

**SKRIPSI**

**ANALISIS PENGARUH *ROOF RAILS* TERHADAP  
HAMBATAN AERODINAMIS PADA MODEL KENDARAAN**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**M. DZULFAQAR SYAIFULLAH  
D021191125**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**ANALISIS PENGARUH *ROOF RAILS* TERHADAP  
HAMBATAN AERODINAMIS PADA MODEL KENDARAAN**

Disusun dan diajukan oleh

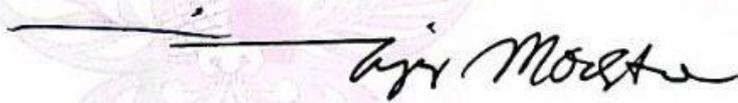
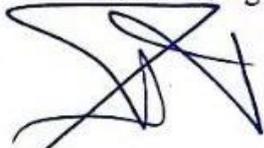
**M. Dzulfaqar Syaifullah**  
**D021 19 1125**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 31 Agustus 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Rusan Tarakka, ST., MT.  
NIP 19750827 200501 1 002

Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M. Sc.  
NIP 19760216 201012 1 002



Prof. Dr.Eng. Jalaluddin, ST., MT  
NIP 19720825 200003 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : M. Dzulfaqar Syaifullah  
NIM : D021191125  
Departemen : Teknik Mesin  
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

“ANALISIS PENGARUH *ROOF RAILS* TERHADAP HAMBATAN  
AERODINAMIS PADA MODEL KENDARAAN”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atau perbuatan tersebut.

Gowa, 31 Agustus 2023

Yang Menyatakan,



M. Dzulfaqar Syaifullah

## ABSTRAK

**M. DZULFAQAR SYAIFULLAH.** *Analisis Pengaruh Roof Rails Terhadap Hambatan Aerodinamis Pada Model Kendaraan* (dibimbing oleh Rustan Tarakka dan Andi Amijoyo Mochtar).

Kemajuan teknologi sekarang ini terus berkembang mengikuti perkembangan zaman baik dari segi komunikasi, transportasi, dan lain sebagainya. Alat transportasi khususnya kendaraan roda empat, yaitu mobil sebagai alat transportasi umum harus melalui tahap pengujian termasuk aerodinamika sebelum produksi massal. Model Ahmed Body sering digunakan dalam pengujian aerodinamika sebagai representasi sederhana untuk memahami turbulensi pada kendaraan. Masa depan industri otomotif menantang produsen untuk menciptakan mobil hemat bahan bakar dan ramah lingkungan. Faktor aerodinamika memengaruhi konsumsi bahan bakar, di mana sekitar 50-60% energi bahan bakar digunakan untuk mengatasi hambatan aerodinamika. Upaya untuk mengatasi hal ini yaitu dengan penerapan kontrol pasif pada titik separasi aliran, yang dapat mereduksi hambatan aerodinamis melalui metode komputasi dan eksperimen. Penambahan *roof rails* pada kendaraan umumnya digunakan sebagai penyangga atau aksesoris, namun memiliki potensi memengaruhi hambatan aerodinamika kendaraan. Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh *roof rails* terhadap hambatan aerodinamis pada model kendaraan. Penelitian dilakukan dengan dua pendekatan yaitu pendekatan komputasi memanfaatkan program *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan pendekatan eksperimental dengan menggunakan *Subsonic wind Tunnel*. Untuk pendekatan komputasi diperoleh data berupa karakteristik aliran, koefisien tekanan ( $C_p$ ), dan koefisien *drag* ( $C_D$ ). Namun pada pendekatan eksperimental hanya difokuskan untuk memvalidasi koefisien *drag* memanfaatkan perangkat *load cell*. Terdapat 2 jenis *roof rails* yang digunakan yaitu tipe menyerupai huruf “C” terbalik dan tipe *flush mounted*. Kecepatan *upstream* yang dialirkan masing-masing 11.1 m/s, 13.9 m/s, 16.7 m/s, 19.4 m/s, 22.2 m/s. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penambahan kontrol pasif berupa *roof rails* tidak dapat menunda separasi aliran dan memperbesar olakan pada bagian belakang model uji dan juga meningkatkan nilai koefisien *drag*. Dengan peningkatan koefisien *drag* terkecil pada model uji dengan *roof rails* tipe menyerupai huruf “C” terbalik yaitu sebesar 7.170% untuk pendekatan komputasi dan 6.956% untuk pendekatan eksperimental.

Kata kunci : CFD, *roof rails*, karakteristik aliran, koefisien tekanan, koefisien *drag*.

## ABSTRACT

**M. DZULFAQAR SYAIFULLAH.** *Analysis of the effect of roof rails on aerodynamic drag on vehicle models* (supervised by Rustan Tarakka and Andi Amijoyo Mochtar).

The current technological advancements continue to evolve in accordance with the progress of the era, encompassing communication, transportation, and various other aspects. Especially for four-wheeled vehicles, such as cars, which serve as a common means of transportation, they must undergo testing, including aerodynamics, before mass production. The Ahmed Body model is frequently employed for aerodynamic testing, serving as a simplified representation to comprehend turbulence in vehicles. The future of the automotive industry challenges manufacturers to create fuel-efficient and environmentally-friendly cars. The aerodynamic factor significantly affects fuel consumption, where approximately 50-60% of fuel energy is used to overcome aerodynamic drag. Efforts to address this involve the implementation of passive control at the point of flow separation, which can reduce aerodynamic drag through computational and experimental methods. The addition of roof rails to vehicles is generally utilized as supports or accessories, but they have the potential to impact vehicle aerodynamic drag. The objective of this research is to understand the influence of roof rails on aerodynamic drag in vehicle models. The research is conducted using two approaches: computational analysis utilizing Computational Fluid Dynamics (CFD) software and an experimental approach involving the use of a Subsonic Wind Tunnel. Computational analysis yields data regarding flow characteristics, pressure coefficient ( $C_p$ ), and drag coefficient ( $C_D$ ), while the experimental approach focuses solely on validating the drag coefficient using a load cell device. Two types of roof rails are employed, resembling an inverted "C" shape and flush mounted. Upstream velocities are set at 11.1 m/s, 13.9 m/s, 16.7 m/s, 19.4 m/s, and 22.2 m/s. Research results demonstrate that the addition of passive control, in the form of roof rails, cannot delay flow separation, increases turbulence at the rear of the test model, and also raises the drag coefficient value. The smallest increase in drag coefficient is observed in the test model with inverted "C" shape roof rails, measuring 7.170% through computational analysis and 6.956% through experimental approach.

