



# **ANALISIS GAYA HAMBAT SEPEDA LISTRIK VU-EV (VOKASI UNESA-ELECTRIC VEHICLE) RODA TIGA YANG TERINTEGRASI PANEL SURYA MENGGUNAKAN CFD DENGAN VARIASI DESAIN BODY**

Iqbal Zarkasyi Herianto<sup>1)</sup>, Ferly Isnomo Abdi<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

Email: [iqbal.20049@mhs.unesa.ac.id](mailto:iqbal.20049@mhs.unesa.ac.id)

<sup>2)</sup>Teknologi Rekayasa Otomotif, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

Email: [ferlyabdi@unesa.ac.id](mailto:ferlyabdi@unesa.ac.id)

## **Abstract**

This study is motivated by the increasing demand for sustainable transportation and energy efficiency in three-wheeled electric vehicles. The VU-EV (Vokasi Unesa-Electric Vehicle) was developed with integrated solar panels to improve driving range. The research method used was an experimental approach based on Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation using SolidWorks software. This study involved variations in solar panel design and airflow velocities (19, 25, and 35 km/h). The analyzed parameters included drag coefficient (Cd), pressure distribution, and airflow patterns (streamline) to determine the most aerodynamically efficient design. Variations in airflow speed have a significant effect on the flow characteristics and aerodynamic forces of the VU-EV electric bike. At a low speed of 19 km/h the drag force value obtained is 3.251 N and the lift force is 2.43 N. Then at a speed of 25 km/h the drag force value is 5.637 N, while the lift force value is 3.666 N. Then at a speed of 35 km/h the drag force value is 10.970 N, while the lift force value is obtained at 6.557 N. The pressure distribution tends to be even with a small difference, Meanwhile, at higher speeds, there is an increase in pressure at the front due to stagnation points and a decrease in pressure at the rear due to the formation of a clearer wake region, accompanied by an increasingly complex flow pattern with separation and turbulence. As speed increases, drag and lift also increase, suggesting that speed increases not only increase drag but also potentially lower vehicle stability.

**Keywords:** VU-EV, CFD, Drag force.

## **Abstrak**

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya kebutuhan transportasi berkelanjutan dan efisiensi energi pada kendaraan listrik roda tiga. Kendaraan VU-EV (Vokasi Unesa-Electric Vehicle) dikembangkan dengan integrasi panel surya untuk meningkatkan daya jelajah. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen berbasis simulasi CFD dengan software SolidWorks. Penelitian ini melibatkan variasi desain panel surya dan kecepatan udara (15, 25, dan 35 km/jam). Parameter yang dianalisis meliputi koefisien gaya hambat (Cd), distribusi tekanan, dan pola aliran udara (streamline) untuk menentukan desain yang paling efisien secara aerodinamis. Variasi kecepatan aliran udara berpengaruh signifikan terhadap karakteristik aliran dan gaya aerodinamis pada sepeda listrik VU-EV. Pada kecepatan rendah 19 km/jam nilai drag force yang didapat adalah sebesar 3,251 N dan lift force sebesar 2,43 N. Kemudian di kecepatan 25 km/h dihasilkan nilai drag force sebesar 5,637 N, sedangkan nilai lift force sebesar 3,666 N. Lalu pada kecepatan 35 km/h nilai drag force sebesar 10,970 N, sedangkan nilai lift force didapatkan sebesar 6,557 N. Distribusi tekanan cenderung merata dengan selisih kecil, sedangkan pada kecepatan lebih tinggi terjadi peningkatan tekanan di bagian depan akibat titik stagnasi serta penurunan tekanan di bagian belakang karena terbentuknya wake region yang lebih jelas, disertai pola aliran yang semakin kompleks dengan adanya separasi dan turbulensi. Seiring peningkatan kecepatan, gaya hambat dan gaya angkat juga meningkat, sehingga menunjukkan bahwa kenaikan kecepatan tidak hanya meningkatkan hambatan tetapi juga berpotensi menurunkan kestabilan kendaraan.

**Kata Kunci:** VU-EV, CFD, Gaya hambat.



## PENDAHULUAN

Perkembangan global menuju transportasi berkelanjutan semakin pesat seiring meningkatnya kesadaran terhadap krisis iklim dan kebutuhan akan pengurangan emisi karbon secara signifikan melalui adopsi energi bersih dalam sektor transportasi (Deng et al., 2025). Kendaraan listrik (*electric vehicles*/EV) telah menjadi solusi utama dalam transformasi ini karena tidak menghasilkan emisi saat digunakan serta memiliki efisiensi energi yang jauh lebih tinggi dibanding kendaraan berbahan bakar fosil (Tan et al., 2025). Pada ranah aplikasi spesifik, kendaraan listrik roda tiga menawarkan peluang besar terutama untuk penggunaan dalam jarak pendek seperti antar jemput kawasan wisata, kampus, industri, hingga sebagai alat transportasi yang stabil dan aman bagi penyandang disabilitas serta lansia (Salah et al., 2025). Namun, EV roda tiga juga menghadapi tantangan teknis seperti keterbatasan daya baterai yang menimbulkan kecemasan jarak tempuh (*range anxiety*), kestabilan aerodinamika yang rendah, dan potensi ketidakstabilan akibat gaya angin samping (Skrypnyk et al., 2025).

