

Analisis Pengaruh Pemasangan Roof Box Terhadap Performa Aerodinamika Kendaraan Low MVP Menggunakan Simulasi CFD

M Dani Subarna¹, Yusep Sukrawan²

¹*Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif. Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung

²Program Studi Pendidikan Teknologi dan Kejuruan. Pascasarjana. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung

Email: muhammaddanisubarna@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan *roof box* pada kendaraan *Low MPV* marak untuk menambah kapasitas kargo, namun berpotensi merusak profil aerodinamika bawaan pabrik. Penelitian ini menganalisis pengaruh *roof box* terhadap performa aerodinamika melalui komputasi dinamika fluida (CFD). Simulasi numerik menggunakan Ansys 2025 R2 dengan pemodelan turbulensi *Realizable* ($k-\epsilon$) dan kondisi *moving ground*. Model diuji pada variasi kecepatan 15, 30, dan 45 m/s. Hasil komputasi menunjukkan *roof box* memicu peningkatan Koefisien Hambat (C_d) rata-rata 12,5% (tertinggi 13,58% pada 15 m/s) dan menurunkan Koefisien Angkat (C_l) sebesar 5,56%. Visualisasi aliran mengonfirmasi lonjakan hambatan ini akibat adanya titik bertekanan tinggi baru di area depan (*pressure drag*) serta perluasan *wake region* di belakang kendaraan. Kesimpulannya, penambahan *roof box* dapat mempengaruhi karakteristik aerodinamis kendaraan.

Kata kunci: Aerodinamika; *Roof Box*; *Computational Fluid Dynamics (CFD)*; Koefisien Hambat; Turbulensi

A. PENDAHULUAN

Aerodinamika merupakan bagian penting yang tidak bisa luput dari sebuah kendaraan, tidak hanya pada kendaraan roda empat, contoh lain seperti pesawat, kapal laut, bahkan kendaraan roda dua sudah pasti memiliki karakteristik aerodinamis yang berbeda-beda. Kinerja dinamis sebuah kendaraan sangat bergantung pada seberapa efisien profil bodi tersebut membelah aliran udara. Desain yang mampu meminimalisasi gaya hambat (*drag*) akan secara otomatis mengoptimalkan kelancaran laju kendaraan pada kecepatan tinggi (Wahyudi, 2014). Gaya aerodinamika pada kendaraan tentu berpengaruh terhadap laju kendaraan, disisi lain konsumsi bahan bakar dan stabilitas berkendara tidak luput dari pengaruh gaya aerodinamis. Seperti yang di jelaskan oleh, Wirawan, (2018) karakteristik aerodinamika sebuah kendaraan pada dasarnya dibentuk

oleh interaksi dua faktor mekanis pada permukaan eksterior, yakni distribusi tekanan statis dan tegangan geser fluida. Kolaborasi dari kedua parameter ini memicu munculnya gaya hambat (drag force), gaya angkat (lift force), serta gaya akibat pusaran udara (turbulence force), di mana ketiga komponen tersebut saling terintegrasi dalam mendefinisikan tingkat efisiensi profil bodi mobil.

Namun, pada penggunaannya di lapangan, pemilik kendaraan keluarga seperti Multi Purpose Vehicle (MPV) atau Hatchback sering kali memodifikasi profil eksterior untuk memenuhi kebutuhan kargo. Modifikasi penambahan kotak bagasi atap (roof box) telah menjadi tren yang sangat umum di Indonesia apalagi bila warga akan berpergian jauh atau mudik pada hari raya lebaran. Meskipun memberikan solusi tata ruang yang lebih luas dan praktis, pemasangan aksesoris eksternal ini secara bentuk merusak profil aliran udara (streamline) bawaan pabrik. Studi dari literatur terbaru terkait modifikasi eksterior kendaraan membuktikan bahwa penambahan roof box menambah luas penampang depan (frontal area) secara drastis, yang dapat memicu lonjakan nilai hambatan aerodinamika mulai dari 40% hingga melebihi 58%, bergantung pada desain dan posisinya di atas atap (Hisamuddin et al., 2025)

Secara teoretis, dampak penambahan aksesoris ini dapat dijelaskan melalui mekanisme fluida pada kendaraan berbentuk bluff body. Berdasarkan literatur pada aerodinamika dari Hucho (1998), aliran udara pada bagian belakang atap kendaraan penumpang cenderung tidak mampu menemukik mengikuti kontur bodi secara mulus, sehingga memicu terjadinya pemisahan aliran (flow separation). Pemisahan ini menciptakan ruang vakum berisi pusaran udara bertekanan rendah yang dikenal sebagai wake region. Penambahan roof box memaksa flow separation terjadi lebih awal dan menciptakan titik stagnasi (stagnation point) baru di bagian depan aksesoris tersebut, yang secara signifikan memperbesar gejala turbulensi dan meningkatkan nilai hambatan bentuk (pressure drag).