**Keywords:** CFD, roof rails, flow characteristics, pressure coefficient, drag coefficient.

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
KATA PENGANTAR .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Lapisan Batas .....	5
2.2 Separasi Aliran.....	6
2.3 <i>Drag</i> Aerodinamis .....	7
2.4 Computational Fluid Dynamics (CFD) .....	9
2.5 <i>Roof rails</i> .....	9
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	11
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	11
3.2 Objek Penelitian.....	11
3.3 Pendekatan Komputasi .....	13
3.4 Pendekatan Eksprimental.....	17
3.5 Diagram Alir Penelitian .....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	21
4.1 Karakteristik Aliran .....	21
4.2 Koefisien Tekanan ( $C_p$ ).....	26
4.3 Koefisien <i>Drag</i> ( $C_D$ ).....	54

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	66
5.1 Kesimpulan.....	66
5.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA .....	68

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Karakteristik dari lapisan batas pada pelat datar (Munson, 2002) .....	5
Gambar 2 Separasi aliran terjadi pada silinder. (Munson, 2002).....	6
Gambar 3 Distribusi tekanan pada mobil (Munson, 2002) .....	8
Gambar 4 (a) <i>roof rails</i> tipe menyerupai huruf “C” terbalik, (b) <i>roof rails</i> tipe flush-mounted pada kendaraan. (Wuling.id, 2020).....	10
Gambar 5 Dimensi model uji: panjang 174 mm, lebar 64,83 mm, dan sudut bagian depan 30° .....	11
Gambar 6 Dimensi model <i>roof rails</i> tipe menyerupai huruf “C” terbalik. ....	12
Gambar 7 Dimensi model <i>roof rails</i> tipe <i>flush mounted</i> .....	12
Gambar 8 Dimensi model uji yang telah dimodifikasi dengan penambahan <i>roof rails</i> .....	13
Gambar 9 Lokasi pengambilan data medan tekanan model tanpa kontrol aliran .	15
Gambar 10 Lokasi pengambilan data medan tekanan bagian atas dengan kontrol pasif .....	16
Gambar 11 Lokasi pengambilan data medan tekanan bagian belakang dengan kontrol pasif.....	16
Gambar 12 Wind tunnel .....	17
Gambar 13 Sketsa penempatan model uji pada load cell dan kalibrasi .....	18
Gambar 14 Diagram alir penelitian.....	20
Gambar 15 Karakteristik aliran pada model uji tanpa kontrol aliran dengan kecepatan <i>upstream</i> .....	22
Gambar 16 Karakteristik aliran untuk model uji dengan <i>roof rails</i> tipe menyerupai huruf “C” terbalik dengan kecepatan <i>upstream</i> .....	24
Gambar 17 Karakteristik aliran untuk model uji dengan <i>roof rails</i> tipe <i>flush mounted</i> dengan variasi kecepatan <i>upstream</i> .....	26
Gambar 18 Nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji tanpa kontrol aliran untuk kecepatan <i>upstream</i> 22.2 m/s .....	28
Gambar 19 Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian belakang model uji tanpa kontrol aliran dengan variasi kecepatan <i>upstream</i> .....	29
Gambar 20 Nilai koefisien tekanan pada atas belakang model uji tanpa kontrol aliran untuk kecepatan <i>upstream</i> 22.2 m/s .....	30
Gambar 21 Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji tanpa kontrol aliran dengan variasi kecepatan <i>upstream</i> .....	31
Gambar 22 Nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji dengan <i>roof rails</i> tipe menyerupai huruf “C” terbalik.....	33
Gambar 23 Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian belakang model uji dengan <i>roof rails</i> tipe menyerupai huruf “C” terbalik dengan variasi kecepatan <i>upstream</i> .....	34
Gambar 24 Nilai koefisien tekanan pada bagian atas model uji dengan <i>roof rails</i> tipe menyerupai huruf “C” terbalik untuk kecepatan <i>upstream</i> 22.2 m/s .....	35
Gambar 25 Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji dengan <i>roof rails</i> tipe menyerupai huruf “C” terbalik dengan kecepatan <i>upstream</i> .....	36

Gambar 26	Nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji dengan <i>roof rails</i> tipe <i>flush mounted</i> untuk kecepatan <i>upstream</i> 22.2 m/s .....	37
Gambar 27	Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian belakang model uji dengan <i>roof rails</i> tipe <i>flush mounted</i> dengan variasi kecepatan <i>upstream</i> .....	38
Gambar 28	Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji dengan <i>roof rails</i> tipe <i>flush mounted</i> untuk kecepatan <i>upstream</i> 22.2 m/s.....	40
Gambar 29	Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji dengan <i>roof rails</i> tipe <i>flush mounted</i> dengan variasi kecepatan <i>upstream</i> .....	41
Gambar 30	Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_1 = 11.1$ m/s.....	43
Gambar 31	Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_2 = 13.9$ m/s.....	44
Gambar 32	Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_3 = 16.7$ m/s.....	45
Gambar 33	Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_4 = 19.4$ m/s.....	46
Gambar 34	Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_5 = 22.2$ m/s.....	47
Gambar 35	Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian atas model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_1 = 11.1$ m/s.....	48
Gambar 36	Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian atas model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_2 = 13.9$ m/s.....	49
Gambar 37	Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian atas model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_3 = 16.7$ m/s.....	50
Gambar 38	Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian atas model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_4 = 19.4$ m/s.....	51
Gambar 39	Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian atas model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_5 = 22.2$ m/s.....	52
Gambar 40	Nilai koefisien <i>drag</i> model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> .....	56
Gambar 41	Nilai koefisien <i>drag</i> model uji dengan <i>roof rails</i> tipe menyerupai huruf “C” terbalik.....	59
Gambar 42	Perbandingan nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimental untuk model uji tanpa kontrol aliran dengan variasi kecepatan <i>upstream</i> .....	61
Gambar 43	Perbandingan nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimental untuk penambahan <i>roof rails</i> tipe menyerupai huruf “C” terbalik dengan variasi kecepatan <i>upstream</i> .....	62
Gambar 44	Perbandingan nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimental untuk penambahan <i>roof rails</i> tipe <i>flush mounted</i> dengan variasi kecepatan <i>upstream</i> .....	63

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Kondisi batas model kendaraan .....	14
Tabel 2 Nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji tanpa kontrol aliran untuk kecepatan <i>upstream</i> 22.2 m/s.....	27
Tabel 3 Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian belakang model uji tanpa kontrol aliran.....	28
Tabel 4 Nilai koefisien tekanan pada bagian atas model uji tanpa kontrol aliran untuk kecepatan <i>upstream</i> 22.2 m/s.....	30
Tabel 5 Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji tanpa kontrol aliran.....	31
Tabel 6 Nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji dengan <i>roof rails</i> tipe menyerupai huruf “C” terbalik.....	32
Tabel 7 Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian belakang model uji dengan <i>roof rails</i> tipe menyerupai huruf “C” terbalik.....	33
Tabel 8 Nilai koefisien tekanan pada bagian atas model uji dengan <i>roof rails</i> tipe menyerupai huruf “C” terbalik untuk kecepatan <i>upstream</i> 22.2 m/s.....	35
Tabel 9 Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji dengan <i>roof rails</i> tipe menyerupai huruf “C” terbalik .....	36
Tabel 10 Nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji dengan <i>roof rails</i> tipe <i>flush mounted</i> untuk kecepatan <i>upstream</i> 22.2 m/s.....	37
Tabel 11 Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian belakang model uji dengan <i>roof rails</i> tipe <i>flush mounted</i> .....	38
Tabel 12 Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji dengan <i>roof rails</i> tipe <i>flush mounted</i> untuk kecepatan <i>upstream</i> 22.2 m/s .....	39
Tabel 13 Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji dengan <i>roof rails</i> tipe <i>flush mounted</i> .....	40
Tabel 14 Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_1 = 11.1$ m/s.....	43
Tabel 15 Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_1 = 13.9$ m/s.....	44
Tabel 16 Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_3 = 16.7$ m/s.....	45
Tabel 17 Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_4 = 19.4$ m/s.....	46
Tabel 18 Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_5 = 22.2$ m/s.....	47
Tabel 19 Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian atas model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_1 = 11.1$ m/s .....	48
Tabel 20 Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian atas model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_1 = 13.9$ m/s .....	49
Tabel 21 Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian atas model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_3 = 16.7$ m/s .....	50
Tabel 22 Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian atas model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_4 = 19.4$ m/s .....	51
Tabel 23 Perbandingan nilai koefisien tekanan pada bagian atas model uji tanpa kontrol aliran dan dengan <i>roof rails</i> , $U_5 = 22.2$ m/s .....	52

