



TESIS (TM142501)

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI KETINGGIAN
GROUND CLEARANCE DENGAN *FOUR-CHANNEL
DIFFUSERS* PADA BAGIAN BELAKANG BODI BUS**

IZHARY SIREGAR

NRP. 2114 202 012

Dosen Pembimbing:

Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN REKAYASA KONVERSI ENERGI

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2016



THESIS (TM142501)

**EXPERIMENTAL STUDY OF *GROUND CLEARANCE*
INFLUENCES WITH *FOUR-CHANNEL DIFFUSERS*
ON THE REAR BUS BODY**

IZHARY SIREGAR

NRP. 2114 202 012

Supervisor:

Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

MASTER PROGRAM

FIELD STUDY OF ENERGY CONVERSION ENGINEERING

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUT OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2016

**LEMBAR PENGESAHAN
TESIS**


**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:
Izhary Siregar
NRP. 2114202012**

**Tanggal Ujian : Rabu, 27 Juli 2016
Periode Wisuda : Semester Genap 2015/2016**

Disetujui oleh:

**1. Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T.
NIP. 1971 0405 1997 021001**


(Pembimbing)

**2. Dedy Zulhidayat Noor, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 1975 1206 2005 011002**


(Penguji)

**3. Vivien Supandhani D., S.T., M. Eng., Ph.D.
NIP. 1981 0529 2003 122001**


(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,

**Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D
NIP. 1960 1202 1987 011001**

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI KETINGGIAN
GROUND CLEARANCE DENGAN FOUR- CHANNEL DIFFUSERS
PADA BAGIAN BELAKANG BODI BUS**

Nama : Izhary Siregar
NRP : 2114202012
Jurusan : Teknik Mesin, FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

ABSTRAK

Gaya-gaya aerodinamika pada kendaraan yaitu *drag* dan *lift* merupakan parameter penting dalam mengevaluasi performa dari kendaraan tersebut. Dalam setiap perancangan bodi kendaraan tentunya menginginkan *drag* yang kecil dan *lift* negatif yang besar (*downforce*). Hal ini sangat dibutuhkan demi meminimalisir konsumsi bahan bakar dan kestabilan berkendara saat melaju pada kecepatan yang tinggi. *Drag* yang besar didominasi oleh perbedaan tekanan antara bagian depan dan belakang bodi (*pressure drag*). Fenomena ini menjadi penting dikarenakan *pressure drag* yang terjadi di bagian belakang jauh lebih besar daripada bagian depan bodi. Kendaraan yang berdimensi besar seperti bus tentunya harus memiliki tenaga yang cukup kuat dalam melawan hambatan ini dibandingkan kendaraan lainnya.

Sebuah modifikasi dilakukan berupa penambahan *four-channel diffusers* pada bagian belakang bodi bus (*rear body*) dalam rangka mereduksi hambatan tersebut. Studi eksperimen ini dilakukan dengan pemodelan untuk mengetahui pengaruh *four-channel diffusers* terhadap karakteristik aliran pada bagian *rear body* dengan memvariasikan *ground clearance* ($c/L = 0,04 ; 0,05 ; 0,06$), dimana kecepatan aliran *freestream* (U_∞) konstan yaitu 18 m/s atau bilangan Reynolds $6,67 \times 10^5$ serta sudut *diffuser* yang digunakan adalah 8° . Hasil dari penelitian ini menunjukkan model dengan menggunakan *four-channel diffusers* pada $c/L = 0,04$ memiliki intensitas turbulensi paling besar yaitu 5,946% dan mampu mereduksi *drag* yang terjadi hingga 2,16% dari model standarnya.

Kata kunci : *rear body*, *ground clearance*, *four-channel diffusers*, koefisien *drag*,

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

EXPERIMENTAL STUDY OF GROUND CLEARANCE INFLUENCES WITH *FOUR-CHANNEL DIFFUSERS* ON THE REAR BUS BODY

Name : Izhary Siregar
NRP : 2114202012
Department : Mechanical Engineering, FTI-ITS
Advisor : Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

ABSTRACT

Aerodynamic forces at the vehicle likes drag and lift are important parameters to evaluation aerodynamic of a body. Each body design specific purpose to reduced drag and increase the negative lift (downforce). This condition meet a challenge in term of saving fuel, further driving distance, and better driving performance. The large drag predominance of pressure different between frontal and rear pressure body (pressure drag). This phenomena be important proceed of rear body pressure more large than frontal body pressure. The huge vehicles such as a buses must be have high power to rising up this losses as compared with other vehicle model.

A modification have been doing such as four-channel diffuser on the rear bus body to reduced that disruption. This experiment will be doing with a bus model to known influence concerning flow characteristic on rear body. The four channel diffuser performance will be improved with ground clearance variation ($c/L = 0.04 ; 0.05 ; 0.06$) when velocity of free stream is 18 m/s ($Re = 6,67 \times 10^5$) angle of diffuser is 8° . The expectance result is to know four-channel diffusers performance before and after this device tall on the rear bus body with optimum ground clearance and to looks the aerodynamic forces effect. The result of this experiment shows that bus model with four-channel diffusers at $c/L = 0,04$ has turbulent intensity (IT) highest is 5,968% and able to reduced drag until 2,16% than standard model.

Keywords : Rear bus body, ground clearance, four-channel diffusers, drag coefficient

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Dasar Teori	10
2.2.1 Konsep <i>Boundary Layer</i> , Separasi Aliran dan Intensitas Turbulensi.....	15
2.2.1.1 Lapisan Batas (<i>Boundary Layer</i>)	15
2.2.1.2 Separasi Aliran	16
2.2.1.3 Intensitas Turbulensi.....	17
2.2.2 Fenomena Aerodinamika Pada Kendaraan.....	18
2.2.2.2 Gaya Hambat (<i>Drag Force</i>)	19
2.2.3 <i>Diffuser</i> Pada Kendaraan.....	23
2.2.4 Terowongan Angin (<i>Wind Tunnel</i>).....	24
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Skema Pengujian	27
3.2 Benda Uji, Peralatan dan Alat Ukur Pengujian	29
3.2.1 Benda Uji (<i>Bus Model</i>)	29

3.2.2 Peralatan Pengujian	30
3.2.2 Peralatan Pendukung dan Alat Ukur Pengujian	31
3.3 Parameter Pengujian.....	33
3.3.1 Analisa Grup tak berdimensi untuk Koefisien <i>Drag</i> (C_D)	34
3.3.3 Analisa Grup tak berdimensi untuk Koefisien Tekanan (C_p)	35
3.4 Langkah Kerja	36
3.4.1 Proses Validasi Pengukuran Manometer dan <i>Pressure Transducer</i>	36
3.4.2 Proses Pengambilan Data	38
3.4.3 Parameter dan Perhitungan Data Kuantitatif.....	39
3.5 <i>Flowchart</i> Penelitian	42
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 Analisa Distribusi Tekanan Pada <i>Midspan Bus Model</i>	45
4.1.1 Distribusi Tekanan Pada <i>Midspan Bus Model</i> Tanpa Menggunakan <i>Four-Channel Diffusers</i>	45
4.1.2 Distribusi Tekanan Pada <i>Midspan Bus Model</i> Dengan Menggunakan <i>Four-Channel Diffusers</i>	47
4.2 Profil Kecepatan Pada Bagian Belakang Bodi.....	49
4.2.1 Analisa Profil Kecepatan Dengan dan Tanpa Menggunakan <i>Four-Channel Diffusers</i>	50
4.3 Analisa Intensitas Turbulensi Pada Bagian Model Bus	52
4.3.1 Analisa Intensitas Turbulensi Dengan dan Tanpa Menggunakan <i>Four-Channel Diffusers</i>	53
4.4 Analisa Hasil Perhitungan Koefisien Dengan dan Tanpa Menggunakan <i>Four-Channel Diffusers</i>	54
4.5 Diskusi.....	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	60

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Modifikasi bus model Denning Mono Mark	8
Gambar 2.2 Skema Pengukuran <i>PIV</i>	9
Gambar 2.3 Visualisasi hasil simulasi dengan <i>PIV</i>	9
Gambar 2.4 Grafik Hasil Simulasi (C_D dan C_L Vs <i>Diffuser Angel</i>)	11
Gambar 2.5 <i>Velocity Pathline</i>	11
Gambar 2.6 Model benda uji <i>multi-channel diffusers</i>	12
Gambar 2.7 Kontur rasio C_L/C_D <i>multi-channel diffusers</i>	12
Gambar 2.8 <i>Actively rear diffuser device</i>	13
Gambar 2.9 Grafik nilai C_p terhadap panjang karakteristik model	14
Gambar 2.10 Variasi sudut diffuser pada bagian belakang mobil.....	14
Gambar 2.11 Grafik hubungan sudut <i>diffuser</i> terhadap koefisien <i>drag</i> dan <i>lift</i> ...15	
Gambar 2.12 Konsep <i>boundary layer</i> pada pelat datar	16
Gambar 2.13 Separasi aliran pada sebuah silinder	16
Gambar 2.14 Komponen gaya-gaya aerodinamika	18
Gambar 2.15 Variasi daya beban jalan terhadap komponen kecepatan	19
Gambar 2.16 <i>Frontal pressure</i> pada kendaraan	20
Gambar 2.17 <i>Vaccum rear</i> pada kendaraan.....	21
Gambar 2.18 <i>Diffuser multi-channels</i> pada mobil	23
Gambar 2.19 <i>Wind Tunnel</i>	24
Gambar 3.1 Bus Daewoo FX 212.....	27
Gambar 3.2 Skema pengujian.....	28
Gambar 3.3 Titik-titik pengukuran profil kecepatan	29
Gambar 3.4 Model bus dan pelat datar.....	30
Gambar 3.5 Skema dan dimensi <i>wind tunnel</i>	30
Gambar 3.6 <i>Pitot static tube</i>	31
Gambar 3.7 <i>Pressure transducer, Data logger</i> dan Manometer.....	33
Gambar 3.8 Termometer.....	33
Gambar 3.9 Skema validasi	37
Gambar 3.10 Grafik hasil validasi Manometer dengan <i>Pressure Transducer</i>	38
Gambar 3.11 Flowchart kalibrasi <i>Pressure Transducer</i> dengan Manometer	42

Gambar 3.12 Flowchart pengukuran koefisien tekanan (C_p)	43
Gambar 3.12 Flowchart pengukuran profil kecepatan (u).....	44
Gambar 4.1 Grafik distribusi tekanan model standar pada bagian <i>upper</i> dan <i>lower body</i> dengan variasi <i>ground clearance</i> (c/L)	48
Gambar 4.2 Grafik distribusi tekanan pada bagian <i>upper</i> dan <i>lower body</i> dengan menggunakan <i>four-channel diffusers</i>	49
Gambar 4.3 Profil kecepatan pada bagian belakang model ($x/L = 115\%$)	52
Gambar 4.4 Intensitas turbulensi pada model tanpa dan dengan menggunakan <i>four-channel diffusers</i>	54
Gambar 4.6 Grafik hubungan C_{Dt} dengan variasi c/L dengan dan tanpa menggu- nakan <i>four-channel diffusers</i>	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	7
Tabel 2.2 Hasil pengujian model bus Denning Mono Mark	8
Tabel 2.3 Spesifikasi variasi dimensi <i>actively rear diffuser device</i>	13
Tabel 3.1 Parameter pengukuran dan perhitungan	33
Tabel 3.2 Jadwal Pelaksanaan Penelitian	45
Tabel 4.1 Hasil nilai C_p pada daerah <i>diffuser</i> dengan variasi c/L	51
Tabel 4.2 Hasil perhitungan koefisien <i>drag</i> total	59

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR SIMBOL

A	= Luasan area (m^2)
c	= Jarak bodi ke lintasan (<i>clearance</i>), m
C_D	= Koefisien <i>drag</i>
C_{Dt}	= Koefisien <i>drag</i> total
C_p	= Koefisien tekanan
d	= Panjang <i>channel diffuser</i> (m)
f	= Panjang <i>diffuser</i> (m)
F_D	= Gaya <i>drag</i> (N)
h	= Tinggi model (m)
I	= Penyelesaian persamaan integral dengan metode Simpson
L	= Panjang model (m)
P_d	= Tekanan dinamis (Pa)
P_o	= Tekanan stagnasi pada kontur lokal (Pa)
P_{ref}	= Tekanan statis pada kondisi <i>free stream</i> (Pa)
P_s	= Tekanan statis pada kontur lokal (Pa)
Re	= Reynolds number
s	= Jarak antar <i>channel/sirip</i> (m)
u	= Kecepatan lokal (m/s)
U_{max}	= Kecepatan maksimum lokal (m/s)
U_∞	= Kecepatan pada kondisi <i>free stream</i> (m/s)
ν	= Viskositas dinamik (kg/m.s)
w	= Lebar model (m)
ρ_{udara}	= Massa jenis udara (kg/m^3)
$\rho_{kerosene}$	= Massa jenis kerosene (kg/m^3)
β	= Sudut <i>diffuser</i> ($^\circ$)
μ	= Viskositas kinematik (kg/m.s)
Δh	= Perbedaan ketinggian pada cairan kerosene di manometer (m)
SG	= <i>Specific gravity</i>

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena aliran fluida melalui suatu bodi merupakan fenomena yang sering kita temui dalam kehidupan. Dalam aplikasinya tidak hanya satu macam bentuk bodi yang dilewati oleh aliran fluida, namun terdapat berbagai macam model bodi yang direkayasa dan didesain sehingga sesuai dengan fungsi yang dibutuhkan. Bentuk bodi yang berbeda akan menghasilkan karakteristik aliran yang berbeda dan sangat berpengaruh terhadap fungsi dari bentuk bodi tersebut.

Aliran fluida yang melingkupi sebuah benda secara penuh akan menimbulkan tegangan pada benda tersebut, baik tegangan normal maupun tegangan geser. Tegangan normal disebabkan karena adanya tekanan dari fluida, sedangkan tegangan geser timbul akibat adanya viskositas fluida. Jika ditinjau pada aliran dua dimensi, aliran yang mengalir secara horizontal akan menimbulkan gaya *drag* atau gaya hambat karena arah dari gaya ini berlawanan dengan arah aliran, sedangkan aliran yang mengalir secara vertikal menimbulkan gaya *lift* atau gaya angkat. Gaya *drag* sering dianggap mengganggu, namun dalam situasi atau kondisi tertentu gaya *drag* sangat diharapkan. Pada pesawat terbang gaya *lift* yang diharapkan adalah gaya *lift* positif atau gaya angkat ke atas, sedangkan pada aplikasi mobil balap, gaya *lift* yang diharapkan adalah gaya *lift* negatif agar mobil tetap stabil pada saat melaju di lintasan.

Gaya *drag* pada kendaraan terdiri dari dua jenis, yaitu *frontal pressure* dan *vacuum rear*. *Frontal pressure* disebabkan oleh tekanan udara untuk aliran disekitar bagian depan mobil. Jutaan molekul udara menghadang *grill* depan mobil dan mengakibatkan tekanan udara di depan mobil meningkat. Sedangkan *vacuum rear* atau *rear end* disebabkan oleh ruang yang terbentuk di udara saat kendaraan melaju dan dipengaruhi oleh kecepatan, sehingga menyerupai ruang hampa pada bagian belakang. Hal ini dapat terjadi karena molekul-molekul udara tidak dapat mengisi ruang tersebut akibat kendaraan melaju cepat, hasilnya terbentuklah ruang hampa pada daerah belakang yang selalu menghisap

berlawanan dengan arah laju kendaraan. Hal ini menjadi penting karena gaya yang diciptakan oleh ruang hampa ini jauh melebihi dengan gaya yang diakibatkan tekanan di bagian depan mobil (*frontal pressure*). Dengan demikian tentunya semakin besar dimensi suatu kendaraan maka semakin besar juga *frontal pressure* dan *vacuum rear* yang terjadi.

Untuk dapat mereduksi problem dan implikasi-implikasi diatas, maka diperlukan modifikasi geometri atau penambahan suatu *body (device)* pada kendaraan tersebut. Dengan memodifikasi atau mendesain ulang geometri diharapkan mampu menghasilkan gaya-gaya aerodinamis yang semakin kecil sehingga penggunaan bahan bakar dapat diminimalisir terutama pada kendaraan yang berdimensi besar seperti bus. Banyak penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan desain optimal dalam rangka mereduksi *drag* dan meningkatkan *lift* negatif (*downforce*) yang terjadi, diantaranya adalah pengaturan sudut *diffuser* dan penambahan *diffuser multi-channel* pada bagian belakang mobil. Namun, sampai saat ini para peneliti belum menerapkan hal ini pada kendaraan jenis bus.

Penelitian mengenai aliran fluida yang melewati berbagai bentuk bodi mobil telah banyak dilakukan. **Fletcher & Stewart** [1] melakukan penelitian tentang aerodinamika pada kendaraan jenis bus dengan model Denning Mono Mark buatan Australia. Dalam rangka mereduksi gaya *drag*, pengujian ini melakukan modifikasi pada bagian depan dan belakang bus dari model standarnya. Penelitian ini berhasil mengurangi nilai koefisien *drag* total (C_{Dt}) dari model standarnya yaitu 0,387 menjadi 0,287 (C_{Dt} dapat direduksi $\pm 25,8\%$).

Gurlek, dkk [2] dalam penelitiannya yang berjudul *Particle Image Velocimetri (PIV) studies around a bus model* telah melakukan simulasi tentang fenomena turbulensi yang terjadi di bagian belakang bus dengan metode PIV (*Particle Image Velocimetri*). Penelitian ini melakukan analisa intensitas turbulensi melalui *velocity vector maps (V)*, *streamline (ψ)* dan *vorticity contours (ω)* dengan memvariasikan jarak bagian belakang bodi bus terhadap efek turbulensi. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan bahwa pada variabel N yang merupakan fungsi dari kecepatan aliran semakin meningkat, maka efek turbulensi yang terjadi di bagian belakang kendaraan juga semakin tinggi. Selain itu,

variabel x/H dan y/H yang divariasikan juga memberikan hubungan yang relatif terhadap efek turbulensi. Semakin kecil nilai x/H dan y/H , maka efek *vorticity* atau turbulensi akan semakin besar.

Widodo & Karohmah [3] dalam penelitiannya yang berjudul “*CFD based investigations into optimization of diffuser angle on rear bus body*”, melakukan kajian tentang variasi sudut *diffuser* yang diterapkan pada bagian belakang kendaraan jenis bus. Model uji digambarkan secara 3D namun hanya setengah bagian saja dikarenakan bentuk yang simetris. Simulasi dilakukan dalam kondisi *steady* dan dengan model turbulensi *realizable k-epsilon*. Hasil dari simulasi ini menunjukkan bahwa peningkatan sudut *diffuser* menghasilkan penurunan koefisien *drag* hingga sekitar 2.3%, sedangkan *downforce* meningkat secara signifikan pada sudut *diffuser* 12° .

Jowsey & Passmore, [4] dalam jurnalnya yang berjudul “*experimental study of multiple-channel automotive underbody diffusers*” melakukan penelitian tentang performa *diffuser* datar dan *multiple-channel* (2,3 dan 4 *channel*) dengan variasi sudut antara 7° hingga 30° , dimana pada sisi kiri dan kanan *diffuser* dalam kondisi tertutup. Dari eksperimen yang telah dilakukan dinyatakan *lift* minimum secara umum terjadi pada *diffuser* dengan *four-channel* untuk semua variasi sudut. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin banyak *channel* yang terpasang maka *diffuser* tersebut akan mengalami peningkatan *downforce* (*lift* negatif) yang terjadi.

Xingjun, dkk [6] melakukan penelitian tentang variasi sudut *diffuser* pada mobil jenis sedan (0° , 3° , 6° , 9.8° , dan 12°) dengan simulasi numerik. Perubahan sudut *diffuser* ini memberikan pengaruh yang signifikan terhadap gaya-gaya aerodinamis yang terjadi kendaraan tersebut. Ketika sudut *diffuser* meningkat, kecepatan aliran pada bagian bawah kendaraan menjadi menurun dan membentuk *wake* yang lebih besar pada bagian belakangnya dan begitu pula sebaliknya. Hasilnya, nilai *drag coefficient* (C_D) terkecil terjadi pada sudut 6° hingga $9,8^\circ$ ($C_D = 0,2487 - 0,2673$) sementara nilai *lift coefficient* (C_L) terkecil sebesar 0.2586 terjadi pada sudut 12° .

Dari penjelasan beberapa penelitian terdahulu diatas, penelitian ini melakukan eksperimen dengan mengaplikasikan *four-channel diffuser* pada sebuah model bus dengan $Re = 6,67 \times 10^5$ untuk mengetahui dan menganalisa karakteristik aliran yang terjadi di belakang bodi terkait dengan gaya-gaya aerodinamis (*drag* dan *lift*) yang dihasilkan.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana cara mereduksi gaya *drag*, khususnya *drag* yang diakibatkan oleh efek *vacuum rear* pada bagian belakang bus.

Jowsey & Passmore [4], menerapkan *diffuser multi-channel* (2,3, dan 4 *channel*) pada sebuah *simplified model* dengan menutup sisi kiri dan kanan *diffuser* yang sejajar dengan tinggi bodi dan hasilnya terjadi peningkatan *lift* negatif (*downforce*) pada *four-channel diffusers*, sementara **Xingjun dkk** [6] melakukan simulasi variasi sudut *diffuser* dan hasilnya *diffuser* dengan sudut 6^0 hingga $9,8^0$ memiliki koefisien *drag* yang lebih kecil.

Dari kesimpulan literatur diatas, maka penelitian ini dilakukan dengan modifikasi bodi belakang bus dengan penambahan *four-channel diffusers* dimana sudut *diffuser* yang digunakan adalah 8^0 . Modifikasi ini dilakukan tanpa menutup sisi kiri dan kanan *diffuser* sehingga diharapkan aliran dari samping kendaraan dapat segera masuk dan bertemu aliran yang melewati *four-channel diffusers*. Pertemuan kedua aliran ini diharapkan mampu menciptakan efek turbulensi yang lebih besar sehingga dapat menjadi alat untuk memecah dan mereduksi *wake* atau *vacuum rear effect* yang terbentuk pada bagian belakang bus. Selain itu, untuk mendapatkan performa *four-channel diffusers* yang optimal, penelitian ini memvariasikan ketinggian antara bodi bus dengan lintasan atau lebih dikenal dengan *ground clearance*.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini ada beberapa batasan masalah yang akan diberikan, karena dalam penelitian ini terdapat beberapa hal yang mungkin dapat diasumsikan untuk mempermudah proses pengujian dan pengambilan data.

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Fluida yang digunakan adalah udara. Aliran fluida bersifat *incompressible*, *viscous*, dan aliran yang masuk pada *test section* adalah turbulen.
2. Model bus yang dibuat berdasarkan data geometri karoseri bus Daewoo FX 212 buatan Korea sebagai referensi ukuran dengan perbandingan 1 : 26 untuk diuji dengan menggunakan *wind tunnel* (terowongan angin). Selain itu, sudut *diffuser* yang digunakan adalah 8° serta menggunakan *four channel diffusers* dengan jarak antar *channel* yang konstan ($s/L = 0,06$).
3. Analisa secara khusus dilakukan hanya berdasarkan fenomena dan karakteristik aliran yang terjadi pada bagian bawah dan belakang bus, setelah dan sebelum dipasang *four channel diffusers* serta pengaruh variasi ketinggian *ground clearance* ($c/L = 0,04 ; 0,05 ; 0,06$).
4. Bilangan Reynolds yang digunakan adalah $Re = 6,67 \times 10^5$.
5. Dalam penelitian ini, kemungkinan terjadi efek perpindahan panas akibat gesekan fluida terhadap benda uji dapat diabaikan.
6. Pengaruh roda dari model bus pada saat pengujian diabaikan dan *ground* dianggap tidak bergerak (statis).

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk menjelaskan fenomena aliran yang terjadi pada belakang (*rear body*) kendaraan jenis bus akibat adanya penambahan *four channel diffusers* dalam rangka mereduksi gaya *drag* serta meningkatkan *lift* negatif (*downforce*) yang terjadi.

Sedangkan tujuan penelitian ini secara khusus adalah :

1. Secara kualitatif penelitian ini bertujuan untuk mengetahui profil kecepatan aliran di bagian belakang bodi bus (x/L) pada posisi 105% hingga 130% serta mengetahui besarnya intensitas turbulensi (*IT*) sebelum dan setelah dipasang *four channel diffusers* dengan mevariasikan ketinggian *ground clearance* ($c/L = 0,04 ; 0,05 ; 0,06$).

