

SKRIPSI

**ANALISIS PENGURANGAN HAMBATAN AERODINAMIKA PADA
MODEL KENDARAAN DENGAN MENGGUNAKAN *DIMPLE*
KONFIGURASI ZIG-ZAG**

OLEH:

HERIANTO N

D211 14 028



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2020

SKRIPSI

**ANALISIS PENGURANGAN HAMBATAN AERODINAMIKA PADA
MODEL KENDARAAN DENGAN MENGGUNAKAN *DIMPLE*
KONFIGURASI ZIG-ZAG**

**OLEH:
HERIANTO N
D21114028**

**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:

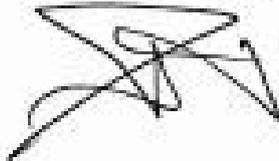
**ANALISIS PENGURANGAN HAMBATAN AERODINAMIKA PADA
MODEL KENDARAAN DENGAN MENGGUNAKAN *DIMPLE*
KONFIGURASI ZIG-ZAG**

HERIANTO N

D211 14 028

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I



Dr. Rostan 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 : Herianto N

Tempat Tanggal Lahir : Barangmamase, 6 Januari 1996

Alamat : Jalan Poros Malino

Jenis Kelamin : Laki-laki

Agama : Islam

Telepon : 082336184739

E-mail : herryrembazz@gmail.com

Riwayat Pendidikan : SMKN 1 PITUMPANUA (2011 – 2014)
SMPN 2 SAJOANGING (2008 – 2011)
SDN 309 BARANGMAMASE (2008 – 2002)

Riwayat Organisasi : HMM FT-UH

Pengalaman Kerja : Energy Equity Epic (Sengkang) PTY. LTD
(11 Juni – 11 Juli 2018).



ABSTRAK

HERIANTO N, analisa pengurangan hambatan aerodinamika pada model kendaraan dengan menggunakan *dimple* konfigurasi zig-zag (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 zig-zag terhadap pengurangan hambatan aerodinamika 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 menggunakan kontrol pasif dengan *dimple* konfigurasi 2 baris zig-zag dengan rasio masing-masing 0.20, 0.25, dan 0.50. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penerapan kontrol pasif berupa *dimple* mampu mengurangi pembentukan *wake*. Meningkatkan distribusi tekanan pada dinding bagian belakang model kendaraan dan mampu mereduksi hambatan aerodinamika tertinggi sebesar 12.08024% untuk pendekatan komputasi dan 8.82967% untuk pendekatan eksperimen.

Kata kunci : CFD, Separasi aliran, Karakteristik aliran, C_p , C_d , dan Kontrol pasif *dimple*.

ABSTRACT

HERIANTO N, analysis of aerodynamic drag reduction in vehicle models using a dimple zig-zag configuration (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 a zig-zag 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, 16.7 m/s and 22.2 m/s respectively using passive control with a dimple configuration of 2 zig-zag lines with ratios of 0.20, 0.25, and 0.50, respectively. The results showed that the application of passive control in the form of dimple was able to reduce wake formation. Increasing the pressure distribution on the rear wall of the vehicle model and able to reduce the highest aerodynamic drag by 12.08024% for the computational approach and 8.82967% for the experimental approach.

Keywords: CFD, flow separation, flow characteristics, C_p , C_d , and passive dimple control.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya agar saya selaku penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini yang menjadi salah satu syarat kelulusan Departemen mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin dan salawat serta salam kita sampaikan kepada junjungan kita nabi Muhammad Saw yang telah membawa umat islam ke kehidupan yang lebih beradap.

Pengerjaan skripsi “**Analisa pengurangan hambatan aerodinamika pada model kendaraan dengan menggunakan *dimple* konfigurasi zig-zag**” dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Universitas Hasanuddin.

Oleh karena itu dengan penuh rasa hormat mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dr. Rustan Tarakka, ST, MT selaku pembimbing pertama dan bapak Dr.Eng. Jalaluddin, ST.,MT selaku pembimbing dua, yang telah memberikan sangat banyak pelajaran berharga bagi saya, yang tidak bisa ternilai harganya dengan apapun, meluangkan waktu dan tenaganya, dan juga memberikan motivasi dan masukan kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

Tak lupa secara khusus penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak sekaligus motivasi hidup saya Nurdin yang telah memberikan banyak pelajaran dan dukungan berharga kepada saya dan Ibunda Nurhana yang telah memberi semangat tanpa lelah dari kecil hingga saat ini, dan memberikan dukungan yang tidak ada habisnya kepada saya, juga kepada kakak saya Hasriadi Nur dan istrinya Fitriya Pratiwi Sinar, serta kedua adik saya Hesriani dan Hasri Jaya Novaldi yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada saya serta keluarga besar yang namanya tidak bisa saya sebutkan satu-persatu yang selalu ada memberikan dukungan kepada saya.

