

SKRIPSI
ANALISIS PENGARUH KONTROL PASIF ALIRAN
TERHADAP HAMBATAN AERODINAMIKA PADA MODEL
KENDARAAN DENGAN GEOMETRI MUKA 25°

Disusun dan diajukan oleh :

IKHWAL KAISAR MULIA ARTA TABOKUA
D021 18 1316



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024



SKRIPSI
ANALISIS PENGARUH KONTROL PASIF ALIRAN
TERHADAP HAMBATAN AERODINAMIKA PADA MODEL
KENDARAAN DENGAN GEOMETRI MUKA 25°

Disusun dan diajukan oleh :

IKHWAL KAISAR MULIA ARTA TABOKUA
D021 18 1316

Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH KONTROL PASIF ALIRAN TERHADAP
HAMBATAN AERODINAMIKA PADA MODEL KENDARAAN DENGAN
GEOMETRI MUKA 25°**

Disusun dan diajukan oleh

**IKHWAL KAISAR MULIA ARTA TABOKUA
D021181316**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 20 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Rustan Tarakka, S.T., M.T.
NIP 19750827 200501 1 002

Pembimbing Pendamping



Dr. Eng. Andi Amijovo Mochtar, S.T., M.Sc
NIP 19760216 201012 1 002

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT
NIP 19770707 200511 1 001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Ikhwal Kaiser Mulia Arta Tabokua
NIM : D021181316
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Pengaruh Kontrol Pasif Aliran Terhadap Hambatan Aerodinamika Pada
Model Kendaraan dengan Geometri Muka 25°

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan 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 isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 20 Agustus 2024

Yang Menyatakan,



IKHWAL KAISAR MULIA ARTA TABOKUA



ABSTRAK

IKHWAL KAISAR MULIA ARTA TABOKUA, *Analisis Pengaruh Kontrol Pasif Aliran Terhadap Hambatan Aerodinamika Pada Model Kendaraan Dengan Geometri Muka 25°* (dibimbing oleh Prof. Dr. Rustan Tarakka, S. T., M. T. dan Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, S. T., M. Sc.)

Penelitian berlokasi di Laboratorium Mekanika Fluida Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kontrol pasif berupa *fin* dan *dimple* konfigurasi sejajar terhadap *drag* aerodinamika pada model kendaraan. Objek penelitian ini adalah *ahmed body* yang telah dimodifikasi dengan kemiringan geometri muka 25°. Penelitian dilakukan dengan dua pendekatan yaitu pendekatan komputasi dengan memanfaatkan metode *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, koefisien tekanan (C_p), dan koefisien *drag* (C_D). Namun pada pendekatan eksperimental hanya difokuskan untuk memvalidasi koefisien *drag* memanfaatkan perangkat *load cell*. Terdapat tiga jenis *fin* yang digunakan dan tiga variasi posisi yaitu 1.5 mm, 11.5 mm, dan 21.5 mm yang diukur dari dinding belakang model uji. Selain itu terdapat kontrol pasif berupa *dimple* konfigurasi sejajar dengan *dimple ratio* 0.5 yang diletakkan pada sisi melengkung bagian belakang model uji. Kecepatan *upstream* yang dialirkan adalah 11.1 m/s, 13.9 m/s, 16.7 m/s, 19.4 m/s, dan 20 m/s. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penambahan kontrol pasif berupa *fin* dan *dimple* konfigurasi sejajar dapat menunda separasi aliran dan memperkecil olakan pada bagian belakang model uji. Nilai koefisien tekanan minimum mampu ditingkatkan dan nilai koefisien *drag* dapat dikurangi dengan reduksi sebesar 7.016 % untuk pendekatan komputasi dan 8.904 % untuk pendekatan eksperimental pada model uji dengan penggunaan variasi kontrol pasif terbaik yaitu *fin* 1 posisi 1.5 mm (belakang) dan *dimple* konfigurasi sejajar pada kecepatan *upstream* 20 m/s.

Kata Kunci : CFD, *fin*, *dimple*, karakteristik aliran, koefisien tekanan, koefisien *drag*



ABSTRACT

IKHWAL KAISAR MULIA ARTA TABOKUA, *Analysis of the Effect of Passive Flow Control on Aerodynamic Resistance in Vehicle Models with 25° Face Geometry* (supervised by Prof. Dr. Rustan Tarakka, S. T., M. T. dan Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, S. T., M. Sc.)

The research was located at the Fluid Mechanics Laboratory of the Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University. This study aims to determine the effect of passive control in the form of fin and dimple parallel configuration on aerodynamic drag on the vehicle model. The object of this research is a car body that has been modified with a face geometry slope of 25°. The research was conducted with two approaches, namely a computational approach utilizing the Computational Fluid Dynamics (CFD) method and an experimental approach using the Subsonic Wind Tunnel available at the Fluid Mechanics Laboratory. For the computational approach, data is obtained in the form of flow characteristics, pressure coefficient (C_p), and drag coefficient (C_D). However, the experimental approach is only focused on validating the drag coefficient utilizing a load cell device. There are three types of fins used and three position variations of 1.5 mm, 11.5 mm, and 21.5 mm measured from the back wall of the test model. In addition, there is a passive control in the form of a dimple parallel configuration with a dimple ratio of 0.5 placed on the curved side of the back of the test model. The upstream velocities were 11.1 m/s, 13.9 m/s, 16.7 m/s, 19.4 m/s, and 20 m/s. The results show that the addition of passive control in the form of fin and dimple in parallel configuration can delay the flow separation and minimize the scour at the back of the test model. The minimum pressure coefficient value can be increased and the drag coefficient value can be reduced with a reduction of 7.016% for the computational approach and 8.904% for the experimental approach on the test model with the use of the best passive control variation, namely fin 1 position 1.5 mm (rear) and dimple parallel configuration at an upstream velocity of 20 m/s.

