

SKRIPSI

**ANALISIS PENGURANGAN HAMBATAN AERODINAMIKA
MENGUNAKAN *DIMPLE* KONFIGURASI ZIG-ZAG DAN
BLOWING PADA MODEL KENDARAAN**

Oleh:

MUH. IOBAL MUBAROK
D211 16 306



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2021**

SKRIPSI

**ANALISIS PENGURANGAN HAMBATAN AERODINAMIKA
MENGUNAKAN *DIMPLE* KONFIGURASI ZIG-ZAG DAN
BLOWING PADA MODEL KENDARAAN**

Disusun dan diajukan Oleh:

MUH. IQBAL MUBAROK

D211 16 306

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

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGURANGAN HAMBATAN AERODINAMIKA
MENGUNAKAN DIMPLE KONFIGURASI ZIG-ZAG DAN
BLOWING PADA MODEL KENDARAAN

Disusun dan diajukan oleh

MUH. IQBAL MUBAROK

D21116306

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 12 April 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Dr. RUSTAN TARAKKA, S.T., M.T.

NIP. 19750827 200501 1 002

Pembimbing Pendamping,

Dr. Eng. JALALUDDIN, S.T., M.T.

NIP. 19720825 200003 1 001

Ketua Departemen Teknik Mesin,



Dr. Eng. JALALUDDIN, S.T., M.T.

NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muh. Iqbal mubarok

NIM : D211 16 306

ProgramStudi : Teknik Mesin

Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

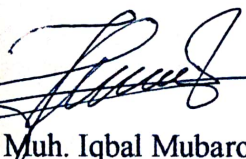
“Analisis pengurangan hambatan aerodinamika menggunakan dimple konfigurasi zig-zag dan blowing pada model kendaraan”

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

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

Gowa, 21 Februari 2021
Yang membuat pernyataan,




Muh. Iqbal Mubarok

ABSTRAK

Muh. Iqbal mubarak. *Analisis pengurangan hambatan aerodinamika menggunakan dimple konfigurasi zig-zag dan blowing 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 dari penelitian ini ialah untuk mengetahui pengaruh *contro* pasif dan aktif berupa *dimple* dan *blowing* 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 *Subsonic 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 kecepatan 11.1 m/s, 13.9m/s, 16.7 m/s, 19.4 m/s dan 22.2 m/s dan menggunakan kombinasi *dimple* konfigurasi zig-zag dan kecepatan *blowing* masing-masing 0.5 m/s, 1.0 m/s dan 1.5 m/s dan kedalaman *dimple* rasio yaitu 0.25. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penambahan kontrol berupa *dimple* dan *blowing* mampu mengurangi pembentukan olakan serta menunda terjadinya eparasi aliran. Selain itu, mampu meningkatkan distribusi tekanan pada dinding bagian belakang model kendaraan dan mampu mereduksi hambatan aerodinamis tertinggi sebesar 13.5318 % untuk pendekatan komputasi dan 18.8294 % untuk pendekatan eksperimen.

Kata kunci : Koefisien *drag*, koefisientekanan,, karakteristikaliran, CFD, Kontrol Aktif *Blowing*, Kontrol Pasif *Dimple*.

ABSTRACT

Muh. Iqbal mubarok. *Analysis of aerodynamic drag reduction using multiple zig-zag and blowroom configurations on the vehicle model* (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 was to determine the effect of *contro* passive and activeform of *dimple* and *blowing* towards the reduction of aerodynamic *drag* on the vehicle model. 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 theprogram facilities *Computational Fluid Dynamics* (CFD)and validated through experimental testing using fluid mechanics laboratory facilities, namely the *Subsonic 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 thecoefficient *drag* usingdevices *load cell*. Thespeeds *upstream* used are 11.1 m / s, 13.9m / s, 16.7 m / s, 19.4 m / s and 22.2 m / s respectively and use a combination of *dimple* and blowroom with three variations of *blowing* speed of 0.5 m / s each, 1.0 m / s and 1.5 m / s and the depth of the *dimple* is 0.25. The results showed that the addition of kontrol in the form of *dimple* and *blowing* was able to reduce the formation of the edible and delay the occurrence of flow eparation. In addition, it is able to increase the pressure distribution on the rear wall of the vehicle model and is able to reduce the highest aerodynamic *drag* by 13.5318 % for the computational approach 18.8294 % experimental for theapproach.

Keywords: *drag* coefficient, pressure coefficient, flow characteristics, CFD, passive Kontrol Aktiv *Blowing*, Kontrol Pasif *Dimple*.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

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

Penghargaan dan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Dr. Rustan Tarakka, S.T., M.T. selaku Pembimbing Utama dan Bapak Dr. Eng, Jalaluddin, S.T., M.T. 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. Yth. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu M.A selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Yth Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Yth. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah menyetujui dan menerima tugas akhir penulis.
4. Seluruh dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas

Hasanuddin yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang sudah dibagikan terhadap penulis. Ilmu dan pengetahuan yang membuat penulis semakin mengerti fenomena-fenomena dalam bidang teknik terutama bidang teknik mesin.