Pada kesempatan ini pula berkenankan penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian dan skripsi ini, ucapan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dwia Aris Tina Pulubuhu, selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta stafnya.
2. Bapak Prof.Dr.Ir.A. Muhammad Arsyad Thaha, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr.Eng. Jalaluddin, ST.,MT selaku Ketua Departemen Mesin FT- UH
4. Anak-nak Hiperमawa Komisariat Sajoanging yang selalu memberikan dukungan
5. Keluarga besar D'Lojank Comunity yang selalu memberikan dorongan dalam menyelesaikan tugas akhir ini
6. Seluruh teman–teman mahasiswa Jurusan Mesin khususnya Angkatan'14 RADIATOR. Terima kasih atas bantuan dan dukungannya serta semangat.
7. Keluarga besar KKN gelombang 96 Kab. Takalar
8. Keluarga besar KKN gelombang 96 posko Desa Banyuanyara
9. Semua pihak yang tidak sempat disebutkan namanya satu per satu.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua. penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis dengan sangat terbuka menerima kritikan dan saran yang membangun untuk memperbaiki skripsi ini kedepannya, agar berguna bagi pembaca nantinya.

Gowa, 2020

Herianto N

DAFTAR ISI

Halaman Judul	ii
Lembar Pengesahan	iii
Daftar Riwayat Hidup	iv
Abstrak	v
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Mamfaat penelitian	4

II. TINJAUN PUSTAKA

2.1. Fenomena Aerodinamika Mobil	5
2.2. Separasi Aliran	6
2.3. Lapisan Batas.....	7
2.4. Medan Tekanan.....	9
2.5. Drag Aerodinamika.....	10
2.6. Kontrol Pasif.....	13

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu Penelitian dan Tempat	16
3.2. Pendekatan Komputasi	16
3.3. Pendekatan Eksperimental	21
3.4. Gambar Model Uji	23

3.5. Diagram Alir Penelitian	24
------------------------------------	----

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Aliran	25
4.1.1. Karakteristik Aliran Pada Kecepatan <i>Upstream</i> (U_{0_1}) = 11.1 m/s	25
4.1.2. Karakteristik Aliran Pada Kecepatan <i>Upstream</i> (U_{0_2}) = 13.9 m/s	28
4.1.3. Karakteristik Aliran Pada Kecepatan <i>Upstream</i> (U_{0_3}) = 16.7 m/s	30
4.1.4. Karakteristik Aliran Pada Kecepatan <i>Upstream</i> (U_{0_4}) = 22.2 m/s	32
4.2. Koefisien Tekanan (C_p)	35
4.2.1. Pengaruh Kontrol Pasif <i>Dimple</i> Pada Kecepatan <i>Upstream</i> , U_{0_1} = 11.1 m/s	35
4.2.2. Pengaruh Kontrol Pasif <i>Dimple</i> Pada Kecepatan <i>Upstream</i> , U_{0_2} = 13.9 m/s	39
4.2.3. Pengaruh Kontrol Pasif <i>Dimple</i> Pada Kecepatan <i>Upstream</i> , U_{0_3} = 16.7 m/s	42
4.2.4. Pengaruh Kontrol Pasif <i>Dimple</i> Pada Kecepatan <i>Upstream</i> , U_{0_4} = 22.2 m/s	45
4.3. Koefisien Drag (C_d)	48
4.3.1. Pendekatan Komputasi Koefisien Drag (C_d)	48
4.3.2. Pendekatan Eksperimental Koefisien Drag (C_d)	49
4.3.3. Koefisien Drag Pada Kecepatan <i>Upstream</i> , U_{0_1} = 11.1 m/s	51
4.3.4. Koefisien Drag Pada Kecepatan <i>Upstream</i> , U_{0_2} = 13.9 m/s	53
4.3.5. Koefisien Drag Pada Kecepatan <i>Upstream</i> , U_{0_3} = 16.7 m/s	55
4.3.6. Koefisien Drag Pada Kecepatan <i>Upstream</i> , U_{0_4} = 22.2 m/s	57

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	60
5.2. Saran	60

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Variasi daya beban jalan terhadap komponen kecepatan.....	5
Gambar 2.2. Separasi aliran disekitar kendaraan	6
Gambar 2.3. Lapisan batas viskositas tipis pada suatu benda dalam aliran dengan bilangan Reynolds tinggi	7
Gambar 2.4. Lapisan batas pada suatu plat datar	8
Gambar 2.5. Aliran dua-dimensi melewati sebuah pelat rata yang normal terhadap arus bebas (a) pola aliran dengan gaya geseran normal terhadap arus bebas (b) distribusi tekanan sesuai dengan pengukuran-pengukuran	12
Gambar 2.6. Efek aspek rasio pada koefisien hambatan untuk pelat persegi yang normal terhadap aliran	12
Gambar 2.7. Aliran melalui silinder bulat (a) pemisahan berlapis; (b) pemisahan bergolak.....	13
Gambar 2.8. Geometri plat datar dengan (a) dua baris dimple cekung, (b) 8 baris dimple cekung	14
Gambar 2.9. Penggunaan <i>dimple</i> pada NACA 0018 airfoil.....	15
Gambar 3.1. Model kendaraan	16
Gambar 3.2. Penggabungan model dengan <i>wind tunnel</i>	17
Gambar 3.3. Pembuatan <i>mesh</i> pada model	17
Gambar 3.4. Penentuan kondisi batas pada model dan <i>wind tunnel</i>	18
Gambar 3.5. Lokasi pengambilan data medan tekanan.....	20
Gambar 3.6. <i>Wind tunnel</i>	21
Gambar 3.7. Model modifikasi <i>Ahmed body</i>	23
Gambar 3.8. Diagram alir penelitian.....	24
Gambar 4.1. <i>Pathline</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_1}=11.1$ m/s.....	27
Gambar 4.2. <i>Pathline</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_2}=13.9$ m/s.....	30
Gambar 4.3. <i>Pathline</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_3}=16.7$ m/s	32
Gambar 4.4. <i>Pathline</i> pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_4}=22.2$ m/s	34

