

TESIS

**KARAKTERISTIK PEMISAHAN ALIRAN MELALUI KONFIGURASI
MODEL TANDEM MINIBUS**

**CHARACTERISTICS OF FLOW SEPARATION THROUGH TANDEM
MINIBUS MODEL CONFIGURATION**

Disusun dan diajukan oleh :

**MELKIYANTO
D02221013**



**PROGRAM STUDI PASCASARJANA TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

KARAKTERISTIK PEMISAHAN ALIRAN MELALUI KONFIGURASI MODEL TANDEM MINIBUS

Disusun dan diajukan oleh

MELKIYANTO

D022221013

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

pada tanggal 6 Agustus 2024

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui
Komisi Penasehat,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, M.T.
NIP. 195912201986011001

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. RUSTAN TARAKKA, S.T., M.T.
NIP. 197508272005011002

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli,
S.T., M.T., IPM., ASEAN. Eng.
NIP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin



Dr. Eng. NORTALY AHMADYAH, S.T., M.T.
NIP. 197911122008122002



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Melkiyanto

Nomor mahasiswa : D022221013

Program studi : S2 Teknik Mesin

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “KARAKTERISTIK PEMISAHAN ALIRAN MELALUI KONFIGURASI MODEL TANDEM MINIBUS” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, M.T dan Prof. Dr. Rustan Tarakka, S.T., M.T). Karya ilmiah ini belum diajukan dan sedang tidak diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari tesis ini telah dipublikasikan di jurnal “*International Journal of Engineering and Technology Innovation*” sebagai artikel dengan judul “*Flow Separation Characteristics of Tandem Minibus Model Configuration*”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 06 Agustus 2024
Yang menyatakan

A 10,000 Rupiah Indonesian postage stamp with a signature over it. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text '10000', 'METERAI TEMPEL', and 'FID0EALX313297233'.

Melkiyanto



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas kasih, anugerah serta penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini tepat pada waktunya.

Penyusunan tesis ini penulis susun dalam rangka untuk menyelesaikan tesis yang merupakan salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi pada program magister di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Terima kasih kami ucapkan kepada mereka yang telah memberikan bantuan baik materi maupun moral, sehingga berkat bantuannyalah setiap kendala yang kami alami dalam penyusunan tesis dapat terselesaikan. Untuk itu dengan segala rasa hormat, penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua, yakni ayah (Yusuf Inu) dan Ibu (Ester. Bs), serta seluruh keluarga atas dorongan, bimbingan, nasehat, serta doa selama menjalani pendidikan di Universitas Hasanuddin.
2. Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, M.T, sebagai pembimbing utama dan Prof. Dr. Rustan Tarakka, S.T., M.T, sebagai pembimbing pendamping. Yang telah dengan penuh kesabaran dan ketulusan memberikan ilmu dan bimbingan terbaik kepada penulis.
3. Prof. Dr. Ir. Luther Sule, M.T, Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T, Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, S.T., M.Sc, sebagai komisi tim penguji. Telah memberikan masukan dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.
4. Rektor universitas Hasanuddin dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program magister serta para dosen dan rekan-rekan dalam tim penelitian.



Uk Afrison atas segala bentuk bantuan yang telah diberikan dalam erjaan instalasi alat uji serta penggunaan fasilitas dan peralatan di ratorium Mekanika Fluida Departemen Teknik Mesin Universitas nuddin.

6. Para karyawati program studi magister Teknik Mesin Universitas Hasanuddin yang telah membantu penulis dalam proses administrasi.
7. Kepada Adam selaku mahasiswa S1 Teknik Mesin dan Faqih Selaku mahasiswa S2 Teknik Mesin Universitas Hasanuddin, penulis ucapkan terima kasih atas bantuan yang telah dilakukan dalam proses pengajaran menggunakan software FLUENT 6.3.26.
8. Teman-teman yang telah memberikan dukungan, semangat dan doa yang tulus baik secara moril kepada penulis.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin agar tesis ini dapat terselesaikan dengan baik, namun keterbatasan dan kemampuan sehingga tesis ini tampil dengan segala kekurangannya. Oleh karena itu, penulis senantiasa membuka diri atas kritik dan saran yang bertujuan untuk menyempurnakan tesis ini. Akhir kata semoga tesis ini bermanfaat kedepannya, sekian dan terima kasih.

Penulis

Melkiyanto



ABSTRAK

Melkiyanto. *Karakteristik Pemisahan Aliran Melalui Konfigurasi Model Tandem Minibus* (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, M.T, dan Prof. Dr. Rustan Tarakka, S.T., M.T)

Penelitian ini dilakukan di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin tepatnya di Laboratoium Mekanika Fluida Departemen Teknik Mesin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pemisahan aliran pada minibus tersusun dalam konfigurasi seri dan paralel. Objek penelitian ini adalah minibus kijang innova yang tersusun tandem seri dan paralel. Penelitian ini dilakukan dengan dua pendekatan yaitu pendekatan komputasi memanfaatkan program *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan pendekatan eksperimental dengan menggunakan *Subsonic Wind tunnel* yang tersedia di laboratorium mekanika fluida. Untuk pendekatan komputasi diperoleh data berupa karakteristik aliran, *pressure coefficient* (C_p) dan *drag coefficient* (C_D). Namun pada pendekatan eksperimental hanya difokuskan untuk memvalidasi *pressure coefficient* memanfaatkan *pressure tap* yang terhubung ke manometer. Terdapat lima variasi jarak (L) yang diberikan untuk minibus pertama dan kedua yakni 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm dan 50 mm baik untuk minibus tandem seri maupun tandem paralel. Kecepatan *upstream* yang terapkan masing-masing 8 m/s, 10 m/s, 12 m/s, 14 m/s, 16 m/s, 18 m/s dan 20 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi jarak minibus tersusun tandem seri dan paralel dapat menunda separasi aliran dan memperkecil olakan pada bagian belakang minibus. Pemisahan aliran terkecil minibus tandem seri terjadi pada $L/D = 0.455$ dengan nilai $C_p = -0.167$ untuk pendekatan eksperimental, $C_p = -0.179$ untuk pendekatan komputasi dengan nilai $C_D = 0.900$.

Kata kunci: CFD, karakteristik aliran, koefisien tekanan, *drag coefficient*, minibus tandem paralel, minibus tandem seri



ABSTRACT

Melkiyanto. *Characteristics of Flow Separation Through a Tandem Minibus Model Configuration* (Supervised by Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam and Prof. Dr. Rustan Tarakka, S.T., M.T)

This research was conducted at the Faculty of Engineering, Hasanuddin University, specifically in the Fluid Mechanics Laboratory of the Mechanical Engineering Department. The aim of this study is to determine the characteristics of flow separation in minibuses arranged in series and parallel configurations. The research objects are Kijang Innova minibuses arranged in tandem, both in series and parallel. The study was carried out using two approaches: a computational approach utilizing Computational Fluid Dynamics (CFD) software and an experimental approach using the Subsonic Wind tunnel available in the fluid mechanics laboratory. The computational approach yielded data in the form of flow characteristics, pressure coefficient (C_p), and drag coefficient (C_D). However, the experimental approach focused solely on validating the pressure coefficient using pressure taps connected to a manometer. Five distance variations (L) were provided between the first and second minibus, namely 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, and 50 mm, for both tandem series and tandem parallel configurations. The upstream speeds generated were 8 m/s, 10 m/s, 12 m/s, 14 m/s, 16 m/s, 18 m/s, and 20 m/s. The results showed that varying the distances in tandem series and parallel minibus configurations can delay flow separation and reduce wake turbulence at the rear of the minibus. The smallest flow separation of the series tandem minibus occurs at $L/D = 0.455$ with a value of $(C_p) = -0.167$ for the experimental approach, $(C_p) = -0.179$ for the computational approach with a value of $(C_D) = 0.900$.