2. Secara kuantitatif penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya distribusi tekanan (C_p) di sekeliling model (*midspan*) dan koefisien *drag* pada model bus sebelum dan setelah dipasang *four channel diffusers* pada setiap variasi *ground clearance*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan gambaran secara kualitatif dan kuantitatif bagaimana karakteristik aliran pada bagian belakang bodi sebelum dan setelah dipasang *four channel diffusers*.
2. Dapat menjelaskan pengaruh *four channel diffusers* dan variasi ketinggian *ground clearance* terhadap koefisien tekanan (C_p), koefisien *drag* (C_D), serta intensitas turbulensi (IT) yang terjadi pada bagian belakang benda uji (*bus model*).
3. Dapat memberikan kontribusi hasil penelitian terhadap perkembangan dunia aerodinamika kendaraan, khususnya pada kendaraan jenis bus.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

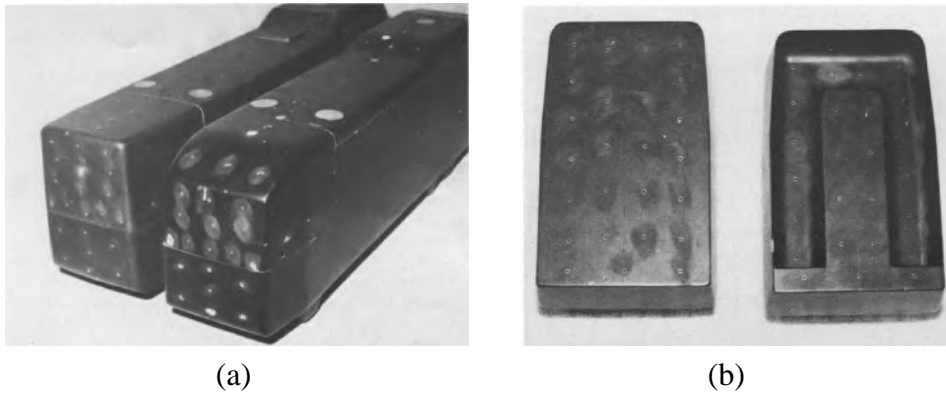
2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait dengan aerodinamika kendaraan khususnya jenis bus dalam rangka mereduksi gaya hambat (*drag force*) yang dominan disebabkan oleh efek *vorticity* (pusaran) yang terjadi di bagian belakang kendaraan atau lebih dikenal dengan *vaccum rear effect*. Hal ini menjadi penting karena gaya yang diciptakan oleh ruang hampa ini jauh melebihi dengan gaya yang diakibatkan tekanan di bagian depan mobil (*frontal pressure*). Untuk itu ada beberapa riset yang dapat dijadikan referensi dalam menunjang penelitian ini, antara lain dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu

No.	Judul Penelitian	Peneliti
1.	<i>Bus drag reduction by the trapped vortex for a single bus and two buses in tandem</i>	Fletcher & Stewart (1986)
2.	<i>Particle Image Velocimetri (PIV) studies around a bus model</i>	Cahit Gurlek, Besir Cahin & Gokturk Memduh Ozkan (2011)
3.	<i>CFD based investigations into optimization of diffuser angle on rear bus body</i>	Widodo & Karohmah (2015)
4.	<i>Experimental Study of Multiple-Channel Automotive Underbody Diffusers</i>	Jowsey & Passmore (2010)
5.	<i>Actively Translating A Rear Diffuser Device for the Aerodynamic Drag Reduction of a Passenger Car</i>	Kang, Jun, Park, Song, Kee, Kim, dan Lee (2012)
6.	<i>Influence of Different Diffuser Angle on Sedan's Aerodynamic Characteristics</i>	Hua Xingjun, Zhanga Rui, Yeb Jian, Yanb Xu dan Zhaob Zhiming (2011)

Fletcher & Stewart [1] melakukan penelitian tentang aerodinamika pada kendaraan jenis bus dengan model Denning Mono Mark buatan Australia. Dalam rangka mereduksi gaya *drag*, penelitian ini melakukan modifikasi pada bagian depan dan belakang bus dari model standarnya, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 (a) Modifikasi bagian depan, (b) Modifikasi bagian belakang [1]

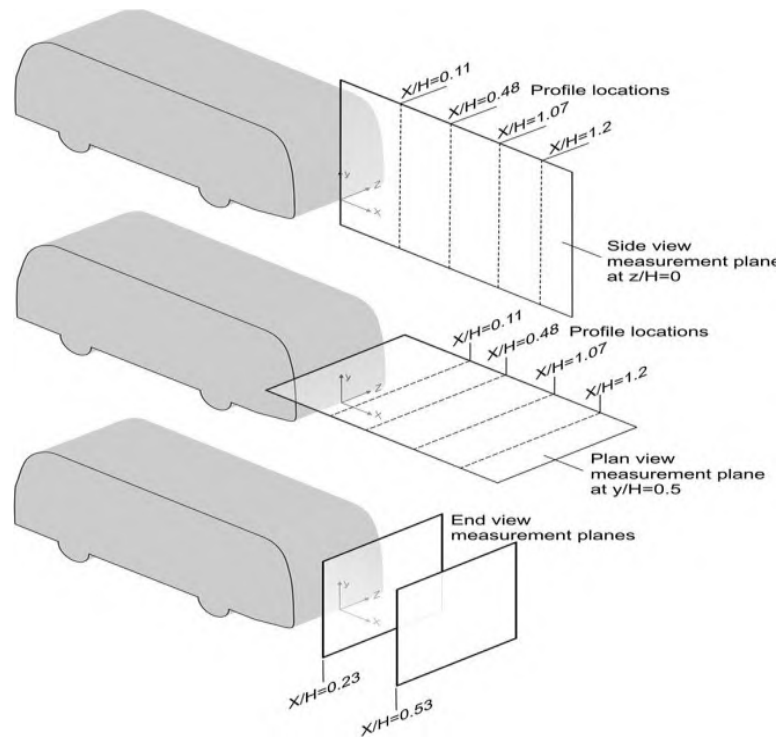
Pengujian aerodinamika model ini dilakukan secara eksperimen dengan menggunakan *wind tunnel* dengan kecepatan aliran 34,4 m/s dan $Re = 1,4 \times 10^6$. Hasil dari percobaan ini dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2. Hasil Pengujian Model Bus Denning Mono Mark

Configuration	$C_{D,FB}$	$C_{D,T}$	$C_{D,W}$	$C_{D,SF}$	C_D
Refined model (Forebody 1, Tail 1)	0.172	0.108	0.05	0.057	0.387
Refined model (Forebody 2, Tail 2)	0.089	0.091	0.05	0.057	0.287

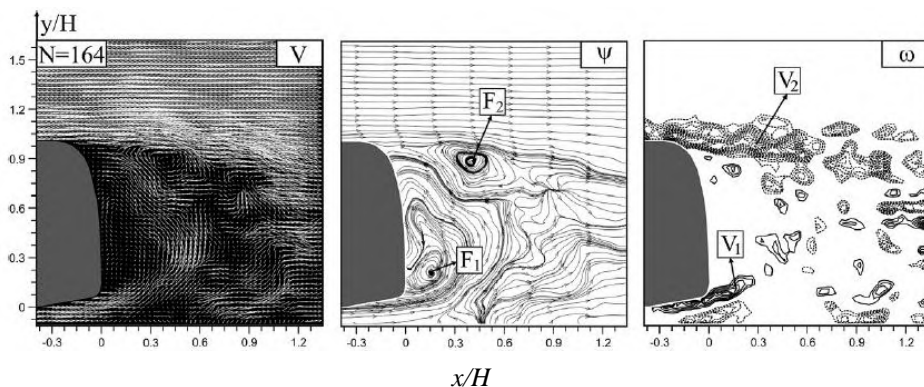
Dari hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat bahwa dengan memodifikasi bodi dari suatu kendaraan ke bentuk yang lebih aerodinamis akan mengurangi gaya hambat (*drag*) yang terjadi pada kendaraan itu sendiri. Penelitian ini berhasil mengurangi nilai koefisien drag total (C_D) dari model standarnya yaitu 0,387 menjadi 0,287 (C_D dapat direduksi $\pm 0,1$). Selain itu, penelitian ini juga menganalisa tentang *drag* yang terjadi ketika dua buah bus berjalan saling berurutan dimana celah (*gap*) yang ada diantara kedua bus tersebut divariasikan. Namun, hal tersebut tidak terlalu dirincikan pada laporan ini.

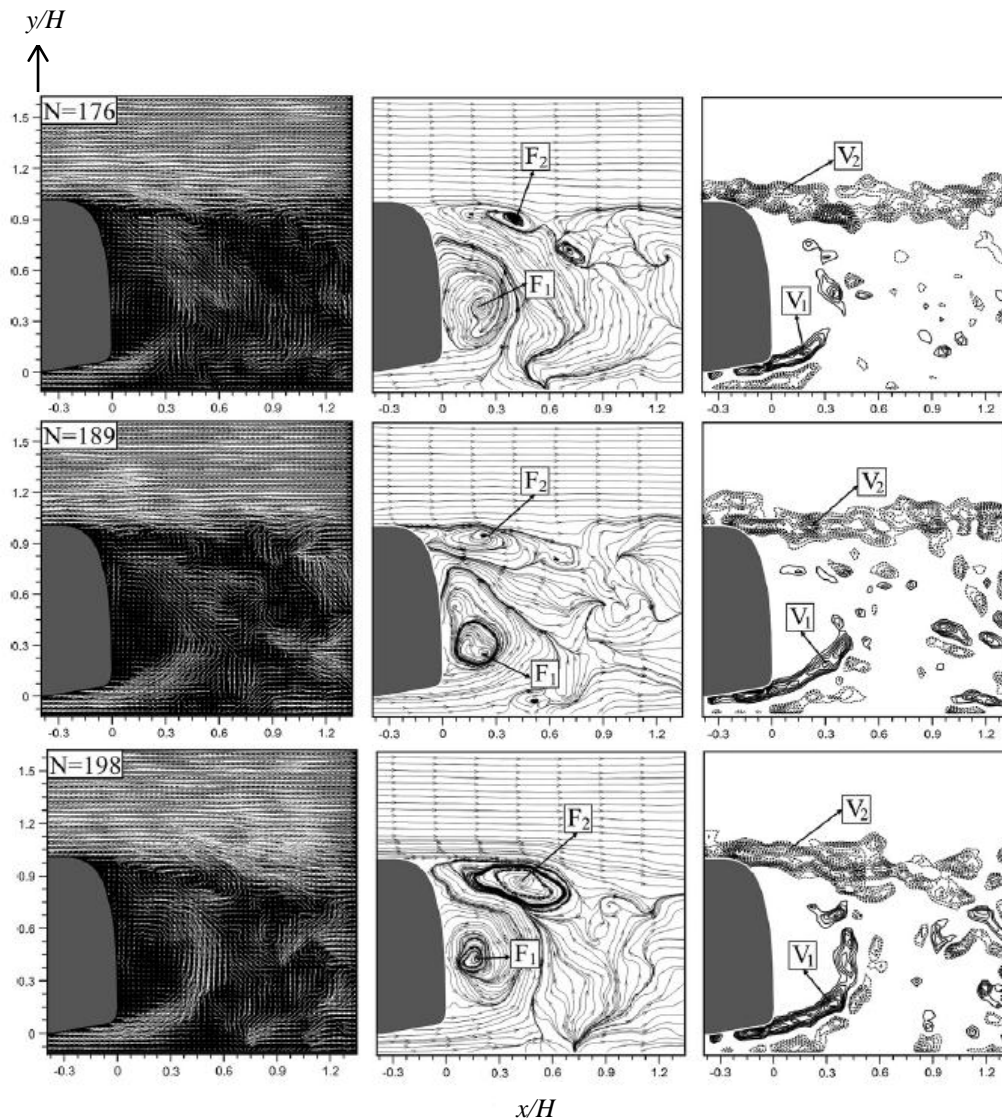
Gurlek, dkk [2] dalam penelitiannya yang berjudul *Particle Image Velocimetry (PIV) studies around a bus model* telah melakukan simulasi tentang fenomena turbulensi yang terjadi di bagian belakang bus dengan metode PIV (*Particle Image Velocimetry*). Penelitian ini melakukan analisa intensitas turbulensi melalui *velocity vector maps* (V), *streamline* (ψ) dan *vorticity contours* (ω) dengan memvariasikan jarak bagian belakang bodi bus terhadap efek turbulensi seperti yang ditunjukkan Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Skema pengukuran PIV [2]

Dari simulasi yang dilakukan, maka didapatkan hasil visualisasi medan aliran yang berbeda-beda di setiap variasi jarak x/H dan y/H seperti yang diperlihatkan Gambar 2.3 berikut.



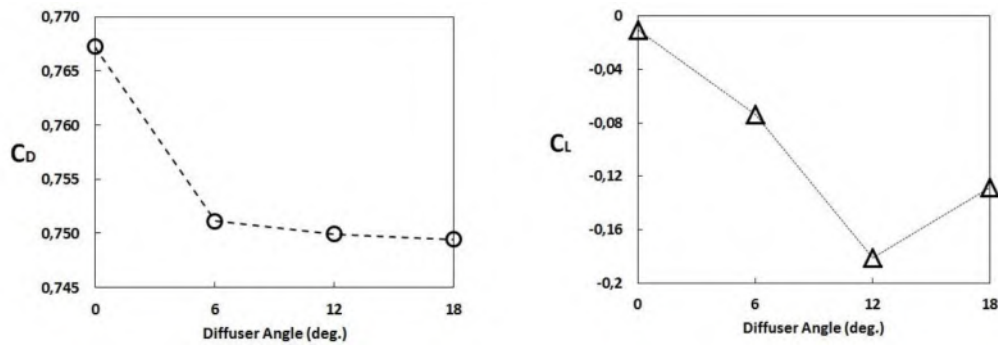


Gambar 2.3 Visualisasi hasil simulasi dengan PIV [2]

Dari hasil simulasi diatas dapat dilihat bahwa pada variabel N yang merupakan fungsi dari kecepatan aliran semakin meningkat, maka efek turbulensi yang terjadi di bagian belakang kendaraan juga semakin tinggi. Selain itu, variabel x/H dan y/H yang divariasikan juga memberikan hubungan yang relatif terhadap efek turbulensi, dimana semakin kecil nilai x/H dan y/H , maka efek *vorticity* atau turbulensi akan semakin besar.

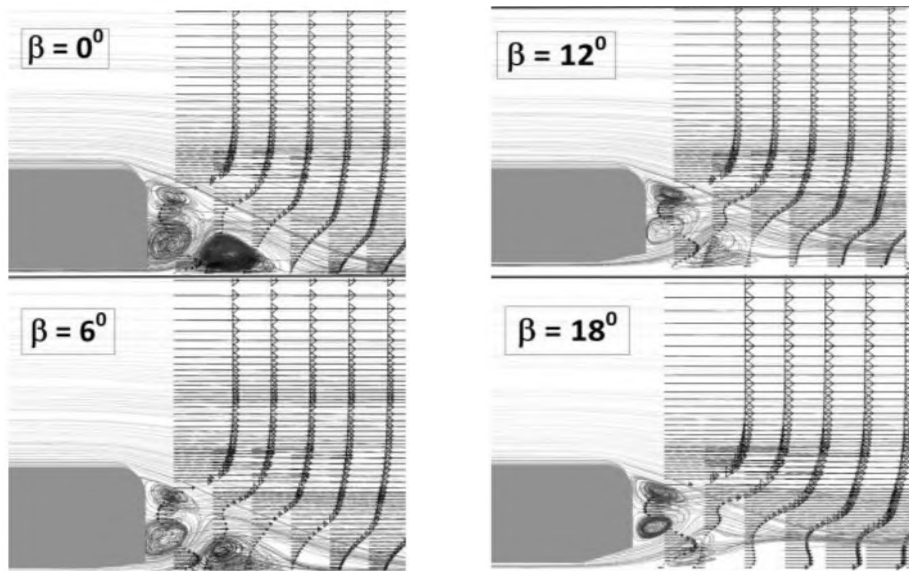
Widodo & Karohmah [3] melakukan simulasi numerik tentang variasi sudut *diffuser* yang diterapkan pada bagian belakang kendaraan jenis bus. Model uji digambarkan secara 3D namun hanya setengah bagian saja dikarenakan bentuk yang simetris. Simulasi dilakukan dalam kondisi *steady* dan dengan model turbulensi *realizable k-epsilon*. Hasil dari simulasi ini (Gambar 2.4) menunjukkan

bahwa peningkatan sudut *diffuser* menghasilkan penurunan koefisien *drag* hingga sekitar 2.3%, namun *lift* negatif (*downforce*) meningkat secara signifikan pada sudut *diffuser* 12°.



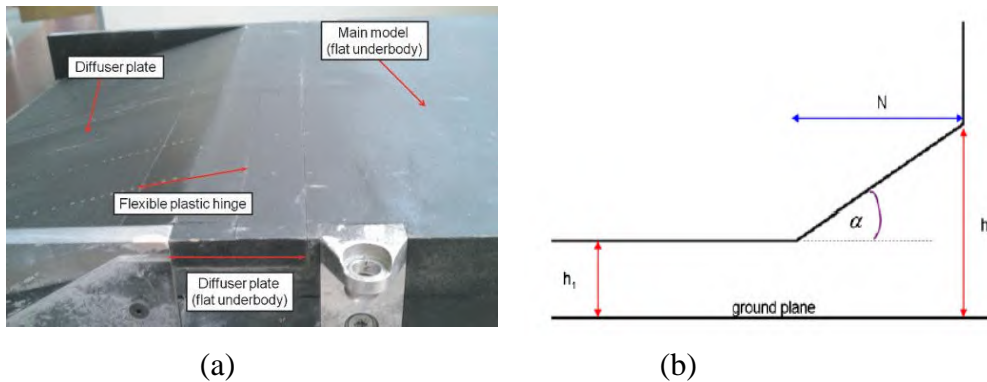
Gambar 2.4 Grafik hasil simulasi (C_D dan C_L Vs *Diffuser Angel*) [3]

Disisi lain, peningkatan besar sudut *diffuser* akan memperkecil daerah pusaran aliran (*wake*) pada bagian belakang kendaraan (Gambar 2.5). Hal ini dikarenakan jika semakin besar sudut *diffuser*, maka distribusi tekanan di sisi belakang (*rear*) akan semakin besar juga. Dengan demikian *drag* yang disebabkan oleh perbedaan tekanan dapat diminimalisir.



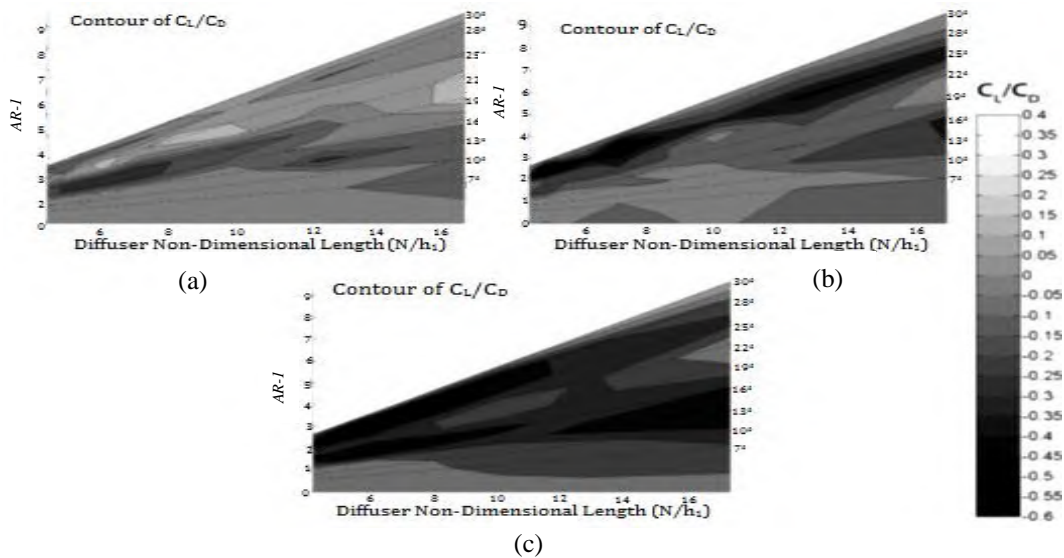
Gambar 2.5 *Velocity pathline* tampak samping

Jowsey & Passmore [4] dalam jurnalnya yang berjudul “*experimental study of multiple-channel automotive underbody diffusers*” melakukan penelitian tentang performa *diffuser* datar dan *multiple-channel* dengan metode pengukuran gaya dan tekanan pada kecepatan konstan 40 m/s. Hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya *lift* dan *drag* yang terjadi disekitar *diffuser*. Model benda uji diperlihatkan pada Gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6 (a) Model benda uji (b) *Diffuser parameters* [4]

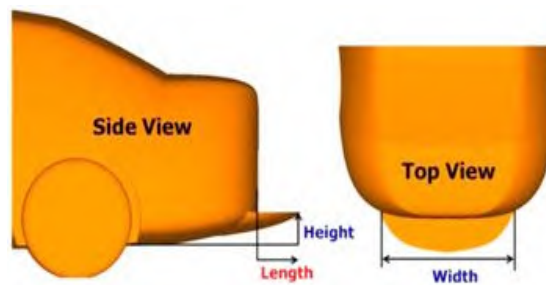
Penelitian ini memvariasikan sudut diffuser (α) yaitu 7° hingga 30° dengan selisih 3° untuk masing-masing pengujian. Selain itu, ketinggian *ground clearance* (h_1) terhadap panjang *diffuser* (N) yang dinotasikan dengan “*AR*” (*Aspect Ratio*) (dimana $AR = 1 + [N/h_1] \tan \alpha$) juga divariasikan pada penelitian ini. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 Kontur rasio C_L/C_D *multiple channel diffuser* (a) *two-channel* (b) *three-channel* (c) *four-channel* [4]

Dari Gambar 2.7 dapat dilihat *lift* minimum secara umum terjadi pada *diffuser* dengan *four-channel* untuk semua variasi sudut. Hal ini mengindikasikan bahwa *channel* yang terpasang pada *diffuser* dapat meningkatkan percepatan aliran pada bagian bawah bodi kendaraan, sehingga distribusi tekanan pada daerah *diffuser* semakin menurun.

Kang, dkk [5] melakukan penelitian tentang simulasi penambahan sirip pada bagian *diffuser* mobil yang dapat dikontrol sesuai dengan laju kendaraan. Alat ini dinamakan *actively rear diffuser device* yang bertujuan untuk mereduksi *drag* yang terjadi di bagian belakang kendaraan akibat perbedaan tekanan. Bentuk *device* tambahan ini diperlihatkan pada Gambar 2.8 berikut.



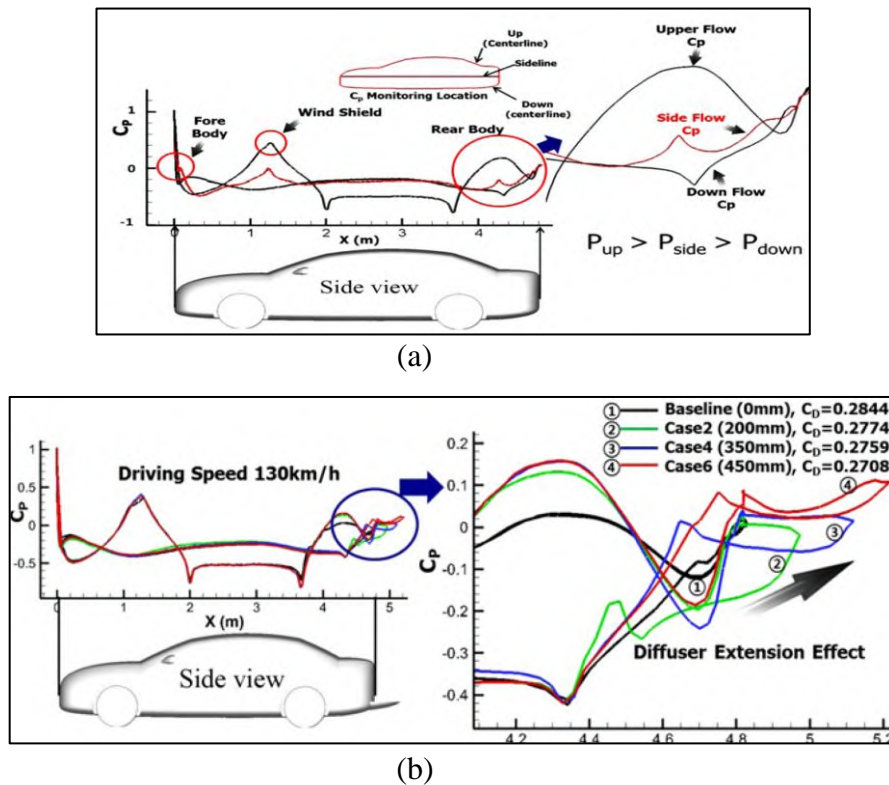
Gambar 2.8 *Actively rear diffuser device* [5]

Penelitian ini juga memvariasikan dimensi *actively rear diffuser* dan kecepatan aliran guna mengetahui keefektifan *device* tersebut dalam mereduksi *drag*. Ada 7 buah variasi dimensi yang dilakukan pada simulasi seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Spesifikasi variasi dimensi *actively rear diffuser device* [5]

	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
Case 1	100	1518.2	144.5
Case 2	200	1318.2	154.5
Case 3	300	1218.2	174.5
Case 4	350	1218.2	194.5
Case 5	400	1218.2	204.5
Case 6	450	1158.2	224.5
Case 7	500	1078.2	244.5

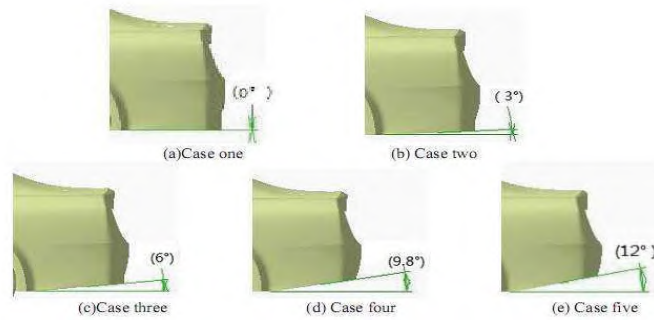
Dari simulasi yang dilakukan maka didapat hasil berupa grafik C_p dari model *standard/baseline* maupun dengan menggunakan *actively rear diffuser device* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Grafik hubungan nilai C_p terhadap panjang karakteristik model (a) *standard model* (b) *standard model* dengan *actively rear diffuser device* [5]

Dari grafik diatas dapat dilihat nilai C_p pada bagian belakang mobil meningkat setelah dipasang *actively rear diffuser device*. Hal ini menunjukkan bahwa dengan bertambahnya nilai C_p , maka *drag* yang terjadi pada bagian belakang mobil akibat perbedaan tekanan (*pressure drag*) dapat dikatakan semakin berkurang.

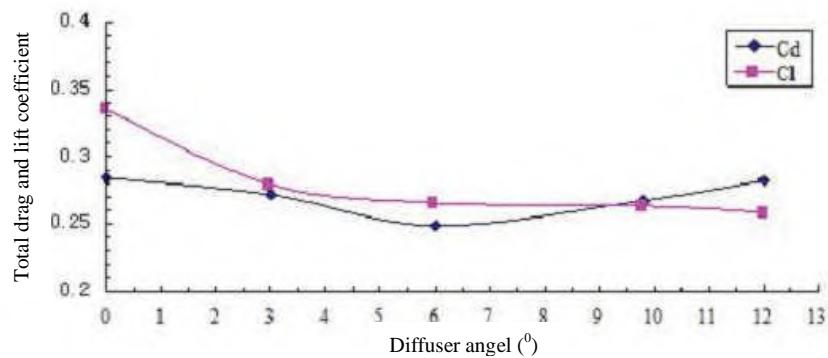
Xingjun, dkk [6] Dalam jurnalnya yang berjudul *influence of different diffuser angle on sedan's aerodynamic characteristics* menunjukkan bagaimana pengaruh beberapa variasi sudut *diffuser* terhadap karakteristik aliran yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10 Variasi sudut *diffuser* pada bagian belakang mobil [6]

Dalam menganalisa karakteristik aliran yang terjadi penelitian ini menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Hasil yang diharapkan adalah bagaimana pengaruh sudut *diffuser* tersebut terhadap besarnya gaya *drag* dan gaya *lift* yang terjadi.

Berdasarkan grafik hubungan antara sudut *diffuser* dengan total *drag* dan *lift* yang dihasilkan (Gambar 2.11), maka dapat dilihat bahwa koefisien *drag* (C_D) terkecil berada pada sudut 6° sementara koefisien *lift* (C_L) terkecil berada pada sudut 12° .



Gambar 2.11 Grafik hubungan sudut *diffuser* terhadap koefisien *drag* dan *lift* [6]

2.2 Dasar Teori

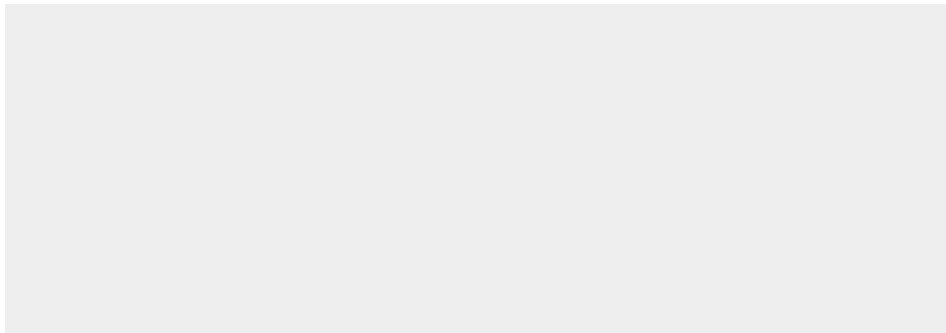
2.2.1 Konsep Lapisan Batas (*Boundary Layer*), Separasi Aliran dan Intensitas Turbulensi

2.2.1.1 Lapisan Batas (*Boundary Layer*)

Secara defenisi, lapisan batas adalah sebuah lapisan yang terbentuk pada benda yang terendam yang dipengaruhi oleh efek viskos, sementara aliran yang berada diluar lapisan batas (*boundary layer*) dapat dikatakan aliran *inviscid*, Munson [7]. Aliran *inviscid* merupakan aliran fluida yang tidak mengalami gesekan, konduktivitas panas dan difusi massa.