Gambar 4.5. Koefisien tekanan minimum pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_1}=11.1$ m/s	39
Gambar 4.6. Koefisien tekanan minimum pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_2}=13.9$ m/s	42
Gambar 4.7. Koefisien tekanan minimum pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_3}=16.7$ m/s	45
Gambar 4.8. Koefisien tekanan minimum pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_4}=22.2$ m/s	48
Gambar 4.9. Perbandingan gaya drag (F_d) terhadap durasi waktu pengujian	51
Gambar 4.10. Perbandingan koefisien drag pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_1} = 11.1$ m/s	53
Gambar 4.11. Perbandingan koefisien drag pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_2} = 13.9$ m/s	55
Gambar 4.12. Perbandingan koefisien drag pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_3} = 16.7$ m/s	57
Gambar 4.13. Perbandingan koefisien drag pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_4} = 22.2$ m/s	59

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Kondisi batas model kendaraan	18
Tabel 4.1. Perbandingan nilai koefisien tekanan minimum pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_1} = 11.1$ m/s	37
Tabel 4.2. Perbandingan nilai koefisien tekanan minimum pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_2} = 13.9$ m/s	41
Tabel 4.3. Perbandingan nilai koefisien tekanan minimum pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_3} = 16.7$ m/s	44
Tabel 4.4. Perbandingan nilai koefisien tekanan minimum pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_4} = 22.2$ m/s	47
Tabel 4.5. Perbandingan nilai koefisien drag pada pendekatan komputasi	49
Tabel 4.6. Perbandingan nilai koefisien drag pada pendekatan eksperimen	49
Tabel 4.7. Perbandingan koefisien drag pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_1} = 11.1$ m/s	52
Tabel 4.8. Perbandingan koefisien drag pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_2} = 13.9$ m/s	54
Tabel 4.9. Perbandingan koefisien drag pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_3} = 16.7$ m/s	56
Tabel 4.10. Perbandingan koefisien drag pada kecepatan <i>upstream</i> , $U_{0_4} = 22.2$ m/s	58

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

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

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

Salah satu upaya untuk mengatasi masalah tersebut adalah melalui penerapan kontrol pasif pada titik dimana separasi aliran mulai terjadi. Penerapan kontrol pasif selain mudah dalam pengaplikasiannya juga dianggap murah (Fourrie G, Keirsbulck, 2011., Altaf A, Omar A.A, Asrar, 2014). Teknik kontrol aliran atau modifikasi aliran banyak digunakan dalam berbagai macam pengaplikasian seperti pada dunia penerbangan, automotif, perkapalan, dll. Kontrol pasif dengan *dimple* merupakan salah satu bagian dari kontrol aliran itu sendiri. Salah satu contoh penggunaan *dimple* adalah pada bola golf, tanpa cekungan-cekungan (*dimple*) bola golf akan mempunyai nilai koefisien drag yang lebih tinggi, pada batas-batas *Reynolds number* tertentu (Akbar Wicaksana, 2010). Pengaplikasian kontrol pasif *dimple* pada kendaraan yang dimodelkan memberikan pengaruh berupa peningkatan efisiensi konsumsi bahan bakar sekitar 7% (Stanly, R, et al, 2016).

S.F.Wong & S.S.Dol menerapkan satu baris *dimple* ditepi bagian belakang Ahmed body dengan kemiringan permukaan 25° . Pendekatan komputasi model k-epsilon pada INSYS Fluent. Variasi rasio *dimple* (DR) 0.005, 0.2 , 0.4 dan 0.5 pada kecepatan 40 m/s diperoleh penurunan drag terbesar 1.95% pada DR 0.4 dibandingkan model tanpa *dimple* (S.F.Wong & S.S.Dol, 2016). Selain itu pengujian penerapan kontrol pasif *dimple* pada plat datar mampu mengurangi hambatan gesekan sebesar 4.5% (Ge, W.M et al, 2015). Dengan demikian potensi efisiensi penerapan *dimple* untuk mereduksi hambatan aerodinamika dan pengurangan konsumsi bahan bakar cukup tinggi. Hanya dengan mengurangi hambatan aerodinamika sebesar 2-3%, itu artinya kendaraan telah melakukan penghematan konsumsi bahan bakar sebesar 700-1000 liter setiap tahun (Kumar et al, 2019).