Keywords: CFD, flow characteristics, pressure coefficient, drag coefficient, tandem parallel minibus, tandem series minibus



DAFTAR ISI

SAMPUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Batasan Masalah.....	6
1.5. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Aliran laminar.....	7
2.2. Aliran Turbulent	8
2.3. Bilangan Reynolds	9
2.4. Dinamika Aliran Pada Bodi Kendaraan	10
1. Lapisan Batas	11
2. Separasi Aliran	12
Pola Aliran Vortex	13



2.6.	Streamline.....	14
2.7.	Drag Aerodinamika	15
2.7.1.	Drag Gesekan.....	16
2.7.2.	Drag Tekanan.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		20
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2.	Model Uji	20
3.3.	Pendekatan Komputasi	25
3.4.	Pendekatan Eksperimental.....	27
3.5.	Diagram Alir Penelitian.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		32
4.1.	Analisis Data Penelitian	32
4.2.	Karakteristik Aliran.....	34
4.2.1.	Karakteristik Aliran Melintasi Tandem Minibus Konfigurasi Seri ..	34
4.2.2.	Karakteristik Aliran Melintasi Tandem Minibus Konfigurasi Paralel 50	
4.2.3.	Karakteristik Aliran Melintasi Tandem Minibus Konfigurasi Seri dan Konfigurasi Paralel.....	66
4.5.	Koefisien Tekanan (CP).....	84
4.5.1.	Hubungan Koefisien Tekanan (CP) Terhadap Perbandingan Jarak Minibus Tersusun Tandem Konfigurasi Seri.....	84
4.5.2.	Hubungan Koefisien Tekanan (CP) Terhadap Perbandingan Jarak Minibus Tersusun Tandem Konfigurasi Paralel	91
4.5.3.	Hubungan Koefisien Tekanan (CP) Terhadap Perbandingan Jarak Minibus Tersusun Tandem Konfigurasi Seri dan Konfigurasi Paralel.....	97



4.5.4.	Hubungan Koefisien Tekanan (CP) Terhadap Perbandingan Jarak Minibus Tersusun Tandem Konfigurasi Seri Pada $Re = 54726$	108
4.5.5.	Hubungan Koefisien Tekanan (CP) Terhadap Perbandingan Jarak Minibus Tersusun Tandem Konfigurasi Paralel pada $Re = 109453$	111
4.5.6.	Hubungan Koefisien Tekanan (CP) Terhadap Tiap Posisi <i>Pressure tap</i> Untuk Konfigurasi Seri	113
4.5.7.	Hubungan Koefisien Tekanan (CP) Terhadap Tiap Posisi <i>Pressure tap</i> Untuk Konfigurasi Paralel	119
4.5.8.	Perbandingan Nilai Koefisien Tekanan dengan Pendekatan Eksperimental dan Pendekatan Komputasi	125
4.6.	<i>Drag coefficient</i> (CD).....	130
4.6.1.	Hubungan <i>drag coefficient</i> (CD) terhadap perbandingan jarak minibus tersusun tandem dalam konfigurasi seri	130
4.6.2.	Hubungan <i>drag coefficient</i> (CD) terhadap perbandingan jarak minibus tersusun tandem dalam konfigurasi paralel.....	131
4.7.	Hubungan Koefisien Drag (CD) Terhadap Perbandingan Jarak Minibus Tersusun Tandem Seri	132
4.8.	Hubungan <i>Drag coefficient</i> (CD) Terhadap Perbandingan Jarak Minibus Tersusun Tandem Paralel	134
4.9.	Hubungan Koefisien Drag (CP) Terhadap Perbandingan Jarak Minibus Tersusun Tandem Seri	136
4.10.	Hubungan Koefisien Drag (CP) Terhadap Perbandingan Jarak Minibus Tersusun Tandem Paralel	138
4.11.	Hubungan Antara Koefisien Drag (CD), Koefisien Tekanan (CP) dan ersitik Aliran Untuk Konfigurasi Seri	139
	Hubungan Antara <i>Drag Coefficient</i> (CD), Koefisien Tekanan (CP) dan ersitik Aliran Untuk Konfigurasi Paralel.....	140



BAB V PENUTUP.....	142
5.1. Kesimpulan.....	142
5.2. Saran.....	142
DAFTAR PUSTAKA.....	144
LAMPIRAN.....	146



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Profil kecepatan aliran laminar dalam pipa yang berkembang penuh (Cengel & Cimbala, n.d.)	7
Gambar 2. Profil kecepatan aliran turbulent dalam pipa yang berkembang penuh (Cengel & Cimbala, n.d.)	8
Gambar 3. Karakteristik dari lapisan batas pada pelat datar (Munson, 2002)	11
Gambar 4. Separasi aliran pada benda tegak (Yunus A. cengel, 2006).....	13
Gambar 5. Separasi aliran pada mobil (MUNSON, YOUNG, OKIISHI, 2016) ...	13
Gambar 6. Streamline untuk aliran melewati mobil balap formula 1 (MUNSON, YOUNG, OKIISHI, 2016)	15
Gambar 7. Distribusi tekanan pada mobil (Munson, 2002)	17
Gambar 8. Posisi tapping pada model minibus menunjukkan (a) posisi tiap <i>pressure tap</i> untuk konfigurasi seri dan (b) posisi <i>pressure tap</i> untuk konfigurasi paralel.	20
Gambar 9. Dimensi model uji	21
Gambar 10. Susunan tandem dalam konfigurasi seri (a), dan konfigurasi paralel (b).	22
Gambar 11. Wind tunnel	28
Gambar 12. Skeman pengujian	28
Gambar 13. Gambar diagram alir penelitian.....	31
Gambar 14. Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi seri $L/D=0.227$	35
Gambar 15. Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi seri $L/D=0.455$	36



16. Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi seri	37
17. Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi seri	38

Gambar 18. Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi seri $L/D=1.136$	39
Gambar 19 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi seri $L/D=0.227$	40
Gambar 20 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi seri $L/D=0.455$	41
Gambar 21 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi seri $L/D=0.682$	42
Gambar 22 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi seri $L/D=0.909$	43
Gambar 23 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi seri $L/D=1.136$	44
Gambar 24 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi seri $L/D=0.227$	45
Gambar 25 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi seri $L/D=0.455$	46
Gambar 26 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi seri $L/D=0.682$	47
Gambar 27 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi seri $L/D=0.909$	48
Gambar 28 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi seri $L/D=1.136$	49
Gambar 29. Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi paralel $M/D=0.227$	51



30 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi paralel 55	52
31. Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi paralel 82	53

Gambar 32. Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi paralel $M/D=0.909$	54
Gambar 33. Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi paralel $M/D=1.136$	55
Gambar 34 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi paralel $M/D=0.227$	56
Gambar 35 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi paralel $M/D=0.455$	57
Gambar 36 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi paralel $M/D=0.682$	58
Gambar 37 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi paralel $M/D=0.909$	59
Gambar 38 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi paralel $M/D=1.136$	60
Gambar 39 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi paralel $M/D=0.227$	61
Gambar 40 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi paralel $M/D=0.455$	62
Gambar 41 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi paralel $M/D=0.682$	63
Gambar 42 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi paralel $M/D=0.909$	64
Gambar 43 Karakteristik aliran melintasi tandem minibus konfigurasi paralel $M/D=1.136$	65



14 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem menunjukkan konfigurasi seri $L/D=0.227$, dan (b) konfigurasi paralel $M/D=0.227$ 67

15 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem menunjukkan konfigurasi seri $L/D=0.455$, dan (b) konfigurasi paralel $M/D=0.455$ 68

Gambar 46 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem menunjukkan (a) konfigurasi seri $L/D=0.682$, dan (b) konfigurasi paralel $M/D=0.682$ 69

Gambar 47 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem menunjukkan (a) konfigurasi seri $L/D=0.909$, dan (b) konfigurasi paralel $M/D=0.909$ 70

Gambar 48 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem menunjukkan (a) konfigurasi seri $L/D=1.136$, dan (b) konfigurasi paralel $M/D=1.136$ 71

Gambar 49 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem menunjukkan (a) konfigurasi seri $L/D=0.227$, dan (b) konfigurasi paralel $M/D=0.227$ 73

Gambar 50 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem menunjukkan (a) konfigurasi seri $L/D=0.455$, dan (b) konfigurasi paralel $M/D=0.455$ 74

Gambar 51 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem menunjukkan (a) konfigurasi seri $L/D=0.682$, dan (b) konfigurasi paralel $M/D=0.682$ 75

Gambar 52 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem menunjukkan (a) konfigurasi seri $L/D=0.909$, dan (b) konfigurasi paralel $M/D=0.909$ 76

Gambar 53 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem menunjukkan (a) konfigurasi seri $L/D=1.136$, dan (b) konfigurasi paralel $M/D=1.136$ 77

Gambar 54 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem menunjukkan (a) konfigurasi seri $L/D=0.227$, dan (b) konfigurasi paralel $M/D=0.227$ 79

Gambar 55 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem menunjukkan (a) konfigurasi seri $L/D=0.455$, dan (b) konfigurasi paralel $M/D=0.455$ 80

Gambar 56 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem menunjukkan (a) konfigurasi seri $L/D=0.682$, dan (b) konfigurasi paralel $M/D=0.682$ 81

