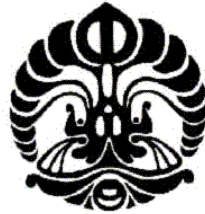


**EFEK PENAMBAHAN DIMPLE UNTUK PENGURANGAN
HAMBATAN AERODINAMIS PADA KENDARAAN MODEL
(*AHMED BODY*)**

SKRIPSI

**AKBAR WICAKSANA
06 06 07 76 55**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPOK
JUNI 2010**

**EFEK PENAMBAHAN DIMPLE UNTUK PENGURANGAN
HAMBATAN AERODINAMIS PADA KENDARAAN MODEL
(*AHMED BODY*)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

**AKBAR WICAKSANA
06 06 07 76 55**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Akbar Wicaksana

NPM : 06 06 07 76 55

Tanda Tangan :

Tanggal : 21 Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Akbar Wicaksana
NPM : 06 06 07 76 55
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul Skripsi : Efek Penambahan Dimple Untuk Pengurangan Hambatan Aerodinamis Kendaraan Model (*Ahmed Body*)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Prof.Dr.Ir. Yanuar, M.sc, M.Eng ()

Penguji : Ir. M.A. Talahatu, M.T ()

Penguji : Ir.Sunaryo, Ph.D ()

Penguji : Ir.Mukti Wibowo ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kesempatan dan kenikmatan yang diberikan kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan akademis dalam meraih gelar Sarjana Teknik pada program studi Teknik Perkapalan, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof.Dr.Ir. Yanuar, M.Sc, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Segenap keluarga besar DTM FTUI yang telah banyak memberikan ilmu dan pengalaman kepada penulis.
3. Seluruh teman-teman khususnya teman-teman angkatan 2006
4. Kedua orang tua dan keluarga penulis

Akhirnya penulis berharap agar skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 21 Juni 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Akbar Wicaksana
NPM : 06 06 07 76 55
Program Studi : Teknik Perkapalan
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Efek Penambahan Dimple Untuk Pengurangan Hambatan Aerodinamis
Pada Kendaraan Model (*Ahmed Body*)**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 21 Juni 2010
Yang menyatakan

(Akbar Wicaksana)

ABSTRAK

Nama : Akbar Wicaksana
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul : Efek Penambahan Dimple Untuk Pengurangan Hambatan Aerodinamis Pada Kendaraan Model (*Ahmed Body*)

Hambatan aerodinamis merupakan kontributor terbesar dalam konsumsi bahan bakar kendaraan darat, khususnya kendaraan komersial seperti bus dan truk yang memiliki geometri *bluff body*. Dimple yaitu cekungan pada bola golf telah lama diketahui dapat mengurangi drag, jika dibandingkan dengan bola golf tanpa dimple.

Penelitian kali ini meneliti efek penambahan dimple pada permukaan atas model kendaraan yang disebut *Ahmed Body*. Variasi posisi dimple pada permukaan kendaraan model dilakukan untuk mengetahui penempatan dimple yang optimal. Pada percobaan kali ini, pengurangan hambatan terbesar yang dapat dicapai yaitu hingga 24%. Pada penempatan yang kurang tepat, dimple justru dapat meningkatkan hambatan hingga 13%. Uji sensitivitas performa dimple terhadap Reynolds number dan dimensi dimple, dilakukan dengan variasi kecepatan dan kedalaman dimple. Sensitivitas dimple digunakan untuk memperkirakan keefektifan dimple pada kendaraan skala sebenarnya.

Kata kunci:

dimple, aerodinamis, kendaraan, Ahmed Body, pengurangan hambatan

ABSTRACT

Name : Akbar Wicaksana
Study Program : Naval Architecture/Marine Engineering
Title : Effect Of Dimple For Aerodynamic Drag Reduction Of A Vehicle Model (*Ahmed Body*)

Aerodynamic drag is a major contributor to the energy consumption of a land vehicle, especially commercial land vehicle such as trucks and busses. Dimples as on golf balls, is known to reduce the aerodynamic drag, compared to golf balls without dimples.

The objective of this paper is to investigate the effect of dimple to a land vehicle model, namely the *Ahmed Body*. Dimple's position is varied to investigate the optimal placement of dimple on the model. In the current experiment, the maximum aerodynamic drag reduction achieved is about 24%. While with an improper placement, the dimples increased drag up to 13%. To investigate the sensitivity of the dimple to Reynolds number and dimple's dimension, the velocity of the vehicle and dimple depth was varied. The dimple's sensitivity test is used to approximate the effectivity of the dimple on a real scale vehicle.

Key words:

Dimple, aerodynamic, vehicle, Ahmed Body, drag reduction

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	iv
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metode Penelitian.....	3
BAB 2. STUDI LITERATUR	5
2.1. Drag Aerodinamis Pada Kendaraan	5
2.1.1. Fenomena <i>Boundary Layer Separation</i>	5
2.1.2. Drag Aerodinamis Pada Kendaraan	8
2.2. Teknik Mengurangi Drag Aerodinamis.....	9
2.2.1. <i>Boundary Layer Separation Control</i>	9
2.2.2. Dimple Sebagai Teknik <i>Boundary Layer Separation Control</i>	12
2.2.3. Aplikasi <i>Flow Control</i> Pada Kendaraan	14
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	17
3.1. Konfigurasi Dimensi Utama Dimple.....	18
3.2. Model Kendaraan	18
3.3. Setup Eksperimen.....	20
3.4. Posisi Dimple Pada Model	24
3.5. Variasi Kecepatan Kendaraan dan Dimensi Dimple	27

3.6. Setup Eksperimen Alternatif	28
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1. Range Hasil Pengukuran Drag	30
4.2. Analisa Perubahan Drag	33
4.2.1. <i>Pressure Drag Reduction</i>	34
4.2.2. <i>Friction Drag</i>	35
4.2.3. Total Drag.....	36
4.3. Sensitivitas Performa Dimple Terhadap Reynolds Number dan Dimensi Dimple	36
4.4. Ringkasan	38
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1. Kesimpulan.....	39
5.2. Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN A	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Profil kecepatan pada <i>boundary layer</i>	5
Gambar 2.2.	Profil kecepatan pada <i>boundary layer</i> dengan $dp/dx < 0$	6
Gambar 2.3	Profil kecepatan pada <i>boundary layer</i> dengan $dp/dx > 0$	6
Gambar 2.4	Perbandingan profil kecepatan pada aliran turbulen dan laminar .	7
Gambar 2.5	<i>Boundary layer separation</i>	7
Gambar 2.6	Konsumsi energi pada kendaraan komersial.....	8
Gambar 2.7	<i>Boundary layer separation</i> pada model kendaraan.....	9
Gambar 2.8	<i>Vane type vortex generator</i>	10
Gambar 2.9	Orientasi vortex pada berbagai konfigurasi <i>vortex generator</i>	11
Gambar 2.10	Permukaan bergelombang sebagai salah satu teknik kontrol aliran	12
Gambar 2.11	Vortex pada dimple	13
Gambar 2.12	Percobaan dimple pada bola golf	14
Gambar 2.13	Ahmed Body	15
Gambar 2.14	<i>Wake</i> pada Ahmed Body	15
Gambar 2.15	Berbagai teknik kontrol aliran pada kendaraan.....	16
Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian.....	17
Gambar 3.2.	Geometri Ahmed Body	19
Gambar 3.3.	Kendaraan Model	20
Gambar 3.4.	Setup Eksperimen	21
Gambar 3.5.	Jarak kendaraan model dari kendaraan penarik	22
Gambar 3.6.	Dudukan/track kendaraan model.....	23
Gambar 3.7.	Percobaan Pujals dengan menggunakan silinder sebagai teknik kontrol aliran	25
Gambar 3.8.	Wind Tunnel	28
Gambar 3.9.	Fan yang digunakan	29
Gambar 4.1.	Range nilai drag	31
Gambar 4.2.	Range nilai drag	32
Gambar 4.3.	<i>Drag reduction</i>	33
Gambar 4.4.	Ilustrasi analisa hasil percobaan.....	35

Gambar 4.5. Hasil percobaan sensitivitas dimple terhadap Re dan dimensi dimple.....37



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Ringkasan analisa hasil percobaan 38



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam beberapa waktu terakhir, dan untuk waktu ke depan, 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.

Semua benda yang bergerak pada medium fluida akan mengalami gaya yang arahnya berlawanan dengan arah gerakan, yaitu apa yang disebut gaya drag. Pada kendaraan-kendaraan baik itu di darat, laut, maupun udara, gaya drag ini merupakan beban yang harus diatasi oleh mesin. Pada jaman modern dimana transportasi menjadi tulang punggung perekonomian, gaya drag apabila dikonversi ke satuan penggunaan bahan bakar, memiliki nilai yang sangat besar. Gaya drag dapat dibagi menjadi dua sesuai fluida yang mengakitkannya yaitu drag aerodinamis dan drag hidrodinamis.

Pada alat transportasi darat, drag aerodinamis merupakan aspek yang sangat penting, karena memiliki nilai yang cukup dominan dalam konsumsi bahan bakar. Kontribusi drag aerodinamis pada konsumsi bahan bakar kendaraan darat yaitu jenis mobil, diperkirakan hingga mencapai nilai 60%. Besarnya drag aerodinamis ini terutama sangat relevan pada jenis-jenis kendaraan yang dipakai untuk kebutuhan komersial seperti truk, bus dll. Hal ini dikarenakan kendaraan-kendaraan seperti ini dimaksudkan untuk memiliki payload yang besar, yaitu sebisa mungkin memanfaatkan semua ruangan yang ada seefisien mungkin. Hal tersebut seringkali berarti kendaraan-kendaraan tersebut terpaksa mengorbankan fitur bodi yang streamline. Dimana di sisi lain juga ,yaitu dari segi manufaktur, pembuatan fitur bodi yang streamline tentunya menuntut biaya pembuatan yang lebih tinggi. Drag aerodinamis kendaraan jenis ini didominasi oleh apa yang disebut pressure drag, yang timbul akibat fitur bodi yang tidak streamline. Hal-hal

tersebut mendorong para perancang kendaraan dan peneliti untuk menemukan teknik-teknik untuk memodifikasi aliran, sehingga pengurangan drag dapat dicapai tanpa melakukan design ulang pada bentuk kendaraan yang ada.

Pada kendaraan air, gaya drag yang dialami adalah penjumlahan dari drag hidrodinamis dan drag aerodinamis. Gaya drag aerodinamis yang dialami besarnya sangat kecil relatif terhadap gaya hidrodinamis. Sehingga penelitian-penelitian drag reduction pada kapal dilakukan untuk mengurangi drag hidrodinamis pada lambung kapal. Namun menurut Collu et al pada Cranfield University, UK, untuk kapal-kapal yang sangat cepat yaitu mendekati 50 knots ke atas, gaya aerodinamis besarnya mendekati gaya hidrodinamis, khususnya untuk kapal-kapal kecil dibawah 10 ton. Kapal-kapal kecil yang masuk kategori kapal sangat cepat ini, terutama memiliki potensi aplikasi misalnya pada bidang militer. Hal ini berarti teknik-teknik yang dipakai untuk mengurangi drag aerodinamis dengan memodifikasi aliran pada kendaraan darat yang telah disebutkan sebelumnya, memiliki potensi juga untuk diterapkan pada kendaraan laut.

Berbagai teknik modifikasi aliran atau lebih dikenal dengan teknik control aliran, saat ini sudah banyak digunakan untuk beragam jenis aplikasi, misalnya di dunia penerbangan, automotif, perkapalan dll. Dalam aplikasinya, teknik-teknik kontrol ini memiliki karakter-karakter tersendiri, dan pemilihannya biasanya banyak dipengaruhi oleh faktor ekonomi. Salah satu teknik kontrol yang telah dikenal adalah modifikasi berupa cekungan pada permukaan benda yang dilewati fluida, yang disebut dimple. Teknik ini cukup menarik karena sederhana, sehingga relatif murah. Fungsi dimple sebagai pengontrol aliran salah satunya dapat dilihat pada bola golf. Tanpa cekungan-cekungannya (dimple), bola golf akan memiliki koefisien drag yang lebih besar, pada batas-batas Reynolds number tertentu.

1.2. Rumusan Masalah

Masalah yang coba ditelaah pada kesempatan kali ini adalah masalah pengurangan drag aerodinamis pada kendaraan. Dengan merujuk pada penelitian-penelitian sebelumnya mengenai efek dimple, melalui percobaan akan dilihat

apakah dimple dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif penyelesaian masalah aerodinamika kendaraan tersebut

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah melihat pengaruh dimple pada nilai drag aerodinamis kendaraan model sehingga dapat ditarik kesimpulan bagaimana mekanisme kerja atau bagaimana dimple mempengaruhi aliran pada kendaraan model. Diharapkan melalui kesimpulan yang didapatkan dari percobaan ini, dapat diperkirakan suatu konfigurasi dimple yang optimal untuk mengurangi drag aerodinamis.

1.4. Batasan Masalah

- Percobaan dilakukan untuk meneliti efek dimple terhadap sifat aerodinamika kendaraan model, dan tidak membahas pengaruh modifikasi dimple terhadap struktural kendaraan.
- Model kendaraan yang digunakan adalah model generik kendaraan darat yang disebut sebagai Ahmed Body.

1.5. Metode Penelitian

Penelitian diawali dengan studi literatur penelitian-penelitian terdahulu melalui dimple. Studi literature juga dilakukan untuk mengetahui penelitian-penelitian terdahulu mengenai drag reduction pada kendaraan darat. Setelah itu dilakukan percobaan dengan suatu kendaraan model yang diukur nilai drag aerodinamisnya. Untuk meneliti mekanisme kerja dimple yaitu bagaimana dimple mempengaruhi aliran di sekitarnya, dilakukan variasi letak dimple dan kedalaman dimple. Variasi kecepatan juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana dimple berfungsi pada Reynolds number yang berbeda.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metodologi, dan sistematika penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini berisi tentang dasar teori dan rumus yang digunakan dalam pengujian dan penulisan skripsi.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang prosedur penelitian dan setup eksperimen.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil-hasil percobaan dan analisis hasil percobaan.

