

STUDI AERODINAMIKA KENDARAAN LISTRIK VU-EV DENGAN PENDEKATAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

Immanuel Timotius Arifin¹, Ferly Isnomo Abdi², Aji Nugroho³, Lailatus Sa'diyah Yuniar Arifianti⁴, Chaska Akhila Ade Diandra⁵

^{1,3,5}Prodi D4 Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya

¹immanuel.22042@mhs.unesa.ac.id

³nugrohoaji@unesa.ac.id

⁵chaska.22029@mhs.unesa.ac.id

^{2,4}Prodi D4 Teknologi Rekayasa Otomotif, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya

²ferlyabdi@unesa.ac.id

⁴lailatusarifianti@unesa.ac.id

Abstrak— Penelitian ini mengkaji karakteristik aerodinamika pada kendaraan listrik VU-EV menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Analisis dilakukan pada tiga variasi kecepatan (20 km/jam, 25 km/jam, dan 30 km/jam) untuk mengetahui distribusi tekanan, pola aliran udara, serta pembentukan wake di sekitar bodi kendaraan, dengan harapan meningkatkan efisiensi aerodinamika dan performa kendaraan listrik tipe golf car berkapasitas enam penumpang yang dilengkapi panel surya. Hasil simulasi menunjukkan semakin meningkatnya kecepatan berdampak pada pola aliran yang lebih turbulen, perbedaan tekanan yang signifikan antara bagian depan dan belakang, serta bertambah besar drag aerodinamik. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan peningkatan desain bodi terutama pada bagian belakang dan penambahan perangkat aerodinamika guna meminimalisasi drag, serta validasi eksperimen agar hasil simulasi lebih akurat dan aplikatif bagi pengembangan kendaraan ramah lingkungan di masa depan.

Kata Kunci— VU-EV, CFD, Solidworks, bodi

Abstract— This research analyzes the aerodynamic characteristics of the VU-EV electric vehicle using *Computational Fluid Dynamics* (CFD) simulation. The study evaluates airflow patterns, pressure distribution, and wake formation at three speeds (20 km/h, 25 km/h, and 30 km/h), aiming to enhance the aerodynamic efficiency and performance of a six-passenger electric golf car equipped with solar panels. The simulation results indicate that higher speeds result in more turbulent airflow, greater pressure differentials between the front and rear, and increased aerodynamic drag. For future studies, improvements in body design—especially at the rear—and the addition of aerodynamic devices are recommended to minimize drag, alongside experimental validation to ensure simulation accuracy and wider applicability for the development of sustainable vehicles.

Keywords— VU-EV, CFD, Solidworks body

PENDAHULUAN

Karbon dioksida (CO₂) merupakan salah satu elemen yang mendukung serta menghasilkan emisi gas [1]. Penelitian yang dilakukan oleh [2] menunjukkan bahwa kendaraan bermotor menjadi penyumbang pencemaran udara yang terbesar di Indonesia, bahkan dalam jangka kurun waktu 10 tahun terakhir telah terjadi peningkatan kendaraan bermotor sebesar 30% dengan 70% berada diperkotaan. Sehingga untuk menghadapi hal ini, salah satu upaya yang bisa dilakukan adalah dengan adanya kendaraan non karbon, dalam hal ini pengembangan kendaraan listrik menjadi salah satu hal yang bisa berdampak positif.

VU-EV atau Vokasi Unesa Electric Vehicle merupakan salah satu upaya keterlibatan dari Fakultas Vokasi, Universitas

Negeri Surabaya dalam menanggapi isu terkait resiko emisi gas. VU-EV dirancang dengan bentuk mobil golf yang berisikan maksimal 6 penumpang. Kendaraan ini dirancang dengan adanya Solar Panel yang berfungsi untuk mengambil energi panas dari matahari sebagai salah satu penunjang energi listrik yang dibutuhkan pada VU-EV. Jumlah energi yang begitu besar yang dihasilkan oleh matahari menjadi sumber energi yang menjanjikan untuk digunakan di masa depan [3].

Gaya aerodinamika pada kendaraan menjadi satu hal yang berpengaruh pada konsumsi bahan bakar dalam kendaraan [4]. Sehingga dari hal ini diperlukan analisa aerodinamika untuk menjadikan bahan bakar yang dipakai menjadi efisien dan tidak terbuang sia-sia. Aerodinamika adalah sebuah ilmu yang mempelajari aliran fluida yang bergerak pada suatu benda,

sedangkan drag force adalah gaya yang bekerja berlawanan dengan arah gerak kendaraan, drag force dihasilkan dari adanya pressure dan gesekan [5]. Untuk menghasilkan produk yang maksimal sehingga diperlukan adanya simulasi terlebih dahulu sebelum sebuah produk akan dibuat.

Salah satu metode yang bisa digunakan dalam mensimulasikan gaya aerodinamika adalah dengan *Computational Fluid Dynamic* (CFD). CFD mampu digunakan untuk menganalisa berbagai hal yang terkait analisa fluida mulai dari aerodinamis, perpindahan panas bahkan fenomena reaksi kimia yang terjadi pada fluida [4]. CFD juga memungkinkan untuk memberikan gambaran aliran fluida atau streamline sehingga mempermudah dalam memahami aliran fluida yang terjadi.