5. Staf Departemen Teknik Mesin, terkhusus Pak Irwan, Ibu Suri, dan juga Pak Mansur yang telah banyak membantu.
6. Teman-teman Laboratorium Mekanika Fluida yang setia menemani selama masa pengambilan data dan penulisan tugas akhir.
7. Saudara-saudara seperjuangan mahasiswa Departemen Teknik Mesin angkatan 2016 COMPREZZOR yang telah memberi bantuan, dukungan, kerjasama yang sudah dijalani selama ini dan kiranya kesuksesan selalu menyertai teman-teman sekalian.
8. Kanda-kanda 2014 dan 2015 dan adik-adik tingkat yang telah memberi bantuan selama proses perkuliahan dan masukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Sahabat – sahabat yang mendukung dan selalu member bantuan tanpa pamrih Jessica Staniyah Novita, Muh. Fuad Fauzan dan Jonathan Tslu Berybeh.
10. Terakhir, penulis hendak menyapa setiap nama yang tidak dapat 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.

Tentunya dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Semua kebaikan berasal dari Allah SWT, segala

kekurangan dan kekeliruan berasal dari penulis maka dari itu penulis memohon maaf atas segala kesalahan, kritik dan saran sangat dibutuhkan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Gowa, 21 Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Lapisan Batas	6
2.2 Separasi Aliran	8
2.3 Distribusi Tekanan	9
2.4 <i>Drag</i> Aerodinamika	10
2.5 Model <i>Bluff Body</i> Kendaraan	12
2.6 Modus Kontrol Aliran	16
2.7 Kontrol Pasif	17

2.8 Kontrol Aktif.....	19
------------------------	----

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
3.2 Objek Penelitian.....	21
3.3 Metode Komputasi.....	22
3.4 Metode Eksperimen.....	27
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	32

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil.....	33
4.1.1 Karakteristik Aliran.....	33
4.1.1.1 Karakteristik Aliran Tanpa kontrol.....	33
4.1.1.2 Karakteristik Aliran dengan <i>dimple</i> konfigurasi zig-zag dan <i>blowing</i>	36
4.1.2 Koefisien Tekanan (C_p).....	42
4.1.2.1 Koefisien Tekanan (C_p) Tanpa kontrol.....	42
4.1.2.2 Koefisien Tekanan (C_p) dengan dengan <i>dimple</i> konfigurasi zig-zag dan <i>blowing</i>	45
4.1.3 Koefisien <i>Drag</i> (C_d).....	55
4.1.3.1 Pendekatan Komputasi.....	55
4.1.3.1.1 Koefisien <i>Drag</i> (C_d) tanpa kontrol.....	55
4.1.3.1.2 Koefisien <i>Drag</i> (C_d) dengan <i>dimple</i> konfigurasi zig-zag dan <i>blowing</i>	56
4.1.3.2 Pendekatan Eksperimen.....	58

4.1.3.2.1	Koefisien <i>Drag</i> (C_d) tanpa kontrol.....	58
4.1.3.2.2	Koefisien <i>Drag</i> (C_d) dengan <i>dimple</i> konfigurasi zig-zag dan <i>blowing</i>	69
4.1.3.3	Perbandingan nilai koefisien <i>drag</i> (C_d) dengan pendekatan komputasi dan pendekatan eksperimen.	61
4.1.3.3.1	Pada model uji tanpa kontrol.....	61
4.1.3.3.2	Pada model uji dengan <i>dimple</i> konfigurasi zig-zag dan <i>blowing</i>	62
4.2	Pembahasan	67
4.2.1	Karakteristik Aliran.....	67
4.2.1.1	Karakteristik Aliran Tanpa kontrol.....	67
4.2.1.2	Karakteristik Aliran kombinasi <i>dimple</i> dan <i>blowing</i>	67
4.2.2	Koefisien Tekanan (C_p).....	69
4.2.2.1	Koefisien Tekanan (C_p) Tanpa kontrol	70
4.2.2.2	Koefisien Tekanan (C_p) model uji dengan <i>dimple</i> konfigurasi zig-zag dan <i>blowing</i>	71
4.2.3	Koefisien <i>Drag</i> (C_d)	72
4.2.3.1	Pendekatan Komputasi	72
4.2.3.1.1	Koefisien <i>Drag</i> (C_d) tanpa kontrol.....	72
4.2.3.1.2	Koefisien <i>Drag</i> (C_d) model uji dengan <i>dimple</i> konfigurasi zig-zag dan <i>blowing</i>	73
4.2.3.2	Pendekatan Eksperimen.....	75
4.2.3.2.1	Koefisien <i>Drag</i> (C_d) tanpa kontrol pasif.....	75