Keywords: CFD, *fin*, *dimple*, flow characteristics, pressure coefficient, *drag* coefficient



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
KATA PENGANTAR	xv
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. Distribusi Tekanan	7
2.4. <i>Drag</i> Aerodinamika	9
2.5. <i>Fin</i>	10
2.6. <i>Dimple</i>	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	12
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	12
3.2 Objek Penelitian	12
3.3 Pendekatan Komputasi	15
3.4 Pendekatan Eksperimental	19
3.5 Diagram Alir Penelitian	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1. <i>Pre-Processor</i>	22
4.2. <i>Processor</i>	28
4.3. <i>Post-Processor</i> (Karakteristik Aliran)	30
4.4. Koefisien Tekanan (C_p)	49
4.5. Koefisien <i>Drag</i> (C_D)	126
BAB V PENUTUP	137
5.1. Kesimpulan	151
5.2. Daftar Pustaka	152
5.3. Lampiran	153
5.4. Kesimpulan	155



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Sketsa lapisan batas (Fitroh, Ahmad Jamaludin & Saeri , 2009)	5
Gambar 2.2. Karakteristik lapisan batas pada pelat datar (Munson, B. T. Et al., 2002)	6
Gambar 2.3. Pola aliran udara di sekitar kendaraan (Sutantra, I. N., 2001)	7
Gambar 2.4. Separasi aliran pada benda tegak (Cengel, Y. A. & Cimbala, J. M., 2006)	7
Gambar 2.5. Distribusi tekanan pada kendaraan (Sutantra, I. N., 2001)	8
Gambar 2.6. Rancangan grid <i>fin</i> yang dipasang pada <i>rudder</i> (Hutapea, Reinhard Fernando et al, 2017)	10
Gambar 2.7. Rancangan penambahan <i>dimple</i> pada <i>blade</i> turbin angin savonius (Mahajaya, I Kadek Alit Dwika et al, 2023)	11
Gambar 3.1. Dimensi model uji tanpa kontrol pasif (<i>fin</i> dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar)	12
Gambar 3.2. Posisi penempatan <i>fin</i> di bagian atas model uji	13
Gambar 3.3. Dimensi model <i>fin</i> 1	13
Gambar 3.4. Dimensi model <i>fin</i> 2	14
Gambar 3.5. Dimensi model <i>fin</i> 3	14
Gambar 3.6. Dimensi model uji yang telah di modifikasi dengan penambahan <i>fin</i> dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	15
Gambar 3.7. Posisi pengambilan data medan tekanan model tanpa kontrol	17
Gambar 3.8. Posisi pengambilan data medan tekanan bagian atas dengan kontrol pasif	18
Gambar 3.9. Posisi pengambilan data medan tekanan bagian belakang dengan kontrol pasif	18
Gambar 3.10. <i>Wind tunnel</i>	19
Gambar 3.11. Sketsa penempatan model uji pada dan kalibrasi pada <i>load cell</i>	20
Gambar 3.12. Diagram alir Penelitian	21
Gambar 4.1. Pembuatan model 3D menggunakan Autodesk Fusion 360	22
Gambar 4.2. Proses meshing kontrol pasif menggunakan <i>software</i> Gambit	23
Gambar 4.3. Proses meshing keseluruhan model uji dan <i>wind tunnel</i> menggunakan <i>software</i> Gambit	24
Gambar 4.4. Proses penentuan tipe batas model uji, <i>wall</i> , <i>inlet</i> , dan <i>outlet</i>	26
Gambar 4.5. <i>Set up</i> untuk melakukan proses iterasi	28
Gambar 4.6. Proses pengambilan nilai P untuk C_p	29
Gambar 4.7. Proses pengambilan nilai F_D untuk C_D	29
Gambar 4.8. Karakteristik aliran model uji tanpa kontrol (<i>fin</i> dan <i>dimple</i>) pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	31
4.9. Karakteristik aliran model uji dengan <i>fin</i> 1 posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	34
4.10. Karakteristik aliran model uji dengan <i>fin</i> 1 posisi tengah dan	



	<i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	35
Gambar 4.11.	Karakteristik aliran model uji dengan <i>fin</i> 1 posisi belakang dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	37
Gambar 4.12.	Karakteristik aliran model uji dengan <i>fin</i> 2 posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	39
Gambar 4.13.	Karakteristik aliran model uji dengan <i>fin</i> 2 posisi tengah dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	40
Gambar 4.14.	Karakteristik aliran model uji dengan <i>fin</i> 2 posisi belakang dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	42
Gambar 4.15.	Karakteristik aliran model uji dengan <i>fin</i> 3 posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	44
Gambar 4.16.	Karakteristik aliran model uji dengan <i>fin</i> 3 posisi tengah dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	45
Gambar 4.17.	Karakteristik aliran model uji dengan <i>fin</i> 3 posisi belakang dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	47
Gambar 4.11.	Nilai koefisien tekanan minimum bagian belakang model uji tanpa kontrol pasif pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	52
Gambar 4.12.	Nilai koefisien tekanan minimum bagian atas model uji tanpa kontrol pasif pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	56
Gambar 4.13.	Nilai koefisien tekanan minimum bagian belakang model uji menggunakan <i>fin</i> 1 posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	59
Gambar 4.14.	Nilai koefisien tekanan minimum bagian atas model uji menggunakan <i>fin</i> 1 posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	63
Gambar 4.15.	Nilai koefisien tekanan minimum bagian belakang model uji menggunakan <i>fin</i> 1 posisi tengah dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	67
Gambar 4.16.	Nilai koefisien tekanan minimum bagian atas model uji menggunakan <i>fin</i> 1 posisi tengah dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	71
Gambar 4.17.	Nilai koefisien tekanan minimum bagian belakang model uji menggunakan <i>fin</i> 1 posisi belakang dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	75
Gambar 4.18.	Nilai koefisien tekanan minimum bagian atas model uji menggunakan <i>fin</i> 1 posisi belakang dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	78
Gambar 4.19.	Nilai koefisien tekanan minimum bagian belakang model uji menggunakan <i>fin</i> 2 posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	83
4.20.	Nilai koefisien tekanan minimum bagian atas model uji menggunakan <i>fin</i> 2 posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5	