Apabila aliran fluida seragam tak mampu mampat (*incompressible fluid*) mendekati permukaan sebuah benda dengan kecepatan *upstream* (U_0), maka ketika itu fluida akan mengalami tegangan geser yang cukup besar terhadap permukaan benda tersebut. Tegangan geser yang besar ini disebabkan oleh efek viskos dari fluida itu sendiri, sehingga partikel-partikel fluida terhambat oleh gesekan viskos. Daerah dimana fluida mengalami hambatan ini disebut lapisan batas dan ketebalannya dinyatakan dengan δ .

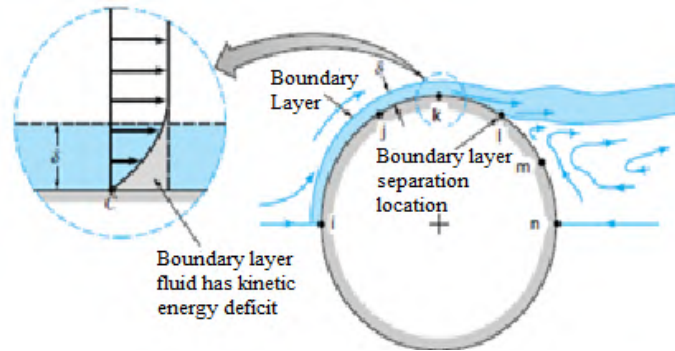
Boundary layer dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu *laminar boundary layer* dan *turbulent boundary layer* yang tergantung pada besarnya bilangan Reynolds. Proses peralihan dari laminar ke turbulen disebut keadaan transisi. Faktor yang mempengaruhi lamanya proses transisi adalah gradien tekanan, kekasaran permukaan, gaya bodi (*body force*) dan gangguan aliran bebas. Proses pembentukan lapisan batas pada sebuah pelat datar dapat dilihat pada Gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.12 Konsep *boundary layer* pada pelat datar [7]

2.2.1.2 Separasi Aliran

Separasi adalah sebuah kondisi dimana aliran udara yang mengalir di sepanjang permukaan benda tidak mampu lagi menempel pada permukaan tersebut. Separasi aliran berakibat pada terbentuknya aliran balik disekitar benda. Aliran yang sedang bergerak maju secara teratur akan terpecah saat terjadinya separasi dan mengakibatkan penurunan distribusi tekanan dan menimbulkan gaya *drag*. Fenomena ini dapat dijelaskan secara visual seperti yang dialami permukaan sebuah silinder yang dialiri fluida pada Gambar 2.13 di hal.17.



Gambar 2.13 Separasi aliran pada sebuah silinder [7]

Gambar 2.13 diatas menunjukkan adanya separasi aliran merupakan bentuk efek viskos dari fluida. Karena adanya efek viskos, fluida pada titik s di permukaan silinder kehilangan energi kinetik sehingga tidak memiliki momentum yang cukup untuk mengalir dalam lapisan batas menuju titik n . Titik s adalah titik dimana terjadinya separasi aliran, sementara pada titik l menuju n terjadi aliran balik karena perbedaan kecepatan yang tinggi antara daerah olakan dengan lapisan batas.

Pada kendaraan, separasi aliran yang terjadi begitu kompleks jika dianalisa dari keseluruhan bagian bodi kendaraan itu sendiri. Namun, **Hucho** [8] menyimpulkan bahwa perbedaan tekanan antara bagian depan dan bagian belakang kendaraan merupakan kontributor utama dari keseluruhan drag yang terjadi. Hal ini dikarenakan adanya separasi aliran pada bagian belakang (*rear body*) yang memicu terbentuknya *wake* (pusaran) sehingga distribusi tekanan menjadi sangat rendah pada daerah tersebut. Oleh sebab itu, pengembangan desain kendaraan yang mampu meminimalisir separasi aliran yang terjadi sangat diperlukan.

2.2.1.3 Intensitas Turbulensi

Turbulensi adalah gerakan partikel yang sangat tidak teratur dalam suatu aliran fluida yang sulit untuk diperkirakan gerakannya. Turbulensi dapat dianggap sebagai aliran fluida yang berfluktuasi dan merupakan parameter yang penting untuk dianalisa khususnya dalam dunia aerodinamika kendaraan. Turbulensi aliran dapat dinyatakan sebagai intensitas turbulensi. Parameter ini bertujuan untuk mengkarakterisasi kondisi turbulen yang terjadi pada sebuah bodi yang

dialiri fluida dalam bentuk persentase (%). Persamaan intensitas turbulensi (IT) dapat ditulis :

$$IT = \frac{u'}{\bar{U}} \times 100\% \quad (2.1)$$

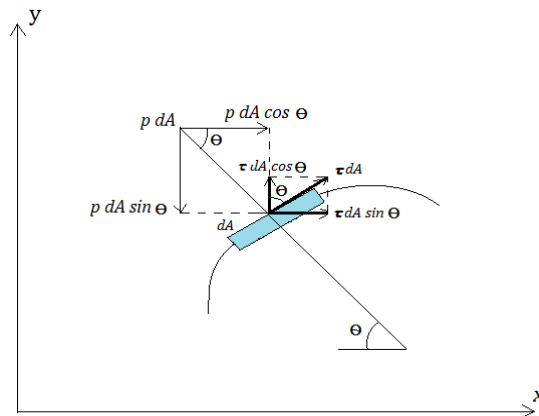
$$u' = \sqrt{\frac{\sum(\bar{U} - U_n)^2}{n-1}} \quad (2.2)$$

dimana :

U_n : Kecepatan pada waktu tertentu (m/s) u' : Standar deviasi fluktuasi
 \bar{U} : Kecepatan rata-rata (m/s)

2.2.2 Fenomena Aerodinamika Pada Kendaraan

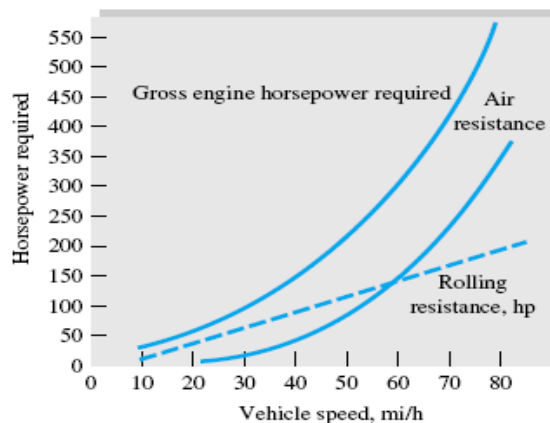
Aerodinamika memiliki ruang lingkup aplikasi yang luas terutama di bidang teknik penerbangan, perancangan mobil, prediksi gaya-gaya yang terjadi pada kapal serta pada bidang teknik sipil seperti dalam desain bangunan dan jembatan. Ketika objek bergerak melalui udara, terdapat gaya yang dihasilkan oleh gerakan relatif antara udara dan permukaan bodi atau lebih dikenal dengan *drag* dan *lift*. Secara sederhana komponen gaya-gaya tersebut dapat dijelaskan pada Gambar 2.14 dibawah ini.



Gambar 2.14 Komponen gaya-gaya aerodinamika

Pada Gambar 2.14 komponen gaya searah sumbu x negatif merupakan gaya hambat (*drag*), sedangkan dalam arah sumbu y negatif adalah gaya angkat (*lift*). Pertimbangan kedua gaya tersebut sangat penting dalam desain kendaraan darat dikarenakan gaya aerodinamika tersebut akan memberikan beban tambahan pada mesin kendaraan yang berasal dari gaya tahanan terhadap

angin. Jika suatu kendaraan melaju pada kecepatan konstan pada jalan datar, kendaraan tersebut akan mengalami dua gaya yang menghambat gerak lajunya yaitu *rolling resistance* (terkait dengan gesekan roda kendaraan terhadap jalan) dan *aerodynamics resistance* (terkait dengan gaya-gaya aerodinamis). Penjumlahan antara *rolling resistance* dan *aerodynamics resistance* 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. Pada Gambar 2.15 memperlihatkan variasi dari daya beban jalan terhadap kecepatan kendaraan untuk suatu kendaraan truk trailer (*trailer truck*), Gerhart [9].



Gambar 2.15 Variasi daya beban jalan terhadap komponen kecepatan [9]

Daya yang terbuang akibat *rolling resistance* mendekati linier terhadap kecepatan, sedangkan daya *aerodynamics resistance* bervariasi terhadap pangkat tiga kecepatan (koefisien tahanan mendekati konstan). Kurva dari kedua daya hambat ini saling 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 meningkat secara cepat dan menjadi faktor pengontrol dalam kecepatan kendaraan, Gerhart [9].

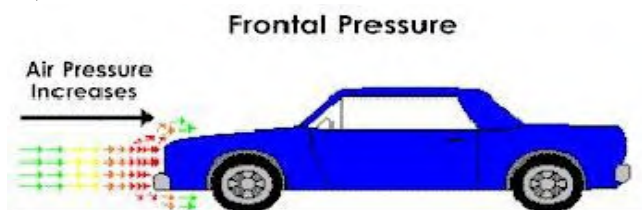
2.2.3 Gaya Hambat (*Drag Force*)

Gaya hambat (*drag force*) merupakan jumlah semua gaya eksternal yang melawan arah gerak objek dan memiliki posisi sejajar dengan aliran bebas. *Drag* pada suatu objek diakibatkan oleh dua hal, yaitu gesekan antara fluida dengan

permukaan benda dan beda tekanan. *Drag* karena gesekan disebut *skin friction drag* yang tergantung kepada besar permukaan yang bersentuhan dengan fluida, tegangan geser, viskositas, gradien kecepatan, kekasaran permukaan dan *streamline body*. Sedangkan *drag* akibat perbedaan tekanan disebut *form drag* atau lebih dikenal dengan *pressure drag*, yang tergantung pada bentuk, ukuran, distribusi tekanan, *wake*, bilangan Reynolds (Re) dan *bluff body* dari benda yang dikenakan aliran, **Munson** [7]. *Drag* yang disebabkan oleh perbedaan tekanan merupakan komponen yang paling besar dalam memberikan pengaruh terhadap *drag* total pada kendaraan yang disebabkan oleh separasi aliran pada bagian belakang. *Pressure drag* yang terjadi pada kendaraan secara umum diakibatkan oleh dua hal, yaitu :

a. *Frontal pressure*

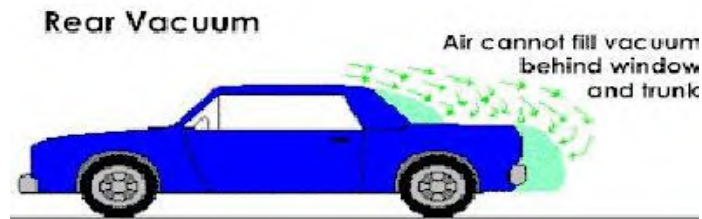
Frontal pressure disebabkan oleh tekanan udara yang terjadi pada bagian depan mobil. Jutaan molekul udara menghadang *grill* depan mobil dan mengakibatkan tekanan udara di depan mobil meningkat. Pada saat yang sama, molekul udara yang bertekanan ini akan mencari jalan keluar di sekitar sisi atas dan bawah mobil. Berikut merupakan profil aliran pada bagian depan mobil (Gambar 2.16).



Gambar 2.16 *Frontal pressure* pada kendaraan [10]

b. *Vacuum rear*

Vacuum rear atau *rear end* disebabkan oleh ruang yang terbentuk di udara saat kendaraan melaju pada kecepatan tertentu, sehingga menyerupai ruang hampa pada bagian belakang kendaraan (Gambar 2.17). Hal ini dapat terjadi karena molekul-molekul udara tidak dapat mengisi ruang tersebut disebabkan kendaraan melaju terlalu cepat, hasilnya terbentuklah ruang hampa pada bagian belakang yang bersifat seperti menghisap/menarik dari arah laju kendaraan.



Gambar 2.17 *Vacuum rear* pada kendaraan [10]

Hal ini menjadi penting karena *drag* yang diciptakan oleh ruang hampa ini jauh melebihi dengan *drag* yang disebabkan oleh *frontal pressure*. Oleh karena itu, banyak penelitian yang dilakukan untuk mereduksi daerah vakum ini diantaranya dengan menambahkan *diffuser* pada bagian belakang kendaraan.

Melalui penjelasan pada Gambar 2.14 sebelumnya, *drag force* (F_D) merupakan komponen gaya yang sejajar dengan aliran *free stream*, sehingga secara matematis dapat ditulis :

$$F_D = \int \cos \theta. (p \, dA) + \int \sin \theta. (\tau \, dA) \quad (2.3)$$

sedangkan untuk koefisien *drag* (C_D) ditentukan oleh perbandingan antara gaya *drag* dengan tekanan dinamik yang ditunjukkan pada persamaan 2.9 berikut.

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A} \quad (2.4)$$

- dimana ;
- C_D = Koefisien *drag*
 - F_D = Gaya hambat/*drag* (N)
 - ρ = Densitas fluida (kg/m^3)
 - A = Luasan acuan (m^2)
 - U_∞ = Kecepatan fluida relatif terhadap obyek (m/s)

Koefisien *drag* secara total juga dapat diperoleh melalui perbedaan momentum aliran sebelum dan sesudah melewati benda uji atau model. Parameter ini lebih dikenal dengan *drag total coefficient* (C_{Dt}) dan dapat ditulis :

$$C_{Dt} = \frac{4}{L_{model}} \int_0^a \left(1 - \left[\frac{u(y)}{U_\infty} \right]^2 \right) dy \quad (2.5)$$

dimana $u(y)$ merupakan kecepatan yang diukur ke arah sumbu y dan U_∞ adalah kecepatan *free stream* serta L merupakan panjang dari model atau benda uji. Untuk menyelesaikan integrasi pada persamaan 2.5 digunakan metode numerik aturan *Simpson 1/3 segmen berganda* yang dirumuskan sebagai berikut.

$$I \cong \underbrace{(b-a)}_{\text{lebar}} \underbrace{\left[\frac{f(x_0)+4 \sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i)+2 \sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j)+f(x_n)}{3n} \right]}_{\text{Tinggi rata-rata}} \quad (2.6)$$

dimana :

$b - a =$ Lebar atau rentang data

$f(x_0) =$ Data pertama dan $f(x_n) =$ data terakhir

$n =$ jumlah data

$f(x_i)$ adalah perkalian dari fungsi data gasal dimana $i = 1,3,5 \dots, n-1$.

$f(x_j)$ adalah perkalian dari fungsi data genap dimana $j = 2,4,6 \dots, n-2$.

Dengan demikian, C_{Dt} dapat disederhanakan menjadi :

$$C_{Dt} = \frac{4}{L_{model}} I \quad (2.7)$$

Parameter lain yang mempengaruhi gaya-gaya aerodinamika pada suatu obyek adalah bilangan Reynolds. Persamaan bilangan Reynolds adalah bilangan tak berdimensi yang menunjukkan kepentingan efek inersia dan efek viskos dalam gerakan fluida. Bilangan Reynolds dapat diformulasikan sebagai berikut.

$$Re = \frac{\rho U_\infty L}{\mu} = \frac{U_\infty L}{\nu} \quad (2.8)$$

dimana ; $U_\infty =$ Kecepatan free stream, (m/s)

$\rho =$ Massa jenis fluida (kg/m^3)

$L =$ Panjang karakteristik (m)

$\mu =$ Viskositas kinematik (kg/m^3)

$\nu =$ Viskositas dinamik ($kg/m.s$)

Selain itu, untuk mengetahui distribusi tekanan pada permukaan benda uji, maka dilakukan perhitungan nilai koefisien tekanan (C_p). Distribusi tekanan pada model dapat menggambarkan seberapa besar pengaruh gaya-gaya aerodinamika yang bekerja pada setiap sisi dari model atau benda uji itu sendiri. Parameter ini

merupakan selisih antara tekanan statis lokal dengan tekanan aliran bebas dibagi dengan tekanan dinamis atau dapat dituliskan sebagai berikut :

$$C_p = \frac{P_s - P_\infty}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2} \quad (2.9)$$

dimana ; $\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 =$ Tekanan dinamis aliran bebas, (Pa)
 $P_s =$ Tekanan statis pada kontur lokal (Pa)
 $P_\infty =$ Tekanan statis aliran bebas (Pa) ;
 $\rho =$ Densitas fluida (kg/m^3)

2.2.3 Diffuser pada kendaraan

Diffuser merupakan salah satu komponen penting dalam aerodinamika kendaraan khususnya pada mobil. Tujuan utama digunakannya *diffuser* pada sebuah mobil adalah untuk “merapikan” aliran udara yang bergerak di bagian bawah mobil dengan mengendalikan aliran transisi dari yang berkecepatan tinggi (yang dilalui mobil saat melaju kencang) dengan udara bebas di atmosfer. Semakin cepat udara mengalir, maka semakin rendah tekanan udara yang ada di bawah mobil dan hal itu membuat mobil mendapatkan *downforce* yang tinggi. **Azizi** [10].



Gambar 2.18 *Diffuser multi-channel* pada mobil [10]

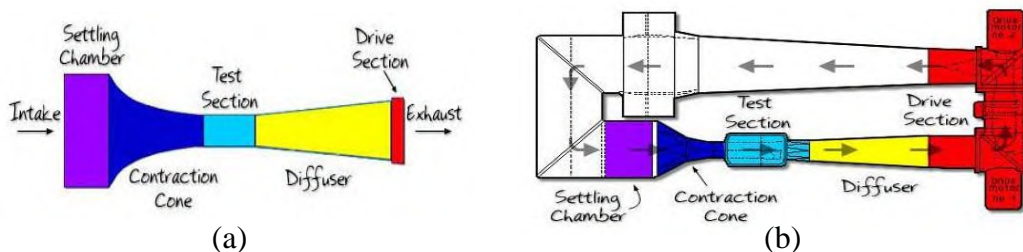
Disisi lain, dengan seiringnya perkembangan teknologi di bidang *automotive*, beberapa penelitian mencoba memodifikasi bagian *diffuser* dengan menambahkan *body* seperti sirip-sirip atau lebih dikenal dengan *diffuser channels* (Gambar 2.18). Dengan keberadaan *device* ini ternyata memicu perubahan karakteristik aliran baik pada bagian bawah maupun pada bagian belakang kendaraan. Fenomena aliran yang terjadi memperlihatkan kecepatan udara di

bagian bawah mobil meningkat dan daerah *wake* yang terbentuk di bagian belakang mengalami penyempitan. Hal ini membuktikan dengan adanya penambahan *device* tersebut membawa pengaruh besar terhadap gaya-gaya aerodinamika yang bekerja, khususnya *drag* dan *lift* pada saat kendaraan melaju dengan kecepatan tinggi.

2.2.4 Wind Tunnel (Terowongan Angin)

Terowongan angin (*wind tunnel*) adalah peralatan yang digunakan untuk melakukan pengujian aerodinamika terhadap sebuah model, seperti *airfoil*, mobil, *blade* turbin angin dan lain-lain. Aliran udara akan diserap masuk melalui bagian *intake contraction* oleh *fan* yang digerakkan oleh motor. Model ditempatkan dibagian *test section*. Selanjutnya udara yang masuk ke dalam terowongan angin akan dikeluarkan melalui *diffuser*. Dengan demikian ukuran model dibatasi ukuran *test section*, dimana semakin besar ukuran *test section* maka semakin besar pula ukuran model yang bisa ditempatkan. Ada dua tipe dasar *wind tunnel*, yaitu *open-circuit wind tunnel* dan *closed-circuit wind tunnel*. Tipe *open-circuit wind tunnel* tidak memiliki pengarah balik udaranya dapat dilihat pada Gambar 2.19a. Setelah udara meninggalkan *diffuser*, udara tersebut terlepas langsung ke udara bebas. Dengan kata lain, apabila *tunnel* mengambil udara langsung dari atmosfer, maka udara yang diambil adalah udara segar yang baru. Sedangkan pada tipe *closed-circuit wind tunnel* udara yang keluar dari *diffuser* diarahkan kembali untuk masuk ke *entrance cone* dan terus menerus disirkulasikan (Gambar 2.19b),

Muchammad [12].



Gambar 2.19 (a) *Open-circuit wind tunnel* (b) *Close-circuit wind tunnel* [12]

Dalam simulasi *wind tunnel*, model diasumsikan diam dan udara bergerak dengan kecepatan tertentu. Sebaliknya pada kondisi nyata, pesawat atau mobil dianggap

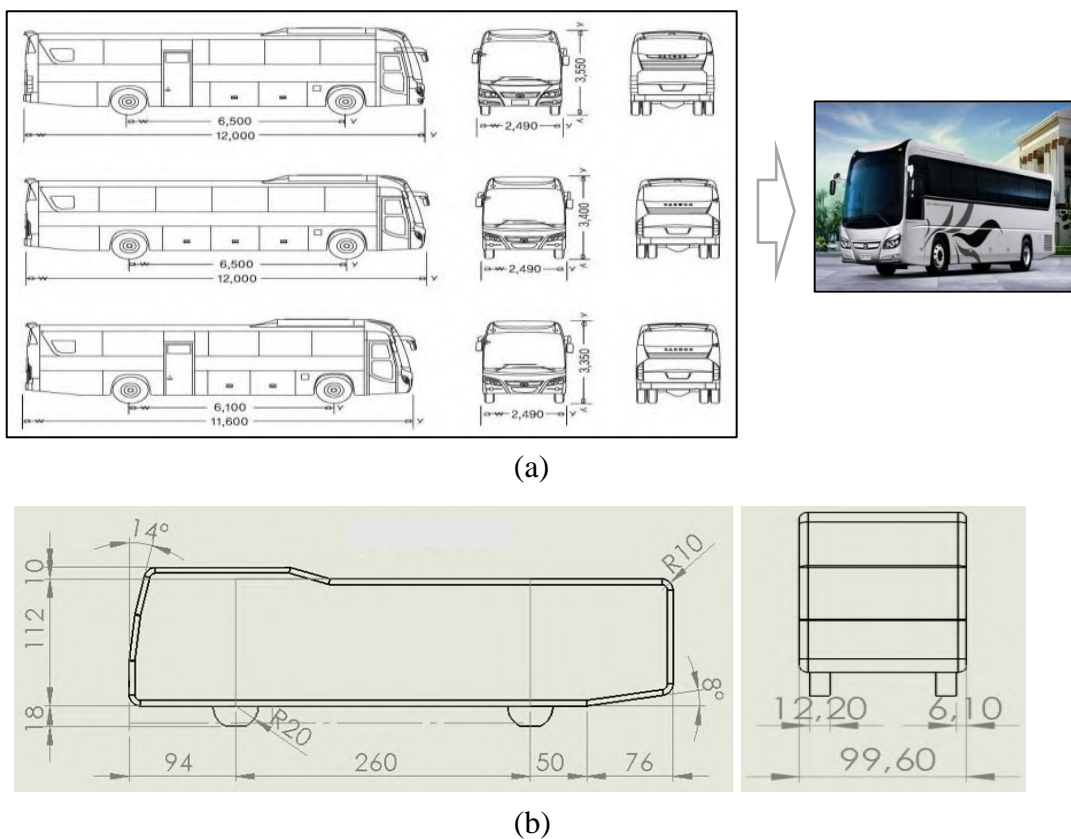
bergerak dan udara relatif diam. Itu sebabnya aliran udara dalam *test section* terowongan angin harus memenuhi persyaratan tertentu. Udara yang bergerak dalam seksi uji harus homogen secara lateral, longitudinal dan vertikal baik kecepatan, tekanan statik, angularitas maupun intensitas turbulensinya. Oleh karena itu, kecepatan udara homogen yang mampu dihasilkan di seksi uji *wind tunnel* juga menjadi salah satu ukuran kinerja dari peralatan ini. Untuk *wind tunnel* kecepatan rendah (*subsonic*) umumnya mampu menghasilkan kecepatan 5 m/s hingga 80 m/s. Dalam pengujian ini, jenis *wind tunnel* yang digunakan adalah *subsonic wind tunnel* dikarenakan kecepatan maksimalnya hanya 18 m/s dengan bilangan Mach (*Mach number*) berkisar 0.01.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, benda uji (*bus model*) yang dibuat berdasarkan data geometri karoseri bus Daewoo FX 212 buatan Korea (Gambar 3.1a) sebagai referensi ukuran (dalam satuan *mm*) dengan perbandingan 1 : 26 untuk dapat diuji dengan menggunakan *wind tunnel* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.1b. Pemilihan jenis bus ini dilakukan karena perusahaan karoseri tersebut mendeskripsikan dimensi bus secara jelas dalam gambar 2D, sehingga memudahkan peneliti dalam membuat skala pemodelan dalam penelitian ini.



