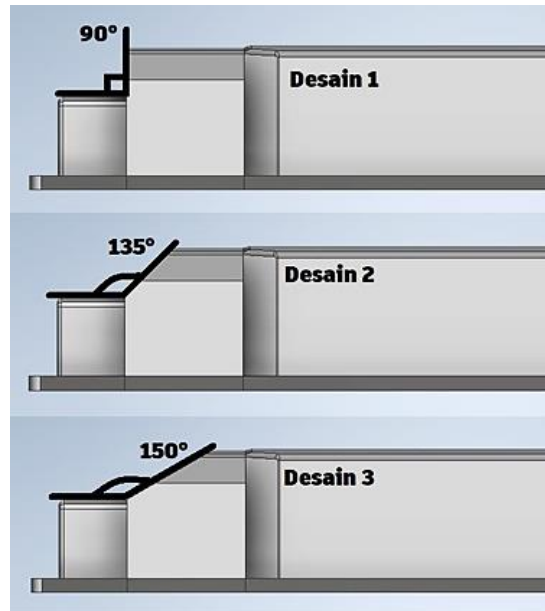


Gambar 2. Diagram alir penelitian

Proses penelitian dimulai dengan melakukan tinjauan studi literatur dari berbagai sumber buku dan jurnal yang relevan. Selanjutnya, proses modifikasi desain bodi lokomotif dilakukan dengan pemodelan tiga dimensi dengan 3 variasi sudut menggunakan perangkat lunak berbasis CAD. Setelah itu, proses simulasi CFD dilakukan kepada ketiga variasi desain bodi lokomotif menggunakan perangkat lunak Ansys Fluent R2 2022 dengan parameter kecepatan aliran udara 80 km/j diasumsikan dalam kondisi *steady*. Proses validasi hasil simulasi CFD dilakukan secara otomatis oleh program komputasi Ansys Fluent pada ketiga variasi desain bodi lokomotif. Apabila, hasil simulasi CFD tidak ada notifikasi *error* atau *warning*. Maka, data hasil simulasi dapat dikelola dan disajikan dalam bentuk tabel. Sehingga, perbandingan data hasil simulasi CFD pada ketiga variasi desain bodi lokomotif dapat dibahas dan diurai. Oleh karena itu, simpulan penelitian dapat dijelaskan beserta saran untuk penelitian lanjutan.

## 2.2. Prosedur Simulasi CFD

Tahapan awal simulasi CFD merupakan proses pembuatan desain 3D modifikasi bodi lokomotif. Modifikasi yang dilakukan ialah dengan mengubah sudut kepala lokomotif menjadi 90°, 135° dan 150° seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



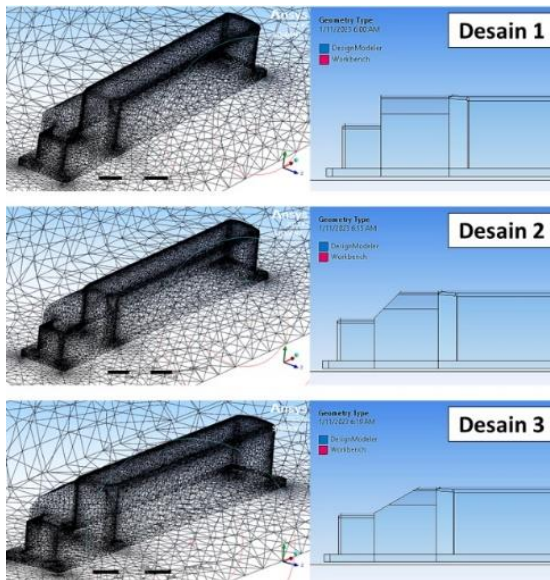
Gambar 3. Modifikasi desain bodi lokomotif

Tahapan berikutnya ialah proses *mesh*, dimana geometri *solid* masing-masing bodi lokomotif didiskresikan menjadi beberapa elemen dan node. *Software* Ansys Fluent versi *student* memberikan batas maksimal pada proses *mesh* yaitu sebanyak 512.000 elemen dan node (ANSYS, 2023b), maka pada tahapan ini perlu ditentukan teknik dan metode *mesh* yang tepat agar didapatkan efisiensi jumlah elemen dan node pada ketiga variasi desain bodi lokomotif. Adapun jumlah elemen dan node yang didapatkan dari hasil proses *mesh* pada ketiga variasi desain seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data jumlah elemen dan node