Dengan adanya panel surya sebagai salah satu sumber energi pada VU-EV, menurut [3] menjadikan sebuah tantangan baru dalam menghadapi gaya aerodinamika pada mobil ini.

Pada penelitian ini membatasi dalam mensimulasikan gaya aerodinamis menggunakan metode CFD yang dimiliki beberapa aplikasi seperti Ansys, Solidworks maupun Fusion 360. Penelitian ini memiliki tujuan utama untuk menganalisa gaya aerodinamis pada desain mobil VU-EV pada beberapa kecepatan yang akan digunakan. Dan juga menghasilkan sebuah karya untuk mengurangi emisi gas melalui pengurangan karbon dioksida dari kendaraan.

Aerodinamika Kendaraan

Aerodinamika atau ilmu gaya gerak berasal dari pengertian bahasa Yunani yaitu *air* dan *dinamyc* yang memiliki arti udara dan juga gerak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa aerodinamika yaitu suatu ilmu yang mempelajari gerak suatu benda didalam udara [4]. Gaya dorong, traksi serta stabilnya laju kendaraan sangatlah terpengaruh dengan adanya gaya dinamika yang dihasilkan dari bodi kendaraan, karena gaya inilah yang memiliki pengaruh besar pada adanya engine power yang diberikan. Selain itu kecepatan kendaraan juga berpengaruh pada gaya aerodinamika yang dihasilkan pada kendaraan [6]. Kecepatan kendaraan memiliki pengaruh terutama pada gaya seret pada saat posisi berkendara, dimana karakteristik ini sangat memengaruhi distribusi fluida atau udara [5]. Dalam aerodinamika memiliki beberapa gaya yang bekerja pada benda, antara lain ialah Tahanan aerodinamika, gaya angkat aerodinamik, dan momen anguk aerodinamik yang memiliki pengaruh besar terutama pada kecepatan sedang dan tinggi [4].

Prinsip dasar aliran Fluida

Fluida adalah zat yang secara terus menerus berubah bentuk ketika mengalami gerakan ataupun gesekan sekecil apapun gesekan yang diberikan. Gaya geser adalah gaya yang dihasilkan dari adanya komponen yang bersinggungan dengan komponen yang lain. Fluida diklasifikasikan dalam 2 jenis yaitu fluida newton dan fluida bukan newton. Fluida newton yaitu

fluida yang memiliki hubungan linier antara tegangan geser dengan perubahan bentuk yang terjadi. Sedangkan fluida bukan newton cenderung tidak memiliki hubungan yang linier [7].

Dalam dasar aliran fluida ada beberapa hal yang menjadi dasar yaitu hukum Bernoulli dan juga viskositas. Hukum Bernoulli adalah hukum yang membahas tentang

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$

kesinambungan antara tekanan, kelajuan aliran fluida, dan ketinggian fluida pada massa jenis yang tetap. Hukum ini menyatakan bahwa jumlah tekanan energi kinetik sama dengan nilai energi potensial yang ada pada setiap titik disepanjang aliran [8]. Hukum Bernoulli memiliki persamaan sebagai berikut. Penelitian [8] menunjukkan bahwa selisih ketinggian aliran air pada pipa dipengaruhi oleh besar kecilnya deras laju aliran air. Berdasarkan hukum Bernoulli, tekanan fluida dalam pipa berbanding terbalik dengan kecepatannya; ketika kecepatan fluida bertambah, tekanan berkurang, dan ketika kecepatan berkurang, tekanan meningkat.

Viskositas adalah suatu ukuran yang menyatakan kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan dalam suatu fluida. Semakin besar nilai viskositas suatu fluida maka semakin sulit juga fluida tersebut untuk mengalir, dan juga menunjukkan semakin sulitnya benda didalam fluida itu untuk mengalir [9].

Pengaruh desain bodi pada aliran udara

Bentuk bodi yang kompleks membuat terjadinya distribusi aliran udara pada sekitar mobil tersebut. Selain itu, aliran udara yang juga bersifat viscous menyebabkan timbulnya tekanan geser yang terjadi disepanjang permukaan kendaraan [10]. Perilaku aliran fluida sangatlah dipengaruhi oleh geometri dari kendaraan, sehingga dalam proses desainnya sangatlah perlu mempertimbangkan geometri benda yang akan diwujudkan [11]. Dari analisa yang dilakukan [11] menunjukkan bahwa nilai koefisien hambatan aerodinamik berubah-ubah bergantung pada perbedaan geometri tiap-tiap model uji.

Karakteristik aerodinamika ialah ketika terjadi separasi aliran akan menimbulkan wake dibelakang mobil sehingga mengakibatkan adanya drag atau hambatan. Semakin besar separasi aliran yang ada maka semakin besar pula hambatan yang terjadi pada mobil hal ini pula jugalah yang menimbulkan terjadinya turbulensi udara yang masuk. Hambatan yang dihasilkan dari gaya aerodinamis juga memberikan pengaruh konsumsi bahan bakar sebesar 50-60% [12].