Integrasi panel surya pada sepeda listrik roda tiga menjadi solusi inovatif dalam mendukung sistem pengisian daya berkelanjutan tanpa ketergantungan penuh pada stasiun pengisian, dengan memanfaatkan energi matahari secara langsung saat kendaraan parkir atau bergerak (Godwin & Ojapah, 2023). Penempatan panel surya yang optimal sangat bergantung pada desain permukaan bodi kendaraan, karena permukaan yang datar dan luas lebih efektif dalam menangkap sinar matahari dibandingkan permukaan melengkung (Jayaraj, 2024). Namun, penambahan permukaan datar untuk panel dapat mengorbankan aspek aerodinamika, yang sangat berpengaruh pada efisiensi energi saat kendaraan melaju (Paudel & Kreutzmann, 2015). Hambatan udara atau *drag force* menjadi musuh utama kendaraan listrik pada kecepatan rendah hingga menengah, karena bentuk bodi yang tidak streamline akan menghasilkan *drag coefficient* (Cd) tinggi, sehingga konsumsi daya baterai meningkat secara signifikan (Athul & Umayal, 2022). Selain memperpendek jarak tempuh, desain yang buruk dapat mengganggu kestabilan karena timbulnya gaya angkat (*lift force*) serta sensitivitas tinggi terhadap angin samping (Widyantara et al., 2021). Berdasarkan data dari Polri tahun 2024–2025, tercatat peningkatan jumlah kecelakaan lalu lintas yang melibatkan pengguna sepeda listrik sebanyak 2.244 kasus pada 2024 dan 1.760 kasus pada semester I 2025 yang menunjukkan bahwa faktor aerodinamika kendaraan yang kurang baik dapat berkontribusi terhadap tingginya risiko kecelakaan. Oleh karena itu, dibutuhkan analisis komprehensif menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk menentukan desain bodi ideal yang mampu menyeimbangkan antara efisiensi aerodinamika dan efektivitas penempatan panel surya (Roman & Croitorescu, 2024).

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan desain sepeda roda tiga melalui integrasi teknologi energi terbarukan dan pendekatan aerodinamika. Penelitian oleh Kopelli & Mahesh (2021) merancang trike

bertenaga manusia dengan struktur bodi inovatif dan melakukan analisis aerodinamika menggunakan CFD, namun fokusnya bukan pada kendaraan listrik serta tidak mempertimbangkan integrasi panel surya. Di sisi lain, Jayaraj (2024) serta Godwin & Ojapah (2023) mengembangkan sepeda roda tiga listrik yang dilengkapi panel surya, tetapi studi mereka lebih menekankan pada aspek desain umum dan efisiensi energi, tanpa menilai performa aerodinamika kendaraan secara kuantitatif. Sementara itu, Hasan (2015) menggunakan CFD untuk menganalisis drag pada kendaraan listrik pribadi, tetapi objek kajiannya bukan kendaraan roda tiga dan tidak memperhitungkan perubahan desain bodi atau integrasi panel surya. Berdasarkan hal tersebut, belum ditemukan penelitian yang secara komprehensif menganalisis pengaruh variasi desain bodi terhadap performa aerodinamika sepeda listrik roda tiga yang terintegrasi panel surya menggunakan pendekatan CFD, padahal aspek ini penting dalam mencapai keseimbangan aerodinamika yang baik.

Berdasarkan latar belakang ini, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi desain bodi terhadap performa aerodinamika sepeda listrik roda tiga VU-EV (Vokasi Unesa-Electric Vehicle) yang terintegrasi dengan panel surya menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD), dengan fokus pada parameter seperti drag coefficient (Cd), serta distribusi tekanan udara guna memperoleh desain optimal yang efisien dan stabil. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat dalam pengembangan desain kendaraan listrik roda tiga yang mampu menyeimbangkan efisiensi aerodinamika dan efektivitas penyerapan energi surya, serta menjadi referensi ilmiah bagi penelitian lanjutan dan acuan praktis dalam perancangan prototype kendaraan listrik berkonsep ramah lingkungan dan berkelanjutan.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Kendaraan Listrik Roda Tiga

Kendaraan listrik (*Electric Vehicle*/EV) merupakan kendaraan yang menggunakan energi listrik sebagai sumber tenaga utama penggerakannya. Penggunaan EV terus meningkat seiring berkembangnya teknologi baterai dan meningkatnya kesadaran global terhadap pentingnya pengurangan emisi karbon. Dibandingkan kendaraan berbahan bakar fosil, kendaraan listrik memiliki efisiensi energi yang lebih tinggi, tingkat kebisingan yang rendah, serta tidak menghasilkan emisi gas buang secara langsung selama pengoperasian (Tan et al., 2025).

Salah satu bentuk pengembangan kendaraan listrik adalah kendaraan roda tiga yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan mobilitas jarak pendek. Kendaraan roda tiga memiliki keunggulan berupa konstruksi yang sederhana, biaya operasional yang rendah, serta tingkat stabilitas yang lebih baik dibandingkan sepeda listrik roda dua. Selain itu, kendaraan ini dapat dimanfaatkan sebagai sarana transportasi di kawasan wisata, kampus, industri, maupun sebagai kendaraan bagi penyandang disabilitas dan lansia (Salah et al., 2025).



Meskipun demikian, kendaraan listrik roda tiga masih menghadapi berbagai tantangan teknis, seperti keterbatasan kapasitas baterai, jarak tempuh yang relatif pendek, dan efisiensi energi yang sangat dipengaruhi oleh desain bodi kendaraan. Oleh karena itu, optimalisasi desain kendaraan menjadi aspek penting untuk meningkatkan performa dan efisiensi penggunaan energi.

### Integrasi Panel Surya pada Kendaraan Listrik

Pemanfaatan energi surya pada kendaraan listrik menjadi salah satu inovasi yang mendukung konsep transportasi berkelanjutan. Energi surya dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui panel fotovoltaik yang dipasang pada permukaan kendaraan. Energi yang dihasilkan dapat digunakan untuk membantu pengisian baterai sehingga memperpanjang jarak tempuh kendaraan dan mengurangi ketergantungan terhadap sumber listrik eksternal (Godwin & Ojapah, 2023).

Efektivitas panel surya sangat dipengaruhi oleh luas permukaan, sudut kemiringan, dan orientasi panel terhadap sinar matahari. Menurut Jayaraj (2024), permukaan yang datar dan memiliki area yang luas mampu menangkap radiasi matahari lebih optimal dibandingkan permukaan yang melengkung. Oleh karena itu, desain bodi kendaraan perlu mempertimbangkan kebutuhan area pemasangan panel surya tanpa mengurangi performa kendaraan secara keseluruhan.