Variasi Desain	Sudut	Meshing Geometry	
		Elements	Nodes
1.	90°	494064	90705
2.	135°	492595	90398
3.	150°	491626	90253

Data pada Tabel 1 merupakan hasil efisiensi jumlah elemen dan node pada ketiga variasi desain bodi lokomotif. Efisiensi jumlah *mesh* didapatkan dari penerapan metode *automatic mesh*, *fluent solver preference*, *linear element order*, dan *element size 40 mm* (Dechaumphai dan Sucharitpwatskul, 2018). Ukuran elemen tetrahedral 3D (segitiga 2D) sebesar 40 mm digunakan pada ketiga variasi desain bodi lokomotif karena mampu dimanfaatkan hingga mendekati batas maksimal tetapi tidak melebihi batas maksimal 512000 elemen dan node (ANSYS, 2023b). Hasil proses *mesh* dengan metode yang ditentukan sama pada ketiga variasi bodi lokomotif dapat terlihat jelas perbedaannya seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil proses *mesh* bodi lokomotif

Verifikasi proses *mesh* dilakukan untuk memastikan bahwa dengan *element size 40 mm* adalah metode *mesh* yang terbaik dan efisien. Proses verifikasi *mesh* dilakukan dengan membandingkan kualitas *aspect ratio* dengan variasi *element size 40 mm*, *50 mm*, dan *60 mm* pada sampel uji desain 1. *Aspect ratio* merupakan rasio antara terpanjang dan terpendeknya suatu tepi (*edge*) geometri. Dimana, nilai *aspect ratio* dengan geometri segitiga terbaik yaitu semakin mendekati nilai 1, sedangkan batas maksimal nilai *aspect ratio* terburuk yaitu semakin mendekati nilai 20 seperti pada Gambar 5 (ANSYS, 2023a).

Figure: Aspect Ratios for Triangles



Gambar 5. Aspect ratio untuk segitiga (ANSYS, 2023a)

Dengan membandingkan nilai standar penyimpangan dan *average aspect ratio* terkecil pada ketiga variasi *element size* seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Aspect ratio mesh

Element Size (mm)	Average Aspect Ratio	Standart Deviation
40	1.8584	0.48883
50	1.8594	0.49444
60	1.8623	0.50269

Data pada Tabel 2 didapatkan dari hasil *check mesh quality* pada program *Ansys Meshing*. Dengan pertimbangan batas maksimal jumlah *mesh* pada Ansys versi Student, maka metode *element size 40 mm* sudah tepat dan efisien digunakan pada proses simulasi CFD. Karena, memiliki nilai standar penyimpangan rasio aspek terkecil yaitu sebesar 0.48883 dan nilai rata-rata rasio aspek terkecil sebesar 1.8584. Verifikasi *mesh* yang dilakukan sudah selaras, dengan panduan *Ansys Meshing User Guide* yang mengatakan *mesh* terbaik adalah *mesh* dengan *aspect ratio* semakin kecil hingga mendekati 1, sebaliknya kualitas *mesh* terburuk dengan *aspect ratio* semakin besar hingga mendekati 20 (ANSYS, 2023a).

Selanjutnya, menentukan batas-batas kondisi (*boundary conditions*) pada simulasi CFD dengan memasukan data-data parameter yang didapatkan dari berbagai literatur yang kredibel. Adapun data parameter *boundary conditions* antara lain (Banga dan Zunaid, 2015):

1. *Viscous models k-epsilon realizable non-equilibrium wall functions*
2. *Inlet velocity 80 km/j*
3. *Initial gauge pressure 0 Pa*
4. *Turbulent intensity 5%*
5. *Turbulent viscosity ratio 10*
6. *Density of air 1,225 kg/m<sup>3</sup>*
7. *Viscosity of air 0,00017894 kg/ms*

Kemudian, ada beberapa parameter seperti *solution methods* dan *solution controls* dilakukan secara *default* atau dikendalikan melalui program *ansys fluent solver*, lalu proses inialisasi simulasi menggunakan metode *hybrid initialization*. Setelah itu, melakukan proses *run calculation* dengan parameter *number of iterations* sebanyak 1000 agar mendapatkan hasil perhitungan yang lebih maksimal.