Evaluasi desain eksterior kendaraan menggunakan pendekatan komputasi telah banyak dilakukan untuk mengamati karakteristik aliran fluida secara mendetail. Analisis dinamika fluida pada bodi mobil standar membuktikan bahwa bentuk dasar kendaraan secara alami memicu hambatan udara yang tinggi di area depan serta pembentukan zona wake (pusaran udara) yang cukup besar di bagian belakang akibat profil bodinya (Anggarana & Karohika, 2022). Untuk meminimalisasi kerugian tersebut, modifikasi spesifik pada elemen eksterior terbukti mampu merekayasa aliran fluida. Sebagai contoh, pengujian simulasi pada modifikasi rear diffuser menunjukkan bahwa pengaturan sudut eksterior bawah secara signifikan mampu mempertahankan aliran udara agar melekat lebih lama pada permukaan bodi, yang secara efektif memperkecil area wake dan mereduksi hambatan aerodinamis secara keseluruhan (Hibatullah & Wailanduw, 2025).

Lebih spesifik pada penambahan kompartemen eksterior di area atap, simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) membuktikan bahwa variasi desain dan penempatan aksesoris seperti roof box memengaruhi nilai koefisien hambat secara drastis (Hisamuddin et al., 2025). Kehadiran struktur tambahan di atas atap ini secara fundamental merusak profil aliran udara bawaan pabrik karena menambah luas penampang depan (frontal area), memicu pembentukan titik stagnasi dan pusaran

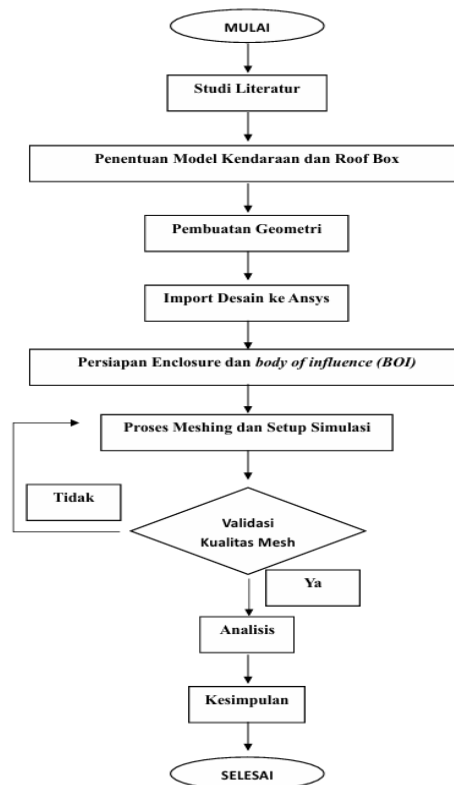
turbulen (vortex) baru, serta memperbesar area turbulensi di sektor belakang kendaraan (Hisamuddin et al., 2025).

Berbagai penelitian terdahulu tersebut mengonfirmasi bahwa modifikasi bentuk geometri dari sebuah profil kendaraan baik interior maupun eksterior akan berdampak langsung terhadap stabilitas aliran fluida. Oleh karena itu, masih diperlukan analisis aerodinamika yang lebih komprehensif, khususnya yang membandingkan dampak modifikasi tersebut dengan mengintegrasikan parameter batas aspal berjalan (moving ground) secara realistis dan menggunakan variasi kecepatan untuk mengisi celah penelitian (research gap) yang ada. Berdasarkan celah penelitian dan urgensi di atas, studi ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan secara komparatif karakteristik aerodinamika pada kendaraan standar dengan kendaraan yang dimodifikasi menggunakan roof box. Menggunakan metode simulasi CFD dengan integrasi moving ground, dan variasi kecepatan. Penelitian ini memetakan perubahan nilai Cd dan Cl, serta menyajikan analisis visual berupa kontur tekanan, Turbulent Kinetic Energy, dan streamline. Hasil dari analisis ini diharapkan dapat menyumbangkan literatur akademis terkait efisiensi desain kendaraan penumpang, serta menjadi rujukan bagi masyarakat dan industri mengenai dampak aerodinamika dari pemasangan aksesoris roof box.

B. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif komparatif dengan metode simulasi komputasi berbasis dinamika fluida atau *computational fluid dynamics (CFD)*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Ansys Workbench R2 2025 untuk menganalisis dan membandingkan karakteristik aerodinamika pada model kendaraan tipe *low MVP (multi purpose vehicle)* standar dengan model kendaraan yang telah di modifikasi menggunakan *roof box*. Adapun Langkah-langkah dari penelitian yaitu : 1). Studi literatur, 2). Penentuan model geometri kendaraan dan roofbox, 3). Pembentukan Geometri, 4). Import geometri ke Ansys, 5). Pembuatan *enclosure* dan *body of influence (BOI)*, 6). Proses meshing dan setup data, 7). Post processing atau penampilan hasil dan data.

1. Alur Penelitian



2. Pembuatan Desain Kendaraan & Roof Box

Desain kendaraan di buat menggunakan perangkat lunak Autodesk fusion, model kendaraan yang dibuat sengaja di sederhanakan, maksud dalam di sederhanakan ini adalah dengan menghilangkan detail yang rumit untuk memudahkan proses meshing dan menghindari eror pada saat proses *meshing*.