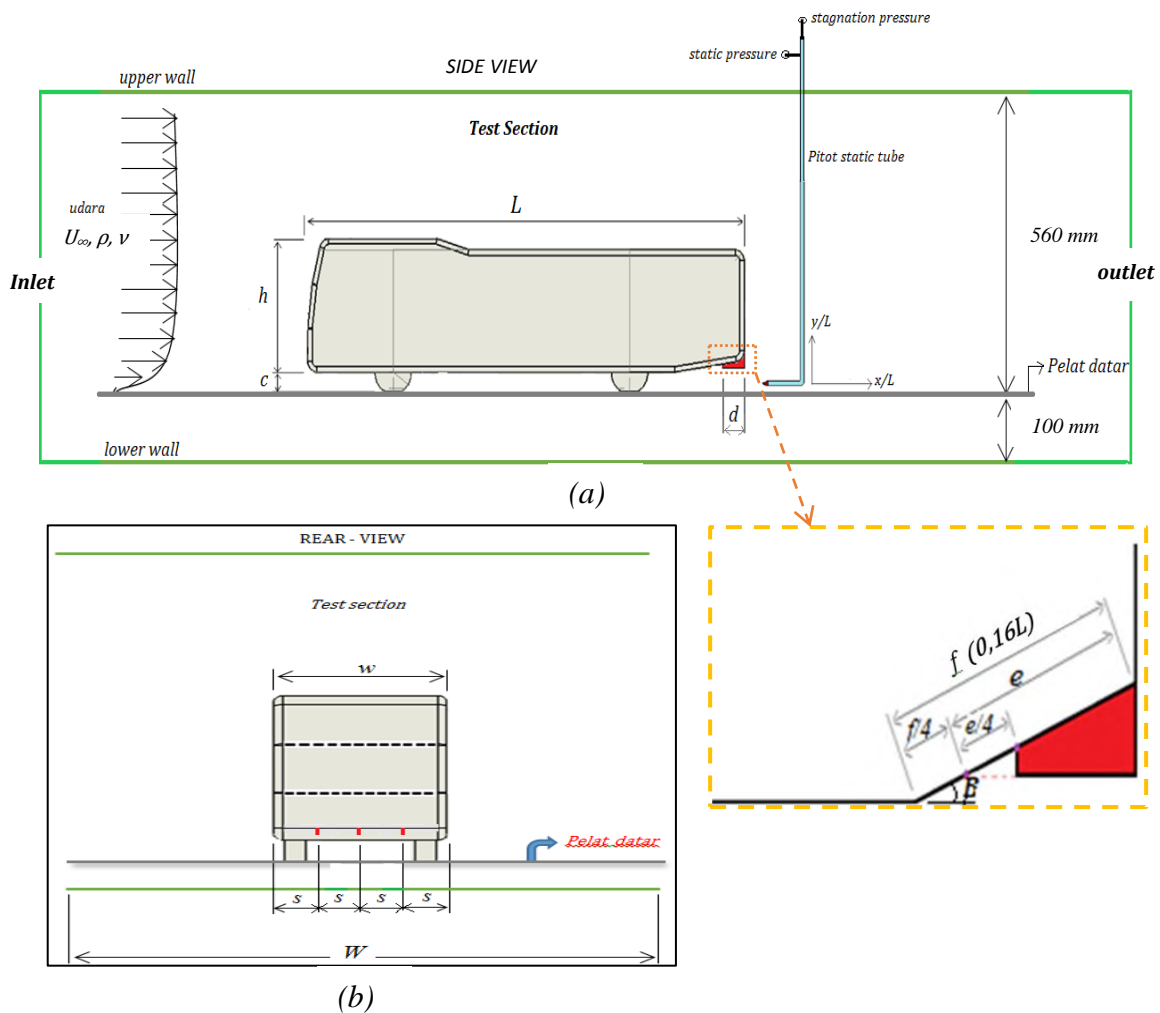
Gambar 3.1 (a) Dimensi dan bentuk Bus Daewoo FX 212, (b) *Bus model* dengan skala 1 : 26

Untuk melaksanakan penelitian ini, ada beberapa tahapan yang akan dilakukan untuk mewujudkan tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya dengan menggunakan kajian secara eksperimental. Rancangan percobaan pada penelitian ini dibagi menjadi rancangan percobaan penelitian pendahuluan dan rancangan percobaan penelitian utama yang terintegrasi secara *holistic* dan kontinu. Selain

itu, di dalam melakukan pengukuran terdapat dua metode yang digunakan, yaitu pengukuran secara langsung (*direct measurement*) dan pengukuran tak langsung (*indirect measurement*). Metode *direct measurement* yaitu hasil pengukuran langsung dipresentasikan atau dibaca, sedangkan pengukuran *indirect measurement* yaitu diperlukan suatu proses lebih lanjut untuk penjabaran atau interpretasi dan penalaran terhadap hasil pengukuran. Adapun tahapan-tahapan penelitian adalah sebagai berikut:

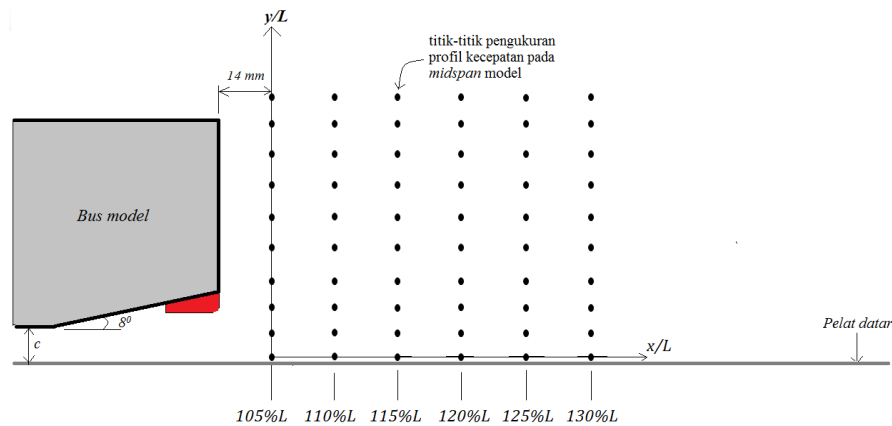
3.1 Skema Pengujian

Pada tahapan ini dilakukan pemodelan sistem penelitian yang akan dilakukan seperti Gambar 3.2. Posisi benda uji (*bus model*) diletakkan tepat ditengah *test section* dengan bantuan pelat datar. Bilangan Reynolds pada pengujian ini adalah $Re = 6,7 \times 10^5$ dengan kecepatan aliran 18 m/s atau 68 km/h.



Gambar 3.2 Skema pengujian (a) Tampak samping (b) Tampak belakang

Pengukuran profil kecepatan pada bagian belakang model dilakukan dalam rentang 105% hingga 130% dari panjang model (L) dengan pergeseran masing-masing sebesar 5 mm ke arah sumbu y positif. Titik awal pengukuran dimulai pada $x/L = 105%$ atau yang berjarak 14 mm dari bodi belakang model seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.3 dibawah ini.

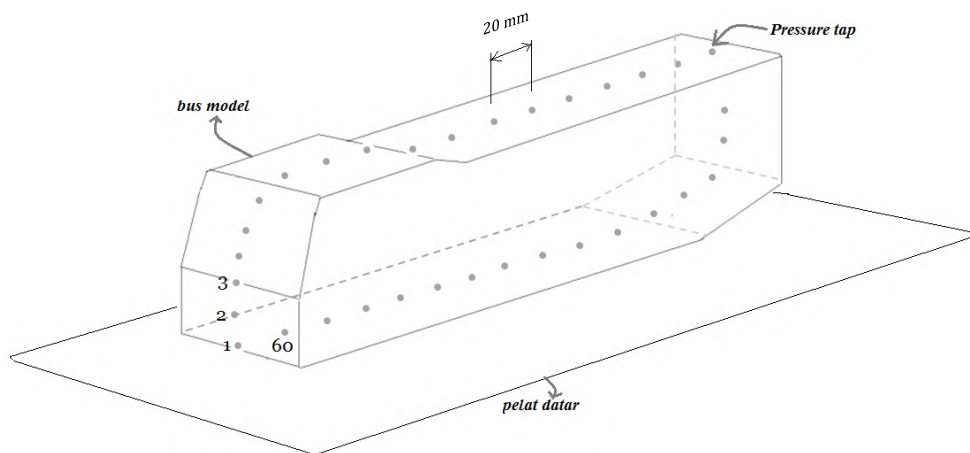


Gambar 3.3 Titik –titik pengukuran profil kecepatan

3.2 Benda Uji, Peralatan dan Alat Ukur Pengujian

3.2.1 Benda Uji (*bus model*)

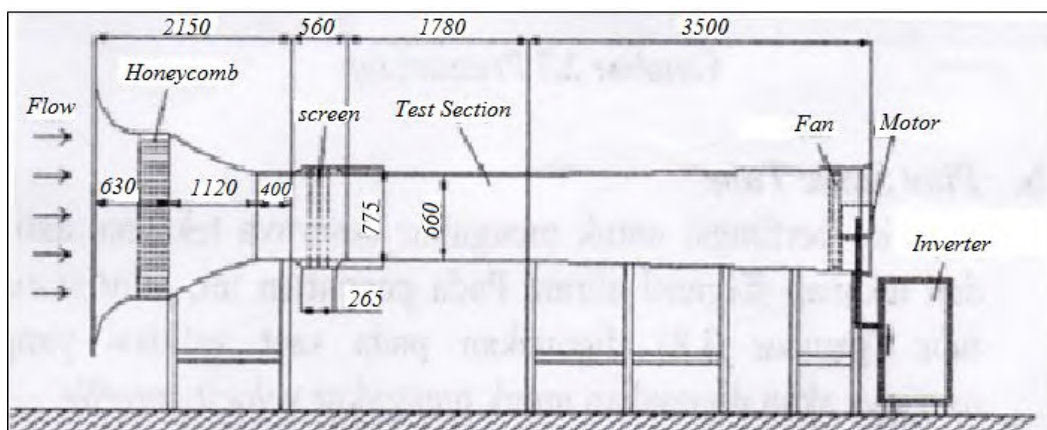
Benda uji dibuat dengan bahan akrilik (tebal 2 mm) dengan dimensi panjang (L) 480 mm, lebar (w) 99,60 mm dan tinggi (h) 140 mm serta sudut *diffuser* (β) yang digunakan adalah 8^0 (Gambar 3.2a). Pada penelitian ini, *pressure tap* dipasang pada bagian *midspan* dari model dengan jarak 20 mm (Gambar 3.4) yang bertujuan untuk mengetahui besarnya tekanan statik pada permukaan (*wall*). Selain itu, pengujian ini menggunakan bantuan pelat datar yang juga terbuat dari bahan akrilik (tebal 10 mm) sebagai tempat dimana model diletakkan, sementara bentuk modifikasi *bus model* menggunakan *diffuser* dengan 4 *channel* akan dipasang setelah data model standarnya didapat.



Gambar 3.4 Bus model dan pelat datar

3.2.2 Peralatan Pengujian

Penelitian ini menggunakan *wind tunnel* jenis *open circuit* untuk menguji karakteristik aerodinamika dari suatu obyek dalam skala model, dimana udara yang dialirkan ke dalam *test section* langsung dilepas ke udara bebas. Hal ini disebabkan pengukuran sebenarnya cukup sulit dan membutuhkan biaya yang mahal. Oleh karena itu, *wind tunnel* dibuat dengan kondisi yang mendekati kenyataan sehingga hasil yang didapatkan cukup akurat. *Wind tunnel* ini digolongkan sebagai *subsonic wind tunnel* karena kecepatan udaranya maksimal 18m/s dengan Mach number kurang dari 0,1. Secara keseluruhan skema dan dimensi *wind tunnel* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.5 Skema dan dimensi *wind tunnel*

Spesifikasi *Wind Tunnel*

- Jenis : *Open circuit wind tunnel*
- *Test section* : Penampang persegi panjang (Panjang = 1780 mm ; Lebar = 660 mm ; Tinggi = 660 mm)

3.2.3 Peralatan Pendukung & Alat Ukur Penelitian

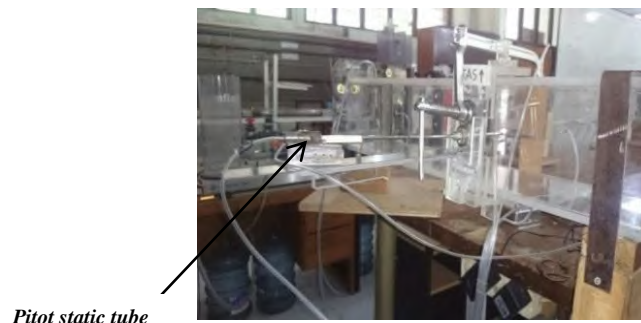
Alat ukur digunakan untuk mengukur tekanan statis dan tekanan stagnasi. Pada penelitian ini alat yang digunakan adalah *pressure tap*, *pitot static tube*, dan *pressure transducer*. Sedangkan untuk pembacaan dan penampilan hasil data digunakan data *logger*.

a. *Wall pressure tap*

Wall pressure tap merupakan peralatan pendukung yang terdiri dari sejumlah lubang-lubang kecil berdiameter 1 mm yang terpasang di sepanjang kontur bodi benda uji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4. *Pressure tap* ini berfungsi untuk mengukur besar tekanan di sepanjang permukaan benda uji dan dinding datar dengan menghubungkan setiap *pressure tap* ke *pressure transducer*.

b. *Pitot Static Tube*

Alat ini berfungsi untuk mengukur besarnya tekanan statis dan tekanan stagnasi aliran. Pada penelitian ini, *pitot static tube* (Gambar 3.6) digunakan pada saat validasi yang nantinya akan digunakan untuk mengukur *velocity profile*.



Gambar 3.6 *Pitot static tube*

c. *Pressure Transducer, Data Logger, dan Inclined Manometer*

- *Pressure transducer*

Alat ini berfungsi untuk mengubah nilai tekanan yang terukur oleh *pitot static tube* dan *pressure tap* menjadi nilai arus listrik dalam satuan *voltase (V)*.

Cara kerja *pressure transducer* adalah sebagai berikut :

Pressure transducer (Gambar 3.7a) bekerja dengan cara mengkonversi tekanan fluida menjadi sinyal elektrik. Tekanan yang diukur menggunakan *pitot static tube* akan dihubungkan oleh selang plastik berukuran $D = 2$ mm, setelah itu tekanan tersebut akan diubah menjadi *voltase* oleh *pressure transducer*. Dari *pressure transducer* data yang telah diambil akan diolah pada satu titik pengukuran oleh *data logger*, hasil yang akan diberikan oleh *data logger* berupa tampilan digital dengan satu *voltase (V)*. *Pressure transducer* yang digunakan pada penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

<i>Model</i>	: PX653-03D5V
<i>Range</i>	: $\pm 3''$ WC
<i>Akuracy</i>	: PER/SPEC
<i>Output</i>	: 1 – 5 VDC
<i>Supply</i>	: 12 – 36 VDC
<i>Serial number</i>	: X11450118

- *Data logger*

Data logger (Gambar 3.7b) berfungsi untuk membaca hasil data dari *pressure transducer* dan mengolah nilai rata-rata data dari 500 kali pengambilan pada satu titik pengukuran dan memvisualisasikan hasilnya kedalam tampilan digital dengan satuan *Voltase (V)*.

- *Inclined manometer*

Alat ini berfungsi untuk membaca Δh terukur sebagai akibat dari perbedaan tekanan lokal dengan tekanan atmosfer. Manometer yang digunakan pada proses perbandingan adalah manometer berisi *kerosene oil* dengan $SG = 0,82$ yang kemiringannya sebesar 15^0 (Gambar 3.7c).



Gambar 3.7 (a) *Pressure transducer* (b) *Data logger* (c) *Inclined manometer*

d. *Termometer*

Termometer berfungsi untuk mengukur temperatur ruangan pada saat dilakukan proses pengambilan data. Data temperatur ini menentukan massa jenis udara (ρ_{udara}) pada saat proses pengambilan data seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Termometer*

3.3 Parameter Pengujian

Parameter-parameter penelitian yang terdiri dari proses pengukuran secara langsung dan perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Parameter pengukuran dan perhitungan

No.	<i>Paramater yang diukur</i>	<i>Paramater yang dihitung</i>
1.	Panjang <i>bus model</i> , L (m)	Massa jenis fluida, ρ (kg/m^3)
2.	Tinggi <i>bus model</i> , h (m)	Viskositas fluida, μ (N.s/m^2)
3.	Lebar <i>bus model</i> , w (m)	Kecepatan <i>freestream</i> fluida pada sisi <i>inlet</i> , U_∞ (m/s)
4.	Panjang <i>diffuser channel</i> , d (m)	<i>Coef. drag</i> pada <i>bus model</i> , C_D
5.	Jarak pelat datar dengan dinding atas (<i>upper wall</i>), H (m)	Kecepatan lokal, u (m/s)
6.	Jarak pelat datar dengan dinding bawah (<i>lowerwall</i>), C (m)	Intensitas turbulensi, IT (%)

7.	Jarak antara pelat datar terhadap model (<i>ground clearance</i>), c (m)	Distribusi tekanan pada midspan model dan pelat datar, C_p
8.	Jarak <i>pressure tap</i> pada <i>midspan bus model</i> , k (m)	Tekanan dinamis, P_d (Pa)
9.	Jarak antara <i>blade</i> pada <i>diffuser channel</i> , s (m)	Tekanan statis, P_s (Pa)
10.	Sudut <i>diffuser</i> , β ($^\circ$)	Tekanan stagnasi, P_o (Pa)
11.	Temperatur kerja, T ($^\circ\text{C}$)	
12.	Δh pada manometer, (m)	
13.	Voltase pada data <i>logger</i> , V (Volt)	

Pada penelitian ini, analisa dimensi diperlukan untuk mengetahui apakah suatu parameter berpengaruh terhadap suatu eksperimen. Hubungan antara parameter yang saling mempengaruhi ditunjukkan dalam bentuk parameter-parameter tanpa dimensi. Metode analisa ini dikenal dengan *Buckingham Phi Theorem*.

3.3.1 Analisa Grup tak berdimensi untuk Koefisien *Drag* pada *bus model*

Gaya *drag* yang terjadi di sekeliling model bus dipengaruhi oleh beberapa parameter, sehingga secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut :

$$F_D = f_1 (\rho, \mu, U_\infty, L, h, w, k, c, s, \beta) \quad (3.1)$$

Dengan menggunakan “Buckingham Phi Theorema” dengan parameter berulang ρ , U_∞ , dan L , diperoleh 9 grup tak berdimensi yaitu :

1. $\pi_1 = \frac{F_D}{\rho U_\infty^2 L^2}$ (koefisien *drag*)
2. $\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U_\infty L}$ (bilangan Reynolds)
3. $\pi_3 = \frac{c}{L}$ (rasio jarak pelat datar terhadap model/*ground clearance*)
4. $\pi_4 = \frac{w}{L}$ (rasio lebar model terhadap panjang model)
5. $\pi_5 = \frac{h}{L}$ (rasio tinggi model terhadap panjang model)
6. $\pi_6 = \frac{s}{w}$ (rasio jarak *diffuser channel* terhadap lebar model)
7. $\pi_7 = \frac{k}{L}$ (rasio jarak *pressure tap* terhadap panjang model)
8. $\pi_8 = \frac{x}{L}$ (rasio antara *velocity profile* terhadap panjang model)
9. $\pi_9 = \beta$ (sudut *diffuser*)

Hubungan antara grup tak berdimensi sebagai berikut :

$$\pi_1 = f_1(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8, \pi_9) \quad (3.2)$$

$$\frac{F_D}{\rho U_\infty^2 L^2} = f_1\left(\frac{\mu}{\rho U_\infty L}, \frac{c}{L}, \frac{w}{L}, \frac{h}{L}, \frac{s}{w}, \frac{k}{L}, \frac{x}{L}, \beta\right) \quad (3.3)$$

Pada penelitian ini, variabel $\frac{\mu}{\rho U_\infty L}, \frac{w}{L}, \frac{h}{L}, \frac{s}{w}, \frac{k}{L}, \frac{x}{L}, \beta$ dinyatakan sebagai variabel tetap, sedangkan rasio jarak pelat datar terhadap *bus model* (c/L) atau lebih dikenal dengan *ground clearance* serta rasio jarak profil kecepatan aliran dengan panjang model (x/L) divariasikan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi dari kedua variabel tersebut terhadap koefisien *drag* (C_D) pada benda uji (*bus model*). Dengan demikian, persamaan (3.3) dapat ditulis :

$$\frac{F_D}{\rho U_\infty^2 A} = f_1\left(\frac{c}{L}, \frac{x}{L}\right) \quad (3.4)$$

$$C_D = f_1\left(\frac{c}{L}, \frac{x}{L}\right) \quad (3.5)$$

3.3.2 Analisa Grup tak berdimensi untuk Koefisien Tekanan pada *bus model*

Distribusi tekanan yang terjadi di sekeliling model bus dipengaruhi oleh beberapa parameter, sehingga secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\Delta p = f_3(\rho, \mu, U_\infty, L, h, w, k, c, s, \beta) \quad (3.6)$$

Dengan menggunakan “Buckingham Phi Theorema” dengan parameter berulang ρ, U_∞ , dan L , diperoleh 9 grup tak berdimensi yaitu :

1. $\pi_1 = \frac{\Delta p}{\rho U_\infty^2}$ (koefisien tekanan)
2. $\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U_\infty L}$ (bilangan Reynolds)
3. $\pi_3 = \frac{c}{L}$ (rasio jarak pelat datar terhadap model/*ground clearance*)
4. $\pi_4 = \frac{w}{L}$ (rasio lebar model terhadap panjang model)
5. $\pi_5 = \frac{h}{L}$ (rasio tinggi model terhadap panjang model)
6. $\pi_6 = \frac{s}{w}$ (rasio jarak *diffuser channel* terhadap lebar model)
7. $\pi_7 = \frac{k}{L}$ (rasio jarak *pressure tap* terhadap panjang model)
8. $\pi_8 = \frac{x}{L}$ (rasio antara *velocity profile* terhadap panjang model)
9. $\pi_9 = \beta$ (sudut *diffuser*)

Hubungan antara grup tak berdimensi sebagai berikut :

$$\pi_1 = f_3(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8, \pi_9) \quad (3.7)$$

$$\frac{\Delta p}{\rho U_\infty^2} = f_3\left(\frac{\mu}{\rho U_\infty L}, \frac{c}{L}, \frac{w}{L}, \frac{h}{L}, \frac{s}{w}, \frac{k}{L}, \frac{x}{L}, \beta\right) \quad (3.8)$$

Pada penelitian ini, variabel $\frac{\mu}{\rho U_\infty L}, \frac{w}{L}, \frac{h}{L}, \frac{s}{w}, \frac{k}{L}, \beta$ dinyatakan sebagai variabel tetap, sedangkan rasio jarak pelat datar terhadap *bus model* (c/L) atau lebih dikenal dengan *ground clearance* serta rasio jarak profil kecepatan aliran dengan panjang model (x/L) divariasikan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi dari kedua variabel tersebut terhadap koefisien *drag* (C_D) pada benda uji (*bus model*). Dengan demikian, persamaan (3.8) dapat ditulis :

$$\frac{\Delta p}{\rho U_\infty^2} = f_3\left(\frac{c}{L}, \frac{x}{L}\right) \quad (3.9)$$

$$C_p = f_3\left(\frac{c}{L}, \frac{x}{L}\right) \quad (3.10)$$

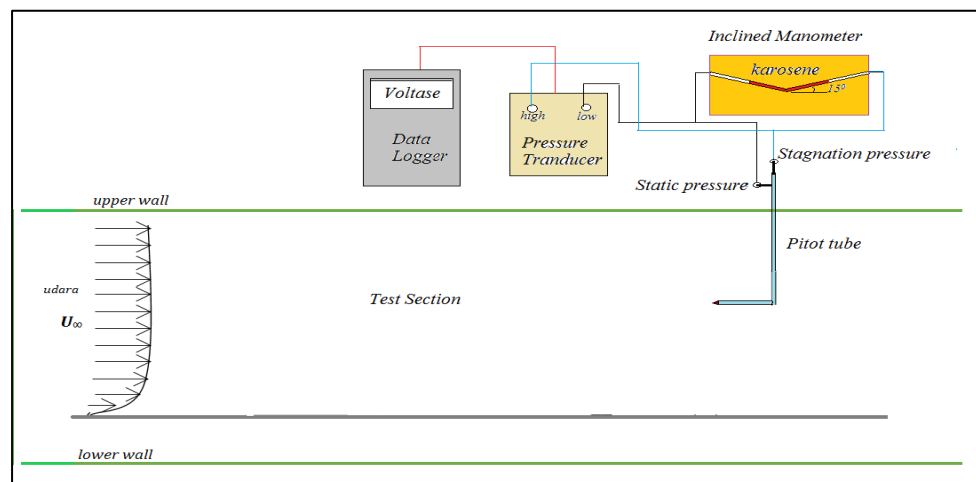
3.4 Langkah Kerja

3.4.1 Proses Validasi Pengukuran *Manometer* dan *Pressure Transducer*

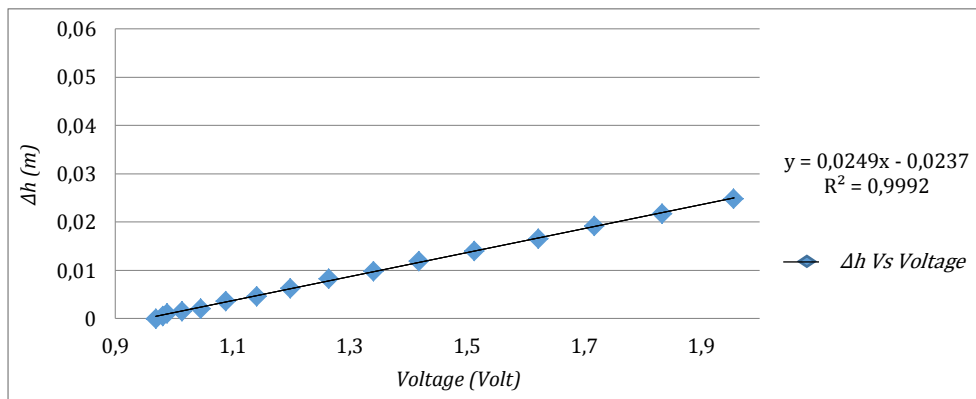
Untuk keakuratan data, maka dilakukan validasi pengukuran antara data hasil pengukuran dengan *pressure transducer* dan data hasil pengukuran dengan manometer. Adapun langkah kerja yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Mempersiapkan peralatan dan alat ukur yang digunakan, meliputi *sonic wind tunnel*, *pitot static tube*, *pressure transducer*, *data logger*, selang bercabang, *manometer* dan *termometer*.
2. Memposisikan *pitot static tube* agar terletak tepat di titik tengah *test section* dari *wind tunnel* dengan arah tegak lurus arah aliran menghadap pada *inlet wind tunnel*.
3. Menyambung salah satu ujung masing-masing selang bercabang pada lubang *output* stagnasi dan lubang *output* statis dari *pitot static tube* kemudian masing-masing ujung lainnya ke *manometer* dan *pressure transducer*. Selang bercabang inilah yang menghubungkan *pitot static tube* ke *manometer* dan *pressure transducer* (Gambar 3.9).
4. Mengukur temperatur kerja ruangan dan mencatatnya dalam tabel perhitungan untuk menentukan *properties* dari udara.

5. Membaca nilai awal ketinggian *kerosene oil manometer* dan nilai awal *pressure transducer*.
6. Menghidupkan *fan wind tunnel* pada putaran 100 rpm dengan waktu tunggu 20 detik.
7. Membaca Δh yang terukur pada *manometer* dan mencatatnya dalam tabel perhitungan.
8. Membaca *output pressure transducer* yang sudah diambil nilai rata-rata dari 500 kali per detik pengambilan data pada satu titik melalui *data logger*. Data yang terbaca berupa nilai voltase dalam satuan Volt (V) yang kemudian dicatat dalam tabel perhitungan.
9. Mengubah putaran *fan wind tunnel* dengan kenaikan 100 rpm tanpa mematikan *fan wind tunnel*.
10. Mengulangi langkah pada poin 6 sampai 9 sampai putaran 1500 rpm.
11. Mematikan *fan wind tunnel*.
12. Data Δh dari manometer diproses dalam perhitungan sampai menghasilkan data tekanan dan kecepatan kemudian diplot dengan data arus listrik dari *data logger* kedalam bentuk grafik (Gambar 3.10) untuk mengetahui persamaannya.



Gambar 3.9 Skema Validasi



Gambar 3.10 Grafik hasil validasi *Manometer* dengan *Pressure Tranducer*

3.4.2 Pengambilan Data

Berikut diuraikan tata cara pengambilan data yang dilakukan :

1. Mempersiapkan peralatan yang digunakan, meliputi *sonic wind tunnel*, benda uji (*bus model*) yang sudah terpasang *pressure tap*, dinding datar yang sudah terpasang *pressure tap*, *pressure tranducer*, *data logger*, selang, dan *termometer*.
2. Memasang *selang pressure tap* ke *pressure tranducer*. *Wall pressure tap* yang ada pada *midspan* model dihubungkan ke *pressure tranducer* (lubang *high*), dan lubang *low* pada kondisi atmosfer.
3. Mengukur temperatur kerja ruangan dan mencatatnya dalam tabel perhitungan untuk menentukan *properties* udara.
4. Menghidupkan *fan wind tunnel*.
5. Mengukur tekanan dinamis dengan menggunakan *pitot static tube* yang dipasang ditengah *test section wind tunnel*. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan *freestream* fluida.
6. Mematikan *fan wind tunnel*.
7. Memasang dan mengatur peletakan *bus model* pada *test section*.
8. Mengatur jarak gap *ground clearance* (c/L) = 0,2 atau 20 mm dari pelat datar.
9. Menghidupkan kembali *fan wind tunnel* dengan kecepatan *freestream* yang telah diambil pada langkah poin 4 diatas.

10. Mengukur tekanan statis di sepanjang kontur masing-masing benda uji (*bus model*) dan dinding datar dengan menggunakan *pressure tap* yang dihubungkan ke *pressure transducer*.
11. Mengukur profil kecepatan di belakang *bus model* menggunakan *pitot static tube* yang telah dihubungkan ke *data logger* dengan variasi pergeseran jarak (x/L) masing-masing 5%, mulai $105\%L$ hingga $130\%L$.
12. Mengulangi langkah pada poin 7 sampai 11 untuk variasi jarak c/L tanpa dan dengan menggunakan *diffuser 4 channel* pada *bus model*.
13. Mematikan *fan wind tunnel*.
14. Mengolah data yang telah diperoleh.