Aerodinamika kendaraan memberikan dukungan yang kuat pada kecepatan kendaraan. Dari hal ini didapatkan bahwa kontur bodi kendaraan sangat berpengaruh pada aliran hambatan udara, sehingga pembuatan kontur perlu sangat mempertimbangkan aerodinamika. Aliran angin yang bebas

yang didapat dari kontur bodi yang sesuai akan membantu kendaraan melaju lebih cepat dikarenakan support dari aerodinamika udara. Selain itu hal ini juga membantu kendaraan dalam mengoptimalkan konsumsi bahan bakar [13].

Koefisien Drag

Drag force terjadi karena adanya perbedaan tekanan antara bagian depan dan bagian belakang suatu benda. Penyebab besar kecilnya drag force suatu benda ialah geometri suatu benda dan juga variasi kecepatan fluida yang mengalir melalui kontur bodi benda [14].

Setiap benda yang bergerak melalui aliran fluida akan mengalami interaksi, interaksi tersebut merupakan gaya dan momen yang bersumber dari tegangan geser (T_w), yang diakibatkan oleh efek viskositas, dan tegangan normal yang diakibatkan oleh tekanan (P). Jika mengacu pada sumber gaya, drag dapat dipecah menjadi 2 jenis yaitu drag gesekan yaitu drag yang bersumber dari gaya gesek. Dan drag tekanan yaitu drag yang dihasilkan oleh gaya tekan. Drag sendiri memiliki koefisien (C_d) [15].

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho u^2 A}$$

Kendaraan Listrik

Kendaraan listrik merupakan salah satu solusi yang sangat baik bukan hanya untuk sekedar mengurangi penggunaan energi fosil, namun juga kendaraan jenis ini tidak mengeluarkan residu yang menghasilkan emisi gas karbon sehingga menjauhkan dari pencemaran udara [16]. Kendaraan listrik merupakan kendaraan yang memiliki sumber penggerak yang berasal dari motor listrik. Baterai merupakan sumber energi utama yang digunakan untuk memberikan energi yang berfungsi untuk menggerakkan motor listrik, pada dasarnya baterai dapat diisi ulang agar terus bisa digunakan [17].

Kendaraan listrik memiliki beberapa komponen yang diperlukan dalam implementasinya. Selain baterai sebagai sumber energi yang utama, kendaraan listrik juga memerlukan aki sebagai penyimpanan energi listrik untuk bagian bagian selain motor listrik. Untuk transmisi kendaraan ini menggunakan sproket. Setiap kendaraan tentunya juga memiliki chasis sebagai dasar kendaraan, selain itu kendaraan listrik juga memiliki sistem pengereman. Setiap kendaraan listrik memiliki dua sistem kelistrikan yaitu sistem yang bersumber dari baterai sebagai sumber kelistrikan mesin, dan juga sistem kelistrikan yang bersumber energi dari aki untuk sistem kelistrikan untuk bodi [18].

Sistem dalam mobil listrik dibagi menjadi dua yaitu sistem energi yang terdiri dari sistem charging dan juga tempat

penyimpanan energi. Sistem yang kedua ialah sistem kendalali yang menggunakan saklar pembatas yang berhubungan dengan pedal gas dan rem. Sistem ini berfungsi sebagaipengendali dan juga pengaman kendaraan. Mobil ini menggunakan 4 buah roda dengan sistem transmisi yang menggunakan sproket atau rantai. Sproket dipasangkan pada poros belakang dan dihubungkan menggunakan pasak untuk kemudian dipasangkan 2 buah roda pada samping kanan kiri poros tersebut [18].

Jenis kendaraan listrik ini memiliki dampak positif bagi lingkungan terutama ialah bahwa kendaraan jenis ini mampu mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan juga mengurangi emisi gas yang biasanya dihasilkan oleh kendaraan konvensional. Selain itu penggunaan kendaraan dengan sumber energi terbarukan akan mengurangi tekanan pada sumber daya alam yang terbatas [19].

Selain memiliki kelebihan, jenis kendaraan listrik pada saat ini juga memiliki beberapa kekurangan terutama dalam pengembangannya, beberapa kelemahan pada jenis kendaraan ini yaitu memiliki harga awal yang tinggi, belum banyaknya infrastruktur pengisiannya, ketergantungan pada sumber energi listrik, keterbatasan jarak tempuh dan juga belum adanya suku cadang yang memadai untuk semua jenis kendaraan ini [20].

Aerodinamika suatu kendaraan sangat berpengaruh bagi konsumsi bahan bakar kendaraan. Sehingga diperlukannya simulasi bodi sebuah kendaraan sebelum kendaraan tersebut dibuat. Karena bodi kendaraan berpengaruh juga pada drag force atau drag force sebuah kendaraan [4].