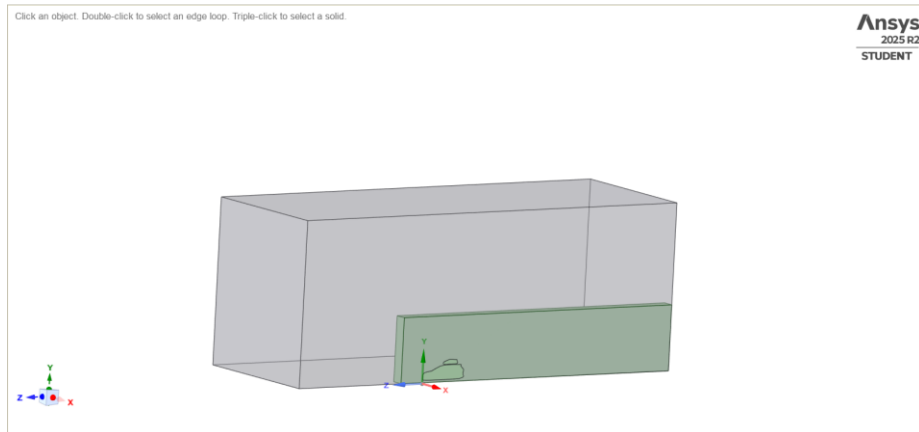
Gambar 1 Dimensi Kendaraan & Roof Box

Berdasarkan Gambar 1, bodi utama kendaraan dibentuk mengikuti proporsi panjang dengan total sebesar 4.49 m. Lekukan bodi dibentuk secara presisi mengikuti kontur asli kendaraan tipe low MVP agar hasil simulasi *CFD* tetap merepresentasikan

kondisi dinamika fluida yang mendekati dunia nyata. Sementara itu, dimensi roof box dimodelkan dengan ukuran panjang keseluruhan 0,85 m, dan tinggi 1,5 m.

3. Persiapan *Enclosure* dan *Body of Influence (BOI)*

Tahap awal pemodelan CFD adalah persiapan enclosure. Dimensi enclosure dibuat berdasarkan dimensi Panjang kendaraan, untuk area depan, atas dan samping kiri kendaraan di buat 3 kali panjang kendaraan, dan untuk bagian bawah di buat 0,2 m, dan area belakang kendaraan di buat 5 kali Panjang kendaraan, area enclosure di buat cukup luas untuk memastikan batas dinding tidak mengganggu aliran udara utama (freestream) dan membiarkan pusaran turbulensi (wake region) di belakang kendaraan berkembang secara natural (Katz, 2016).



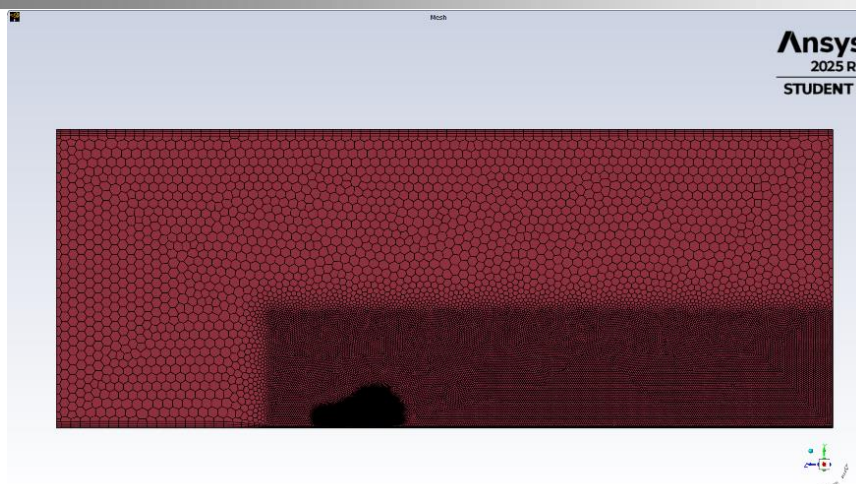
Gambar 2 *Enclosure* dan *Body Of influence*

Gambar 2 menunjukkan metode pepadatan jaring di area dekat kendaraan melalui pembuatan *Body of Influence (BOI)* pada area di sekitar bodi kendaraan dan roof box. Penambahan *BOI* ini sangat krusial karena dua alasan utama:

- 1) Menangkap Lapisan Batas: *BOI* merapatkan jaring (*mesh*) di sekitar bodi untuk menghitung gesekan udara pada lapisan batas (*boundary layer*) secara presisi (Anderson, 2017).
- 2) Resolusi Area Separasi: Membantu mendefinisikan titik separasi aliran dan struktur turbulensi di belakang roof box serta *wake region* kendaraan dengan akurat (Versteeg & Malalasekera, 2007).

4. Proses *Meshing*

Proses meshing merupakan tahapan membagi domain fluida kontinu menjadi elemen-elemen volume atur (control volume) yang lebih kecil agar persamaan aliran fluida dapat dipecahkan secara numerik. Pada penelitian ini, pengaturan jaring difokuskan menggunakan ukuran elemen sebesar 0,1 meter secara spesifik pada area *Body of Influence (BOI)*. Strategi pepadatan ini diaplikasikan untuk memastikan transisi jaring yang halus di sekitar permukaan kendaraan dan roof box.