variasi kecepatan <i>upstream</i>	86
Gambar 4.21. Nilai koefisien tekanan minimum bagian belakang model uji menggunakan <i>fin</i> 2 posisi tengah dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	90
Gambar 4.22. Nilai koefisien tekanan minimum bagian atas model uji menggunakan <i>fin</i> 2 posisi tengah dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	93
Gambar 4.23. Nilai koefisien tekanan minimum bagian belakang model uji menggunakan <i>fin</i> 2 posisi belakang dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	97
Gambar 4.24. Nilai koefisien tekanan minimum bagian atas model uji menggunakan <i>fin</i> 2 posisi belakang dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	101
Gambar 4.25. Nilai koefisien tekanan minimum bagian belakang model uji menggunakan <i>fin</i> 3 posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	105
Gambar 4.26. Nilai koefisien tekanan minimum bagian atas model uji menggunakan <i>fin</i> 3 posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	109
Gambar 4.27. Nilai koefisien tekanan minimum bagian belakang model uji menggunakan <i>fin</i> 3 posisi tengah dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	113
Gambar 4.28. Nilai koefisien tekanan minimum bagian atas model uji menggunakan <i>fin</i> 3 posisi tengah dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	116
Gambar 4.29. Nilai koefisien tekanan minimum bagian belakang model uji menggunakan <i>fin</i> 3 posisi belakang dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	120
Gambar 4.30. Nilai koefisien tekanan minimum bagian atas model uji menggunakan <i>fin</i> 3 posisi belakang dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	123
Gambar 4.31. Nilai koefisien <i>Drag</i> model uji tanpa kontrol pasif	127
Gambar 4.32. Hubungan nilai koefisien <i>drag</i> pendekatan komputasi antara model uji tanpa kontrol dengan model uji menggunakan <i>fin</i> 1 dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	128
Gambar 4.33. Hubungan nilai koefisien <i>drag</i> pendekatan komputasi antara model uji tanpa kontrol dengan model uji menggunakan <i>fin</i> 2 dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	129
4.34. Hubungan nilai koefisien <i>drag</i> pendekatan komputasi antara model uji tanpa kontrol dengan model uji menggunakan <i>fin</i> 3 dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan <i>upstream</i>	131
4.35. Nilai koefisien <i>Drag</i> model uji tanpa kontrol pasif	133



- Gambar 4.36.** Hubungan nilai koefisien *drag* pendekatan eksperimental antara model uji tanpa kontrol dengan model uji menggunakan *fin* 1 dan *dimple* konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan *upstream*134
- Gambar 4.37.** Hubungan nilai koefisien *drag* pendekatan eksperimental antara model uji tanpa kontrol dengan model uji menggunakan *fin* 2 dan *dimple* konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan *upstream*135
- Gambar 4.38.** Hubungan nilai koefisien *drag* pendekatan eksperimental antara model uji tanpa kontrol dengan model uji menggunakan *fin* 3 dan *dimple* konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan *upstream*137
- Gambar 4.39.** Perbandingan Nilai koefisien *drag* komputasi dan eksperimental untuk model uji tanpa kontrol pada 5 variasi kecepatan *upstream*... 139
- Gambar 4.40.** Perbandingan Nilai koefisien *drag* komputasi dan eksperimental untuk model uji yang ditambahkan *fin* 1 posisi depan dan *dimple* konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan *upstream*140
- Gambar 4.41.** Perbandingan Nilai koefisien *drag* komputasi dan eksperimental untuk model uji yang ditambahkan *fin* 1 posisi tengah dan *dimple* konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan *upstream*141
- Gambar 4.42.** Perbandingan Nilai koefisien *drag* komputasi dan eksperimental untuk model uji yang ditambahkan *fin* 1 posisi belakang dan *dimple* konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan *upstream*142
- Gambar 4.43.** Perbandingan Nilai koefisien *drag* komputasi dan eksperimental untuk model uji yang ditambahkan *fin* 2 posisi depan dan *dimple* konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan *upstream*143
- Gambar 4.44.** Perbandingan Nilai koefisien *drag* komputasi dan eksperimental untuk model uji yang ditambahkan *fin* 2 posisi tengah dan *dimple* konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan *upstream*144
- Gambar 4.45.** Perbandingan Nilai koefisien *drag* komputasi dan eksperimental untuk model uji yang ditambahkan *fin* 2 posisi belakang dan *dimple* konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan *upstream*145
- Gambar 4.46.** Perbandingan Nilai koefisien *drag* komputasi dan eksperimental untuk model uji yang ditambahkan *fin* 3 posisi depan dan *dimple* konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan *upstream*146
- Gambar 4.47.** Perbandingan Nilai koefisien *drag* komputasi dan eksperimental untuk model uji yang ditambahkan *fin* 3 posisi tengah dan *dimple* konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan *upstream*147
- Gambar 4.48.** Perbandingan Nilai koefisien *drag* komputasi dan eksperimental untuk model uji yang ditambahkan *fin* 3 posisi belakang dan *dimple* konfigurasi sejajar pada 5 variasi kecepatan *upstream*148



