

SKRIPSI

**PENAMBAHAN DIMPLE KONFIGURASI SEJAJAR UNTUK
PENGURANGAN HAMBATAN AERODINAMIKA PADA MODEL
KENDARAAN**

Oleh :

MUHAMMAD CHATIB AHMAD DWI PUTRA

D211 15 002



**DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS
TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2020



SKRIPSI

**PENAMBAHAN DIMPLE KONFIGURASI SEJAJAR UNTUK
PENGURANGAN HAMBATAN AERODINAMIKA PADA MODEL
KENDARAAN**

OLEH:

MUHAMMAD CHATIB AHMAD DWI PUTRA

D21115002

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

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2020



LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL:

**PENAMBAHAN DIMPLE KONFIGURASI SEJAJAR UNTUK
PENGURANGAN HAMBATAN AERODINAMIKA PADA MODEL
KENDARAAN**

MUHAMMAD CHATIB AHMAD DWI PUTRA

D211 15 002

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I



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

Dosen Pembimbing II

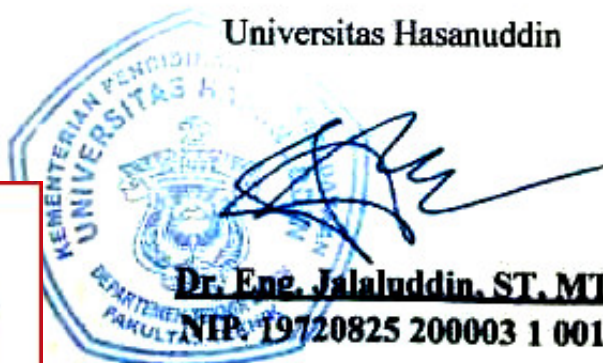


Dr. Eng. Jalaluddin, ST, MT
NIP. 19720825 200003 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



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



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Muhammad Chatib Ahmad Dwi Putra
Tempat Tanggal Lahir : Barru, 12 September 1997
Alamat : Jalan Poros Malino
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Telepon : 085394046909
E-mail : chatibahmad@gmail.com
Riwayat Pendidikan : SMK MUHAMMADIYAH BUNGORO (2012 – 2015)
SMPN 2 MA'RANG (2009 – 2012)
SDN 5 PADANGLAMPE (2003 –2009)
Riwayat Organisasi : HMM FT-UH
Pengalaman Kerja : PT. LENTERA BUMI NUSANTARA
(14 Juni – 14 September 2018).



Abstrak

MUHAMMAD CHATIB AHMAD DWI PUTRA, Penambahan *dimple* konfigurasi sejajar untuk pengurangan hambatan aerodinamis pada model kendaraan (dibimbing oleh Dr. Rustan Tarakka, ST., MT dan Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT)

Penelitian ini dilakukan di laboratorium mekanika fluida fakultas teknik Universitas Hasanuddin. Tujuan penelitian ini membahas tentang pengaruh *dimple* dengan konfigurasi sejajar terhadap pengurangan hambatan aerodinamis pada model kendaraan. Yang menjadi objek penelitian adalah modifikasi Ahmed body dengan skala 1:6. Modifikasi yang dimaksud berupa perubahan arah aliran serta memiliki kemiringan bodi depan 25° . Penelitian ini dilakukan melalui pendekatan komputasi dengan memanfaatkan fasilitas program *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan divalidasi melalui pengujian eksperimental dengan menggunakan fasilitas laboratorium mekanika fluida yaitu *Sub-sonic wind tunnel*. Untuk metode komputasi data yang diperoleh berupa karakteristik aliran koefisien *drag* dan koefisien tekanan. Sedangkan untuk pengujian eksperimental hanya fokus pada upaya untuk memvalidasi koefisien *drag* memanfaatkan perangkat *load cell*. Kecepatan *upstream* yang digunakan masing-masing 11.1 m/s, 13.9 m/s, 16.7 m/s, dan 22.2 m/s dan menggunakan kontrol pasif dengan *dimple* konfigurasi 1 baris sejajar dengan rasio masing-masing 0.20, 0.25, 0.50, dan 0.75 Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penerapan kontrol pasif berupa *dimple* mampu mengurangi pembentukan olakan. Meningkatkan distribusi tekanan pada dinding bagian belakang model kendaraan dan mampu mereduksi hambatan aerodinamis tertinggi sebesar 10.1476% untuk pendekatan komputasi dan 8.1930% untuk pendekatan eksperimen.