Gambar 3 Visualisasi Hasil *Meshing*

Gambar 3 menunjukkan hasil visualisasi meshing yang di dapat, sebagai standar kontrol kualitas dan syarat sebelum memasuki tahap kalkulasi (setup simulasi), dilakukan proses validasi jaring menggunakan metrik *Skewness*. Berdasarkan hasil meshing, diperoleh nilai rata rata *skewness* di 0,0072 dengan maximum *skewness* sebesar 0,49. Merujuk pada parameter kualitas komputasi fluida standar (Tu et al., 2018), nilai *skewness* di bawah 0,5 masuk ke dalam kategori sangat baik (Very Good).

Dan berikut merupakan tabel hasil meshing dari desain kendaraan yang telah di meshing.

tabel 1 Validasi Hasil Meshing

Mesh Type	Hasil Meshing 1	Hasil Meshing 2	Hasil Meshing 3
Orthogonal quality	0,26	0,25	0,25
Average Skewnes	0,0072	0,0072	0,0071
Maximum Skewnes	0,56	0,49	0,49
Nodes	186252	187652	212730
Faces	62968	68215	72010
C_d	0,39	0,34	0,34

Berdasarkan Tabel 1, analisis kualitas jaring (*meshing*) dilakukan melalui tiga variasi kerapatan elemen untuk memastikan bahwa hasil perhitungan komputasi dinamis fluida telah mencapai titik konvergensi dan tidak lagi dipengaruhi oleh jumlah jaring (*grid independence*). Parameter kelayakan jaring dievaluasi menggunakan metrik *Orthogonal Quality* dan *Maximum Skewness*. Ketiga variasi jaring tersebut menunjukkan nilai *Maximum Skewness* di bawah ambang batas kritis (kurang dari 0,80) dan *Orthogonal Quality* yang sangat baik (berada di atas 0,15). Hal ini mengindikasikan bahwa struktur elemen matriks tiga dimensi pada bodi kendaraan tidak mengalami distorsi yang berarti dan sangat layak untuk lanjut ke proses setup data simulasi.

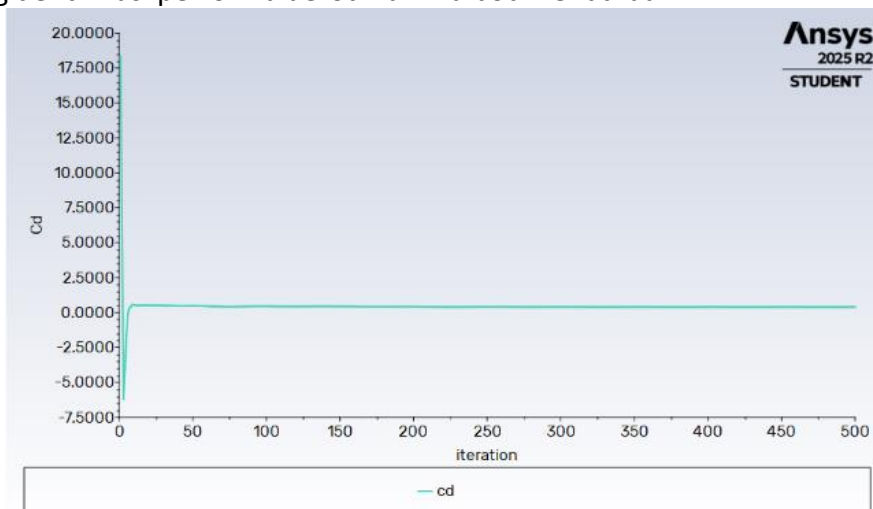
5. Setup Simulasi

Pengaturan komputasi diselesaikan menggunakan pendekatan turbulensi *Realizable* ($k-\epsilon$) untuk mendefinisikan karakteristik aliran fluida dan tegangan geser di sekitar geometri kendaraan. Kondisi batas (*boundary condition*) pada domain fluida

dikonfigurasi dengan *velocity inlet* yang diatur konstan pada variasi kecepatan 15 m/s, 30 m/s, dan 45 m/s. Proses inialisasi menggunakan metode *standard initialization*, dilanjutkan dengan proses komputasi (*solving*) yang dibatasi hingga 500 iterasi. Simulasi dinyatakan konvergen dan akurat apabila grafik residu menurun secara konsisten serta nilai Koefisien Hambat (C_d) dan Koefisien Angkat (C_l) telah mencapai angka yang stabil.

C. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menggunakan ansys workbench R2 2025, dengan pengaturan variasi kecepatan antara 15, 30, 45 m/s. Parameter yang di hasilkan adalah drag force, koefisien hambat (C_d), koefisien angkat (C_l), pressure contour, streamline velocity, turbulence kinetic energy, parameter tersebut diharapkan sudah mewakili seluruh karakteristik aerodinamsi daripada kendaraan yang di analisa. Hal ini sesuai dengan penelitian yang di lakukan oleh Sianipar, dkk (2021), yang juga menggunakan pendekatan numerik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mengevaluasi parameter krusial seperti *coefficient drag*, *coefficient lift*, dan *turbulent kinetic energy* guna mengidentifikasi performa aerodinamika bodi kendaraan.