Panel Surya

Panel surya merupakan salah satu alat yang berfungsi untuk mengambil energi cahaya matahari lalu mengubahnya menjadi energi listrik, panel surya terdiri dari sel-sel surya yang digabungkan menjadi satu. Sel surya yaitu alat yang berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui proses efek fotovoltic [21].

Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational Fluid Dynamic atau CFD adalah suatu ilmu untuk melakukan analisa yang melibatkan sistem aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia dan fenomena fisik lainnya yang berdasarkan pada simulasi menggunakan software [22].

METODE

Desain kendaraan VU-EV

Desain kendaraan Vokasi Unesa Electric Vehicle atau VU-EV dibuat menggunakan software solidwork dengan dimensi panjang 240 cm dan lebar 100 cm.

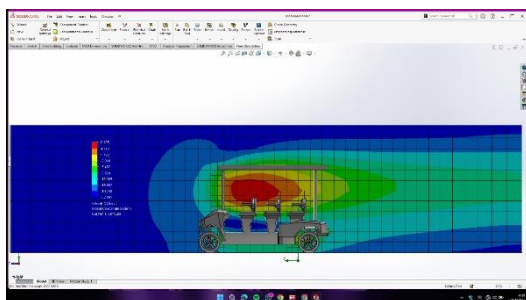


Gbr 1. Desain VU-EV

(Sumber : Solidworks, 2022)

Pemberian Meshing

Pemberian meshing pada CFD sangat krusial karena mesh adalah cara komputer dalam membaca geometri dan juga jalur aliran fluida. Tujuan dari proses meshing adalah untuk memperoleh hasil simulasi yang akurat dan efisien dengan membagi model menjadi elemen yang lebih kecil, sehingga dapat mengestimasi respons struktural terhadap beban dengan lebih presisi [23].



Gbr 2. Meshing CFD

(Sumber : CFD Solidwork)

Boundary Condition

Pada penelitian ini penulis menetapkan 3 batas kecepatan pada penelitian CFD kendaraan VUEV, yaitu pada kecepatan 20 km/h, 25 km/h, dan 30 km/h. Dengan tabel boundary sebagai berikut ini.

TABEL 1
BOUNDARY CONDITION

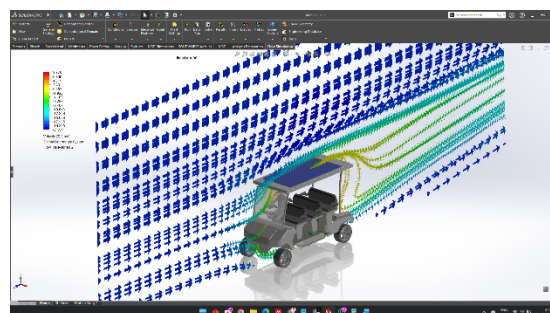
No	Boundary Condition	Nilai
1	Velocity Inlet	20 km/h, 25 km/h, 30 km/h
2	Pressure Outlet	101325 Pa
3	Wall	Real wall

HASIL DAN DISKUSI

Hasil Simulasi CFD

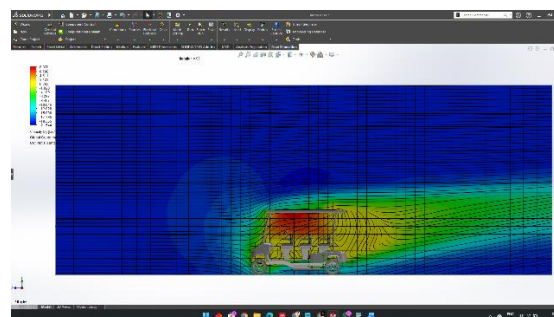
Simulasi ini bertujuan untuk menganalisa distribusi tekanan dan juga pola aliran udara. Berikut ini adalah gambar streamline atau pola aliran udara hasil dari simulasi.

a. 20 km/h



Gbr 3. Streamline 20 km/h Isometri view

(Sumber : CFD Solidwork)



Gbr 4. Streamline 20 km/h Right view

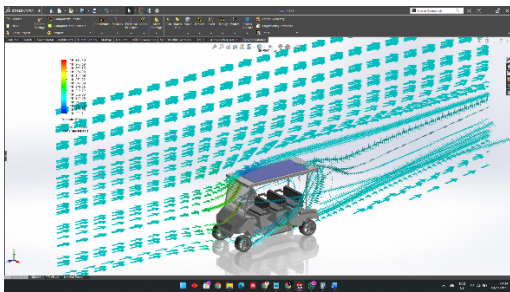
(Sumber : CFD Solidwork)

Pada kecepatan 20km/jam, hasil simulasi CFD menunjukkan pola aliran udara yang relatif stabil di sekitar kendaraan. Kontur kecepatan memperlihatkan adanya zona stagnasi di depan bodi kendaraan, di mana udara yang bertabrakan dengan permukaan depan membentuk area berkecepatan rendah. Di sisi lain, bagian atas dan samping kendaraan memperlihatkan sebaran kecepatan yang lebih seragam, yang menandakan bahwa gaya hambat akibat gesekan dengan udara berada dalam kategori sedang. Keberadaan

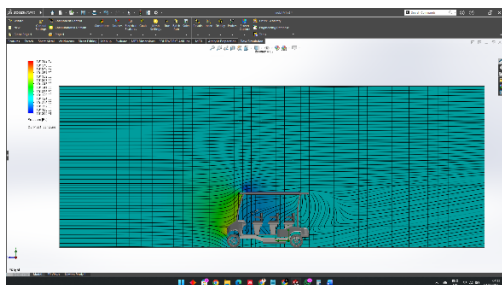
atmosfer yang minim turbulensi di belakang kendaraan menghasilkan pola wake yang tidak terlalu lebar, yang menandakan efisiensi aerodinamika pada kecepatan ini masih cukup terjaga.