Berikutnya, hasil simulasi CFD menggunakan Ansys Fluent divisualisasikan dengan aplikasi CFD-Post. Hasil simulasi akan menampilkan aliran udara yang melewati bodi kereta divisualisasikan dengan perbedaan gradasi warna *contour* dan *streamline*. Selain itu, didapatkan hasil perhitungan nilai *coefficient drag* (Cd) dan data *pressure* pada masing-masing variasi permukaan bodi lokomotif.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil simulasi CFD dapat diketahui bahwa variasi desain bodi lokomotif yang memiliki nilai *coefficient drag* (Cd) terkecil sebesar 0.51076379 adalah variasi desain 3 dengan sudut 150° artinya, desain 3 memiliki sifat yang lebih aerodinamis dibandingkan desain 1 dan desain 2. Untuk data *coefficient drag* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data *coefficient drag*

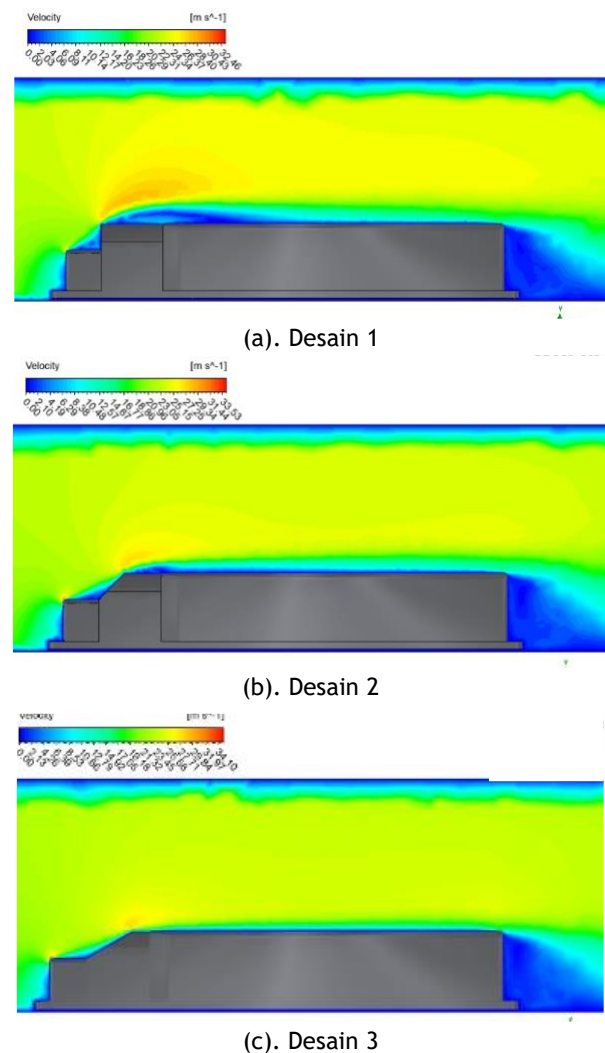
Variasi Desain	Sudut	Coefficient Drag
1.	90°	0,71643674
2.	135°	0,55463495
3.	150°	0,51076379

Selanjutnya, hasil simulasi CFD juga menampilkan kecepatan aliran udara yang melewati ketiga variasi bodi lokomotif divisualisasikan oleh gradasi warna *contour* seperti pada Gambar 6.

*Contour* yang berwarna semakin mendekati warna merah artinya kecepatan aliran udara semakin meningkat, sebaliknya apabila warna *contour* yang semakin mendekati warna biru artinya kecepatan aliran udara semakin melambat.