Berdasarkan uraian di atas maka penulis akan mengadakan penelitian sebagai TUGAS AKHIR dengan judul “ANALISIS PENGURANGAN HAMBATAN AERODINAMIKA PADA MODEL KENDARAAN DENGAN MENGGUNAKAN *DIMPLE* KONFIGURASI ZIG-ZAG”.

1.2. Rumusan Masalah

Para ahli aerodinamika banyak yang mempelajari dan mengembangkan jenis-jenis kontrol aliran secara pasif maupun aktif. Bentuk kendaraan yang dialiri fluida sangat mempengaruhi pola aliran dan hambatan aerodinamika yang terjadi.

1. Bagaimana karakteristik aliran udara pada *bluff body* model kendaraan tanpa kontrol dan menggunakan *dimple* konfigurasi zig-zag?
2. Bagaimana nilai koefisien tekanan pada *bluff body* model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan *dimple* konfigurasi zig-zag?
3. Bagaimana perbandingan nilai koefisien drag pada *bluff body* model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan *dimple* konfigurasi zig-zag?

1.3. Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis karakteristik aliran udara pada *bluff body* model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan *dimple* konfigurasi zig-zag.
2. Menganalisis nilai koefisien tekanan pada *bluff body* model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan *dimple* konfigurasi zig-zag.
3. Menganalisis perbandingan nilai koefisien drag pada *bluff body* model kendaraan tanpa kontrol aliran dan menggunakan *dimple* konfigurasi zig-zag.

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, 13.9 m/s, 16.7 m/s, dan 22.2 m/s.

- e. Kontrol pasif yang digunakan adalah *dimple* tipe *semi spherical* dengan konfigurasi 2 baris zig-zag.
- f. *Dimple Ratio (DR)* yang digunakan ; 1) 0.20, 2) 0.25, dan 3) 0.50.

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*.

2. Bagi Universitas

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

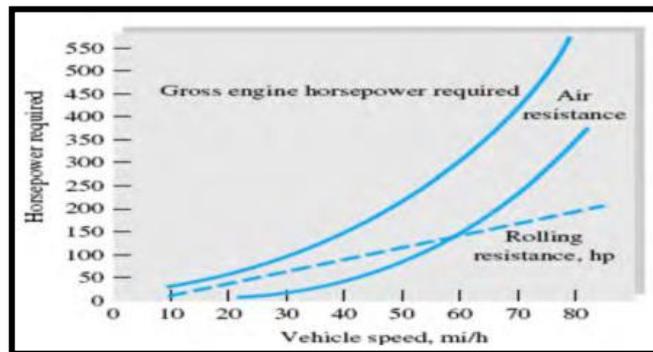
3. Bagi industri

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fenomena Aerodinamika Mobil

Pertimbangan aerodinamika menjadi penting dalam sebuah desain kendaraan darat seperti truk, bus, atau mini bus. Hal ini dikarenakan gaya aerodinamika memberikan beban tambahan pada mesin kendaraan yang disebabkan oleh gaya tahanan. Perhatikan suatu kendaraan melaju dengan kecepatan konstan pada jalan datar. Kendaraan tersebut mengalami dua gaya yang menghambat gerak lajunya: perlawanan (*rolling resistance*) dan tahanan aerodinamika. Perlawanan *rolling* berkaitan dengan deformasi menerus dari roda kendaraan. Penjumlahan antara tahanan aerodinamika dan perlawanan *rolling* disebut dengan beban jalan (*road load*). Mesin kendaraan harus secara terus-menerus menyediakan daya untuk mengatasi beban jalan tersebut. Daya tersebut merupakan hasil perkalian dari beban jalan dengan kecepatan kendaraan. Variasi daya beban jalan terhadap komponen kecepatan dapat dilihat pada gambar 2.1.



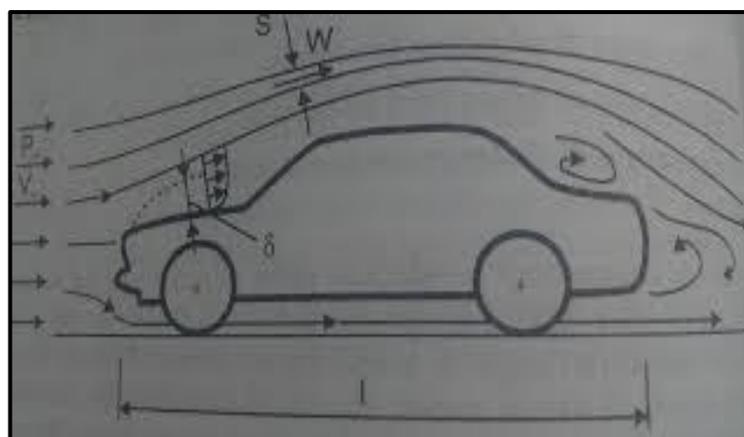
Gambar 2.1. Variasi daya beban jalan terhadap komponen kecepatan.