Tabel 24 Nilai koefisien <i>drag</i> pada model uji tanpa kontrol aliran dengan pendekatan komputasi.....	54
Tabel 25 Nilai koefisien <i>drag</i> pada model uji dengan <i>roof rails</i> tipe menyerupai huruf “C” terbalik dengan pendekatan komputasi .....	55
Tabel 26 Nilai koefisien <i>drag</i> pada model uji dengan <i>roof rails</i> tipe <i>flush mounted</i> komputasi.....	55
Tabel 27 Nilai koefisien <i>drag</i> pada model uji tanpa kontrol aliran eksperimental	57
Tabel 28 Nilai koefisien <i>drag</i> pada model uji dengan <i>roof rails</i> tipe menyerupai huruf “C” terbalik eksperimental .....	58
Tabel 29 Nilai koefisien <i>drag</i> pada model uji dengan <i>roof rails</i> tipe <i>flush mounted</i> eksperimental .....	58
Tabel 30 Perbandingan nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimental untuk model uji tanpa kontrol aliran .....	61
Tabel 31 Perbandingan nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimental untuk model uji penambahan <i>roof rails</i> tipe menyerupai huruf “C” terbalik ..	62
Tabel 32 Perbandingan nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimental untuk model uji penambahan <i>roof rails</i> tipe <i>flush mounted</i> .....	63

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
$l$	Panjang
$w$	Lebar
$h$	Tinggi
$C_D$	Koefisien <i>Drag</i>
$\rho$	Density
$F_D$	Gaya <i>Drag</i>
$A$	Luas daerah yang mengalami gesekan
$U$	Kecepatan <i>Upstream</i>
$\tau_w$	Tegangan geser
$P$	Tekanan
$C_P$	Koefisien Tekanan
$P_0$	Tekanan <i>streamline</i> atau garis pusat
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
SUV	<i>Sport Utility Vehicle</i>
MPV	<i>Multi Purpose Vehicle</i>
SRC	<i>Secondary Cabin Roof</i>
$z/w$	Perbandingan antara lebar <i>grid</i> dengan lebar model
$y/h$	Perbandingan antara tinggi <i>grid</i> dan tinggi model
$x/l$	Perbandingan antara panjang <i>grid</i> dan panjang model
$R_E$	Bilangan Reynold

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Nilai Koefisien Tekanan Tanpa kontrol aliran .....	70
<b>Lampiran 2</b> Nilai Koefisien Tekanan ( $C_P$ ) Dengan <i>Roof rails</i> Tipe Menyerupai Huruf “C” Terbalik.....	80
<b>Lampiran 3</b> Nilai Koefisien Tekanan ( $C_P$ ) dengan <i>Roof rails</i> Tipe <i>Flush mounted</i> .....	90
<b>Lampiran 4</b> Nilai Koefisien <i>Drag</i> ( $C_D$ ) dengan Pendekatan Komputasi.....	100
<b>Lampiran 5</b> Nilai Koefisien <i>Drag</i> ( $C_D$ ) dengan Pendekatan Eksperimental .....	102
<b>Lampiran 6</b> Data Koefisien <i>Drag</i> ( $C_D$ ).....	104
<b>Lampiran 7</b> Dokumentasi .....	106

## KATA PENGANTAR

Puji dan puja syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang senantiasa memberikan nikmat rezeki dan kesehatan. Hanya karena kebaikan kasih sayang dan berkat-Nya lah yang menuntun penulis dalam mengerjakan skripsi ini dengan judul “Analisis Pengaruh *Roof Rails* Terhadap Hambatan Aerodinamis Pada Model Kendaraan”. Penelitian ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) bagi mahasiswa program S1 di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih yang terdalam untuk kedua orangtua penulis yakni Bapak Drs. Misi dan Ibu Hj. Rosmini serta saudara-saudara penulis yakni Fadiah Mubaqirah, Reski Mulia, dan Ahmad Fahd Abdul Qahhar atas cinta, doa, dan juga dukungan moril dan materi yang diberikan sehingga penulis mampu sampai pada titik ini. Semoga Allah Yang Maha Esa lagi Maha Penyayang senantiasa memberikan rezeki yang berlimpah, melindungi, menganugrahi kesehatan, kekuatan, keharmonisan, dan kebaikan bagi kita semua.

Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, yakni :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc, selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. Rustan Tarakka, S.T, M.T., dan Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, S.T., M.Sc. selaku pembimbing 1 dan pembimbing 2 yang senantiasa memberikan arahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, MT., dan Gerard Antonini Duma, ST., selaku penguji 1 dan penguji 2 yang senantiasa memberikan koreksi-koreksi, masukan, dan arahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang sangat

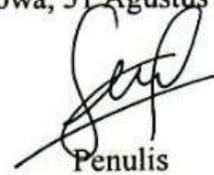
bermanfaat bagi penulis.

6. Bapak Hafriison Salamba, ST selaku Laboran Laboratotium Mekanika Fluida yang senantiasa membantu dan mendukung penulis selama proses pengambilan data skripsi.
7. Staf Departemen Teknik Mesin Bapak Mansyur, Bapak Arham, Kak Yaya, dan Kak Shita yang telah banyak membantu penulis dalam mengurus segala administrasi pada saat seminar dan pengumpulan map merah..
8. Partner penelitian yaitu Adhim, Agung dan Ilham sebagai teman kerja sama dan diskusi mengenai masalah penelitian. Semua masalah yang harusnya sulit dilalui menjadi gampang ketika bekerja sama.
9. Asisten-asisten Laboratorium Mekanika Fluida yaitu Kak Wahab, Andrian, Dimaz, Rafli, Adam, Bill dan Valen yang telah menjadi partner sesama asisten yang selalu menjadi tempat bercerita dan berdiskusi mengenai masalah mekanika fluida.
10. Kak Faqih dan kak Syafril yang telah membantu penulis dalam penyelesaian masalah dan diskusi selama penyusunan skripsi.
11. Teman-teman Laboratorium Mesin Pendingin dan Pemanas yang selalu menyediakan tempat untuk penulis beristirahat setelah melakukan pengambilan data sekaligus teman bercanda dan jalan-jalan.
12. Saudara seperjuangan Bruzhlezz 19 yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan kerjasamanya.
13. Teman-teman KKN 108 Bowong Cindea, anak-anak Bowong yang telah membantu dan mendukung penulis sehingga tetap semangat dalam proses penyusunan skripsi.
14. Daya Fams, yang selalu menjadi tempat bercerita dan berkeluh kesah, serta teman jalan-jalan selama penyusunan skripsi.
15. Terakhir, penulis hendak menyapa setiap nama yang tak sempat penulis cantumkan satu per satu, terima kasih atas doa yang senantiasa mengalir tanpa sepengetahuan penulis. Terima kasih sebanyak-banyaknya kepada orang yang turut bersukacita atas keberhasilan penulis menyelesaikan skripsi ini.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat berharap adanya kritik maupun saran yang membangun untuk kesempurnaan skripsi ini di masa yang akan datang.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan juga bagi peneliti selanjutnya. Terima kasih.