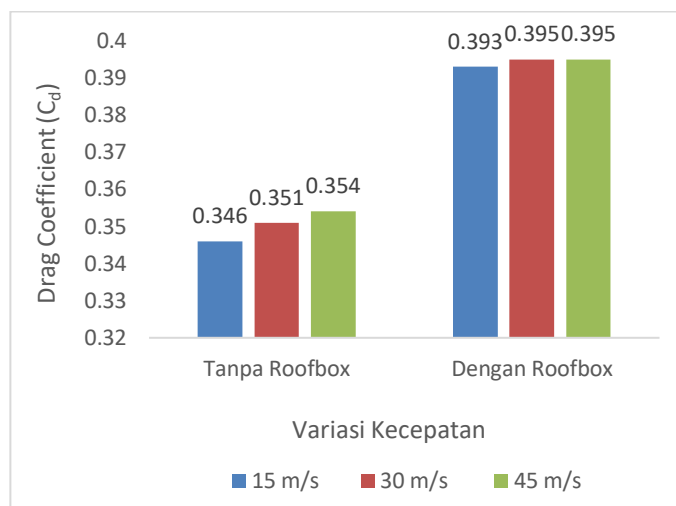


Gambar 4 Hasil Iterasi

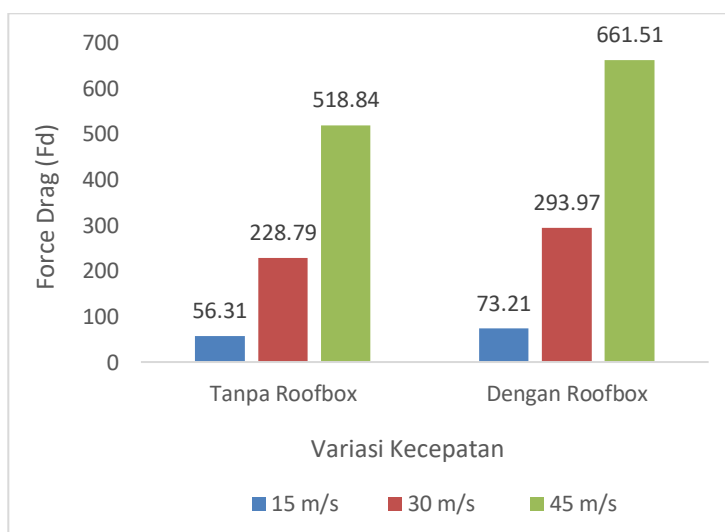
Berdasarkan Gambar 4, grafik pemantauan menunjukkan bahwa nilai Koefisien Hambat (C_d) telah melandai dan mencapai angka yang konstan (konvergen). Gambar ini memvalidasi bahwa perhitungan numerik telah selesai dan menghasilkan data yang akurat untuk dianalisis lebih lanjut.

1. *Coefficient Drag*

Hasil penelitian dengan iterasi sebanyak 500, menunjukkan bahwa terjadi peningkatan coefisien drag (C_d) pada kendaraan dengan menggunakan roofbox, seperti yang bisa dilihat pada table grafik di bawah ini.

Tabel 2 Grafik *Coefficient Drag*

Berdasarkan grafik tabel 2, dapat diamati bahwa penambahan roof box pada atap kendaraan menghasilkan peningkatan nilai Koefisien Gaya Hambat (C_d) yang signifikan pada seluruh variasi kecepatan. Pada kecepatan 15 m/s, nilai C_d meningkat sebesar 13,58% (dari 0,346 menjadi 0,393). Hal serupa terjadi pada kecepatan 30 m/s dan 45 m/s, dengan persentase kenaikan masing-masing sebesar 12,54% dan 11,58%. Rata-rata peningkatan hambatan aerodinamis akibat instalasi roof box berada pada kisaran 12,5%. Disisi lain variasi kecepatan mempengaruhi nilai koefisien hambatan.