Pengurangan tahanan untuk mobil disulitkan dengan dengan adanya permasalahan yang timbul akibat tahanan bawah (*underbody drag*) dan tahanan gangguan (*interference drag*). Bagian bawah kendaraan secara aerodinamika sangatlah rumit disebabkan oleh permukaan-permukaan yang menonjol seperti bagian-bagian penampungan oli, *muffer* dan suspensi. Masing-masing permukaan ini mengalami gaya tahanan yang relatif besar. Tahanan gangguan timbul akibat

adanya penonjolan-penonjolan dari permukaan kendaraan seperti kaca spion, pegangan pintu, dan rak tempat barang. Objek-objek ini tidak saja mengalami tahanan tetapi, hal yang sama pentingnya, mereka mengganggu aliran pada gangguan mengacu pada kenyataan bahwa tahanan total yang berkaitan dengan penonjolan permukaan biasanya lebih besar dari penjumlahan tahanan benda dasar yang diisolasi dan penonjolan- penojolan yang diisolasi (Yudha Hafitsah, 2016).

2.2. Separasi Aliran

Separasi aliran merupakan keadaan dimana aliran fluida yang mengalir pada sepanjang permukaan benda tidak mampu lagi mempertahankan posisi aliran mengikuti bentuk benda yang dilewatinya. Separasi aliran berakibat pada terbentuknya aliran balik disekitar benda (gambar 2.2). Aliran fluida yang mengalir secara teratur akan terpecah saat terjadinya separasi dan mengakibatkan terjadinya penurunan distribusi tekanan dan menimbulkan gaya drag (Anderson, 2001). Ketika sebuah fluida melewati sebuah benda dan dianggap aliran fluida tersebut menempel pada benda tersebut, idealnya distribusi tekanan pada kedua sisi tetap sama tetapi pada beberapa kasus lapisan batas terpisah dengan benda. Pada kejadian ini tekanan pada satu sisi menjadi sangat rendah. Muncul penurunan tekanan ini terjadi secara tiba-tiba. Ini terjadi pada sisi dimana aliran udara lebih cepat. Perbedaan tekanan ini akan mengakibatkan drag pada benda tadi (Ramon Trisno, 2018).



Gambar 2.2. Separasi aliran disekitar kendaraan.

2.3. Lapisan Batas

Pada tahun 1904, Prandtl memperkenalkan hipotesa lapisan batas, yang menjelaskan mengapa kedua tahanan bentuk dan tahanan friksi muncul dalam aliran bilangan Reynolds tinggi. Perhatikan aliran pada suatu benda tipis panjang, seperti plat datar paralel atau airfoil pada gambar 2.3. Prandtl berpendapat bahwa bagaimanapun kecilnya viskositas, fluida semestinya masih tetap memenuhi kondisi non-slip pada permukaan. Dengan demikian kecepatan fluida harus meningkat dari nol pada permukaan suatu nilai yang mendekati besarnya kecepatan aliran bebas pada jarak yang pendek diatas permukaan. Daerah dimana kecepatan meningkat dari nol ke harga aliran bebas ini disebut lapisan batas (*boundary layer*). Prandtl mencatat bahwa semakin tinggi bilangan Reynoldnya, lapisan batasnya semakin kecil, yang diperlihatkan dalam hubungan.

$$\frac{\delta}{L} \sim \sqrt{\frac{\nu}{V_{\infty} L}} = \frac{1}{\sqrt{Re}}$$

Dimana:

δ = tebal lapisan batas (m)

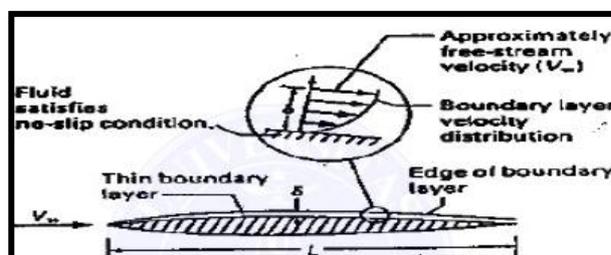
L = panjang karakteristik (m)

ν = viskositas kinematis fluida (m²/s)

V_{∞} = kecepatan fluida relatif terhadap objek (m/s)

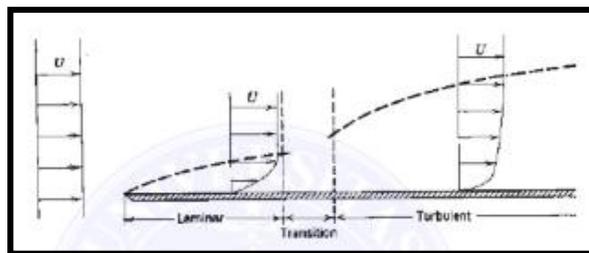
Re = bilangan Reynolds.