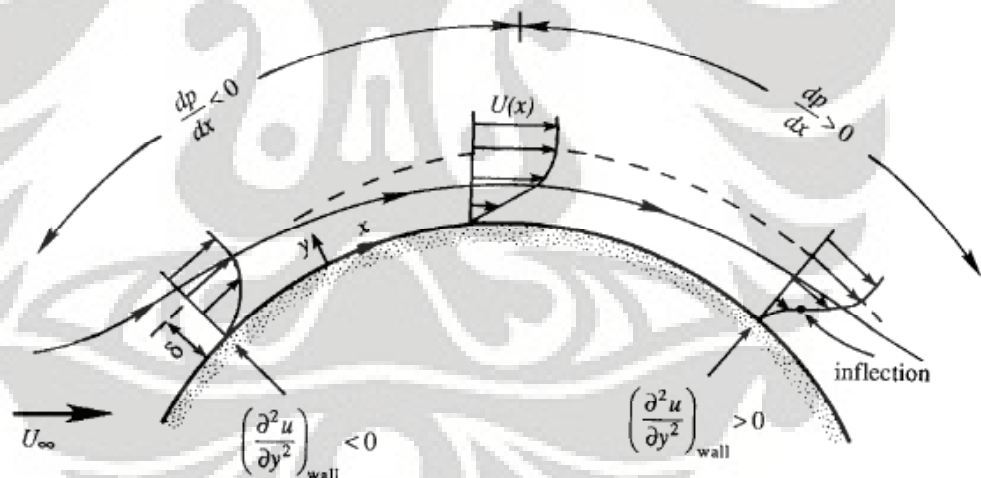
BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

BAB 2 STUDI LITERATUR

2.1 Drag Aerodinamis Pada Kendaraan

2.1.1 Fenomena *Boundary Layer Separation*

Boundary layer separation (pemisahan lapisan batas) terjadi saat aliran dengan momentum rendah melewati suatu daerah dengan *adverse pressure gradient*. Adverse pressure gradient adalah daerah dengan gradien tekanan tinggi yang salah satunya adalah diakibatkan oleh geometri benda yang dilewati oleh aliran. Geometri benda seperti terlihat pada gambar yang dicirikan dengan adanya konvergensi dan divergensi aliran akan menyebabkan perubahan kecepatan aliran. Kecepatan yang berubah tersebut selanjutnya akan menimbulkan perubahan tekanan atau *pressure gradient*. Aliran yang memiliki momentum rendah ini akan kekurangan momentum untuk melawan *gradient* tekanan yang naik tersebut, sehingga arah aliran akan berbalik dan selanjutnya “terlepas”.



Gambar 2.1 Profil kecepatan pada *boundary layer*

(Sumber: Kundu, 2007)

Terjadinya *flow separation* akibat adanya *adverse pressure gradient* dapat dijelaskan dengan terlebih dahulu melihat karakteristik aliran pada daerah *boundary layer*. Pada daerah *boundary layer* aliran memiliki persamaan :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

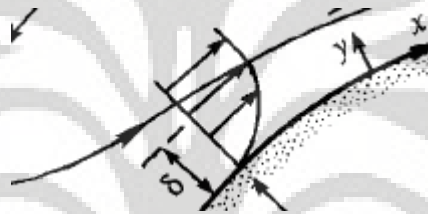
yang mana pada daerah *wall* atau tepat di bagian permukaan benda, menjadi

$$\mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)_{wall} = \frac{\partial p}{\partial x}$$

Pada saat $dp/dx < 0$

$$\left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)_{wall} < 0$$

yang secara geometri menunjuk kepada profil kecepatan *boundary layer* seperti terlihat pada gambar, yaitu mulai dari permukaan (*wall*) sampai batas *boundary layer* (δ) $\partial u/\partial y$ secara halus berkurang dari nilai $\partial u/\partial y$ yang cukup besar pada daerah paling dekat dengan permukaan.



Gambar 2.2 Profil kecepatan pada *boundary layer* dengan $dp/dx < 0$

(Sumber: Kundu, 2007)

Sebaliknya pada saat $dp/dx > 0$

$$\left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)_{wall} > 0$$



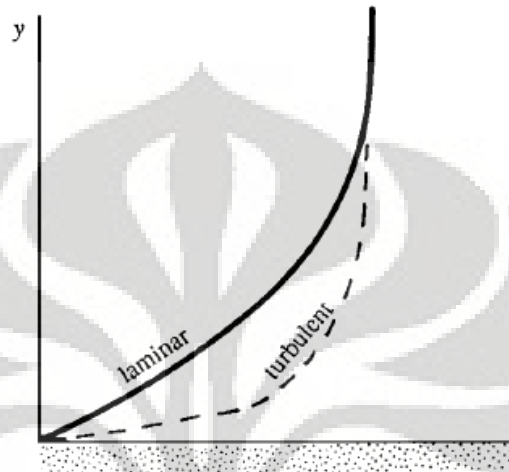
Gambar 2.3 Profil kecepatan pada *boundary layer* dengan $dp/dx > 0$

(Sumber: Kundu, 2007)

, dimana dapat disimpulkan bahwa terdapat perubahan kecenderungan arah aliran pada daerah antara batas *boundary layer* dengan permukaan. Titik tempat terjadinya perubahan kecenderungan arah aliran ini, disebut sebagai *point of*

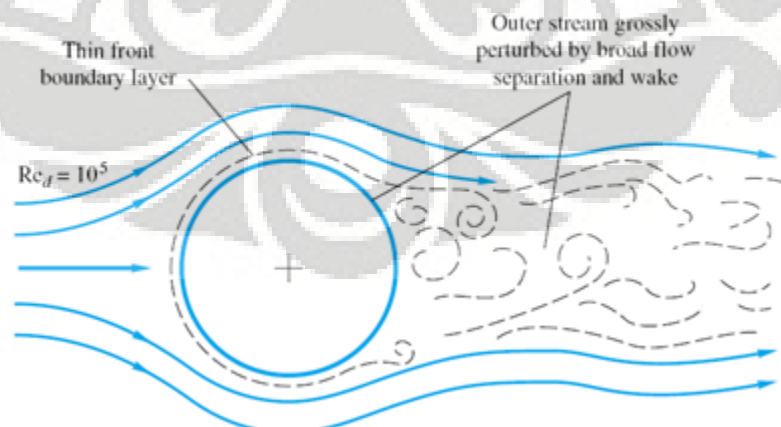
inflection. Terjadinya *flow separation* adalah akibat dari perubahan arah aliran tersebut, yang mengakibatkan apa yang disebut sebagai *backflow*.

Pada aliran turbulen, profil kecepatan aliran memiliki profil yang lebih “penuh” dan energinya lebih besar. Hal ini mengakibatkan pada aliran yang lebih turbulen, aliran tersebut lebih “tahan” terhadap terjadinya *flow separation*.



Gambar 2.4 Perbandingan profil kecepatan pada aliran turbulen dan laminar
(Sumber: Kundu, 2007)

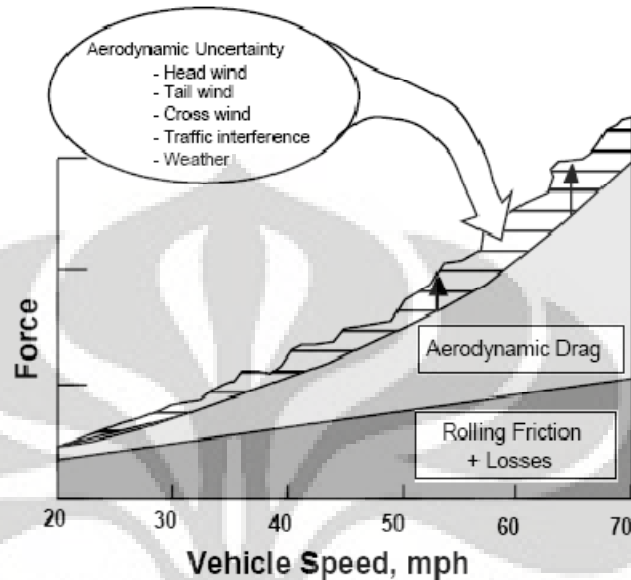
Pada banyak aplikasi, *boundary layer separation* diasosiasikan dengan *loss performance*, sehingga sampai saat ini masih banyak penelitian yang dilakukan dalam usaha untuk mengontrol *boundary layer separation* ini. *Separated flow* ini dicirikan dengan sebuah daerah *recirculating flow* yang bertekanan rendah.



Gambar 2.5 *Boundary layer separation*
(Sumber: White, 2003)

2.1.2 Drag Aerodinamis Pada Kendaraan

Beberapa faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar dari kendaraan darat adalah efisiensi mesin, tahanan pada roda dan drag aerodinamis.



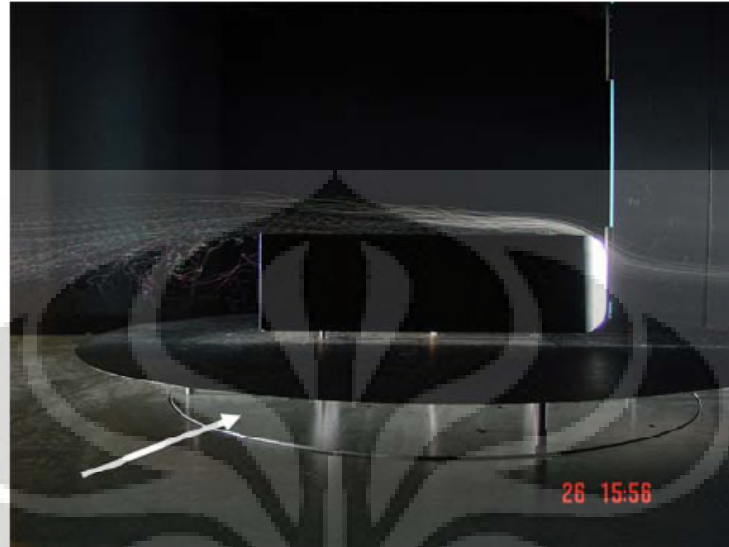
Gambar 2.6 Konsumsi energi pada kendaraan komersial

(Sumber: Wood, 2003)

Drag aerodinamis ,terutama pada kendaraan komersial seperti truk dan bus, memberikan kontribusi yang besar dalam mengkonsumsi bahan bakar. Hal ini disebabkan karena pada kendaraan komersial, diusahakan sebisa mungkin untuk menambah *payload* atau muatan. Sehingga pada kendaraan jenis ini, secara umum fitur bodinya tidak streamline, yaitu yang disebut sebagai *bluff body*.

Pada bukunya, Hucho memberikan gambaran bahwa drag aerodinamis dapat berkontribusi sampai dengan 60% dalam konsumsi bahan bakar. Masih menurut Hucho, kendaraan modern saat ini drag aerodinamis terbesar adalah akibat drag pada bagian belakang kendaraan. Dari penelitian Ahmed, drag yang dikontribusikan oleh bagian depan kendaraan hanya berkisar antara 4.2% sampai 7.3%. Pada bagian belakang kendaraan terjadi apa yang telah dibahas sebelumnya yaitu *flow separation*. *Flow separation* merupakan kontributor terbesar drag pada bagian belakang kendaraan, disamping fenomena-fenomena aliran lain yang juga terjadi pada bagian belakang kendaraan yang dapat mengakibatkan drag. Menurut Lienhart, lokasi terjadinya pemisahan aliran ini menentukan besarnya daerah

separated flow, sehingga sangat menentukan gaya drag. Penelitian akhir-akhir ini difokuskan pada teknik-teknik *flow control* untuk memodifikasi terjadinya *flow separation*, ataupun untuk memodifikasi daerah *wake*.



Gambar 2.7 *Boundary layer separation* pada model kendaraan

2.2. Teknik Mengurangi Drag Aerodinamis

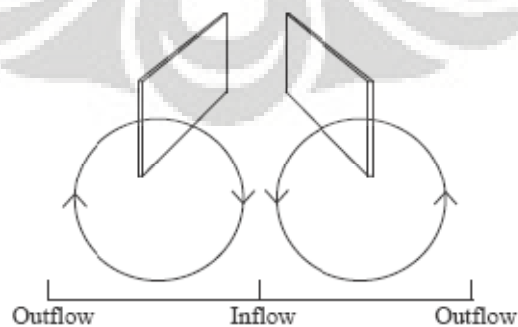
2.2.1 *Boundary Layer Separation Control*

Boundary layer separation control atau control pemisahan lapisan batas merupakan suatu bentuk dari *flow control* yang ditujukan untuk mengurangi efek dari *boundary layer separation* ini. Hal yang dituju biasanya dikenal dengan istilah-istilah seperti “*boundary layer separation delay*” atau “*boundary layer separation suppression*”, yaitu menunda terjadinya atau untuk “menekan” terjadinya *boundary layer separation*.

Salah satu teknik *boundary layer separation control*, adalah untuk menambah momentum pada aliran. Daerah yang menjadi target utama adalah daerah dengan momentum paling rendah yaitu daerah dekat dinding (*near-wall region*) yaitu daerah pada lapisan batas itu sendiri. Untuk menambah momentum ini dapat dicapai dengan metode aktif atau pasif. Metode aktif maksudnya yaitu penambahan momentum dicapai dengan menggunakan suatu *device* aktif sehingga membutuhkan suatu energi tambahan. Pada metode pasif, modifikasi aliran dicapai tanpa membutuhkan energi tambahan, yang biasanya dicapai dengan suatu *device* pasif yang dimaksudkan untuk “mengganggu” aliran.

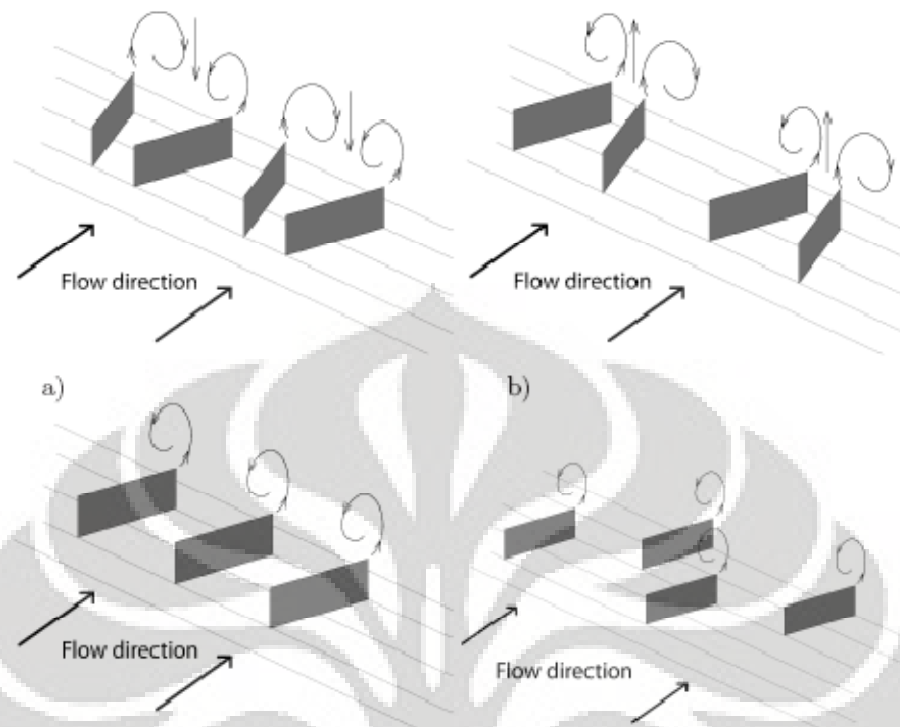
Pada banyak aplikasi, metode pasif sangat menarik dari segi ekonomis. Hal ini disebabkan oleh mudahnya dalam pengimplementasian, biaya produksi yang rendah, dan juga biaya maintenance yang rendah. Namun kelemahan metode pasif ini adalah apabila implementasinya tidak tepat, terdapat kecenderungan menambah drag, karena seperti telah disebutkan di atas bahwa pada dasarnya metode pasif memanfaatkan suatu “gangguan” terhadap aliran. Sehingga dimensi dan penempatan device yang digunakan akan sangat krusial.

