SIMULASI NUMERIK PENGARUH VARIASI RASIO PANJANG BAGIAN ATAS – PANJANG BAGIAN BAWAH *ROOF BOX* TERHADAP KARAKTERISTIK AERODINAMIKA PADA MOBIL *MPV*

Raihan Fari' Al Mubarok
S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: raihan.22089@mhs.unesa.ac.id

Dr. A. Grummy Wailanduw, M.Pd., M.T.
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: grummywailanduw@unesa.ac.id

Abstrak

Penggunaan *roof box* pada kendaraan *Multi Purpose Vehicle* (MPV) dapat meningkatkan kapasitas muatan tanpa mengurangi ruang kabin penumpang. Namun, pemasangan *roof box* mengubah geometri bagian atap kendaraan sehingga dapat memengaruhi karakteristik aerodinamika, khususnya gaya hambat dan gaya angkat. Salah satu faktor geometris yang memengaruhi karakteristik tersebut adalah rasio panjang bagian atas terhadap panjang bagian bawah (Pa/Pb) *roof box*. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi rasio Pa/Pb terhadap karakteristik aerodinamika mobil tipe MPV dengan volume *roof box* tetap 450 liter. Penelitian dilakukan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada model tiga dimensi mobil Kijang LGX dengan roof box tipe hard-shell. Variasi rasio Pa/Pb yang digunakan adalah 0,47; 0,54; dan 0,61; sedangkan kecepatan aliran udara sebesar 80 km/jam, 100 km/jam, dan 120 km/jam. Pemodelan dilakukan menggunakan *SolidWorks* dan simulasi menggunakan *ANSYS Fluent* dengan asumsi aliran *steady* dan *incompressible*. Parameter yang dianalisis meliputi koefisien hambat (C_D), koefisien angkat (C_L), kontur tekanan, dan garis alir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio Pa/Pb = 0,47 menghasilkan koefisien hambat (C_D) dan Koefisien angkat (C_L) tertinggi, sedangkan Pa/Pb = 0,61 menghasilkan nilai terendah. Pada Re = 6,21 × 10^6, koefisien hambat (C_D) masing-masing sebesar 0,3889, 0,3839, dan 0,3815. Pada Re = 9,31 × 10^6, Koefisien angkat (C_L) masing-masing sebesar 0,1080, 0,1073, dan 0,0909. Kontur tekanan menunjukkan perubahan distribusi tekanan yang lebih bertahap pada rasio Pa/Pb yang lebih besar, sedangkan *velocity streamline* menunjukkan *wake* yang lebih ramping pada Pa/Pb = 0,61. Dengan demikian, Pa/Pb = 0,61 menunjukkan karakteristik aerodinamika paling rendah berdasarkan koefisien hambat (C_D) dan koefisien angkat (C_L) serta pola aliran yang lebih bertahap.
Kata Kunci: aerodinamika, CFD, *roof box*, mobil MPV, rasio panjang bagian atas – panjang bagian bawah

Abstract

The use of a roof box on a Multi-Purpose Vehicle (MPV) can increase cargo capacity without reducing passenger cabin space. However, installing a roof box alters the geometry of the vehicle's roof, which can affect its aerodynamic characteristics—particularly drag and lift. One geometric factor that influences these characteristics is the ratio of the roof box's upper length to its lower length (Pa/Pb). This study aims to analyze the effect of variations in the Pa/Pb ratio on the aerodynamic characteristics of an MPV-type vehicle with a fixed roof box volume of 450 liters. The study was conducted using Computational Fluid Dynamics (CFD) on a three-dimensional model of a Kijang LGX vehicle equipped with a hard-shell roof box. The Pa/Pb ratios used were 0.47, 0.54, and 0.61, while the airflow speeds were 80 km/h, 100 km/h, and 120 km/h. Modeling was performed using SolidWorks, and the simulation using ANSYS Fluent, assuming steady and incompressible flow. The parameters analyzed included the coefficient drag (C_D), coefficient lift (C_L), pressure contours, and streamlines. The results showed that a Pa/Pb ratio of 0.47 produced the highest coefficient drag (C_D) and coefficient lift (C_L), while a Pa/Pb ratio of 0.61 produced the lowest values. At Re = 6.21 × 10^6, the coefficients drag (C_D) were 0.3889, 0.3839, and 0.3815, respectively. At Re = 9.31 × 10^6, the coefficients lift (C_L) were 0.1080, 0.1073, and 0.0909, respectively. The pressure contours show a more gradual change in pressure distribution at higher Pa/Pb ratios, while the velocity streamlines show a slimmer wake at Pa/Pb = 0.61. Thus, Pa/Pb = 0.61 exhibits the most favorable aerodynamic characteristics based on the coefficient drag (C_D) and coefficient lift (C_L), as well as a more gradual flow pattern.
***Keywords**: aerodynamics, CFD, roof box, MPV, upper to lower length ratio*

PENDAHULUAN

Mobil merupakan sarana transportasi yang memiliki peranan penting dalam menunjang mobilitas masyarakat. Salah satu jenis kendaraan yang banyak digunakan di Indonesia adalah *Multi Purpose Vehicle* (MPV), karena memiliki kapasitas penumpang yang besar serta ruang kabin yang fleksibel untuk kebutuhan keluarga maupun perjalanan jarak jauh. Namun, keterbatasan ruang bagasi pada kendaraan MPV sering kali menjadi kendala ketika pengguna membawa barang dalam jumlah banyak. Salah satu solusi yang digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah pemasangan *roof box* pada bagian atap kendaraan. Penggunaan aksesori ini dapat meningkatkan

kapasitas penyimpanan tanpa mengurangi ruang kabin penumpang (Janicki & Piechna, 2019).