Gambar 57 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem menunjukkan (a) konfigurasi seri $L/D=0.909$, dan (b) konfigurasi paralel $M/D=0.909$ 82



Gambar 58 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem menunjukkan konfigurasi seri $L/D=1.136$, dan (b) konfigurasi paralel $M/D=1.136$ 83

Gambar 59. Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan $L/D=0.455$ untuk pendekatan eksperimental	86
Gambar 60. Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan $L/D=0.909$ untuk pendekatan eksperimental	86
Gambar 61 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan $L/D=0.455$ untuk pendekatan komputasi.....	89
Gambar 62 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan $L/D=0.909$ untuk pendekatan komputasi.....	89
Gambar 63 Simulasi CFD pada $U=20$ m/s tandem minibus konfigurasi seri menunjukkan (a) kontur tekanan $L/D=0.455$ dan (b) kontur tekanan $L/D=0.909$	90
Gambar 64 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan $M/D=0.455$ untuk pendekatan eksperimental	92
Gambar 65 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan $M/D=0.909$ untuk pendekatan eksperimental	93
Gambar 66 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan $M/D=0.455$ untuk pendekatan komputasi.....	95
Gambar 67 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan $M/D=0.909$ untuk pendekatan komputasi.....	96
Gambar 68 Simulasi CFD pada $U=20$ m/s tandem minibus konfigurasi seri menunjukkan (a) kontur tekanan $L/D=0.455$, (b) kontur tekanan $L/D=0.909$	97



Gambar 69 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan $L/D=0.455$ untuk pendekatan eksperimental	99
Gambar 70 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan $M/D=0.455$ untuk pendekatan eksperimental	100
Gambar 71 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan $L/D=0.909$ untuk pendekatan eksperimental	101
Gambar 72 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan $M/D=0.909$ untuk pendekatan eksperimental	102
Gambar 73 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan $L/D=0.455$ untuk pendekatan komputasi.....	105
Gambar 74 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan $M/D=0.455$ untuk pendekatan komputasi.....	105
Gambar 75 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan $L/D=0.909$ untuk pendekatan komputasi.....	107
Gambar 76 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan $M/D=0.909$ untuk pendekatan komputasi.....	107
Gambar 77 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> 1 dan 2 pada tiap variasi L/D dengan $Re=54726$ untuk pendekatan eksperimental	109



Gambar 78 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan 2 pada tiap variasi L/D dengan $Re=54726$ untuk pendekatan komputasi	110
Gambar 79 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan 2 pada tiap variasi M/D dengan $Re=109453$ untuk pendekatan eksperimental	111
Gambar 80 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan 2 pada tiap variasi M/D dengan $Re=109453$ untuk pendekatan komputasi	112
Gambar 81 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan konfigurasi seri untuk pendekatan eksperimental, menampilkann (a) $L/D=0.227$, (b) $L/D=0.455$, (c) $L/D=0.608$, (d) $L/D=0.909$ dan (e) $L/D=1.136$	115
Gambar 82 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan konfigurasi seri untuk pendekatan komputasi, menampilkann (a) $L/D=0.227$, (b) $L/D=0.455$, (c) $L/D=0.608$, (d) $L/D=0.909$ dan (e) $L/D=1.136$	118
Gambar 83 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan konfigurasi paralel untuk pendekatan eksperimental, menampilkann (a) $M/D=0.227$, (b) $M/D=0.455$, (c) $M/D=0.608$, (d) $M/D=0.909$ dan (e) $M/D=1.136$	121
Gambar 84 Hubungan koefisien tekanan (C_p) dengan posisi tiap <i>pressure tap</i> minibus 1 dan minibus 2 pada tiap variasi bilangan Reynolds dengan konfigurasi paralel untuk pendekatan komputasi, menampilkann (a) $M/D=0.227$, (b) $M/D=0.455$, (c) $M/D=0.608$, (d) $M/D=0.909$ dan (e) $M/D=1.136$	124
35 Perbandingan hasil komputasi dengan eksperimental pada dua minibus tandem seri dengan $L/D=0.455$ pada $Re=54726$	126
36 Perbandingan hasil komputasi dengan eksperimental pada dua minibus tandem seri dengan $L/D=0.909$ pada $Re=54726$	127



Gambar 87 Perbandingan hasil komputasi dengan eksperimental pada dua minibus tersusun tandem paralel dengan $M/D=0.455$ pada $Re=109453$ 128

Gambar 88 Perbandingan hasil komputasi dengan eksperimental pada dua minibus tersusun tandem paralel dengan $M/D=0.909$ pada $Re=109453$ 129

Gambar 89 Hubungan antara L/D dengan *drag coefficient* (C_D) tandem minibus konfigurasi seri pada 7 tingkat bilangan Reynolds untuk pendekatan komputasi 131

Gambar 90 Hubungan antara M/D dengan *drag coefficient* (C_D) tandem minibus konfigurasi paralel pada 7 tingkat bilangan Reynolds untuk pendekatan komputasi 132



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Skema posisi jarak antara mobil 1 dan mobil 2 konfigurasi seri	23
Tabel 2 Skema posisi jarak antara mobil 1 dan mobil 2 konfigurasi paralel	24
Tabel 3 Kondisi batas model uji.....	26
Tabel 4 Nilai koefisien tekanan minimum (C_p) minibus untuk Tp 7 (minibus 1) dan Tp 21 (minibus 2) yang tersusun secara tandem konfigurasi seri dengan Re 21891 hingga 54726 untuk pendekatan ekperimental.....	85
Tabel 5 Nilai koefisien tekanan minimum (C_p) minibus untuk Tp 7 (minibus 1) dan Tp 21 (minibus 2) yang tersusun secara tandem konfigurasi seri dengan Re 21891 hingga 54726 untuk pendekatan komputasi.....	87
Tabel 6 Nilai koefisien tekanan minimum (C_p) minibus untuk Tp 7 (minibus 1) dan Tp 21 (minibus 2) yang tersusun secara tandem konfigurasi paralel dengan Re 43781 hingga 109453 untuk pendekatan ekperimental.....	91
Tabel 7 Nilai koefisien tekanan minimum (C_p) minibus untuk Tp 7 (minibus 1) dan Tp 21 (minibus 2) yang tersusun secara tandem konfigurasi paralel dengan Re 43781 hingga 109453 untuk pendekatan komputasi.....	94
Tabel 8 Nilai koefisien tekanan minimum (C_p) minibus untuk Tp 7 (minibus 1) dan Tp 21 (minibus 2) tersusun tandem dalam konfigurasi seri dan konfigurasi paralel untuk pendekatan eksperimental	98
Tabel 9 Nilai koefisien tekanan minimum (C_p) minibus untuk Tp 7 (minibus 1) dan Tp 21 (minibus 2) tersusun tandem dalam konfigurasi seri dan konfigurasi paralel untuk pendekatan komputasi.....	103
Tabel 10 Hasil perhitungan drag coefficient (C_D) konfigurasi seri untuk pendekatan komputasi pada setiap tingkatan bilangan Reynolds.	130



Hasil perhitungan drag coefficient (C_D) konfigurasi paralel untuk an komputasi pada setiap tingkatan bilangan Reynolds. 131

Kecepatan upstream (U) dan bilangan Reynolds (Re) pada konfigurasi konfigurasi paralel 146

Tabel A 2 Diameter hidraulik benda uji eksperimen pada mobil 1 dan mobil 2..	146
Tabel A 3 Luas frontal area (A) pada model konfigurasi seri dan konfigurasi paralel.....	146
Tabel A 4 Nilai gaya drag (FD) minibus tersusun tandem konfigurasi seri untuk pendekatan komputasi.....	146
Tabel A 5 Nilai gaya drag (FD) minibus tersusun tandem konfigurasi paralel untuk pendekatan komputasi.....	147
Tabel A 6 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.227$ untuk pendekatan eksperimental	148
Tabel A 7 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.455$ untuk pendekatan eksperimental	149
Tabel A 8 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.682$ untuk pendekatan eksperimental	150
Tabel A 9 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.909$ untuk pendekatan eksperimental	151
Tabel A 10 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=1.136$ untuk pendekatan eksperimental	152
Tabel A 11 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.227$ untuk pendekatan eksperimental	153
 2 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara ada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.455$ untuk pendekatan ental	154