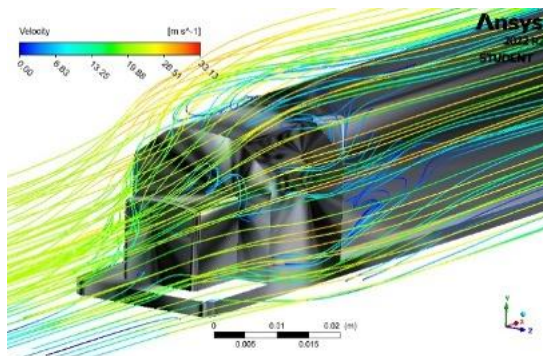
Hasil simulasi CFD pada masing-masing desain variasi bodi lokomotif, kecepatan aliran udara seperti pada Gambar 6 menunjukkan bahwa

terjadi kenaikan kecepatan aliran udara dibagian atas bodi lokomotif yang diperlihatkan oleh *contour* berwarna kuning hingga mendekati warna merah. Selain itu, terjadi perlambatan kecepatan aliran udara dibagian depan dan belakang bodi lokomotif yang diperlihatkan oleh *contour* berwarna hijau hingga mendekati warna biru.

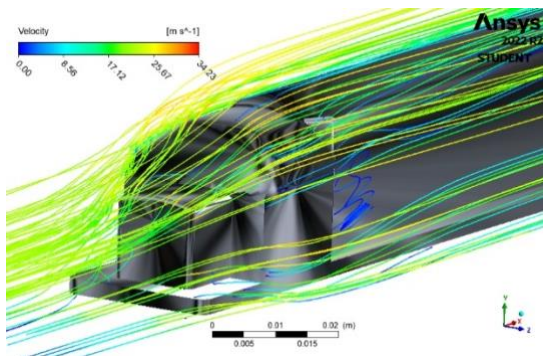


Gambar 6. *Velocity contour* variasi bodi lokomotif

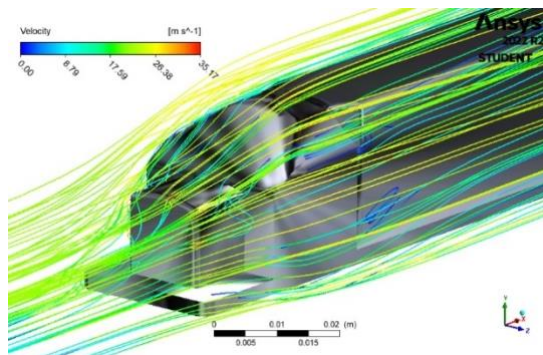
Selain itu, dari hasil simulasi CFD juga menunjukkan bahwa terjadi aliran turbulen (*vortex*) yang divisualisasikan oleh gradasi garis *streamline* seperti pada Gambar 7. Hasil simulasi CFD pada penelitian ini menunjukkan koherensi dengan penelitian sebelumnya (Li dkk., 2016), bahwa variasi sudut pada bodi lokomotif berpengaruh mengurangi besarnya aliran turbulens (*vortex*) yang terjadi seperti yang divisualisasikan oleh tolakan garis *streamline* berwarna biru.



(a). Desain 1



(b). Desain 2



(c). Desain 3

Gambar 7. Vortex streamline variasi bodi lokomotif

Pada Gambar 7, diketahui aliran turbulen (*vortex*) yang paling kecil terjadi pada variasi bodi lokomotif desain 3 artinya, variasi bodi lokomotif desain 3 lebih aerodinamis dibandingkan desain 1 dan 2. Sedangkan, bentuk bodi lokomotif berpengaruh pada besarnya nilai kecepatan aliran udara (*velocity*) dan tekanan (*pressure*) yang diterima oleh permukaan bodi lokomotif tersebut (Wu dkk., 2018). Artinya, semakin kecil nilai kecepatan aliran udara (*velocity*) sehingga terjadi aliran turbulen udara maka, tekanan udara (*pressure*) yang diterima oleh permukaan bodi lokomotif tersebut semakin besar atau sebaliknya, semakin tinggi nilai kecepatan aliran udara

(*velocity*), maka tekanan udara (*pressure*) yang diterima oleh permukaan bodi lokomotif semakin kecil (Li dkk., 2023).

Dari hasil simulasi CFD pada variasi bodi lokomotif desain 3 diketahui, bahwa kecepatan (*velocity*) aliran udara tertinggi sebesar 34,45 m/s dan tekanan udara (*pressure*) terkecil yang diterima oleh permukaan bodi lokomotif sebesar 351.648 Pa seperti pada Tabel 4., artinya variasi bodi lokomotif desain 3 memiliki sifat lebih aerodinamis dibandingkan desain 1 dan 2.