Meskipun memberikan tambahan kapasitas penyimpanan, pemasangan *roof box* dapat mengubah geometri kendaraan dan memengaruhi karakteristik aliran udara di sekitarnya. Perubahan tersebut berpotensi meningkatkan gaya hambat (*drag*) dan mengubah distribusi tekanan yang berpengaruh terhadap gaya angkat (*lift*) kendaraan. Menurut (Zhang et al., 2025) melaporkan bahwa penggunaan *car top box* dapat meningkatkan koefisien hambat hingga 10,4%, sedangkan penelitian (Sandberg, 2022) menunjukkan bahwa peningkatan hambatan akibat penggunaan *roof box* dapat mencapai 40%, bergantung pada desain dan konfigurasi yang digunakan. Dampak tersebut menunjukkan bahwa pemilihan geometri *roof box* perlu diperhatikan untuk memperoleh karakteristik aerodinamika yang lebih baik.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah membahas pengaruh penggunaan *roof box* terhadap aerodinamika kendaraan melalui perubahan bentuk, posisi, dan orientasi pemasangan. Penelitian oleh (Hisamuddin et al., 2025) mengkaji pengaruh desain serta posisi *roof box* terhadap karakteristik aerodinamika kendaraan MPV, khususnya koefisien angkat. Sementara itu, (Janicki dan Piechna, 2019) meneliti pengaruh posisi pemasangan *roof box* terhadap gaya hambat dan karakteristik aliran udara. Penelitian (Norkus, 2022) juga menunjukkan bahwa perubahan orientasi *roof box* dapat memengaruhi hambatan udara dan konsumsi bahan bakar kendaraan. Berbagai penelitian tersebut memperlihatkan bahwa perubahan konfigurasi *roof box* memiliki pengaruh terhadap performa aerodinamika kendaraan. Namun, kajian mengenai pengaruh perbandingan panjang bagian atas terhadap panjang bagian bawah (*Pa/Pb*) dengan volume *roof box* yang dipertahankan tetap pada kendaraan MPV masih perlu dikembangkan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi rasio panjang bagian atas terhadap panjang bagian bawah (*Pa/Pb*) *roof box* terhadap karakteristik aerodinamika mobil MPV. Penelitian menggunakan model kendaraan Toyota Kijang LGX dengan *roof box* tipe *hard-shell* berkapasitas tetap 450 liter. Variasi rasio *Pa/Pb* yang digunakan adalah 0,47; 0,54; dan 0,61, dengan kecepatan aliran udara masing-masing 80 km/jam, 100 km/jam, dan 120 km/jam. Analisis dilakukan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) melalui perangkat lunak *ANSYS Fluent* dengan kondisi aliran *steady* dan *incompressible*.

Parameter yang dianalisis meliputi koefisien hambat (C_D), koefisien angkat (C_L), *pressure contour*, serta *velocity streamline*. Dengan mempertahankan volume *roof box* pada 450 liter, penelitian ini difokuskan untuk mengetahui pengaruh perubahan geometri terhadap karakteristik aerodinamika kendaraan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh rasio *roof box* yang memiliki karakteristik aerodinamika lebih baik, sekaligus menjadi referensi dalam pengembangan desain *roof box* yang mempertimbangkan aspek kapasitas dan efisiensi aerodinamika.

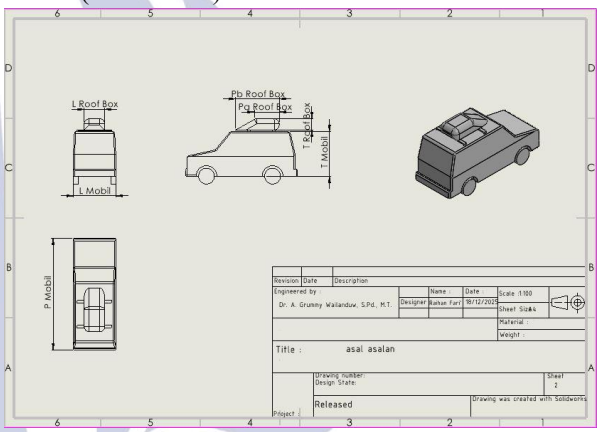
METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk menganalisis pengaruh variasi rasio panjang bagian atas terhadap panjang bagian bawah (Pa/Pb) *roof box* terhadap karakteristik aerodinamika pada mobil MPV. Analisis difokuskan pada koefisien hambat (C_D), koefisien angkat (C_L), serta pola aliran udara (*pressure contour* dan *velocity streamline*). Pemodelan geometri mobil MPV dan *roof box* dilakukan menggunakan *SolidWorks* 2024, sedangkan simulasi numerik aliran udara dilakukan menggunakan *ANSYS Fluent 2025 R2*.

Objek penelitian

Objek Penelitian yang digunakan adalah mobil MPV dengan tambahan *roof box* yang dianalisis dalam domain 3 dimensi (3D Domain).



Gambar 1 Mobil MPV dengan tambahan *roof box*

Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah rasio panjang bagian atas terhadap panjang bagian bawah (Pa/Pb) pada *roof box*, dengan tiga variasi, yaitu 0,47; 0,54; dan 0,61.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini meliputi koefisien hambat (C_D), koefisien angkat (C_L), dan pola aliran udara (*pressure contour* dan *velocity streamline*) pada mobil MPV dengan variasi rasio *roof box*.

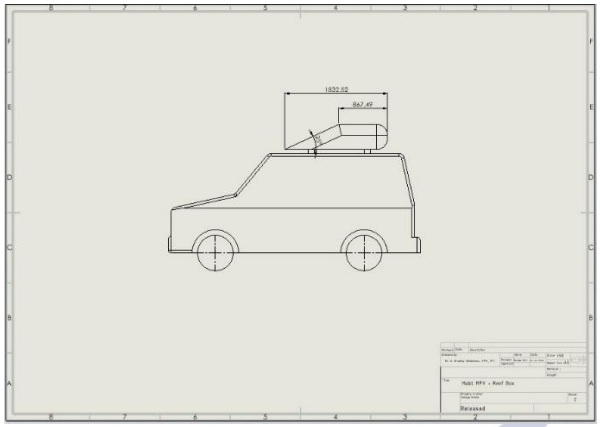
3. Variabel Kontrol

a. Jenis *roof box*, yaitu *hard-shell*.
b. Volume *roof box* tetap 450 liter.
c. Kecepatan aliran udara sebesar 80 km/jam, 100 km/jam, dan 120 km/jam.
d. Kondisi dan karakteristik udara, meliputi jenis fluida, temperatur 30°C, massa jenis 1,17 kg/m³, dan viskositas dinamis 1,872 $\times 10^{-5}$Ns/m².
e. Kondisi simulasi, yaitu aliran tunak (*steady*)