Selain itu, distribusi tekanan di sepanjang permukaan kendaraan menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu signifikan antara bagian depan dan belakang. Tekanan tertinggi terdapat pada bagian depan sebagai akibat langsung dampak udara, sementara daerah belakang menunjukkan sedikit penurunan tekanan, namun tidak membentuk area tekanan rendah yang ekstrim. Hal ini menjadi indikasi bahwa pada kecepatan 20 km/jam, efek drag atau hambatan aerodinamika yang dialami oleh kendaraan masih dalam batas wajar, sehingga konsumsi energi akibat gesekan udara relatif kecil untuk aplikasi dalam transportasi perkotaan atau kendaraan berkecepatan rendah.

b. 25 km/h



Gbr 5. Streamline 25 km/h Isometri view
(Sumber : CFD Solidwork)



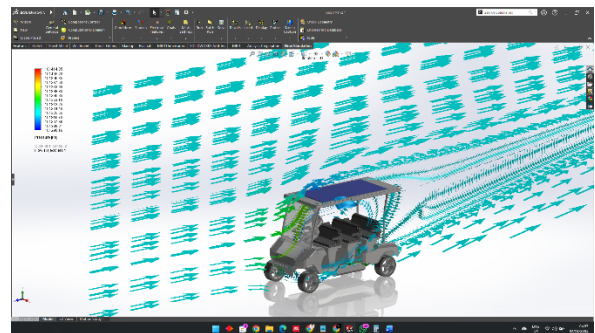
Gbr 6. Streamline 25 km/h Right view
(Sumber : CFD Solidwork)

Pada kecepatan 25 km/jam, hasil simulasi menunjukkan adanya perubahan signifikan pada pola aliran udara dan distribusi tekanan di sekitar kendaraan. Peningkatan kecepatan menyebabkan gradien kecepatan udara di sekitar bodi kendaraan menjadi lebih tajam. Hal ini terlihat dari distribusi kontur kecepatan yang mulai membentuk pola wake lebih panjang dan lebih lebar di area belakang kendaraan. Trajektori aliran dan distribusi kecepatan mulai menunjukkan adanya pembentukan turbulensi yang lebih kompleks di zona belakang. Fenomena ini berdampak pada pertumbuhan zona

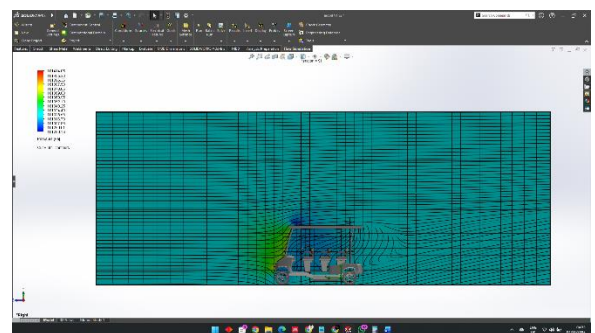
separasi aliran yang memicu bertambah besar area wake dan menurunkan efisiensi aerodinamika.

Sedangkan dari sisi tekanan, terjadi peningkatan tekanan di bagian depan kendaraan, menghasilkan tekanan statis yang lebih besar akibat dampak udara yang lebih kuat. Pada bagian belakang, penurunan tekanan juga makin signifikan, sehingga perbedaan tekanan antara depan dan belakang kendaraan semakin besar. Kondisi ini menandakan bahwa pada kecepatan 25 km/jam, gaya hambat (drag) yang dialami kendaraan mulai meningkat dengan cukup tajam dan perlu menjadi pertimbangan utama dalam perancangan bodi kendaraan demi menjaga efisiensi energi serta stabilitas laju kendaraan.

c. 30 km/h



Gbr 7. Streamline 30 km/h Isometri view
(Sumber : CFD Solidwork)



Gbr 8. Streamline 30 km/h Right view
(Sumber : CFD Solidwork)

Pada kecepatan 30 km/jam, fenomena aerodinamika di sekitar kendaraan menjadi jauh lebih kompleks sebagaimana ditunjukkan hasil simulasi CFD. Kontur kecepatan memperlihatkan adanya peningkatan signifikan pada pola wake di area belakang kendaraan, di mana turbulensi udara semakin besar, menyebabkan penyebaran aliran yang lebih luas dan tidak teratur. Aliran udara yang melewati atas dan samping kendaraan mengalami percepatan yang lebih nyata, serta pola separasi di area belakang membentuk vorteks yang menandakan terjadinya kehilangan energi secara masif akibat drag yang semakin besar.