4.2.3.2.2 Koefisien <i>Drag</i> (Cd) model uji dengan <i>dimple</i> konfigurasi zig-zag dan <i>blowing</i>	76
---	----

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Saran.....	78

DAFTAR PUSTAKA	79
-----------------------------	----

DOKUMENTASI	82
--------------------------	----

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kondisi Batas Model Kendaraan	24
Tabel 4.1 Koefisien tekanan minimum tanpa kontrol.....	42
Tabel 4.2 Koefisien tekanan minimum kombinasi <i>dimple</i> dan <i>blowing</i> 0.5 ...	46
Tabel 4.3 Koefisien tekanan minimum kombinasi <i>dimple</i> dan <i>blowing</i> 1.0....	49
Tabel 4.4 Koefisien tekanan minimum kombinasi <i>dimple</i> dan <i>blowing</i> 1.5....	52
Tabel 4.5 Komputasi Koefisien <i>drag</i> tanpa kontrol.....	55
Tabel 4.6 Komputasi Koefisien <i>drag</i> kombinasi <i>dimple</i> dan <i>blowing</i>	57
Tabel 4.7 Eksperimen Koefisien <i>drag</i> tanpa kontrol	58
Tabel 4.8 Eksperimen Koefisien <i>drag</i> kombinasi <i>dimple</i> dan <i>blowing</i>	60
Tabel 4.9 Perbandingan nilai Koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimen tanpa kontrol.....	61
Tabel 4.10 Perbandingan nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimen berupa kontrol pasif <i>dimple</i> konfigurasi zig-zag dengan kecepatan <i>blowing</i> 0.5 m/s	63
Table 4.11 Perbandingan nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimen berupa kontrol pasif <i>dimple</i> konfigurasi zig-zag dengan kecepatan <i>blowing</i> 1.0 m/s	64
Table 4.12 Perbandingan nilai koefisien <i>drag</i> komputasi dan eksperimen berupa kontrol pasif <i>dimple</i> konfigurasi zig-zag dengan kecepatan <i>blowing</i> 1.5 m/s.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Partikel fluida ketika mengalir pada lapisan batas.....	7
Gambar 2.2. Topologi aliran <i>near-wake</i>	9
Gambar 2.3. <i>Frontal Area</i>	12
Gambar 2.4. Perkembangan bentuk bodi kendaraan.....	13
Gambar 2.5. <i>Ahmed Body</i>	14
Gambar 2.6. Pemisahan Aliran Pada Geometri Belakang.....	14
Gambar 2.7 Karakterisasi Aliran.....	15
Gambar 2.8 bola golf.....	18
Gambar 3.1 Tanpa kontrol aliran.....	21
Gambar 3.2 Dengan kontrol aliran berupa <i>dimple</i> konfigurasi zig-zag dan <i>blowing</i>	22
Gambar 3.3 Posisi pengambilan data dengan model uji tanpa kontrol aliran.....	26
Gambar 3.4 Posisi pengambilan data dengan model uji dengan <i>dimple</i> dua baris zig-zag dan <i>blowing</i>	26
Gambar 3.5 <i>Sub-sonic Wind Tunnel</i>	27
Gambar 3.6 Pengukuran kecepatan sepanjang garis tengah seksi uji	28
Gambar 3.7 Eksperimental setup.....	28
Gambar 3.8 Sketsa Penempatan Model Uji pada <i>Load Cell</i>	30
Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian.....	32
Gambar 4.1 Karakteristik aliran pada model tanpa kontrol pada setiap kecepatan <i>upstream</i>	35

Gambar 4.2 Karakteristik aliran pada model dengan kombinasi kontrol pasif dan aktif dengan <i>blowing</i> 0.5 m/s	37
Gambar 4.3 Karakteristik aliran pada model dengan kombinasi kontrol pasif dan aktif dengan <i>blowing</i> 1.0 m/s.....	39
Gambar 4.4 Karakteristik aliran pada model dengan kombinasi kontrol pasif dan aktif Dengan <i>blowing</i> 1.5 m/s.....	41
Gambar 4.5. Koefisien tekanan (C_p) minimum pada model tanpa kontrol pada setiap kecepatan <i>upstream</i>	44
Gambar 4.6 Koefisien tekanan (C_p) minimum pada model dengsn kontrol pada setiap kecepatan <i>upstream</i> 0.5.....	48
Gambar 4.7 Koefisien tekanan (C_p) minimum pada model demgan kontrol pada setiap kecepatan <i>upstream</i> . 1.0.....	51
Gambar 4.8 Koefisien tekanan (C_p) minimum pada model dengan kontrol pada setiap kecepatan <i>upstream</i> 1.5.....	54
Gambar 4.9 Koefisien <i>draga</i> (C_d) pada model tanpa kontrol pada setiap kecepatan <i>upstream</i>	56
Gambar 4.10 Koefisien <i>drag</i> (C_d) pada model degan Kombinasi <i>Dimple</i> dan <i>Blowing</i> komputasi.....	57
Gambar 4.11 Koefisien <i>drag</i> (C_d) pada model dengan kontrol kecepatan <i>upstream</i> eksperien.....	59
Gambar 4.12 Koefisien <i>drag</i> pada model degan Kombinasi <i>Dimple</i> dan <i>Blowing</i>	60
Gambar 4.13 Koefisien <i>drag</i> pada model degan Kombinasi <i>Dimple</i> dan <i>Blowing</i>	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan tingginya tingkat mobilisasi dan kebutuhan sarana transportasi yang mudah, murah dan aman maka tingkat penggunaan kendaraan bermotor juga akan meningkat. Di Indonesia dengan tingkat populasi penduduk yang cukup tinggi, berefek pada tingginya angka pertumbuhan kendaraan. Tercatat dari tahun 2014 hingga 2018 dimana pada tahun 2014 tersebut total jumlah kendaraan bermotor mencapai 114.209.260 sedangkan pada tahun 2018 sebanyak 146.858.759 unit dengan rata-rata 129.591.020 sekaligus menempatkan kendaraan sepeda motor sebagai transportasi darat terbanyak. (Badan Pusat Statistik, 2018)

Hal ini jelas berkaitan erat dengan pencemaran udara serta tingginya penggunaan sumber daya alam berupa bahan bakar dan minyak. Sumber pencemaran udara dapat terjadi dimana-mana baik itu berasal dari sumber tidak bergerak seperti aktivitas industri, proses alam maupun lainnya dan sumber bergerak yakni buangan emisi kendaraan bermotor. Polusi udara dari kendaraan bermotor bensin menyumbang 70% karbon monoksida (CO), 100% Plumbum (Pb), 60% hidro karbon (HC) dan 60% oksida nitrogen (NOX). Bahkan beberapa daerah yang tinggi kepadatan lalu lintasnya menunjukkan bahan pencemar seperti Pb, ozon (O), dan CO melebihi ambang batas yang ditetapkan. (Kementrian Lingkungan Hidup, 2018)