Tabel A 13 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.682$ untuk pendekatan eksperimental	155
Tabel A 14 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.909$ untuk pendekatan eksperimental	156
Tabel A 15 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=1.136$ untuk pendekatan eksperimental	157
Tabel A 16 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.227$ untuk pendekatan komputasi .	158
Tabel A 17 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.455$ untuk pendekatan komputasi .	159
Tabel A 18 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.682$ untuk pendekatan komputasi .	160
Tabel A 19 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.909$ untuk pendekatan komputasi .	161
Tabel A 20 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=1.136$ untuk pendekatan komputasi .	162
Tabel A 21 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.227$ untuk pendekatan komputasi	163
Tabel A 22 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.455$ untuk pendekatan komputasi	164
 3 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara ada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.682$ untuk pendekatan komputasi	165

Tabel A 24 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.909$ untuk pendekatan komputasi 166

Tabel A 25 Hasil pengamatan distribusi tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=1.136$ untuk pendekatan komputasi 167

Tabel A 26 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.227$ untuk pendekatan eksperimental 168

Tabel A 27 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.455$ untuk pendekatan eksperimental 169

Tabel A 28 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.682$ untuk pendekatan eksperimental 170

Tabel A 29 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.909$ untuk pendekatan eksperimental 171

Tabel A 30 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=1.136$ untuk pendekatan eksperimental 172

Tabel A 31 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.227$ untuk pendekatan eksperimental..... 173

Tabel A 32 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.455$ untuk pendekatan eksperimental..... 174

Tabel A 33 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.682$ untuk pendekatan eksperimental..... 175

Tabel A 34 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.909$ untuk pendekatan eksperimental..... 176



5 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=1.136$ untuk pendekatan eksperimental..... 177

6 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.227$ untuk pendekatan komputasi..... 178

Tabel A 37 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.455$ untuk pendekatan komputasi.....	179
Tabel A 38 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.682$ untuk pendekatan komputasi.....	180
Tabel A 39 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.909$ untuk pendekatan komputasi.....	181
Tabel A 40 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=1.136$ untuk pendekatan komputasi.....	182
Tabel A 41 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.227$ untuk pendekatan komputasi	183
Tabel A 42 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.455$ untuk pendekatan komputasi	184
Tabel A 43 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.682$ untuk pendekatan komputasi	185
Tabel A 44 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.909$ untuk pendekatan komputasi	186
Tabel A 45 Nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=1.136$ untuk pendekatan komputasi	187
Tabel A 46 Perbandingan nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.227$ untuk pendekatan komputasi dan eksperimental	188
Tabel A 47 Perbandingan nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.455$ untuk pendekatan komputasi dan eksperimental	189



8 Perbandingan nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.682$ untuk pendekatan komputasi dan eksperimental	190
--	-----

Tabel A 49 Perbandingan nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=0.909$ untuk pendekatan komputasi dan eksperimental	191
Tabel A 50 Perbandingan nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi seri dengan $L/D=1.136$ untuk pendekatan komputasi dan eksperimental	192
Tabel A 51 Perbandingan nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.227$ untuk pendekatan komputasi dan eksperimental.....	193
Tabel A 52 Perbandingan nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.455$ untuk pendekatan komputasi dan eksperimental.....	194
Tabel A 53 Perbandingan nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.682$ untuk pendekatan komputasi dan eksperimental.....	195
Tabel A 54 Perbandingan nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=0.909$ untuk pendekatan komputasi dan eksperimental.....	196
Tabel A 55 Perbandingan nilai koefisien tekanan minibus yang tersusun secara tandem pada konfigurasi paralel dengan $M/D=1.136$ untuk pendekatan komputasi dan eksperimental.....	197
Tabel A 56 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem konfigurasi seri (model 1) dengan $U=10$ m/s, 12 m/s, 16 m/s, dan 18 m/s	198
Tabel A 57 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem konfigurasi paralel (model 2) dengan $U=10$ m/s, 12 m/s, 16 m/s, dan 18 m/s.....	218



8 Karakteristik aliran melintasi minibus tersusun tandem menunjukkan konfigurasi seri dan (b) konfigurasi paralel pada $U=10$ m/s, 12 m/s, 16 m/s, dan	238
--	-----

9 Sifat fisis udara	258
---------------------------	-----

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
A	<i>Frontal cross-sectional area (m)</i>
C_D	<i>Drag coefficient</i>
C_P	<i>Pressure coefficient</i>
D	<i>Hydraulic diameter (m)</i>
F_D	<i>Drag force (N)</i>
h	<i>Head of airflow in the manometer</i>
h_{sm}	<i>Head of static airflow in the manometer</i>
h_{tm}	<i>Head of a stagnation airflow in the manometer</i>
L	<i>Tandem minibus distance (m)</i>
P	<i>Pressure (Pa)</i>
P_o	<i>Upstream pressure (Pa)</i>
Re	<i>Reynolds number</i>
U	<i>Inlet airspeed to the wind tunnel (m/s)</i>
ρ	<i>Air density (kg/m³)</i>
ν	<i>The kinematic velocity of air (m²/s)</i>



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam domain perancangan, khususnya pada kendaraan dan infrastruktur, seperti bangunan dan utilitas, pemahaman terhadap karakteristik aliran aerodinamik menjadi esensial untuk mencapai bentuk yang optimal dan kekuatan yang memadai, terutama menghadapi beban angin. Kekuatan angin menjadi aspek penting yang harus dipertimbangkan agar suatu objek dapat berfungsi secara efektif dan efisien. Dalam mengurangi kehilangan energi dan menunda terjadinya pemisahan aliran pada saat fluida melintasi objek harus menjadi faktor utama dalam merancang suatu bentuk maupun struktur agar dapat menghasilkan aliran seragam yang memberikan keuntungan signifikan pada kinerja keseluruhan objek (N. Salam et al., 2018) (Q. Wang et al., 2019).

Aliran eksternal viscous yang mengalir melalui silinder akan mengalami stagnasi, lapisan batas, separasi (pemisahan) dan wake di belakang silinder. Untuk benda yang bergerak dalam fluida viscous, *drag force* (gaya hambat) dan *lift force* (gaya angkat) erat hubungannya dengan separasi aliran (Chew et al., 1998)

Drag coefficient yang melintasi model minibus yang disusun secara tandem dalam empat konfigurasi dimana hasil yang diperoleh dari penelitian ini semakin besar kecepatan dan semakin kecil jarak yang diberikan pada model uji yang disusun secara tandem maka *drag coefficient* akan semakin kecil. Dimana *drag coefficient* (C_D) terkecil diperoleh pada model III ($C_D = 0.78$), dan untuk *drag coefficient* terbesar ditunjukkan pada model 1 ($C_D = 0.84$) (N. Salam et al., 2021).

Dalam mencapai penundaan pemisahan aliran yang kemudian menghasilkan aliran seragam yang menguntungkan, maka dari itu dalam mengurangi kehilangan energi pada saat fluida melintasi susunan objek harus menjadi faktor utama dalam merancang baik itu bentuk maupun struktur pada suatu objek (N. Salam et al., 2021).



Hambatan dalam suatu kendaraan sangat mendapat perhatian yang tinggi dalam bidang eksperimental dan praktisi dari dinamika fluida, banyak peneliti dan penulis yang telah melakukan riset dalam menggambarkan berbagai bentuk atau bodi kendaraan dimana berguna untuk mengurangi terjadinya kondisi gesek pada saat fluida mengenai bodi kendaraan. Khususnya untuk bidang aerodinamika pada mobil balap (Rakibul Hassan et al., 2014).

Dengan penambahan inlet disturbance body (IDB) berbentuk silinder sirkular, dimana silinder sirkular dan silinder persegi di susun secara tandem sebagai variasi seri, dan dianalisis baik secara eksperimen dan simulasi yang menggunakan software FLUENT 6.3.26. Hasil yang didapatkan yaitu, semakin besar perbandingan jarak IDB terhadap diameter silinder persegi yang disusun secara tandem sebagai variasi seri (L/D) maka nilai dari *drag coefficient* nya semakin besar (N. Salam et al., 2017).

Aliran fluida yang melintasi silinder segitiga dan persegi dimana untuk perbandingan jarak antara dua silinder (L) dengan diameter silinder (D) dapat juga di tulis sebagai (L/D). Diperoleh hasil dimana semakin besar jarak yang diberikan pada dua silinder maka semakin besar pula vortex yang di hasilkan antar silinder yang cenderung bergerak ke arah silinder segitiga dan semakin besar juga koefisien drag yang dihasilkan (N. Salam et al., 2014).

Silinder persegi yang pada penelitian ini ukurannya sama besar di tempatkan dan di susun secara tandem. Aliran yang digunakan merupakan aliran steady dan unsteady dengan ($Re = 1-200$, $G = 5$), menunjukkan hasil bahwa aliran bersifat steady untuk $Re \leq 35$ dan untuk aliran yang bersifat unsteady periodik yaitu pada $Re \geq 40$ (Etminan et al., 2010).