Tabel 3 Grafik *Force Drag (Fd)*

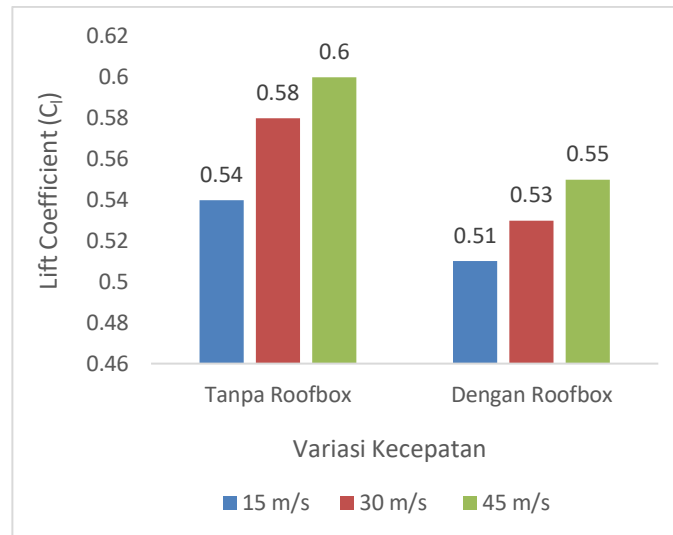
Grafik tabel 3, menunjukkan secara teoretis, lonjakan nilai ini dipicu oleh dua faktor aerodinamika utama. Pertama, penambahan *roof box* menciptakan area frontal baru yang memicu peningkatan hambatan tekanan (*pressure drag*), di mana aliran udara menabrak area depan *roof box* dan menciptakan zona stagnasi bertekanan tinggi. Kedua, terjadi fenomena pemisahan aliran udara (*flow separation*) di bagian belakang *roof box*. Aliran udara yang terlepas ini membentuk pusaran turbulen bertekanan rendah (*wake region*) yang memberikan efek hisapan ke arah belakang kendaraan. Fenomena peningkatan koefisien hambatan aerodinamis beserta korelasinya dengan

variasi kecepatan ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Salman, dkk (2025).

2. *Coefficient Lift*

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terjadi fenomena penurunan koefisien angkat, bisa dilihat pada tabel berikut.

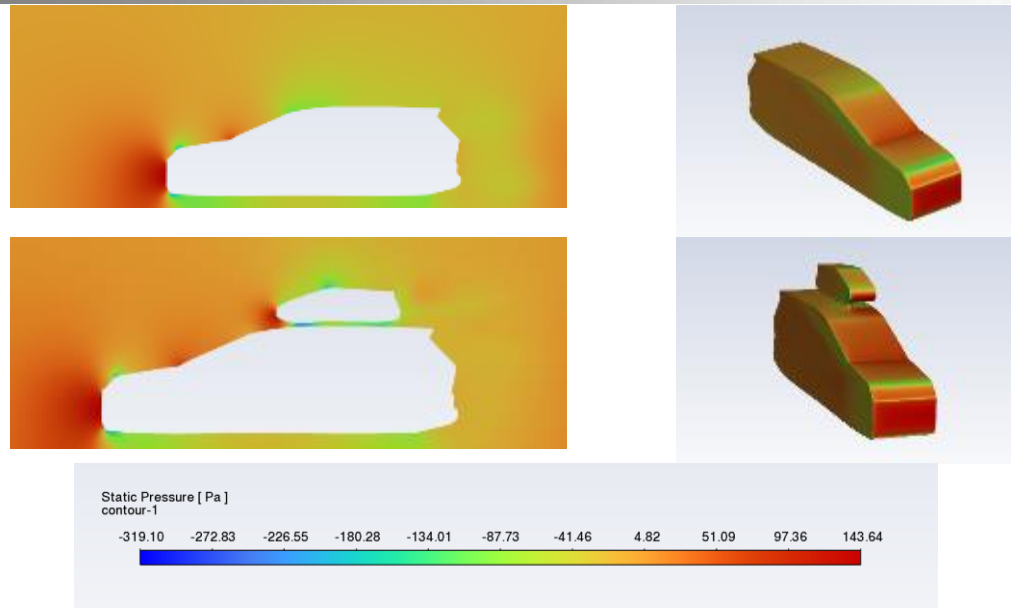
Tabel 4 Grafik *Coefficient Lift*



Berdasarkan Tabel Grafik 4, modifikasi penambahan roof box justru menurunkan nilai Koefisien Gaya Angkat (C_l) pada semua variasi kecepatan. Sebagai contoh, pada kecepatan 15 m/s nilai turun sebesar 5,56%, dari 0,54 menjadi 0,51. Penurunan ini terjadi karena roof box merusak profil aerodinamis di bagian atap kendaraan. Pada mobil standar, atap yang melengkung mulus menciptakan aliran udara berkecepatan tinggi dengan tekanan rendah yang menghasilkan gaya angkat (efek airfoil). Namun, keberadaan roof box memecah aliran udara tersebut menjadi turbulen. Benturan angin dengan roof box menyebabkan kecepatan udara di atap melambat sehingga tekanan statisnya meningkat. Peningkatan tekanan dari sisi atas ini secara otomatis menekan kendaraan ke bawah (downforce), yang pada akhirnya membuat total gaya angkat (C_l) menjadi lebih rendah dibandingkan mobil standar.

3. *Pressure Symmetry dan Body Contour*

Hasil berikutnya adalah pada perbedaan tekanan pada kendaraan yang standar dan dengan modifikasi penambahan roofbox, seperti pada gambar 5 yang menunjukkan perbedaan distribusi tekanan.