Dari aspek tekanan, distribusi menunjukkan bahwa tekanan di bagian depan kendaraan sangat tinggi akibat dampak udara yang semakin kencang, sedangkan tekanan di bagian belakang turun drastis membentuk area tekanan rendah yang luas. Perbedaan tekanan yang ekstrem antara kedua area ini mengonfirmasi bahwa gaya hambat sangat dominan pada laju kecepatan tinggi, dan efisiensi aerodinamika mengalami penurunan cukup signifikan. Data ini menjadi landasan penting dalam desain kendaraan yang dirancang untuk kecepatan menengah hingga tinggi, karena adaptasi bentuk bodi atau penambahan fitur aerodinamika diperlukan untuk meminimalkan efek drag dan menjaga stabilitas pergerakan kendaraan, terutama dalam skenario aplikasi aktual di lapangan.

Berdasarkan hasil simulasi CFD untuk kendaraan pada kecepatan 20 km/jam, 25 km/jam, dan 30 km/jam, dapat disimpulkan bahwa peningkatan kecepatan secara signifikan mempengaruhi karakteristik aliran udara dan efisiensi aerodinamika di sekitar kendaraan. Pada kecepatan rendah (20 km/jam), pola aliran udara cenderung lebih stabil dengan zona wake yang minim dan distribusi tekanan relatif seragam antara bagian depan dan belakang kendaraan. Hal ini menghasilkan hambatan aerodinamika yang rendah, sehingga energi yang dibutuhkan untuk melaju juga lebih efisien.

Ketika kecepatan dinaikkan menjadi 25 km/jam dan 30 km/jam, pola aliran berubah drastis gradien kecepatan meningkat, zona wake di belakang kendaraan makin panjang dan lebar, serta terbentuk turbulensi yang signifikan pada area belakang. Tekanan di depan kendaraan juga naik secara tajam, sementara tekanan di belakang turun drastis membentuk area tekanan rendah yang menunjukkan peningkatan gaya drag. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan kendaraan, maka gaya hambat dan energi yang diperlukan untuk mengatasi resistensi udara juga semakin besar. Kondisi ini menegaskan pentingnya desain aerodinamika yang optimal terutama untuk kendaraan yang beroperasi pada kecepatan menengah hingga tinggi, guna mengendalikan drag dan mempertahankan efisiensi serta stabilitas kendaraan selama beroperasi.

Evaluasi hasil kecepatan

Pada simulasi CFD digunakan 3 kecepatan yang berbeda yaitu 20 km/h, 25 km/h dan 30 km/h. berikut ini adalah hasil dari analisis tersebut.

a. 20 km/h

TABEL 2

HASIL SIMULASI CFD 20 km/h

No	Nama	Min	Max
1	Density Fluid (kg/m^3)	1.20	1.20
2	Pressure (Pa)	101309.44	101362.13
3	Temperature (K)	293.20	293.22
4	Velocity (km/h)	0	22.005
5	Velocity X (km/h)	-14.722	15.051
6	Velocity Y (km/h)	-13.573	13.560
7	Velocity Z (km/h)	-21.544	8960

(Sumber : CFD Solidwork)

b. 25 km/h

TABEL 3

HASIL SIMULASI CFD 25 km/h

No	Nama	Min	Max
1	Density Fluid (kg/m^3)	1.20	1.20
2	Pressure (Pa)	101300.71	101382.40
3	Temperature (K)	293.19	293.23
4	Velocity (km/h)	0	27.489
5	Velocity X (km/h)	-18.608	18.608
6	Velocity Y (km/h)	-17.738	16.871
7	Velocity Z (km/h)	-26.904	11.227

(Sumber : CFD Solidwork)

c. 30 km/h

TABEL 4

HASIL SIMULASI CFD 30 km/h

No	Nama	Min	Max
1	Density Fluid (kg/m^3)	1.20	1.20
2	Pressure (Pa)	101290.16	101414.05
3	Temperature (K)	293.19	293.24
4	Velocity (km/h)	0	32.918
5	Velocity X (km/h)	-21.928	23.956
6	Velocity Y (km/h)	-21.070	20.376
7	Velocity Z (km/h)	-32.277	12.764

(Sumber : CFD Solidwork)

Berdasarkan tabel hasil simulasi CFD pada tiga kecepatan berbeda (20 km/jam, 25 km/jam, dan 30 km/jam), diperoleh beberapa parameter penting, seperti densitas fluida, tekanan, temperatur, serta komponen kecepatan dalam tiga sumbu. Pada setiap kecepatan, densitas fluida tetap konstan sebesar 1.20 kg/m^3 , mencerminkan sifat udara pada kondisi simulasi yang stabil. Namun, terjadi variasi yang cukup nyata pada parameter tekanan dan kecepatan. Tekanan minimum-tertinggi pada kecepatan 20 km/jam adalah 101309.44–101362.13 Pa, sementara pada 25 km/jam naik menjadi 101300.71–101382.40 Pa, dan di 30 km/jam semakin melebar ke 101290.16–101414.05 Pa. Pola ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan udara mengenai bodi kendaraan, semakin besar juga rentang tekanan yang terjadi akibat efek dinamika fluida.