Namun demikian, penambahan panel surya sering kali menyebabkan perubahan geometri kendaraan yang dapat meningkatkan hambatan udara. Kondisi ini menimbulkan kebutuhan akan desain yang mampu mengakomodasi panel surya sekaligus mempertahankan karakteristik aerodinamika yang baik.

### Aerodinamika Kendaraan

Aerodinamika merupakan ilmu yang mempelajari interaksi antara aliran udara dan benda yang bergerak. Pada kendaraan darat, karakteristik aerodinamika sangat berpengaruh terhadap konsumsi energi, kecepatan maksimum, stabilitas, serta kenyamanan berkendara. Ketika kendaraan bergerak, udara di sekitarnya menghasilkan gaya-gaya aerodinamika seperti gaya hambat (drag force), gaya angkat (lift force), dan gaya samping (side force) (Athul & Umayal, 2022).

Drag force merupakan gaya yang bekerja berlawanan arah dengan gerak kendaraan sehingga mengurangi efisiensi energi. Besarnya gaya hambat dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan, kerapatan udara, luas penampang frontal, dan koefisien hambatan udara (drag coefficient/Cd). Semakin kecil nilai Cd, semakin kecil energi yang dibutuhkan kendaraan untuk bergerak pada kecepatan tertentu.

Selain gaya hambat, gaya angkat juga memengaruhi kestabilan kendaraan. Nilai lift yang tinggi dapat mengurangi gaya tekan roda terhadap permukaan jalan sehingga menurunkan kestabilan kendaraan, terutama ketika melaju pada kecepatan tinggi atau terkena hembusan angin samping. Oleh sebab itu, desain bodi kendaraan harus mampu meminimalkan gaya drag dan lift secara bersamaan (Widyantara et al., 2021).

### Koefisien Hambatan Udara (Drag Coefficient)

Koefisien hambatan udara (Cd) merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat hambatan aerodinamika suatu kendaraan. Nilai Cd diperoleh dari hubungan antara gaya hambat yang terjadi dengan tekanan dinamis aliran udara yang mengenai kendaraan. Secara matematis, gaya hambat dapat dinyatakan sebagai:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho V^2 C_d A$$

dengan:

- ( $F_d$ ) = gaya hambat (N)
- ( $\rho$ ) = massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ )
- ( $V$ ) = kecepatan aliran udara (m/s)
- ( $C_d$ ) = koefisien hambatan udara
- ( $A$ ) = luas frontal kendaraan ( $\text{m}^2$ )

Nilai Cd yang rendah menunjukkan bahwa kendaraan memiliki bentuk yang lebih streamline sehingga aliran udara dapat melewati permukaan kendaraan dengan lebih lancar. Kendaraan listrik sangat memerlukan nilai Cd yang rendah karena efisiensi energi baterai sangat dipengaruhi oleh besarnya hambatan aerodinamika (Hasan, 2015).

### Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan metode numerik yang digunakan untuk menganalisis perilaku aliran fluida dan perpindahan energi melalui simulasi komputer. CFD memungkinkan peneliti untuk memprediksi distribusi tekanan, kecepatan, turbulensi, serta gaya-gaya aerodinamika yang bekerja pada suatu objek tanpa harus melakukan pengujian fisik secara langsung (Roman & Croitorescu, 2024).

Metode CFD bekerja berdasarkan penyelesaian persamaan dasar mekanika fluida, yaitu persamaan kontinuitas, momentum (Navier-Stokes), dan energi. Dalam bidang transportasi, CFD banyak digunakan untuk mengevaluasi performa aerodinamika kendaraan karena mampu memberikan visualisasi detail mengenai pola aliran udara di sekitar kendaraan.

Keunggulan CFD antara lain biaya penelitian yang lebih rendah dibandingkan pengujian terowongan angin (wind tunnel), waktu analisis yang lebih cepat, serta kemampuan melakukan berbagai variasi desain secara efisien. Oleh karena itu, CFD menjadi metode yang banyak digunakan dalam pengembangan desain kendaraan modern.

### Distribusi Tekanan Udara pada Kendaraan

Distribusi tekanan udara merupakan salah satu parameter penting dalam analisis aerodinamika. Ketika aliran udara mengenai bagian depan kendaraan, akan terbentuk daerah tekanan tinggi (high-pressure region). Sebaliknya, pada bagian belakang kendaraan sering terbentuk daerah tekanan rendah (low-pressure region) akibat fenomena pemisahan aliran (flow separation).

Perbedaan tekanan antara bagian depan dan belakang kendaraan menghasilkan gaya hambat tekanan (pressure drag) yang berkontribusi terhadap total drag kendaraan. Semakin besar perbedaan tekanan yang terjadi, semakin



besar pula gaya hambat yang dihasilkan. Oleh karena itu, desain bodi yang mampu mengurangi pemisahan aliran dan menghasilkan distribusi tekanan yang lebih merata akan memberikan performa aerodinamika yang lebih baik (Athul & Umayal, 2022).

### Penelitian Terdahulu

Penelitian oleh Kopelli dan Mahesh (2021) merancang kendaraan roda tiga dengan pendekatan aerodinamika menggunakan CFD dan menunjukkan bahwa modifikasi bentuk bodi mampu menurunkan nilai drag secara signifikan. Namun penelitian tersebut masih berfokus pada kendaraan bertenaga manusia dan belum mengintegrasikan panel surya.

Godwin dan Ojapah (2023) mengembangkan sepeda listrik roda tiga berbasis tenaga surya untuk mendukung mobilitas berkelanjutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi panel surya mampu meningkatkan ketersediaan energi kendaraan, tetapi aspek aerodinamika belum dianalisis secara mendalam.