3.4.3 Parameter dan Perhitungan Data Kuantitatif

Pengolahan data dilakukan dengan membuat sebuah contoh perhitungan. Untuk contoh perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A. Beberapa data awal yang telah didapatkan untuk melakukan proses perhitungan adalah:

Panjang model (L)	: 480 mm (0,48 m)
Sudut <i>inclined manometer</i> (θ)	: 15°
<i>Specific Gravity karosene oil</i> ($SG_{karosene}$)	: 0,82
Percepatan Gravitasi (g)	: $9,81 \text{ m/s}^2$
Temperatur ruangan dianggap konstan (T)	: 29°C
Massa jenis udara pada $T = 29^\circ\text{C}$ (ρ_{ud})	: $1,182 \text{ kg/m}^3$
Viskositas kinematis udara pada $T = 28,5^\circ\text{C}$ (ν)	: $1,59 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
Massa jenis air pada $T = 29^\circ\text{C}$ (ρ_{H_2O})	: $996,4 \text{ kg/m}^3$

a. Perhitungan untuk pengaturan bukaan *fan* (*blower*)

Pada eksperimen ini digunakan angka Reynolds yang didapat melalui persamaan 3.11 digunakan untuk menentukan kecepatan aliran sebesar 18 m/s.

$$Re = \frac{\rho_{ud} \cdot U_{ref} \cdot L}{\mu} = \frac{U_{ref} \cdot L}{\nu} \quad (3.11)$$

Dimana:

- ρ_{ud} : massa jenis udara (kg/m^3)
- ν : viskositas kinematis udara pada $T = 29^\circ\text{C}$ (kg/m.s)
- μ : viskositas absolut udara pada $T = 29^\circ\text{C}$ (kg/m.s)

U_{ref} : kecepatan *freestream* pada inlet *test section* (m/s)

L : Panjang model (m)

Untuk mendapatkan kecepatan awal (U_{ref}) sebesar 18 m/s, maka dilakukan pengaturan bukaan blower secara manual melalui pengukuran nilai Δh menggunakan persamaan 3.12 sebagai berikut:

$$P_{dinamis} = \rho_{kerosene} \cdot g \cdot \Delta h \quad (3.12)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho_{ud} \cdot (U_{ref})^2 = SG_{kerosene} \cdot g \cdot \Delta h$$

dimana : $\Delta h = \frac{\rho_{ud} \cdot U_{ref}^2}{2 \cdot SG_{kerosene} \cdot \rho_{H2O} \cdot g}$

$$\Delta h = 2 \cdot \Delta y \cdot \sin \theta$$

$$\Delta y = \frac{\Delta h}{2 \cdot \sin \theta} \quad (3.13)$$

Fan yang digunakan pada eksperimen ini adalah fan axial. Untuk mendapatkan kecepatan referensi (U_{ref}) sebesar 18 m/s dilakukan pengaturan bukaan *blower (inverter)* dengan menggunakan *static pressure* dan *stagnation pressure* pada *pitot tube*. Keluaran kedua tekanan tersebut kemudian dihubungkan pada *inclined manometer* secara bersamaan untuk mendapatkan tekanan dinamis. Bukaan tersebut dijadikan acuan dalam pengambilan data distribusi koefisien tekanan (C_p) dan profil kecepatan aliran.

b. Perhitungan *Pressure Coefficient* (C_p)

Perhitungan *wall pressure coefficient* (C_p) disepanjang *midspan* model dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P_s - P_{ref}}{\frac{1}{2} \rho_{ud} \cdot U_{ref}^2} \quad (3.14)$$

dimana:

P_s : tekanan statis pada *wall* model

P_{ref} : tekanan statis referensi pada *freestrem*

ρ_{ud} : massa jenis udara pada saat pengujian ($T = 29^\circ\text{C}$)

U_{ref} : kecepatan referensi pada *freestream* (18 m/s)

Perhitungan P_s

$$\Delta h = \Delta y \cdot \sin \theta$$

$$P_s = \rho_{kerosene} \cdot g \cdot \Delta h = SG_{kerosene} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot \Delta y \sin \theta$$

Perhitungan P_{ref}

$$\Delta h = \Delta y \cdot \sin \theta$$

$$P_{ref} = \rho_{kerosene} \cdot g \cdot \Delta h$$

c. Perhitungan kecepatan lokal

Profil kecepatan diukur pada dalam rentang 103% hingga 130% dari panjang model (L) dengan dan tanpa menggunakan *four channel diffuser* serta variasi ketinggian *ground clearance* ($c/L = 0.04 ; 0,05 ; 0,06$). Perhitungan profil kecepatan dilakukan pada bagian belakang model dan dapat ditulis sesuai persamaan 3.15 sebagai berikut:

$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_o - p_s)}{\rho_{ud}}} \quad (3.15)$$

dimana :

p_o : tekanan stagnasi yang diukur dengan *stagnation pressure tube*

p_s : tekanan statis sejajar dengan *stagnation pressure tube*

ρ_{ud} : massa jenis udara pada $T = 29^\circ C$

d. Perhitungan Intensitas Turbulensi (IT)

Pengambilan data Intensitas turbulensi menggunakan pitot static tube yang dipasang bagian belakang model tepat di *centerline* dari *four channel diffusers*. Analisa intensitas turbulensi ini diperlukan untuk melihat besarnya efek turbulensi aliran setelah melewati *diffuser channels*. Sehingga didapatkan fluktuatif kecepatan disetiap detiknya. *Intensitas turbulensi (IT)* dirumuskan sebagai berikut:

$$IT = \frac{u'}{\bar{U}} \times 100\% \quad (3.16)$$

$$u' = \sqrt{\frac{\sum(\bar{U} - U_n)^2}{n-1}} \quad (3.17)$$

dimana :

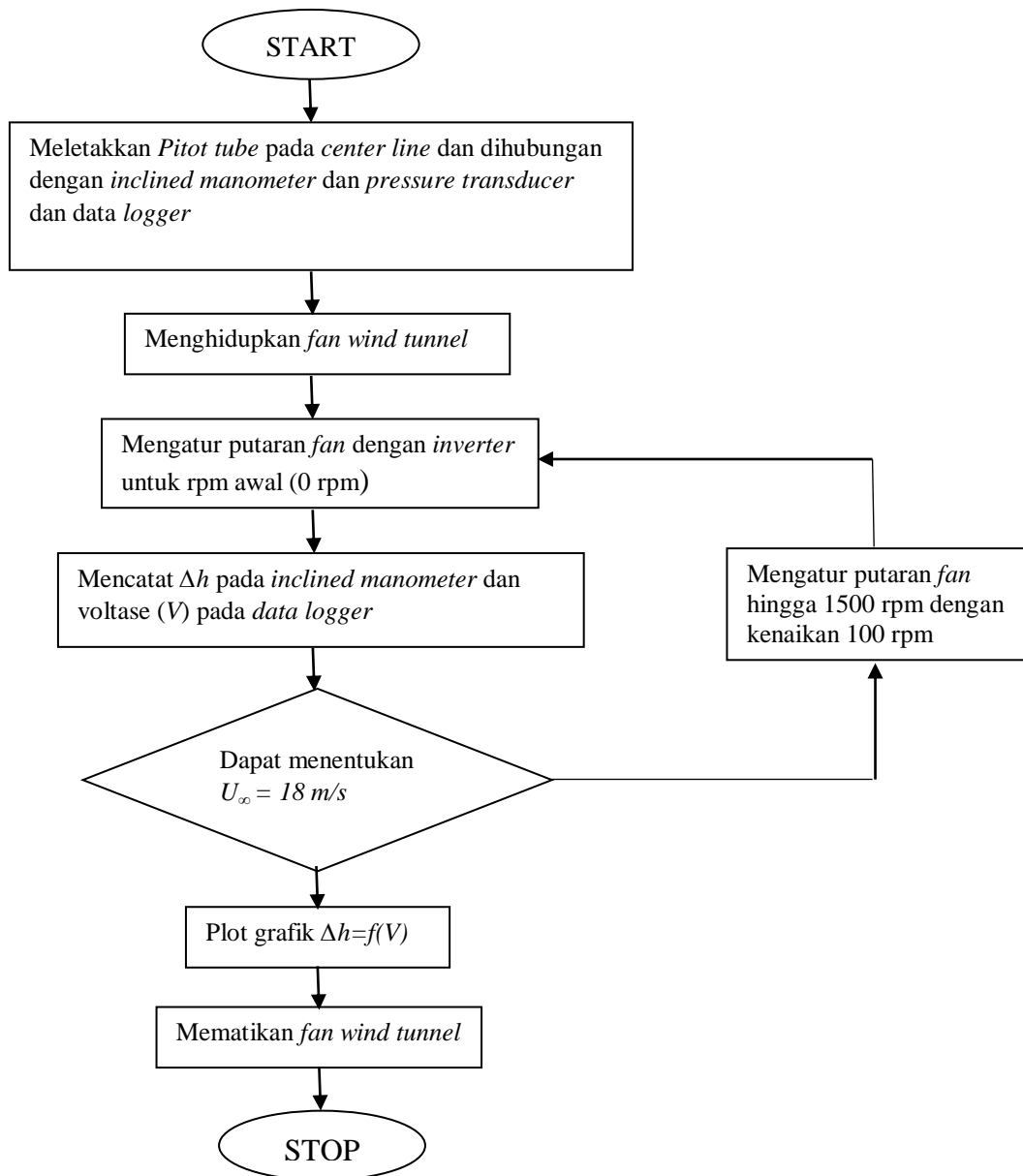
- IT : Intensitas turbulensi
- U_n : Kecepatan pada waktu tertentu (kecepatan lokal) (m/s)
- \bar{U} : Kecepatan rata-rata (m/s)
- u' : Standar deviasi fluktuasi kecepatan (m/s)

3.5 Flowchart Penelitian

Prosedur penelitian eksperimen pada variasi *ground clearance* dengan *four-channel diffusers* ini menggunakan 3 *flowchart* yaitu, *flowchart* kalibrasi *pressure transducer* dan *inclined manometer*, *flowchart* pengukuran *coefficient pressure* dan *flowchart* pengukuran profil kecepatan.

3.5.1 Flowchart Kalibrasi Pressure Transducer dan Inclined Manometer

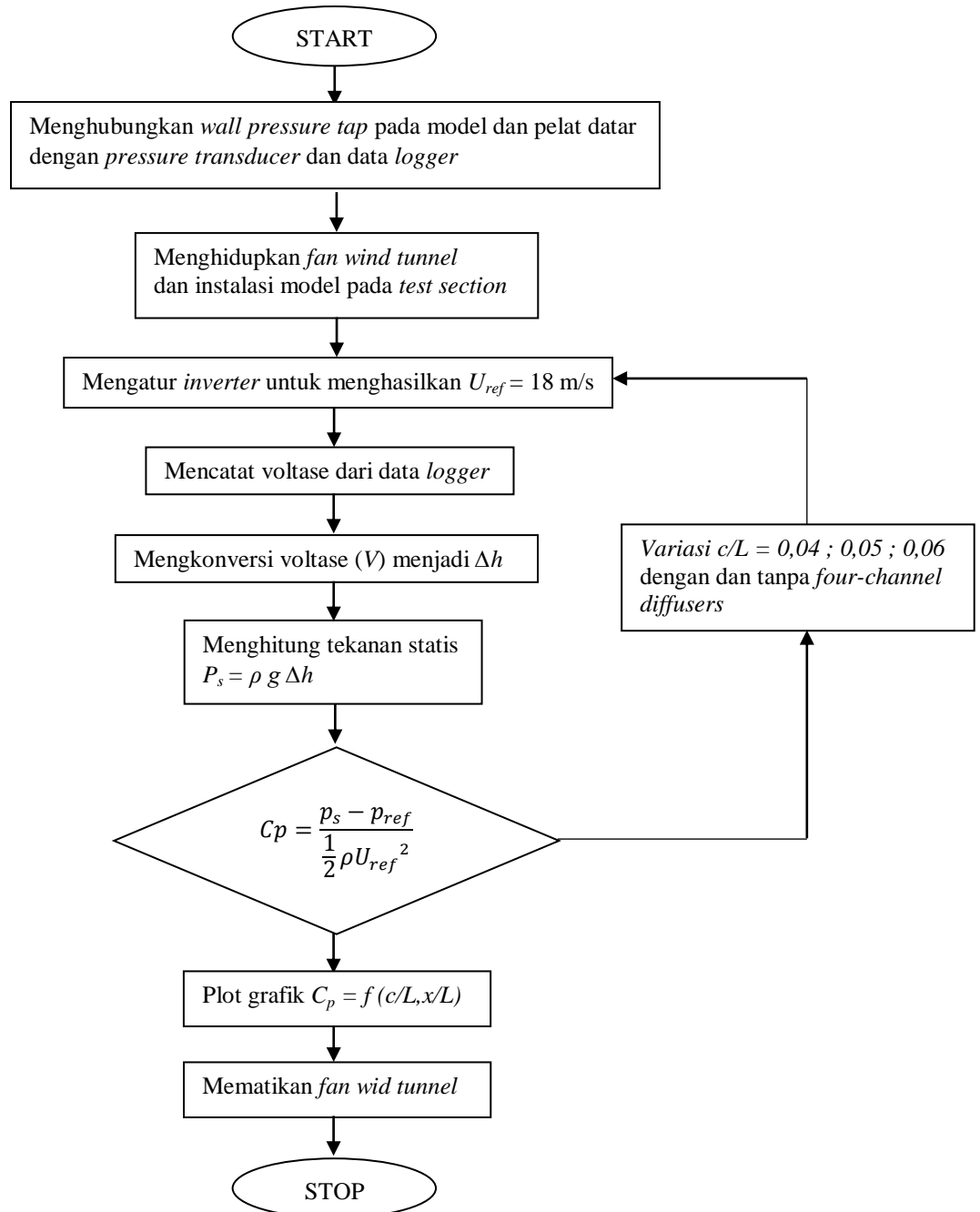
Secara singkat prosedur kalibrasi *Pressure Transducer* dan *Inclined Manometer* dengan menggunakan tekanan dinamis ($1/2 \cdot \rho \cdot U_{\infty}^2$) dapat dijelaskan dengan menggunakan *flowchart* yang ditunjukkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Flowchart kalibrasi Pressure Transducer dan Inclined Manometer

3.5.2 Flowchart Pengukuran Coefficient Pressure (C_p)

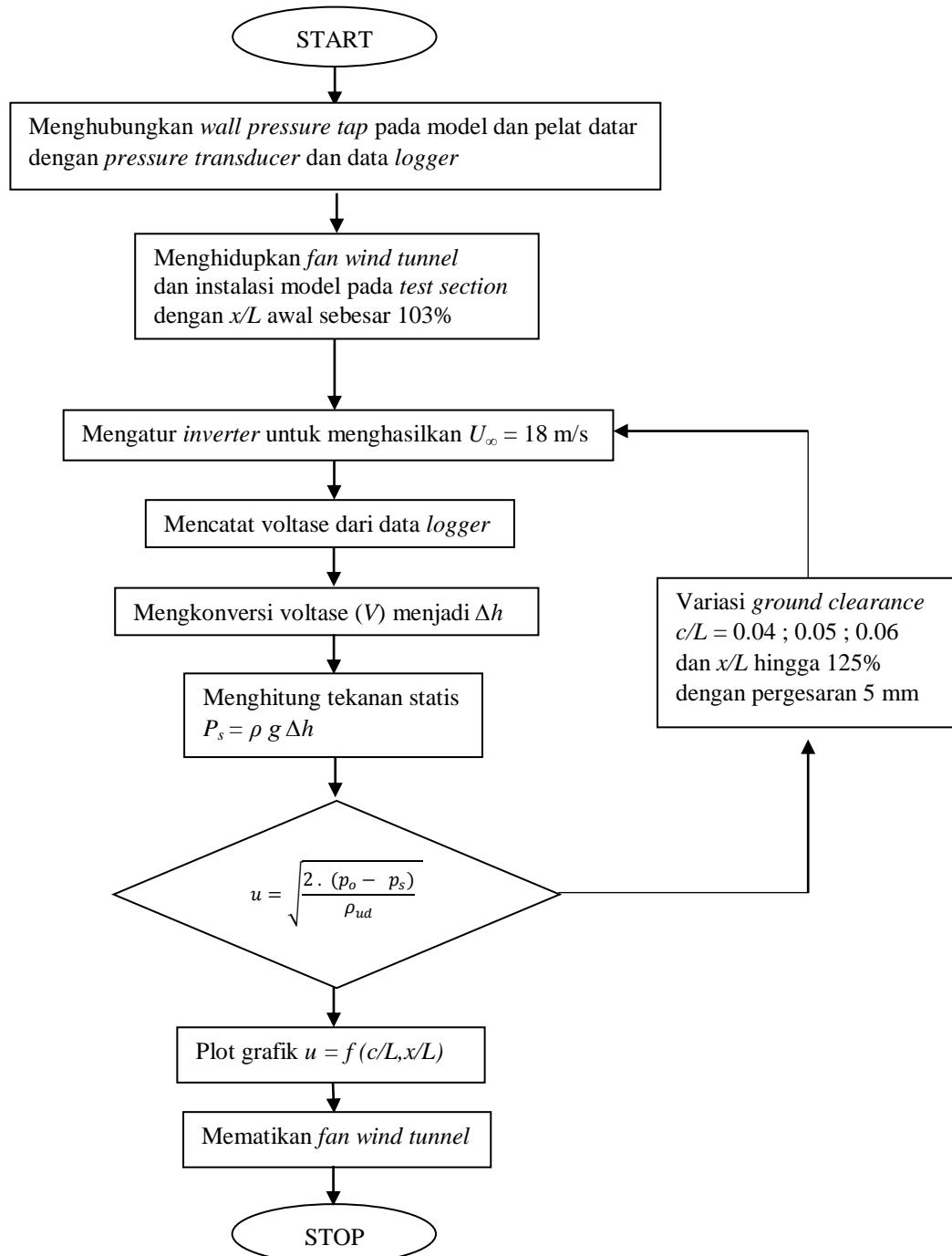
Secara singkat prosedur pengambilan data distribusi tekanan (C_p) di sepanjang *midspan* model dan pelat datar dapat dijelaskan dengan menggunakan *flowchart* yang ditunjukkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Flowchart pengukuran koefisien tekanan (C_p)

3.5.3 Flowchart Pengukuran Profil Kecepatan (u)

Secara singkat prosedur pengambilan data profil kecepatan (u) di bagian belakang model dapat dijelaskan dengan menggunakan *flowchart* yang ditunjukkan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Flowchart pengukuran profil kecepatan

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada eksperimen yang telah dilakukan dalam rangka mengetahui fenomena aliran yang terjadi di bagian belakang model bus melalui modifikasi penambahan *four-channel diffusers* dengan variasi *ground clearance* ($c/L = 0.04 ; 0.05 ; 0.06$) pada $Re = 6,67 \times 10^5$ (konstan) dan sudut *diffuser* (β) yang digunakan adalah 8° , maka pada bab ini diperlihatkan data, grafik dan penjelasan maupun analisa dari fenomena-fenomena aliran yang terjadi. Hasil studi ditampilkan dan dibahas dalam beberapa sub bab melalui parameter-parameter berikut :

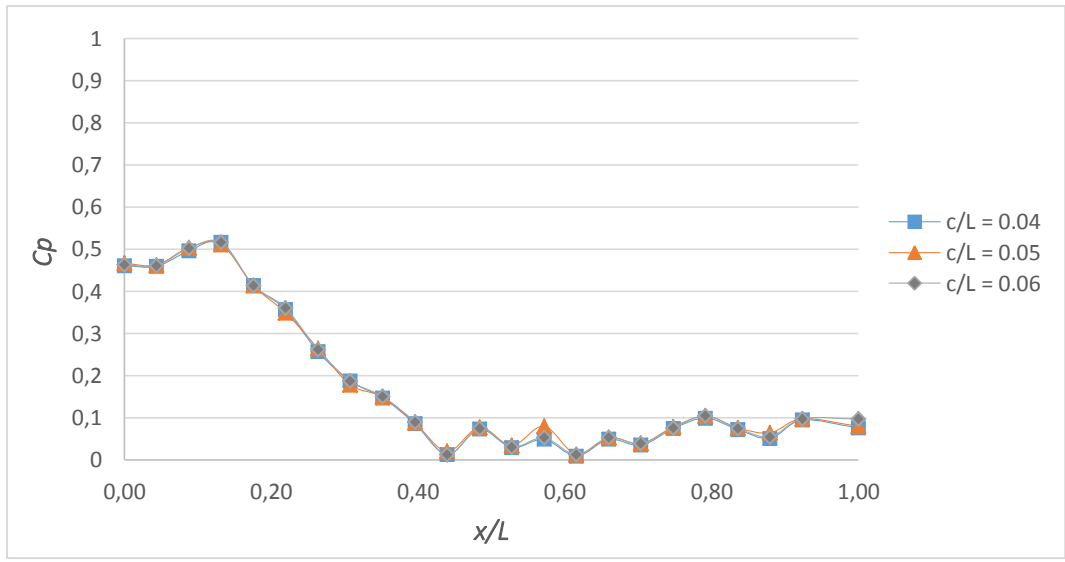
1. *Pressure coefficient* (C_p),
2. Profil kecepatan pada bagian belakang bus,
3. Intensitas turbulensi (IT)
4. Koefisien *drag* total (C_{Dt}).

Untuk penjelasan cara pengolahan data dan contoh perhitungan serta beberapa data lainnya diperlihatkan pada bagian **Lampiran** dari laporan penelitian ini. Secara garis besar pembahasan hasil eksperimen pada penelitian ini difokuskan untuk melihat fenomena aliran khususnya pada bagian bawah dan belakang model dengan dan tanpa menggunakan *four-channel diffusers* melalui parameter-parameter diatas dengan memvariasikan ketinggian *ground clearance*.

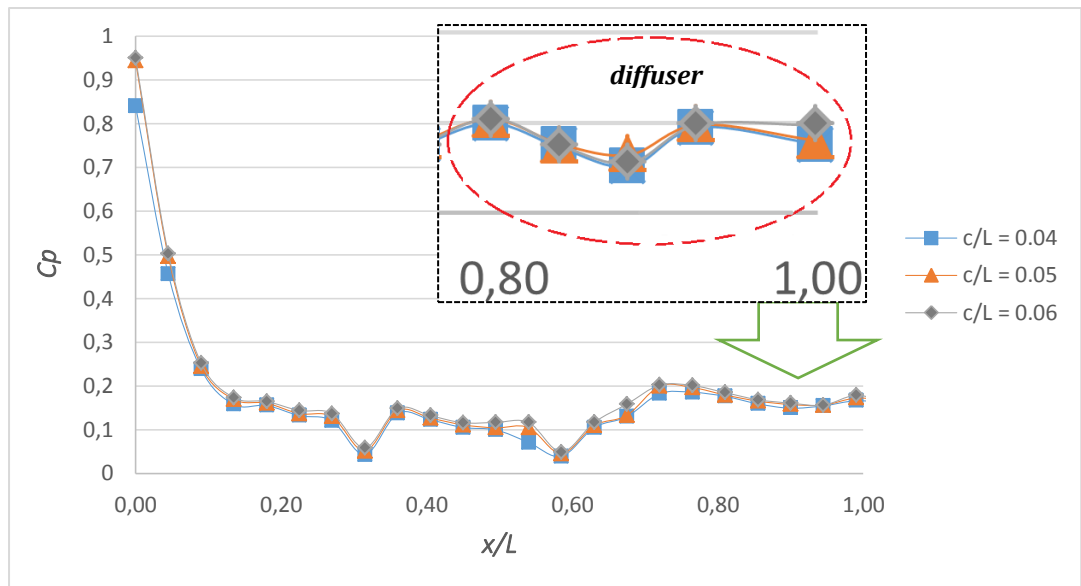
4.1 Analisa Distribusi Tekanan Pada *Midspan Bus Model*

4.1.1 Distribusi Tekanan Pada *Midspan Bus Model* Tanpa Menggunakan *Four-Channel Diffusers*

Distribusi tekanan di sekeliling *midspan* model bus pada 60 titik pengujian ditentukan oleh nilai koefisien tekanan (C_p) yang didapat dengan pengukuran secara tidak langsung dan melalui perhitungan. Pada setiap pengukuran nilai koefisien tekanan juga divariasikan dengan ketinggian *ground clearance* ($c/L = 0,04 ; 0,05 ; 0,06$). Hasil dari nilai C_p yang didapat pada eksperimen ini di plot pada sebuah grafik khususnya pada bagian *upper* dan *lower body* untuk melihat pengaruh variasi *ground clearance* terhadap distribusi tekanan pada model seperti yang ditunjukkan Gambar 4.1 pada hal.48.



(a)



(b)

Gambar 4.1 Grafik distribusi tekanan pada *midspan* model bus tanpa menggunakan *four-channel diffusers* (a) *upper body* (b) *lower body*

Dari grafik diatas memperlihatkan adanya perbedaan nilai C_p pada setiap titik pengujian di bagian *upper* dan *lower body* bus. Secara umum, kontur pada kedua bagian ini dominan mendatar, akan tetapi distribusi tekanan pada permukaannya tidak merata. Di dalam Gambar 4.1(b) memperlihatkan bahwa pada $x/L = 0$ distribusi tekanan pada awalnya sangat tinggi (mendekati titik stagnasi) tetapi secara tiba-tiba mengalami penurunan yang sangat signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa setelah aliran mengalami stagnasi, maka aliran tersebut akan terpecah atau menyebar sehingga distribusi tekanan secara cepat menurun

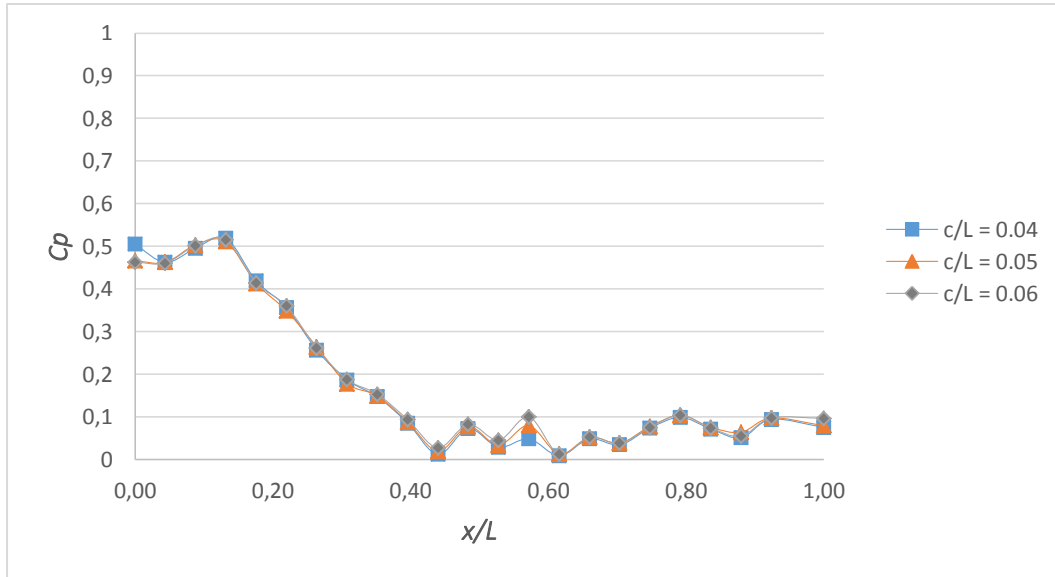
akibat adanya percepatan dari aliran itu sendiri. Fenomena ini tentunya berbeda dengan apa yang terjadi pada sisi *upper body* (Gambar 4.1.a), dimana distribusi tekanannya turun secara perlahan seiring dengan meningkatnya nilai x/L . Penurunan distribusi tekanan pada bagian ini tentu akibat adanya percepatan aliran dan selanjutnya momentum aliran fluida hanya dipengaruhi oleh gaya geser terhadap bodi akibat viskositas.