Kata kunci : CFD, Separasi aliran, Karakteristik aliran, C_p , C_d Kontrol pasif



Abstract

MUHAMMAD CHATIB AHMAD DWI PUTRA, Addition of dimple parallel configurations to reduce aerodynamic drag on vehicle models (supervised by Dr. Rustan Tarakka, ST., MT and Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT)

This research was conducted in the fluid mechanics laboratory, Faculty of Engineering, Hasanuddin University. The purpose of this study is to discuss the effect of dimple with parallel configuration on reducing aerodynamic drag on vehicle models. The object of research is the modification of the Ahmed body with a scale of 1: 6. The modification referred to is a change in flow direction and a front body tilt of 25 °. This research was conducted through a computational approach by utilizing the Computational Fluid Dynamics (CFD) program facilities and validated through experimental testing using a fluid mechanics laboratory facility, namely the Sub-sonic wind tunnel. For the computational method, the data obtained are the flow characteristics of the drag coefficient and the pressure coefficient. Meanwhile, experimental testing only focuses on efforts to validate the drag coefficient using load cell devices. The upstream speeds used were 11.1 m / s, 13.9 m / s, and 16.7 m / s respectively, and using passive control with dimple configuration 1 line parallel to the ratios of 0.20, 0.25, 0.50, and 0.75, respectively. The results showed that the application of passive control in the form of dimple is able to reduce the formation of processed. Increasing the pressure distribution on the rear hull wall of the vehicle model and able to reduce the highest aerodynamic drag by 10.1476% for the computational approach and 8.1930% for the experimental approach. and using passive control with dimple configuration in 1 row parallel to the respective ratios of 0.20, 0.25, 0.50, and 0.75.

Key words: CFD, flow separation, flow characteristics, C_p , C_d passive dimple

control.



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur sebesar-besarnya penulis persembahkan ke-hadirat Allah SWT karena atas rahmat dan ridho-Nya penulis menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Salam dan dalawat kepada Rasulullah Muhammad SAW sebagai tauladan penulis yang telah mengantarkan kita selalu menuntut ilmu untuk bekal dunia dan akhirat. Pengerjaan skripsi **“Penambahan dimple konfigurasi sejajar untuk pengurangan hambatan aerodinamis pada model kendaraan”** dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Universitas Hasanuddin.

Selama proses pengerjaan skripsi ini penulis menerima begitu banyak bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, bapak Ahmad Tabarak dan ibu Hajirah yang telah menjadi sumber semangat dan motivasi.
2. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT. selaku Ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
3. Dr. Rustan Tarakka, ST., MT dan Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT selaku Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II yang telah memberikan waktu, arahan dan masukan selama proses pengerjaan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin Yang telah memberikan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis.
5. HMM FT-UH, yang telah menjadi tempat belajar dan berkembang di kampus.



6. Teman-teman seperjuangan Hydraulic 15 yang telah menjadi rumah kedua penulis.
7. Muh. Setiawan Sukardiman, Wawan Rauf, dan Herianto Yang telah banyak berkontribusi selama penulis berkuliah.
8. Hamdani, Yudi, Akbar Ali, dan Setyawati yang telah banyak membantu penulis.
9. Teman-teman 102 KKN Lappa yang telah menghibur penulis.

Semoga apa yang dapat dalam penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi kami dan para pembaca utamanya untuk memperluas wawasan berpikir dan khazanah ilmu pengetahuan kita semua, Amin.

Gowa, 16 Juli 2020

Muhammad Chatib Ahmad Dwi Putra



DAFTAR ISI

Halaman Judul	ii
Lembar Pengesahan	iii
Daftar Riwayat Hidup	iv
Abstrak	v
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel	xii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II. LANDASAN TEORI	
2.1. Lapisan Batas	5
2.2. Separasi Aliran.....	8
2.3. Medan Tekanan.....	9
2.4. <i>Drag</i> Aerodinamika.....	10
2.5. <i>Dimple</i>	13
BAB III. METODE PENELITIAN	
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.2. Objek Penelitian	16
3.3. Pendekatan Komputasi	17
3.4. Pendekatan Eksperimen	22
3.5. Diagram Alir Penelitian	25
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
Karakteristik Aliran	26



4.1.1.	Karakteristik aliran pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{01} = 11.1$ m/s	26
4.1.2.	Karakteristik aliran pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{02} = 13.9$ m/s.....	29
4.1.3.	Karakteristik aliran pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{03} = 16.7$ m/s.....	32
4.1.4.	Karakteristik aliran pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{04} = 22.2$ m/s.....	34
4.2.	Koefisien Tekanan (C_p).....	37
4.2.1.	Pengaruh kontrol pasif <i>dimple</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{01} = 11.1$ m/s.....	38
4.2.2.	Pengaruh kontrol pasif <i>dimple</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{02} = 13.9$ m/s	43
4.2.3.	Pengaruh kontrol pasif <i>dimple</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{03} = 16.7$ m/s	47
4.2.4.	Pengaruh kontrol pasif <i>dimple</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{04} = 22.2$ m/s	52
4.3.	Koefisien Hambatan (C_D)	56
4.3.1.	Pendekatan komputasi	56
4.3.2.	pendekatan eksperimental	57
4.3.3.	Koefisien <i>drag</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{01} = 11.1$ m/s	59
4.3.4.	Koefisien <i>drag</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{02} = 13.9$ m/s.....	62
4.3.5.	Koefisien <i>drag</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{03} = 16.7$ m/s	65
4.3.6.	Koefisien <i>drag</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{04} = 22.2$ m/s.....	67