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Kondisi batas model kendaraan	16
Tabel 4.1. Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian belakang model uji tanpa kontrol pasif	50
Tabel 4.2. Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji tanpa kontrol pasif	53
Tabel 4.3. Nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji dengan <i>fin</i> 1 posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	57
Tabel 4.4. Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji dengan <i>fin</i> 1 posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	60
Tabel 4.5. Nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji dengan <i>fin</i> 1 posisi tengah dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	64
Tabel 4.6. Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji dengan <i>fin</i> 1 posisi tengah dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	68
Tabel 4.7. Nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji dengan <i>fin</i> 1 posisi belakang dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	72
Tabel 4.8. Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji dengan <i>fin</i> 1 posisi belakang dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	76
Tabel 4.9. Nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji dengan <i>fin</i> 2 posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	80
Tabel 4.10. Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji dengan <i>fin</i> 2 posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	84
Tabel 4.11. Nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji dengan <i>fin</i> 2 posisi tengah dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	88
Tabel 4.12. Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji dengan <i>fin</i> 2 posisi tengah dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	91
Tabel 4.13. Nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji dengan <i>fin</i> 2 posisi belakang dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	95
Tabel 4.14. Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji dengan <i>fin</i> 2 posisi belakang dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	98
Tabel 4.15. Nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji dengan <i>fin</i> 3 posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	103
Tabel 4.16. Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji dengan <i>fin</i> 3 posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	107
Tabel 4.17. Nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji dengan <i>fin</i> 3 posisi tengah dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	110
Tabel 4.18. Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji dengan <i>fin</i> 3 posisi tengah dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	114
19. Nilai koefisien tekanan pada bagian belakang model uji dengan <i>fin</i> 3 posisi belakang dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	118
20. Nilai koefisien tekanan minimum pada bagian atas model uji dengan	



<i>fin 3</i> posisi belakang dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	121
Tabel 4.21. Nilai koefisien <i>drag</i> pada model uji tanpa kontrol	126
Tabel 4.22. Nilai koefisien <i>drag</i> pada model uji dengan <i>fin 1</i> dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	127
Tabel 4.23. Nilai koefisien <i>drag</i> pada model uji dengan <i>fin 2</i> dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	129
Tabel 4.24. Nilai koefisien <i>drag</i> pada model uji dengan <i>fin 3</i> dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	130
Tabel 4.25. Nilai koefisien <i>drag</i> pada model uji tanpa kontrol	132
Tabel 4.26. Nilai koefisien <i>drag</i> pada model uji dengan <i>fin 1</i> dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	133
Tabel 4.27. Nilai koefisien <i>drag</i> pada model uji dengan <i>fin 2</i> dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	135
Tabel 4.28. Nilai koefisien <i>drag</i> pada model uji dengan <i>fin 3</i> dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	136
Tabel 4.29. Perbandingan Nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimental untuk model uji tanpa kontrol	138
Tabel 4.30. Perbandingan Nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimental untuk model uji dengan penambahan <i>fin 1</i> posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	139
Tabel 4.31. Perbandingan Nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimental untuk model uji dengan penambahan <i>fin 1</i> posisi tengah dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	140
Tabel 4.32. Perbandingan Nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimental untuk model uji dengan penambahan <i>fin 1</i> posisi belakang dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	141
Tabel 4.33. Perbandingan Nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimental untuk model uji dengan penambahan <i>fin 2</i> posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	142
Tabel 4.34. Perbandingan Nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimental untuk model uji dengan penambahan <i>fin 2</i> posisi tengah dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	143
Tabel 4.35. Perbandingan Nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimental untuk model uji dengan penambahan <i>fin 2</i> posisi belakang dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	144
Tabel 4.36. Perbandingan Nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimental untuk model uji dengan penambahan <i>fin 3</i> posisi depan dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	145
37. Perbandingan Nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimental untuk model uji dengan penambahan <i>fin 3</i> posisi tengah dan <i>dimple</i> konfigurasi sejajar	146
38. Perbandingan Nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimental untuk	



model uji dengan penambahan *fin* 3 posisi belakang dan *dimple*
konfigurasi sejajar147



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi	155
--------------------------------------	-----



KATA PENGANTAR

Puji Syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah SWT. karena atas kehendak-Nya penulisan tugas akhir ini dapat terselesaikan. Dengan izin dan rahmat dari Allah semata penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Analisis Pengaruh Kontrol Pasif Aliran Terhadap Hambatan Aerodinamika Pada Model Kendaraan Dengan Geometri Muka 25°”**, untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan studi serta dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penghargaan dan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Prof. Dr. Rustan Tarakka, S.T, M.T. selaku Pembimbing Utama dan Bapak Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, S.T., M.Sc. selaku Pembimbing Pendamping yang telah banyak membantu baik dalam penulisan maupun pemikiran pada skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang Tua, Bapak Syafruddin Arta dan Ibu Sri Mulyani beserta Saudari penulis, Henda Yuli Arta dan Lofie Kharisma Arta yang telah menjadi sumber semangat dan motivasi penulis selama ini.
2. Para Kakek dan Nenek yang selalu memberi dukungan, khususnya Almh. Nenek Aji dan Almh. Nenek Suni yang tidak sempat melihat penulis menyelesaikan studi S1 ini.
3. Yth. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
4. Yth Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Yth. Bapak Dr. Muhammad Syahid, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah menyetujui dan menerima tugas akhir penulis.
6. Yth. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, MT., selaku Kepala Laboratorium Mekanika Fluida yang telah menyediakan fasilitas dalam pengambilan data penelitian tugas akhir penulis.
7. Seluruh dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mendidik, mengajarkan, dan membagikan ilmu serta pengetahuannya sehingga penulis semakin paham akan bidang ilmu teknik terkhusus pada bidang Teknik mesin.
8. Staf Departemen Teknik Mesin, terkhusus Ibu Yaya, Ibu Suri dan juga Pak Afif yang telah banyak membantu.
9. Laboran, dan Teman-teman Asisten Laboratorium Mekanika Fluida yang setia menemani selama masa pengambilan data dan penulisan tugas akhir. Sensei-sensei dari Kizuna Wawonii Indonesia yang telah membimbing dalam saat proses magang ke Jepang. Saudara-saudara REACTOR 2018 yang telah memberi semangat, dukungan, maupun doa dan kerja sama yang sudah dijalani selama ini



semoga kiranya kesuksesan selalu menyertai teman-teman sekalian.
Zolidarity Forever, Keep on Fighting till The End.