Fenomena-fenomena ini membuktikan bahwa aliran fluida berusaha mengikuti kontur dari suatu bodi yang dilaluinya, akan tetapi akibat adanya efek kumulatif dari tekanan balik (*back flow*) dan tegangan geser atau dapat disebutkan sebagai *adverse pressure gradient* yang disebabkan oleh kontur bodi itu sendiri mengakibatkan distribusi tekanan di sekeliling bodi tidak merata.

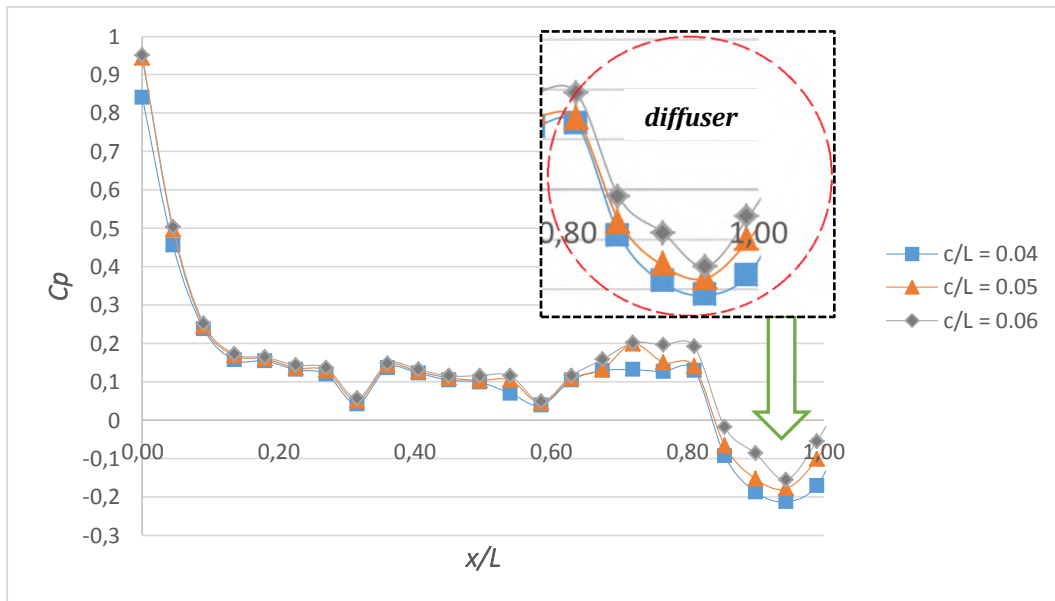
Pada variasi *ground clearance* (c/L) yang dilakukan, terlihat nilai c/L yang semakin rendah menyebabkan distribusi tekanan juga semakin kecil, khususnya pada sisi bodi bagian bawah. Jika dilihat pada daerah *diffuser* yang diperbesar (terdiri dari 5 titik pengujian) pada Gambar 4.1(b), nilai $c/L = 0,04$ secara umum memiliki distribusi tekanan yang rendah jika dibandingkan dengan nilai $c/L = 0,05$ dan $0,06$. Hal ini memperlihatkan bahwa aliran akan mengalami percepatan jika melewati celah yang lebih sempit sehingga momentum yang dihasilkannya semakin besar.

4.1.2 Distribusi Tekanan Pada *Midspan Bus Model* Dengan Menggunakan *Four-Channel Diffusers*

Distribusi tekanan pada bagian *upper body* secara umum memperlihatkan tren yang sama dengan hasil sebelumnya yaitu tanpa menggunakan *four-channel diffusers*. Namun, pada posisi *diffuser* ($x/L = 0,8 - 1,0$) dalam 5 buah titik pengujian, terjadi suatu fenomena aliran yang mengakibatkan penurunan distribusi yang signifikan tekanan pada daerah tersebut, seperti yang ditunjukkan grafik C_p pada Gambar 4.2 pada hal.50.



(a)



(b)

Gambar 4.2 Grafik distribusi tekanan pada *midspan* model bus dengan menggunakan *four-channel diffusers* (a) *upper body* (b) *lower body*

Dari grafik diatas pada Gambar 4.2(b) memperlihatkan dengan adanya penambahan *device* pada bagian belakang model berupa *four-channel diffusers*, aliran mengalami percepatan yang mengakibatkan terjadi penurunan distribusi tekanan di daerah *diffuser*. Penurunan distribusi tekanan ini mengindikasikan bahwa defisit momentum aliran mengalami penurunan. Hal ini tentunya diharapkan dapat memecah *wake* atau daerah *recirculation zone* yang terjadi di belakang bodi.

Selain itu, penurunan nilai C_p yang terjadi pada *diffuser* tentunya di dominasi oleh pengaruh *ground clearance* (c/L) yang divariasikan, baik model dengan menggunakan *four-channel diffusers* maupun model standarnya. Secara rinci pengaruh variasi ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1. Nilai C_p pada daerah *diffuser* dengan variasi *ground clearance*

Model	Ground clearance (c/L)	Koefisien tekanan (C_p)				
		$x/L = 0,80$	$x/L = 0,85$	$x/L = 0,90$	$x/L = 0,95$	$x/L = 1,0$
Tanpa <i>four-channel</i> <i>diffuser</i>	0,04	0,1591	0,1490	0,1544	0,1661	0,1606
	0,05	0,1653	0,1575	0,1560	0,1723	0,1628
	0,06	0,1684	0,1606	0,1562	0,1785	0,1646
Dengan <i>four-channel</i> <i>diffuser</i>	0,04	0,10931	-0,1862	-0,2118	-0,1699	-0,0830
	0,05	0,10660	-0,1521	-0,1777	-0,1009	-0,0310
	0,06	0,10179	-0,0861	-0,1544	-0,0543	-0,0140

Secara umum, *diffuser* pada kendaraan dirancang guna memperbesar distribusi tekanan pada bagian belakang bodi demi mereduksi perbedaan tekanan antara sisi depan (*fore body*) dan sisi belakang (*rear body*). Hal ini diperlukan agar bagian belakang bodi tidak mengandung *wake* yang berlebihan atau *recirculation zone* pada daerah tersebut. Kondisi ini tentunya sangat merugikan bagi setiap kendaraan yang sedang melaju terutama pada kecepatan tinggi dikarenakan *pressure drag* yang dihasilkan semakin meningkat. Akan tetapi, keberadaan *diffuser* juga dapat meningkatkan defisit momentum aliran akibat perubahan kontur pada bagian bawah bodi sehingga aliran mengalami perlambatan. Oleh sebab itu, dengan penambahan *device* seperti yang dilakukan pada penelitian ini ternyata dapat merubah perilaku aliran dan dapat dianalisa melalui perubahan distribusi tekanan yang dihasilkannya.

4.2 Profil Kecepatan Pada Bagian Belakang Bodi

Pengukuran profil kecepatan pada bagian belakang model dilakukan dalam 38 titik pengujian dengan menggunakan *pitot tube* yang dihubungkan ke data *logger* dengan pergeseran 5 mm ke arah sumbu y positif yang dimulai dari pelat datar ($y/h = 0$) hingga mendekati kecepatan *free stream* diatas *upper body* ($y/h = 1,35$), dimana h adalah tinggi dari model. Dalam eksperimen yang dilakukan, profil kecepatan yang diukur meliputi kondisi 105%, 110%, 115%,

120%, 125% dan 130% dari panjang model (L) dengan memvariasikan ketinggian *ground clearance* (c/L). Namun, sebagai bahan analisa pada bab ini hanya diambil salah satu hasil profil kecepatan yang didapat yaitu pada kondisi $x/L = 115\%$ baik dengan atau tidak menggunakan *four-diffusers channel*. Fenomena aliran yang terjadi akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya. Sedangkan untuk melihat hasil profil kecepatan pada kondisi yang lain dapat dilihat pada **Lampiran B** di laporan ini.

Profil kecepatan pada bagian belakang model diukur berdasarkan besarnya tekanan dinamis (P_d) pada setiap titik pengujian. Dengan mengetahui nilai P_d maka kecepatan lokal (u) dapat dicari melalui korelasi :

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho_{udara} \cdot (u)^2 \quad (4.1)$$

sehingga,

$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_d)}{\rho_{ud}}} \quad (4.2)$$

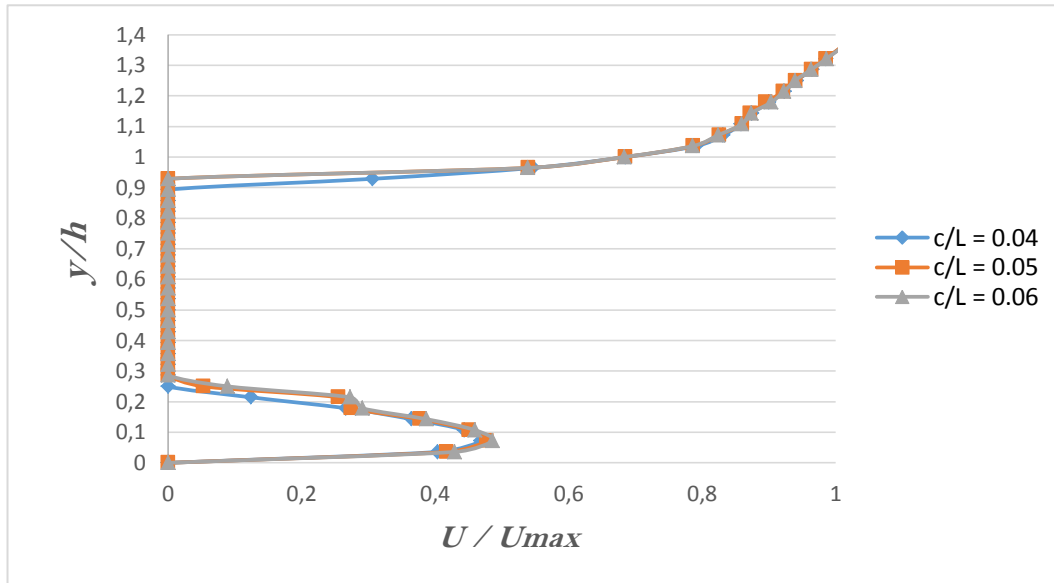
Tekanan dinamis diperoleh melalui persamaan hasil kalibrasi yang menunjukkan korelasi antara Δh pada manometer dengan voltase yang didapat melalui *data logger* sebagaimana yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Jika voltase menunjukkan nilai yang rendah dan kemudian disubstitusikan ke persamaan hasil kalibrasi dan menghasilkan angka yang negatif, hal ini akan menyebabkan nilai Δh pada suatu pengukuran juga akan bernilai negatif. Selanjutnya, melalui korelasi $P_{ref} = \rho_{kerosene} \cdot g \cdot \Delta h$ tentunya tekanan dinamis akan menunjukkan hasil yang negatif. Jika suatu tekanan bernilai negatif, hal ini mengindikasikan adanya vektor aliran dalam arah berlawanan (*back flow*).

Dengan demikian persamaan 4.2 tidak dapat diselesaikan dengan baik, dikarenakan bilangan negatif tidak dapat diakarkan dalam perhitungan secara matematika. Oleh karena itu, tekanan yang bernilai negatif dipastikan memiliki arah kecepatan aliran yang berlawanan dan diasumsikan bernilai nol.

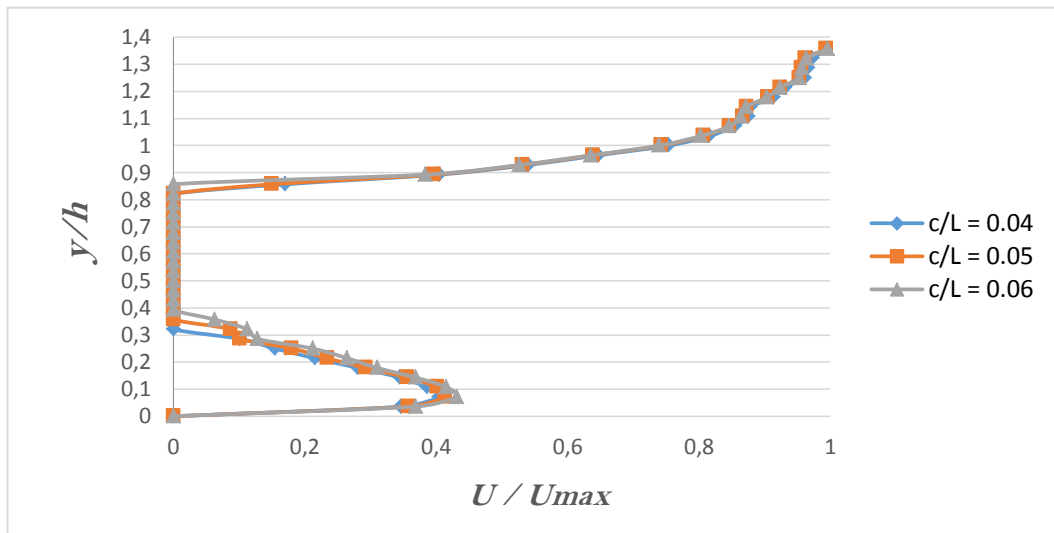
4.2.1 Analisa Profil Kecepatan Dengan dan Tanpa Menggunakan *Four-Channel Diffusers*

Di dalam penjelasan sub bab sebelumnya telah disebutkan bahwa dalam menganalisa seberapa besar pengaruh *four-diffusers channel* terhadap profil

kecepatan yang dihasilkan dengan variasi $c/L = 0,04 ; 0,05 ; 0,06$, maka sub bab ini hanya menampilkan bentuk profil kecepatan pada posisi 115% dari panjang model (L) sebagai bahan analisa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



(a)



(b)

Gambar 4.3 Profil kecepatan di belakang bodi pada $x/L = 115\%$ (a) Model bus tanpa *four-channel diffusers* (b) Model bus dengan *four-channel diffusers*

Bentuk profil kecepatan yang ditunjukkan Gambar 4.3 (a) dan (b) memperlihatkan adanya perbedaan karakteristik aliran pada bagian belakang model tanpa dan dengan menggunakan *four-channel diffusers*. Profil kecepatan tanpa menggunakan *four-channel diffusers* memiliki daerah *back flow* atau

recirculation zone yang lebih besar, mulai dari $y/h = 0,25$ hingga $0,95$. Hal ini menunjukkan bahwa defisit momentum aliran pada bagian belakang bodi semakin besar. Sedangkan bentuk profil kecepatan dengan menggunakan *four-channel diffusers* memiliki daerah *wake* atau *recirculation zone* yang lebih kecil, hanya pada $y/h = 0,30$ hingga $0,85$. Disisi lain, dengan variasi ketinggian *ground clearance* (c/L) yang dilakukan, pada nilai $c/L = 0,04$ aliran lebih cepat mengalami *back flow* pada bagian belakang bodi dibandingkan variasi nilai c/L lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa momentum aliran yang dihasilkan dari bagian bawah bodi bergantung pada besar kecilnya celah (*gap*) yang diberikan.

Fenomena ini memperlihatkan bahwa dengan penambahan *device* pada suatu bodi kendaraan dapat merubah karakteristik aliran yang melewatinya dan hal ini bergantung pemanfaatan aliran setelah melalui *device* tersebut.

4.3 Intensitas Turbulensi Pada Bagian Belakang Model Bus

Pengukuran intensitas turbulensi dilakukan dengan menggunakan *pitot tube* yang dipasang bagian belakang model tepat di *centerline* dari *four channel diffusers*. Parameter intensitas turbulensi ini diperlukan untuk melihat besarnya efek keacakan aliran setelah melewati *diffuser channels*. Hal ini dapat ditinjau dari fluktuasi kecepatan di setiap detiknya. Pada eksperimen ini data kecepatan lokal (U_n) diambil 1000 *sample* dalam satu kali pengukuran melalui data *logger*. *Intensitas turbulensi* (IT) dirumuskan sebagai berikut:

$$IT = \frac{u'}{\bar{U}} \times 100\% \quad (4.3)$$

$$u' = \sqrt{\frac{\sum(\bar{U} - U_n)^2}{n-1}} \quad (4.4)$$

dimana :

IT : Intensitas turbulensi

U_n : Kecepatan pada waktu tertentu (kecepatan lokal) (m/s)

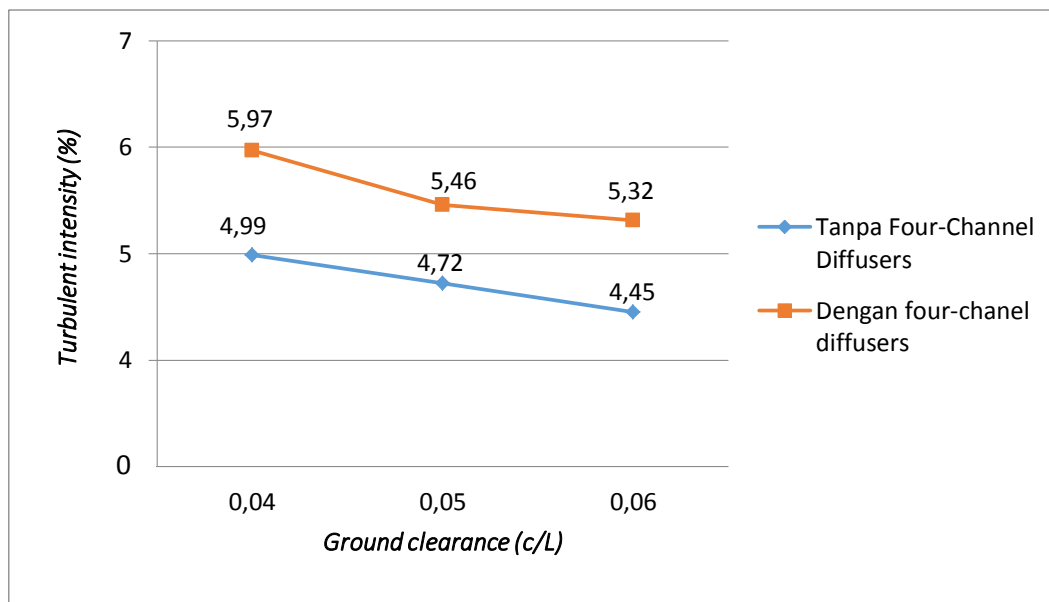
\bar{U} : Kecepatan rata-rata (m/s)

u' : Standar deviasi fluktuasi kecepatan (m/s)

4.3.1 Analisa Intensitas Turbulensi (IT) Pada Bagian Belakang Model Bus Dengan dan Tanpa Menggunakan *Four-Channel Diffusers*

Intensitas turbulensi pada bagian belakang model dipengaruhi oleh kecepatan aliran yang dihasilkan setelah melewati bodi tersebut. Aliran yang menghantam bagian depan (*fore body*) diasumsikan seragam, sementara aliran yang melauhi atau melintasi berbagai sisi bodi tentunya memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Untuk itu, pengukuran intensitas turbulensi hanya difokuskan pada daerah *diffuser* dari model demi melihat seberapa besar pengaruh *four-channel diffusers* yang terpasang dan *ground clearance* yang divariasikan.

Pada model bus yang menggunakan *four-channel diffusers*, pengukuran dilakukan tepat di ujung *diffuser channels* dan pada posisi *centreline* dari *channel* tersebut. Pada umumnya, aliran yang melewati *channel-channel* tersebut memiliki karakteristik aliran yang sama, sehingga pada penelitian ini pengukuran intensitas turbulensi hanya dilakukan pada satu *channel* yaitu pada *channel* yang ke-2. Hasil pengukuran intensitas turbulensi (IT) dari kedua model ini dapat ditunjukkan pada grafik dalam Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Grafik Intensitas turbulensi dengan variasi *c/L* pada model tanpa dan dengan menggunakan *four-channel diffusers*

Berdasarkan grafik intensitas turbulensi yang ditampilkan pada Gambar 4.4 menunjukkan fluktuasi kecepatan yang tinggi apabila ketinggian *ground clearance* (c/L) diperkecil. Pada model bus standar (tanpa *four-channel diffusers*), dengan $c/L = 0,04$ intensitas turbulensinya mencapai 4,99%, sedangkan pada $c/L = 0,05$ dan $0,06$ memiliki nilai *IT* masing-masing sebesar 4,720% dan 4,45%. Hal ini memperlihatkan bahwa intensitas turbulensi dominan meningkat pada saat pengukuran dilakukan berada diantara dua *wall* (dinding) yaitu *wall* lintasan (pelat datar) dan *lower wall* pada model. Fenomena ini menggambarkan pengaruh atau efek tegangan geser pada dinding maupun viskositas fluida terhadap kecepatan aliran.

Selanjutnya, fluktuasi kecepatan yang terjadi pada model dengan menggunakan *four-channel diffusers* terlihat lebih besar dibandingkan model tanpa menggunakan *device* ini. Hal ini ditunjukkan oleh nilai intensitas turbulensinya yang dominan lebih tinggi. Peristiwa meningkatnya turbulensi aliran dikarenakan pengukuran dilakukan tepat diantara dua *wall channel* dan *ground clearance* dari model, sehingga fluktuasi kecepatan meningkat akibat pengaruh gesekan fluida dengan lintasan (pelat datar) dan *lower wall* dari model maupun *diffuser channel* itu sendiri. Disisi lain, ketika fluida memasuki lorong atau *channel* yang terpasang, aliran mengalami percepatan sehingga menyebabkan kecepatannya cenderung meningkat dari sebelumnya. Fenomena ini memiliki kesamaan dengan prinsip kerja dari sebuah *nozzle*, dimana semakin luasan *inlet* aliran diperkecil maka kecepatannya semakin meningkat.

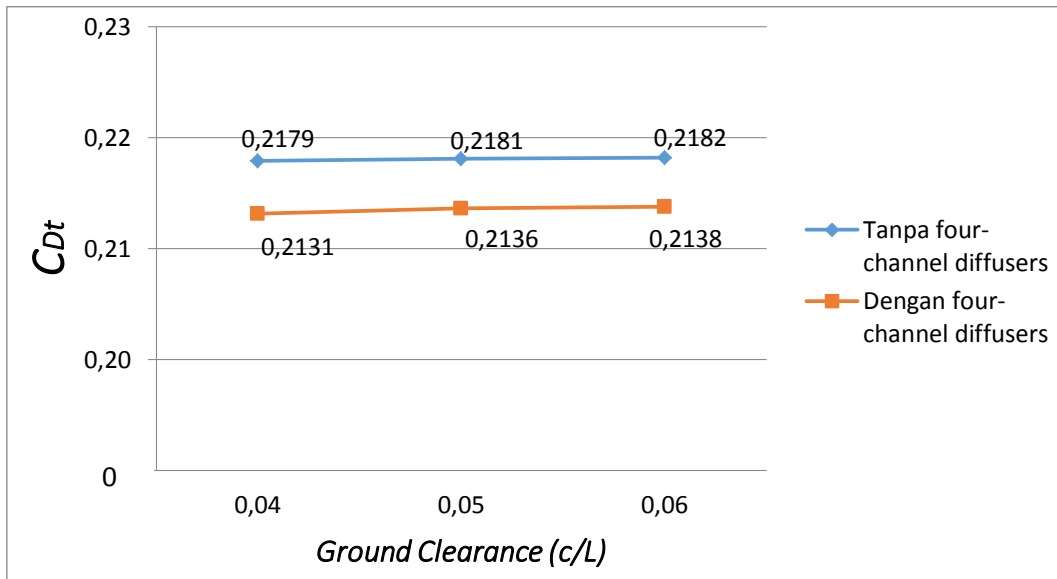
4.4 Analisa Hasil Perhitungan Koefisien *Drag* Tanpa dan Dengan Menggunakan *Four-Channel Diffusers*

Pada penelitian ini, perhitungan koefisien *drag* dilakukan berdasarkan selisih dari defisit momentum aliran. Dengan mengetahui profil kecepatan pada posisi tertentu (dalam penelitian ini digunakan profil kecepatan pada kondisi $130\%L$), maka besarnya koefisien *drag* secara total (C_{Dt}) dapat dihitung dengan persamaan :

$$C_{Dt} = \frac{4}{L_{model}} \int_0^a \left(1 - \left[\frac{u(y)}{U_{\infty}} \right]^2 \right) dy \quad (4.5)$$

dimana $u(y)$ merupakan kecepatan yang diukur ke arah sumbu y dan U_∞ adalah kecepatan *free stream* serta L merupakan panjang dari model atau benda uji.

Melalui persamaan 4.5 yang digunakan dalam mencari nilai parameter ini, maka didapatkan hasil perhitungan yang ditampilkan pada grafik nilai C_{Dt} dalam Gambar 4.5 dengan setiap variasi *ground clearance* ($c/L = 0,04 ; 0,05 ; 0,06$) baik menggunakan *four-channel diffuser* maupun tanpa menggunakan *device* ini.



Gambar 4.5 Grafik hubungan C_{Dt} dengan variasi *ground clearance* (c/L) dengan dan tanpa menggunakan *four-channel diffusers*

Melalui hasil analisa grafik diatas, nilai koefisien *drag* (C_{Dt}) dominan menurun seiring diperbesarnya ketinggian *ground clearance* (c/L). Pada eksperimen yang dilakukan, nilai $c/L = 0,04$ memiliki koefisien *drag* paling rendah yaitu 0,2179 dan 0,2131 dengan menggunakan *four-channel diffusers*. Fenomena ini menunjukkan, jika ruang gerak suatu aliran diperkecil, maka aliran tersebut akan mengalami percepatan. Percepatan yang terjadi akan memicu distribusi tekanan statik disekitar penampang menjadi menurun, sebagaimana ditegaskan dalam persamaan Bernoulli. Selain itu, percepatan aliran yang terjadi menyebabkan defisit momentum aliran berkurang, khususnya pada bagian bawah dan belakang bodi.

Disisi lain, dengan adanya penambahan *device* berupa *four-channel diffusers*, aliran yang awalnya telah mengalami percepatan pada bagian bawah

bodi dengan kondisi $c/L = 0,04$ menjadi lebih meningkat. Hal ini dibuktikan dengan defisit momentum aliran pada bagian belakang bodi (*rear body*) semakin berkurang. Fenomena ini tentunya menjadi indikator yang menyebabkan gaya *drag*, khususnya *drag* akibat perbedaan tekanan (*pressure drag*) menjadi lebih tereduksi. Dengan kata lain, secara tidak langsung daerah *wake* atau *recirculation zone* yang terbentuk di belakang bodi dapat dipecah atau diminimalisir dengan keberadaan *four-channel diffusers*.