TEKNIK PENGUMPULAN DATA

Tahap *Pre-Processing*

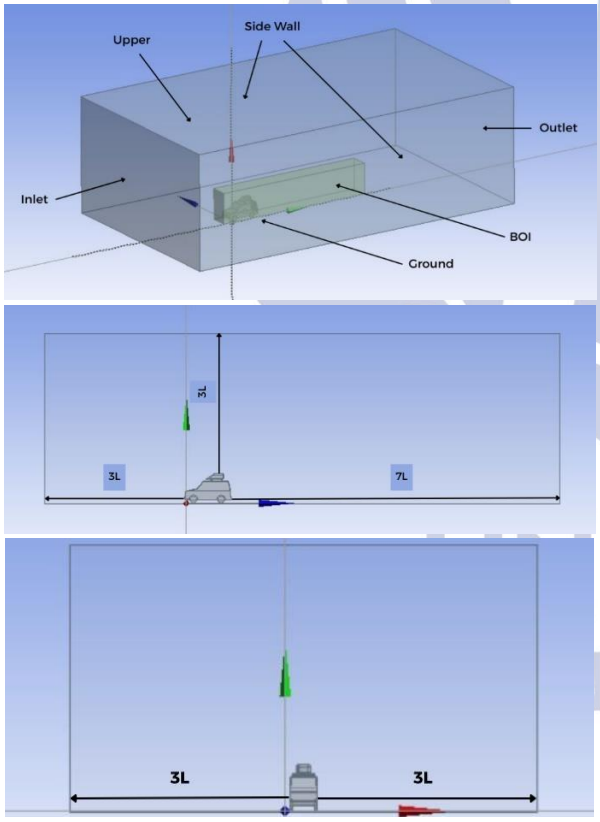
1. Pembuatan geometri



Gambar 2 Pembuatan geometri mobil mpv dengan penambahan *roof box*

Dalam penelitian ini, geometri dibuat menggunakan software *Solidworks*.

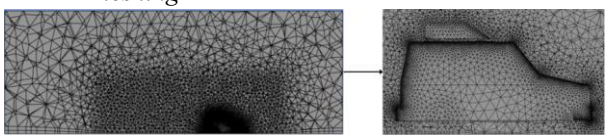
2. Pembuatan *domain*



Gambar 3 Domain beserta ukuran domain

Menurut (Versteeg & Malalasekera, 2007), ukuran *domain* fluida ditentukan agar batas *domain* tidak mempengaruhi aliran di sekitar model, dengan jarak *inlet*, samping, dan atas sekitar 3L serta *outlet* sekitar 7L untuk memungkinkan perkembangan *wake* secara alami yang dimana ukuran 1L sebesar 4490 mm.

3. Proses *meshing*



Gambar 4 Meshing mobil mpv dengan penambahan *roof box*

meshing adalah proses dikritisasi yaitu proses seperti kita memecah sesuatu yang kompleks menjadi bagian yang lebih sederhana. Proses meshing dibantu dengan software Ansys Meshing 2025 R2 dengan bentuk mesh tetrahedron, Mesh tetrahedron sangat cocok untuk membentuk geometri yang tidak teratur atau dengan kurva ekstrim.

4. Penentuan *solver* dan *boundary condition*

Simulasi dilakukan menggunakan *pressure-based solver* dengan asumsi aliran tunak (steady). Kondisi batas yang digunakan meliputi *velocity inlet* dengan variasi kecepatan 22,22 m/s, 27,78 m/s, dan 33,33 m/s, *pressure outlet* dengan tekanan relatif 0 Pa, serta permukaan mobil dan *roof box* sebagai wall dengan kondisi no-slip. Properti udara ditetapkan pada nilai densitas dan viskositas konstan.

Tahap *Processing*

Tahap *processing* merupakan proses penyelesaian persamaan aliran fluida menggunakan *ANSYS Fluent* melalui iterasi berulang hingga mencapai konvergensi. Proses ini dilakukan untuk memperoleh hasil simulasi yang stabil dan akurat berdasarkan pengaturan *solver* serta kondisi batas yang telah ditentukan.