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.	Kesimpulan.....	70
5.2.	Saran.....	71

DAFTAR PUSTAKA.....72

DOKUMENTASI.....74



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Karakteristik aliran tunak viskos melewati sebuah silinder	5
Gambar 2.2. Distorsi dari partikel fluida ketika mengalir didalam lapisan batas .	6
Gambar 2.3. Karakteristik lapisan batas pada silinder bundar	7
Gambar 2.4. Separasi aliran pada benda tegak.....	9
Gambar 2.5. Koefisien <i>drag</i> untuk elips dengan luas karakteristik.....	12
Gambar 2.6. Dua benda yang ukurannya sangat jauh berbeda	12
Gambar 2.7. Geometri plat datar	14
Gambar 3.1. Dimensi model uji.....	16
Gambar 3.2. Penggunaan control pasif berupa <i>dimple</i> konfigurasi sejajar pada model uji	17
Gambar 3.3. Model uji di dalam <i>wind tunnel</i>	17
Gambar 3.4. Penggabungan model dengan <i>wind tunnel</i>	18
Gambar 3.5. Pembuatan <i>mesh</i> pada model	18
Gambar 3.6. Penentuan kondisi batas pada model dan <i>wind tunnel</i>	19
Gambar 3.7. Lokasi pengambilan data medan tekanan	21
Gambar 3.8. <i>Wind tunnel</i>	22
Gambar 3.9. Sketsa Penempatan Model Uji pada <i>Load Cell</i> dan Kalibrasi	23
Gambar 3.10. Diagram alir penelitian.....	25
Gambar 4.1. <i>Pathline</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{01} = 11.1 \text{ m/s}$	29
Gambar 4.2. <i>Pathline</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{02} = 13.9 \text{ m/s}$	31
Gambar 4.3. <i>Pathline</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{03} = 16.7 \text{ m/s}$	34



Gambar 4.4. <i>Pathline</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{04} = 22.2$ m/s	37
Gambar 4.5. Koefisien tekanan minimum pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{01} = 11.1$ m/s	43
Gambar 4.6. Koefisien tekanan minimum pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{02} = 13.9$ m/s	47
Gambar 4.7. Koefisien tekanan minimum pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{03} = 16.7$ m/s	52
Gambar 4.8. Koefisien tekanan minimum pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{04} = 22.2$ m/s	56
Gambar 4.9. Perbandingan gaya <i>drag</i> (F_d) terhadap waktu (s) pengujian	59
Gambar 4.10. Perbandingan koefisien <i>drag</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{01} = 11.1$ m/s	62
Gambar 4.11. Perbandingan koefisien <i>drag</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{02} = 13.9$ m/s	64
Gambar 4.12. Perbandingan koefisien <i>drag</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{03} = 16.7$ m/s	67
Gambar 4.13. Perbandingan koefisien <i>drag</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{04} = 22.2$ m/s	69



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Kondisi batas model kendaraan	19
Tabel 4.1. Perbandingan nilai koefisien tekanan minimum pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{01} = 11.1$ m/s	40
Tabel 4.2. Perbandingan nilai koefisien tekanan minimum pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{02} = 13.9$ m/s	45
Tabel 4.3. Perbandingan nilai koefisien tekanan minimum pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{03} = 16.7$ m/s	49
Tabel 4.4. Perbandingan nilai koefisien tekanan minimum pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{04} = 22.2$ m/s	53
Tabel 4.5. Perbandingan nilai koefisien <i>drag</i> pada pendekatan komputasi	57
Tabel 4.6. Perbandingan nilai koefisien <i>drag</i> pada pendekatan eksperimental	58
Tabel 4.7. Perbandingan koefisien <i>drag</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{01} = 11.1$ m/s	61
Tabel 4.8. Perbandingan koefisien <i>drag</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{02} = 13.9$ m/s	64
Tabel 4.9. Perbandingan koefisien <i>drag</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{03} = 16.7$ m/s	66
Tabel 4.10. Perbandingan koefisien <i>drag</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{04} = 22.2$ m/s	68



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tantangan yang masih berkelanjutan bagi industri mobil di seluruh dunia menyangkut pengurangan hambatan kendaraan karena meningkatnya kebutuhan untuk penghematan bahan bakar dan penurunan dari gas rumah kaca atau emisi gas buang.