Kontrol pemisahan aliran yang di teliti pada model kendaraan umum kemiringannya 25° serta menerapkan jet mikro yang stabil. Dengan akan rangkaian mikrojet yang stabil, koefisien hambatan dapat sebesar 9-14% dan koefisien liftnya 42% (Aubrun et al., 2011). Wassen & Thiele (Wassen & Thiele, 2010) mensimulasikan serta menerapkan pendekatan

kontrol aktif pada kendaraan fastback generik. Melalui Simulasi Large Eddy, metode aktuasi ini dapat menurunkan hambatan aerodinamis sebesar 10,2%.

Dengan menambahkan batang pengganggu pada benda tandem serta memvariasikan jarak pada tiap silinder maka akan mencapai hasil pengurangan koefisien hambatan (N. Salam et al., 2017)(N. Salam et al., 2014)(N. Salam et al., 2013). Penelitian terkait pengaruh pengaplikasian batang pengganggu di depan silinder sirkular terhadap hambatan aerodinamis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bilangan Reynolds dan diameter batang pengganggu mempengaruhi pola aliran di sekitar model. Pengurangan penghambatan tertinggi diperoleh sebesar 63%(J. J. Wang et al., 2006).

Kontribusi drag aerodinamika pada kendaraan komersial (yaitu truk semi trailer) dipengaruhi oleh berbagai aspek baik itu pada geometri depan mobil, kaca depan, atap dan bagian belakang dimana lewat aspek-aspek ini dapat ditentukan dengan melalui pengujian dengan metode eksperimental dan komputasi serta perhitungan numerik. Riset-riset terkini dalam pengembangan bidang aerodinamika kendaraan difokuskan pada pengembangan desain yang efisien dan memberi efek penghematan bahan bakar secara signifikan (Chowdhury et al., 2013).

Menerapkan suction belakang dalam studi hambatan aerodinamis pada SUV generik. Mereka mengusulkan metodologi baru yang menggabungkan pemodelan otomatis celah hisap, model CFD, dan larik ortogonal dalam metode pencarian global untuk mengenali parameter yang bertanggung jawab untuk mencapai pengurangan maksimum dalam pengurangan tarikan aerodinamis. Hasilnya menetapkan bahwa desain mekanisme hisap yang tepat mampu mengurangi hambatan hingga 9% (N. Salam et al., 2021).



Tsutsui dan Igarashi melakukan penelitian terkait pengaruh pengaplikasian batang pengganggu di depan silinder sirkular terhadap hambatan aerodinamis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bilangan Reynolds dan diameter batang pengganggu mempengaruhi pola aliran di sekitar model. Pengurangan penghambatan tertinggi diperoleh sebesar 63%(J. J. Wang et al., 2006).

Kontribusi drag aerodinamika pada kendaraan komersial (yaitu truk semi trailer) dipengaruhi oleh berbagai aspek baik itu pada geometri depan mobil, kaca depan, atap dan bagian belakang dimana lewat aspek-aspek ini dapat ditentukan dengan melalui pengujian dengan metode eksperimental dan komputasi serta perhitungan numerik. Riset-riset terkini dalam pengembangan bidang aerodinamika kendaraan difokuskan pada pengembangan desain yang efisien dan memberi efek penghematan bahan bakar secara signifikan (Chowdhury et al., 2013).

Pengujian aerodinamika kendaraan dilakukan menggunakan metode eksperimental maupun metode simulasi numerik yang memanfaatkan perangkat software computational fluid dynamic (CFD). Metode komputasi numerik dapat digunakan dengan keunggulan lebih cepat dalam memperoleh data serta rendahnya biaya yang dibutuhkan. Selain itu, pengujian aerodinamika kendaraan dengan metode eksperimental dilakukan pada terowongan angin (*wind tunnel*), dimana model kendaraan diskalakan dan bentuk geometri yang sama dengan prototipe. Metode eksperimental ini sengaja dilakukan sebagai pembandingan atau memvalidasi hasil yang diperoleh melalui metode komputasi numerik sehingga hasil yang diperoleh benar-benar akurat dan dapat dipertanggungjawabkan sebagai sebuah penelitian. Pengujian melalui pendekatan simulasi numerik 2 dimensi terkait dinamika aliran di sekitar silinder berkonfigurasi persegi panjang dianalisis menggunakan metode Boltzman lattice (LBM) pada bilangan Reynolds $Re=100$ yang dilakukan. Fokus utama penelitian ditentukan pada pengaruh jarak antara silinder L/D masing-masing 0,5, 1,5, 2,5, 4,0, 5,0, 6,0, 7,0, 8,0, 9,0, dan 10,0. Hasil penelitian menunjukkan bahwa empat fitur yang berbeda dari masing-masing silinder persegi tunggal, aliran stabil, aliran bergelombang, dan juga aliran berputar (Habiba et al., 2021).



Pengurangan *drag coefficient* pada objek tandem dapat tercapai dengan mengurangi suatu badan pengganggu dan memvariasikan interaksi antara kedua badan hal jarak dan diameter. Pada penelitian karakteristik aerodinamis untuk konfigurasi dari tiga model minibus tandem dalam hal separasi aliran dan tekanan pada tiap konfigurasi ditentukan melalui setiap rasio jarak tiap

satu mobil ke dua mobil berurutan lainnya. Hasil penelitian dengan rasio M/D (0.57, 1.13, 1.70, 2.27, 2.84, dan 3.41) dan empat rasio N/D (0.0, 2.75, 5.50, dan 8.25) dan rasio L/D 2.75 pada bilangan Reynolds 55.120 menunjukkan perbedaan karakteristik pemisahan aliran yang cukup besar pada tiap konfigurasi dimana koefisien tekanan optimal cenderung di temukan positif (N. Salam, Tarakka, Jalaluddin, Jimran, et al., 2021).

Berdasarkan hasil dari uraian yang tertera, maka akan dilakukan penelitian dengan judul : **“Karakteristik Pemisahan Aliran Melalui Konfigurasi Model Tandem Minibus”**.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang menjadi sumber pertimbangan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut :

- a. Bagaimana karakteristik pemisahan aliran yang melintasi model tandem minibus dengan konfigurasi seri dan paralel ?
- b. Bagaimana koefisien tekanan yang melintasi model tandem minibus dengan konfigurasi seri dan paralel ?
- c. Bagaimana nilai koefisien tahanan dan koefisien tekanan optimum aliran fluida yang melintasi model tandem minibus dengan konfigurasi seri dan paralel ?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui karakteristik aliran fluida yang melintasi minibus yang tersusun secara tandem adalah sebagai berikut :

- a. Menganalisis karakteristik pemisahan aliran yang melintasi model tandem minibus dengan konfigurasi seri dan paralel
- b. Menganalisis koefisien tekanan yang melintasi model tandem minibus dengan konfigurasi seri dan paralel



- c. Menentukan nilai koefisien tahanan dan koefisien tekanan optimum aliran fluida yang melintasi model tandem minibus dengan konfigurasi seri dan paralel

1.4. Batasan Masalah

Dengan melihatnya permasalahan yang di kaji dari penelitian ini, maka dalam penelitian ini kami membatasi beberapa hal yaitu sebagai berikut :

- a. Pengujian baik itu secara eksperimen maupun simulasi yang di lakukan pada aliran yang *steady*.
- b. Udara di anggap mengalir secara *incompressibel flow*.
- c. Kecepatan aliran upstream 8 m/s (28.8 km/h), 10 m/s (36 km/h), 12 m/s (43.2 km/h), 14 m/s (50.4 km/h), 16 m/s (57.6 km/h), 18 m/s (64.8 km/h), dan 20 m/s (72 km/h).
- d. Dimensi masing-masing model adalah, panjang 121 mm, lebar 45 mm, dan tinggi 43 mm, diameter hidrolis (D) 44 mm, dan rasio antara model dan prototipe adalah 1:40.
- e. Distribusi tekanan diukur dengan memasang 14 posisi titik tapping di sekitar dinding minibus.
- f. Jumlah variasi jarak mobil 1 ke mobil 2 yaitu 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm dan 50 mm

1.5. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memiliki manfaat baik itu kepada peneliti maupun kepada masyarakat luas yang diantaranya sebagai berikut :

- a. Diketuinya karakteristik pemisahan aliran yang melintasi minibus tandem dan besarnya koefisien tekanan dari tiap konfigurasi model tandem minibus, aka lewat hal tersebut dapat menjadi kontribusi ilmiah baru dalam bidang ekanika fluida yang terkhususnya dalam bidang aerodinamika. apabila diketahui besarnya nilai dari koefisien tekanan melalui penelitian pemisahan aliran melintasi minibus tandem, maka praktisi yang dalam



bidang aerodinamika dapat menggunakannya sebagai bahan referensi dalam mendesain serta menganalisis lebih efektif dan efisien berbagai jenis peralatan industri otomotif khususnya pada bidang aerodinamis.