Salah satu metode pasif yang umum digunakan adalah Vortex Generator. Vortex generator menghasilkan suatu aliran vortex yang orientasi putarannya yaitu *spanwise* atau *transversal*. Aliran berputar ini memaksa terjadinya pergerakan aliran momentum rendah menjauh dari permukaan dan sekaligus mendorong aliran momentum lebih tinggi untuk menggantikan aliran momentum rendah tersebut. Terlihat dari sifat-sifatnya vortex berfungsi sebagai medium untuk terjadinya proses *mixing*.



Gambar 2.8 *Vane type vortex generator*

(Sumber: van Stilfried, 2003)

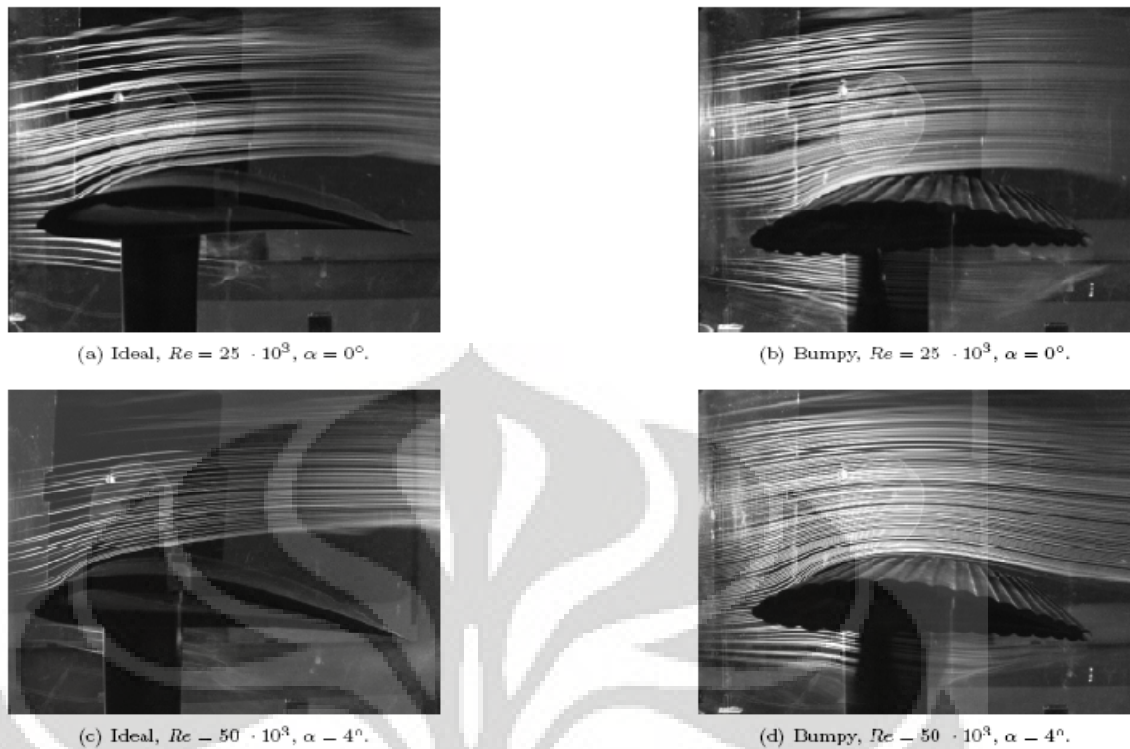


Gambar 2.9 Orientasi vortex pada berbagai konfigurasi *vortex generator*

(Sumber: van Stilfried, 2003)

Konfigurasi vortex generator juga menghasilkan jenis vortex yang berbeda-beda. Seperti ditunjukkan pada gambar yaitu arah putaran vortex akibat masing-masing konfigurasi vortex generator. Parameter yang menentukan efektif atau tidaknya suatu vortex generator terutama adalah tinggi, lebar, jarak satu sama lainnya, dan terutama adalah jarak dari tempat terjadinya flow separation itu sendiri.

Pada kasus Reynolds number yang rendah, dikenal istilah *turbulator*. Turbulator bekerja untuk mempercepat transisi dari aliran laminar ke aliran turbulens, sehingga aliran lebih “tahan” terhadap *flow separation*. Teknik yang dapat digunakan seperti menambah kekasaran permukaan, memberi tekstur bergelombang pada permukaan, memberi suatu bentuk vibrasi, bahkan dapat dengan menambahkan suatu *acoustic field* yaitu memanfaatkan getaran akustik..



Gambar 2.10 Permukaan bergelombang sebagai salah satu teknik kontrol aliran pada aliran Reynolds number rendah

(Sumber: Santhanakrishnan, 2005)

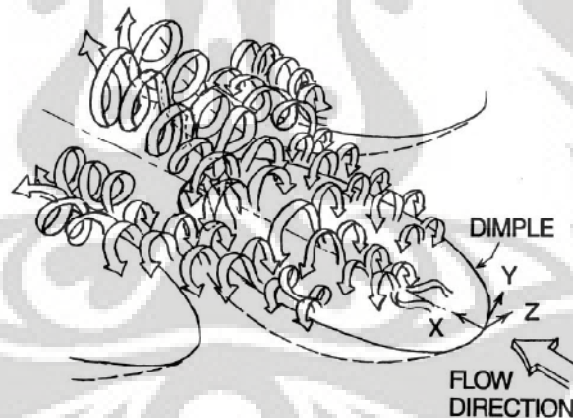
2.2.2. Dimple Sebagai Alat *Boundary Layer Separation Control*

Sejarah ditemukannya dimple atau cekungan pada permukaan sebagai teknik kontrol aliran, diawali oleh fenomena yang terjadi pada bola golf. Pada mulanya bola golf yang dipakai tidak memiliki tekstur dimple seperti yang dipakai saat ini. Namun diperhatikan bahwa bola golf yang sudah lama dipakai yang memiliki tekstur permukaan yang tidak lagi rata (dengan penyok-penyok kecil), justru memiliki lintasan yang lebih jauh setelah dipukul. Sejak saat itu bola golf dibuat memiliki tekstur permukaan berupa dimple. Namun saat itu belum diketahui alasan mengapa bola dengan dimple memiliki lintasan yang lebih jauh.

Sejak penelitian oleh Bearman tahun 1973, telah dibuktikan secara ilmiah melalui percobaan bahwa bola golf dengan tekstur permukaan dimple, memiliki drag aerodinamis yang lebih kecil dari bola dengan permukaan rata. Penelitian akhir-akhir ini, salah satunya oleh Ligrani dengan menggunakan teknik visualisasi aliran dan alat pengukuran yang terkini, menunjukkan bahwa indentasi permukaan berupa dimple ini menghasilkan vortex-vortex kecil pada cekungannya secara

periodik. Yang juga penting dari percobaan Ligrani adalah bahwa aliran *downstream* dari dimple ini, memiliki peningkatan dalam karakteristik turbulens. Ligrani melaporkan bahwa terjadi kenaikan Reynolds normal stress dan kenaikan sifat-sifat yang berkaitan dengan proses *mixing*. Oleh karena sifat-sifat ini lah sehingga disimpulkan bahwa dimple memiliki potensi yang baik dalam memodifikasi aliran untuk aplikasi *heat transfer*.

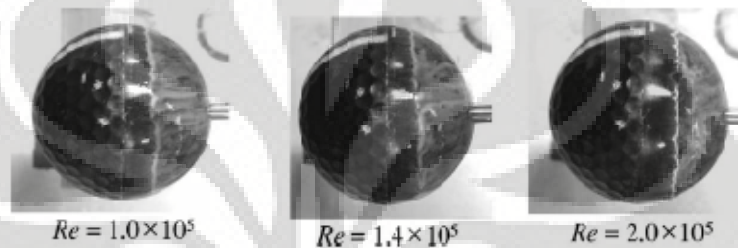
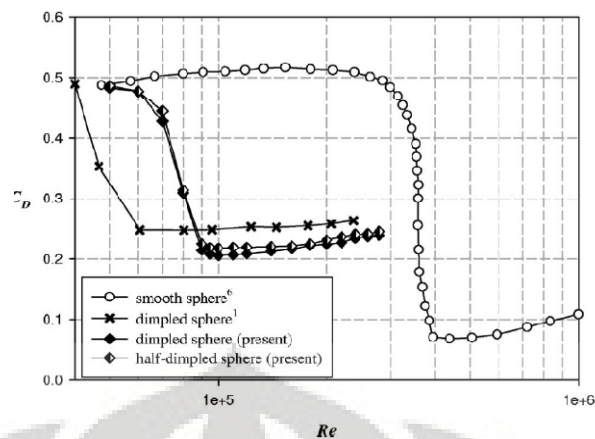
Struktur yang dihasilkan pada dimple ini sangat bergantung pada tebal *boundary layer* aliran, diameter dimple. Contohnya yaitu pada penelitian oleh Choi, dengan konfigurasi dimensi dimple yang berbeda dengan yang dipakai pada penelitian Ligrani, melaporkan bahwa tidak terdapat vortex dihasilkan sebagaimana pada penelitian Ligrani. Dari perbandingan kedua penelitian oleh Ligrani dan Choi, penulis menyimpulkan bahwa struktur vortex yang terbentuk pada dimple, erat kaitannya dengan rasio antara diameter dimple dengan tebal *boundary layer*. Setelah didapatkan struktur vortex pada dimple, selanjutnya kekuatan vortex yang terbentuk sangat bergantung pada kedalaman dimple, seperti juga dilaporkan oleh Ligrani.



Gambar 2.11 Vortex pada dimple

(Sumber: Ligrani, 2001)

Mekanisme kerja dimple untuk meningkatkan turbulens aliran ini dapat dilihat juga pada penelitian oleh Choi, dimana dilakukan percobaan pada bola golf. Seperti terlihat dari grafik hasil percobaan Choi, pada Reynolds number rendah, dimple mempercepat transisi aliran ke aliran turbulens.



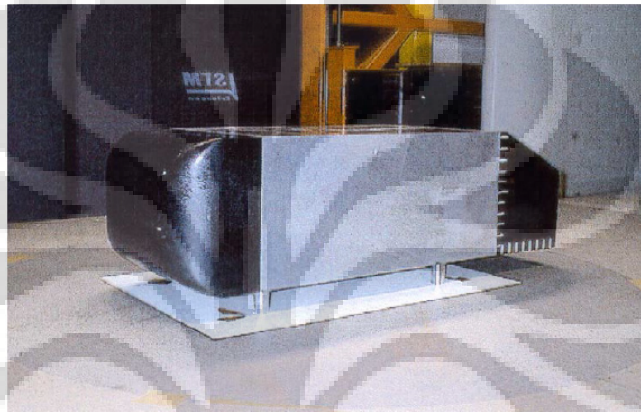
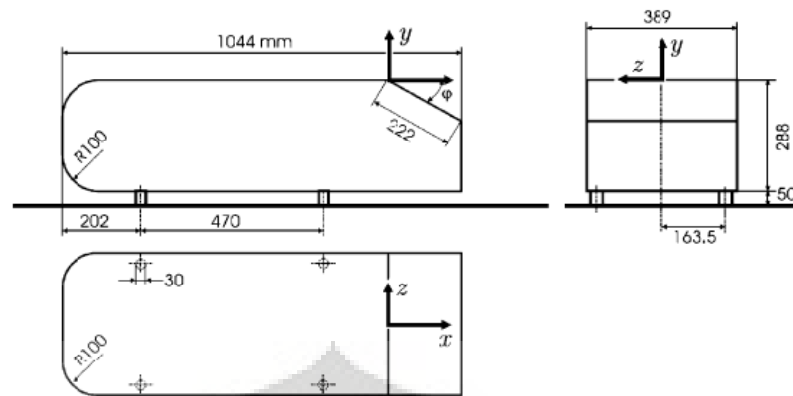
Gambar 2.12 Percobaan dimple pada bola golf

(Sumber: Choi, 2006)

Jika dibandingkan dengan teknik pasif lain seperti vortex generator, dimple memiliki keuntungan karena bentuknya yang berupa cekungan ke dalam, sehingga *drag penalty* nya relatif tidak besar.

2.2.3 Aplikasi *Flow Control* Pada Kendaraan

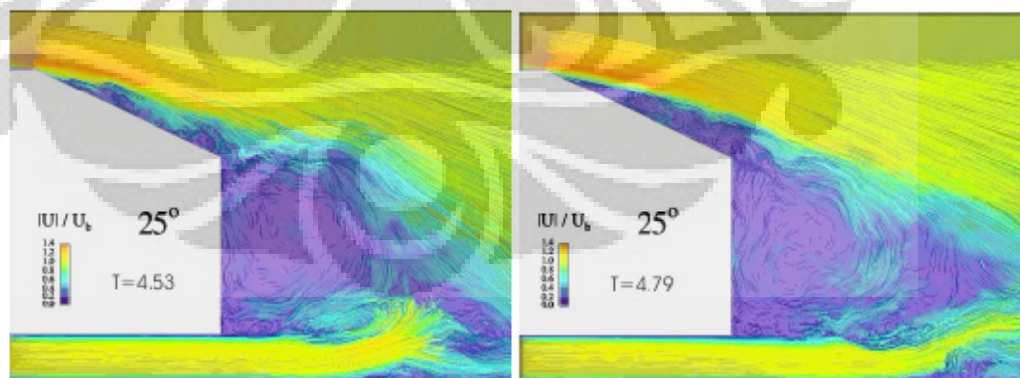
Beberapa usaha telah dilakukan untuk memodifikasi aliran pada kendaraan untuk mengurangi drag aerodinamis. Geometri kendaraan pada umumnya adalah sangat kompleks, sehingga dalam penelitian-penelitian sejenis akhir-akhir ini, sering dipakai suatu model penyederhanaan kendaraan yang dikenal sebagai Ahmed Body, yang dipakai pertama kali dalam penelitian oleh Ahmed pada tahun 1984.