Jayaraj (2024) melakukan pengembangan desain kendaraan roda tiga listrik dengan mempertimbangkan posisi pemasangan panel surya. Penelitian tersebut menekankan pentingnya luas area panel untuk meningkatkan penyerapan energi matahari, namun belum mengkaji pengaruh bentuk bodi terhadap koefisien drag kendaraan.

Hasan (2015) menggunakan metode CFD untuk menganalisis hambatan udara pada kendaraan listrik pribadi dan menemukan bahwa perubahan geometri bodi berpengaruh signifikan terhadap nilai drag coefficient. Akan tetapi, objek penelitian tidak berupa kendaraan roda tiga dan tidak mempertimbangkan integrasi panel surya.

Berdasarkan kajian penelitian terdahulu, masih terdapat kesenjangan penelitian terkait analisis pengaruh variasi desain bodi terhadap performa aerodinamika sepeda listrik roda tiga yang terintegrasi panel surya menggunakan metode CFD. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengevaluasi beberapa variasi desain bodi guna memperoleh konfigurasi yang memiliki karakteristik aerodinamika terbaik.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Jenis Penelitian

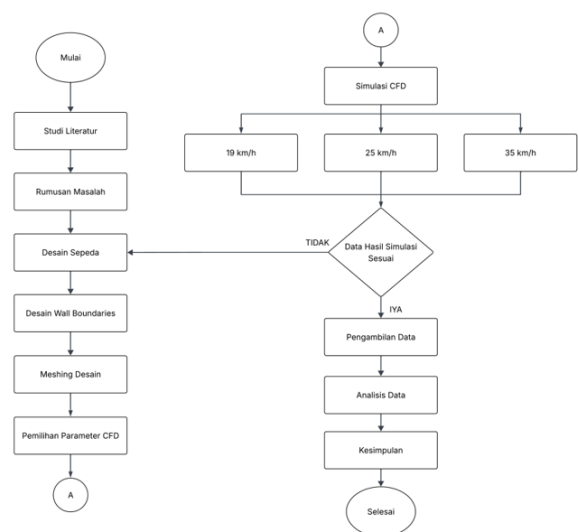
Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen dengan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi numerik menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD). Metode eksperimen digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi desain bodi terhadap performa aerodinamika sepeda listrik roda tiga VU-EV (Vokasi Unesa-Electric Vehicle) yang terintegrasi panel surya. Menurut Sugiyono (2013), penelitian eksperimen merupakan metode penelitian yang digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu perlakuan terhadap variabel lain dalam kondisi yang terkendali.

Pada penelitian ini, perlakuan yang diberikan berupa variasi desain bodi kendaraan yang kemudian dianalisis menggunakan simulasi CFD untuk mengetahui perubahan karakteristik aerodinamika kendaraan. Analisis dilakukan

dengan membandingkan parameter aerodinamika seperti drag coefficient (Cd), drag force, distribusi tekanan udara, dan pola aliran udara (streamline) pada masing-masing desain.

Pendekatan CFD dipilih karena mampu memberikan visualisasi dan prediksi perilaku aliran fluida secara detail tanpa memerlukan pembuatan prototipe fisik. Selain itu, metode ini lebih efisien dari segi waktu dan biaya dibandingkan pengujian menggunakan wind tunnel.

Penelitian diawali dengan studi literatur mengenai kendaraan listrik roda tiga, panel surya kendaraan, aerodinamika kendaraan, dan metode CFD. Selanjutnya dilakukan proses perancangan model kendaraan, pembuatan mesh, simulasi numerik, analisis hasil, serta evaluasi desain untuk memperoleh konfigurasi bodi yang memiliki performa aerodinamika terbaik.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

### Variabel Penelitian

#### a. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang memengaruhi variabel lainnya dalam penelitian. Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi desain bodi kendaraan VU-EV yang dikembangkan untuk mengakomodasi pemasangan panel surya serta variasi kecepatan aliran udara yang digunakan dalam simulasi CFD.

Kecepatan aliran udara yang digunakan meliputi:

1. 19 km/jam
2. 25 km/jam
3. 35 km/jam

#### b. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah hasil simulasi CFD yang meliputi:

1. Nilai gaya hambat udara (Drag Force)
2. Nilai koefisien hambatan udara (Drag Coefficient/Cd)
3. Distribusi tekanan udara (Pressure Distribution)
4. Pola aliran udara (Streamline)
5. Kontur kecepatan aliran udara (Velocity Contour)



### 3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dibuat tetap agar tidak memengaruhi hasil penelitian. Variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi:

1. Dimensi kendaraan VU-EV.
2. Posisi pemasangan panel surya.
3. Material bodi kendaraan.
4. Massa jenis udara sebesar  $1,225 \text{ kg/m}^3$ .
5. Temperatur lingkungan sebesar  $25^\circ\text{C}$ .
6. Domain simulasi CFD.
7. Jenis solver dan model turbulensi yang digunakan.
8. Perangkat lunak simulasi SolidWorks Flow Simulation.

### Waktu dan Tempat Penelitian

#### a. Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan mulai bulan November 2025 sampai dengan Maret 2026. Kegiatan penelitian meliputi penyusunan proposal, studi literatur, perancangan model kendaraan, simulasi CFD, analisis data, penyusunan laporan penelitian, dan seminar hasil penelitian.

#### b. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fakultas Vokasi Universitas Negeri Surabaya (UNESA), Ruang K5.01. Laboratorium ini digunakan sebagai tempat perancangan model kendaraan, pengolahan data, dan pelaksanaan simulasi CFD menggunakan perangkat komputer yang mendukung proses analisis numerik.

### Alat dan Bahan Penelitian

#### a. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Komputer atau laptop dengan spesifikasi yang mendukung simulasi CFD.
2. Software SolidWorks 2024.
3. SolidWorks Flow Simulation.
4. Microsoft Excel untuk pengolahan data.
5. Microsoft Word untuk penyusunan laporan penelitian.