Gowa, 31 Agustus 2023



Penulis

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Kemajuan teknologi sekarang ini terus berkembang mengikuti perkembangan zaman baik dari segi komunikasi, transportasi, dan lain sebagainya. Alat transportasi khususnya kendaraan roda empat, yaitu mobil merupakan alat transportasi yang umum dimiliki oleh masyarakat. Sebelum dilakukan produksi massal, kendaraan terlebih dahulu melalui tahapan proses pengujian termasuk pertimbangan faktor aerodinamika. Desain kendaraan yang paling sering digunakan dalam sebuah pengujian atau simulasi mengenai aerodinamika adalah *Ahmed Body*. *Ahmed Body* merupakan sebuah kendaraan yang disederhanakan dengan harapan mampu memberikan gambaran tentang pemodelan turbulensi pada geometri kendaraan lain yang serupa dengannya (Marga Yogatama, 2018). Kedepannya semua pabrikan-pabrikan mobil akan tertantang untuk menciptakan mobil yang hemat bahan bakar dan ramah lingkungan (D. Barros et. al 2017).

Salah satu faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar pada kendaraan adalah faktor aerodinamika. Sekitar 50-60% total energi bahan bakar digunakan untuk mengatasi hambatan aerodinamika kendaraan. Sebagian besar gaya hambat yang muncul pada kendaraan disebabkan oleh tekanan rendah pada dinding bagian belakang kendaraan serta proses separasi aliran yang terlalu cepat terjadi. Tekanan minimum biasanya terjadi pada sisi atas bagian belakang model kendaraan disebabkan karena pada koordinat tersebut mulai terjadi separasi aliran, dimana aliran udara yang mengalir sepanjang permukaan model uji tidak mampu mengikuti bentuk model uji pada bagian belakang. Hal tersebut akan menyebabkan terbentuknya aliran balik dibagian belakang model uji sehingga mengakibatkan penurunan distribusi tekanan (Rustan Tarakka et al, 2016). Aliran balik akibat penurunan distribusi tekanan menimbulkan efek hisapan kearah belakang sekaligus menjadi kontributor utama total hambatan aerodinmika yang diterima oleh kendaraan.

Salah satu upaya untuk mengatasi masalah tersebut adalah melalui penerapan kontrol pasif pada titik dimana separasi aliran mulai terjadi. Penerapan kontrol

pasif selain mudah dalam pengaplikasiannya juga dianggap murah (Fourrie G, Keirsbulck, 2011., Altaf A, Omar A.A, Asrar, 2014). Teknik kontrol aliran atau modifikasi aliran banyak digunakan dalam berbagai macam pengaplikasian seperti pada dunia penerbangan, automotif, perkapalan, dan lain-lain. Dalam mengurangi hambatan dapat dilakukan dengan melakukan beberapa pendekatan utama, yaitu dengan metode kontrol pasif atau dengan metode kontrol aktif.

Dengan menggunakan metode kontrol pasif, Jesse Tsaniyah Novita pada tahun 2020 melakukan penelitian pengaruh penambahan fin pada model kendaraan mampu mereduksi hambatan aerodinamis tertinggi sebesar 6.6617% untuk pendekatan komputasi dan 4.7371% untuk pendekatan eksperimen. Hal ini membuktikan bahwa penambahan komponen atau aksesoris pada bagian atap kendaraan dapat mempengaruhi besarnya gaya hambat yang diterima oleh kendaraan

Nah, pada beberapa model kendaraan, banyak kali kita melihat bahwa ada beberapa kendaraan yang dilengkapi dengan *roof rails* (dudukan berupa rel membujur tempat memasang *roof rack* sehingga dapat meletakkan barang bawaan di atas mobil) pada bagian atas/atap kendaraan seperti Mitsubishi Xpander Cross, Suzuki XL7, Wuling Confero S, Honda BR-V, Wuling Cortez CT, Suzuki Ignis tipe GX, dan masih banyak lagi. Sedangkan sampai sekarang penambahan *roof rails* tersebut hanya digunakan sebagai dudukan atau penyangga untuk *roof box* dan beberapa hanya dijadikan aksesoris tambahan pada kendaraan.

Berdasarkan latar belakang tersebut di atas, maka dilakukan penelitian dengan judul : “**Analisis Pengaruh *Roof rails* Terhadap Hambatan Aerodinamis Pada Model Kendaraan.**”

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dalam penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana karakteristik aliran pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *roof rails*?
2. Bagaimana nilai koefisien tekanan pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *roof rails*?
3. Bagaimana nilai koefisien *drag* pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *roof rails*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, penelitian ini memiliki beberapa tujuan yaitu :

1. Menganalisis karakteristik aliran pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *roof rails*.
2. Menganalisis nilai koefisien tekanan pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *roof rails*.
3. Menganalisis nilai koefisien *drag* pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *roof rails*.

## 1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini membatasi diri berdasarkan kondisi berikut :

1. Fluida uji merupakan udara yang dianggap fluida tak mampu mampat dan mengalir secara seragam pada aliran bebas yang berjarak jauh di hulu.
2. Model uji berbentuk *bluff body* model kendaraan (*modified/reversed Ahmed body*) berdimensi 1 : 6 dari *Ahmed body* versi original. Geometri model berupa panjang ( $l = 0,174$  m), lebar ( $w = 0,06483$  m) dan tinggi ( $h = 0,048$  m).
3. Kemiringan sudut pada bagian depan model uji adalah  $30^\circ$  terhadap sumbu *horizontal*.
4. Kecepatan aliran *upstream* 11,1 m/s (40 km/h), 13,9 m/s (50 km/h), 16,7 m/s (60 km/h), 19,4 m/s (70 km/h), dan 22,2 m/s (80 km/h).

5. Kontrol pasif yang digunakan adalah *roof rails* tipe menyerupai huruf 'C' terbalik dan tipe *flush mounted*

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi Penulis

Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

2. Bagi Universitas

Dapat dijadikan sebagai bahan referensi bagi generasi - generasi Teknik Mesin yang akan datang dalam pembuatan dan penyusunan tugas akhir.

3. Bagi Industri

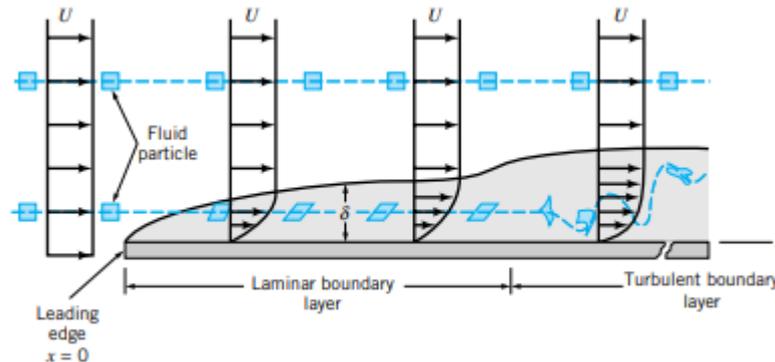
Sebagai referensi bagi industri otomotif untuk memproduksi kendaraan ramah lingkungan dan efisien dalam penggunaan bahan bakar.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Lapisan Batas

Lapisan batas dapat didefinisikan sebagai lapisan yang terbentuk pada permukaan suatu benda yang terendam dalam aliran fluida, dimana area efek-efek viskos dalam lapisan tersebut mempunyai peranan penting dan diluarnya fluida berperilaku seakan-akan *inviscid*.