12. 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 penyusunan tugas akhir ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan penulis serta masih jauh akan kata sempurna. Segala kekurangan dan kekeliruan berasal dari penulis yang hanya seorang manusia biasa dan Semua kebenaran berasal dari Allah SWT semata, Tulisan ini masih butuh akan sentuhan kritik, dan saran. Maka dari itu penulis memohon maaf atas kesalahan didalamnya dan semoga kebenaran yang ada dapat membantu untuk penelitianpenelitian selanjutnya.

Gowa, 20 Agustus 2024

Ikhwal Kaisar Mulia Arta Tabokua



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam perkembangan zaman dari teknologi otomotif, manusia dituntut untuk selalu dinamis. Penghematan energi melalui pengurangan pemakaian bahan bakar dan peningkatan efisiensi mesin adalah tujuan dari berbagai pengembangan teknologi dewasa ini. Perlu diketahui bahwa penggunaan alat transportasi darat meningkat seiring dengan peningkatan mobilitas manusia. Menurut data Badan Pusat Statistik Kementerian Perindustrian Indonesia, jumlah kendaraan terus menerus semakin meningkat dengan pertumbuhan rata-rata pertahunnya 8% sampai dengan 15%. Kebutuhan akan transportasi yang meningkat mengakibatkan meningkatnya pula jumlah konsumsi energi bahan bakar yang dibutuhkan. Di Indonesia, transportasi merupakan sektor pengonsumsi minyak terbesar dengan 40.1% dari total. Para produsen kendaraan pun mulai dituntut untuk dapat menghasilkan suatu kendaraan yang memiliki tingkat efisiensi bahan bakar yang tinggi. Banyak cara yang ditempuh untuk mewujudkan hal tersebut seperti menurunkan beban berat kendaraan, mengoptimalkan efisiensi dari mesin, cara mengemudi yang baik dan mengurangi gaya hambat yang ditimbulkan dengan membuat bentuk bodi yang aerodinamis (Hasugian, Togar Daniel, 2018).

Pengoptimalan aerodinamika eksternal mobil diperlukan untuk mencapai kendaraan yang efisien dengan konsumsi bahan bakar, emisi CO₂, dan kebisingan yang minimal sekaligus menjaga stabilitas berkendara yang baik. Kemampuan komputer yang terus berkembang telah meningkatkan pentingnya menyimulasikan aerodinamika eksternal kendaraan dan menghitung angka karakteristik aerodinamis yang sesuai. Saat ini, manajemen sumber daya yang efisien semakin penting dimana-mana. Oleh karena itu, sebagian besar waktu pengembangan mobil diinvestasikan dalam pengoptimalan. Hal ini hanya mungkin dan terkhusus dengan pengembangan virtual. Untuk membangun proses pengembangan seperti itu di

nobil, diperlukan model simulasi andalan yang telah tervalidasi oleh 1 (Meile, W. et al., 2011).

el referensi Ahmed adalah *bluff body* tipe mobil umum dengan punggung



miring. Dikarenakan industri otomotif memiliki permintaan tinggi akan 1 metode simulasi andalan yang mampu mengatasi aliran udara turbulen kompleks di sekitar kendaraan, model tersebut sering digunakan sebagai uji benchmark untuk aliran semacam itu. Terlepas dari geometri *Ahmed body* yang relatif sederhana, aliran di sekitarnya mempertahankan beberapa fitur utama dari aliran di sekitar mobil sungguhan (Hinterberger, C. et al., 2004).

Aliran-aliran di sekitar mobil dapat menimbulkan gaya hambat yang apabila berlebih dapat mengurangi stabilitas berkendara, meningkatkan konsumsi bahan bakar, maupun mengurangi efisiensi mesin. Oleh karena itu diperlukan kontrol aliran yang baik dengan alat kontrol aktif maupun pasif, sebab berbagai penelitian telah dilakukan pada model kendaraan (*Ahmed body*) ataupun prototipe kendaraan dengan menggunakan berbagai macam kontrol pasif aliran dan terbukti dapat mengurangi dan mengefisiensikan banyak hal seperti gaya hambat tersebut.

Pada tahun 2019, penelitian yang dilakukan oleh Robertus Landung Prasetyojati dengan menambahkan variasi sirip (*fin*) aerodinamis 90° di bagian depan pada kincir angin model Savonius dua sudu dua tingkat menemukan bahwa sirip aerodinamis memberikan kontribusi pada lengan yang lebih panjang sehingga massa udara yang mengenai turbin lebih banyak. Selain itu bentuk dan letak sirip membuat gaya hambat (*drag*) yang bekerja pada turbin akibat gesekan antara turbin dengan aliran angin menjadi berkurang.

Selain itu pada penelitian yang dilakukan oleh Akbar Wicaksana pada tahun 2010 dengan menambahkan *dimple* pada kendaraan model (*ahmed body*) menemukan bahwa perubahan *drag* aerodinamis yang terjadi pada kendaraan model sangat bergantung pada 3 faktor utama yaitu letak, kedalaman *dimple*, serta Reynolds number dimana kendaraan tersebut beroperasi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka akan dilakukan penelitian dengan judul : “**Analisis Pengaruh Kontrol Pasif Aliran Terhadap Hambatan Aerodinamika Pada Model Kendaraan Dengan Geometri Muka 25°** ”.



1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana medan aliran yang dihasilkan dengan menggunakan mekanisme kontrol pasif berupa *fin* dan *dimple* konfigurasi sejajar pada model kendaraan dengan geometri muka 25° ?
2. Bagaimana koefisien tekanan yang dihasilkan dengan menggunakan mekanisme kontrol pasif berupa *fin* dan *dimple* konfigurasi sejajar pada model kendaraan dengan geometri muka 25° ?
3. Bagaimana koefisien *drag* yang dihasilkan dengan menggunakan mekanisme kontrol pasif berupa *fin* dan *dimple* konfigurasi sejajar pada model kendaraan dengan geometri muka 25° ?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, penelitian ini memiliki beberapa tujuan yaitu :

1. Menganalisis medan aliran yang dihasilkan dengan menggunakan mekanisme kontrol pasif berupa *fin* dan *dimple* konfigurasi sejajar pada model kendaraan dengan geometri muka 25° .
2. Menganalisis koefisien tekanan yang dihasilkan dengan menggunakan mekanisme kontrol pasif berupa *fin* dan *dimple* konfigurasi sejajar pada model kendaraan dengan geometri muka 25° .
3. Menganalisis koefisien *drag* yang dihasilkan dengan menggunakan mekanisme kontrol pasif berupa *fin* dan *dimple* konfigurasi sejajar pada model kendaraan dengan geometri muka 25° .