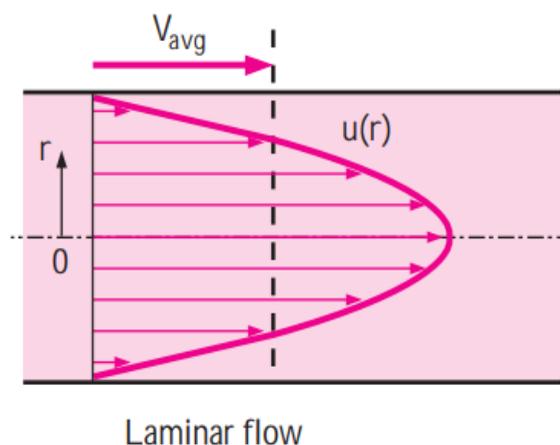


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Aliran laminar

Aliran laminar merupakan aliran udara yang terjadi akibat tidak adanya gangguan pada pengaliran fluida di tiap lapisan paralel sehingga mempertahankan daerah aliran laminar sehingga dapat mengurangi gesekan (Conca, 2012). Persamaan Blasius untuk aliran laminar berasal dari persamaan lapisan batas Prandtl (Rahman et al., 2023). Garis alir masing-masing dari aliran udara tidak saling berpotongan. Sifat dari aliran laminar adalah tidak terjadi pusaran, persilangan maupun pencampuran aliran udara. Setiap partikel udara bergerak seranjang dengan arah aliran udara secara teratur.

Aliran laminar dipelajari dalam dinamika fluida. Dinamika fluida itu sendiri yaitu subdisiplin dari mekanika fluida yang mempelajari fluida bergerak. Fluida terutama cairan dan gas. Kondisi yang memungkinkan terbentuknya aliran laminar adalah fluida bergerak sangat lambat atau memiliki tingkat kekentalan yang tinggi. Difusi momentum pada aliran laminar sangat besar, sedangkan momentum konveksi yang terjadi sangat kecil. Nilai bilangan Reynolds pada aliran laminar selalu kurang dari 2000. Setelah waktu dan kondisi tertentu, aliran laminar akan berubah menjadi aliran turbulen.



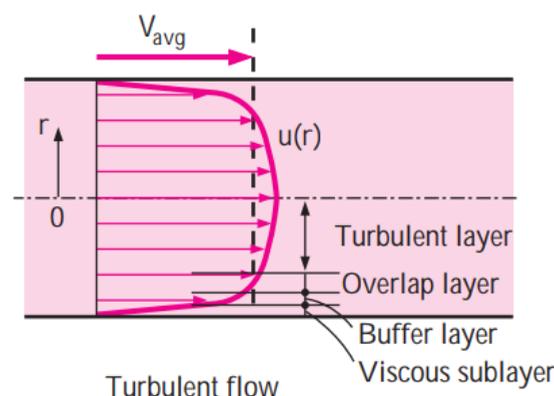
r 1. Profil kecepatan aliran laminar dalam pipa yang berkembang penuh (Cengel & Cimbala, n.d.)



2.2. Aliran Turbulent

Turbulensi adalah salah satu masalah yang paling menantang dalam ilmu alam dan tidak dapat sepenuhnya dijelaskan oleh fisika dan teori matematika. Sebab, aliran turbulen dicirikan dengan gerakan molekul fluida yang acak dimana kecepatannya sesaat, dan fluktuasi medan tekanannya di pertimbangkan (Rahman et al., 2023). Hal inilah yang menyebabkan tegangan geser pada lapisan batas turbulen lebih besar jika dibandingkan pada lapisan batas laminar. Dengan kata lain tegangan geser di dalam lapisan batas tidak hanya dipengaruhi oleh viskositas fluida itu sendiri, karena viskositas fluida berharga konstan di seluruh medan aliran fluida, melainkan oleh *Reynolds Shear Stresses*.

Reynolds Shear Stresses atau turbulent stresses sendiri merupakan besaran yang menunjukkan fluktuasi kecepatan molekul fluida. Pada lapisan batas turbulen, efek *Reynolds stresses* terhadap tegangan geser lebih besar jika dibandingkan pada lapisan batas laminar. Akan tetapi terdapat suatu lapisan laminar aliran yang sangat tipis di dekat permukaan dimana fluktuasi kecepatan pada arah tegak lurus terhadap permukaan dapat diredam. Lapisan aliran ini disebut *Viscous Sublayer*. Di dalam *viscous sublayer*, tegangan geser hanya diakibatkan oleh viskositas aliran saja namun *velocity gradient* cukup besar yang menyebabkan tegangan geser pada permukaan untuk lapisan batas turbulen lebih besar dibandingkan lapisan batas laminar.



· 2. Profil kecepatan aliran turbulen dalam pipa yang berkembang penuh (Cengel & Cimbala, n.d.)



2.3. Bilangan Reynolds

Karakteristik aliran sangat bergantung pada geometri dan Bilangan Reynolds. Bilangan Reynolds merupakan salah satu bilangan tak berdimensi yang didefinisikan sebagai perbandingan gaya inersia terhadap gaya viskos. Bilangan Reynolds biasanya digunakan untuk mengidentifikasi jenis aliran baik jenis aliran laminar maupun turbulen (Yunus A. Cengel, 2006). Persamaan bilangan Reynolds dituliskan sebagai berikut :

$$Re = \frac{\rho U^2 L^2}{\left(\frac{\mu U}{L}\right) L^2} \quad (1)$$

$$Re = \frac{\rho U L}{\mu} \quad (2)$$

Dimana :

Re = Bilangan Reynolds

U = Kecepatan aliran fluida (m/s)

L = Panjang karakteristik (m)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

μ = Viskositas dinamis fluida (N.s/m²)

Atau bilangan Reynolds ini juga didasarkan pada diameter (D) benda

sehingga,

$$Re = \frac{U D}{\nu} \quad (3)$$



U = Kecepatan aliran fluida (m/s)

D = Diameter silinder persegi (m)

ν = Viskositas kinematis fluida (m^2/s)

Pada saat kendaraan melaju dengan kecepatan tertentu, viscositas fluida menyebabkan kecenderungan udara menempel pada permukaan kendaraan hingga membentuk lapisan batas (*boundary layer*). Sedangkan aliran yang berada diluar lapisan batas disebut *inviscid flow* atau aliran yang tidak dipengaruhi faktor gesekan dengan permukaan kendaraan dan konduktifitas termal.

2.4. Dinamika Aliran Pada Bodi Kendaraan

Salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam merancang bodi kendaraan adalah faktor aerodinamika. Aerodinamika dapat didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang gaya-gaya yang disebabkan oleh udara atau interaksi antara objek (benda) yang bergerak dengan udara sekitarnya (Anderson, 2001). Aerodinamika diambil dari kata *aero* yang berasal dari bahasa Yunani yang berarti udara dan *dinamika* yang diartikan tenaga atau kekuatan. Ketika suatu objek bergerak dengan kecepatan tertentu melalui udara, terdapat gaya yang disebabkan oleh gerakan relatif antara permukaan benda dan udara. Aerodinamika pada kendaraan sangat erat hubungannya dengan kecepatan kendaraan dan hambatan udara karena berkaitan dengan karakteristik medan aliran pada bodi kendaraan dan timbulnya gaya tekanan serta gaya hambat yang mempengaruhi jumlah konsumsi bahan bakar.