Serta disisi lain, kebutuhan akan bahan bakar akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah populasi kendaraan dari tahun ke tahun. Hal ini akan berdampak pada pencemaran udara serta menipisnya sumber daya alam. Pada sektor transportasi, banyak upaya yang dapat dilakukan seperti memaksimalkan tingkat efisiensi bahan bakarnya. Sehingga kedepannya semua pabrikan-pabrikan mobil akan tertantang untuk menciptakan mobil yang hemat bahan bakar dan ramah lingkungan (D. Barros et. al, 2017). Tolak ukur perancangan dan operasi kendaraan saat ini antara lain berat kendaraan, efisiensi mesin, estetika, cara mengemudi, kenyamanan dan keamanan yang tinggi serta aerodinamika. (Yusuf Ahmad, 2017)

Di era modern sekarang ini, banyak produsen kendaraan yang berlomba-lomba dalam menciptakan model kendaraan yang aerodinamis guna meminimalisir gaya *drag* yg terjadi. Kontribusi *drag* aerodinamika pada kendaraan dipengaruhi oleh geometri depan mobil, kaca depan, atap dan bagian belakang yang telah ditentukan dengan berbagai model melalui pengujian dan perhitungan numerik. Hingga saat ini, *drag* aerodinamika pada mobil dapat diketahui dengan mudah melalui proses eksperimental maupun komputasi (Rajamani & Krishnan, 2006)

Berdasarkan uraian diatas maka perlu dilakukan penelitian dengan judul ***“Analisis Pengurangan Hambatan Aerodinamika Menggunakan Dimple Konfigurasi Zig-Zag dan Blowing pada Model Kendaraan”***

1.2 Rumusan masalah

1. Bagaimana karakteristik aliran udara tanpa kontrol aliran dan menggunakan *dimple* konfigurasi zig-zag dan *blowing* pada bagian belakang model kendaraan?
2. Bagaimana koefisien tekanan tanpa kontrol aliran dan menggunakan *dimple* konfigurasi zig-zag dan *blowing* pada bagian belakang model kendaraan?
3. Bagaimana koefisien *drag* tanpa kontrol aliran dan menggunakan *dimple* konfigurasi zig-zag dan *blowing* pada bagian belakang model kendaraan?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka penelitian ini memiliki tujuan, antara lain:

1. Menganalisis karakteristik aliran udara tanpa kontrol aliran dan menggunakan *dimple* konfigurasi zig-zag dan *blowing* pada bagian belakang model kendaraan.
2. Menganalisis koefisien tekanan tanpa kontrol aliran dan menggunakan *dimple* konfigurasi zig-zag dan *blowing* pada bagian belakang model kendaraan.
3. Menganalisis koefisien *drag* tanpa kontrol aliran dan menggunakan *dimple* konfigurasi zig-zag dan *blowing* pada bagian belakang model kendaraan.

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* 13.9 m/s, 16.7 m/s, 19,4 m/s dan 22.2 m/s.
- e. Kontrol pasif yang digunakan adalah *dimple* tipe *semi spherical* dengan konfigurasi 2 baris zig-zag.
- f. *DimpleRatio* (DR) yang digunakan 0.25.
- g. Kontrol aktif yang digunakan adalah dengan kecepatan 0.5 m/s, 1.0 m/s, dan 1.5 m/s.

1.5 Manfaat Penelitian

Sebagai peran nyata dalam pengembangan teknologi khususnya dibidang aerodinamika, maka penulis dapat berharap dapat memberi manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Bagi mahasiswa

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran bagi mahasiswa tentang distribusi tekanan pada model kendaraan yang menggunakan *dimple*

konfigurasi zig-zag dan *blowing* pada bagian belakang model kendaraan

2. Bagi Universitas

Sebagai referensi untuk pengembangan dan penelitian selanjutnya dilingkup Departemen Teknik Mesin dan juga merupakan pustaka tambahan yang menunjang proses perkuliahan.

3. Bagi industri

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memerikan kontribusi pada dunia otomotif serta kemajuan industri

BAB II

LANDASAN TEORI

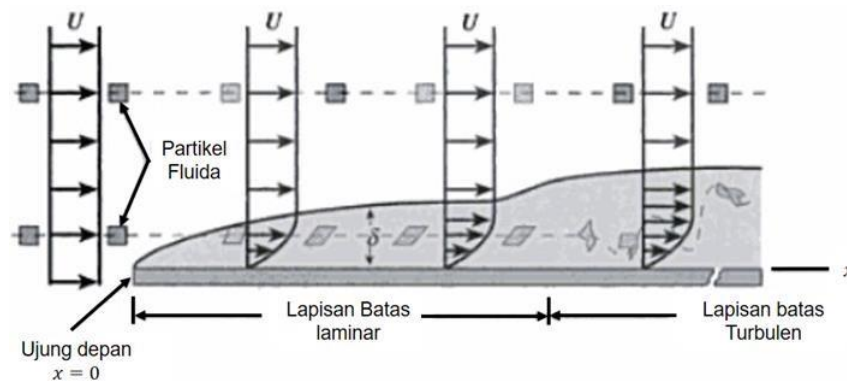
2.1. Lapisan Batas

Ludwing Prandtl (1874-1953) mengemukakan bahwa Lapisan batas didefinisikan sebagai lapisan yang terbentuk pada permukaan suatu benda yang dilewati fluida karena viscositas dan faktor gesekan antara fluida dengan permukaan benda hingga pada kondisi *inviscid*. Aliran *inviscid* adalah aliran dimana gesekan, konduktifitas panas dan difusi massa dapat diabaikan (Anderson, 2001).