Proses pembentukan lapisan batas divisualisasikan dengan membayangkan aliran di sepanjang sebuah pelat rata. Situasi dimana lapisan batas terbentuk pada sebuah plat datar dengan panjang tak terhingga yang di sepanjangnya mengalir suatu fluida viskos, tak mampu-mampat seperti yang di tunjukkan pada gambar di bawah ini. Jika permukaannya melengkung (misalnya sebuah silinder bundar atau *airfoil*), struktur lapisan batas akan lebih rumit. Seperti yang terlihat pada Gambar 1, misalkan ada aliran seragam sebuah fluida tak dapat mampat mendekati pelat dengan kecepatan arus bebas  $U$ . (Munson, 2002)



Gambar 1 Karakteristik dari lapisan batas pada pelat datar (Munson, 2002)

Ketika bilangan Reynolds nilainya besar, hanya fluida di dalam lapisan batas relative tipis pada pelat yang akan merasakan efek dari pelat. Artinya selain di daerah dekat plat, kecepatan aliran pada dasarnya akan sebesar  $V = U \hat{i}$ , yaitu kecepatan hulu. Untuk pelat datar dengan panjang tak terhingga yang membentang dari  $x = 0$  sampai  $x = \infty$ , untuk mendefinisikan bilangan Reynolds ini dinilai agak susah dikarenakan salah satu parameternya yaitu panjang karakteristik tidak diketahui serta pelat tidak memiliki ketebalan dan panjangnya tidak terbatas.

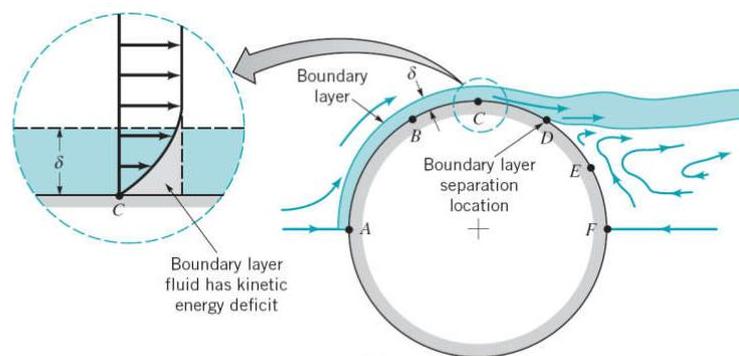
Ketika fluida mencapai tepi sebelah depan, tegangan geser yang besar terbentuk dekat dengan permukaan pelat karena partikel-partikel fluida yang tiba terpaksa berhenti dan partikel-partikel yang cukup dekat dan normal terhadap pelat dihambat oleh geseran *viscous*.

Lapisan batas menebal dalam arah yang sama dengan arah aliran, akibatnya perubahan kecepatan dari nol di permukaan pelat hingga  $U_s$  pada jarak  $\delta$  semakin jauh menjadi semakin besar. (Munson, 2002)

## 2.2 Separasi Aliran

Ketika kontur permukaan suatu benda berubah secara drastis, aliran fluida pada kondisi tertentu tidak mampu untuk bergerak mengikuti kontur tersebut dan mengalami separasi aliran. Separasi aliran menyebabkan munculnya daerah olakan yang memiliki tekanan rendah sehingga menimbulkan gaya *drag*. Adanya daerah bertekanan rendah ini menyebabkan perbedaan tekanan antara bagian depan dan bagian belakang model kendaraan, yang merupakan kontributor utama dari keseluruhan *drag* (Bruneau C.H., 2010).

Separasi aliran merupakan bentuk efek viskos dari fluida, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar. 2, karena adanya efek viskos, fluida pada titik k di permukaan silinder kehilangan energi kinetik, sehingga tidak memiliki momentum yang cukup untuk mengalir dalam lapisan batas menuju n. Titik l adalah titik dimana separasi aliran terjadi. Di luar titik l (l menuju n) terjadi aliran balik karena perbedaan kecepatan yang tinggi antara daerah olakan dengan lapisan batas (Munson, 2002).



Gambar 2 Separasi aliran terjadi pada silinder. (Munson, 2002)

### 2.3 Drag Aerodinamis

Suatu benda yang bergerak melewati fluida akan mengalami interaksi antara permukaan benda tersebut terhadap fluida yang mengalir atau dilaluinya. Interaksi tersebut bersumber dari tegangan geser ( $\tau_w$ ) yang diakibatkan oleh efek viskositas dan tegangan normal yang diakibatkan oleh distribusi tekanan ( $p$ ).

*Drag* pada sebuah benda terdiri dari dua bagian, yaitu *drag* gesekan yang diakibatkan oleh gaya gesek, dan *drag* tekanan yang diakibatkan oleh tekanan. *Drag* dapat dituliskan dalam bilangan tak berdimensi yang disebut dengan koefisien *drag*. Koefisien *drag* merupakan sebuah gaya dari fluida yang mengalir melalui permukaan benda searah aliran.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung koefisien *drag* dapat dituliskan sebagai berikut (Cengel & Cimbala, 2006) :

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho U^2 A} \quad (1)$$

Dimana :

$C_D$  = Koefisien *drag*

$\rho$  = *Density* (kg/m<sup>3</sup>)

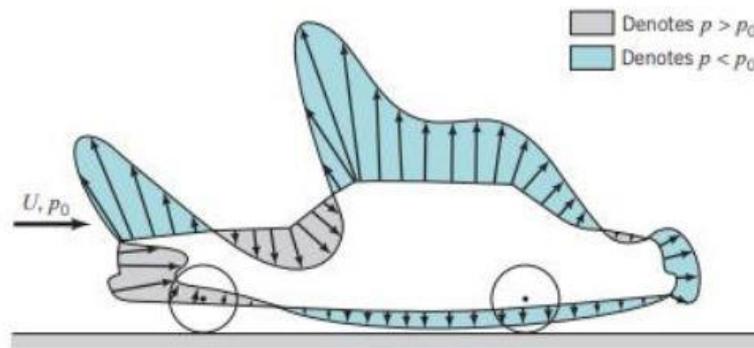
$F_D$  = *Drag force* atau *Gaya drag* (N)

$A$  = Luas daerah yang mengalami gesekan (m<sup>2</sup>)

$U$  = Kecepatan fluida (m/s)

*Drag* tekanan ( $C_p$ ) merupakan bagian dari *drag* yang langsung disebabkan oleh tekanan  $P$  terhadap sebuah benda. *Drag* ini sering disebut sebagai *drag* bentuk karena ketergantungan yang sangat kuat pada bentuk dari kendaraan. *Drag* tekanan adalah fungsi dari besarnya tekanan dan orientasi arah elemen permukaan dimana gaya tekan tersebut bekerja.

Sebagai contoh, gaya tekan pada kedua sisi plat datar sejajar aliran mungkin saja sangat besar, tetapi gaya tersebut tidak berkontribusi pada *drag* karena gaya tersebut bekerja pada arah tegak lurus terhadap kecepatan *upstream*. Sebaliknya gaya tekanan pada plat datar yang tegak lurus aliran menyebabkan *drag* secara keseluruhan (Munson, 2003).



Gambar 3 Distribusi tekanan pada mobil (Munson, 2002)

Pada Gambar 3 ketika aliran udara melewati mobil terjadi, perubahan kecepatan lokal di sekitar mobil, akibatnya terjadi perubahan tekanan statik seperti tekanan Bernoulli. Distribusi tekanan menentukan daya angkat, pitching moment, form *drag* dari mobil, serta posisi dari pusat tekanan. Tekanan biasa ditunjukkan dengan koefisien tekanan. Koefisien tekanan adalah selisih antara pengukuran lokal dengan tekanan aliran bebas dibagi dengan tekanan dinamis.