Dalam hal ini tentu saja semakin tipis lapisan batas, semakin besar nilai dari $\frac{\partial u}{\partial y}$ didalam lapisan batas tersebut. Terdapat tegangan geser yang penting di dalam fluida lapisan batas, meskipun viskositasnya kecil.



Gambar 2.3. Lapisan batas viskositas tipis pada suatu benda dalam aliran dengan bilangan Reynolds tinggi.

Selama lapisan batas tersebut tipis, keberadaannya memiliki efek kecil pada distribusi tekanan atau pola aliran dekat benda. Untuk plat datar atau airfoil tipis, bentuk-bentuk garis arus (*streamline shape*) pada dasarnya tidak berubah oleh adanya lapisan batas tersebut. Oleh karena lapisan batas adalah suatu daerah dimana fluida mengalami deformasi geser. Alirannya bisa laminar atau turbulen tergantung pada nilai bilangan Reynoldnya. Aliran lapisan batas dekat dengan ujung depan (*leading edge*) dari suatu plat selalu laminar karena bilangan Reynoldnya (lokal) kecil. Jika plat tersebut cukup panjang, transisi ke turbulen terjadi dan aliran tersebut turbulen pada daerah hilir dari plat tersebut. Jika aliran diganggu oleh kekasaran atau turbulensi dalam aliran di luar lapisan batas, transisi terjadi lebih dekat ke ujung depan (*leading edge*). Gambar 2.4 mengilustrasikan secara kualitatif pertumbuhan lapisan batas pada plat datar tersebut. Dikarenakan oleh pencampuran yang meningkat dalam aliran turbulen, lapisan batas turbulen memiliki tegangan geser yang lebih besar daripada lapisan batas laminar. Seperti halnya, permukaan kasar mengalami tegangan yang lebih besar daripada permukaan halus.



Gambar 2.4. Lapisan batas pada suatu plat datar.

Fakta ini menerangkan perilaku koefisien tahanan untuk suatu plat datar yang sejajar dengan aliran seperti diperhatikan pada gambar 2.3 dan 2.4 pada bilangan Reynolds yang rendah, aliran dekat plat adalah laminar dan koefisien tahanannya lebih kecil. Pada bilangan Reynolds yang tinggi, aliran dekat plat adalah turbulen pada sebagian besar dari panjang plat dan koefisien tahanannya lebih tinggi karena tegangan gesernya lebih besar. transisi antara kurva laminar dan kurva turbulen bukanlah merupakan merupakan garis tunggal tetapi sekumpulan garis yang bergantung pada kekasaran plat dan tingkat turbulensi

aliran fluida di atas plat tersebut. Pada setiap harga bilangan Reynolds tertentu, plat datar paralel harus memiliki koefisien drag yang paling kecil dari semua bentuk (Yudha Hafitsah, 2016).

Pertimbangan aerodinamika menjadi penting dalam desain kendaraan darat seperti truk dan mobil dikarenakan gaya aerodinamika memberikan beban tambahan pada mesin kendaraan, hal ini berasal dari gaya tahanan. Perhatikan suatu kendaraan melaju pada kecepatan konstan pada jalan datar. Kendaraan tersebut mengalami dua gaya yang menghambat gerak lajunya: perlawanan *rolling* (*rolling resistance*) dan tahanan aerodinamika. Perlawanan *rolling* berkaitan dengan deformasi menerus dari roda kendaraan. Penjumlahan antara tahanan aerodinamika dan perlawanan *rolling* disebut dengan beban jalan (*road load*). Mesin kendaraan harus terus-menerus menyediakan daya untuk mengatasi beban jalan tersebut. Daya tersebut merupakan hasil perkalian dari beban jalan dengan kecepatan kendaraan. Daya perlawanan *rolling* hampir linier terhadap kecepatan, sedangkan gaya tahanan aerodinamika bervariasi terhadap pangkat tiga kecepatan (koefisien tahanan mendekati konstan). Kurva perlawanan *rolling* dan kurva tahanan aerodinamika berpotongan (masing-masing berkontribusi sama pada beban jalan) pada suatu kecepatan antara sekitar 50 mph (80 km/h) dan 60 mph (96 km/h). Di atas kecepatan ini, daya yang dibutuhkan untuk mengatasi tahanan aerodinamika mengikat dengan cepat dan menjadi faktor pengontrol dalam kecepatan kendaraan.

2.4. 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 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). Sehingga koefisien tekanan dapat dituliskan melalui persamaan (Munson, 2002):

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

Dimana:

- C_p = Koefisien tekanan
- P = Tekanan (Pa)
- P_0 = Tekanan upstream (P)
- 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).