Parameter temperatur di sepanjang simulasi juga memperlihatkan perubahan kecil dengan kisaran antara 293.19–293.24 K, yang berarti efek pemanasan akibat gesekan fluida pada bodi kendaraan masih sangat minim pada ketiga

kecepatan. Untuk parameter kecepatan, terlihat ada peningkatan nilai maksimum secara signifikan seiring naiknya kecepatan simulasi: pada 20 km/jam, kecepatan maksimum adalah 22.005 km/jam, lalu naik ke 27.489 km/jam di 25 km/jam, dan 32.918 km/jam pada 30 km/jam. Komponen kecepatan pada sumbu X, Y, dan Z juga mengalami peningkatan rentang, yang menunjukkan aliran fluida semakin kompleks dan variasi vektor kecepatan membesar seiring kecepatan kendaraan bertambah. Secara keseluruhan, hasil tabel menunjukkan bahwa kecepatan inflow berbanding lurus dengan dinamika variasi tekanan, kecepatan arah, serta suhu—memperkuat pentingnya optimasi desain kendaraan dari aspek aerodinamika jika dioperasikan pada kecepatan lebih tinggi lagi

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi CFD yang dianalisis, dapat disimpulkan bahwa peningkatan kecepatan kendaraan secara signifikan mengubah karakteristik aliran fluida di sekitar bodi kendaraan. Pada kecepatan rendah (20 km/jam), aliran udara cenderung stabil dan zona wake di belakang kendaraan masih minim, sehingga distribusi tekanan dan kecepatan relatif seragam. Efisiensi aerodinamika pada kecepatan ini masih terjaga, dengan gaya hambat rendah dan konsumsi energi akibat resistensi udara yang kecil—menjadikan kendaraan cocok untuk transportasi dalam kota atau area dengan batas kecepatan rendah.

Saat kecepatan dinaikkan menjadi 25 km/jam dan 30 km/jam, pola aliran menjadi lebih kompleks. Wake di belakang kendaraan semakin panjang dan turbulen, gradien tekanan antara bagian depan dan belakang pun semakin besar. Tekanan di bagian depan meningkat tajam sementara bagian belakang mengalami penurunan signifikan, memicu efek drag yang semakin tinggi. Selain itu, komponen kecepatan pada sumbu X, Y, dan Z juga memperlihatkan rentang yang semakin lebar, menunjukkan dinamika fluida yang semakin intens akibat pertambahan kecepatan kendaraan. Hasil simulasi ini memperjelas korelasi antara kecepatan kendaraan, fitur aerodinamika, dan efisiensi energi pada berbagai mode laju kendaraan.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar desain kendaraan dapat disempurnakan dengan memperhatikan aspek streamline dan geometri bodi, khususnya untuk zona belakang kendaraan yang rentan terhadap terbentuknya wake dan drag tinggi. Penambahan perangkat aerodinamika seperti diffuser, airflow guide, atau pengoptimalan bentuk atap dan belakang dapat membantu meminimalisir efek drag pada kecepatan sedang dan tinggi. Selain itu, penelitian mendatang dapat memperluas analisa dengan memperhitungkan efek angin samping, variasi kondisi lingkungan, serta uji eksperimental untuk validasi hasil simulasi CFD, sehingga desain kendaraan

yang diusulkan semakin relevan dan optimal untuk aplikasi nyata di lapangan.