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. 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 25° terhadap sumbu horizontal.
4. Kecepatan aliran upstream 11.1 m/s (40 km/h), 13.9 m/s (50 km/h), 16.7m/s (60 km/h), 19.4 m/s (70km/h), dan 20 m/s (72 km/h).
5. Kontrol pasif yang digunakan adalah *fin* dan *dimple* konfigurasi sejajar.
6. Tipe *dimple* yang dikombinasikan semi *spherical*.
7. *Dimple Ratio* (DR) yang digunakan 0.5.
8. Jumlah *fin* yang digunakan berjumlah 3.
9. Jumlah variasi jarak *fin* dari bagian belakang mobil yaitu 1.5 mm (x_3), 11.5 mm (x_2), dan 21.5 mm (x_1).

1.5. Manfaat Penelitian

Sebagai peran nyata dalam pengembangan teknologi khususnya di bidang aerodinamika, maka penulis harap penelitian ini dapat memberi manfaat, yaitu:

1. Bagi Mahasiswa
Dapat memberi gambaran bagi mahasiswa tentang koefisien *drag*, distribusi tekanan dan karakteristik aliran pada model kendaraan yang menggunakan *fin* dan *dimple*. Serta sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarja Teknik di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bagi Universitas
Dapat dijadikan sebagai referensi bagi generasi - generasi Teknik Mesin yang akan datang dalam pengembangan dan penelitian selanjutnya di lingkup Departemen Teknik Mesin dan juga merupakan pustaka tambahan yang menunjang proses perkuliahan.
3. Bagi industri
Sebagai referensi bagi industri otomotif untuk memproduksi kendaraan ramah lingkungan dan efisien dalam penggunaan bahan bakar.

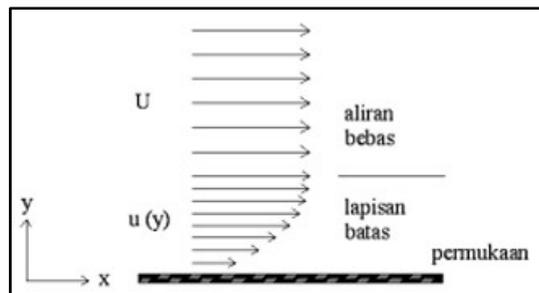


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lapisan Batas

Sebuah fluida yang mengalir melintasi sebuah permukaan mempunyai distribusi kecepatan yang tidak seragam, khususnya aliran di dekat permukaan tersebut. Partikel aliran yang bersentuhan langsung dengan permukaan mempunyai kecepatan sama dengan nol. Fenomena tersebut dikenal dengan istilah *no slip condition*. Adanya perbedaan kecepatan aliran antara partikel fluida yang menempel pada permukaan dengan partikel lainnya menghasilkan distribusi atau profil kecepatan di sekitar permukaan yang disebut lapisan batas. Berikut gambar 2.1 yang menunjukkan lapisan batas.



Gambar 2.1. Sketsa lapisan batas (Fitroh, Ahmad Jamaludin & Saeri, 2009)

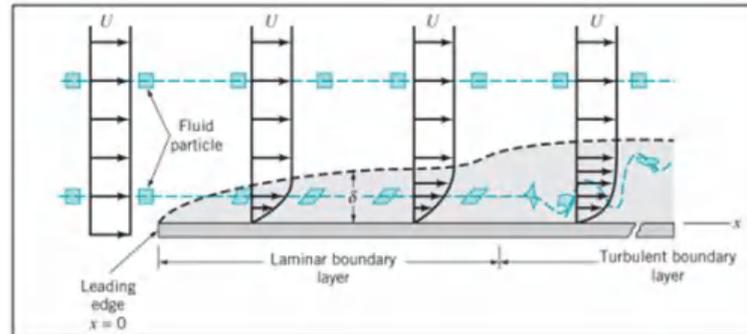
Gambar 2.1 menunjukkan sketsa profil kecepatan di sekitar permukaan. U dan $u(y)$ masing-masing menunjukkan kecepatan aliran bebas dan kecepatan aliran local dalam lapisan batas (Fitroh, Ahmad Jamaludin & Saeri, 2009).

Lapisan batas adalah sebuah daerah tipis di permukaan suatu benda dimana efek-efek viskos sangat penting dan di luarnya fluida berperilaku seakan-akan *inviscid*. Lapisan batas muncul pada permukaan benda karena sifat viskositas dari fluida yang cenderung menempel pada permukaan yang bersifat stationer menyebabkan aliran fluida di atasnya melambat karena interaksi berupa tumbukan antarmolekul. Kecepatan pada daerah lapisan batas meningkat secara perlahan hingga mencapai kecepatan aliran bebas (*freestream*) (Munson, B. R. et al., 2002).



es terbentuknya lapisan batas divisualisasikan dengan menganimasikan sepanjang sebuah pelat datar. Kondisi dimana lapisan batas terbentuk pada lat datar dengan panjang tak terhingga yang disepanjangnya 5 mengalir

suatu fluida viskos tak mampu-mampat dengan kecepatan U dapat dilihat pada Gambar 2.2. Jika permukaannya melengkung (misalnya sebuah silinder bundar atau airfoil), struktur lapisan batas akan lebih rumit.