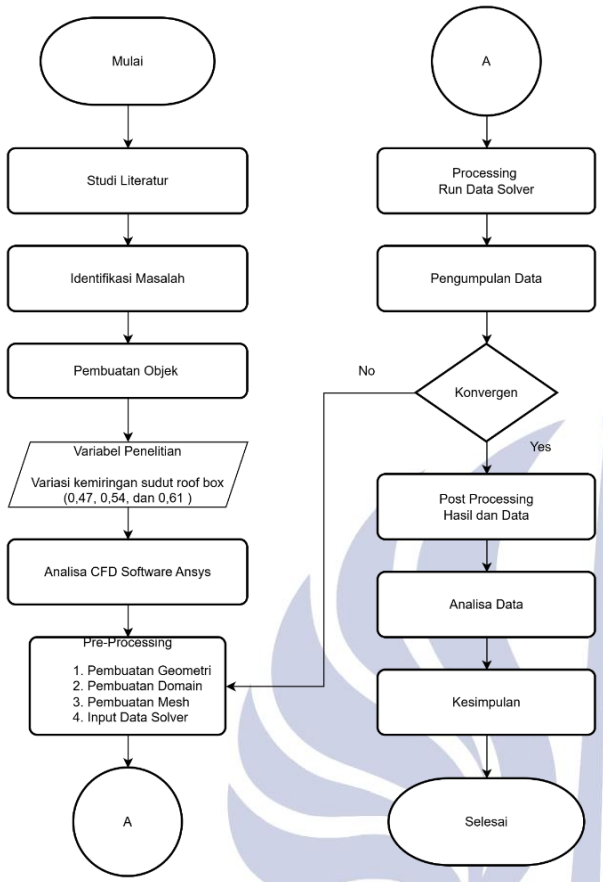
Tahap *Post-Processing*

Tahap *post-processing* dilakukan untuk menganalisis hasil simulasi berupa nilai koefisien hambat (C_D) dan koefisien angkat (C_L) serta visualisasi pola aliran udara berupa *pressure contour* dan *velocity streamline* di sekitar kendaraan.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi pada setiap variasi rasio Pa/Pb (0,47; 0,54; dan 0,61) serta kecepatan udara 80 km/jam, 100 km/jam, dan 120 km/jam. Analisis meliputi nilai koefisien hambat (C_D), koefisien angkat (C_L), dan pola aliran udara (*Pressure contour* dan *velocity streamline*) untuk mengetahui pengaruh variasi rasio terhadap karakteristik aerodinamika kendaraan. Nilai - nilai parameter kemudian disajikan dalam bentuk kontur dan grafik.

***Flow Chart* Penelitian**



Gambar 5 Flow Chart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi Model Turbulensi

Proses validasi model dilakukan dengan membandingkan nilai koefisien hambat (C_D) hasil simulasi menggunakan lima model turbulensi terhadap data eksperimen (Bayindirli & Celik, 2022) pada bilangan *Reynolds* $2{,}62 \times 10^5$.

Tabel 1 Hasil Validasi Model

No	*Viscous Model*	Hasil C_D	Error (%)
1	Eksperimen (Bayindirli & Celik, 2022)	0,476	
2	K-ω SST	0,506	6,30
3	K-ω *standart*	0,512	7,56
4	K-ε *standart*	0,493	3,57
5	K-ε RNG	0,515	8,19
6	K-ε *realizable*	0,489	2,73

dengan nilai C_D sebesar 0,476. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa model turbulensi *k-ε Realizable* menghasilkan nilai C_D sebesar 0,489 dengan tingkat *error* terkecil, yaitu 2,73%. Oleh karena itu, model turbulensi tersebut dipilih untuk digunakan pada simulasi.

Grid Independence Test

Tabel 2 Hasil Grid Independence Test

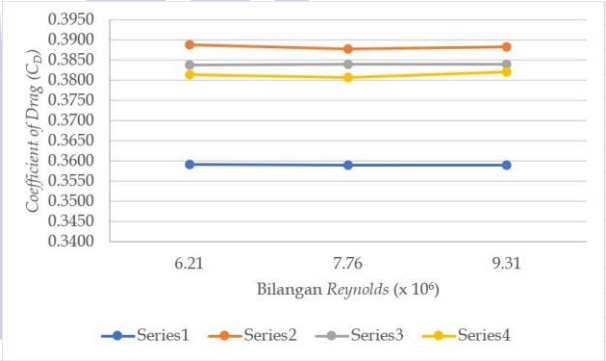
No	*Mesh Elements (cells)*	*Mesh Nodes (Total)*	Hasil C_D	Error (%)
1	Eksperimen (Bayindirli & Celik, 2022)		0,476	
2	770235	144208	0,4890	2,73
3	780873	146555	0,4859	2,08
4	790251	148495	0,4946	3,91
5	802080	150889	0,4935	3,68
6	811129	152836	0,4884	2,61
7	835786	157966	0,5014	5,34

Berdasarkan hasil pengujian, *mesh* dengan 780.873 *elements cells* menghasilkan nilai C_D sebesar 0,4859 dan *error* sebesar 2,08%. Oleh karena itu, mesh tersebut dipilih untuk digunakan pada simulasi.

Perbandingan Hasil Pengambilan Data

Tabel 3 Data hasil C_D simulasi

Rasio / *Reynolds*	Tanpa *Roof Box*	0,47	0,54	0,61
	C_D	C_D	C_D	C_D
Re 6,21 x 10^6	0,3592	0,3889	0,3839	0,3815
Re 7,76 x 10^6	0,3590	0,3879	0,3840	0,3807
Re 9,31 x 10^6	0,3591	0,3883	0,3841	0,3821

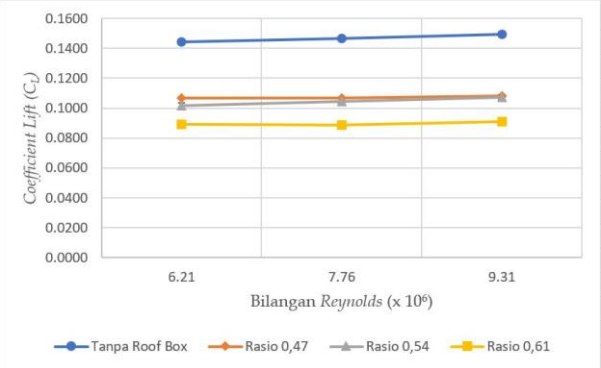


Gambar 6 Perbandingan koefisien *drag* (C_D) pada setiap variasi rasio Pa/Pb *roof box* dengan tiga bilangan *reynolds*

Berdasarkan grafik koefisien *drag* (C_D) pemasangan *roof box* pada mobil mpv menyebabkan peningkatan nilai koefisien hambat (C_D) dibandingkan dengan kendaraan tanpa *roof box*. Pada Re = 6,21 × 10^6, nilai C_D kendaraan tanpa *roof box* sebesar 0,3592, sedangkan pada variasi rasio Pa/Pb 0,47; 0,54; dan 0,61 masing-masing sebesar 0,3889; 0,3839; dan 0,3815. Kecenderungan yang sama juga terlihat pada Re = 7,76 × 10^6 dan 9,31 × 10^6, dengan rasio 0,47 menghasilkan nilai C_D tertinggi, sementara rasio 0,61 menghasilkan nilai terendah di antara ketiga variasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan geometri *roof box* memengaruhi hambatan pada kendaraan. Semakin besar rasio Pa/Pb, nilai C_D cenderung semakin rendah. Dengan demikian, variasi rasio Pa/Pb sebesar 0,61 memberikan nilai koefisien hambat terendah dibandingkan variasi lainnya.