Gambar 2.13 Ahmed Body

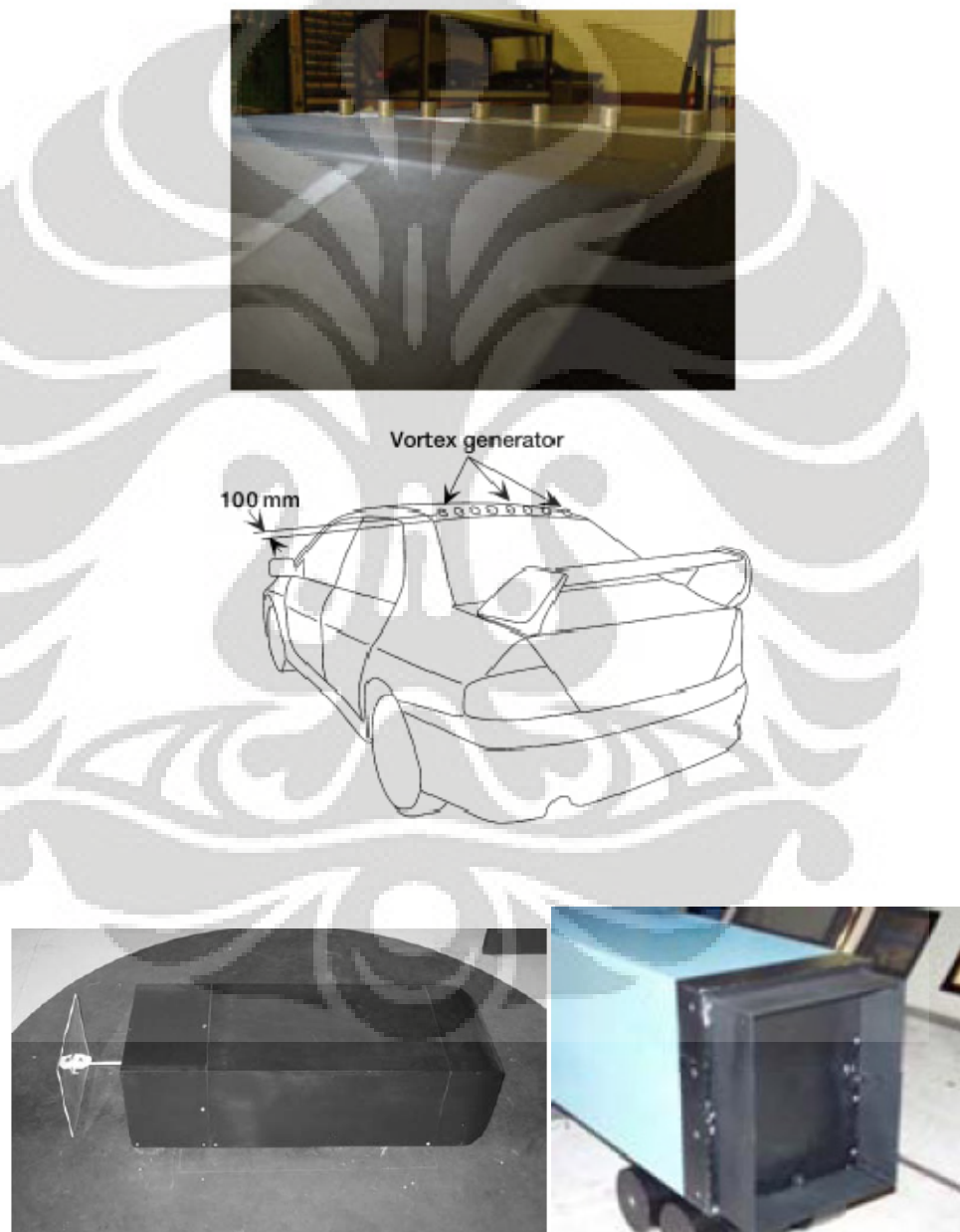
(Sumber: Pujals, 2010)

Ahmed Body ini dirancang sedemikian rupa sehingga penelitian dapat difokuskan pada *flow separation* dan *separated flow* pada bagian belakang kendaraan .



Gambar 2.14 Wake pada Ahmed Body

Penelitian yang telah dilakukan telah memberikan hasil-hasil yang cukup positif dalam mengurangi efek *separated flow* pada bagian belakang kendaraan. Beberapa teknik yang digunakan meminjam dari metode-metode yang sudah ada sebelumnya, seperti teknik-teknik yang digunakan pada sayap pesawat, contohnya vortex generator. Seperti terlihat pada gambar beberapa pendekatan difokuskan untuk memodifikasi terjadinya *flow separation*, sedangkan ada juga yang memfokuskan pada modifikasi daerah *wake* itu sendiri.



Gambar 2.15 Berbagai teknik kontrol aliran pada kendaraan

(Sumber: Pujals, Koike,)

BAB 3

METODE PENELITIAN

Percobaan dilakukan untuk mengetahui bagaimana efek dimple dalam mempengaruhi drag aerodinamis dari model. Percobaan dilakukan dengan melakukan variasi letak dimple pada model, variasi kecepatan, dan konfigurasi dimensi dimple yaitu kedalaman, sedangkan diameter dimple konstan pada nilai tertentu sesuai dengan rasionya dengan *boundary layer*.

Variasi pertama yang dilakukan pada percobaan adalah variasi letak dimple pada kendaraan model. Hal ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana dimple mempengaruhi aliran di sekitar dimple tersebut, dan bagaimana selanjutnya efek local tersebut mempengaruhi drag aerodinamis model secara keseluruhan.

Pada tahap akhir penelitian, uji sensitivitas performa dimple terhadap nilai Reynolds number dan terhadap dimensi dimple. Variasi ini dilakukan untuk mengetahui apakah dimple akan memiliki pengaruh yang signifikan pada kendaraan skala sebenarnya, yaitu dimana Reynolds number berkali lipat besarnya sesuai skala kendaraan, dan dimensi dimple juga berkali lipat menurut skala yang sama.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.1 Konfigurasi Dimensi Utama Dimple

Seperti telah dibahas pada bab sebelumnya, penelitian-penelitian telah menunjukkan bahwa parameter kedalaman dan diameter erat kaitannya dengan struktur aliran yang terjadi pada dimple. Pada percobaan kali ini struktur aliran yang ingin dicapai adalah struktur berupa vortex-vortex seperti yang didapat pada percobaan oleh Ligrani. Untuk itu pada kesempatan kali ini penulis mengambil konfigurasi dimple dengan rasio-rasio diameter dimple dan kedalaman dimple mendekati rasio yang digunakan pada percobaan oleh Ligrani.

Rasio pertama yaitu tebal boundary layer dengan diameter dimple, berada pada range 0.25 – 1. Pada percobaan kali ini kan digunakan rasio 0.5. Setelah didapat nilai diameter dimple yang sesuai, selanjutnya rasio antara kedalaman dimple dengan diameter dimple berada pada range 0.1 – 0.3 Sehingga jelas, faktor penentu yang harus dicari terlebih dahulu adalah tebal boundary layer pada permukaan kendaraan model. Tebal boundary layer untuk turbulent boundary layer, didapat melalui rumus pada buku Boundary Layer Theory oleh Schlichting :

$$\frac{\delta U_{\infty}}{\nu} = 0.14 \frac{Re_x}{\ln Re_x} G(\ln Re_x)$$

, dimana :

δ = tebal boundary layer

U_{∞} = kecepatan udara bebas (freestream)

ν = kinematic viscosity

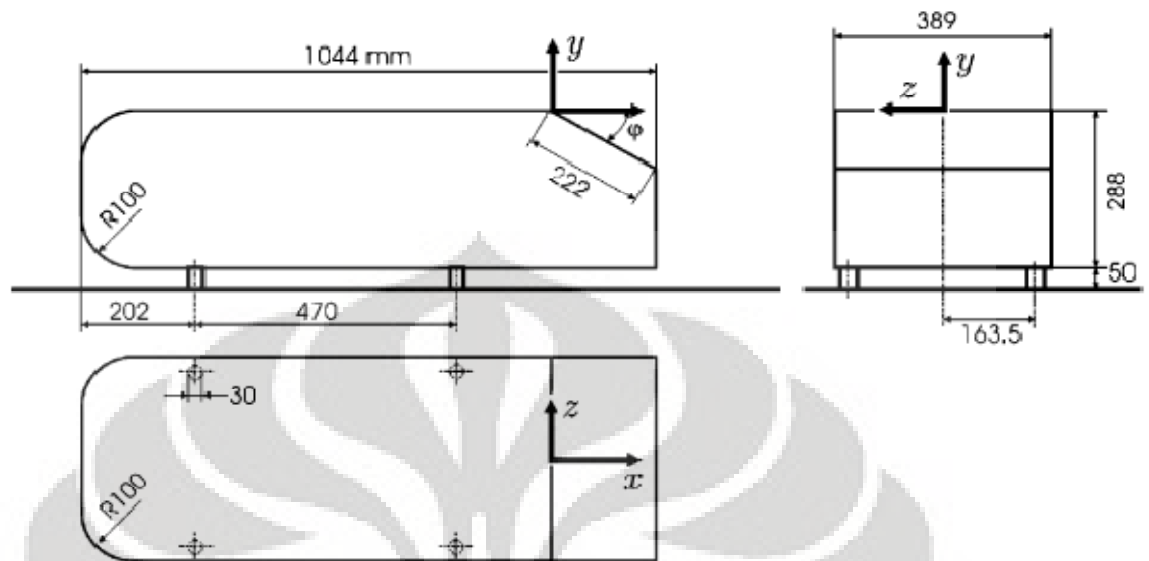
Re_x = Reynolds number terhadap posisi sumbu x pada model

Untuk range $10^5 < Re_x < 10^6$, $G \approx 1.5$, sehingga dapat dianggap konstan untuk nilai Reynolds number yang akan dipakai pada percobaan kali ini.

3.2 Model Kendaraan

Model kendaraan yang digunakan, seperti telah dikemukakan sebelumnya adalah menggunakan model kendaraan generik yaitu yang disebut Ahmed Body. Sebagai acuan digunakan dimensi yang dipakai pada percobaan oleh Pujals, dengan skala 0.5. Skala 0.5 dari model yang digunakan Pujals digunakan dengan alasan untuk memberi kemudahan dalam percobaan, dan pengurangan biaya untuk

pembuatan model. Model yang digunakan terbuat dari kayu, yang permukaannya telah diusahakan sehalus mungkin.



Gambar 3.2 Geometri Ahmed Body

(Sumber: Pujals, 2010)





Gambar 3.3 Kendaraan Model

3.3 Setup Eksperimen

Eksperimen ditujukan untuk mendapatkan suatu perkiraan koefisien drag dengan melakukan simulasi perjalanan kendaraan pada suatu lintasan. Gaya aerodinamis yang terukur pada alat ukur pull-meter akan direkam dengan kamera video. Selanjutnya koefisien drag akan diperoleh melalui rumus

$$F_d = \frac{1}{2} \rho V^2 C_d A$$

,dimana

F_d = Gaya drag yang terukur di pull-meter

ρ = massa jenis udara

v = kecepatan tempuh

C_d = koefisien drag

A = proyeksi bidang luas bagian depan model kendaraan



Gambar 3.4 Setup Eksperimen

Untuk semakin mendekati kondisi perjalanan kendaraan yang sebenarnya, posisi kendaraan model harus ditempatkan dimana gangguan aliran oleh kendaraan penarik minimal, yaitu sejauh mungkin dari kendaraan penarik. Namun akan sangat tidak praktis untuk menempatkan kendaraan model terlalu jauh dari kendaraan penarik, karena konstruksinya akan lebih sulit dibuat dan lebih berpotensi membahayakan jika ada benda-benda atau orang yang berada di sekitar pada saat pengambilan data.

Untuk itu pada kesempatan kali ini, dilakukan suatu simulasi sederhana dengan bantuan computer (CFD), menggunakan software Solidworks Flow

Simulation, untuk memberi gambaran jarak yang cukup untuk menempatkan kendaraan model dari kendaraan penarik.



Gambar 3.5 Jarak kendaraan model dari kendaraan penarik

Dari hasil simulasi yang dilakukan didapatkan bahwa jarak yang ideal untuk menempatkan model kendaraan adalah +/- 150 cm dari kendaraan penarik. Kriteria yang digunakan adalah pada jarak tersebut arah serta besar nilai kecepatan aliran mendekati kondisi *freestream*. Namun, untuk alasan yang telah dikemukakan sebelumnya yaitu kemudahan konstruksi dan safety pada saat pengambilan data, maka pada kesempatan kali ini dipakai jarak dari samping kendaraan yaitu : 75 cm, yang merupakan jarak yang cukup ideal menurut hasil simulasi.

Untuk menjaga agar didapat kesalahan seminimal mungkin , dalam pengambilan data terdapat beberapa hal utama yang perlu diperhatikan. Hal-hal utama yang harus dijaga tersebut adalah : 1) Posisi dudukan dan track kendaraan model, 2) Lintasan yang dipakai, 3) Cara pengoperasian kendaraan penarik, dimana :

1) Dudukan dan track kendaraan model diusahakan agar :

- Tidak memiliki kemiringan terhadap lintasan.
- Mencengkeram erat pada kendaraan penarik.



Gambar 3.6 Dudukan/track kendaraan model

2) Lintasan yang dipakai diusahakan agar :

- Tidak bergelombang atau berlubang-lubang.
- Sama tinggi atau tidak terdapat kemiringan yang besar/signifikan, dimana jika kemiringan tersebut akan sangat mempengaruhi pengukuran.

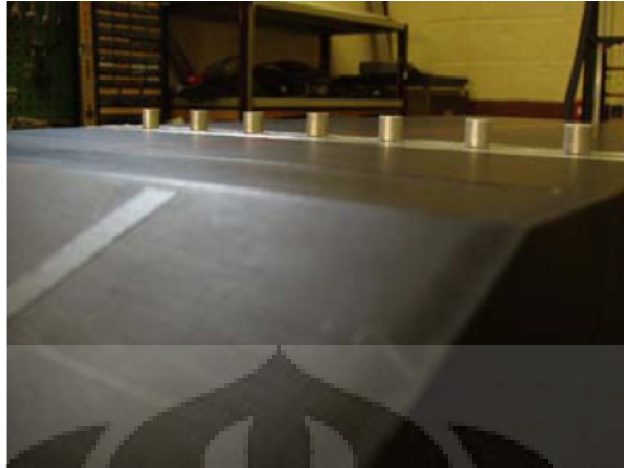
- Memiliki lintasan yang lurus dan panjang yang cukup untuk mencapai kecepatan tertentu, dan untuk bertahan pada kecepatan tersebut selama sejumlah waktu yang dibutuhkan.
- Lintasan yang dipakai dalam setiap pengambilan data harus sama. Arah pengambilan data dalam lintasan tersebut juga harus sama (misal : Utara-Selatan , tidak dapat dibalik Selatan-Utara), hal ini untuk menghindari perbedaan arah tiupan angin maupun perbedaan kondisi lintasan yang lain (jika ada kemiringan dll).

3) Pengoperasian kendaraan :

- Pengambilan data diambil ketika kecepatan telah mencapai angka tertentu, kemudian angka tersebut dijaga konstan.
- Data yang diambil (yang dianggap valid) adalah ketika pada saat pengambilan data tidak ada percepatan ataupun perlambatan yang signifikan, yang diakibatkan oleh : pedal gas yang tidak dijaga konstan, penggunaan rem, dan pembelokan (perubahan arah, terutama yang tiba-tiba).
- Pada tiap kali percobaan dihitung waktu yang dibutuhkan untuk melintasi lintasan tersebut.

3.4 Posisi Dimple Pada Model

Variasi yang dilakukan yaitu jarak relatif antara letak dimple dengan daerah terjadinya flow separation, yaitu daerah di bagian belakang model dengan adverse pressure gradient. Metode dengan variasi letak pada model ini, seperti dilakukan oleh Pujals pada percobaan sejenis, namun Pujals menggunakan suatu device menyerupai silinder, yang diletakkan di permukaan atas model kendaraan yang serupa dengan percobaan kali ini (Ahmed Body).