Untuk menghitung koefisien tekanan, digunakan persamaan sebagai berikut (Munson, 2002):

$$C_p = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2} \rho U_0^2} \quad (2)$$

Dengan :

$C_p$  = Koefisien tekanan

$P$  = tekanan pada permukaan model uji ( $P_a$ )

$P_0$  = tekanan streamline atau garis arus ( $P_a$ )

$\rho$  = massa jenis fluida ( $kg/m^3$ )

$U_0$  = kecepatan *upstream* ( $m/s$ )

Pada benda yang berbentuk *bluff body*, seperti mobil, *drag* aerodinamis yang dihasilkan sebagian besar dikarenakan oleh *drag* tekanan atau *form drag*. Hal ini dikarenakan pada bagian depan dan belakang mobil tersebut memiliki perbedaan tekanan yang cukup besar. Hal tersebut menyebabkan efek vakum terhadap mobil, sehingga mobil seolah tertarik ke belakang. Gaya tarik ke belakang tersebut dapat dirasakan sebagai gaya *drag* pada mobil tersebut, karena gaya tersebut cenderung menghambat pergerakan mobil. (Marga Yogatama, Ramon Trisno, 2018)

## 2.4 Computational Fluid Dynamics (CFD)

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Tujuan dari CFD adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di atas. *Computational Fluid Dynamics* itu sendiri terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

- *Pre Processor*
- *Solver Manager*
- *Post Processor*

*Computational fluid dynamics* tidak sepenuhnya dapat menggantikan pengukuran secara eksperimen, tetapi jumlah dan biaya eksperimen yang dilakukan dapat berkurang. Terdapat tiga hal yang merupakan alasan kuat dalam penggunaan CFD, yakni: *insight*, *foresight*, dan *efficiency*. (Achmad Kurniawan, 2017)

- *Insight* – pemahaman mendalam
- *Foresight* – prediksi menyeluruh
- *Efficiency* – efisiensi waktu dan biaya

## 2.5 Roof rails

*Roof rails* merupakan salah satu komponen yang terpasang pada atap mobil. yang merupakan dua besi kokoh melintang di atap mobil. biasanya ada di mobil berjenis SUV dan MPV. Tapi tak semua mobil dibekali fitur ini. Selain itu ada dua tipe *roof rails* yang dikenal di pasaran. Tipe pertama menyerupai huruf 'C' terbalik. Pada tipe ini kaki rel melekat di atap mobil sedangkan relnya membentuk busur. Biasanya, pada tipe ini jarak antara atap dan rel hanya sekitar beberapa inci saja. Kemudian, tipe yang kedua adalah *flush-mounted roof rails*. Pada tipe ini, rel dan juga atap tak dibatasi oleh jarak sehingga terlihat menempel.



Gambar 4 (a) *roof rails* tipe menyerupai huruf “C” terbalik, (b) *roof rails* tipe flush-mounted pada kendaraan. (Wuling.id, 2020)

*Roof rails* bukanlah hiasan, melainkan memiliki fungsi. Fungsinya sebagai pagar penyangga sekaligus pengaman agar ketika membawa barang bawaan di atap mobil tak terjatuh ke bawah. Jadi, tidak perlu khawatir ketika membawa barang berlebih yang ditaruh di atap mobil, jika bagasi mobil sudah terlalu penuh dengan barang lain. Mobil yang dibekali dengan *roof rails* dapat berguna untuk memudahkan pada saat si pengendara ingin membawa barang di atap kendaraan. *Roof rails* menyediakanudukan yang stabil untuk melekatkan barang-barang ketika membawa muatan dibandingkan ketika pengendara harus mengikatnya sendiri dengan menggunakan tali pada atap mobil. (Wuling.id, 2020).

Di dalam penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Su’udi (2013) tentang pengaruh penambahan atap sekunder kabin mobil (*secondary cabin roof*) terhadap gaya aerodinamis dan perilaku arah pada mobil sedan dihasilkan bahwa terjadi penambahan nilai gaya aerodinamika yang dialami oleh kendaraan yang dipasang SCR. Hal ini dapat terjadi karena dengan pemasangan SCR akan mengakibatkan penambahan luas bidang frontal kendaraan yang kontak dengan fluida mengalir. Dengan penambahan SCR pula maka sisi yang berkontak dengan fluida akan bertambah menyebabkan penambahan *skin friction* yang terjadi.

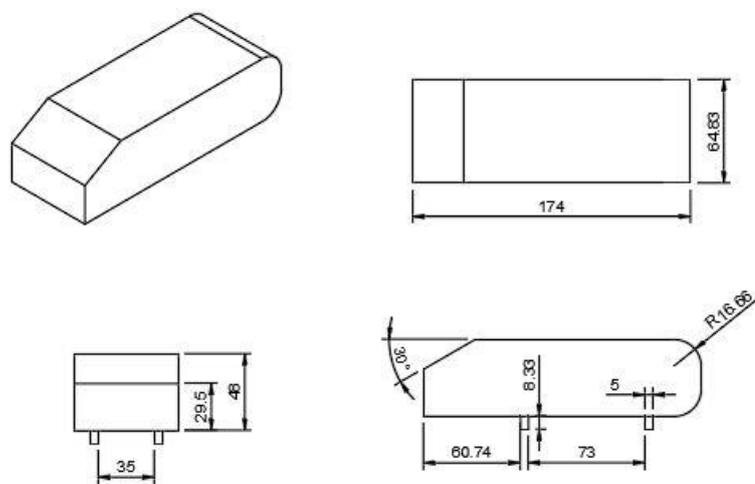
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

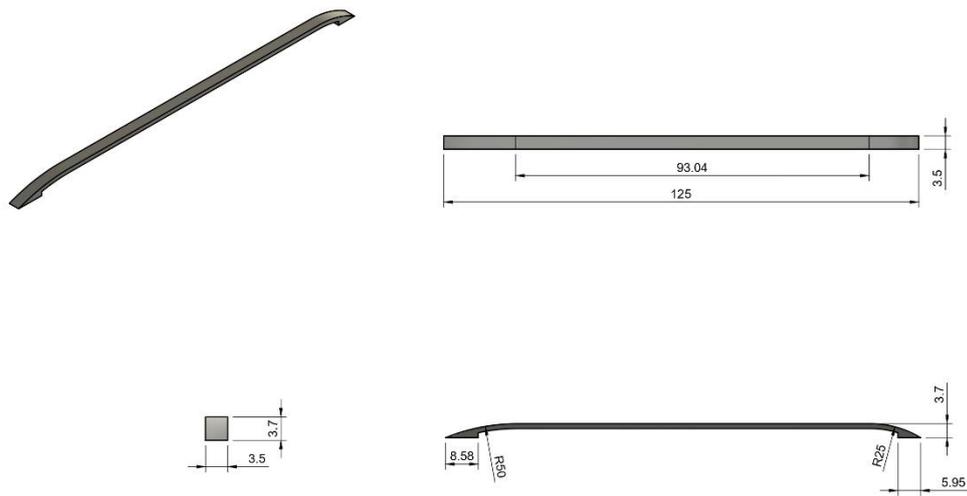
Penelitian kontrol pasif secara komputasional dan eksperimental dilaksanakan pada bulan Januari 2023 sampai dengan April 2023. Tempat dilaksanakannya di Laboratorium Mekanika Fluida, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Jl. Poros Malino KM 6. Kab Gowa, Sulawesi Selatan.