Tabel 4. Data kecepatan dan tekan aliran udara hasil simulasi CFD

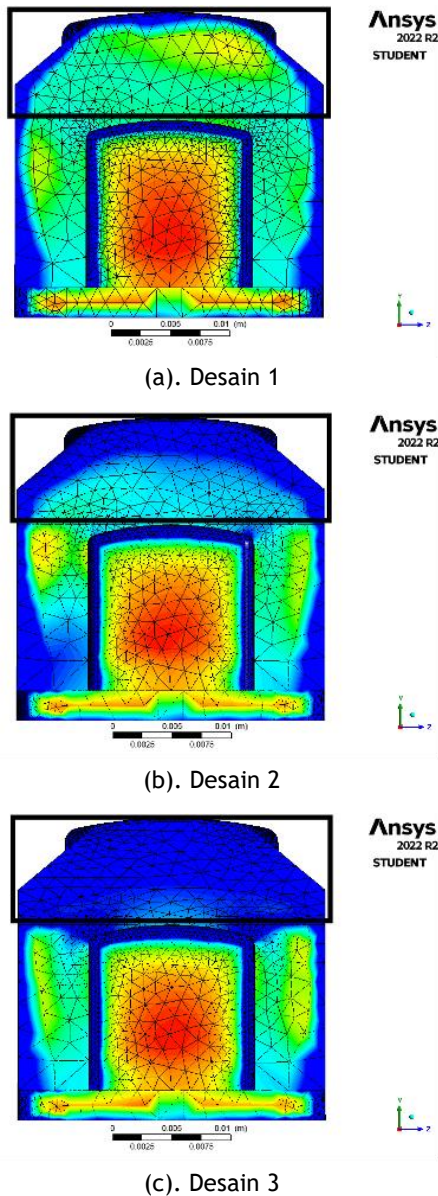
Variasi Desain	Maximum	
	Velocity (m/s)	Pressure (Pa)
1.	33.13	355.193
2.	34.23	354.234
3.	34.45	351.648

Tekanan (*pressure*) yang diterima oleh permukaan bodi lokomotif pada ketiga variasi desain divisualisasikan oleh gradasi warna contour pada permukaan bodi lokomotif seperti pada Gambar 8. *Contour* yang warnanya semakin mendekati warna merah artinya semakin besar tekanan (*pressure*) udara yang diterima, sebaliknya apabila warna *contour* yang semakin mendekati warna biru artinya tekanan (*pressure*) udara yang diterima semakin kecil.

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat area yang dibatasi oleh kotak berwarna hitam yang merupakan area bodi lokomotif yang divariasikan sudutnya terjadi perbedaan warna *pressure contour*. Sehingga, diketahui bahwa variasi sudut pada desain bodi lokomotif berpengaruh kepada besarnya tekanan udara yang diterima, maka, variasi sudut 150° pada bodi lokomotif desain 3 adalah variasi desain bodi yang paling kecil tekanan udara yang diterima. Karena, *pressure contour* desain 3 sebaran warna contournya semakin banyak mendekati warna biru dibandingkan, desain 1 dan 2 sebaran warna contournya semakin banyak mendekati warna kuning. Visualisasi *pressure contour* yang didapatkan juga menjelaskan bahwa variasi bodi lokomotif desain 3 lebih aerodinamis dibandingkan desain 1 dan desain 2.

Hasil simulasi CFD pada penelitian ini divalidasi dengan hasil penelitian relevan

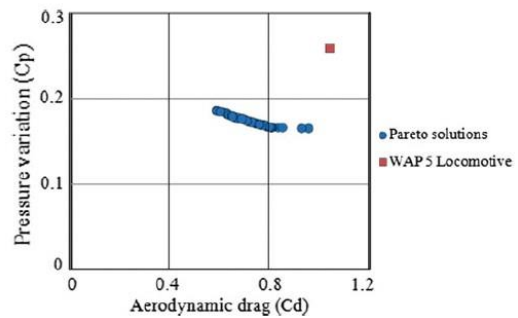
sebelumnya yang menganalisa optimasi desain lokomotif India WAP-5 dengan bantuan *software Ansys Fluent*. Hasil penelitian menjelaskan bahwa terjadi penurunan nilai Cd pada desain optimasi lokomotif WAP 5 kereta penumpang di India (Goswami dkk., 2019).