2.5. Drag Aerodinamika

Apabila gelombang atau hambatan terinduksi tidak ada, hambatan (*drag*) total sama dengan hambatan profil, yang ditimbulkan oleh tekanan dan geseran viskos. Hambatan profil dapat terjadi karena geseran viskos sepenuhnya, karena tekanan sepenuhnya, atau kombinasi keduanya. Gaya geseran viskos memainkan peran penting dalam perkembangan lapisan batas dari permukaan benda. Ini berpengaruh pada ukuran *wake* dan beda-beda tekanan di dalamnya, yang keduanya turut menentukan besar hambatan akibat tekanan. Beda tekanan yang

positif di bagian depan sebuah benda juga berpengaruh terhadap hambatan tekanan. Hambatan diekspresikan sebagai hasil kali koefisien hambatan, tekanan dinamik arus bebas, dan luas karakteristik. Koefisien hambatan merupakan fungsi sejumlah parameter seperti bentuk benda, angka Reynolds, angka Mach, angka Froude, kekasaran permukaan, dan turbulensi arus bebas. Pada umumnya didefinisikan sebagai berikut.

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

Dimana:

C_D = Koefisien *drag*

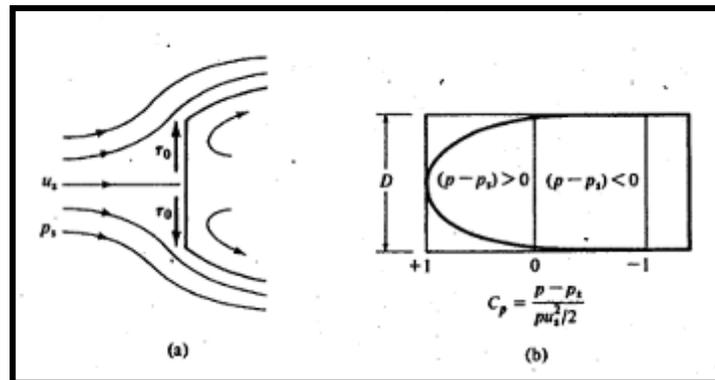
F_D = *Drag force* (N)

ρ = *Density* (kg/m³)

v = Kecepatan *upstream* (m/s)

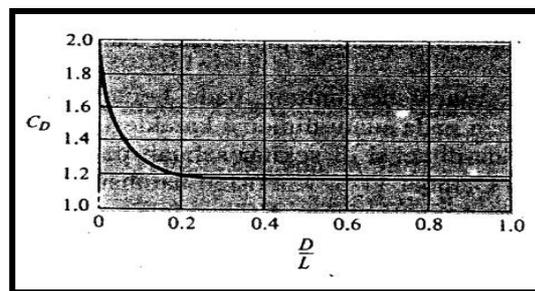
A = Luas frontal (m²)

Gambar 2.5 menunjukkan hambatan tekanan murni dialami oleh aliran yang melewati sebuah pelat rata yang normal terhadap garis arus. Gaya-gaya geseran bekerja dalam arah normal terhadap arus tidak memberikan sumbangan langsung kepada gaya hambatan. Namun gaya ini bisa berpengaruh terhadap pertumbuhan lapisan batas di sepanjang permukaan dan mempengaruhi distribusi tekanan walaupun kecil. Koefisien hambatan untuk hambatan tekanan murni dipengaruhi oleh bentuk permukaan dan angka Reynolds aliran yang didasarkan pada suatu dimensi karakteristik. Pola aliran dan distribusi tekanan untuk aliran dua-dimensi di sekitar sebuah pelat dengan panjang tak terhingga L dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.5. Aliran dua-dimensi melewati sebuah pelat rata yang normal terhadap arus bebas (a) pola aliran dengan gaya geseran normal terhadap arus bebas (b) Distribusi tekanan sesuai dengan pengukuran-pengukuran (sumber : R.M. Olson, 1993).

Koefisien hambatan untuk sebuah pelat yang panjangnya tertentu bergantung pada nisbah D/L , serta Re_D , karena efek-efek bagian ujung. Untuk harga D/L dari 0,4 hingga 1,0 pada $Re_D > 1000$, $C_D \approx 1,16$, yang sedikit lebih besar dibandingkan harga-harga untuk sebuah piringan lingkaran ($C_D = 1,12$) untuk rentang Re_D yang sama gambar 2.6 menunjukkan efek D/L pada C_D untuk pelat persegi yang normal terhadap aliran.



Gambar 2.6. Efek aspek rasio pada koefisien hambatan untuk pelat persegi yang normal terhadap aliran (sumber : R.M. Olson, 1993)

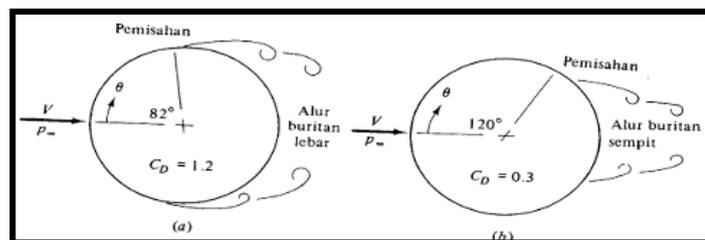
Drag atau hambatan terjadi akibat pemisahan aliran. Teori lapisan batas dapat meramalkan titik pisah, tetapi tidak dapat dengan tepat memperkirakan

distribusi tekanan yang biasanya rendah di daerah pemisahan itu. Perbedaan antara tekanan tinggi di daerah stagnasi di depan dan tekanan rendah di daerah pemisahan di belakang, memberikan kontribusi hambatan yang besar, yang disebut hambatan tekanan. Tegangan geser atau hambatan gesek benda menambah besar hambatan :

$$C_D = C_{D,tekanan} + C_{D,gesekan}$$

Kontribusi relatif hambatan tekanan dan hambatan gesek tergantung pada bentuk benda, terutama tebalnya.(R.M. Olson et.al, 1993)