Munculnya lapisan batas pada permukaan benda dikarenakan sifat viscos dari fluida yang cenderung menempel pada permukaan yang bersifat stasioner yang menyebabkan aliran fluida di atasnya melambat karena interaksi tumbukan antar molekul fluida dan permukaan benda. Kecepatan pada daerah lapisan batas meningkat secara perlahan hingga mencapai kecepatan aliran bebas (*free stream*). Aliran fluida yang berada diluar lapisan batas disebut aliran tak berotasi, namun pada saat aliran tersebut masuk ke dalam lapisan batas maka aliran disebut aliran berotasi. Pada bagian *downstream* lapisan batas, ada bagian dimana alirannya menjadi turbulen yang dikarenakan partikel fluida menjadi sangat terdistorsi.

Lapisan batas memiliki ketebalan yang membatasi area dimana efek viscos masih berlaku pada suatu aliran fluida atau tidak. Semakin jauh jarak permukaan benda yang dilewati oleh fluida, maka ketebalan lapisan batas akan lebih besar.

Ketebalan sebuah lapisan batas dinotasikan dengan δ dimana perubahan kecepatan yang terjadi pada lapisan batas akan menentukan gradien kecepatan pada permukaan benda dan juga tegangan gesernya seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.1. Partikel fluida ketika mengalir pada lapisan batas (Munson, 2002)

Pada gambar 2.1 diatas 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 lapisan batas laminar tidak mampu mempertahankan kondisi steady yang dimilikinya, maka akan terbentuk lapisan turbulen. Kondisi lapisan batas tergantung pada kekasaran permukaan benda dan tingkat turbulensi aliran *free stream*.

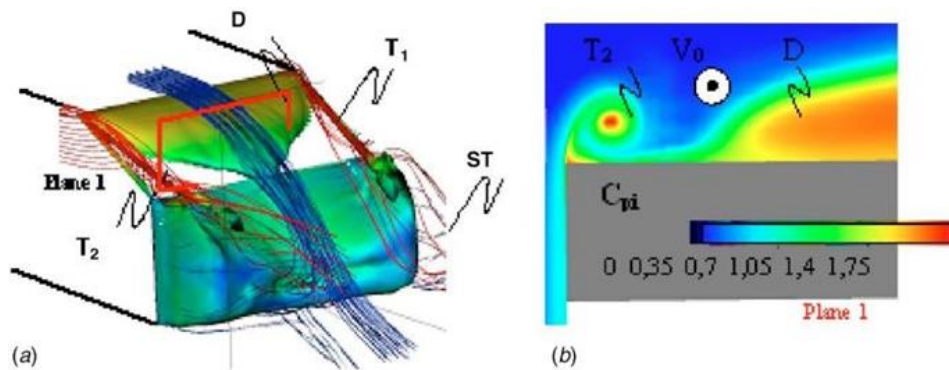
Jika bilangan Reynolds cukup besar, hanya fluida didalam lapisan batas relatif tipis pada pelat yang akan merasakan efeknya. Artinya, kecuali didaerah dekat pelat, kecepatan aliran pada dasarnya akan sebesar $V = U i$, yaitu kecepatan *Upstream*. Untuk pelat dengan panjang tak terhingga yang membentang 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. Bilangan Reynolds didefinisikan sebagai $Re_x = Ux/(Munson, 2002)$.

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)

Separasi aliran akibat efek viskos fluida. Fluida kehilangan energi kinetik di permukaan dinding sehingga tidak memiliki momentum yang cukup untuk mengalir dalam lapisan batas. Perubahan kontur secara drastis menyebabkan fluida tidak mampu bergerak mengikuti kontur sehingga mengalami separasi. Olakan yang ditimbulkan oleh separasi aliran memiliki tekanan yang rendah dan menyebabkan gaya *drag*. *Drag* aerodinamis kendaraan tersebut terutama hasil perbedaan tekanan yang signifikan antara depan dan permukaan belakang (D.Barros et. al 2017) dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.2. Topologi aliran *near-wake* (a) *isosurface* $C_{pl}=1,22$ dan (b) medan total kerugian gesek diukur secara transversal (Roumeas at.al 2008)

2.3. Distribusi Tekanan

Udara adalah campuran berbagai gas yang mempunyai sifat meluas dan juga dapat ditekan. Oleh karena itu tekanan udara yang terbesar adalah pada permukaan. Tekanan udara akan berkurang dengan bertambahnya ketinggian tempat (elevasi atau ketinggian). Hal ini dapat terjadi karena kerapatan udara makin kecil dan kolom udaranya makin pendek. Tekanan udara adalah tenaga yang bekerja untuk menggerakkan massa udara dalam setiap satuan luas tertentu. Diukur dengan menggunakan barometer. Satuan tekanan udara adalah milibar (mb). Garis yang menghubungkan tempat-tempat yang sama tekanan udaranya disebut sebagai isobar.

Drag atau biasa kita dapat dalam rumus dalam bentuk C_p ini sering ditemui 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, 2002).