#### b. Bahan Penelitian

Bahan penelitian berupa model tiga dimensi (3D) sepeda listrik roda tiga VU-EV yang telah dirancang menggunakan perangkat lunak CAD dan terintegrasi dengan panel surya.

### Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis sebagai berikut:

#### 1. Identifikasi Masalah

Tahap awal dilakukan dengan mengidentifikasi permasalahan terkait pengaruh desain bodi kendaraan terhadap karakteristik aerodinamika dan efisiensi energi kendaraan listrik roda tiga yang terintegrasi panel surya.

#### 2. Studi Literatur

Mengumpulkan referensi dari jurnal, buku, prosiding, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan kendaraan listrik, panel surya, aerodinamika kendaraan, serta metode CFD.

### 3. Perancangan Model Kendaraan

Membuat model tiga dimensi kendaraan VU-EV menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Model yang dibuat terdiri atas beberapa variasi desain bodi yang akan dibandingkan performanya.

#### 4. Pembuatan Mesh

Model kendaraan yang telah dibuat kemudian dilakukan proses meshing untuk membagi domain simulasi menjadi elemen-elemen kecil sehingga perhitungan numerik dapat dilakukan dengan baik.

#### 5. Penentuan Kondisi Batas (Boundary Condition)

Menentukan parameter simulasi meliputi:

- Kecepatan udara  $19 \text{ km/jam}$ .
- Kecepatan udara  $25 \text{ km/jam}$ .
- Kecepatan udara  $35 \text{ km/jam}$ .
- Massa jenis udara  $1,225 \text{ kg/m}^3$ .
- Temperatur udara  $25^\circ\text{C}$ .

#### 6. Simulasi CFD

Simulasi dilakukan menggunakan SolidWorks Flow Simulation untuk memperoleh data aerodinamika kendaraan pada masing-masing variasi desain dan kecepatan.

#### 7. Analisis Hasil Simulasi

Data hasil simulasi dianalisis berdasarkan:

- Nilai Drag Force.
- Nilai Drag Coefficient (Cd).
- Distribusi tekanan udara.
- Pola streamline.
- Distribusi kecepatan aliran udara.

#### 8. Evaluasi dan Optimasi Desain

Hasil simulasi dibandingkan untuk menentukan desain bodi yang memiliki performa aerodinamika terbaik dengan nilai drag paling rendah dan distribusi aliran udara yang paling stabil.

#### 9. Penyusunan Laporan Penelitian

Tahap akhir berupa penyusunan laporan penelitian, analisis hasil, kesimpulan, dan rekomendasi untuk pengembangan desain kendaraan listrik roda tiga berbasis energi surya.

### Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

Mulai → Identifikasi Masalah → Studi Literatur → Perancangan Model VU-EV → Pembuatan Mesh → Penentuan Boundary Condition → Simulasi CFD → Analisis Drag Force, Cd, Pressure Distribution, dan Streamline → Evaluasi Hasil → Penentuan Desain Optimal → Kesimpulan → Selesai.

### Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan metode dokumentasi dan observasi hasil simulasi CFD. Data yang diperoleh berupa data numerik dan visualisasi hasil simulasi yang meliputi nilai drag force, drag coefficient, distribusi tekanan udara, dan pola aliran udara pada setiap variasi desain bodi kendaraan.

### Teknik Analisis Data

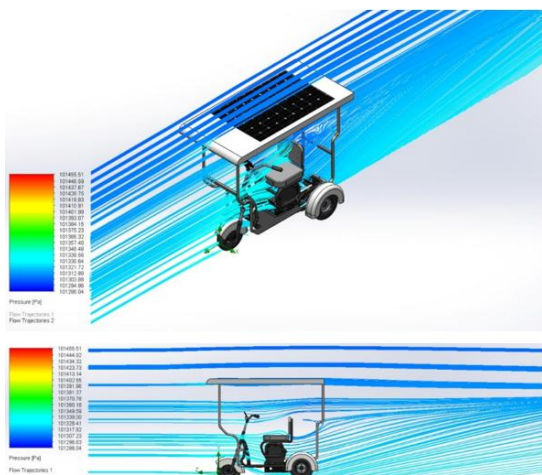


Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan hasil simulasi CFD dari setiap variasi desain bodi kendaraan pada masing-masing kecepatan aliran udara. Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk tabel, grafik, dan kontur visual untuk mempermudah interpretasi data.

Desain kendaraan yang dianggap optimal adalah desain yang memiliki nilai drag coefficient dan drag force paling rendah, distribusi tekanan yang merata, serta pola streamline yang menunjukkan aliran udara lebih stabil dan minim turbulensi. Hasil analisis kemudian digunakan sebagai dasar dalam menentukan desain bodi kendaraan listrik roda tiga VU-EV yang paling efisien secara aerodinamika dan mendukung integrasi panel surya secara optimal.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan hasil visualisasi streamline pada kecepatan 35 km/jam, pola aliran udara di sekitar kendaraan menunjukkan perubahan yang lebih signifikan dibandingkan kecepatan 19 km/jam dan 25 km/jam. Pada bagian depan kendaraan terbentuk daerah stagnasi yang lebih luas akibat meningkatnya energi kinetik aliran udara yang menumbuk langsung permukaan kendaraan. Kondisi ini menyebabkan tekanan pada bagian depan semakin tinggi dan menghasilkan gradien tekanan yang lebih besar antara bagian depan dan belakang kendaraan.



**Gambar 2.** Streamline plot kecepatan 35 km/h

Warna streamline didominasi oleh gradasi hijau hingga kuning yang menunjukkan peningkatan kecepatan aliran udara saat melewati bagian samping dan bawah kendaraan. Aliran udara masih mampu mengikuti kontur bodi pada bagian depan hingga tengah kendaraan, namun mulai mengalami pemisahan aliran (*flow separation*) yang lebih kuat pada bagian belakang. Fenomena ini terjadi karena aliran udara kehilangan energi untuk tetap menempel pada permukaan kendaraan sehingga terbentuk daerah pusaran (*wake region*) yang lebih besar.