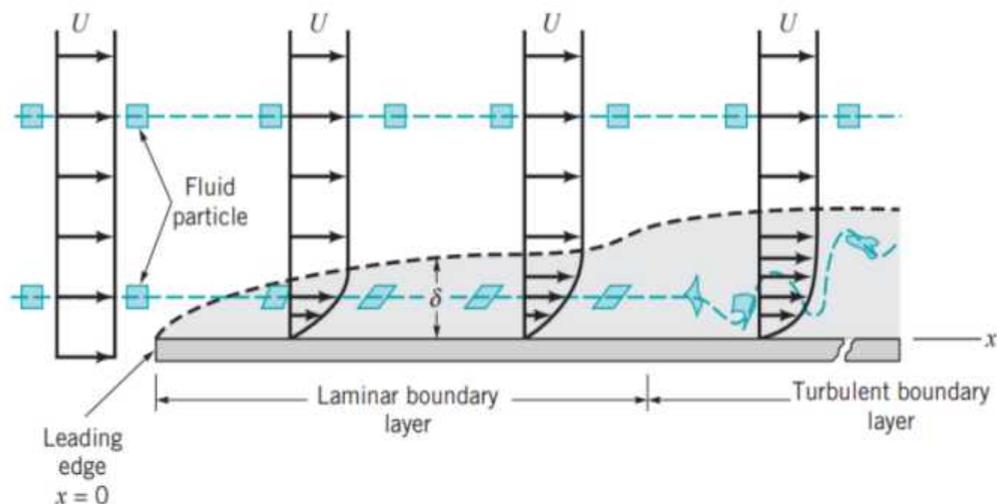
Kendaraan yang sedang bergerak memiliki dua bidang kontak yaitu kontak terhadap udara serta jalan. Kendaraan yang sedang melaju cenderung akan bergerak relatif terhadap jalan dimana ketika tidak ada hembusan angin, maka kendaraan gerak dengan kecepatan relatif sama terhadap jalan dan udara. Namun la gerakan udara relatif yang berhembus di sekitar kendaraan, maka n cenderung memiliki perbedaan kecepatan relatif terhadap udara dan da pendekatan aerodinamika kendaraan, dapat diasumsikan tidak ada



hembusan angin dan kendaraan dianggap bergerak dengan kecepatan konstan. Pada umumnya dinamika atau karakteristik aliran sangat erat berhubungan dengan fenomena separasi aliran dan pola aliran udara pada kendaraan.

2.4.1. Lapisan Batas

Pengertian lapisan batas adalah daerah dimana aliran mengalami hambatan karena adanya tegangan geser yang besar pada permukaan benda, sehingga partikel-partikel fluida terpaksa berhenti pada sekitar permukaan benda karena gesekan viskos. Aplikasi mendasar dari teori lapisan batas adalah menghitung hambatan gesekan kulit yang bekerja pada suatu objek saat bergerak melalui fluida, misalnya gaya yang diberikan pada pesawat terbang, pelat turbin, atau seluruh kapal (Rahman et al., 2023).



Gambar 3. Karakteristik dari lapisan batas pada pelat datar (Munson, 2002)

Pada gambar 3 menunjukkan lapisan batas yang disebabkan oleh fluida yang mengalir pada plat datar. Partikel fluida yang berada cukup dekat dengan permukaan pelat akan terhambat karena gesekan sehingga kecepatannya mendekati nol. Saat batas laminar tidak mampu mempertahankan kondisi *steady* yang ya, maka akan terbentuk lapisan turbulen. Kondisi lapisan batas tergantung asaran permukaan benda dan tingkat turbulensi aliran free stream. Jika Reynolds cukup besar, hanya fluida didalam lapisan batas relatif tipis pada ng akan merasakan efeknya. Artinya, kecuali didaerah dekat pelat,



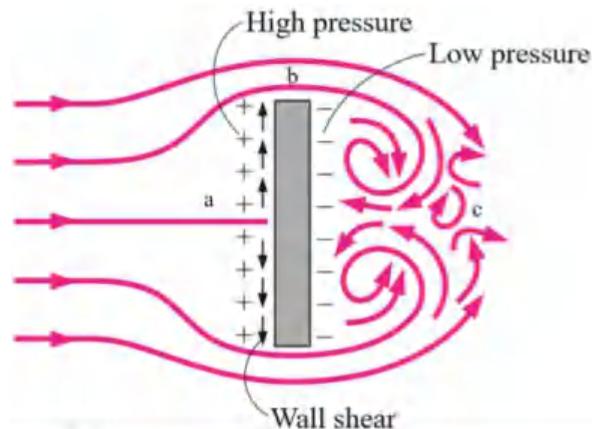
kecepatan aliran pada dasarnya akan sebesar $V = U$, yaitu kecepatan upstream. Untuk pelat dengan panjang tak terhingga yang membentang dari $x = 0$ sampai $x = \infty$, tidaklah jelas bagaimana mendefinisikan bilangan Reynolds karena tidak ada panjang karakteristiknya. Untuk pelat dengan panjang tertentu, jelas bahwa panjang pelat L dapat digunakan sebagai panjang karakteristik. Namun untuk pelat dengan panjang tak terhingga, jarak koordinat sepanjang pelat dari ujung depan, sebagai panjang karakteristik dan bilangan Reynolds didefinisikan sebagai $Re_x = Ux/\nu$ (Munson, 2002).

2.4.2. Separasi Aliran

Penelitian tentang separasi aliran dalam bidang aerodinamika telah dilakukan oleh banyak peneliti diantaranya yaitu (N. Salam, Tarakka, Jalaluddin, Jimran, et al., 2021) dan (Kumar et al., 2019). Separasi adalah kondisi dimana aliran udara yang mengalir disepanjang permukaan benda tidak mampu lagi menempel pada permukaan tersebut. Separasi aliran berakibat pada terbentuknya aliran balik disekitar benda. Aliran yang bergerak secara teratur akan terpecah saat terjadinya separasi dan mengakibatkan terjadinya penurunan distribusi tekanan dan menimbulkan gaya drag. Pada kendaraan, separasi aliran yang terjadi sangat kompleks. Separasi aliran pada bagian bawah body, roda, dinding bagian samping, tepi atas dan samping kaca belakang, memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kompleksitas aliran. Perbedaan tekanan antara bagian depan dan bagian belakang kendaraan merupakan kontributor utama dari keseluruhan drag yang disebabkan oleh adanya separasi aliran pada bagian belakang kendaraan. Perbedaan tekanan ini menimbulkan fenomena hisapan kearah belakang akibat aliran balik yang terjadi pada bagian belakang kendaraan. Semakin cepat separasi aliran terjadi, maka pembentukan wake dan vortex dibagian belakang kendaraan akan semakin besar. Hal ini berdampak pada pengurangan kecepatan kendaraan, peningkatan

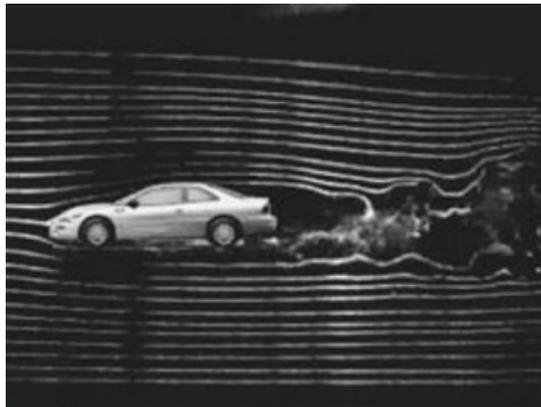
konsumsi bahan bakar, dan mengarah pada efisiensi kinerja kendaraan yang rendah.





Gambar 4. Separasi aliran pada benda tegak (Yunus A. cengel, 2006).

Pada gambar diatas jelas menunjukkan skema terjadinya separasi aliran pada benda tegak. Adanya separasi aliran merupakan bentuk efek dari viskositas fluida. Karena disebabkan efek viskos, fluida di titik b pada permukaan benda kehilangan energi kinetik sehingga tidak memiliki momentum untuk mengalir dalam lapisan. Titik a adalah titik dimana separasi aliran terjadi. Sedangkan di titik c terjadi aliran balik (*wake*) karena perbedaan tekanan yang cukup besar antara sisi depan dan sisi belakang benda.



Gambar 5. Separasi aliran pada mobil (MUNSON, YOUNG, OKIISHI, 2016)

2.5. Pola Aliran Vortex



ila suatu medan aliran fluida (air atau udara, misalnya) terhalang oleh benda maka pola aliran fluida tersebut akan terganggu dari kondisi nya lalu akan mencari kondisi kesetimbangan barunya. Misalkan pada uah silinder yang berada dalam aliran *steady*, maka akan terjadilah suatu

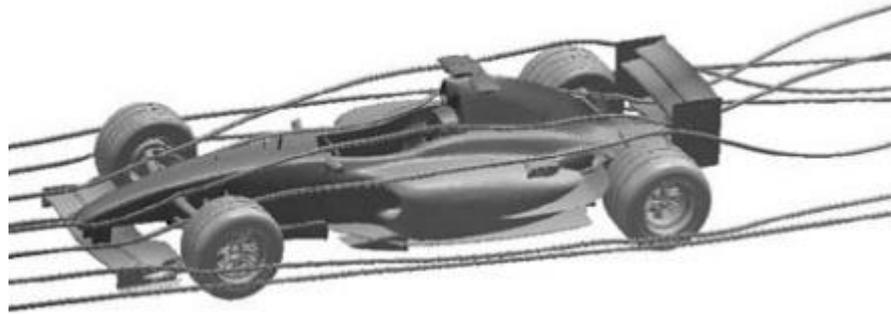
pola aliran tertentu di sekeliling 9 m permukaan silinder tersebut. Ternyata, pola aliran ini salah satunya tergantung pada suatu parameter yang disebut angka Reynolds.