Persamaan yang digunakan untuk menghitung tekanan *drag* dapat dituliskan sebagai berikut (Munson, 2002):

$$C_p = \frac{h_{sm} - h}{h_{sm} - h_{tm}} \quad (1)$$

Dimana:

- C_p = Koefisien *drag* tekanan
- h_{sm} = Head aliran udara statis manometer
- h_{tm} = Head aliran udara stagnasi manometer
- h = Head aliran udara di titik uji permukaan benda

2.4. *Drag* Aerodinamika

Drag adalah besarnya gaya yang bergerak diatas sebuah objek yang memiliki posisi sejajar dengan aliran bebas. *Drag* pada suatu benda disebabkan oleh dua hal yakni gesekan antara fluida dengan permukaan benda kerja dan tekanan. *Drag* karena gesekan biasa disebut dengan *frictiondrag* dan tergantung pada luas permukaan yang bersentuhan langsung dengan *fluida*, tegangan geser, *viscositas*, gradien kecepatan, kekasaran permukaan benda dan *streamlinebody*. Sedangkan *drag* karena perbedaan tekanan disebut *formdrag*, yang tergantung pada bentuk, ukuran, distribusi tekanan, wake, bilangan Reynolds dan *bluffbody* dari suatu benda yang dikenakan aliran (Munson, 2002).

Koefisien *drag* merupakan sebuah gaya dari fluida yang mengalir melalui permukaan benda searah aliran. Persamaan yang digunakan untuk menghitung koefisien *drag* dapat dituliskan sebagai berikut (Cengel & Cimbala, 2006) :

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

Dimana:

C_D = Koefisien *drag*

ρ = *Density* (kg/m³)

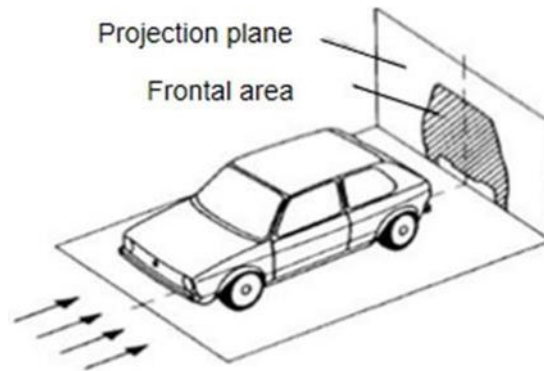
F_D = *Drag force* atau *Gaya drag* (N)

A = Luas daerah yang mengalami gesekan (m²)

U = Kecepatan fluida (m/s)

Total gaya *drag* yang dialami kendaraan akan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kecepatan udara hingga pada titik tertentu. Bentuk geometri kendaraan akan menentukan nilai koefisien *drag* dimana semakin aerodinamis bentuk kendaraan, maka nilai koefisien *drag* akan semakin kecil (Suswanto B & Finahari N, 2013). Besarnya gaya hambat yang terjadi akan mempengaruhi jumlah konsumsi bahan bakar karena energi yang dibutuhkan oleh mesin untuk mendorong kendaraan dan melakukan percepatan akan semakin kecil seiring dengan berkurangnya gaya hambat yang dikenakan pada kendaraan yang memiliki arah berlawanan dengan laju kendaraan. Artinya semakin kecil gaya hambat yang bekerja pada kendaraan, maka efisiensi energi bahan bakar akan dimaksimalkan untuk mendorong kendaraan karena sedikitnya kerugian energi mesin untuk melawan gaya hambat.

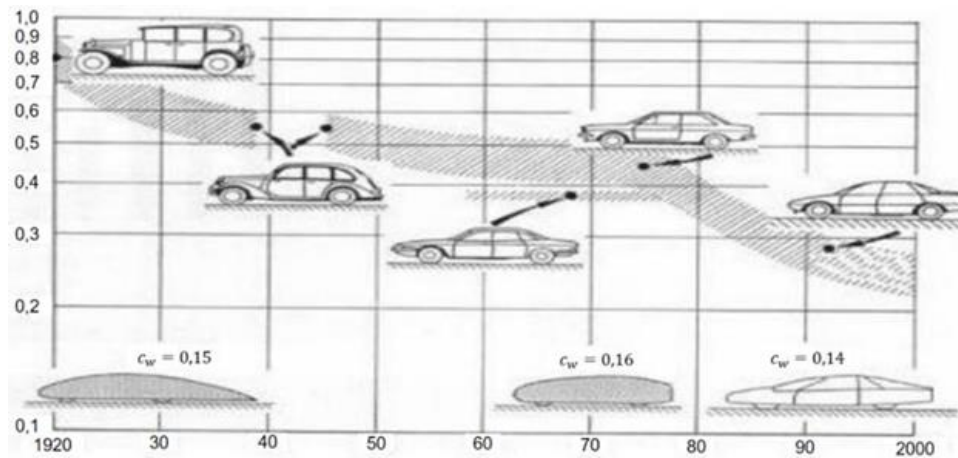
Luas area (*frontal area*) juga sangat mempengaruhi nilai gaya hambat pada suatu kendaraan. Semakin kecil luas *frontal area* dari objek, maka semakin kecil pula gaya hambat yang dihasilkan (Heisler, 2002) dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.3 *Frontal Area* (Heiler, 2002)

2.5. Model *Bluff Body* kendaraan

Dari tahun ketahun bentuk kendaraan lebih diarahkan pada upaya penurunan koefisien hambat aerodinamika (*CD*) tanpa mengesampingkan aspek keindahan dari kendaraan. Hal ini dilakukan untuk menunjang kinerja kendaraan dan pertimbangan efisiensi bahan bakar. Berdasarkan gambar 2.3 dapat dilihat perkembangan bentuk *body* kendaraan dari tahun 1920 hingga tahun 2000 seperti pada gambar berikut.