Pada area roda belakang, rangka terbuka, dan bagian belakang kendaraan terlihat pola aliran yang semakin tidak teratur akibat turbulensi yang meningkat. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya penurunan tekanan pada bagian

belakang kendaraan sehingga selisih tekanan antara bagian depan dan belakang semakin besar. Akibatnya, gaya hambat aerodinamis (*drag force*) yang bekerja pada kendaraan meningkat secara signifikan dibandingkan kecepatan sebelumnya. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan kendaraan berbanding lurus dengan peningkatan intensitas turbulensi dan ukuran *wake region* yang terbentuk di belakang kendaraan (Tarakka et al., 2021).

**Hasil Analisis Distribusi Tekanan Udara**

Berdasarkan hasil simulasi CFD menggunakan SOLIDWORKS Flow Simulation, diperoleh nilai tekanan maksimum dan tekanan minimum pada masing-masing variasi kecepatan kendaraan. Perbedaan tekanan yang terjadi menunjukkan besarnya gradien tekanan yang berpengaruh terhadap gaya hambat aerodinamis kendaraan.

**Tabel 1.** Hasil Distribusi Tekanan Udara

Kecepatan (km/jam)	Tekanan Maksimum (Pa)	Tekanan Minimum (Pa)	Selisih Tekanan (Pa)
19	101361	101302	59
25	101389	101294	95
35	101455	101284	171

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa peningkatan kecepatan kendaraan menyebabkan tekanan maksimum pada bagian depan kendaraan semakin meningkat. Pada kecepatan 19 km/jam diperoleh tekanan maksimum sebesar 101361 Pa, kemudian meningkat menjadi 101389 Pa pada kecepatan 25 km/jam, dan mencapai 101455 Pa pada kecepatan 35 km/jam. Sebaliknya, tekanan minimum pada bagian belakang kendaraan cenderung menurun seiring meningkatnya kecepatan.

Selisih tekanan antara bagian depan dan belakang kendaraan meningkat dari 59 Pa menjadi 171 Pa. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan kendaraan maka gradien tekanan yang terbentuk semakin besar sehingga berkontribusi terhadap peningkatan gaya hambat aerodinamis. Hasil ini sesuai dengan teori Bernoulli yang menyatakan bahwa peningkatan kecepatan aliran menyebabkan perubahan distribusi tekanan pada permukaan benda yang dilalui fluida.

**Hasil Analisis Streamline**

Visualisasi streamline digunakan untuk mengetahui karakteristik aliran udara yang terjadi di sekitar kendaraan. Hasil analisis menunjukkan adanya perubahan pola aliran seiring bertambahnya kecepatan kendaraan.

**Tabel 2** Karakteristik Streamline pada Berbagai Kecepatan

Kecepatan (km/jam)	Titik Stagnasi	Flow Separation	Wake Region	Tingkat Turbulensi



19	Terbentuk	Rendah	Kecil	Rendah
25	Terbentuk	Sedang	Sedang	Sedang
35	Terbentuk	Tinggi	Besar	Tinggi

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa pada kecepatan 19 km/jam aliran udara masih relatif stabil dengan wake region yang kecil. Ketika kecepatan meningkat menjadi 25 km/jam, flow separation mulai terlihat lebih jelas sehingga menghasilkan wake region yang lebih besar. Pada kecepatan 35 km/jam, turbulensi dan wake region berkembang secara signifikan akibat meningkatnya energi kinetik aliran udara.

Fenomena ini menunjukkan bahwa desain kendaraan masih menghasilkan pemisahan aliran pada bagian belakang kendaraan sehingga perlu dilakukan optimasi bentuk bodi agar aliran udara dapat mengikuti kontur kendaraan lebih lama dan mengurangi pembentukan wake region.

**Pembahasan**

Hasil simulasi CFD menunjukkan bahwa distribusi tekanan dan pola aliran udara sangat dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan. Pada seluruh variasi kecepatan, tekanan tertinggi selalu terjadi pada bagian depan kendaraan yang berhadapan langsung dengan aliran udara. Daerah ini dikenal sebagai titik stagnasi (*stagnation point*) karena kecepatan aliran udara mendekati nol sehingga energi kinetik berubah menjadi energi tekanan.

Seiring bertambahnya kecepatan dari 19 km/jam menjadi 35 km/jam, tekanan maksimum meningkat dari 101361 Pa menjadi 101455 Pa, sedangkan tekanan minimum menurun dari 101302 Pa menjadi 101284 Pa. Akibatnya selisih tekanan meningkat hampir tiga kali lipat dari 59 Pa menjadi 171 Pa. Kondisi ini mengindikasikan meningkatnya *pressure drag* yang menjadi komponen utama hambatan aerodinamis kendaraan.

Hasil streamline menunjukkan bahwa aliran udara pada bagian depan kendaraan relatif stabil dan mampu mengikuti bentuk bodi. Namun pada bagian belakang kendaraan terjadi *flow separation* yang semakin kuat seiring peningkatan kecepatan. Pemisahan aliran ini menghasilkan daerah tekanan rendah (*wake region*) yang semakin besar sehingga meningkatkan gaya hambat kendaraan.

Temuan penelitian ini sejalan dengan penelitian Tarakka et al. (2021) yang menyatakan bahwa peningkatan kecepatan aliran udara menyebabkan pembentukan wake region yang lebih besar dan meningkatkan gaya hambat aerodinamis. Selain itu, hasil penelitian juga mendukung temuan Chirasha et al. (2025) yang menunjukkan bahwa distribusi tekanan udara pada kendaraan sangat dipengaruhi oleh geometri bodi dan kecepatan aliran udara.