Selanjutnya, persentase pengurangan *drag* yang terjadi dengan model yang menggunakan *four-channel diffusers* dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan koefisien *drag* total (C_{Dt})

<i>Model</i>	c/L	C_{Dt}	<i>% drag reduction</i>
Tanpa <i>four-channel diffusers</i>	0,04	0,217869	
	0,05	0,218089	
	0,06	0,218168	
Dengan <i>four-channel diffusers</i>	0,04	0,213146	2,16%
	0,05	0,213628	2,05%
	0,06	0,213759	2,02%

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 diatas, model dengan *four-channel diffusers* berhasil mereduksi *drag* sebesar 2,16% dari model standarnya (tanpa *four-channel diffusers*) pada nilai $c/L = 0,04$ yang sama. Sementara, dengan nilai $c/L = 0,05$ dan $0,06$ masing-masing mampu mereduksi *drag* sebesar 2,05% dan 2,02% dari model standarnya. Dengan demikian, melalui hasil analisa dan perhitungan dari beberapa parameter yang telah dibahas sebelumnya, maka penelitian ini merekomendasikan penggunaan *four-channel diffusers* dengan ketinggian *ground clearance* yang minimal. Secara umum, aplikasi *device* ini sering ditemukan pada mobil balap seperti *Formula 1*, namun perangkat ini ternyata memiliki keefektifan juga apabila diaplikasikan pada kendaraan jenis bus, khususnya bus antar kota yang memiliki kecepatan rata-rata diatas 60 km/jam.

4.5 Diskusi

Melalui penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh **Jowsey & Passmore** [4] pada jurnal yang berjudul “*experimental study of multiple-channel automotive underbody diffusers*” menunjukkan hasil C_L/C_D yang minimal yaitu $\pm -0,55$ pada *diffuser* dengan menggunakan 4 *channel* pada sudut *diffuser* berkisar 7^0 hingga 13^0 . Pemasangan *multi-channels* juga memberikan dampak positif dengan meningkatnya *downforce* (*lift* negatif) sekitar 13% pada suatu kendaraan. Hal ini tentunya memberikan kestabilan dalam mengemudi bagi penggunanya terutama jika melaju dengan kecepatan tinggi. Selain itu, keberadaan *multiple-channel diffusers* juga mempercepat aliran pada bagian bawah bodi kendaraan, sehingga defisit momentum alirannya berkurang. Dengan demikian, daerah *wake* yang terbentuk di belakang bodi menjadi mengecil akibat momentum aliran semakin meningkat. Fenomena ini juga menunjukkan secara tidak langsung bahwa *drag* yang diakibatkan perbedaan tekanan dapat direduksi.

Dalam eksperimen yang telah dilakukan memiliki perbedaan dengan apa yang dilakukan **Jowsey & Passmore** [4]. Hal ini terkait dengan prinsip pemasangan *multi-channel diffusers* pada bagian belakang kendaraan. Penelitian sebelumnya melakukan pengujian dengan menutup bagian samping *diffuser* yang sejajar dengan *lower body*, sementara pada penelitian ini tidak menutup bagian tersebut. Pemodelan seperti ini bertujuan guna memberikan efek turbulensi yang lebih besar dengan mempertemukan aliran dari samping dengan aliran yang berasal dari bawah bodi. Efek turbulensi yang semakin besar diharapkan dapat menjadi indikator dalam memecah atau mereduksi daerah *wake* di bagian belakang bodi tersebut. Hasil dari penelitian ini menunjukkan dampak positif dari apa yang telah direncanakan. Hal ini dibuktikan dengan nilai koefisien drag menjadi menurun sebesar 2,16% dari model standarnya (tanpa menggunakan *four-channel diffusers*).

LAMPIRAN

Lampiran A

Contoh perhitungan

Dalam perhitungan yang dilakukan untuk beberapa parameter, maka digunakan asumsi-asumsi terhadap fluida yaitu aliran *steady* dan *incompressible* dan kecepatan *freestream* (U_∞) konstan yaitu 18 m/s.

- a. Menghitung densitas udara (ρ_{udara}) pada saat pengujian

Untuk menghitung massa jenis udara pada pengujian, maka digunakan persamaan Boyle-Gay Lussac, yaitu :

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

dengan ; $V = \frac{m}{\rho}$, sehingga :

$$\frac{p_1 m_1}{T_1 \rho_1} = \frac{p_2 m_2}{T_2 \rho_2}$$

dimana ;

p_1 = Tekanan udara standar ($1,01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2$)

T_1 = Temperatur udara pada keadaan p_1 (288,2 K)

m_1 = Massa udara pada kondisi standar (kg)

ρ_1 = Densitas udara standar ($1,225 \text{ kg/m}^3$)

p_2 = Tekanan udara pada saat pengujian (Pa)

T_2 = Temperatur udara pada saat pengujian ($29^0 \text{ C} = 302 \text{ K}$)

m_2 = Massa udara pada saat pengujian (kg)

ρ_2 = Densitas udara standar pada saat pengujian (kg/m^3)

Kondisi pengujian dengan kondisi standar dilakukan pada ketinggian yang sama, sehingga parameter $p_1 = p_2$ sedangkan massa udara dianggap konstan ($m_1 = m_2$). Dengan demikian, persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi :

$$\rho_2 = \frac{T_2 \rho_1}{T_1}$$

$$\rho_2 = \frac{288,2 \text{ K} \times 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{302 \text{ K}} = 1,169 \text{ kg/m}^3$$

b. Menghitung viskositas dinamik udara (μ)

Untuk menghitung viskositas udara digunakan persamaan *Sutherland* sebagai berikut :

$$\mu_{\text{pengujian}} = \frac{b \times (T_{\text{pengujian}})^{0,5}}{1 + \frac{S}{T_{\text{pengujian}}}}$$

dimana untuk udara berlaku : $b = 1,458 \times 10^{-6} \text{ kg/m.s.K}^{0,5}$

$$S = 110,4 \text{ K}$$

sehingga,

$$\mu_{\text{pengujian}} = \frac{1,458 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m.s.K}^{0,5}} \times (302 \text{ K})^{0,5}}{1 + \frac{110,4 \text{ K}}{302 \text{ K}}} = 1,8641 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$$

c. Menghitung Reynolds number (Re)

Dengan mengetahui kecepatan *freestream* (U_{∞}) konstan yaitu 18 m/s, maka Reynolds number dapat dihitung dengan persamaan :

$$Re = \frac{\rho_2 \cdot U_{\infty} \cdot L_{\text{model}}}{\mu}$$

dimana $L_{\text{model}} = 480 \text{ mm} = 0,48 \text{ m}$

sehingga :

$$Re = \frac{1,182 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 18 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,48 \text{ m}}{1,8641 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}} = 6,67 \times 10^5$$

d. Perhitungan *Pressure Coefficient* (C_p)

Sebagai contoh perhitungan untuk menentukan nilai C_p pada *wall* model diambil sebuah sampel data dari model tanpa menggunakan *four-channel diffuser* pada $c/L = 0,04$ dan $x/L = 0,0$.

- Tekanan statis pada kontur lokal (P_s)

Dari hasil kalibrasi tekanan statis antara manometer dengan *pressure transducer*, maka didapat persamaan kalibrasi :

$$\Delta h = 0,0188 (i) \times 0,0044$$

dimana i = besarnya voltase yang dikeluarkan *pressure transducer*

Jika voltase = 4,597 V, maka $\Delta h = 0,082$ m, sehingga :

$$P_s = SG_{kerosene} \cdot \rho_{air} \cdot g \cdot \Delta h$$

$$P_s = 0,82 \times 996 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,082 \text{ m}$$

$$P_s = 657,175 \text{ N/m}^2$$

- Tekanan statis pada *free stream* (P_{ref})

Dengan persamaan kalibrasi yang telah dituliskan pada perhitungan tekanan statis sebelumnya maka perhitungan P_{ref} dapat ditulis :

$$P_{ref} = SG_{kerosene} \cdot \rho_{air} \cdot g \cdot \Delta h$$

dimana Δh didapat melalui *voltase* yang ditunjukkan pada kecepatan *freestream* (18 m/s) yang diukur dengan *pitot static tube*.

Pada kecepatan *freestream* voltase yang ditunjukkan *pressure transducer* adalah 3,318 V, maka $\Delta h = 0,06$ m. Sehingga :

$$P_{ref} = 0,82 \cdot 996 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,06$$

$$P_{ref} = 480,943 \text{ N/m}^2$$

- Tekanan dinamis pada *free stream* (P_d)

$$P_d = 1/2 \cdot \rho_{udara} \cdot U_{\infty}^2$$

$$P_d = 1/2 \cdot (1,182 \text{ kg/m}^3) \cdot (18 \text{ m/s})^2$$

$$P_d = 194,11 \text{ N/m}^2$$

Dengan demikian C_p dapat dihitung dengan persamaan :

$$C_p = \frac{P_s - P_{ref}}{\frac{1}{2} \cdot \rho_{ud} \cdot U_{ref}^2} = \frac{(657,175 - 480,943) \frac{N}{m^3}}{194,11 \frac{N}{m^2}} = 0,907$$

- e. Menentukan kecepatan lokal (u)

Untuk menghitung kecepatan lokal dapat dicari melalui persamaan tekanan dinamik. Sebagai contoh diambil data pada model dengan four-channel diffusers dengan $c/L = 0,04$ dan $y/L = 0,002$ dimana tekanan dinamis lokalnya adalah $18,59 \text{ N/m}^2$. Dengan demikian, kecepatan lokal dapat dihitung :

$$P_d = \frac{1}{2} \rho \cdot u^2 \quad \text{maka :} \quad u = \sqrt{\frac{2 \cdot P_d}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \times 18,59 \text{ N/m}^2}{1,182 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 5,618 \text{ m/s}$$

f. Menghitung koefisien *drag* (C_{Dt})

Untuk menghitung koefisien *drag* total dilakukan berdasarkan perbedaan defisit momentum aliran, dengan persamaan :

$$C_{Dt} = \frac{4}{L_{model}} \int_0^a \left(1 - \left[\frac{u(y)}{U_\infty} \right]^2 \right) dy$$

Dalam menyelesaikan persamaan integral diatas, maka digunakan metode numerik aturan *Simpson 1/3 segmen berganda*.

$$I \cong \underbrace{(b-a)}_{lebar} \underbrace{\frac{f(x_0) + 4 \sum_{i=1,3,5}^{n-1} f(x_i) + 2 \sum_{j=2,4,6}^{n-2} f(x_j) + f(x_n)}{3n}}_{Tinggi \text{ rata-rata}}$$

dimana :

$b - a$ = Lebar atau rentang data

$f(x_0)$ = Data pertama dan $f(x_n)$ = data terakhir

n = jumlah data

$f(x_i)$ adalah perkalian dari fungsi data gasal dimana $i = 1,3,5 \dots, n-1$.

$f(x_j)$ adalah perkalian dari fungsi data genap dimana $j = 2,4,6 \dots, n-2$.

Sebagai contoh, dalam hal ini perhitungan koefisien *drag* dicari berdasarkan data profil kecepatan pada posisi 130%L, $c/L = 0,04$ dengan model yang menggunakan *four-channel diffusers*. Data hasil perhitungan kecepatan lokal yang ditunjukkan pada Tabel berikut.

U (m/s)	4/L	(U/Uinf)^2	1-(U/Uinf)^2	Data genap	Data Ganjil
8,047275	8,333333	0,199872345	0,800127655		
8,234502		0,209280918	0,790719082	3,162876328	
8,477707		0,221825682	0,778174318		1,556348637
8,089256		0,201963139	0,798036861	3,192147444	
7,502728		0,173737421	0,826262579		1,652525159
6,816772		0,143420908	0,856579092	3,426316367	
6,136933		0,116240587	0,883759413		1,767518826
5,969062		0,109968205	0,890031795	3,56012718	
5,618291		0,097423441	0,902576559		1,805153117
5,211716		0,083833281	0,916166719	3,664666878	
4,770615		0,07024312	0,92975688		1,85951376

4,552639	0,063970738	0,936029262	3,744117048	
4,589687	0,065016135	0,934983865		1,86996773
4,401328	0,05978915	0,94021085	3,7608434	
3,596696	0,039926607	0,960073393		1,920146785
3,824887	0,045153592	0,954846408	3,819385631	
2,802783	0,024245653	0,975754347		1,951508694
3,452549	0,036790417	0,963209583	3,852838334	
3,689666	0,042017401	0,957982599		1,915965197
4,164064	0,053516768	0,946483232	3,785932927	
4,589687	0,065016135	0,934983865		1,86996773
5,825475	0,10474122	0,89525878	3,58103512	
6,766902	0,141330114	0,858669886		1,717339771
8,213909	0,208235521	0,791764479	3,167057916	
9,369676	0,27095934	0,72904066		1,458081321
10,5754	0,345182525	0,654817475	2,6192699	
11,92992	0,439268253	0,560731747		1,121463494
12,93783	0,516627629	0,483372371	1,933489482	
13,72542	0,581442242	0,418557758		0,837115516
14,28173	0,629530503	0,370469497	1,481877988	
14,63315	0,660892412	0,339107588		0,678215175
14,79429	0,67552797	0,32447203	1,29788812	
15,26751	0,719434643	0,280565357		0,561130714
15,36702	0,728843216	0,271156784	1,084627136	
15,98285	0,788430844	0,211569156		0,423138313
16,0463	0,794703226	0,205296774	0,821187098	
16,54515	0,84488228	0,15511772		0,310235439
16,59625	0,850109265	0,149890735		
		<i>SUM</i>	51,9556843	25,27533538

$a = y/L$ awal (0,001)

$b = y/L$ akhir (0,038)

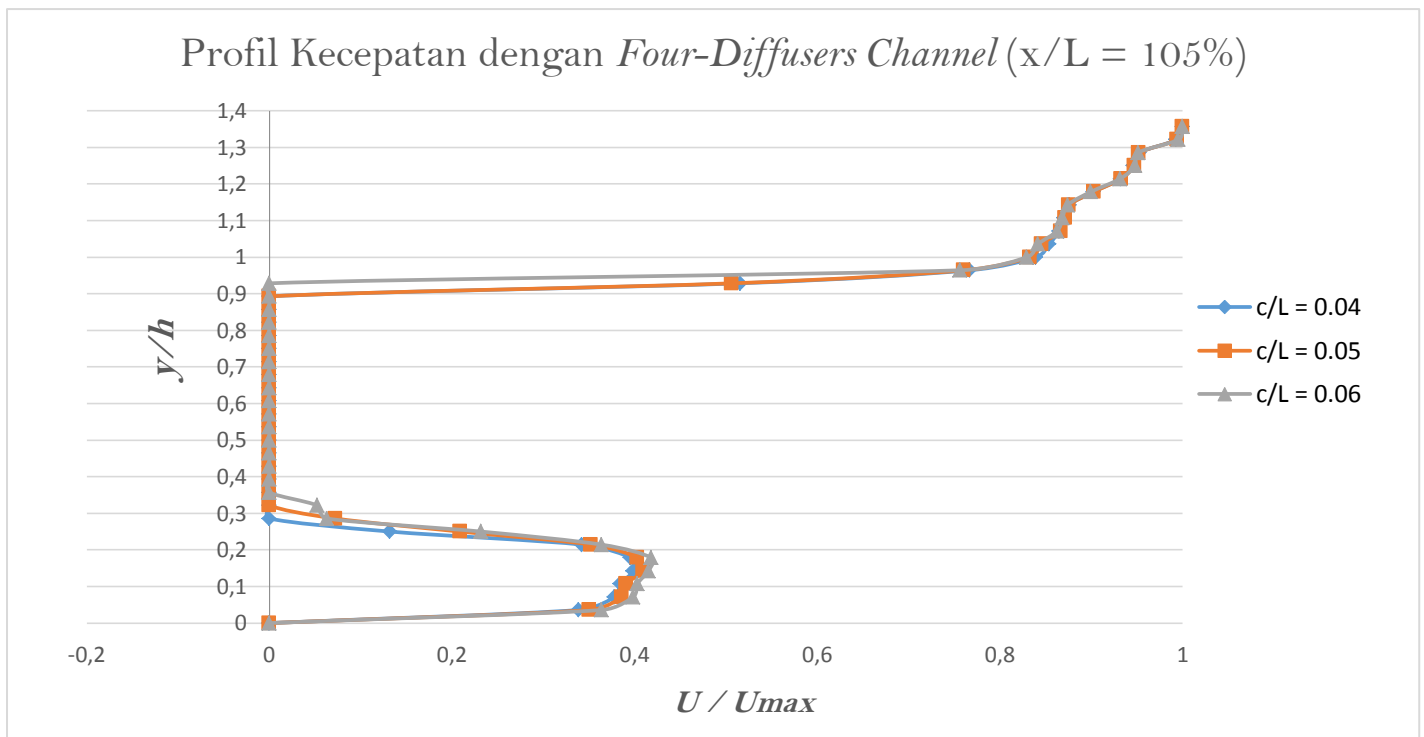
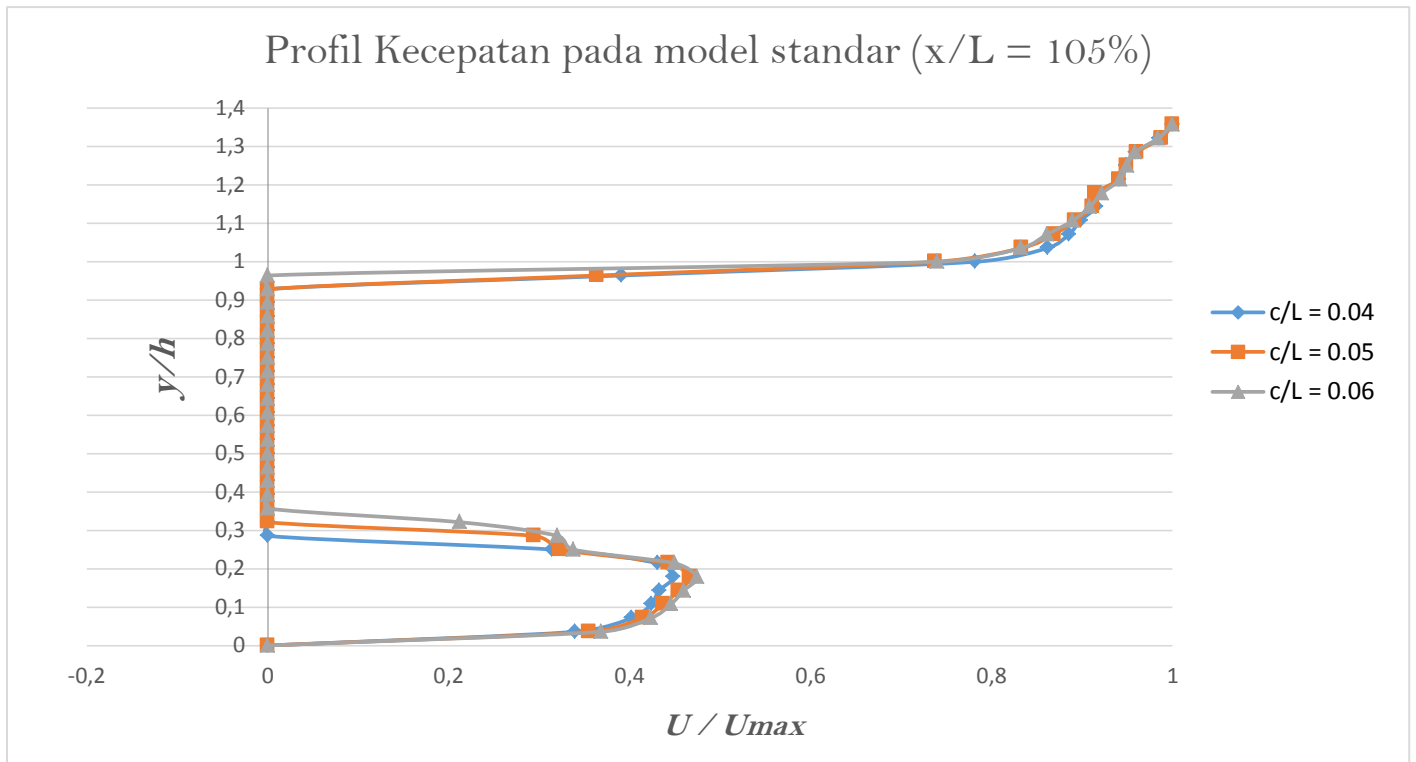
Dengan demikian, nilai koefisien *drag* total (C_{Dt}) pada model ini adalah :

$$C_{Dt} = \frac{4}{0,48 \text{ m}} \left[\frac{(0,038 - 0,001)}{3 \times 38} + 0,800127655 + 51,9556843 \right. \\ \left. + 25,27533538 + 0,149890735 \right]$$

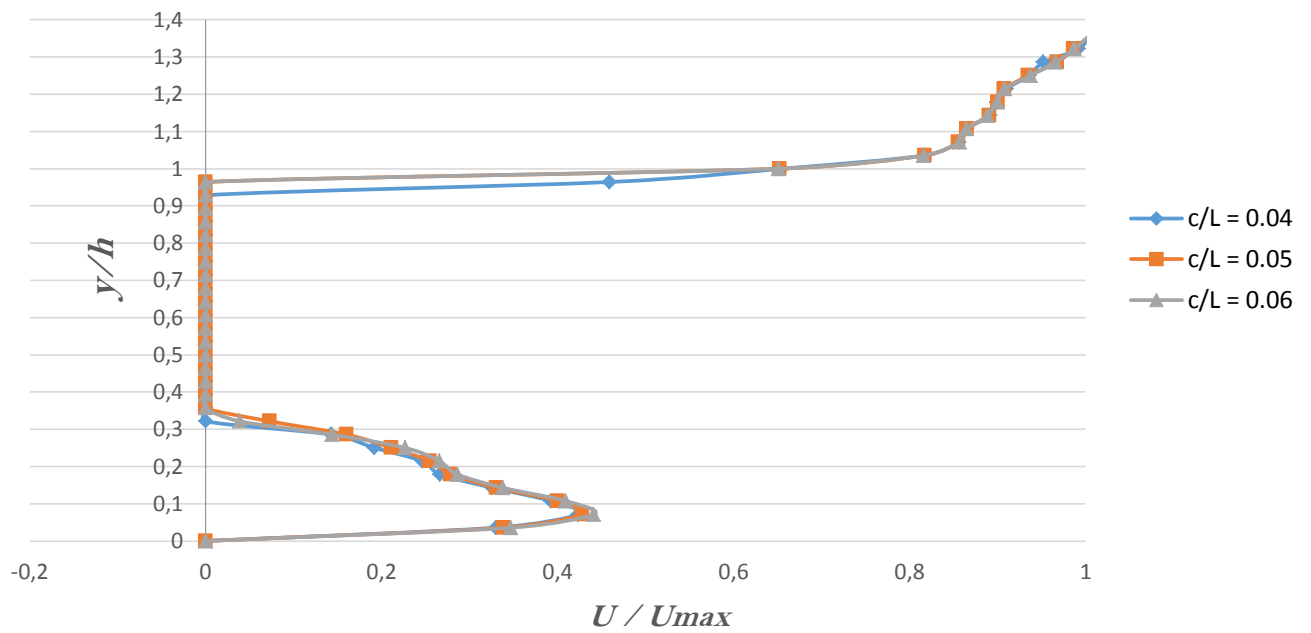
$$C_{Dt} = 0,2131462$$

Lampiran B

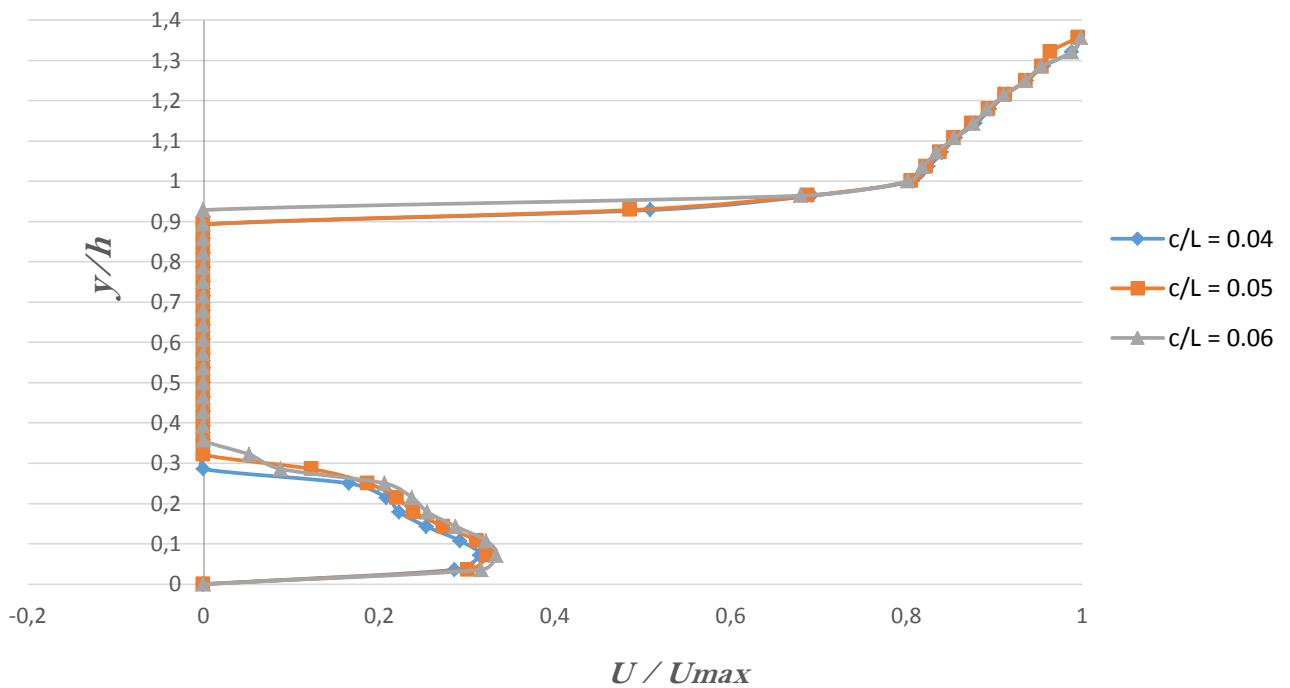
Bentuk-bentuk profil kecepatan pada bagian belakang model (*rear body*) dengan dan tanpa menggunakan *four-channel diffusers*



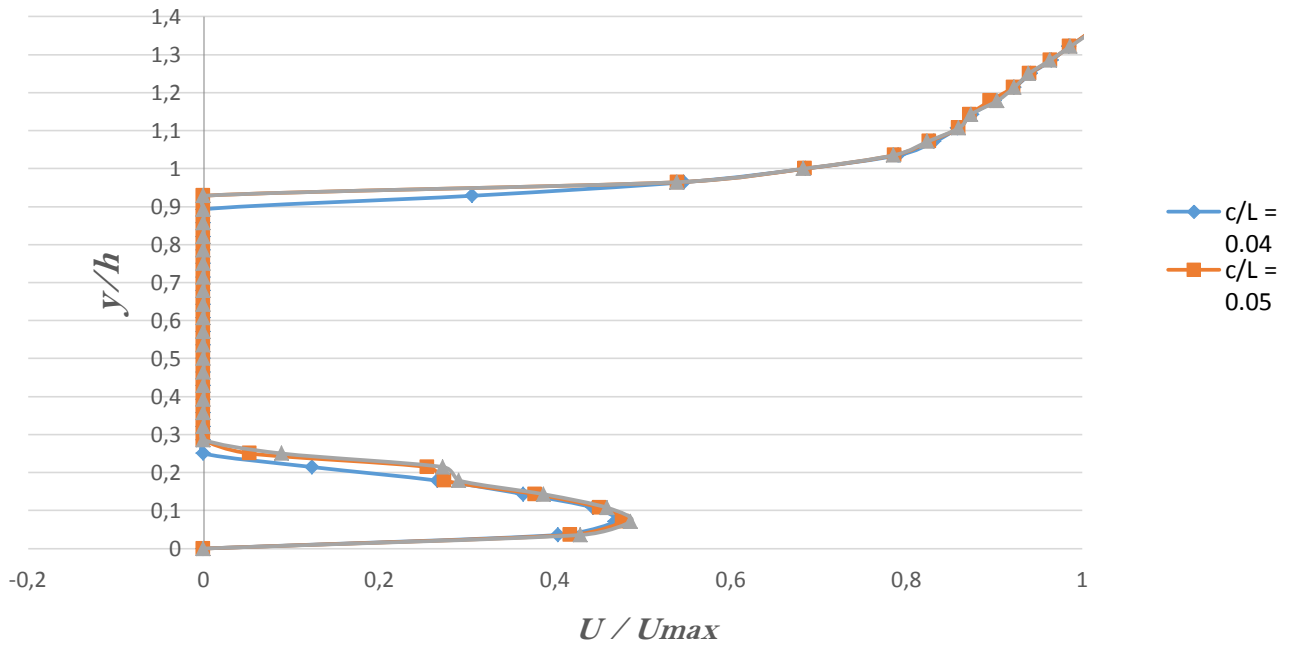
Profil Kecepatan pada model standar ($x/L = 110\%$)