Tabel 4 Data hasil C_L simulasi

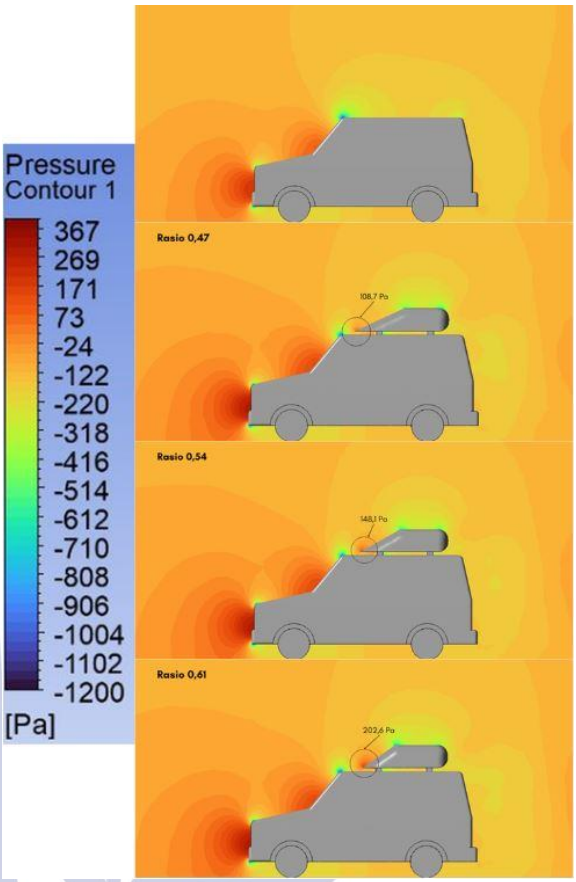
Rasio / *Reynolds*	Tanpa *Roof Box*	0,47	0,54	0,61
	C_L	C_L	C_L	C_L
Re 6,21 x 10^6	0,1441	0,1067	0,1017	0,0891
Re 7,76 x 10^6	0,1465	0,1068	0,1045	0,0887
Re 9,31 x 10^6	0,1494	0,1080	0,1073	0,0909



Gambar 7 Perbandingan koefisien *lift* (C_L) pada setiap variasi rasio Pa/Pb *roof box* dengan tiga bilangan *reynolds*

Berdasarkan grafik koefisien *lift* (C_L) pemasangan *roof box* pada mobil mpv menyebabkan penurunan nilai koefisien angkat (C_L) dibandingkan dengan kendaraan tanpa *roof box*. Pada Re sebesar 6,21 × 10^6, nilai C_L kendaraan tanpa *roof box* sebesar 0,1441, sedangkan pada rasio Pa/Pb 0,47; 0,54; dan 0,61 masing-masing sebesar 0,1067; 0,1017; dan 0,0891. Kecenderungan serupa juga terlihat pada Re sebesar 7,76 × 10^6 dan 9,31 × 10^6, dengan nilai C_L terendah secara konsisten diperoleh pada rasio 0,61. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi geometri *roof box* memengaruhi karakteristik gaya angkat melalui perubahan distribusi tekanan pada permukaan kendaraan. Semakin besar rasio Pa/Pb, nilai C_L cenderung semakin rendah. Meskipun terjadi sedikit perubahan nilai C_L akibat peningkatan bilangan *Reynolds*, perbedaan antar variasi rasio tetap menunjukkan kecenderungan yang sama. Dengan demikian, rasio Pa/Pb sebesar 0,61 memberikan hasil koefisien angkat paling rendah.

Perbandingan *pressure contour* pada *reynolds number* 6,21 x 10^6



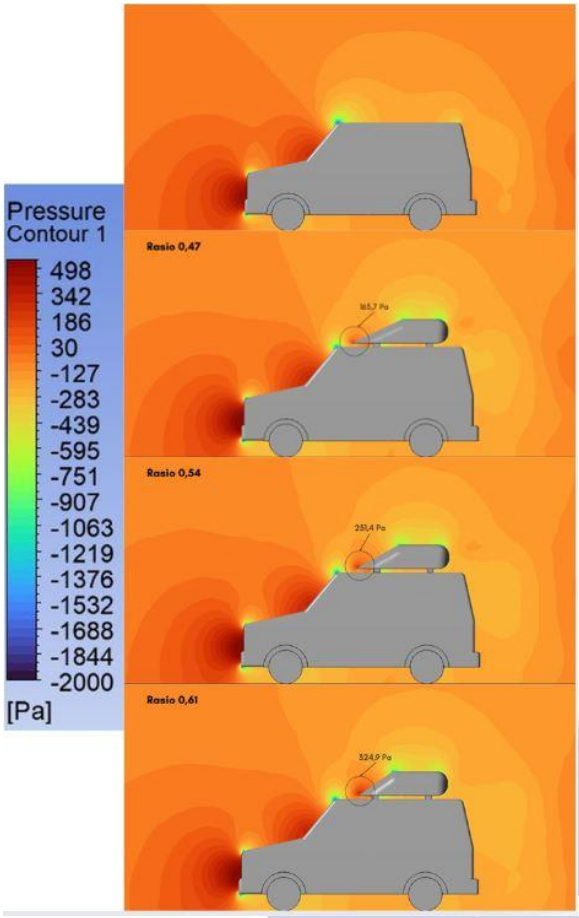
Gambar 8 Kontur tekanan pada mobil mpv tanpa *roof box* dan dengan *roof box* variasi 0,47; 0,54; 0,61 pada bilangan *reynolds* 6,21 x 10^6