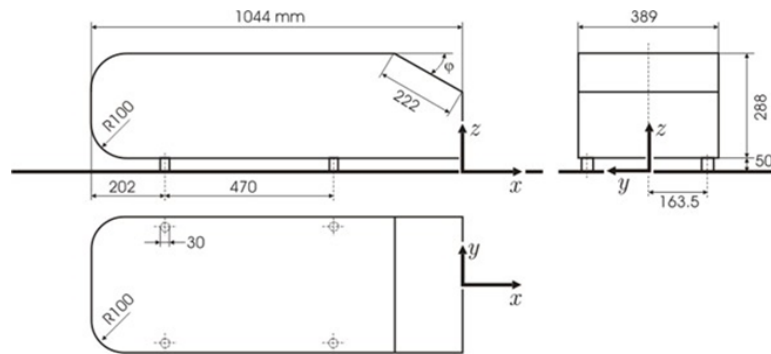


Gambar 2.4. Perkembangan bentuk bodi kendaraan (Munson, 2002)

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa koefisien *drag* untuk mobil semakin berkurang secara terus menerus dari tahun ke tahun. Pengurangan tersebut merupakan hasil perancangan pada bentuk dan perincian seperti jendela dan kaca spion. Pengurangan *drag* telah dilakukan dengan suatu pengurangan luas proyeksi. Hasil pengurangan *drag* ini mampu meningkatkan efisiensi bahan bakar, khususnya ketika kendaraan dioperasikan dengan kecepatan tinggi.

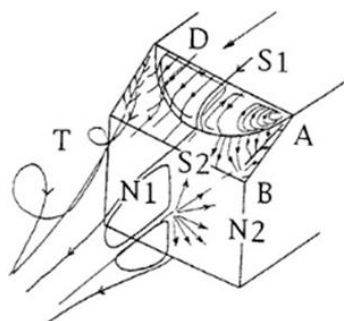
Fenomena fisik aliran yang terjadi di sekitar kendaraan dapat digambarkan melalui penggunaan model geometri. *Ahmed body* merupakan salah satu model geometri yang digunakan dimana dengan menggunakan model tersebut, sangat memungkinkan untuk mengetahui fenomena fisik aliran turbulen disekitar kendaraan. Kendaraan jenis *bluff body* paling umum menggunakan model *Ahmed Body* yaitu model kendaraan yang bagian depannya memiliki bidang frontal dan tidak terdapat permukaan miring yang cukup untuk mentransfer energi tekanan menjadi energi kinetik.

Beberapa contoh diantara kendaraan dengan model *bluff* adalah bus, kereta api, mobil keluarga dan kendaraan angkut terlihat pada gambar berikut.

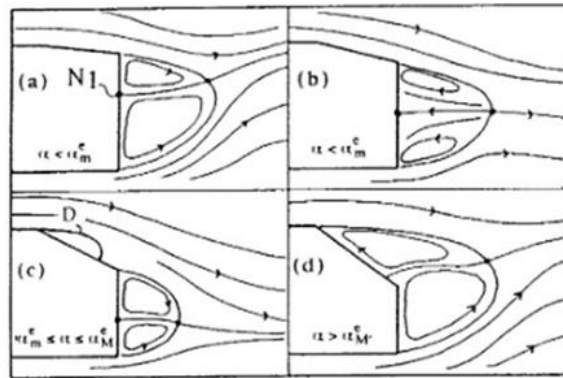


Gambar 2.5. *Ahmed Body* (Ahmed et al, 1984)

Pada gambar 2.5 menunjukkan separasi aliran yang terjadi pada bagian ujung atap sampai bagian bawah model *Ahmed body*. Aliran yang terpisah terdiri dari dua jenis aliran berputar yang berlawanan dan konvergen atau menuju dua pusat separasi (Ahmed et al, 1984). Aliran ini disebabkan oleh interaksi antara dua pusat separasi dengan aliran masuk serta aliran pada permukaan kendaraan. Aliran pada bagian samping model terpisah di sisi jendela belakang dan menimbulkan dua struktur pusaran longitudinal yang berlawanan arah putarannya dapat dilihat kedua gambar berikut.



Gambar 2.6 Pemisahan Aliran Pada Geometri Belakang *Ahmed Body*(Gillieron P & Chometon F, 1999)



Gambar 2.7 Karakterisasi Aliran *Ahmed Body*(Gillieron P & Chometon F, 1999)

Salah satu penelitian tentang aliran balik pada *Ahmed body* dengan metode eksperimental yang menggunakan rasio model 3/20 dari *Ahmed body* standar dengan panjang 156.6 mm (Uruba V & Hladik O, 2009). Kecepatan aliran 6.5 m/s dan bilangan *reynolds* 54.000 dengan sudut kemiringan masing-masing 25° dan 35° pada bagian belakang terhadap bidang horizontal. Model uji ditempatkan pada seksi uji terbuka yang memiliki ukuran 250 x 250 mm². Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada kemiringan 25°, down flow terlihat sangat kuat disekitar bidang simetri sehingga pasangan *contra-rotatingvortex* lemah.