**Tabel 3.** Ringkasan Hasil Analisis CFD

Parameter	19 km/jam	25 km/jam	35 km/jam
-----------	-----------	-----------	-----------

<b>Tekanan Maksimum (Pa)</b>	101361	101389	101455
<b>Tekanan Minimum (Pa)</b>	101302	101294	101284
<b>Selisih Tekanan (Pa)</b>	59	95	171
<b>Flow Separation Wake Region</b>	Rendah Kecil	Sedang Sedang	Tinggi Besarnya
<b>Stabilitas Aliran</b>	Baik	Cukup Baik	Menurun
<b>Potensi Drag Aerodinamis</b>	Rendah	Sedang	Tinggi

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan kendaraan menyebabkan peningkatan tekanan stagnasi, pembentukan wake region yang lebih besar, serta meningkatnya hambatan aerodinamis. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan desain bodi yang lebih streamline untuk mengurangi *flow separation*, menurunkan *drag force*, dan meningkatkan efisiensi energi pada sepeda listrik roda tiga VU-EV yang terintegrasi panel surya.

**KESIMPULAN**

1. Hasil simulasi CFD menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan aliran udara menyebabkan gaya hambat (*drag force*) pada sepeda listrik VU-EV semakin besar. Nilai *drag force* meningkat dari 3,251 N pada kecepatan 19 km/jam menjadi 5,637 N pada 25 km/jam, lalu naik lebih signifikan hingga 10,756 N pada 35 km/jam. Kenaikan ini dipengaruhi oleh semakin besarnya perbedaan tekanan antara bagian depan dan belakang kendaraan, terbentuknya titik stagnasi di bagian depan, serta munculnya wake region dan turbulensi yang semakin jelas di bagian belakang kendaraan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan kendaraan, maka hambatan aerodinamis yang diterima juga meningkat secara linear, sehingga dapat memengaruhi efisiensi energi dan performa kendaraan.
2. Peningkatan kecepatan aliran udara menyebabkan nilai *lift force* pada sepeda listrik VU-EV semakin meningkat. Pada kecepatan 19 km/jam, gaya angkat yang dihasilkan masih relatif kecil, yaitu 2,43 N, karena perbedaan tekanan antara bagian atas dan bawah kendaraan belum terlalu besar. Saat kecepatan meningkat menjadi 25 km/jam, nilai *lift force* naik menjadi 3,66 N akibat perubahan pola aliran udara di sekitar bodi kendaraan. Pada kecepatan 35 km/jam, nilai *lift force* meningkat lebih signifikan hingga mencapai 6,557 N, yang menunjukkan bahwa perbedaan tekanan dan kompleksitas aliran udara semakin besar. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan kendaraan, maka gaya angkat yang dihasilkan juga semakin besar dan berpotensi mengurangi kestabilan kendaraan saat bergerak.



### Saran

1. Perlu dilakukan pengembangan desain bodi yang lebih aerodinamis, khususnya pada bagian depan dan belakang kendaraan, untuk mengurangi terbentuknya titik stagnasi dan *wake region* sehingga nilai *drag force* dapat diminimalkan dan efisiensi energi kendaraan meningkat.
2. Penempatan dan bentuk panel surya disarankan untuk dioptimalkan dengan desain yang lebih streamline agar tidak mengganggu aliran udara secara signifikan, sehingga tetap mampu menghasilkan energi tanpa meningkatkan hambatan aerodinamis secara berlebihan.
3. Disarankan untuk melakukan variasi desain tambahan, seperti perubahan sudut atap, penambahan fairing, atau penutup pada bagian rangka terbuka, guna mengurangi turbulensi lokal dan meningkatkan kestabilan aliran udara di sekitar kendaraan.

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan variasi kecepatan yang lebih luas serta mempertimbangkan kondisi aliran yang lebih realistis, seperti efek angin samping (crosswind) dan turbulensi lingkungan, agar hasil simulasi lebih mendekati kondisi aktual.

### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, N. E., Abo-serie, E., & Gaylard, A. (2012). Mesh Optimization for Ground Vehicle Aerodynamics. 2(March 2010), 54–65.
- Athul, M. V., & Umayal, C. (2022). Design and Analysis of a Partially Solar Powered Tricycle. International Conference on Intelligent Solutions for Smart Grids & Smart Cities, 267–282.
- Azzindan, H. R. (2023). Perancangan Sepeda Roda Tiga Model Tadpole Untuk Penyandang Disabilitas Dan Simulasi Menggunakan Metode Elemen Hingga. ITN MALANG.
- Chirasha, M., Mupfumira, P., Ndala, E., Mutenhabundo, W., & Mahoso, R. (2025). EVALUATION OF AERODYNAMICS AND PRESSURE DISTRIBUTION AROUND A MOVING VEHICLE. I-Manager's Journal on Mechanical Engineering, 15(1).
- Dallaev, R., Pisarenko, T., Papež, N., & Holcman, V. (2023). Overview of the current state of flexible solar panels and photovoltaic materials. Materials, 16(17), 5839.
- Deng, R., Procházka, O., & Kilchert, S. (2025). Life cycle assessment of future electricity and hydrogen systems: Implications for low-carbon transport. Cleaner Environmental Systems, 100349.
- Godwin, T. I., & Ojapah, M. M. (2023). The Design of a Solar Powered Tricycle for Physically Disabled Persons \_ A Review Paper. 8(4), 235–241.
- Harahap, P. (2020). Pengaruh temperatur permukaan panel surya terhadap daya yang dihasilkan dari berbagai jenis sel surya. RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro, 2(2), 73–80.
- Harefa, D., Giawa, A. B., Informasi, T., Sains, F., Teknologi, D., Nias, U., Informasi, T., Sains, F., Teknologi, D., & Nias, U. (2025). Analisis literatur tentang prinsip bernoulli dalam desain aliran fluida. 02, 22–27.
- Hasan, M. N. H. (2015). CFD Simulation of the Aerodynamic Drag of Personal Electric Vehicles (PEV).
- Hasugian, T. D. (2018). Simulasi aerodinamika pada mobil listrik nogogeni dengan menggunakan software ansys fluent. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Inc., A. (2020). Ansys Fluent Theory Guide. Ansys Inc.
- Kopelli, J. R. R. K., & Mahesh, O. (n.d.). Innovative Design and CFD Analysis of Human Powered Eco-Friendly Trike.
- Legowoh, R. N., Fahrudin, A., & Akbar, A. (2024). Analisa Pengaruh Wind Shield Dan Rear Box Terhadap Gaya Hambat Udara Pada Sepeda Motor. Otopro, 19(2), 55–59. <https://doi.org/10.26740/otopro.v19n2.p55-59>
- Liu, W., Liu, Y., Yang, Z., Xu, C., Li, X., Huang, S., Shi, J., Du, J., Han, A., & Yang, Y. (2023). Flexible solar cells based on foldable silicon wafers with blunted edges. Nature, 617(7962), 717–723.
- Maoz, M., Abbas, Z., Shah, S. A. B., & Lughy, V. (2025). Recent advances in flexible solar cells; materials, fabrication, and commercialization. Sustainability, 17(5), 1820.
- Nor Azman, A. N., Mohd, N., & Ahmad, S. (2025). Mesh Convergence Analysis on The Aerodynamic Performance of A Sedan Vehicle. Journal of Engineering Technology and Applied Physics, 5(1), 1–8.
- Nurfadlilah, F., Malika, A. S., Naufal, A. R., & Wikansari, R. (2024). PERAN SEPEDA LISTRIK DALAM MEWUJUDKAN MOBILITAS BERKELANJUTAN. HUMANITIS: Jurnal Homaniora, Sosial Dan Bisnis, 2(1), 136–141.
- PALOLICKAL JAYARAJ, J. (2024). A Solar car aerodynamic design with solar cells on the surface using CAD simulation software.
- Paudel, A. M., & Kreutzmann, P. (2015). Design and performance analysis of a hybrid solar tricycle for a sustainable local commute. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 473–482.
- Rahmadi, K. J., Munadi, M., & Paryanto, P. (2023). RANCANG BANGUN OTOPET LISTRIK RODA TIGA UNTUK TENAGA MEDIS DI RUMAH SAKIT. JURNAL TEKNIK MESIN, 11(4), 139–148.
- Rangga, A. P. (2024). ANALISIS AERODINAMIKA BODY MOBIL LISTRIK DENGAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD) PADA VARIASI FRONTAL AREA DAN KECEPATAN ALIRAN UDARA MENGGUNAKAN SOFTWARE ANSYS FLUENT. Universitas Malikussaleh.
- Rolling Resistance. (2023). In ScienceDirect Topics. Elsevier.



- Roman, B., & Croitorescu, V. (2024). Virtual Development of a Challenger type, single-seater vehicle for the World Solar Challenge Competition. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1311(1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1311/1/012027>
- Salah, A., Shalby, M., Al-Soeidat, M., & Alhomaidat, F. (2025). Electric Vehicle Charging Infrastructure with Hybrid Renewable Energy: A Feasibility Study in Jordan. *World Electric Vehicle Journal*, 16(10), 557. <https://doi.org/10.3390/wevj16100557>
- Sari, H. N. (2023). Perancangan Komponen Dan Analisis Uji Beban Elektrik Bike. *Indonesian Journal of Engineering and Technology (INAJET)*, 5(2), 62–65.
- Skrypnyk, L., Ishchenko, N., Novakovska, I., Bavrovska, N., Komarova, N., & Gura, S. (2025). Implementation of Green Technologies in Transport Infrastructure with the Help of GIS Solutions. In *Integrating Artificial Intelligence, Security for Environmental and Business Sustainability: Volume 2* (pp. 991–1001). Springer.
- Sugiyono, D. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan Tindakan*.
- Tan, J. D., Tee, W. H., Kang, C. C., Ariannejad, M., Ng, Z.-N., Lee, Y. K., & Bhuiyan, M. A. S. (2025). Electric vehicle in Malaysia: Power source challenges, infrastructure gaps and international benchmarking. *Energy Conversion and Management*: X, 101307.
- Tarakka, R., Salam, N., Jalaluddin, J., Rauf, W., & Ihsan, M. (2021). Kajian Aerodinamika Pada Model Kendaraan dengan Penerapan Kontrol Aktif Suction. *METAL: Jurnal Sistem Mekanik Dan Termal*, 5(1), 38–43.
- Towne, A., Dawson, S. T. M., Brès, G. A., Lozano-Durán, A., Saxton-Fox, T., Parthasarathy, A., Jones, A. R., Biler, H., Yeh, C.-A., & Patel, H. D. (2023). A database for reduced-complexity modeling of fluid flows. *AIAA Journal*, 61(7), 2867–2892.
- Wahyu, A. S. P. (2024). ANALISIS AERODINAMIKA PADA BODI MOBIL KALIMASADA TIPE URBAN CONCEPT EV (ELECTRIC VEHICLE) DENGAN PENDEKATAN CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS). UPN Veteran Jawa Timur.
- Widyantara, R. D., Naufal, M. A., Sambegoro, P. L., Nurprasetio, I. P., Triawan, F., Djamari, D. W., Bayu, A., Nandiyanto, D., Budiman, B. A., & Aziz, M. (2021). *Electric Vehicle*.
- Xuan, D. P., Duy, V. N., Dien, V. M., & Binh, P. H. (2025). Aerodynamics Simulation of Prototype Car Based on CFD Technology. 43(2), 521–528.
- Yusuf, A. (2017). Analisa aerodinamika dan optimasi body mobil smart EV generasi tiga dengan menggunakan pemodelan CFD tiga dimensi.
- Zhang, Y., Xie, Y., Zhao, G., Liang, Z., Shi, J., & Yang, Y. (2017). The Important Role of Fluid Mechanics in the Engineering Field. *Mechanics*, 9, 421–445.