Pada gambar 8 distribusi tekanan pada permukaan mobil MPV menunjukkan perbedaan antara kondisi tanpa *roof box* dan dengan penambahan *roof box* pada variasi rasio Pa/Pb 0,47; 0,54; dan 0,61. Pada kendaraan tanpa *roof box*, tekanan tinggi terkonsentrasi di bagian depan akibat terbentuknya *stagnation region*. Sementara itu, pemasangan *roof box* menghasilkan daerah tekanan tinggi tambahan pada bagian depan *roof box* karena menjadi bidang tumbukan baru bagi aliran udara. Perubahan distribusi tekanan ini memengaruhi keseimbangan tekanan pada bagian atas dan bawah kendaraan sehingga nilai koefisien angkat (C_L) menjadi lebih rendah dibandingkan kondisi tanpa *roof box*. Perbedaan geometri juga menghasilkan karakteristik tekanan yang berbeda, yaitu rasio 0,47 memiliki bagian depan lebih curam dengan perubahan tekanan yang lebih tajam, sedangkan rasio 0,54 dan 0,61 menunjukkan perubahan yang lebih bertahap seiring bentuk bagian depan *roof box* yang semakin landai. Hasil ini sejalan dengan penelitian (Hisamuddin et al., 2025), yang menunjukkan bahwa pemasangan *roof box* dapat mengubah distribusi tekanan pada bagian atas kendaraan dan menurunkan koefisien angkat. Dengan demikian, variasi rasio Pa/Pb memengaruhi interaksi

UNESA Universitas Negeri Surabaya

aliran udara dengan permukaan *roof box* serta karakteristik gaya angkat kendaraan.

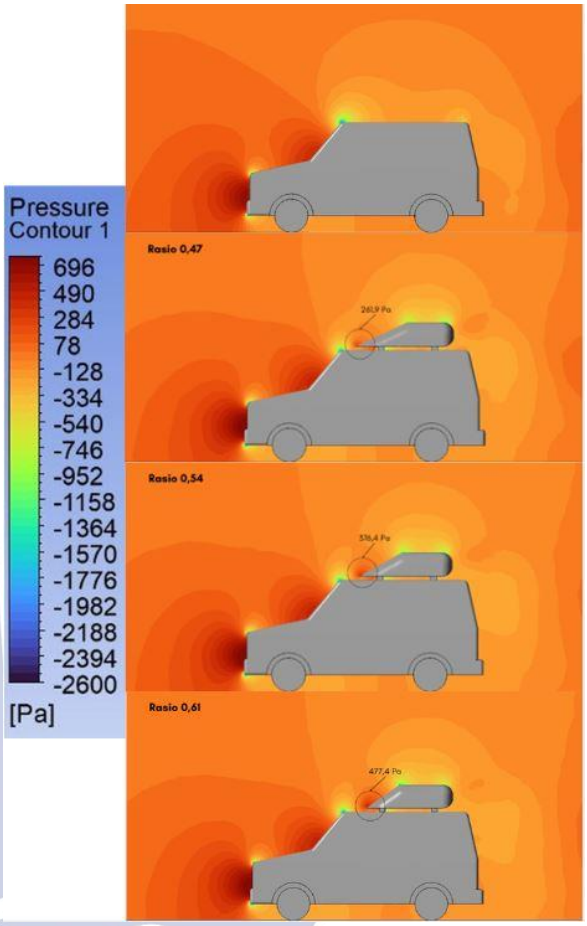
Perbandingan *pressure contour* pada *reynolds number* 7,76 x 10^6



Gambar 9 Kontur tekanan pada mobil mpv tanpa *roof box* dan dengan *roof box* variasi 0,47; 0,54; 0,61 pada bilangan *reynolds* 7,76 x 10^6

Pada gambar 9 *reynolds number* 7,76 x 10^6, distribusi tekanan menunjukkan pola yang serupa dengan kondisi sebelumnya, yaitu tekanan tinggi terkonsentrasi pada bagian depan kendaraan dan bagian depan *roof box*. Hal ini menunjukkan bahwa pemasangan *roof box* tetap memengaruhi distribusi tekanan di sekitar bagian atas kendaraan meskipun kecepatan aliran meningkat. Perbedaan rasio Pa/Pb juga menghasilkan karakteristik tekanan yang berbeda. Rasio 0,47 dengan bentuk bagian depan lebih curam menunjukkan perubahan tekanan yang lebih terkonsentrasi pada bagian ujung, sedangkan rasio 0,61 yang lebih landai menghasilkan perubahan tekanan secara bertahap. Kecenderungan tersebut sejalan dengan nilai koefisien angkat (C_L), di mana rasio 0,47 menghasilkan C_L lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya, sedangkan rasio 0,61 menghasilkan C_L terendah. Kesamaan pola distribusi tekanan pada variasi *Reynolds number* menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan aliran dalam rentang penelitian tidak mengubah karakteristik tekanan akibat pemasangan *roof box*, sehingga rasio Pa/Pb tetap menjadi faktor yang memengaruhi distribusi tekanan pada kendaraan.

Perbandingan *pressure contour* pada *reynolds number* 9,31 x 10^6



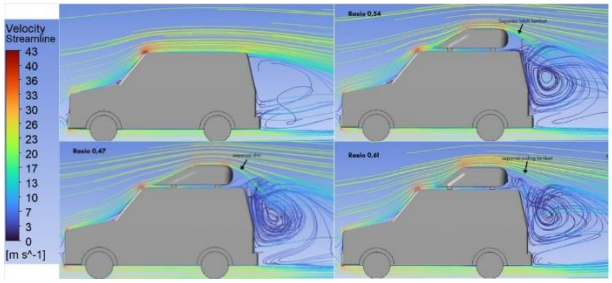
Gambar 10 Kontur tekanan pada mobil mpv tanpa *roof box* dan dengan *roof box* variasi 0,47; 0,54; 0,61 pada bilangan *reynolds* 9,31 x 10^6

Pada gambar 10 *reynolds number* sebesar 9,31 x 10^6, distribusi tekanan menunjukkan pola yang relatif serupa dengan kondisi sebelumnya, yaitu tekanan tinggi tetap terkonsentrasi pada bagian depan kendaraan dan bagian depan *roof box*. Perbedaan rasio Pa/Pb masih memengaruhi karakteristik distribusi tekanan, di mana rasio 0,47 dengan bentuk bagian depan lebih curam menghasilkan perubahan tekanan yang lebih terkonsentrasi pada bagian ujung, sedangkan rasio 0,61 yang lebih landai menunjukkan perubahan tekanan secara bertahap. Kecenderungan ini sejalan dengan hasil koefisien angkat (C_L), yang menunjukkan penurunan nilai seiring meningkatnya rasio Pa/Pb pada seluruh variasi *Reynolds number*. Secara keseluruhan, pemasangan *roof box* mengubah distribusi tekanan pada permukaan kendaraan, terutama di bagian atas, sehingga memengaruhi gaya angkat yang dihasilkan. Hasil ini konsisten dengan penelitian (Hisamuddin et al., 2025), yang menunjukkan bahwa perubahan pola aliran dan

UNESA Universitas Negeri Surabaya

distribusi tekanan akibat pemasangan *roof box* dapat menurunkan gaya angkat kendaraan.