Pada benda silinder dilalui aliran viskous. Dari gambar 2.7 bagian (a) Aliran berlapis sangat rentan terhadap gradien-merugikan dibelakang silinder, pemisahan terjadi pada $\theta = 82^\circ$, alur ombak butiran yang lebar dan tekanan yang sangat rendah pada daerah berlapis yang terpisah menimbulkan hambatan, $C_D = 1,2$. Pada gambar 2.7 (b) terlihat lapisan-batas lebih tahan bergolak dan pemisahannya tertunda sampai $\theta = 120^\circ$, dan menimbulkan alur buritan yang lebih kecil, tekanan lebih tinggi di bagian belakang, dan hambatan yang 75% lebih rendah, $C_D = 0,5$



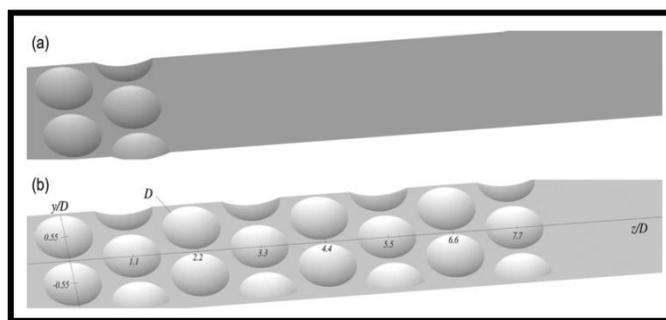
Gambar 2.7. Aliran melalui silinder bulat (a) pemisahan berlapis; (b) pemisahan bergolak (Sumber : Frank M. White)

2.6. Kontrol Pasif

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. 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* seperti pada gambar 2.8 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.

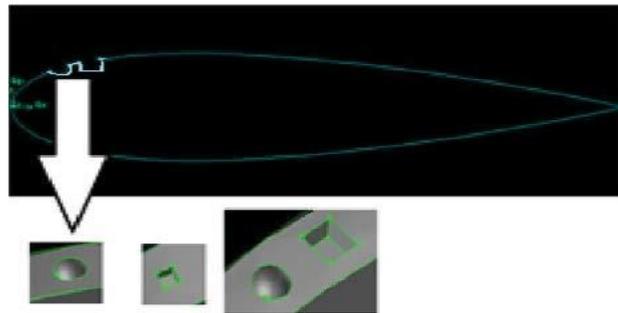
Khususnya ketika beberapa baris *dimple* digunakan vortisitas *streamwise* dengan peningkatan kekuatan ditemukan dalam *dimples* yang meningkatkan pencampuran di lapisan batas. Akibatnya lapisan batas tumbuh lebih tebal melewati *dimple* dan tetap konsisten menebal hingga meninggal wilayah *dimple* dengan 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 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 ber*dimple*.



Gambar 2.8. Geometri plat datar dengan (a) dua baris dimple cekung, (b) 8 baris dimple cekung (Beratlis et.al, 2014)

E. Livya, et.al (2015) melakukan studi secara komputasi dan eksperimen pengaruh *dimple* pada sayap pesawat, menggunakan NACA 0018 airfoil. bentuk *Dimple* seperti pada gambar 2.9 yang digunakan adalah semi-bola dan persegi

yang dipilih untuk analisis; airfoil diuji di bawah kecepatan inlet 30 m/s dan 60 m/s pada sudut serang yang berbeda (5° , 10° , 15° , 20° , dan 25°). Hal ini dilakukan untuk meningkatkan karakteristik aerodinamis dan manuver dari pesawat terbang. Peningkatan ini meliputi pengurangan hambatan dan fenomena *stall*. Airfoil yang mengaplikasikan *dimple* memiliki drag yang relatif kecil dibandingkan airfoil polos. Aplikasi *dimple* di sayap pesawat akan menciptakan turbulensi dengan menciptakan pusaran yang menunda pemisahan lapisan batas sehingga terjadi penurunan *pressure drag* dan juga peningkatan sudut *stall*. Selain itu, Reduksi *wake* mengarah ke pengurangan emisi akustik. Secara keseluruhan studi ini meningkatkan kemampuan manuver pesawat akibat penundaan titik pemisahan aliran di *stall* dan dengan demikian mereduksi drag dengan menerapkan efek *dimple* pada sayap pesawat. *Dimple* meningkatkan efisiensi aerodinamis, yang muara pada peningkatan kinerja pesawat terbang.



Gambar 2.9. Penggunaan *dimple* pada NACA 0018 airfoil.