Dalam beberapa waktu terakhir, dan untuk waktu kedepan, dimana sumber-sumber energi konvensional semakin terbatas dan semakin disadarinya pentingnya kelestarian lingkungan, efisiensi penggunaan energi adalah suatu keharusan. Hal ini mendorong berbagai penelitian yang mengarah kepada peningkatan efisiensi penggunaan energi. Pada bidang-bidang yang berkaitan dengan mekanika fluida, peningkatan efisiensi ini banyak berkaitan dengan apa yang umum disebut sebagai *drag reduction*. (Wicaksana Akbar. 2010)

Di negara-negara berkembang khususnya Indonesia dengan tingkat populasi penduduk yang cukup tinggi, berefek pada tingginya angka pertumbuhan kendaraan. Tercatat dari tahun 2012 hingga 2014 rata-rata peningkatan jumlah kendaraan berada pada angka 11,51% dimana pada tahun 2014 tersebut total jumlah kendaraan penumpang mencapai 11.546.916 unit sekaligus menempatkan mobil penumpang sebagai transportasi darat terbanyak kedua setelah sepeda motor (Badan Pusat Statistik, 2015).

Pada sektor transportasi, banyak upaya yang dapat dilakukan seperti memaksimalkan tingkat efisiensi bahan bakarnya. Tolak ukur perancangan dan operasi kendaraan saat ini antara lain berat kendaraan, efisiensi mesin, etika, cara mengemudi, kenyamanan dan keamanan yang tinggi serta dinamika. (Yusuf Ahmad.2017)



Pengurangan hambatan pada kontrol pasif *dimple* memberikan ruang pengurangan konsumsi bahan bakar. Teknik ini cukup sederhana sehingga relative murah. Fungsi *dimple* sebagai pengontrol aliran salah satunya dapat di lihat pada bola golf. Tanpa cekungan-cekungannya (*dimple*), bola golf akan memiliki koefisien *drag* yang lebih besar, pada batas-batas Reynold number tertentu. (Wicaksana Akbar.2010).

Para ahli otomotif sudah membuktikan bahwa adakaitan antara pertimbangan tahanan aerodinamik kendaraan mobil dengan konservasi energi. Daya keluaran mesin yang didapatkan melalui proses pembakaran dari masukan energi (antara lain bahan bakar) sebagian besar dipakai untuk mengatasi tahanan jalan raya, gesekan (jalan dan mekanis) dan tahanan aerodinamik. Salah satu faktor aerodinamik yang saat ini sangat diperhatikan dalam rangka penghematan bahan bakar dan estetika adalah tahanan aerodinamik.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka akan dilakukan penelitian dengan judul PENAMBAHAN *DIMPLE* KONFIGURASI SEJAJAR UNTUK PENGURANGAN HAMBATAN AERODINAMIKA PADA MODEL KENDARAAN.

1.2. Perumusan Masalah Penelitian

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu :

- a. Bagaimana karakteristik aliran pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *dimple* konfigurasi sejajar?
- b. Bagaimana nilai koefisien tekanan pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *dimple* konfigurasi sejajar?
- c. Bagaiman perbandingan koefisien *drag* pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *dimple* konfigurasi sejajar baik melalui pendekatan komputasi maupun eksperimental?



1.3 Tujuan Penelitian

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

- a. Menganalisis perbandingan karakteristik aliran pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *dimple* konfigurasi sejajar.
- b. Menganalisis nilai koefisien tekanan pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *dimple* konfigurasi sejajar.
- c. Menganalisis perbandingan koefisien *drag* pada model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan kontrol pasif berupa *dimple* konfigurasi sejajar baik melalui pendekatan komputasi maupun eksperimental.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini membatasi diri berdasarkan kondisi berikut :

- a. Fluida uji merupakan udara yang dianggap fluida tak mampu mampat dan mengalir secara seragam pada aliran bebas yang berjarak jauh di hulu.
- b. 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).
- c. Kemiringan sudut pada bagian depan model uji adalah 25° terhadap sumbu horizontal.
- d. Kecepatan aliran *upstream* 11,1 m/s (40 km/h), 13,9 m/s (50 km/h), 16,7 m/s (60 km/h), dan 22,2 m/s (80 km/h). Kontrol pasif yang digunakan adalah *dimple*.
- e. Tipe *dimple* yang dikombinasikan *semi spherical* berupa konfigurasi sejajar.



- f. *Dimple Ratio (DR)* yang digunakan ; 1) 0,20, 2) 0,25, 3) 0,5, 4) 0,75.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi Penulis