### 3.2 Objek Penelitian

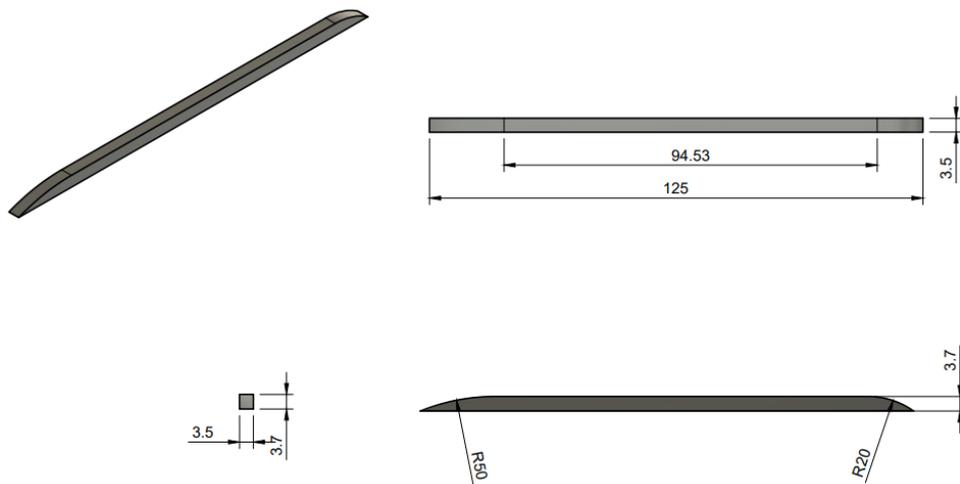
Objek penelitian yang digunakan adalah model kendaraan sederhana (*ahmed body*). Sebagai bahan acuan, digunakan dimensi yang dipakai pada percobaan sebelumnya dengan skala 1 : 6. Skala 1 : 6 dari model sebelumnya digunakan dengan alasan untuk memudahkan dalam percobaan, dan mengurangi biaya untuk pembuatan model pada Gambar 5. Dimensi Panjang 174 mm, lebar 64.83 mm, tinggi 48 mm, dan sudut bagian depan 30 °. Model *roof rails* yang digunakan dapat ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Penggunaan kontrol pasif berupa *roof rails* model kendaraan ditunjukkan pada Gambar 8.



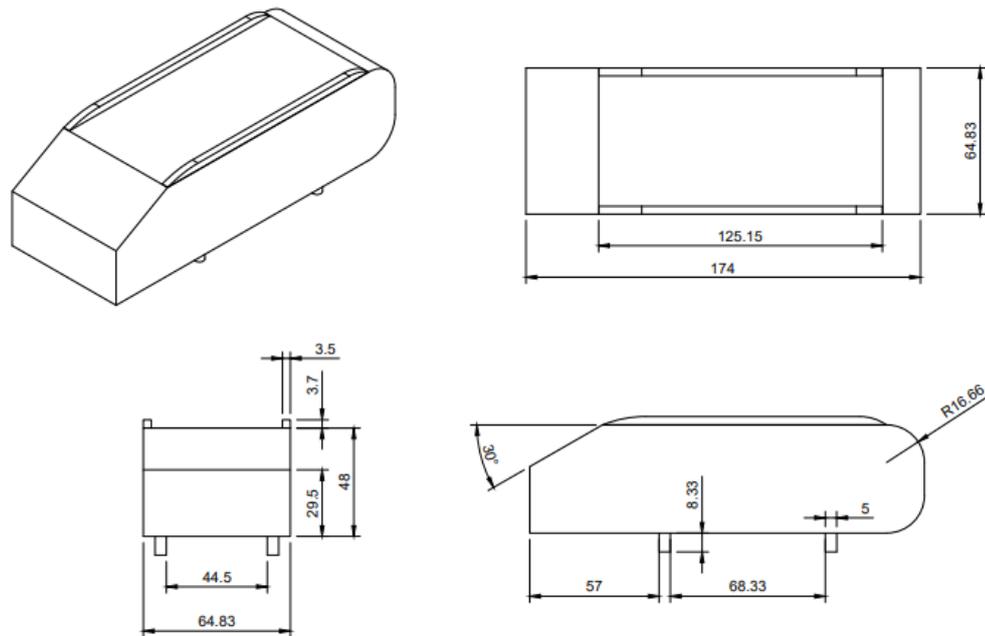
Gambar 5 Dimensi model uji: panjang 174 mm, lebar 64,83 mm, dan sudut bagian depan 30°



Gambar 6 Dimensi model *roof rails* tipe menyerupai huruf “C” terbalik.



Gambar 7 Dimensi model *roof rails* tipe *flush mounted*



Gambar 8 Dimensi model uji yang telah dimodifikasi dengan penambahan *roof rails*

### 3.3 Pendekatan Komputasi

Pendekatan komputasi pada penelitian ini menggunakan software Autodesk Fusion 360, Gambit 2.4.6, dan Fluent 6.3.26. Adapun prosedur pengambilan data menggunakan metode komputasi ini sebagai berikut :

1. Langkah pertama dalam CFD adalah menggambar desain model. Desain model dibuat menggunakan perangkat *Software* Autodesk Fusion 360 dengan merujuk pada model kendaraan yang sesungguhnya. Model yang telah siap kemudian diexport ke *software* Gambit 2.4.6.
2. Penggabungan model kendaraan dengan *wind tunnel*. Pengujian aerodinamis dilakukan pada suatu terowongan angin (*wind tunnel*). Dalam simulasi CFD, pengujian ini juga merupakan suatu pengujian dalam terowongan angin namun dalam bentuk virtual.
3. Pembuatan *mesh* unit volume pada simulasi CFD diinterpretasikan dengan pembuatan *mesh*. Ukuran *mesh* yang diterapkan pada model akan mempengaruhi ketelitian analisis CFD. Semakin kecil ukuran mesh pada model, maka hasil yang didapatkan akan semakin teliti, tetapi membutuhkan

daya komputasi dan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan mesh yang memiliki ukuran yang lebih besar

4. Penentuan kondisi batas diatur pada setiap sisi *wind tunnel* dan model kendaraan. Model yang telah siap kemudian diexport ke *software* Fluent. Penentuan kondisi batas pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kondisi batas model kendaraan

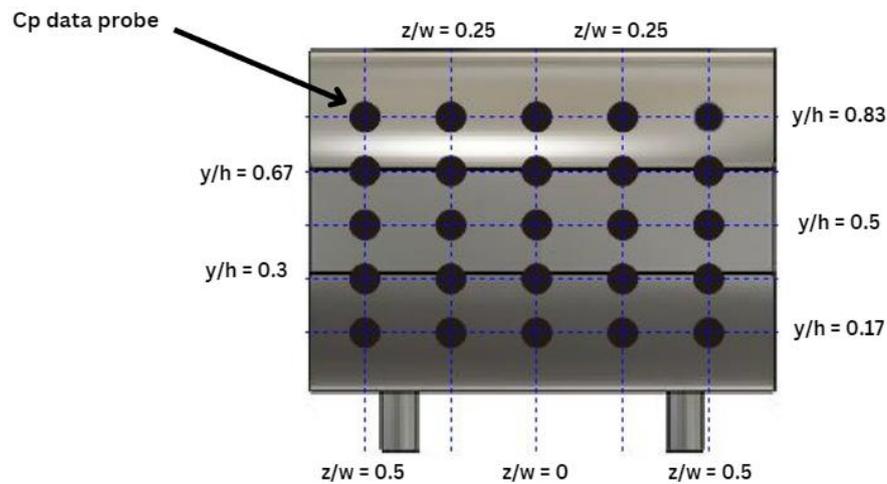
Kondisi Batas	Jenis	Nilai
<i>Inlet</i>	<i>Velocity Inlet</i>	Divariasikan (11.1 m/s, 13.9 m/s, 16.7 m/s, 19.4 m/s, dan 22,2 m/s)
<i>Outlet</i>	<i>Pressure Outlet</i>	0 Pa ( <i>gauge</i> )
<i>Model</i>	<i>Wall</i>	-
<i>Wall/Wind Tunnel</i>	<i>Wall</i>	-