Gambar 3.7 Percobaan Pujals dengan menggunakan silinder sebagai teknik kontrol aliran

(Sumber: Pujals, 2010)

Sebagai acuan, percobaan pertama-tama dilakukan untuk mensimulasikan kendaraan model dengan permukaan rata/mulus atau tanpa dimple. Percobaan dilakukan dengan dimple ditutup secara rapat, sehingga menyerupai permukaan rata.

Perlu digarisbawahi bahwa penutup yang digunakan perlu diusahakan memiliki kekasaran permukaan yang menyerupai model. Juga pada setiap percobaan penutup ini tetap dipasang (hanya dipindahkan) sehingga diasumsikan menjaga konstan nilai koefisien gesek model, pada tiap percobaan.



Setelah didapat suatu nilai drag dari model dengan permukaan rata sebagai acuan, dilakukan percobaan dengan beberapa variasi posisi dimple sebagai berikut :

- 1) Posisi 1 : yaitu dimple pada posisi 45 cm dari bagian terdepan model. Posisi dimple ini adalah dimana jarak dimple relatif terhadap daerah flow separation, memiliki nilai paling kecil. Yaitu penempatan dimple hampir bersebelahan dengan daerah flow separation.



- 2) Posisi 2 : yaitu dimple pada posisi 35 cm dari bagian terdepan model.



- 3) Posisi 3 : yaitu dimple pada posisi 25 cm dari bagian terdepan model.



3.5 Variasi Kecepatan Kendaraan dan Dimensi Dimple

Pada kendaraan skala sebenarnya, besar kendaraan adalah $>10x$ dari model yang digunakan pada percobaan kali ini, sehingga Reynolds numbernya juga adalah minimal $>10x$ dari percobaan kali ini. Untuk memperkirakan apakah dimple akan memiliki pengaruh yang signifikan maka perlu dilakukan percobaan yang mensimulasikan keadaan tersebut. Seperti telah diketahui bahwa struktur aliran diatur terutama oleh geometri benda dan Reynolds number. Sehingga pada percobaan kali ini, akan dilihat sensitivitas performa dimple pada perubahan yang terjadi pada Reynolds number dan dimensi dimple.

Dari hasil penelitian sebelumnya oleh Ligrani, telah dilakukan percobaan dengan variasi kedalaman dimple untuk melihat bagaimana vortex yang dihasilkan. Pada percobaan tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin dalam dimple, maka semakin kuat pula vortex yang dihasilkan.

Di sisi lain dengan semakin tingginya Reynolds number aliran akan semakin “tahan” terhadap terjadinya *boundary layer separation*. Sehingga pada Reynolds number yang tinggi, pengaruh dimple dapat saja tidak lagi signifikan.

3.6 Setup Eksperimen Alternatif

Terdapat beberapa alternatif untuk melakukan percobaan namun tidak dipilih karena kendala yang ditimbulkan :

1. Wind Tunnel

Percobaan menggunakan wind tunnel memiliki keunggulan yaitu ketelitian lebih tinggi dan variasi parameter yang terjadi juga akan lebih kecil. Wind tunnel yang tersedia pada laboratorium mekanika fluida Departemen Teknik mesin memiliki ukuran yang sedang/kecil.



Gambar 3.8 Wind Tunnel

Ukuran wind tunnel ini mengharuskan model kendaraan yang dibuat memiliki skala maksimal 0.25 dari yang dipakai sekarang. Hal ini akan sangat menyulitkan, terutama karena ukuran dimple yang dipakai akan sangat kecil, dimana dalam pembuatannya akan menjadi sangat sulit.

2. Menggunakan fan untuk mendorong model kendaraan

Percobaan juga dapat dilakukan dilakukan di luar ruangan, dengan meletakkan model kendaraan di depan sebuah fan. Namun dari percobaan yang telah dilakukan, range nilai drag yang didapat terlalu besar, yaitu nilai drag yang dicapai kurang konsisten.



Gambar 3.9 Fan yang digunakan



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini akan dibahas hasil dan analisa dari pengukuran besaran drag aerodinamis pada kendaraan model. Pada bagian pertama, akan dibahas hasil pengukuran drag aerodinamis dengan variasi posisi dimple pada kendaraan model, yang mana diharapkan dapat menjelaskan bagaimana mekanisme kerja vortex yang dihasilkan dimple dalam mempengaruhi aliran pada daerah sekitar dimple tersebut, yaitu pada permukaan atas kendaraan model. Selanjutnya akan dibahas sensitivitas performa dimple terhadap perubahan Reynolds number dan geometri dimple.

Data-data hasil pengukuran disajikan dalam bentuk tabel dan grafik pada bagian lampiran. Kolom pada tabel menunjukkan urutan percobaan, dimana pada setiap variasi dilakukan beberapa kali percobaan yang semuanya direkam dengan video kamera. Baris menunjukkan variasi pada setiap kali pengukuran, yaitu semua angka yang ditunjukkan oleh alat ukur yang terekam. Dari variasi nilai pada baris ini, kemudian diambil rata-rata yang merupakan nilai yang mewakili besar drag aerodinamis selama satu lintasan tersebut. Perlu diingat kembali bahwa ada tiap kali percobaan, lintasan yang dipakai adalah persis sama dengan arah melintas yang sama juga (misalnya pada setiap percobaan arahnya utara-selatan, tidak dapat dibalik selatan-utara). Perlu dicatat pula bahwa nilai pada baris, merupakan fluktuasi nilai yang terekam dari alat ukur, dan bukan merupakan fungsi waktu.

4.1. Range Hasil Pengukuran Drag

Pada grafik range/rentang gaya drag yang terukur dari hasil percobaan, dapat terlihat bahwa besar range untuk dimple pada masing – masing posisi dimple adalah sebagai berikut :

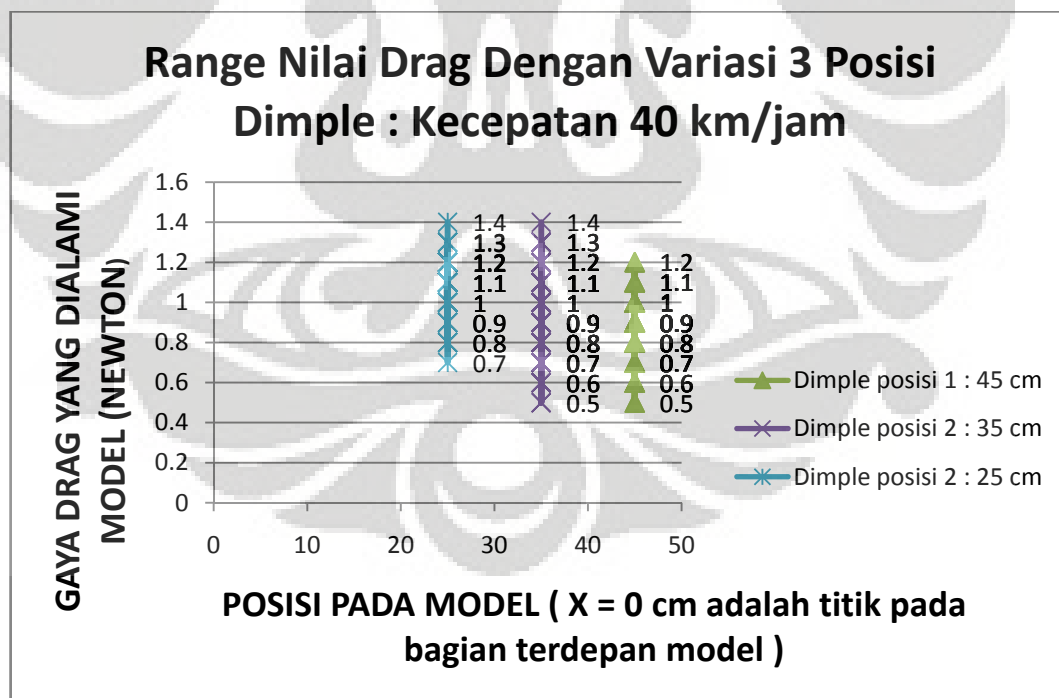
Untuk kecepatan 40 km/jam, $Re\ 3.33 \times 10^5$:

- 1) posisi 1 adalah $(1.2 - 0.5) = 0.7$
- 2) posisi 2 adalah $(1.4 - 0.5) = 0.9$
- 3) posisi 3 adalah $(1.4 - 0.7) = 0.7$

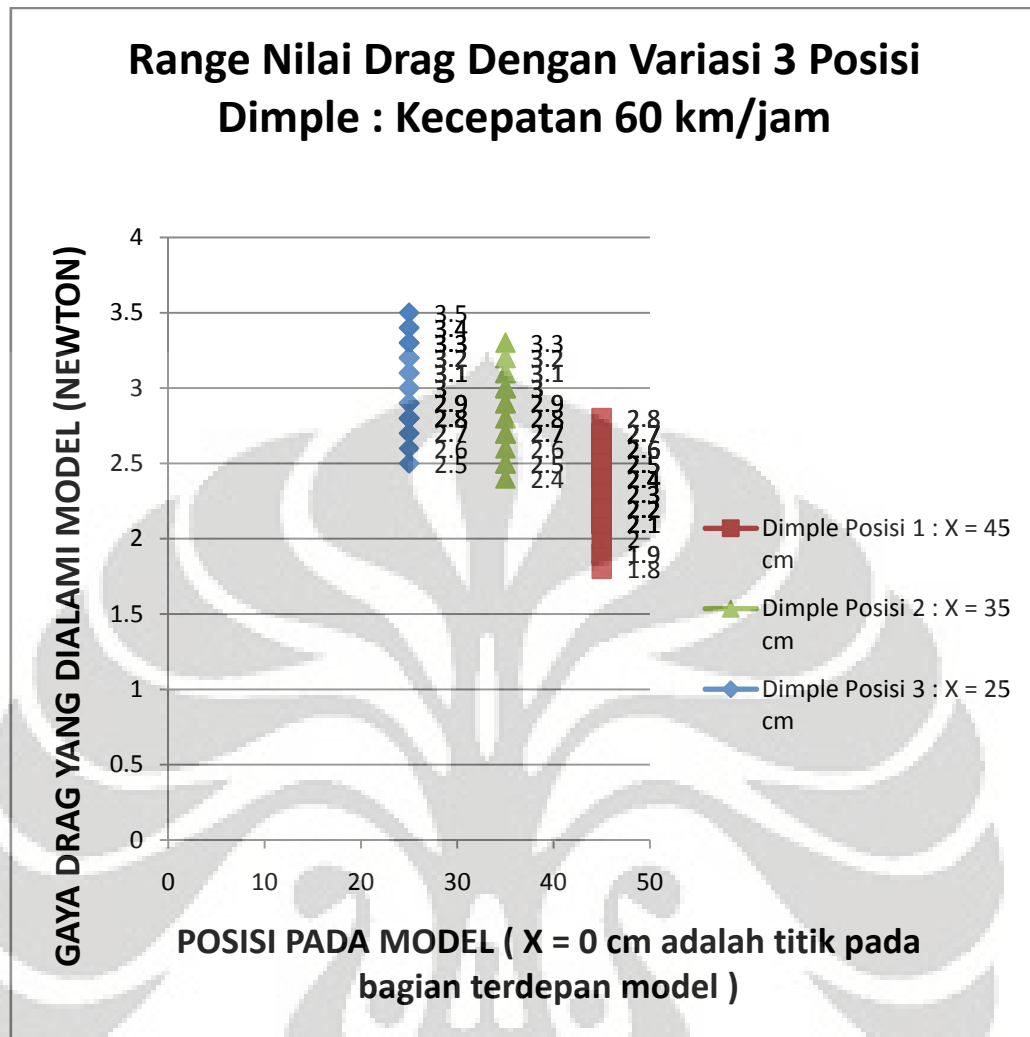
Sedangkan untuk kecepatan 60 km/jam, $Re = 5 \times 10^5$:

- 1) posisi 1 adalah $(2.8 - 1.8) = 1$
- 2) posisi 1 adalah $(3.3 - 2.4) = 0.9$
- 3) posisi 1 adalah $(3.5 - 2.5) = 1$

Rentang yang ideal pada adalah ketika rentang dari ketiga data pada tiap kecepatan tersebut sangat kecil (mendekati nol), dimana artinya data yang terukur menunjuk pada suatu nilai absolute drag pada keadaan/kecepatan tertentu. Pada percobaan kali ini yang mendekati keadaan sebenarnya dimana faktor-faktor lingkungan yang berubah-ubah maka rentangnya akan cukup besar. Namun dari ketiga range yang terukur dapat dilihat bahwa range data pada 3 variasi dimple adalah cukup konsisten. Hal ini berarti faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi pengukuran cukup konsisten pada saat pengukuran. Kekonsistenan faktor lingkungan ini didapat karena pengukuran dilakukan secara marathon, yaitu dalam waktu yang berdekatan, sehingga faktor-faktor lingkungan (arah angin, kecepatan angin, suhu lingkungan, tekanan lingkungan) juga tidak banyak berubah selama pengambilan data.