REFERENSI

- [1] T. Kustiasih, L. M. Setyawati, F. Anggraeni, S. Darwati, and A. Aryenti, "Faktor Penentu Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pengelolaan Sampah Perkotaan," *J. Permukiman*, vol. 9, no. 2, p. 78, 2014, doi: 10.31815/jp.2014.9.78-90.
- [2] I. Ismiyati, D. Marlita, and D. Saidah, "Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor," *J. Manaj. Transp. Logistik*, vol. 1, no. 3, p. 241, 2014, doi: 10.54324/j.mtl.v1i3.23.
- [3] B. Nainggolan, F. Inaswara, G. Pratiwi, and H. Ramadhan, "Rancang Bangun Sepeda Listrik Menggunakan Panel Surya Sebagai Pengisi Baterai," *J. Poli-Teknologi*, vol. 15, no. 3, 2017, doi: 10.32722/pt.v15i3.861.
- [4] M. Jhon, J.S & Utomo, "Analisis Aerodinamika Body Mobil Hemat Energi Antawirya Residual-Sat Dengan Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics*," *J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 50–59, 2017, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/16926>
- [5] R. N. Legowoh, A. Fahrudin, and A. Akbar, "Analisa Pengaruh Wind Shield Dan Rear Box Terhadap Drag force Udara Pada Sepeda Motor," *Otopro*, vol. 19, no. 2, pp. 55–59, 2024, doi: 10.26740/otopro.v19n2.p55-59.
- [6] D. D. Santoso, "Aerodinamika pada modifikasi bodi kendaraan angkutan pedesaan," *J. TEDC*, vol. 12, no. 2, pp. 112–127, 2018.
- [7] Fathoni, "Analisa Aliran Fluida (Fully Develop Flow) pada Pipa Circular dengan Menggunakan CFD Fluent," *J. Tek. Mesin Untirta*, vol. 4, no. 2, pp. 78–86, 2018.
- [8] A. D. Sultan, R. Rizky, H. Hidayat, S. Mulyani, and W. A. Yusuf, "Analysis of the Effect of Cross-sectional Area on Water Flow Velocity by Using Venturimeter Tubes," *J. Pendidik. Fis.*, vol. 8, no. 1, pp. 94–99, 2020, doi: 10.26618/jpf.v8i1.3199.
- [9] P. Lumbantoruan and E. Yulianti, "Pengaruh Suhu terhadap Viskositas Minyak Pelumas (Oli)," *J. Sainmatika*, vol. 13, no. 2, pp. 26–34, 2016, [Online]. Available: <https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/sainmatika/article/view/993>
- [10] A. Ekoprianto, "Listrik Type Citycar Untuk Lingkungan Kampus," pp. 125–130, 2016.
- [11] Muh. Nuruh Haq Amaluddin, "Analisis Koefisien Hambatan Pada Desain Bodi Kendaraan Tipe Concept Car Menggunakan Perangkat Lunak Cfd Fluent," *J. Energy, Mater. Manuf. Technol.*, vol. 1, no. 01, pp. 28–33, 2022, doi: 10.61844/jemmtec.v1i01.152.
- [12] D. Kusaeri, "Karakteristik aerodinamika terhadap desain mobil hemat energi pada kecepatan 15 km/jam menggunakan *Computational Fluid Dynamics*," *J. Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 44–52, 2020, [Online]. Available: <http://ejournal.upstegal.ac.id/index.php/eng/article/view/1497>
- [13] M. F. Sholikin and A. G. Wailandouw, "PENAMBAHAN FRONT SPOILER".
- [14] A. Riszal 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, 2021, doi: 10.33292/ost.vol1no2.2021.25.
- [15] M. Yogatama and R. Trisno, "Studi Koefisien Drag Aerodinamika pada Model Ahmed Body Terbalik Berbasis Metode Numerik," *J. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, p. 10, 2018, doi: 10.22441/jtm.v7i1.2235.
- [16] Joel Veryanto Hutagaol, D. Setiawan, and H. Eteruddin, "Perancangan Sistem Monitoring Kendaraan Listrik," *J. Tek.*,

- vol. 16, no. 1, pp. 96–102, 2022, doi: 10.31849/teknik.v16i1.9640.
- [17] S. A. Ferlia, S. Sudarti, and Y. Yushardi, “Analisis Efisiensi Kendaraan Listrik Sebagai Salah Satu Transportasi Ramah Lingkungan Pengukuran Emisi Karbon,” *Opt. J. Pendidik. Fis.*, vol. 7, no. 2, pp. 356–365, 2023, doi: 10.37478/optika.v7i2.3282.
- [18] F. Zainuri, A. Apriana, and D. D. Haryadi, “Optimalisasi Rancang Bangun Mobil Listrik Sebuah Studi Kendaraan Hemat Energi Sebagai Bagian Solusi Alternatif Krisis Energi Dunia,” *J. Poli-Teknologi*, vol. 14, no. 3, 2016, doi: 10.32722/pt.v14i3.765.
- [19] D. Rika Widianita, “No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析Title,” *AT-TAWASSUTH J. Ekon. Islam*, vol. VIII, no. I, pp. 1–19, 2023.
- [20] D. A. Patriawan, J. H. Putra, and B. Setyono, “Analisis Perbandingan Biaya Operasional antara Kendaraan Listrik , Bensin dan Diesel Institut Teknolgi Adhi Tama Surabaya , Fakultas Teknologi Industri ,” *Semin. Nas. Teknol. Ind. Berkelanjutan I*, pp. 128–135, 2021, [Online]. Available: <https://ejurnal.itats.ac.id/senastitan/article/viewFile/1681/1444>
- [21] B. H. Purwoto, J. Jatmiko, M. A. Fadilah, and I. F. Huda, “Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif,” *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 18, no. 1, pp. 10–14, 2018, doi: 10.23917/emit.v18i01.6251.
- [22] B. Gde Didit Citra Anggarana and I. Made Gatot Karohika, “Analisis Aerodinamika Bodi Mobil Dengan Variasi Kecepatan Menggunakan Perangkat Lunak Cfd,” *SIBATIK J. J. Ilm. Bid. Sos. Ekon. Budaya, Teknol. dan Pendidik.*, vol. 1, no. 8, pp. 1455–1462, 2022, doi: 10.54443/sibatik.v1i8.192.
- [23] R. A. Hidayat, U. Brawijaya, and F. Teknik, “BOX DENGAN MODEL CANGKANG KUMBANG,” 2021.