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

2. Bagi Universitas

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

3. Bagi Industri

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

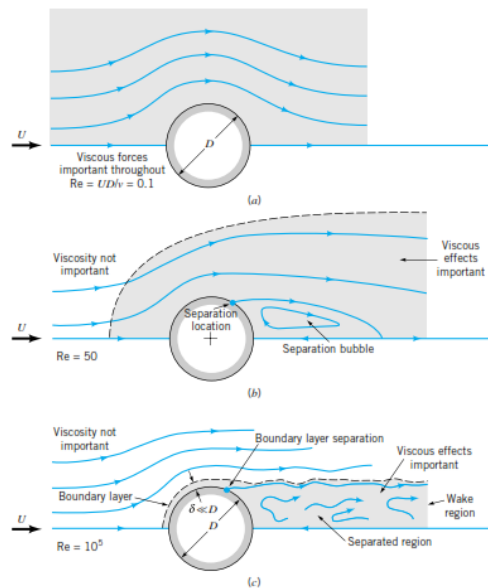


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lapisan Batas

Lapisan batas adalah sebuah daerah tipis di permukaan suatu benda dimana efek-efek viskos sangat penting dan diluarnya fluida berperilaku seakan-akan inviscid. Jelas bahwa viskositas fluida actual adalah sama seluruhnya :hanya saja arti penting relative dari efekviskos (karena gradien kecepatan) benda didalam atau diluar lapisan batas ini, dengan menggunakan hipotesis seperti itu, dimungkinkan untuk menyederhanakan analisis dari aliran dengan bilangan Reynolds yang besar sehingga kita dapat menyelesaikan persoalan aliran luar, aliran melewati benda yang tumpul juga bervariasi sesuai bilangan Reynolds dilihat pada Gambar 2.1.

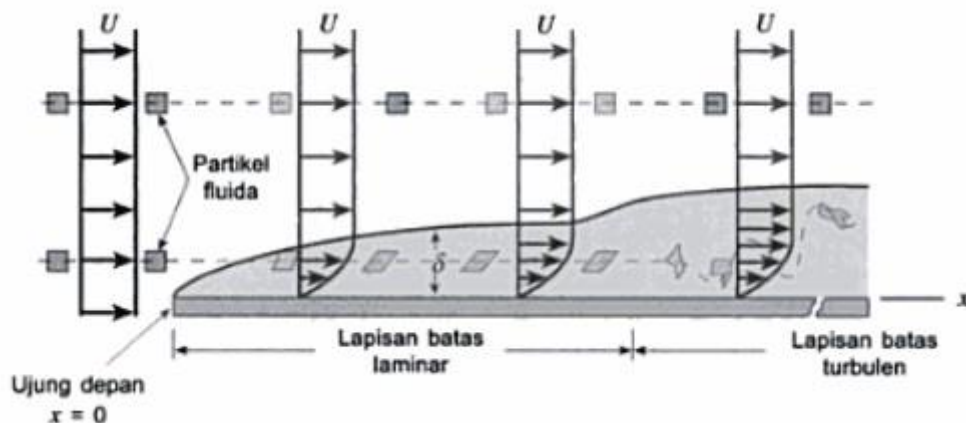


Gambar 2.1 Karakteristik aliran tunak viskos melewati sebuah silinder bundar:(a) aliran dengan bilangan Reynolds rendah, (b) bilangan dengan bilangan Reynolds sedang, (c) aliran dengan bilangan Reynolds besar. (Munson, 2002).



Terdapat banyak ragam ukuran sebuah lapisan batas dan struktur dari aliran didalamnya. Sebagian dari variasi ini disebabkan oleh bentuk benda di mana lapisan batas tersebut terbentuk. Situasi dimana lapisan batas terbentuk pada sebuah pelat datar dengan panjang tak terhingga yang disepanjangnya mengalir suatu fluida viskos, tak mampu-mampat seperti yang di tunjukkan pada Gambar 2.2. Jika permukaannya melengkung (misalnya sebuah silinder bundar atau airfoil), struktur lapisan batas akan lebih rumit.

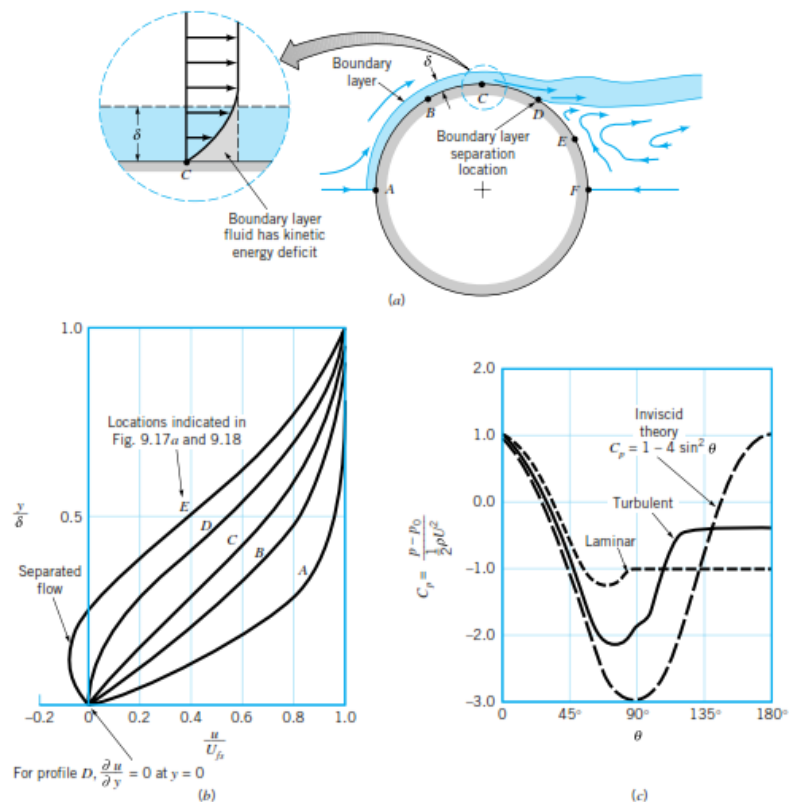
Jika bilangan Reynolds cukup besar, hanya fluida di dalam lapisan batas relative tipis pada pelat yang akan merasakan efek dari pelat. Artinya kecuali di daerah dekat pelat, kecepatan aliran pada dasarnya akan sebesar $V = U$, yaitu kecepatan hulu. Untuk pelat datar dengan panjang tak terhingga yang membentang dari $x = 0$ sampai $x = \infty$, tidaklah jelas bagaimana mendefinisikan bilangan Reynolds karena tidak ada panjang karakteristik. Pelat tidak memiliki ketebalan dan panjangnya tidak terbatas