Sedangkan pada kemiringan 35° terlihat pembentukan *vortex* sangat besar.Selain itu penelitian dengan metode eksperimental tentang aerodinamika kendaraan jenis *bluff* dilakukan dengan mengkombinasikan PIV dan *oilvisualization* dengan maksud untuk memahami perilaku aliran di sekitar *Ahmedbody* dan menginterpretasi secara fisik perubahan dari koefisien *drag*. Geometri *Ahmedbody* yang digunakan memiliki variasi sudut kemiringan bagian belakang 10°, 20°, 25°, 30° dan 40°. Hasil penelitian tersebut menunjukkan koefisien *drag* untuk sudut 10° sampai 20° tidak mengalami banyak perubahan jika

dibandingkan dengan hasil dari pengujian Ahmed body standar. Pada 20° sampai 30° terjadi perubahan sekitar 50% dimana pada sudut 30° koefisien *drag* yang diperoleh dari 0,27 menjadi 0,40. Setelah sudut 30° , koefisien *drag* yang diperoleh hampir konstan (Conan B, Anthoine J, & Planquart P, 2011).

2.6. Modus Kontrol Aliran

Pengembangan kendaraan saat ini membutuhkan basis aerodinamika yang kuat untuk meningkatkan kontrol aliran baik berupa alat kontrol pasif maupun kontrol aktif. Teknik kontrol aliran yang sudah dikembangkan dapat dibedakan menjadi 4 berdasarkan konfigurasi dan tujuannya (Aider J.L, Beaudoin F.F & Wesfreid J.E, 2009) diantaranya :

1. Melakukan kontrol aliran pada titik separasi. Hal ini akan dengan mudah dilakukan jika daerah separasi terdefinisi dengan jelas seperti pada kasus *Ahmed body*.
2. Melakukan kontrol terhadap lapisan batas pada *Upstream* dari daerah separasi, sehingga lokasi daerah separasi dan sifat lapisan geser dapat dimodifikasi.
3. Melakukan kontrol aliran dengan aktuasi sepanjang dinding *downstream* daerah dimana separasi terjadi. Kontrol aliran tersebut berupa tiupan (*blowing*)
4. Melakukan kontrol aliran dengan aktuasi pada region *downstream* daerah dimana separasi terjadi.

Penerapan kontrol aliran dalam upaya mengurangi *drag* aerodinamika kendaraan merupakan cara memodifikasi separasi aliran di lapisan batas dari

dinding kendaraan yang berakibat pada terbentuknya olakan di sekitar kendaraan. Sehingga pada aplikasi aerodinamika sangat dibutuhkan pengendalian terhadap aliran pada lapisan batas untuk mencegah atau menunda terjadinya separasi aliran.

2.7.Kontrol pasif

Pasif mempunyai dua alternative penerapan, pada dinding (at the wall) atau terpisah dari dinding (apart from the wall) parameter-parameter permukaan dinding yang meliputi bentuk, kelengkungan (curvature), kekasaran, temperature dan porositas dimanipulasi untuk mendapatkan bentuk profil kecepatan tertentu dekat dinding dapat meningkatkan ketahanan lapisan batas terhadap transisi dan separasi (bearman 1965, Bearman & Harvey, 1993).

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 bola pada permukaan sehingga memperpanjang jarak gesekan lapisan udara pada lapisan paling dekat pada permukaan, jadi kecepatan udara pada permukaan naik sehingga beda kecepatan dengan lapisan diatasnya 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) dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.8 Bola Golf.

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 Gambar2.7. 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 plat 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 *dimple* yang meningkatkan pencampuran di lapisan batas. Akibatnya lapisan batas tumbuh lebih tebal melewati *dimple* dan tetap konsisten menebal hingga meninggalkan 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 dimana lebih banyak energi yang diproduksi dan diangkut menjauh dari permukaan plat 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 *berdimple*.

2.8. Kontrol Aktif

Kontrol aktif menggunakan aktuator yang membutuhkan daya dan umumnya diambil dari generator pada kendaraan. Bagian luar dari sistem ini berupa permukaan yang bergerak, lubang yang ditempatkan pada permukaan kendaraan dimana aliran harus dikontrol. Dalam pengaplikasian sistem kontrol aktif membutuhkan energi mekanik, elektromagnetik dan listrik yang di tempatkan pada bagian berongga. Berat dan dimensinya pun harus dibuat minimal untuk menghindari penggunaan luasan yang berlebihan.

Ketika aliran fluida melewati permukaan yang memiliki kelengkungan konveks, akan terjadi perubahan distribusi tekanan yang mendorong terjadinya separasi aliran di bagian downstream setelah melalui permukaan ini akibat tekanan balik. Secara konseptual, lapisan batas yang mengalami tekanan balik ini mungkin diberikan energi tambahan atau dihilangkan dan digantikan dengan fluida berenergi tinggi sehingga memungkinkan aliran terus bergerak melawan gradien tekanan balik tanpa mengalami separasi.

Konsep pemberian energi dapat dilakukan dengan tiga cara diantaranya :

1. Tiupan (*blowing*)
2. Hisapan (*suction*)
3. Jet synthetic.

Kontrol aliran dengan metode tiupan (*blowing*) dapat dilakukan melalui penggunaan perangkat seperti *compressor*. Secara teoritis metode tiupan dapat dilakukan secara kontinu maupun periodik yang bertujuan untuk memodifikasi lapisan batas.