Gambar 4.1. Range nilai drag



Gambar 4.2. Range nilai drag

4.2. Analisa Perubahan Drag

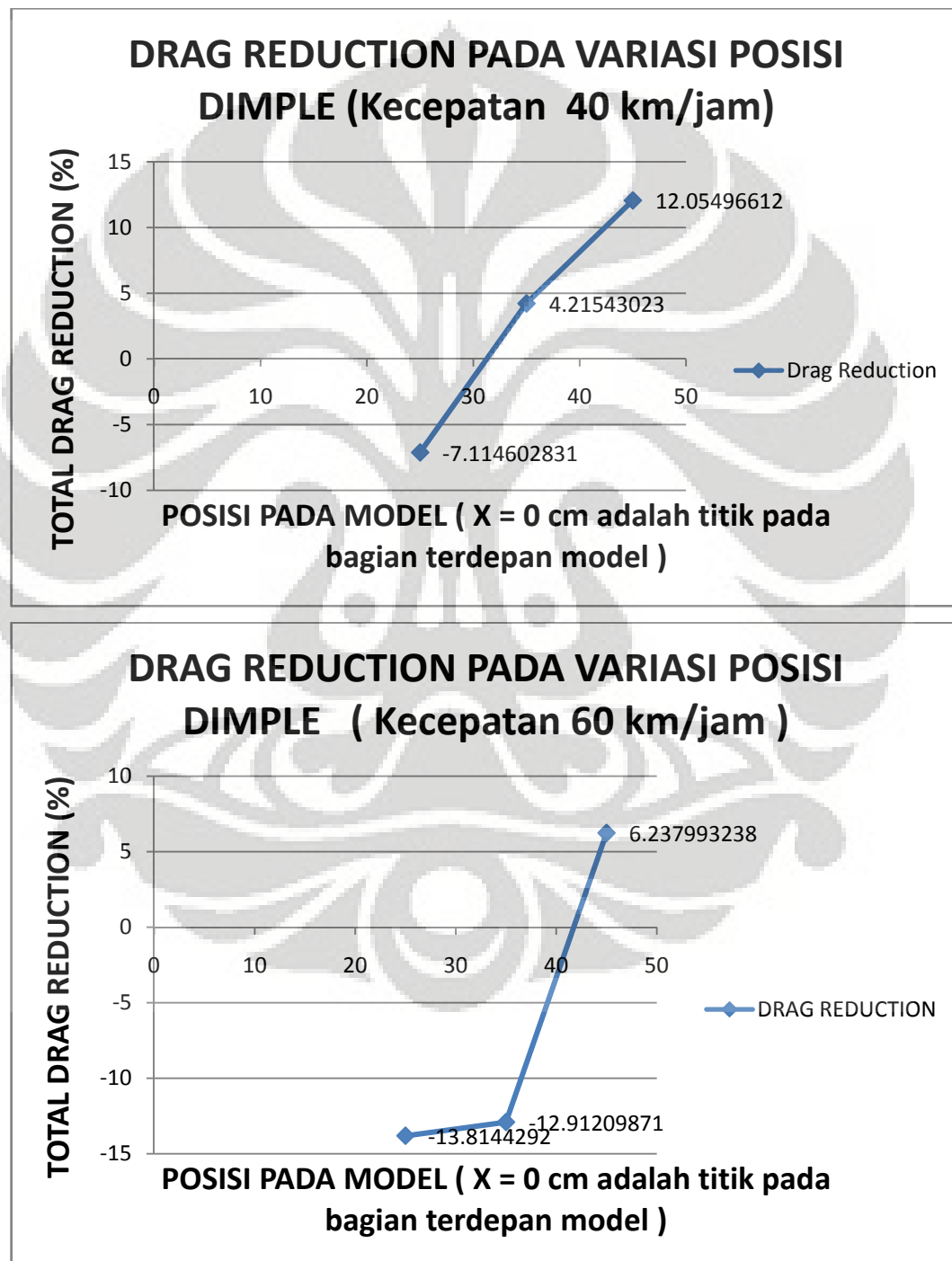
Data yang terukur dalam tiap kali percobaan kemudian diambil nilai rata-ratanya yaitu C_d yang mewakili nilai drag dalam percobaan tersebut. Nilai rata-rata drag dalam tiap percobaan dengan masing-masing konfigurasi dimple kemudian dibandingkan dengan nilai drag model tanpa dimple, dengan rumus :

$$\Delta C_d = \left(2 \cdot \frac{C_d^0 - C_d}{C_d^0 + C_d} \right) \times 100\%$$

, dimana C_d^0 adalah koefisien drag pada model tanpa dimple.

Dari percobaan yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa efek modifikasi dimple pada gaya drag yang dialami model. Pada titik tertentu dimple berpotensi memiliki efek untuk mengurangi drag sedangkan di titik lain

berpotensi menambah drag. Kecenderungan yang terjadi adalah semakin dekatnya posisi dimple dengan daerah separation, maka efeknya dalam mengurangi drag akan semakin baik. Dimana daerah terjadinya separation adalah daerah dengan kemiringan pada bagian belakang model, yaitu tempat dengan *adverse pressure gradient*. Sebaliknya pada titik terjauh dari daerah separation, dimple justru menambah drag pada model.



Gambar 4.3. Drag reduction

Pada percobaan pada kecepatan 40 km/jam , drag reduction terbesar yang dapat dicapai adalah -11.3%, sedangkan pada titik terjauh dari titik separation terjadi penambahan drag sampai dengan 7.3%. Sedangkan pada kecepatan 60 km/jam drag reduction terbesar dicapai adalah -6%, dan pada titik terjauh terjadi penambahan drag sampai dengan 14%.

Kecenderungan seperti yang terlihat dalam grafik hasil percobaan di atas dapat dijelaskan dengan terlebih dahulu melakukan interpretasi terhadap perubahan yang terjadi pada masing-masing komponen drag, yaitu pressure drag dan friction drag. Perlu digarisbawahi bahwa dalam jenis geometri seperti yang dipakai pada kendaraan model, yaitu yang disebut sebagai *bluff body*, *pressure drag* jauh lebih dominan daripada *friction drag*.

4.2.1. *Pressure Drag Reduction*

Tujuan utama penambahan dimple adalah untuk mengurangi *pressure drag* (*pressure drag reduction*) dengan cara melakukan penekanan terhadap efek pemisahan lapisan batas (*suppression of boundary layer separation*). Sehingga besar nilai *pressure drag reduction* yang didapat menjadi tolak ukur keefektifan dimple. Dalam percobaan kali ini menggunakan Ahmed Body, analisa difokuskan pada *boundary layer separation* yang terjadi pada bagian belakang kendaraan.

Ditinjau dari komponen pressure drag-nya, dapat disimpulkan bahwa semakin jauh dimple dari daerah *flow separation*, maka *pressure drag reduction* yang dapat dicapai adalah semakin kecil :

- ❖ D (jarak dimple dari daerah flow separation) \uparrow , maka *pressure drag reduction* \downarrow
- ❖ D (jarak dimple dari daerah flow separation) \downarrow , maka *pressure drag reduction* \uparrow

Hal ini dapat terjadi karena semakin jauh dari daerah *flow separation*, maka semakin jauh pula jarak yang harus ditempuh vortex-vortex yang dihasilkan oleh dimple, sehingga energinya akan lebih banyak terdisipasi oleh gesekan dengan fluida di sekitarnya. Hal ini mengakibatkan ketika sampai pada daerah *flow separation*, vortex-vortex ini tidak lagi memiliki energi yang cukup besar untuk “melawan” terjadinya flow separation. Sehingga kesimpulannya semakin jauh

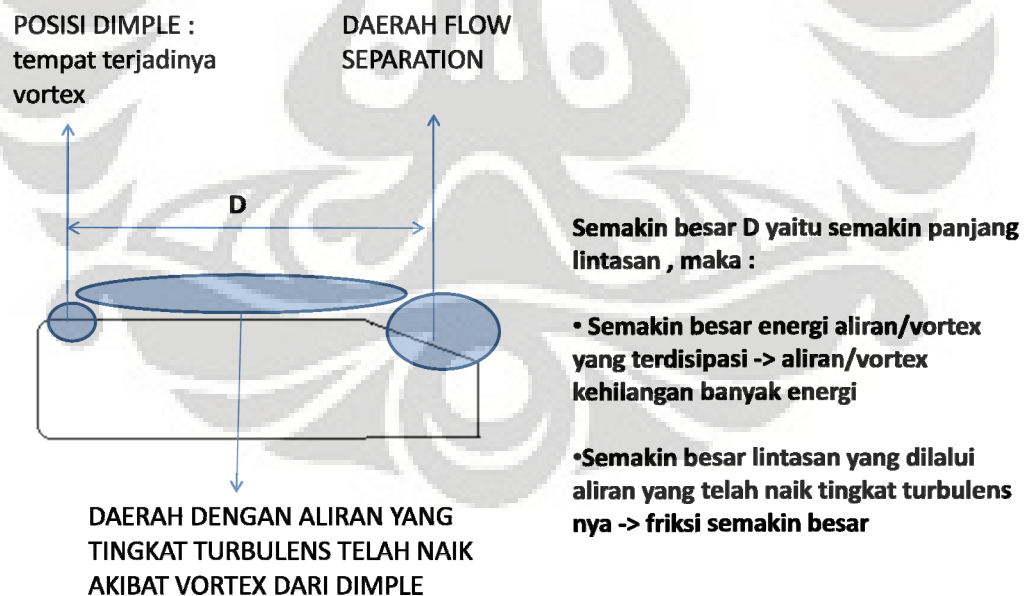
letak dimple, maka energi vortex yang dihasilkan , justru banyak terbang untuk melawan efek viskos.

4.2.2 Friction Drag

Sedangkan ditinjau dari komponen *friction drag*-nya, dapat disimpulkan bahwa semakin jauh dimple dari daerah *flow separation*, maka *friction drag* yang terjadi adalah semakin besar :

- ❖ D (jarak dimple dari daerah flow separation) \uparrow , maka friction drag \uparrow
- ❖ D (jarak dimple dari daerah flow separation) \downarrow , maka friction drag \downarrow

Hal ini dapat terjadi karena seperti telah dibahas bahwa pada penelitian-penelitian terdahulu dimple menambah turbulensi pada aliran. Seperti telah diketahui semakin tinggi tingkat turbulensi aliran, maka friksi yang terjadi akan semakin besar. Jika jarak dimple semakin jauh ke tengah model, artinya aliran dengan tingkat turbulens yang lebih tinggi ini akan melewati lintasan yang lebih panjang daripada jika dimple diletakkan dibelakang model, yaitu luas bidang geseknya semakin besar.



Gambar 4.4. Ilustrasi analisa hasil percobaan

4.2.3. Total Drag

Kombinasi dari perubahan yang terjadi pada kedua komponen drag di atas yaitu pressure drag dan friction drag akibat penambahan dimple dapat disimpulkan sebagai berikut :

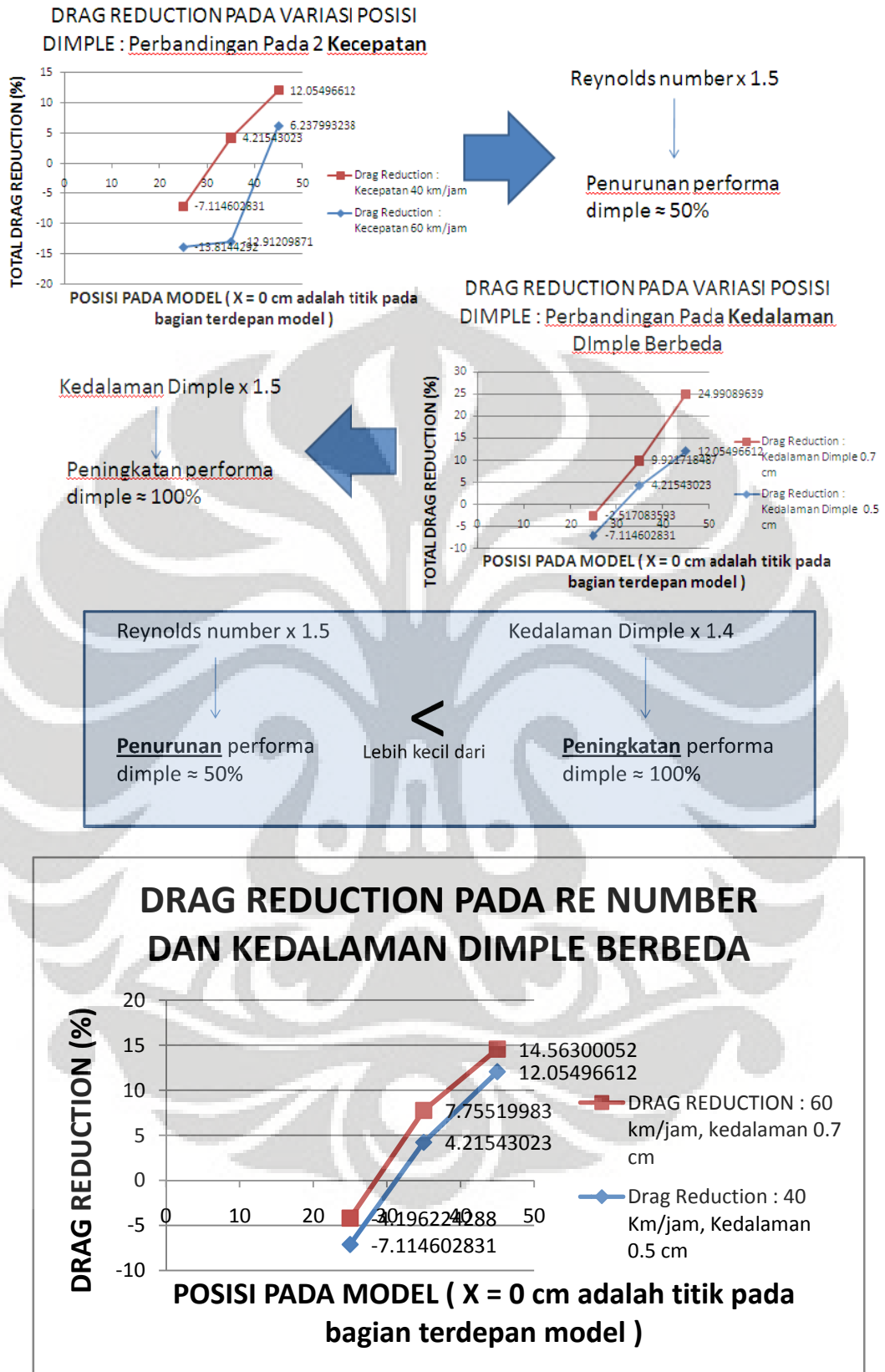
- ❖ $D \uparrow$, maka ((pressure drag reduction \downarrow) + (friction drag \uparrow))
- ❖ $D \downarrow$, maka ((pressure drag reduction \uparrow) + (friction drag \downarrow))

4.3 Sensitivitas Performa Dimple Terhadap Reynolds Number dan Dimensi Dimple

Dari hasil percobaan, seperti terlihat pada grafik, didapat bahwa performa dimple memiliki sensitivitas lebih tinggi terhadap perubahan dimensi dimple daripada perubahan Reynolds number. Sehingga dapat disimpulkan :

- ❖ Dimple memiliki potensi efektif juga pada kendaraan skala sebenarnya, namun sampai batas kecepatan tertentu (pada kasus kali ini yaitu sampai 60 km/jam).

Untuk mendukung poin ini, percobaan dilakukan sekali lagi pada mode lain yaitu secara serempak dilakukan variasi Reynolds number dan dimensi dimple yang berbeda.