Nilai Re inilah yang akan menentukan bagaimana bentuk pola aliran yang akan terjadi. Beberapa di antaranya misalnya, bila nilai $Re < 5$, maka yang terjadi adalah pola aliran yang mulus, tanpa terjadi pusaran-pusaran lokal fluida (*vortex*) dan tidak terjadi pula pemisahan aliran pada saat aliran sudah melewati silinder (*creeping flow*). Selanjutnya bila kecepatan aliran dinaikkan, yang berarti nilai Re makin bertambah besar, misalnya untuk rentang $5 < Re < 40$, maka akan mulai terbentuk *vortex*. Dalam rentang nilai Re ini akan terbentuk sepasang vortex simetris di belakang silinder yang berputar stasioner tanpa terpecah selama rentang nilai Re tidak berubah.

2.6. Streamline

Klasifikasi aliran pada bentuk benda dapat tergantung pada apakah benda tersebut dibuat mulus mengikuti garis arus (*streamlined*) atau tumpul. Karakteristik aliran sangat bergantung pada seberapa banyak bagian yang dibuat mulus tersebut. Secara umum, benda-benda streamlined (seperti airfoil, mobil balap, dan lain-lain.) memiliki pengaruh kecil pada fluida yang mengelilinginya, dibandingkan dengan pengaruh yang dimiliki benda tumpul (misalnya parasut, gedung-gedung, dan lain-lain) pada fluida. Biasanya, tapi tidak selalu, akan lebih mudah untuk mendorong sebuah benda streamlined melewati suatu fluida daripada mendorong sebuah benda tumpul yang ukurannya sama agar bergerak dengan kecepatan yang sama. (MUNSON, YOUNG, OKIISHI, 2016). Pada gambar 6 menunjukkan streamline untuk aliran fluida yang melintasi mobil balap formula 1.





Gambar 6. *Streamline* untuk aliran melewati mobil balap formula 1 (MUNSON, YOUNG, OKIISHI, 2016)

2.7. Drag Aerodinamika

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 (τ_w) yang diakibatkan oleh efek viskositas dan tegangan normal yang diakibatkan oleh distribusi tekanan (p).

Drag adalah besaran gaya yang bergerak di atas sebuah objek yang memiliki posisi sejajar dengan aliran bebas. Drag pada suatu benda di akibatkan oleh dua hal yaitu gesekan antara fluida dengan permukaan benda dan benda tekanan. Drag karena gesekan disebut hambatan gesek (*friction drag*) yang tergantung pada besar permukaan yang bersentuhan dengan fluida, tegangan geser, viskositas, gradien kecepatan, kekasaran permukaan dan *streamline body*. Sedangkan *drag* dengan benda tekan disebut *from drag* tergantung pada bentuk, ukuran, distribusi tekanan, *wake* (olakan), bilangan Reynolds dan model uji dari benda yang dikenakan aliran.

Pada penelitian dengan meminimalkan gaya hambat pada trailer chamber hasil yang didapatkan untuk pengurangan *drag coefficient* sebesar 22,93% relatif terhadap trailer konvensional dalam CFD dan pengurangan C_p sebesar 13,85% pengukuran keseimbangan gaya (Bukreev, 2023). *Drag coefficient* in sebuah gaya dari fluida yang mengalir melalui permukaan benda searah engel & Cimbala, 2014).



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

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U^2 A} \quad (4)$$

Dimana :

C_D = Drag coefficient

F_D = Drag force (N)

ρ = Density (kg/m^3)

U = Kecepatan *upstream* (m/s)

A = Luas frontal (m^2)

2.7.1. Drag Gesekan

Drag gesekan merupakan bagian dari drag yang langsung disebabkan oleh tegangan geser pada benda. *Drag* bukan hanya merupakan fungsi dari besar tegangan geser dinding, tetapi juga arah orientasi permukaan dimana gaya tersebut bekerja. Jika permukaan sejajar dengan kecepatan *upstream*, seluruh gaya geser berkontribusi langsung terhadap *drag*. Hal ini berlaku untuk plat datar sejajar dengan aliran. Jika permukaan tegak lurus terhadap kecepatan *upstream*, tegangan geser tidak memberikan kontribusi apapun terhadap *drag* (MUNSON, YOUNG, OKIISHI, 2016).

Secara umum, permukaan sebuah benda akan terdiri dari bagian yang sejajar dan tegak lurus terhadap aliran *upstream* dan juga pada arah diantaranya.

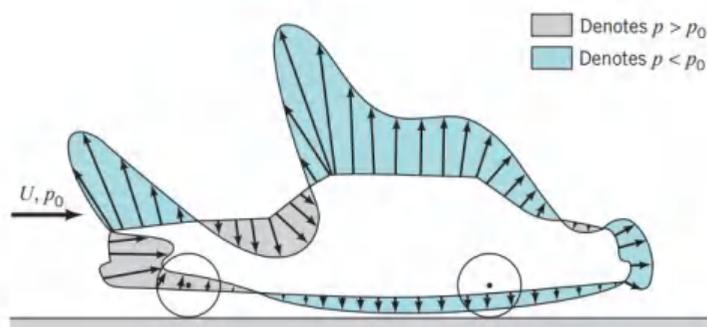


Benda yang memiliki viskositas rendah, kontribusi dari gaya geser terhadap eluahan pada benda seringkali sangat kecil. Hal ini karena bilangan untuk aliran-aliran yang lazim sangat besar, sehingga presentase *drag* disebabkan langsung oleh tegangan geser seringkali sangat kecil. Namun

demikian, untuk benda-benda yang sangat streamline atau untuk aliran dengan bilangan Reynolds rendah, sebagian besar *drag* mungkin disebabkan oleh *drag* gesekan.

2.7.2. *Drag* Tekanan

Drag tekanan adalah komponen terbesar yang memberikan pengaruh terhadap total *drag* pada kendaraan yang diakibatkan oleh separasi aliran yang terjadi di daerah belakang kendaraan. Semakin cepat separasi aliran terjadi maka akan mengakibatkan penurunan distribusi tekanan pada dinding belakang kendaraan. Penurunan distribusi tekanan pada jendela belakang dan permukaan kendaraan berkontribusi 90% dari total hambatan dan 80%-nya terjadi pada bagian belakang kendaraan. *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 pelat 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 pelat datar yang tegak lurus aliran menyebabkan *drag* secara keseluruhan.



Gambar 7. Distribusi tekanan pada mobil (Munson, 2002)

ada gambar 7 ketika aliran udara melewati mobil terjadi, perubahan lokal di sekitar mobil, akibatnya terjadi perubahan tekanan statik seperti 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):

$$C_P = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2} \rho U^2} \quad (5)$$

Dimana :

C_P = Koefisien tekanan

P = Tekanan (Pa)

P_0 = Tekanan *upstream* (Pa)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

U = Kecepatan (m/s)

Atau lebih sederhana persamaan koefisien tekanan (C_P) dapat ditulis sebagai berikut (N. Salam, Tarakka, Jalaluddin, Jimran, et al., 2021) :

$$C_P = \frac{h_{sm} - h}{h_{sm} - h_{tm}} \quad (6)$$

Dimana :

C_P = Koefisien tekanan

h_{sm} = Head aliran udara statis manometer



h_{tm} = Head aliran udara stagnasi manometer

h = Head aliran udara di titik uji permukaan benda

Hal ini dikarenakan besarnya tekanan acuan tidak mempengaruhi *drag* secara langsung karena besarnya tekanan pada benda adalah nol jika tekanan konstan pada seluruh permukaan benda.

permukaan. Jika viscositas nol, *drag* tekanan pada setiap benda berbentuk apapun (simetris atau tidak) dalam aliran tunak akan bernilai nol. Namun jika viscositasnya tidak nol, total *drag* tekanan mungkin tidak nol karena separasi lapisan batas (MUNSON, YOUNG, OKIISHI, 2016).