Gambar 2.2. Distorsi dari partikel fluida ketika mengalir di dalam lapisan batas.



Tinjauan sebuah partikel fluida di dalam lapisan batas seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3 dalam upaya mengalirkan dari A ke F , fluida tersebut mengalami distribusi tekanan yang sama seperti partikel di dalam aliran bebas tepat diluar lapisan batas tekanan medan aliran inviscid. Namun demikian, karena efek viskos terlibat, partikel di dalam lapisan batas mengalami kehilangan energy selama fluida tersebut mengalir. Kehilangan ini berarti bahwa partikel tersebut tidak lagi memiliki cukup energy untuk melintasi seluruh bukit tekanan (dari C ke F) dan mencapai titik F di bagian belakang silinder. Kekurangan energy kinetic ini terlihat dalam rincian profil kecepatan pada titik C , karena gesekan, fluida lapisan batas tidak dapat bergeser dari depan ke belakang silinder.



Gambar 2.3. Karakteristik lapisan batas pada silinder bundar: (a) lokasi separasi lapisan batas, (b) profil kecepatan lapisan batas pada umumnya di berbagai lokasi pada silinder (c) distribusi tekanan permukaan untuk aliran inviscid dan aliran batas.



Tidak mungkin bagi pengendara untuk mencapai ketinggian yang sama dengan tepat di mana di mulai tanpa adanya tambahan energi (yaitu dengan mengayuh pedal). Fluida didalam lapisan batas tidak memiliki suplai energi seperti itu. Jadi, fluida mengalir melawan tekanan yang meningkat sejauh fluida tersebut mampu, sampai pada suatu titik dimana lapisan batas terpisah (terangkat) dari permukaannya.

2.2 Separasi Aliran

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* (Anderson, 2001). 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 (Brunn et al, 2007., Bruneau, 2010). Perbedaan tekanan ini menimbulkan fenomena hisapan kearah belakang akibat aliran balik yang terjadi pada bagian belakang kendaraan (Hilleman, 2007). 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 semakin rendah (Ragavan et al, 2014).

Pada gambar dibawah jelas menunjukan skema terjadinya separasi aliran pada benda tegak. Adanya separasi aliran merupakan bentuk efek dari viskositas fluida (Munson, 2002). Karena disebabkan efek viskos, fluida di dekat 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.

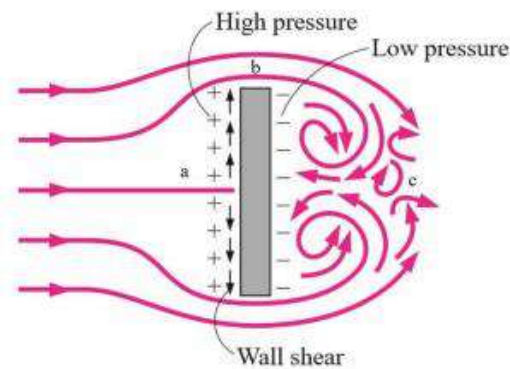


Figure 1

Gambar 2.4. Separasi aliran pada benda tegak

2.3. Medan 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 (Kourta & Gilieron, 2009). *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 (Munson, 2002). Sehingga koefisien tekanan dapat dituliskan melalui persamaan (Munson, 2002):

$$C_p = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2} \rho U^2} \quad (2.1)$$

Dimana:

C_p	= Koefisien tekanan
P	= Tekanan (Pa)
P_0	= Tekanan <i>upstream</i>
ρ	= Densitas fluida (kg/m ³)
U	= Kecepatan (m/s)

Besarnya tekanan acuan tidak mempengaruhi *drag* secara langsung karena total gaya tekanan pada benda adalah nol jika tekanan konstan pada seluruh permukaan. Jika viskositas nol, *drag* tekanan pada setiap benda berbentuk apapun (simetris atau tidak) dalam aliran tunak akan bernilai nol. Namun jika viskositasnya tidak nol, total *drag* tekanan mungkin tidak nol karena separasi lapisan batas (Munson, 2002).