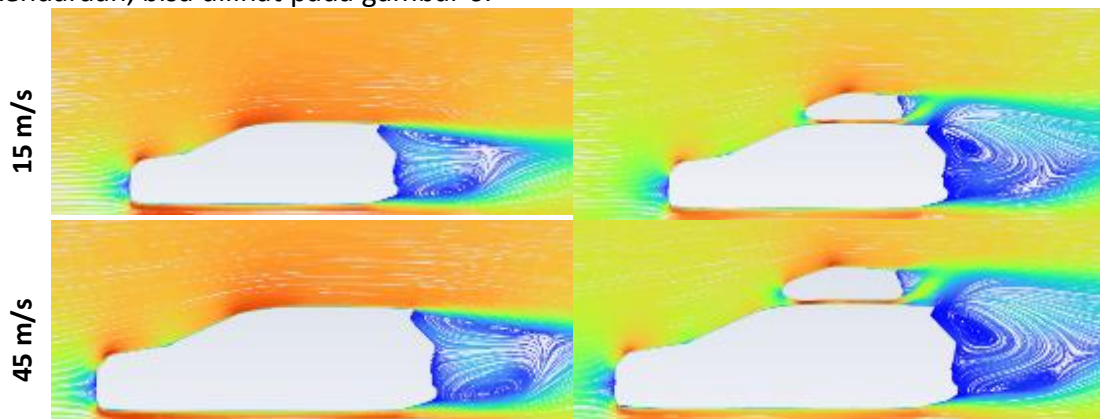


Gambar 5 Pressure Contour

Gambar 5 menunjukkan perbedaan distribusi tekanan udara, di mana warna merah merepresentasikan area bertekanan tinggi akibat benturan angin. Pada mobil standar (atas), tekanan tinggi hanya terpusat di area bumper depan, sementara aliran di atap cenderung mulus. Sebaliknya, pada mobil dengan modifikasi (bawah), muncul area merah baru di bagian depan roof box. Area merah ini membuktikan bahwa roof box menabrak aliran angin secara frontal sehingga menciptakan Hambatan Tekanan (*Force Drag*). Visualisasi inilah yang membuktikan mengapa nilai Koefisien Gaya Hambat (C_d) meningkat secara signifikan pada mobil yang menggunakan roof box.

4. *Streamline Velocity* dan *Turbulence Kinetic Energy*

Berikut merupakan hasil dari *velocity streamline* atau laju aliran fluida pada kendaraan, bisa dilihat pada gambar 6.

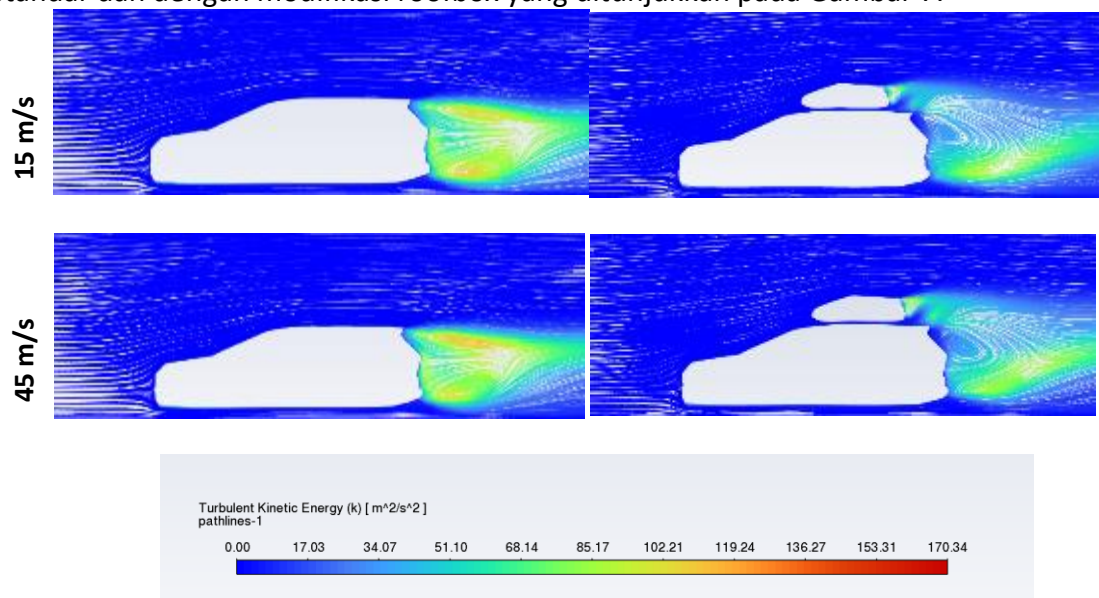




Gambar 6 Velocity Streamline

Gambar 6 menunjukkan *streamline velocity* pada kecepatan 15 m/s (atas) dan 45 m/s (bawah). Terlihat bahwa penambahan *roof box* memperluas *wake region* (area pusaran biru berkecepatan rendah) di bagian belakang kendaraan. Perluasan area turbulen inilah yang memperbesar efek hisapan vakum, sehingga nilai Koefisien Gaya Hambat (C_d) dapat melonjak. Di sisi lain, pola lintasan udara pada 15 m/s dan 45 m/s tampak identik tanpa perubahan bentuk separasi aliran. Kesamaan visual ini memvalidasi terjadinya peningkatan koefisien hambat yang tidak terlalu signifikan pada variasi kecepatan.