Gambar 8. *Pressure contour variasi* bodi lokomotif

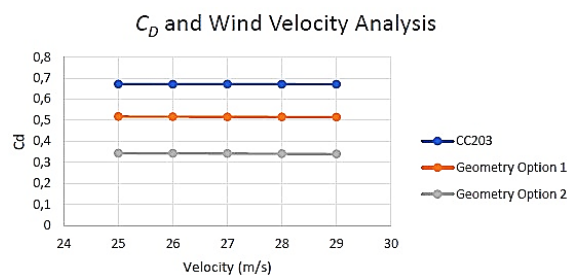
Data penurunan nilai Cd antar desain asli dan desain optimasi terlihat jelas ditunjukkan diagram *pareto* pada Gambar 9. terlihat rentang *pareto solution* nilai Cd pada desain lokomotif yang dioptimasi yaitu sekitar 0.5 hingga 0.9. Selaras, dengan hasil simulasi CFD pada penelitian ini yang mendapatkan nilai Cd terkecil sebesar 0,51076379

pada desain modifikasi lokomotif CC-201 dengan variasi sudut 150°.



Gambar 9. Komparasi sifat aerodinamis antara desain optimasi dengan desain asli WAP 5 (Goswami dkk., 2019)

Kemudian, validasi dilakukan juga pada studi relevan yang menguji bagaimana arah dan kecepatan angin memengaruhi seberapa besar hambatan udara yang dialami lokomotif CC203 (Khoiruddin, 2022). Dimana, hasil studinya membuktikan bahwa terjadi penurunan secara signifikan antara desain asli lokomotif CC203 dengan desain alternatif geometri. Diketahui, nilai Cd tertinggi pada alternatif geometri 1 sebesar 0,51776631 dan geometri 2 sebesar 0,3439524. Sedangkan, nilai Cd pada desain asli lokomotif CC203 hampir mendekati 0.7 seperti Gambar 10.



Gambar 10. Grafik perbandingan perubahan kecepatan angin terhadap nilai CD pada tiga desain hidung lokomotif (Khoiruddin, 2022)

Temuan data nilai Cd seperti pada Gambar 10 menunjukkan kesesuaian dengan hasil simulasi CFD pada penelitian ini. Dimana, didapatkan nilai Cd terkecil sebesar 0,51076379 pada modifikasi lokomotif desain 3. Sedangkan, pada desain asli lokomotif CC-201 nilai Cd sebesar 0,71643674.

Selain itu, dapat dilihat pada Gambar 10, bahwa variasi kecepatan udara tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan nilai Cd, maka



pada penelitian ini sudah tepat menggunakan 1 parameter variasi kecepatan angin sebesar 80 km/j pada ketiga variasi desain lokomotif. Dengan demikian, proses simulasi CFD yang dilakukan pada penelitian ini memiliki keunggulan yaitu lebih ringkas dan efisien.

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan pembahasan hasil simulasi CFD dapat disimpulkan bahwa modifikasi desain pada bodi lokomotif tipe GE U18C terbukti berpengaruh cukup signifikan dalam meminimalisir nilai koefisien hambat. Dimana, hasil simulasi CFD menunjukkan penurunan nilai koefisien hambat hingga mencapai 29% pada modifikasi desain 3. Maka, didapatkan desain alternatif yang lebih aerodinamis dengan memodifikasi sudut sebesar 150° pada bagian atas bodi lokomotif tipe GE U18C.