2.4 Drag Aerodinamika

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 *form drag* tergantung pada bentuk, ukuran, distribusi tekanan, *wake* (olakan), angka *Reynolds* dan model uji dari benda yang dikenakan aliran.



Gaya *drag* (hambatan) diekpresikan sebagai hasil perkalian dari koefisien *drag*, tekanan dinamis arus bebas dan luas karakteristik yang dapat dituliskan dalam bentuk sebagai berikut. (Munson, 2002), *Drag* dirumuskan sebagai berikut :

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U^2 A} \quad (2.2)$$

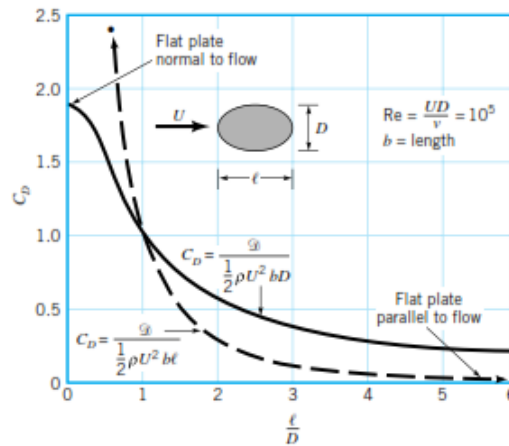
Dimana:

- F_D = gaya *drag* (N)
- ρ = massa jenis udara (kg/m³)
- U = kecepatan aliran udara (m/s)
- A = luas daerah yang mengalami gesekan (m²)

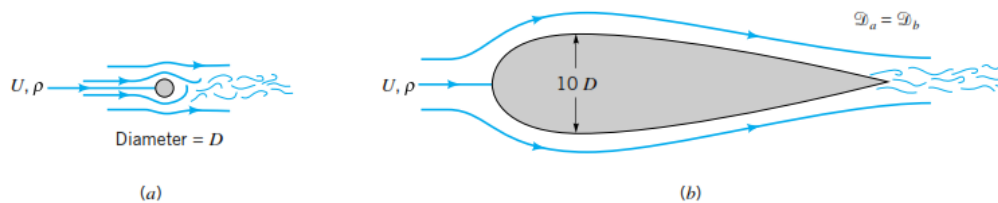
Jelas bahwa koefisien *drag* untuk berbagai benda tergantung pada bentuk dari benda tersebut, dengan bentuk yang berkisar mulai dari benda yang *streamlined* sampai benda yang tumpul. *Drag* pada elips dengan akpek rasio L/D , dimana D dan L adalah ketebalan dan panjang yang sejajar dengan aliran, mengilustrasikan ketergantungan ini. Koefisien *drag* $C_D = D / (\rho U^2 bd/2)$, berdasarkan luas frontal, $A = bd$, dimana b adalah panjang normal terhadap aliran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 semakin tumpul benda maka semakin besar pula koefisien *drag*.

Bayaknyabagian yang di buat *strimeline* dapat memberikan pengaruh yang besar terhadap *drag*. Sulit di percaya bahwa *drag* pada kedua benda dua - dimensi yang pada Gambar 2.6 sama. Lebar dari olakan untuk strut *streamlined* sangat tipis, dalam orde yang sama seperti yang dihasilkan oleh silinder bundar yang berdiameter jauh lebih kecil.





Gambar 2.5 Koefisien *drag* untuk elips dengan luas karakteristik berupa Luas frontal, $A = bD$ atau luas planform, $A = b l$ (Munson, 2002).



Gambar 2.6 Dua benda yang ukurannya sangat jauh berbeda namun Memiliki gaya *drag* yang sama : (a) silinder bundar $C_D = 1.2$; (b) strut *streamlined*, $C_D = 0.12$. (Munson, 2002.)

Parameter yang lain dapat membuat koefisien *drag* sangat tergantung padanya adalah bilangan Reynolds. Kategori utama dari ketergantungan bilangan Reynolds adalah (1). Aliran dengan bilangan Reynolds yang sangat kecil, (2). Aliran dengan bilangan Reynolds sedang (lapisan batas laminar) dan (3). Aliran dengan bilangan Reynolds sangat besar (lapisan batas turbulen).

Aliran dengan bilangan Reynolds rendah ($Re < 1$) diatur oleh keseimbangan antara gaya-gaya viskos dan gaya tekanan. Efek-efek



inersia sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Dalam hal demikian, *drag* diperkirakan adalah sebuah fungsi dari kecepatan hulu U , ukuran benda, L , dan viskositas, μ .