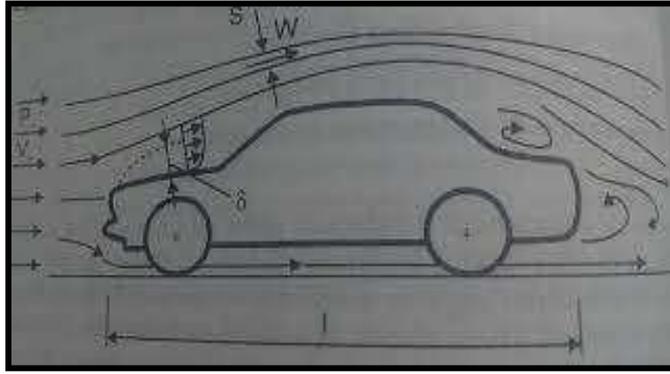


Gambar 2.2. Karakteristik lapisan batas pada pelat datar (Munson, B. R. et al., 2002)

2.2. Separasi Aliran

Pada saat kendaraan bergerak dengan kecepatan tertentu, viskositas fluida mengakibatkan udara mengarah pada permukaan bodi kendaraan dan dapat membentuk lapisan batas atau (*boundary layer*). Dari lapisan batas tersebut terdapat aliran yang ada di luar dari lapisan batas yang biasa disebut dengan *inviscid flow*. *Inviscid flow* merupakan aliran yang ada di luar lapisan batas yang tidak mengalami gesekan, konduktivitas panas atau diffuse massa (Anderson, J. D., 2001). *Inviscid flow* di sekitar kendaraan mengakibatkan tekanan menuju ke dalam lapisan batas. Tekanan tersebut terus berlangsung hingga mencapai bagian belakang dan menyebabkan aliran mengalami separasi. Separasi pada bagian belakang kendaraan ini yang mengakibatkan daerah turbulen yang besar dengan tekanan yang rendah. Separasi pada bagian belakang ini disebut dengan olakan (*wake*). Olakan ini mengakibatkan terjadinya *pressure drag* yang dapat mengganggu kendaraan pada saat kendaraan melaju. Berikut gambar 2.3 yang menunjukkan dinamika aliran (*streamline*) (Sutantra, I. N., 2001).

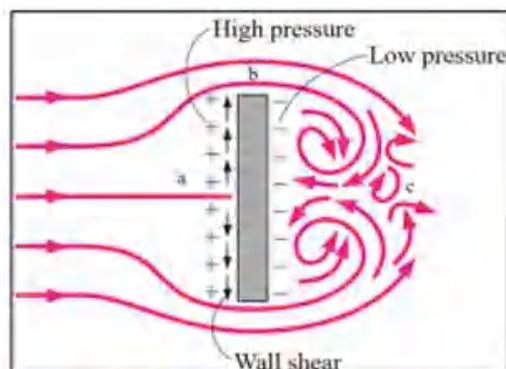




Gambar 2.3. Pola aliran udara di sekitar kendaraan (Sutantra, I. N., 2001)

Separasi didefinisikan sebagai 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 (Anderson, J. D., 2001).

Pada Gambar 2.4 ditunjukkan skema proses terjadinya separasi aliran pada benda tegak. Timbulnya separasi aliran merupakan bentuk efek dari viskositas fluida (Munson, B. R. et al., 2002). Hal ini 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 2.4. Separasi aliran pada benda tegak (Cengel, Y. A. & Cimbala, J. M., 2006)



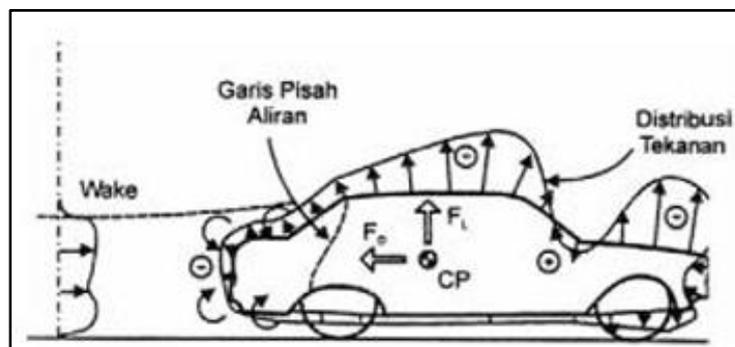
Distribusi Tekanan

tekanan (C_p) merupakan bagian dari *drag* yang langsung disebabkan oleh tekanan 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, B. R. et al., 2002).

Karena adanya efek viskositas dari udara maka hal ini akan menyebabkan timbulnya *boundary layer* di sepanjang permukaan kendaraan sehingga timbul gradien kecepatan pada permukaan kendaraan. Adanya gradien kecepatan menyebabkan kecepatan aliran udara pada permukaan kendaraan sangat bervariasi tergantung dari bentuk dan jenis kendaraan tersebut. Dengan adanya gradien kecepatan maka akan timbul distribusi tekanan di sepanjang permukaan kendaraan (Djunaedi, Deddy, 2007).

Bentuk bodi kendaraan yang kompleks menyebabkan terjadinya distribusi tekanan di sepanjang permukaan kendaraan tersebut. Selain itu karena aliran udara bersifat viscous maka timbul tekanan geser di sepanjang permukaan kendaraan. Dengan adanya perbedaan tekanan antara bagian depan kendaraan dan bagian belakang kendaraan, dimana tekanan positif bekerja pada bagian depan kendaraan dan tekanan negatif di bagian belakang kendaraan sehingga menyebabkan timbulnya gaya *drag* yang bekerja berlawanan dengan arah gerak kendaraan (Sutantra, I. N., 2001). Berikut gambar 2.5 yang menunjukkan adanya distribusi tekanan di sepanjang permukaan kendaraan.