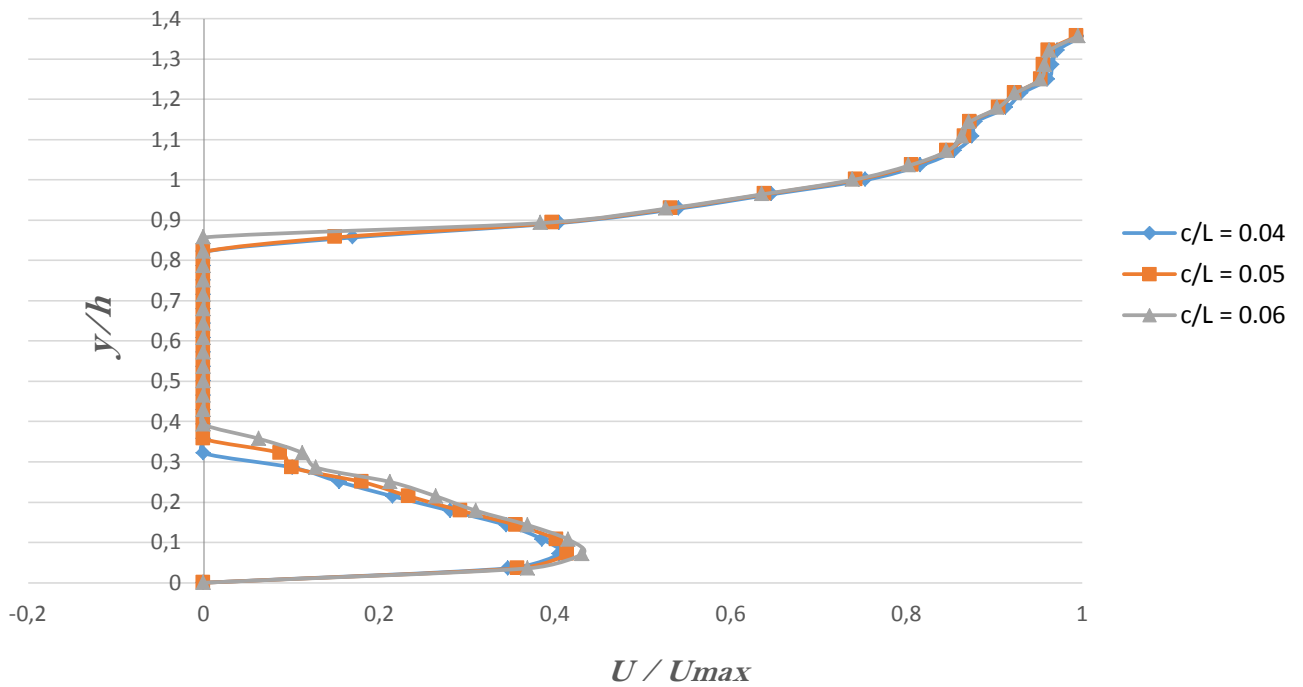
Profil Kecepatan dengan *Four-Diffusers Channel* ($x/L = 110\%$)



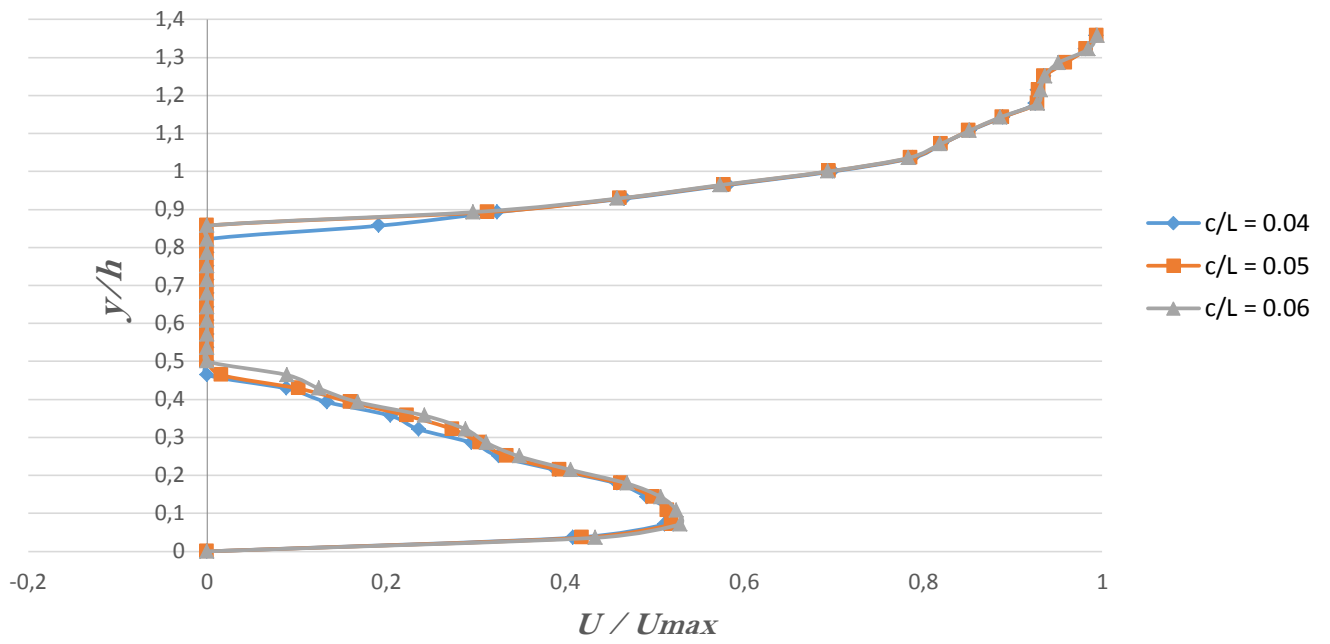
Profil Kecepatan pada model standar ($x/L = 115\%$)



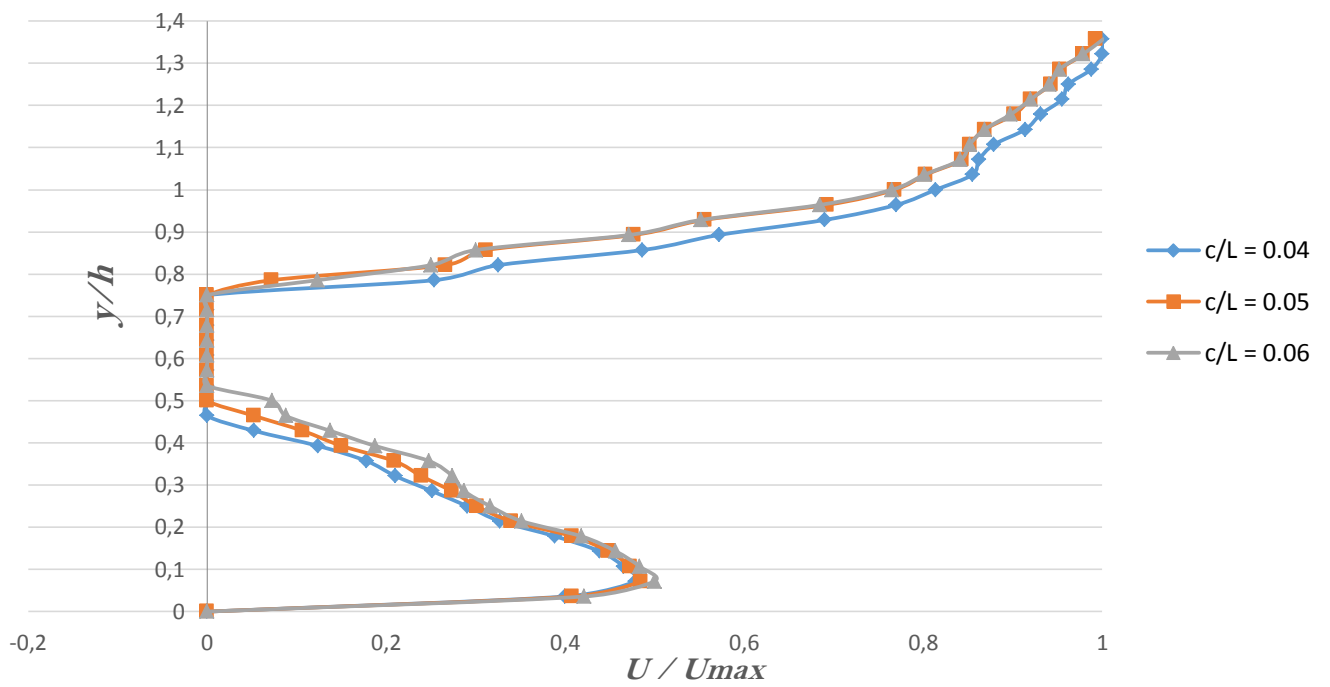
Profil Kecepatan dengan *Four-Diffusers Channel* ($x/L = 115\%$)



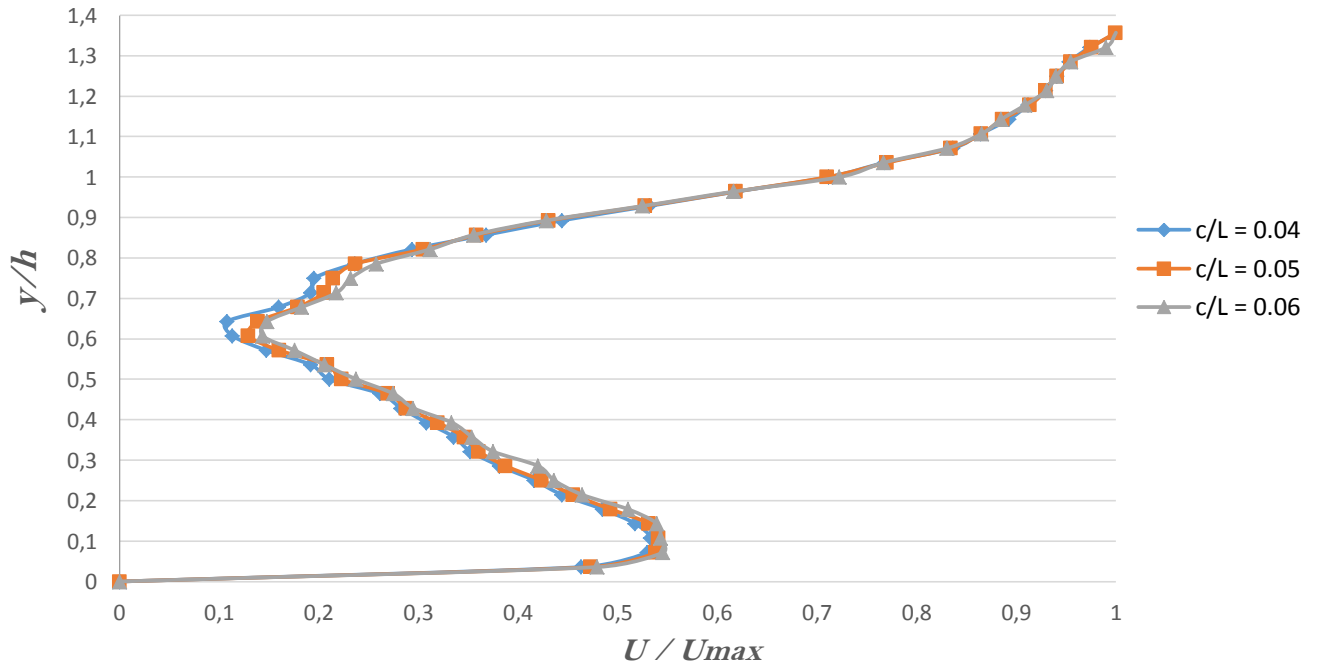
Profil Kecepatan pada model standar ($x/L = 120\%$)



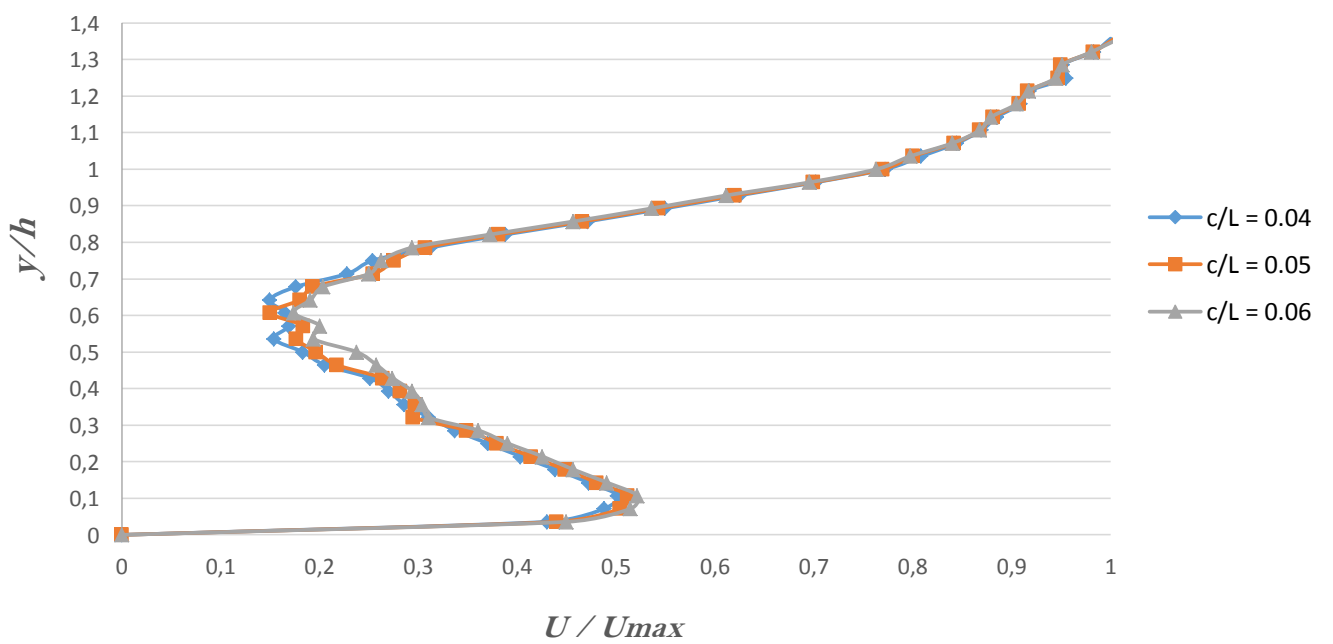
Profil Kecepatan dengan *Four-Diffusers Channel* ($x/L = 120\%$)



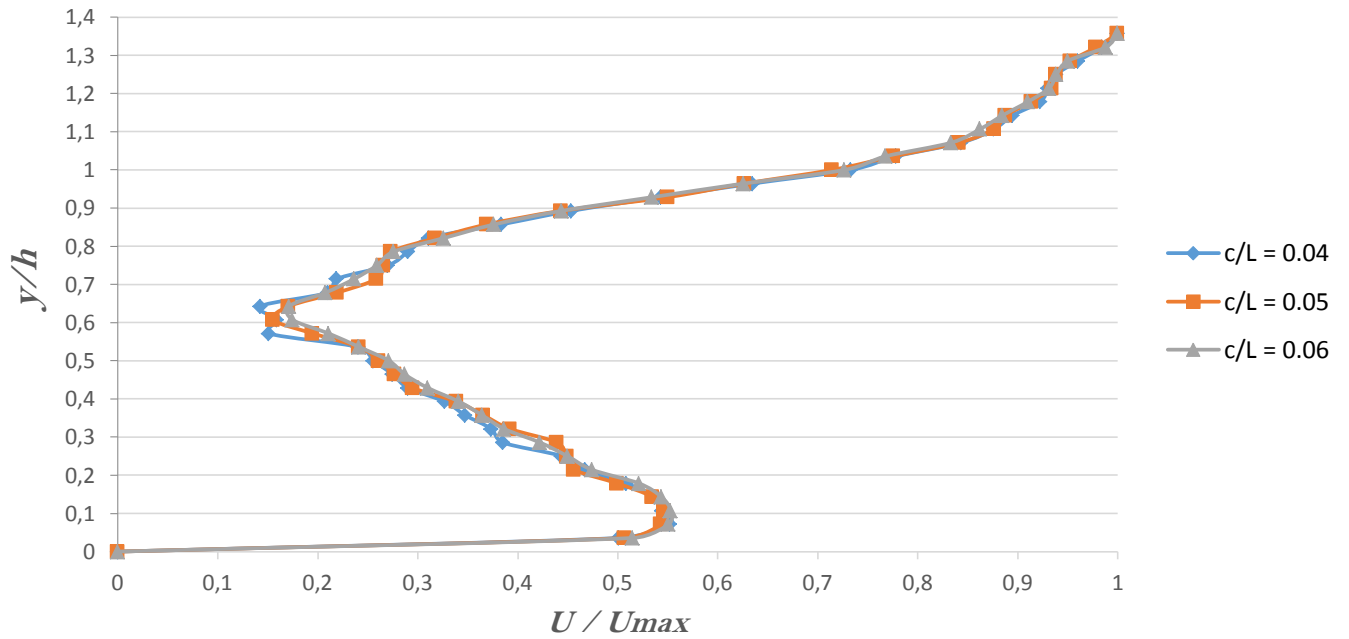
Profil Kecepatan pada model standar ($x/L = 125\%$)



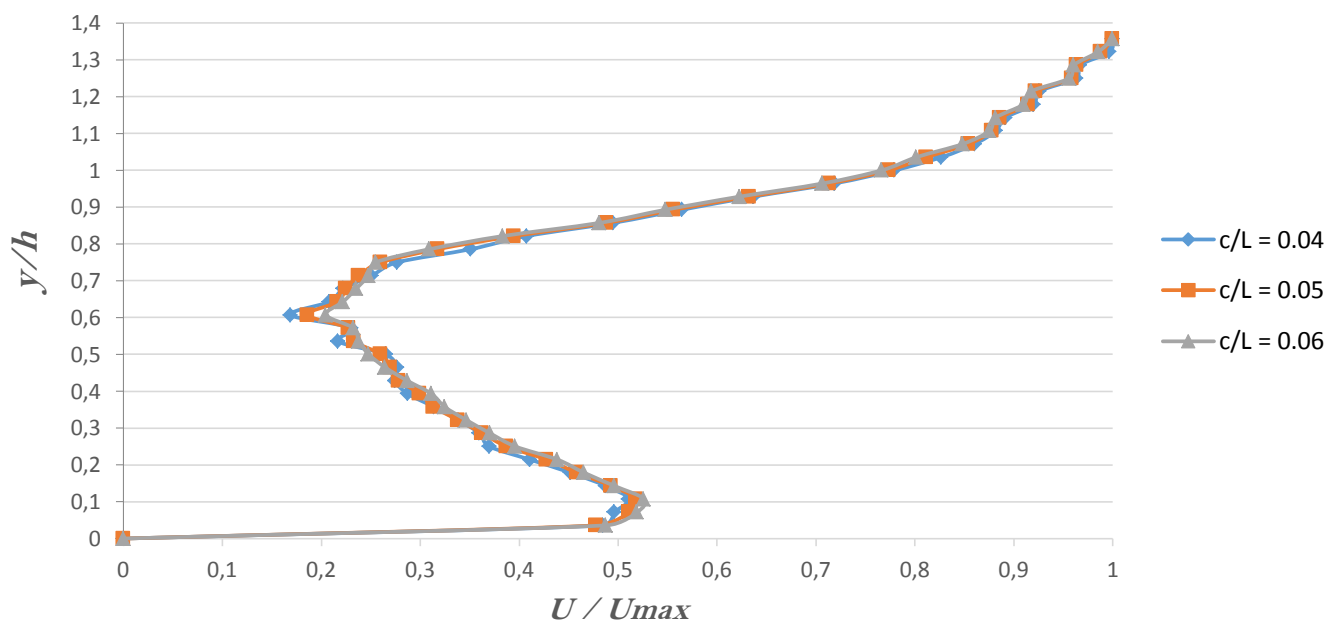
Profil Kecepatan dengan *Four-Diffusers Channel* ($x/L = 125\%$)



Profil Kecepatan pada model standar ($x/L = 130\%$)



Profil Kecepatan dengan *Four-Diffusers Channel* ($x/L = 130\%$)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa data studi numerik pengaruh *four-channel diffusers* pada bodi belakang bus, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Ketinggian *ground clearance* (c/L) yang divariasikan pada pengujian ini memiliki pengaruh besar dalam perubahan nilai distribusi tekanan (C_p) pada bagian bawah model. Nilai $c/L = 0,04$ (terkecil) menunjukkan distribusi tekanan pada *lower body* cenderung semakin menurun, sedangkan pada nilai $c/L = 0,05$ dan $0,06$ distribusi tekanan semakin meningkat.
2. Model dengan menggunakan *four-channel diffusers* memiliki distribusi tekanan yang rendah pada daerah *diffuser*. Hal ini memperlihatkan dengan keberadaan *device* ini memicu percepatan aliran pada daerah tersebut sehingga defisit momentum aliran pada bagian belakang (*rear body*) menjadi menurun.
3. Pengukuran intensitas turbulensi (IT) tertinggi pada bagian belakang kendaraan dinyatakan pada model yang menggunakan *four-channel diffusers* dengan $c/L = 0,04$ yaitu sebesar 5,968%. Fenomena efek turbulensi yang tinggi ini menunjukkan kemampuan aliran dalam mereduksi *wake* yang terjadi di belakang bodi. Hal ini dibuktikan dengan pengurangan nilai koefisien *drag* sebesar 2,16% pada kondisi ini.
4. Model dengan *four-channel diffusers* serta ketinggian *ground clearance* yang semakin diperkecil dapat menjadi inspirasi atau rekomendasi dalam perkembangan dunia pembuatan bodi transportasi umum, khususnya kendaraan jenis bus. Pengurangan *drag* yang terjadi tentunya berpengaruh terhadap penghematan konsumsi bahan bakar dari kendaraan itu sendiri.

5.2 Saran

Setelah melakukan eksperimen tentang pengaruh four-channel diffusers pada kendaraan jenis bus ini, maka peneliti menyarankan beberapa hal kepada peneliti berikutnya :

1. Dalam melakukan eksperimen tentang aerodinamika dengan menggunakan peralatan seperti *wind tunnel*, sebaiknya dilakukan *check-up* terlebih dahulu pada alat-alat ukur yang akan digunakan. Hal ini sangat berpengaruh terhadap data hasil pengujian yang didapat.
2. Dalam setiap pengujian yang dilakukan sebaiknya harus dalam kondisi temperatur konstan, sehingga densitas udara (ρ) pada saat pengujian tidak mengalami perubahan.
3. Jika benda uji menggunakan *pressure tap* dalam mengukur distribusi tekanan disekitarnya, maka perlu dipastikan saluran (selang) *pressure tap* yang terkoneksi dengan *pitot static tube* selalu dalam kondisi baik atau tidak sedang mengalami kebocoran.
4. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya tentang *multi-channel diffusers*, maka peneliti menyarankan untuk memvariasikan sudut dari *channel* atau sirip-sirip tersebut, seperti halnya prinsip kerja *vortex generator*. Variasi sudut ini tentunya memiliki karakteristik aliran dan fenomena serta tingkat keefektifan yang berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fletcher, C.A.J dan Stewart. (1986), G.D.H., *Bus drag reduction by the trapped vortex for a single bus and two buses in tandem*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 24, hal. 143-168.
- [2] Gurlek, C., Sahin, B. Ozkan, G.M, (2012). *PIV studies around a bus model*, Experimental Thermal and Fluid Science 38, hal. 115-126.
- [3] Widodo, W.A, dan Karohmah, M. N., (2015), “*CFD based investigations into optimization of diffuser angle on rear bus body*”, *International Conference on Mechanical Engineering, (accepted)*
- [4] Jowsey, L., and Passmore, M.A. (2010), *Experimental Study of Multiple-Channel Automotive Underbody Diffusers*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 224(7), hal. 865-879.
- [5] Kang, S. O., Jun, S. O., Park, H. I., Song, K. S., Kee, J. D., Kim, K. H. dan Lee, D.H., (2012), *Actively Translating A Rear Diffuser Device for the Aerodynamic Drag Reduction of a Passenger Car*. International Journal of Automotive Technology, Vol. 13, No. 4, hal. 583–592.
- [6] Hua Xingjun, Zhanga Rui, Yeb Jian, Yanb Xu dan Zhaob Zhiming, (2011), “*Influence of Different Diffuser Angle on Sedan’s Aerodynamic Characteristics*”, *International Conference on Physics Science and Technology*, hal. 239-245.
- [7] Munson, B. (2002), *Mekanika Fluida* (Dr. Ir. Harinaldi & Ir. Budiarmo, M.Eng, Penerjemah). Erlangga. Jakarta.
- [8] Hucho, W. (1997), *Aerodynamics of Road Vehicles*. Butterworth-Heinemann. London.
- [9] Gerhart, Philip M dan Richard J. Gross,.(1985), *Fundamentals of Fluid Mechanics*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. USA.

[10] Fakhri, Azizi dkk. (2010), *Perkembangan Aerodinamika pada Mobil*. Karya Ilmu. Purwokerto.

[11] Muchammad,(2006). *Perhitungan gaya drag pada benda uji pelat persegi datar menggunakan low speed wind tunnel* . Momentum, Vol 2, No.1, hal. 15-25.

RIWAYAT HIDUP



Izhary Siregar lahir di Padangsidempuan, 9 November 1987, merupakan anak pertama dari pasangan Ayahanda Samsul Siregar dan Ibunda Armaini Lubis. Penulis menyelesaikan pendidikan pada jenjang sekolah dasar (SD) pada tahun 1999 di SD 144432 Padangsidempuan, selanjutnya meneruskan pendidikannya di MTsN Padangsidempuan. Selanjutnya setelah melaksanakan studi di MTsN Padangsidempuan, penulis melanjutkan studi di MAN 1 Padangsidempuan. Pada tahun 2005 penulis melanjutkan kuliah di Jurusan Teknik Mesin-Fakultas Teknik Universitas Andalas (Unand) Padang. Setelah menyelesaikan studi S1 tahun 2012, penulis mengikuti beasiswa BPPDN Calon Dosen 3T (Terdepan, Terluar, Tertinggal) dengan mengikuti pendidikan Pra S2 Fisika di Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) selama 1 tahun. Selanjutnya mulai melanjutkan studi S2 tahun 2014 di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS. Penulis bergabung di Laboratorium Mekanika Fluida dan melakukan penelitian tesis tentang aerodinamika pada kendaraan jenis bus dengan penambahan *four-channel diffusers* untuk mereduksi gaya *drag* yang terjadi . Penelitian ini mengantarkan penulis memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.).

Email: arie060pasendeng@gmail.com

Hp: 0852 7225 0393