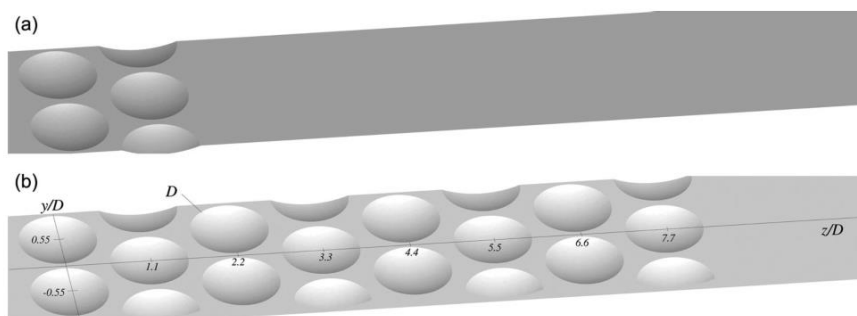
Niali yang umum C_D pada aliran-aliran dengan bilangan Reynolds kecil yang melewati bagian benda. *Drag* pada piringan (*disk*) tegak lurus terhadap aliran hanya 1.5 kali lebih besar dari pada *drag* pada piringan yang sejajar dengan aliran. Untuk aliran dengan bilangan Reynolds besar, rasio - rasio ini sangat besar. *Streamlining* (yaitu usaha membuat benda lebih ramping) dapat memberikan pengurangan *drag* yang cukup banyak pada aliran dengan bilangan reynolds yang besar; pada aliran dengan bilangan Reynolds kecil, hal ini dapat meningkatkan *drag* karna suatu peningkatan dalam luasan dan dimana gaya geser bekerja. Untuk kebanyakan benda, hasil-hasil untuk aliran dengan bilangan Reynolds kecil berlaku sampai dengan bilangan Reynolds sekitar 1. (Munson, 2002).

2.5 Dimple

Beratlis et.al (2014) melakukan studi pengaruh *dimple* pada lapisan batas laminar melalui DNS pada aliran melalui dua baris dan delapan baris *dimple*. Dalam kedua kasus *dimple* efektif mengubah lapisan batas menuju kondisi menyerupai turbulen pada bilangan Reynolds rendah dapat dilihat pada Gambar 2.7. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan geser yang terbentuk melalui *dimple* dua baris pertama menjadi tidak stabil dan gulungan menjadi lembaran pusaran yang koheren. Lembaran pusaran mentransformasi diri menjadi sebuah paket vortisitas yang bereorientasi menjadi bentang vortisitas ke streamwise. Dinamika aliran ketika vortisitas ini merambat melewati pelat datar atau melalui serangkaian *dimple* menjadi sangat berbeda. Untuk kasus pertama dinamika aliran mendekati nol gradien tekanan lapisan batas turbulen sedangkan untuk kasus terakhir gradien tekanan lokal dan selanjutnya ketidakstabilan lapisan geser memiliki efek mendalam pada transportasi momentum di lapisan batas.



Khususnya ketika beberapa baris *dimple* digunakan vortisitas streamwise dengan peningkatan kekuatan ditemukan dalam *dimples* yang meningkatkan pencampuran di lapisan batas. Akibatnya lapisan batas tumbuh lebih tebal melewati *dimple* dan tetap konsisten menebal hingga meninggal wilayah *dimple* dengan perpindahan dan ketebalan momentum yang lebih besar. Perhitungan energi kinetik turbulen juga mengungkapkan bahwa dinamika selama *dimple* lebih besar dari lapisan pencampuran di mana lebih banyak energi yang diproduksi dan diangkut menjauh dari permukaan pelat datar. Perhitungan melewati *dimple* sphere dengan kesamaan susunan *dimple* memverifikasi bahwa separasi menyeluruh tertunda ketika satu baris lesung digunakan sebagai fasilitator yang konsisten dihasilkan ketika melewati pelat yang ber*dimple*.



Gambar 2.7 Geometri pelat datar dengan (a) dua baris *dimple* cekung, (b) 8 baris *dimple* cekung (Beratlis et.al, 2014)

Bola yang digunakan pada olahraga golf memiliki bentuk dan configuration yang khusus, yaitu permukaan yang memiliki *dimple-dimple* kecil. Bentuk ini memiliki pengaruh pada aerodinamika pada bola golf tersebut. Bola golf dibuat berlubang-lubang untuk membuat pergeseran lapisan pada udara semakin lambat karna ada lapisan kecil pada alur/lubang a pada permukaan sehingga memperpanjang jarak gesekan lapisan udara a lapisan paling dekat pada permukaan, jadi kecepatan udara pada permukaan naik sehingga beda kecepatan dengan lapisan di atasnya lebih



kecil. Halini juga dapat mengurangi timbulnya turbulensi pada bagian akhir bola. Umumnya bola golf mempunyai 300-500 *dimple* dengan kedalaman rata-rata sekitar 0.01 in. gaya angkat (*lift*) dan gaya hambat (*drag*) pada bola golf sangat sensitive terhadap kedalaman *dimple*. (Wahyu Rachmadi A, 2017).