Dengan dasar hasil dan pembahasan penelitian ini, dominasi bentuk geometri kotak pada bagian atas bodi lokomotif sudah dapat berkurang. Namun, perbedaan perubahan bentuk dari desain aslinya masih sederhana, maka diharapkan penelitian lanjutan dapat menganalisis modifikasi desain bodi lokomotif yang bentuknya dirancang lebih futuristik tapi tetap memperhatikan aspek fungsi, estetika dan aerodinamisnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ANSYS (2022) *Ansys Fluent: A History of Innovations in CFD*. Available at: <https://www.ansys.com/blog/ansys-fluent-history-of-innovations> (Diakses: 28 Desember 2022).
- ANSYS (2023a) *ANSYS Meshing User's Guide*. Available at: <https://www.ansys.com/search?q=meshing&t=AlAnsystab&sort=relevancy&numberOfResults=12> (Diakses: 17 Januari 2023).
- ANSYS (2023b) *Ansys Student - Free Software Download*. Available at: <https://www.ansys.com/academic/students/ansys-student> (Diakses: 7 Januari 2023).
- Bahman, A.S. dan Iannuzzo, F. (2018) '8 - Computer-aided engineering simulations', in K. Sukanuma (ed.) *Wide Bandgap Power Semiconductor Packaging*. Woodhead Publishing (Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials), hal. 199-223.
- Banga, S. dan Zunaid, Md. (2015) 'CFD Simulation of Flow around External Vehicle: Ahmed Body', *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 12(04), hal. 87-94.
- Dechaumphai, P. dan Sucharitpwatskul, S. (2018) *Finite Element Analysis with ANSYS Workbench*. United Kingdom: Alpha Science International, Limited [Cetak].
- Gamayel, A. dan Octavianus, G. (2022) *Tutorial Ansys Workbench Untuk Bidang Mekanikal: Jilid 2*. Bandung: CV. Media Sains Indonesia [Cetak].
- García, J. dkk. (2015) 'Numerical study of the influence of synthetic turbulent inflow conditions on the aerodynamics of a train', *Journal of Fluids and Structures*, 56, hal. 134-151.
- Goswami, B. dkk. (2019) 'Optimization Design for Aerodynamic Elements of Indian Locomotive of Passenger Train', in A. Prasad, S.S. Gupta, and R.K. Tyagi (eds) *Advances in Engineering Design*. Singapore: Springer, hal. 663-673.
- Khoiruddin, A.I. (2022) 'Impact of Velocity and Wind Direction to Drag Force of Commercial Train Locomotive', *Jurnal Teknik Mesin dan Mekatronika (Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics)*, 7(1), hal. 1-15.
- Kumar, V. dan Singh, A.P. (2014) 'Study of Flow Structure and its effect on Indian Train Using C.F.D. Technique', *International Journal of Advanced Mechanical Engineering*, 4(5), hal. 463-468.
- Li, R. dkk. (2016) 'Multi-objective optimization of a high-speed train head based on the FFD method', *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 152, hal. 41-49.
- Li, W. dkk. (2023) 'Impact of ballast length on train aerodynamics for a wind tunnel layout via CFD analysis', *Alexandria Engineering Journal*, 65, hal. 275-293.
- Liawan, J.P., Tanujaya, H. dan Darmawan, S. (2023) 'Analisis Aliran Udara dan Kenyamanan Termal di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)', *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi*, 5(1), hal. 123-134.

- Rahardjo, A., Hakim, M.E. dan Wahab, A. (2017) 'Analisa Sistem Pembakaran Pada Mesin Diesel Lokomotif CC 201', *Jurnal Teknik Mesin*, 3(02), hal. 44-47.
- Sicot, C. dkk. (2018) 'Representativeness of geometrical details during wind tunnel tests. Application to train aerodynamics in crosswind conditions', *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 177, hal. 186-196.
- Stucki, C.L. dan Maynes, D. (2022) 'Drag reducing nose fairings for existing freight train locomotives', *Advances in Aerodynamics*, 4(1), hal. 37-45.
- Sulistyono, W., Finahari, N. and Farid, A. (2013) 'Pengaruh Pemasangan Tail Dan Front Boat Terhadap Unjuk Kerja Aerodinamik Pada Kendaraan Sedan', *PROTON*, 5(1), hal. 49-54.
- Tu, J. dkk. (2023) *Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach*. United Kingdom: Elsevier [Cetak].
- Wu, Z. dkk. (2018) 'Bionic shape design of electric locomotive and aerodynamic drag reduction', *Archives of Transport*, 48(4), hal. 99-109.