Selanjutnya adalah perbedaan visualisasi turbulente kinetic energy pada kendaraan standar dan dengan modifikasi *roofbox* yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Turbulence Kinetic Energy

Gambar 7 menampilkan visualisasi kontur Turbulent Kinetic Energy (TKE) dengan rentang skala dari 0,00 hingga 170,34 m²/s². Berdasarkan visualisasi tersebut, penambahan modifikasi *roof box* terbukti memicu peningkatan energi turbulensi. Pada kendaraan standar, area *wake region* di bagian belakang didominasi oleh nilai TKE yang relatif rendah, yakni di bawah 34,07 m²/s². Sebaliknya, keberadaan *roof box* berada di rentang 51,10 - 85,17 m²/s². Lebih lanjut, variasi kecepatan juga memberikan dampak terhadap besaran energi turbulensi. Peningkatan kecepatan dari 15 m/s menjadi 45 m/s meningkatkan intensitas TKE pada angka 102,21 - 136,27 m²/s².

D. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, pada kendaraan standar dan dengan

modifikasi penambahan roofbox, didapat hasil, pertama pada peningkatan nilai koefisien hambat (C_d) sebesar 13,58% (dari 0,346 menjadi 0,393) pada kecepatan 15 m/s, selanjutnya pada variasi kecepatan 30 m/s dan 45 m/s terjadi peningkatan sebesar 12,54% dan 11,58%. Sebaliknya pada nilai koefisien angkat terjadi penurunan angka sebesar 5,56%, dari 0,54 menjadi 0,51. Peningkatan koefisien hambat dipicu oleh kemunculan zona bertekanan tinggi baru (*high-pressure zone*) pada penampang frontal *roof box*, sebagaimana tervisualisasi pada *pressure contour*, yang menghasilkan *force drag* tambahan. Di sisi lain, penurunan (C_l) terjadi akibat disrupsi aliran mulus di area atap (*airfoil effect disruption*), yang tergambar pada *velocity streamline*, di mana perlambatan angin di atas kendaraan justru menciptakan tekanan statis yang menekan bodi ke bawah (*downforce*). Lebih lanjut, visualisasi *turbulent kinetic energy* mengonfirmasi bahwa penambahan *roof box* memperluas area pusaran (turbulensi) dan menciptakan ruang vakum yang lebih masif di bagian belakang kendaraan (*wake region*).

Untuk penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jenis atau tipe kendaraan yang berbeda, dengan perbaikan mesh dan memperbanyak nilai nodes dan menambah jumlah iterasi yang ada untuk menambah akurasi simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J. D. (2017). *Fundamentals of Aerodynamics* (6th ed.). McGraw-Hill Education.
- Bagus Gede Didit Citra Anggarana, I Made Gatot Karohika, S.T, M.T. (2022). *ANALISIS AERODINAMIKA BODI MOBIL DENGAN VARIASI KECEPATAN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK CFD*. *Sibatik Journal*, 1(8), 1455-1462.
- Hibatullah, H. L., & Wailanduw, A. G. (2025). *Analisa aerodinamika pada kendaraan GARED IV dengan variasi sudut rear diffuser menggunakan metode computational fluid dynamics*. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 14(1), 81–88.
- Hisamuddin, M. A., Ishak, I. A., Arafat, M., Rashid, R. A., Mohammad, A. F., Samiran, N. A., & Zolpakar, N. A. (2025). *CFD Investigation on the Influence of Roof Box Cargo Carrier Designs on Automobile Aerodynamics*. *International Journal of Integrated Engineering*, 17(1), 60-71.
- Hucho, W.-H. (1998). *Aerodynamics of Road Vehicles: From Fluid Mechanics to Vehicle Engineering* (4th ed.). SAE International.
- Katz, J. (2016). *Automotive Aerodynamics*. John Wiley & Sons.
- Salman, S. S., Rachmanto, T., & Yudhyadi, I. (2025). *Analisis Aerodinamika dan Gaya pada Mobil Listrik Himpunan Teknik Mesin FT UNRAM dengan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD)*. *Prosiding SAINTEK LPPM Universitas Mataram*, 7, 298-306.
- Sianipar, R. M. B., Hiendro, A., & Wicaksono, R. A. (2021). *Simulasi Aerodinamika Bodi Mobil Listrik Fakultas Teknik Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)*. *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN)*, 2(2), 135-141.
- Tu, J., Yeoh, G. H., & Liu, C. (2018). *Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach* (3rd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method* (2nd ed.). Pearson Education Limited.

- Wahyudi, G. R., & Haris, M. (2014). *Pengaruh Bentuk Pengarah Angin (Deflector) Terhadap Karakteristik Aerodinamis Kendaraan Niaga (TRUCK)*. Jurnal ROTOR, 7(1), 43-47.
- Wirawan, M., Yudhyadi, I. G. N. K., & Aswari, Y. (2018). *Analisis Aerodinamika Mobil Listrik "Mandalika EV" menggunakan software autodesk computational fluid dynamic (CFD) 2016*. Dinamika Teknik Mesin, 3(3), 23-27.