Gambar 4.5. Hasil percobaan sensitivitas dimple terhadap Re dan dimensi dimple

4.4 Ringkasan

Secara ringkas, pengaruh dari masing-masing variabel pada drag yang dialami model, dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.1. Ringkasan analisa hasil percobaan

	PRESSURE DRAG REDUCTION	FRICITION DRAG	TOTAL DRAG
JARAK DIMPLE DARI DAERAH FLOW SEPARATION ↑	↓, karena energi yang terdisipasi ↑	↑, karena lintasan gesek/ luas bidang gesek ↑	↑
KECEPATAN (Re Number) ↑	↓, karena ketahanan aliran terhadap <i>flow separation</i> ↑	↑, karena aliran lebih turbulens dan besar profil kecepatan ↑	↑
KEDALAMAN DIMPLE ↑	↑, karena kekuatan vortex ↑	↑, karena kekuatan vortex ↑	↓

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

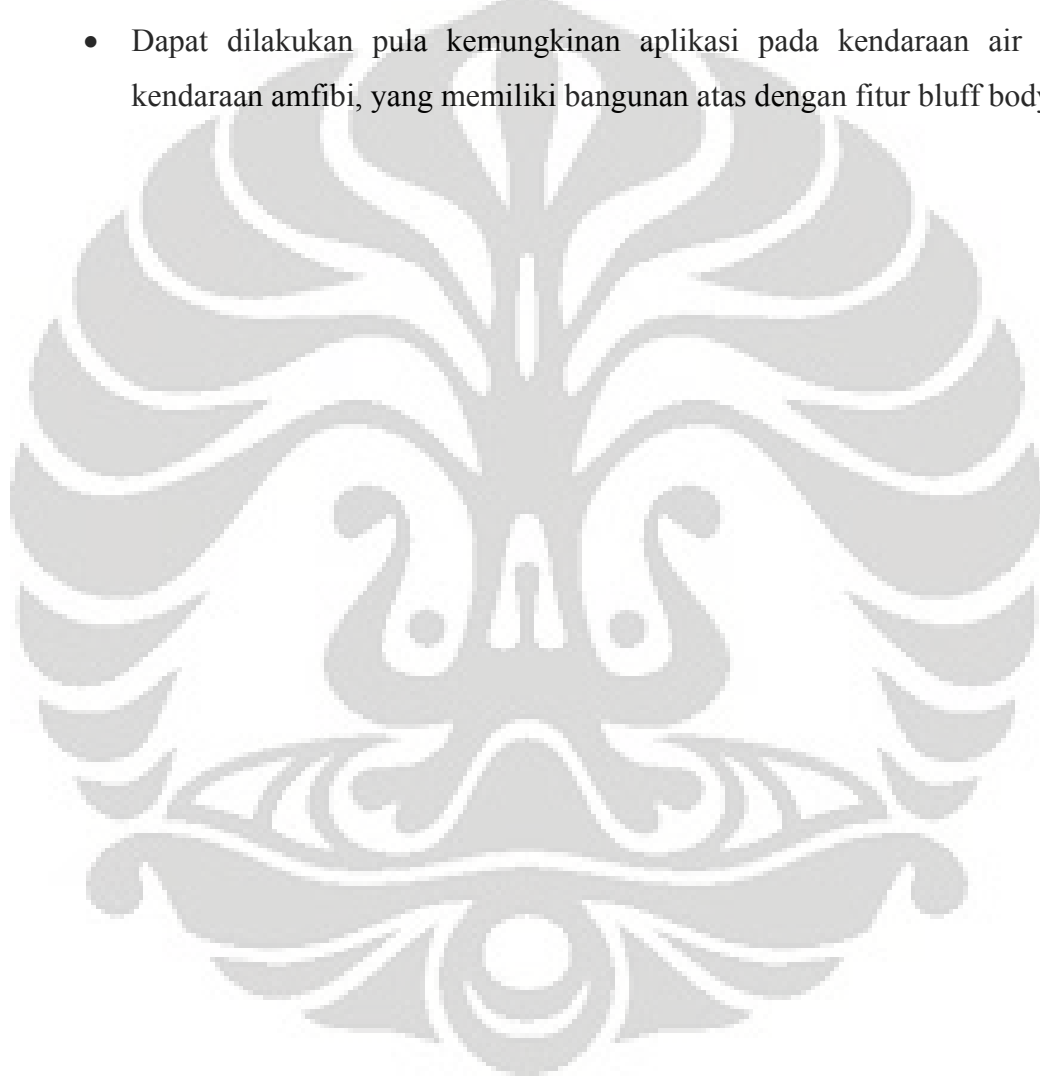
Dari percobaan dan analisa terhadap hasil percobaan yang telah dilakukan dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Perubahan drag aerodinamis yang terjadi pada kendaraan model sangat bergantung pada 3 faktor utama yaitu letak, kedalaman dimple, serta Reynolds number dimana kendaraan tersebut beroperasi.
- Aliran yang dihasilkan dimple dapat berguna untuk mempengaruhi terjadinya *flow separation* hanya apabila energinya masih cukup besar, sehingga penempatan dimple diusahakan dimana vortex yang dihasilkan energinya tidak banyak terdisipasi oleh efek viskos. Hal ini berarti penempatan dimple yang paling tepat yaitu dimana lintasan yang dilalui sependek mungkin, yaitu tepat di dekat daerah *flow separation* itu sendiri.
- Vortex yang dihasilkan dimple yang memiliki sifat menaikkan turbulensi pada aliran, sehingga meningkatkan *friction drag*. Hal ini berarti penempatan dimple yang paling tepat yaitu dimana lintasan yang dilalui vortex sependek mungkin, yaitu tepat di dekat daerah *flow separation* itu sendiri.
- Dimple memiliki potensi efektif juga pada kendaraan skala sebenarnya, namun sampai batas kecepatan tertentu (pada kasus kali ini yaitu sampai 60 km/jam).

5.2. Saran

- Dilakukan percobaan dimana dimple ditempatkan pada tempat-tempat lain pada model kendaraan, berbeda dengan percobaan kali ini yang menempatkan dimple hanya pada permukaan atas kendaraan. Penempatan dimple yang dianjurkan penulis untuk dicoba adalah misalnya pada bagian samping kendaraan.

- Pada percobaan-percobaan yang akan datang, sebaiknya dilakukan studi kedalaman, diameter dan letak dimple yang optimal, dihubungkan dengan batas kekuatan struktural kendaraan yang bersangkutan, yaitu bagaimana mencapai dimple yang menghasilkan vortex yang optimal di saat yang sama memenuhi tingkat keamanan untuk kekuatan strukturnya.
- Sebaiknya dilakukan studi pada model kendaraan yang lebih besar, pada kecepatan yang lebih tinggi pula.
- Dapat dilakukan pula kemungkinan aplikasi pada kendaraan air atau kendaraan amfibi, yang memiliki bangunan atas dengan fitur bluff body.



DAFTAR PUSTAKA

- Anderson (2001). Fundamentals of Aerodynamics. McGraw-Hill
- Bearman P.W., & Harvey, J.K. (1976). Golf ball aerodynamics. *Aeronaut Quarterly*
- Choi, Jin, et.al (2006). Mechanism of drag reduction by dimples on sphere. *Physics of Fluids* , 18, 041702
- Collu, M., et.al. (2008). High Speed Marine Vehicles With Aerodynamic Surfaces : Development of A Dynamic Model For A Novel Configuration. *Cranfield Multi Strand Conference*, Cranfield University, UK
- Hucho, Wolf-Heinrich (1987). Aerodynamics of Road Vehicles. Butterworths
- Koike, Masaru, et.al (2004). Research On Aerodynamic Drag Reduction by Vortex Generators. *Mitsubishi Motors Technical Review*, 16
- Kundu, Pijush & Cohen, Ira M. (2008). Fluid Mechanics. Elsevier
- Ligrani, P.M., et.al. (2001). Flow structure due to dimple depressions on a channel surface. *Physics of Fluids*, 13, 11
- Pujals, G, et.al (2010). Drag Reduction Of A 3D Bluff Body Using Coherent Streamwise Streaks. *Experiment in Fluids*. Springer Berlin
- Ross, Jim. Heavy Vehicle Drag Reduction : Experimental Evaluation and Design April 18, 2006.
www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/hvso_2006/05_ross.pdf
- Santhanakrishnan, Arvind & Jacob, Jamey D (2010). Effect of Regular Surface Perturbations on Flow Over An Airfoil. *AIAA Paper*. AIAA
- van Stilfred, Florian (2009), Computational Studies of passive vortex generators. Sweden
- Won, S.Y., & Ligrani, P.M. (2007). Flow characteristics along and above dimpled surfaces with three different dimple depths within a channel. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 21, 1901–1909.
- Wood, Richard M, et.al. (2003). Simple and Low Cost Aerodynamic Drag Reduction Devices for Tractor-Trailer Trucks. *SAE Transaction*, 12, 143-160.
- Ince, N.H, et.al. (2001).
- White, Frank (2003). Fluid Mechanics. McGraw-Hill

Kecepatan 40 km/jam, tanpa dimple

I	II	III	IV
0.8	1.4	1.2	0.9
0.9	1.3	1.1	1
1	1.2	1	1.1
1.1	1.1	0.9	1
1.2	1	0.8	0.9
1.3	0.9	0.9	0.8
1.2	1	1	0.9
1.1	1.1	1.1	1
1	1.2	1.2	0.9
0.9	1.1	1.1	0.8
0.8	1	1	0.9
0.7	0.9	0.9	0.8
0.8	0.8	1	0.9
0.9	0.7	0.9	0.8
0	0.8	1	0.9
0	0.9	1.1	1
0	1	1.2	0.9
0	0.9	0	1
0	0.8	0	0.8
			0.9
			1
			1.1
			1.2
			1.1
			1
0.978571	1.005263	1.023529	0.944

Kecepatan 40 km/jam, dimple posisi 1

I	II	III
0.9	1.1	0.9
0.8	1.2	1
0.7	1.1	1.1
0.6	1	1.2
0.7	0.9	1.1
0.8	1	1
0.9	0.9	0.9
1	1	0.8
1.1	0.9	0.7
1.2	1	0.8
1	1.1	0.9
0.9	1	1
0.8	0.9	1.1
0.9	0.8	1
1	0.9	0.9
0.9	0.8	1
	0.7	1.1
	0.6	1
	0.5	0.9
	0.6	0.8
	0.7	0.7
	0.8	0.8
	0.9	0.9
	1	0.8
	0.9	0.7
	0.8	0.6
	0.7	0.5
	0.8	0.6
	0.7	0.7

		0.6
		0.7
		0.8
		0.9
		1
		0.9
		0.8
0.8875	0.872414	0.866667



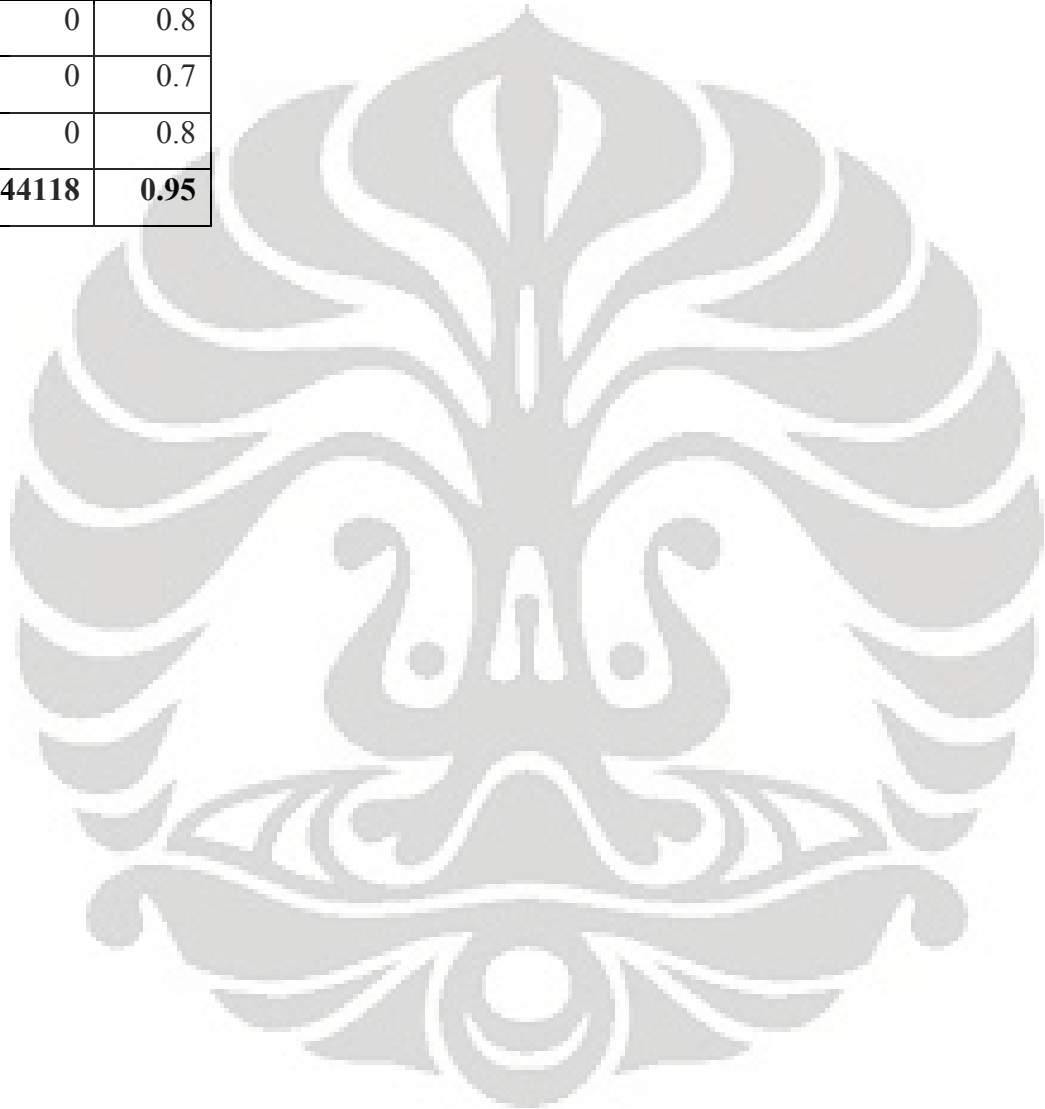
Kecepatan 40 km/jam, dimple posisi 2

I	II
1.2	1.1
1.1	1.2
1.2	1.3
1.1	1.2
1	1.1
0.9	1
0.8	1.1
0.7	1.2
0.8	1
0.9	1.1
1	1
1.1	0.9
1.2	0.8
1.1	0.9
	1
	1.1
	1.2
	1.3
	1.2
	1.3
	1.4
1.007143	1.114286

Kecepatan 40 km/jam, dimple posisi 3

I	II
1.2	1.1
1.1	1.2
1	1.3
0.9	1.2
0.8	1.1
0.7	1
0.6	0.9
0.5	0.8
0.6	0.7
0.7	0.8
0.8	0.9
0.9	1
1	0.9
0.9	1
0.8	0.9
0.9	0.8
1	0.7
1.1	0.6
1	0.5
0.9	0.6
0.8	0.7
0.7	0.8
0.8	0.9
0.9	1
1	1.1
1.1	1.2
1.2	1.1
1.3	1
1.2	1.1

1.1	1.2
1	1.3
0.9	1.2
0	1.1
0	1
0	0.9
0	0.8
0	0.7
0	0.8
0.944118	0.95



Kecepatan 60 km/jam, tanpa dimple

I	II	III	IV
2.8	2.3	2.8	2.8
2.6	2.2	2.7	2.7
2.5	2.1	2.6	2.6
2.4	2.3	2.5	2.5
2.5	2.4	2.4	2.4
2.6	2.5	2.3	2.3
2.7	2.4	2.4	2.4
2.8	2.3	2.3	2.3
2.7	2.4	2.4	2.4
0	2.5	2.5	2.5
0	2.6	2.6	2.6
0	2.7	2.5	2.5
0	2.8	2.4	2.4
0	2.9	0	0
0	3	0	0
0	3.1	0	0
0	2.9	0	0
0	2.8	0	0
2.622222	2.566667	2.492308	2.492308