5. Simulasi yang dilakukan menggunakan *software* Fluent 6.3.26. Fluent sendiri merupakan salah satu jenis program CFD yang menggunakan metode diskritisasi volume. Sehingga memiliki fleksibilitas *mesh*, sehingga kasus-kasus aliran fluida yang memiliki *mesh* tidak teratur akibat geometri benda yang rumit dapat diselesaikan dengan mudah. Selain itu, Fluent memungkinkan untuk penggenerasian *mesh* lebih halus atau lebih besar dari *mesh* yang sudah ada berdasarkan pemilihan solusi aliran dalam menyelesaikan suatu kasus, Fluent memiliki beberapa langkah pengerjaan yaitu :

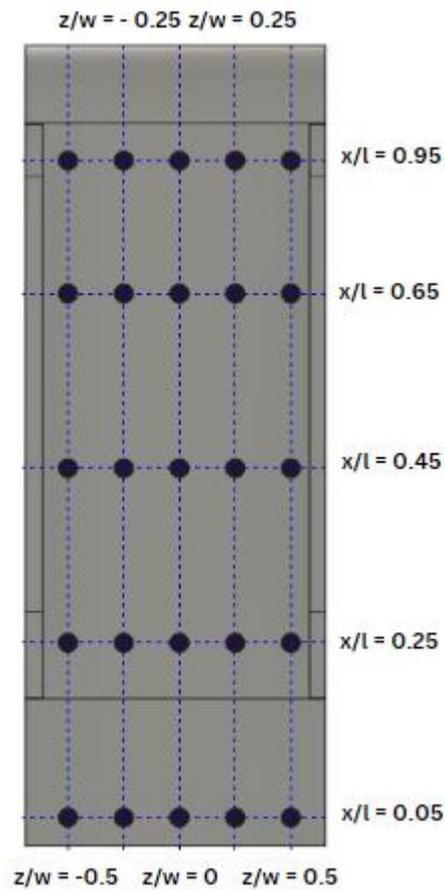
- Memilih *solver* yang tepat untuk model tersebut (2D atau 3D).
- Mengimport file model.
- Memilih persamaan dasar yang akan dipakai dalam analisa.
- Menentukan sifat material yang akan dipakai.
- Menentukan kondisi batas.
- Mengatur parameter kontrol solusi.
- *Initialize the flow field.*
- Melakukan perhitungan/iterasi
- Menampilkan hasil iterasi
- Menyimpan hasil iterasi

Dalam pendekatan komputasi juga dilakukan pengambilan data distribusi tekanan. Hal tersebut dimaksudkan untuk mendukung hasil hambatan aerodinamika

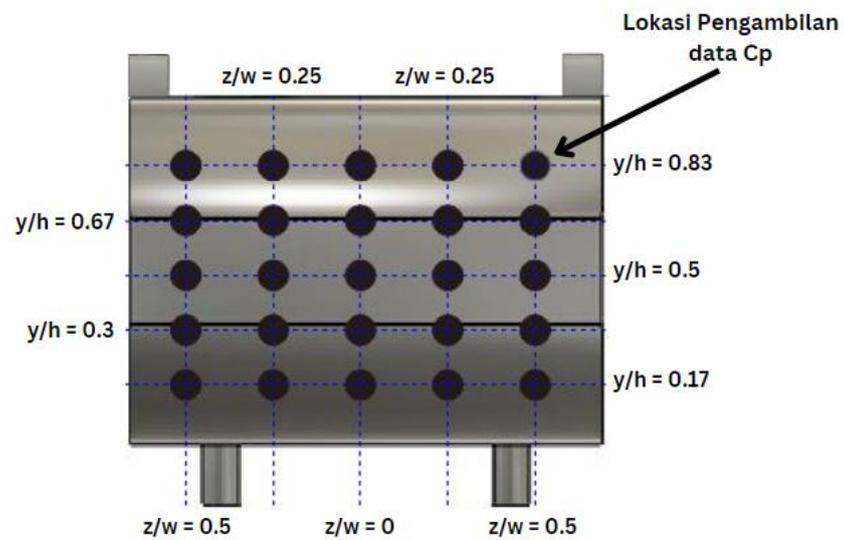
model kendaraan yang diperoleh. Pada dasarnya untuk aplikasi model kendaraan, reduksi hambatan aerodinamika ditandai dengan peningkatan medan tekanan pada dinding bagian belakang model kendaraan. Kontributor utama munculnya hambatan aerodinamika sebesar 80% terjadi pada dinding belakang kendaraan (Kourta & Gilieron, 2009). Sehingga hal ini menjadi dasar utama menentukan lokasi pengambilan data distribusi tekanan. Lokasi pengambilan data medan tekanan difokuskan pada lima area berbeda, yaitu  $z/w = -1/2$ ,  $z/w = -1/4$ ,  $z/w = 0$ ,  $z/w = 1/2$  dan  $z/w = 1/4$  sepanjang sumbu horizontal serta 5 area ( $y/h = 0.83$ ,  $y/h = 0.67$ ,  $y/h = 0.50$ ,  $y/h = 0.30$ , dan  $y/h = 0.17$ ) sepanjang sumbu vertikal ( $y/h$ ), dimana tinggi *grid* adalah 8 mm dan tinggi model 48 mm. Sehingga akan diperoleh data sebanyak 25 titik untuk model tanpa kontrol aliran aktif dan 25 titik data untuk model dengan kontrol pasif *roof rails*.  $z/w$  adalah perbandingan antara lebar *grid* dengan lebar model sedangkan  $y/h$  adalah perbandingan antara tinggi *grid* dengan tinggi model.



Gambar 9 Lokasi pengambilan data medan tekanan model tanpa kontrol aliran



Gambar 10 Lokasi pengambilan data medan tekanan bagian atas dengan kontrol pasif



Gambar 11 Lokasi pengambilan data medan tekanan bagian belakang dengan kontrol pasif

### 3.4 Pendekatan Eksperimental

Pengujian dengan metode eksperimental dimaksudkan untuk memvalidasi hasil-hasil yang telah diperoleh melalui simulasi komputasi sebelumnya pada kecepatan *upstream* terbaik. Kondisi dan dimensi model uji (*bluff body*) memiliki kesamaan dengan metode komputasi numerik. Pengujian dilakukan dengan memanfaatkan fasilitas terowongan angin (*wind tunnel*) dimana model uji ditempatkan pada seksi uji *wind tunnel* yang dilengkapi dengan perangkat *load cell* untuk memastikan kevalidan data *drag* aerodinamika serta dapat di lihat pada Gambar 12. Kecepatan aliran udara maksimum yang dalam seksi uji adalah 24 m/s serta terowongan angin tersebut dilengkapi dengan satu sesi *diffuser* yang bertujuan untuk menyeragamkan aliran.



Gambar 12 *Wind tunnel*

Pengukuran gaya *drag* aerodinamika melalui pendekatan eksperimental dilakukan dengan menggunakan *load cell*. *Load cell* tersusun dari sebuah plat besi dan dihubungkan ke *prototipe bluff body* dengan batang aluminium. Model ditempatkan dalam *wind tunnel* yang akan dialiri udara sehingga model menerima gaya dorong. Gaya dorong yang diterima oleh model secara otomatis juga diterima oleh plat yang menjadikan *plat* menerima *bending*. *Load cell* akan membaca proses tersebut dalam bentuk perubahan hambatan material dan menghasilkan tegangan keluar sebagai *output*. Dengan bantuan kalibrasi, *output* tegangan pada *load cell* akan langsung ditampilkan dalam bentuk gaya dengan satuan gram pada monitor.