Gambar 2.5. Distribusi tekanan pada kendaraan (Sutantra, I. N., 2001)

k menghitung koefisien tekanan, digunakan persamaan sebagai berikut (Munson, B. R. et al., 2002):



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

Dimana :

C_p = Koefisien tekanan

P = tekanan pada permukaan model uji (P_a)

P_0 = tekanan streamline atau garis arus (P_a)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

U_0 = kecepatan *upstream* (m/s)

2.4. Drag Aerodinamika

Setiap benda yang bergerak melewati suatu fluida akan mengalami interaksi pada permukaan benda tersebut terhadap fluida yang mengalir atau yang dilaluinya. Interaksi tersebut bersumber dari tegangan geser (τ_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 sebagai 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 (Munson, B. R. et al., 2002) :

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

Dimana :

C_D = Koefisien *drag*

ρ = *Density* (kg/m^3)

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

A = Luas daerah yang mengalami gesekan (m^2)

U = Kecepatan fluida (m/s)

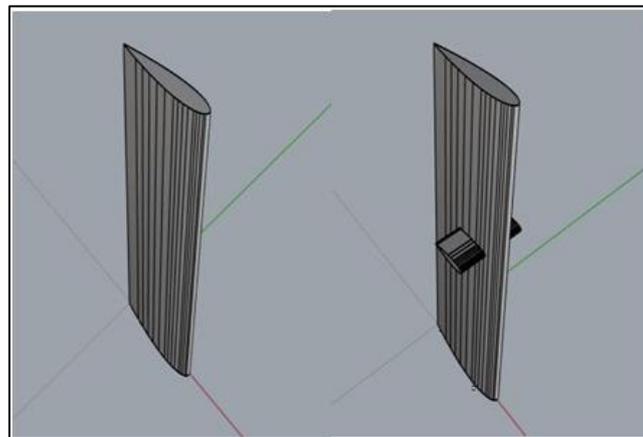
bahwa koefisien *drag* untuk berbagai benda tergantung pada bentuk dari sebut, dengan bentuk yang berkisar mulai dari benda yang *streamlined* enda yang tumpul (Munson, B. R. et al., 2002).



2.5. *Fin*

Penambahan *fin* merupakan salah satu cara untuk mengoptimalkan gaya pada rudder (kemudi kapal). Dengan ditambahkan *fin* pada *rudder*, nilai *drag* pada setiap kemudi dengan variasi penambahan jumlah *fin* mengalami penurunan. Dari variasi percobaan jumlah *fin* dari 1 *fin* sampai 3 *fin* yang paling optimal adalah kemudi dengan jumlah 2 *fin* yaitu dengan perubahan nilai *drag* sebesar 64% dari nilai *drag* kemudi tanpa menggunakan *fin* (Rumapea, Marsaut Maurit, 2016).

Pada tahun 2017 penelitian serupa dilakukan oleh Reinhard Fernando Hutapea et al dengan menganalisa perhitungan gaya angkat dan manuver terhadap sudut rudder 10 15 dan 35 setelah penambahan *fin* pada rudder, diperoleh 2 kesimpulan dari analisa dengan CFD (Computational Fluid Dynamics) yaitu peningkatan gaya angkat kemudi terbesar terjadi pada sudut 35 dan koefisien gaya angkat meningkat dari 1.01 menjadi 1.06. kesimpulan kedua yaitu nilai manuverability kapal akibat penambahan *fin* pada rudder mengalami penurunan nilai radius putaran pada semua sudut yang dianalisa, sehingga dari hasil tersebut diketahui bahwa waktu untuk kapal dalam melakukan manuver menjadi lebih cepat (Hutapea, Reinhard Fernando et al, 2017).



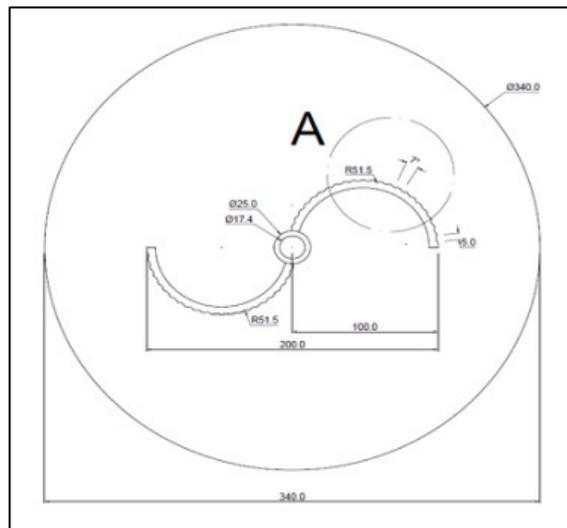
Gambar 2.6. Rancangan grid *fin* yang dipasang pada *rudder* (Hutapea, Reinhard Fernando et al, 2017)

2.6. *Dimple*



Dimple merupakan lekukan berbentuk cekung yang terinspirasi dari struktur permukaan bola golf. Penambahan *dimple* pada sebuah benda bergerak juga dapat mengurangi terjadinya separasi aliran udara lebih lama daripada tanpa adanya *dimple*. Dalam penelitian yang dilakukan oleh I Kadek Alit Dwika

Mahajaya et al pada tahun 2023 dengan menambahkan *dimple* ukuran 5 mm dan kedalaman 1 mm pada blade turbin angin savonius tipe S, diperoleh kesimpulan dari analisa dengan CFD (Computational Fluid Dynamics) yaitu akibat penambahan *dimple* pada returning blade turbin angin savonius performa mengalami penurunan tertinggi sebesar -28.8 % untuk coefficient of moment dan coefficient of power. Kesimpulan lainnya yaitu pengaruh *dimple* pada returning blade turbin angin savonius dapat dilihat melalui perbandingan antara turbin konvensional dengan turbin dengan penambahan *dimple* dengan parameter berupa coefficient of moment dan coefficient of power (Mahajaya, I Kadek Alit Dwika et al, 2023).



Gambar 2.7. Rancangan penambahan *dimple* pada *blade* turbin angin savonius (Mahajaya, I Kadek Alit Dwika et al, 2023)