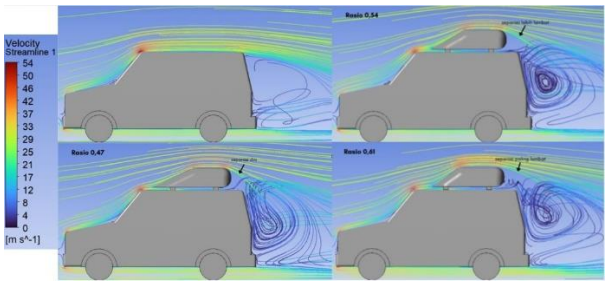
Perbandingan *Velocity Streamline* pada *reynolds number* 6,21 x 10^6



Gambar 11 *Velocity streamline* pada mobil mpv tanpa *roof box* dan dengan *roof box* variasi 0,47; 0,54; 0,61 pada bilangan *reynolds* 6,21 x 10^6

Pada gambar 11 pola *velocity streamline* pada variasi rasio Pa/Pb menunjukkan perbedaan karakteristik aliran di sekitar *roof box*. Rasio 0,47 dan 0,54 memperlihatkan percepatan aliran yang lebih terkonsentrasi pada bagian depan atas *roof box*, sedangkan rasio 0,61 menunjukkan perubahan kecepatan yang lebih landai sehingga aliran cenderung mengikuti kontur permukaan dengan lebih baik. Percepatan aliran yang tajam dapat diikuti oleh pemulihan tekanan dan terbentuknya *adverse pressure gradient*, yang menyebabkan momentum *boundary layer* berkurang sehingga aliran lebih mudah mengalami separasi. Kondisi tersebut berkaitan dengan terbentuknya daerah *wake* yang lebih besar dan kompleks pada rasio 0,47 dan 0,54 dibandingkan rasio 0,61. Sebagai kendaraan dengan karakteristik *bluff body*, luas daerah *wake* memengaruhi pemulihan tekanan di bagian belakang kendaraan dan berkontribusi terhadap hambatan tekanan. Hal ini sejalan dengan hasil koefisien hambat (C_D), di mana rasio 0,47 menghasilkan nilai tertinggi, sedangkan rasio 0,61 menghasilkan nilai terendah pada Re=6,21 x 10^6. Kecenderungan tersebut sesuai dengan penelitian (Tarakka et al., 2019), yang menunjukkan bahwa perubahan geometri permukaan kendaraan dapat memengaruhi karakteristik aliran, separasi, dan koefisien hambat.

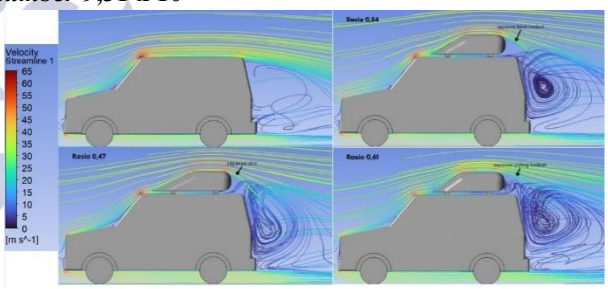
Perbandingan *Velocity Streamline* pada *reynolds number* 7,76 x 10^6



Gambar 12 *Velocity streamline* pada mobil mpv tanpa *roof box* dan dengan *roof box* variasi 0,47; 0,54; 0,61 pada bilangan *reynolds* 7,76 x 10^6

Pada gambar 12 *reynolds number* sebesar 7,76 x 10^6, pola *velocity streamline* menunjukkan karakteristik aliran yang relatif serupa dengan kondisi sebelumnya. Variasi rasio Pa/Pb 0,47 dan 0,54 masih memperlihatkan percepatan aliran yang lebih tajam dan terkonsentrasi pada bagian depan atas *roof box*, sedangkan rasio 0,61 menunjukkan perubahan kecepatan yang lebih halus dan bertahap. Perbedaan tersebut juga terlihat pada bagian belakang kendaraan, di mana rasio 0,47 dan 0,54 menghasilkan daerah *wake* yang lebih berkembang dibandingkan rasio 0,61. Kesamaan pola ini menunjukkan bahwa peningkatan *reynolds number* tidak mengubah kecenderungan karakteristik aliran antar variasi rasio Pa/Pb. Kondisi tersebut sejalan dengan nilai koefisien hambat (C_D), yaitu rasio 0,47 menghasilkan nilai tertinggi, diikuti rasio 0,54, sedangkan rasio 0,61 menghasilkan nilai terendah. Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan geometri *roof box* memengaruhi perkembangan aliran dan daerah *wake* di belakang kendaraan, sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian (Tarakka et al., 2019).