Kecepatan 60 km/jam, dimple posisi 1

I	II	III	IV
2.1	2.5	2.6	2.7
2.2	2.6	2.7	2.6
2.3	2.7	2.5	2.5
2.4	2.8	2.4	2.4
2.3	2.7	2.2	2.3
2.4	2.6	2.1	2.2
2.5	2.5	1.9	2.1
2.4	2.4	1.8	2.2
2.5	2.5	1.9	2
2.6	2.6	2.1	2.1
2.7	2.7	2.2	2.2
2.5	2.8	2.1	0
0	2.7	2.2	0
0	0	2.3	0
0	0	2.4	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
2.408333	2.623077	2.226667	2.3

Kecepatan 60 km/jam, dimple posisi 2

I	II
2.9	2.7
3	2.5
3.1	3
3	2.8
3.2	2.9
3.1	3.2
2.7	3.3
2.9	3
3	2.8
0	2.7
0	2.6
0	2.5
0	2.4
0	0
2.988889	2.8

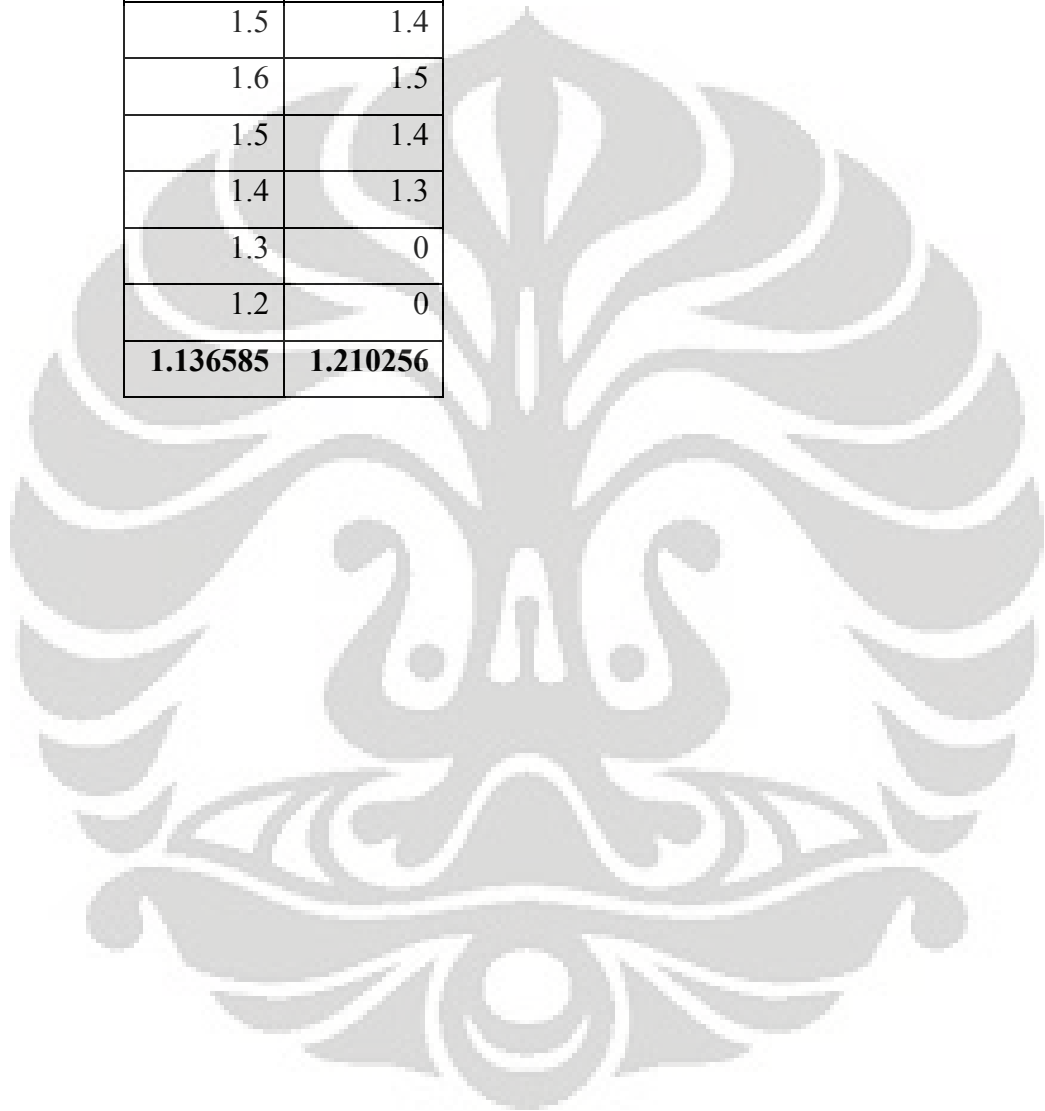
Kecepatan 60 km/jam, dimple posisi 3

I	II
3.3	2.5
3.4	2.6
3.5	2.7
3.4	2.8
3.3	2.9
3.2	3
3.1	3.1
3.2	3.2
3.1	3.3
3	3.2
2.9	3.1
2.8	3
2.7	2.9
2.8	2.8
2.9	0
2.8	0
0	0
2.905882	2.935714

Kedalaman 2 : 0.7 cm, kecepatan 40 km/jam, tanpa dimple

I	II
1.2	1.3
1.1	1.2
1	1.1
0.9	1
1	0.9
1.1	1
1.2	1.1
1.3	1.2
1.2	1.3
1.1	1.2
1	1.1
0.9	1
0.8	0.9
0.9	1
1	1.1
0.9	1
1	0.9
0.9	1
1	1.1
1.1	1.2
1	1.1
0.9	1
1	0.9
1.1	1
1.2	1.1
1.3	1.2
1.4	1.3
1.3	1.4
1.2	1.3

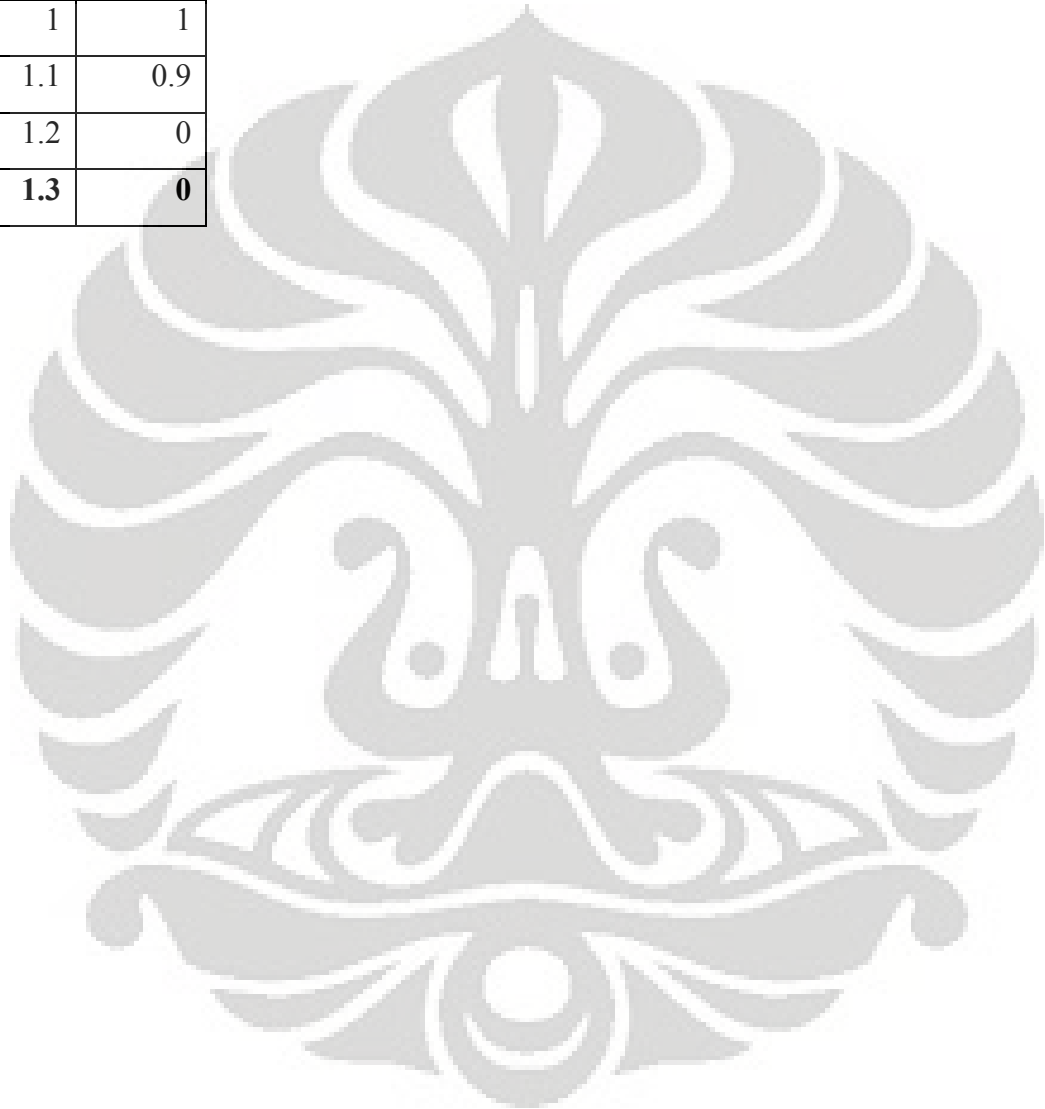
1.1	1.6
1	1.5
1.1	1.6
1.2	1.7
1.3	1.6
1.4	1.5
1.5	1.4
1.6	1.5
1.5	1.4
1.4	1.3
1.3	0
1.2	0
1.136585	1.210256



Kedalaman 2 : 0.7 cm, kecepatan 40 km/jam, dimple posisi 1

I	II
1.4	1
1.3	0.9
1.2	0.8
1.1	0.7
1	0.6
0.9	0.7
0.8	0.8
0.7	0.9
0.6	1
0.5	0.9
0.6	0.8
0.7	0.9
0.8	0.8
0.9	0.7
1	0.6
1.1	0.7
1	0.8
0.9	0.9
0.8	1
0.7	1.1
0.6	1
0.5	1.1
0.6	1
0.7	0.9
0.8	1
0.9	1.1

1	1.2
1.1	1.1
1	1
1.1	0.9
1	1
1.1	1.1
1	1
1.1	0.9
1.2	0
1.3	0



Kedalaman 2 : 0.7 cm, kecepatan 40 km/jam, dimple posisi 2

I	II
1.2	1.3
1.1	1.2
1	1.1
0.9	1
1	1.1
1.1	1
1.2	1.1
1.3	1.2
1.4	1.3
1.3	1.2
1.2	1.1
1.1	1.2
1.2	1.1
1.3	1.2
1.2	1.3
1.1	1.4
1	1.3
0.9	1.2
0.8	1.1
0.7	1
0.8	0.9
0.9	1
1	0.9
1.1	1
1.2	1.1
1.3	1.2
1.4	1.1
1.5	1

1.6	1.2
1.5	1.3
1.4	1.2
1.5	1.2
1.1625	1.140625



Kedalaman 2 : 0.7 cm, kecepatan 40 km/jam, dimple posisi 3

I	II
1.6	1.6
1.5	1.5
1.4	1.4
1.5	1.5
1.4	1.6
1.3	1.5
1.2	1.4
1.1	1.3
1	1.2
1.1	1.1
1.2	1
1.3	1.1
1.4	1.2
1.3	1.1
1.2	1.2
1.3	1.3
1.2	1.2
1.1	1.1
1.2	1.2
1.3	1.1
1.4	1.2
1.3	1.3
1.4	1.4
1.5	1.5
1.4	1.4
1.3	1.5
1.2	1.4
1.3	1.3
1.4	1.2

1.5	1.1
1.31	1.296667



Kedalaman 2 : 0.7 cm, kecepatan 60 km/jam, tanpa dimple

0.933333	1.633333	1.4
1.05	1.516667	1.283333
1.166667	1.4	1.166667
1.283333	1.283333	1.05
1.4	1.166667	0.933333
1.516667	1.05	1.05
1.4	1.166667	1.166667
1.283333	1.283333	1.283333
1.166667	1.4	1.4
1.05	1.283333	1.283333
0.933333	1.166667	1.166667
0.816667	1.05	1.05
0.933333	0.933333	1.166667
1.05	0.816667	1.05
0	0.933333	1.166667
0	1.05	1.283333
0	1.166667	1.4
0	1.05	0
0	0.933333	0
1.141667	1.172807	1.194118

Kedalaman 2 : 0.7 cm, kecepatan 60 km/jam, dimple posisi 1

1.283333	1.05
1.4	1.166667
1.283333	1.283333
1.166667	1.4
1.05	1.283333
1.166667	1.166667
1.05	1.05
1.166667	0.933333
1.05	0.816667
1.166667	0.933333
1.283333	1.05
1.166667	1.166667
1.05	1.283333
0.933333	1.166667
1.05	1.05
0.933333	1.166667
0.816667	1.283333
0.7	1.166667
0.583333	1.05
0.7	0.933333
0.816667	0.816667
0.933333	0.933333
1.05	1.05
1.166667	0.933333
1.05	0.816667
0.933333	0.7
0.816667	0.583333
0.933333	0.7
0.816667	0.816667
	0.7
	0.816667
	0.933333
	1.05
	1.166667
	1.05
	0.933333

1.017816 | 1.011111



Kedalaman 2 : 0.7 cm, kecepatan 60 km/jam, dimple posisi 2

1.633333	1.283333
1.516667	1.166667
1.4	1.283333
1.283333	1.4
1.166667	1.516667
1.05	1.4
0.933333	1.283333
0.816667	1.166667
0.7	1.05
0.583333	0.933333
0.7	0.816667
0.816667	0.933333
0.933333	1.05
1.05	1.166667
1.166667	1.05
1.05	1.166667
0.933333	1.05
1.05	0.933333
1.166667	0.816667
1.283333	0.7
1.166667	0.583333
1.05	0.7
0.933333	0.816667
0.816667	0.933333
0.933333	1.05
1.05	1.166667
1.166667	1.283333
1.283333	1.4
1.4	1.283333
1.516667	1.166667
1.4	1.283333
1.283333	1.4
1.166667	1.516667
1.05	1.4
	1.283333
	1.166667
	1.05
	0.933333
	0.816667
	0.933333

1.101471 | 1.108333



Kedalaman 2 : 0.7 cm, kecepatan 60 km/jam, dimple posisi 3

1.4	1.283333
1.283333	1.4
1.4	1.516667
1.283333	1.4
1.166667	1.283333
1.05	1.166667
0.933333	1.283333
0.816667	1.4
0.933333	1.166667
1.05	1.283333
1.166667	1.166667
1.283333	1.05
1.4	0.933333
1.283333	1.05
	1.166667
	1.283333
	1.4
	1.516667
	1.4
	1.516667
	1.633333
1.175	1.3