Perbandingan *Velocity Streamline* pada *reynolds number* 9,31 x 10^6



Gambar 13 *Velocity streamline* pada mobil mpv tanpa *roof box* dan dengan *roof box* variasi 0,47; 0,54; 0,61 pada bilangan *reynolds* 9,31 x 10^6

Pada gambar 13 *reynolds number* sebesar 9,31 x 10^6, pola *velocity streamline* menunjukkan kecenderungan yang serupa dengan kondisi sebelumnya. Variasi rasio Pa/Pb 0,47 dan 0,54 masih memperlihatkan konsentrasi garis alir berkecepatan tinggi yang lebih kuat pada bagian depan atas *roof box*, sedangkan rasio 0,61 menunjukkan perubahan kecepatan yang lebih bertahap. Pada bagian belakang kendaraan, rasio 0,47 dan 0,54 menghasilkan

daerah *wake* yang lebih berkembang dan kompleks dibandingkan rasio 0,61. Konsistensi pola tersebut menunjukkan bahwa pengaruh variasi rasio Pa/Pb terhadap karakteristik aliran tetap terlihat pada seluruh *reynolds number* yang diuji. Hal ini sejalan dengan nilai koefisien hambat (C_D), di mana rasio 0,47 menghasilkan nilai tertinggi, sedangkan rasio 0,61 menghasilkan nilai terendah. Dengan demikian, rasio Pa/Pb sebesar 0,61 menunjukkan karakteristik aliran dan hambatan aerodinamika terbaik di antara variasi *roof box* yang diteliti. Kecenderungan ini sesuai dengan penelitian (Tarakka et al., 2019), yang menunjukkan bahwa perubahan geometri permukaan kendaraan dapat memengaruhi perkembangan aliran dan koefisien hambat.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi rasio panjang bagian atas terhadap panjang bagian bawah (Pa/Pb) *roof box* terhadap karakteristik aerodinamika mobil MPV, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Variasi rasio Pa/Pb *roof box* berpengaruh terhadap koefisien *drag* (C_D) mobil MPV. Penambahan *roof box* menyebabkan nilai C_D lebih tinggi dibandingkan kondisi mobil tanpa *roof box* pada seluruh bilangan *reynolds* yang diuji. Rasio Pa/Pb = 0,47 menghasilkan nilai C_D tertinggi, sedangkan rasio Pa/Pb = 0,61 menghasilkan nilai C_D terendah. Pada Re = 6,21 × 10^6, nilai C_D menurun dari 0,3889 pada rasio 0,47, 0,3839 pada rasio 0,54, dan 0,3815 pada rasio 0,61. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin besar rasio Pa/Pb semakin rendah C_D yang dihasilkan.
2. Variasi rasio Pa/Pb *roof box* berpengaruh terhadap koefisien *lift* (C_L) mobil MPV. Berbeda dengan C_D, penambahan *roof box* menyebabkan nilai C_L menurun dibandingkan kondisi tanpa *roof box* pada seluruh bilangan *reynolds* yang diuji. Rasio Pa/Pb = 0,47 menghasilkan nilai C_L tertinggi, sedangkan rasio Pa/Pb = 0,61 menghasilkan nilai C_L terendah. Pada Re = 9,31 × 10^6, nilai C_L menurun menjadi 0,1080 pada rasio 0,47, 0,1073 pada rasio 0,54, dan 0,0909 pada rasio 0,61. Dengan demikian, semakin besar rasio Pa/Pb, nilai C_L cenderung semakin rendah.
3. Variasi rasio panjang bagian atas terhadap panjang bagian bawah (Pa/Pb) *roof box* memengaruhi karakteristik aliran udara pada mobil MPV, yang ditunjukkan melalui:
   a. Variasi rasio Pa/Pb *roof box* memengaruhi distribusi tekanan pada permukaan kendaraan. Rasio Pa/Pb = 0,47 dengan bentuk bagian depan *roof box* yang lebih curam menunjukkan perubahan tekanan yang lebih terkonsentrasi pada bagian depan *roof box*, sedangkan rasio Pa/Pb = 0,61 dengan bentuk yang lebih landai menunjukkan perubahan distribusi tekanan yang lebih bertahap. Pola distribusi tekanan tersebut relatif konsisten pada seluruh bilangan *reynolds* yang diuji dan mendukung penurunan nilai koefisien *lift* (C_L) ketika rasio Pa/Pb meningkat.
   b. Variasi rasio Pa/Pb = 0,47 dan 0,54 menunjukkan konsentrasi garis aliran berkecepatan tinggi yang lebih kuat pada bagian depan atas *roof box* serta perkembangan *wake* yang lebih besar dan kompleks di belakang kendaraan. Sementara itu, rasio Pa/Pb = 0,61 menunjukkan perubahan kecepatan aliran yang lebih bertahap dan perkembangan *wake* yang lebih ramping. Karakteristik tersebut konsisten pada seluruh bilangan *reynolds* yang diuji dan sejalan dengan nilai koefisien *drag* (C_D), di mana rasio Pa/Pb = 0,61 menghasilkan nilai C_D terendah.

DAFTAR PUSTAKA

Bayindirli, C., & Celik, M. (2022). Experimental optimization of aerodynamic drag coefficient of a minibus model with non-smooth. *Journal of Engineering Studies and Research*, *28*(4), 34–40. https://doi.org/10.29081/jesr.v28i4.004

Hisamuddin, M. A., Amin Ishak, I., Arafat, M., Rashid, R. A., Mohammad, A. F., Samiran, A., & Zolpakar, A. (2025). CFD Investigation on the Influence of Roof Box Cargo Carrier Designs on Automobile Aerodynamics. *Journal of Integrated Engineering*, *17*(1), 60–71. https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie

Janicki, R. M., & Piechna, A. (2019). Examining influence of a rooftop cargo carrier position on automobile aerodynamics. *AIP Conference Proceedings*, *2078*. https://doi.org/10.1063/1.5092076

Norkus, M. A. A. (2022). *Car-top cargo carrier aerodynamics*. https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/62573

Sandberg, M. (2022). *Aerodynamic study of vehicle mounted cargo boxes*. https://hdl.handle.net/20.500.12380/304523

Tarakka, R., Salam, N., Jalaluddin, & Ahsan, M. (2019). Effect of Blowing Flow Control and Front Geometry Towards the Reduction of Aerodynamic Drag on Vehicle Models. *FME Transactions*, *47*, 552–559. https://doi.org/10.5937/fmet1903552T

Zhang, Y., Zhou, R., Su, C., Zhang, Z., & Zang, X. (2025). Aerodynamic optimization of car top box design for drag reduction using CFD and Kriging modeling. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*, *June*. https://doi.org/10.1016/j.jer.2025.06.003

UNESA Universitas Negeri Surabaya