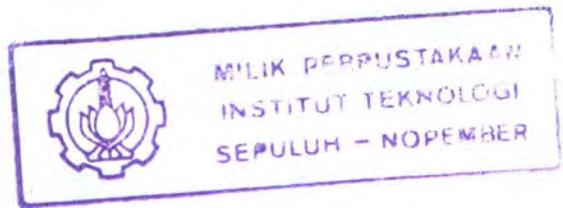


8.848 / ITS / H / 2003



# DISTRIBUSI KECEPATAN DAN TEKANAN PADA BERBAGAI POTONGAN PENAMPANG LINGKARAN DAN ELIPS 2-DIMENSI

## TUGAS AKHIR



RSPe  
620.106  
U19  
d-1  
2003

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	15-8-2003
Terima Dari	L1
No. Agenda Prp.	218699

Oleh :

**ABDULLAH HADI ULATH**  
NRP. 4199 100 453

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNIK KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2003**

# LEMBAR PENGESAHAN

## TUGAS AKHIR (KP 1701)

JUDUL :

**DISTRIBUSI KECEPATAN DAN TEKANAN PADA  
BERBAGAI POTONGAN PENAMPANG LINGKARAN  
DAN ELIPS 2-DIMENSI**

## TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

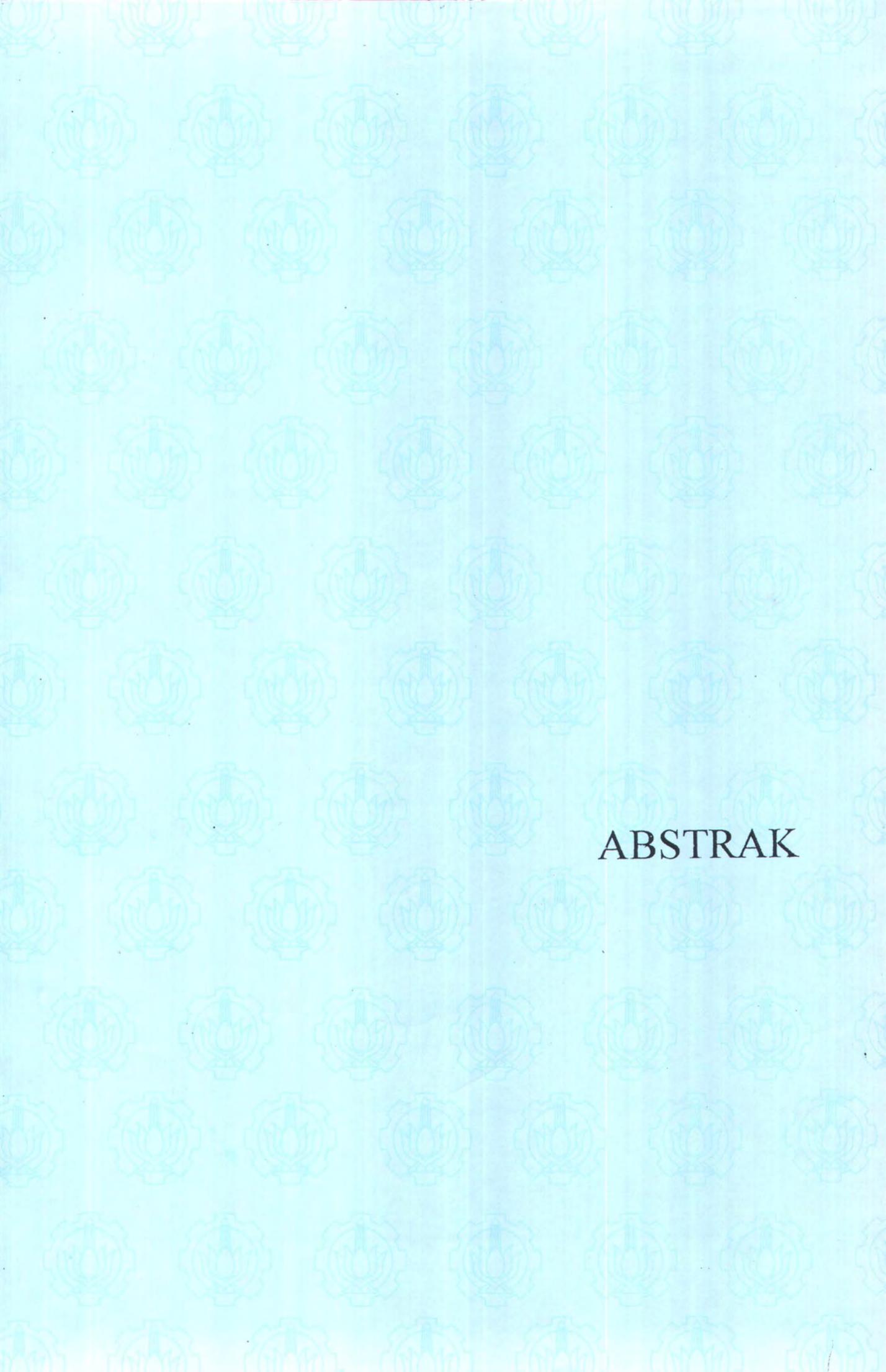
**Mengetahui / Menyetujui,**

**Dosen Pembimbing,**



**Ir.I.K.A. Pria Utama, M.Sc., Ph.D.**

**NIP. 132 007 645**



ABSTRAK

## ABSTRAK

Penelitian tentang distribusi kecepatan dan tekanan pada berbagai potongan model lingkaran dan elips akibat aliran yang melewati model tersebut dirasakan sangat penting. Hal ini disebabkan karena kedua model ini banyak digunakan untuk perencanaan benda-benda yang melewati suatu aliran fluida.

Pada penelitian ini model diasumsikan dalam keadaan diam sedangkan fluidanya yang bergerak. Ukuran model lingkaran dibuat berjari-jari 1 m, dan panjang model elipsnya yaitu 2 m, dengan perbandingan antara sumbu mayor dan sumbu minor elips adalah 4 ( $a/b = 4$ ). Modelnya dibuat dalam bentuk 2-D menggunakan perangkat lunak *Flotran CFD ANSYS 5.7*, yang merupakan salah satu perangkat lunak untuk aplikasi analisa dinamika fluida (Computational Fluida Dynamics, CFD).

Dari pengujian numerik yang dilakukan disimpulkan bahwa profil kecepatan memiliki nilai pada tiap potongan model berdasarkan pada kecepatan  $u$  yang terjadi pada setiap panjang  $x$ . Titik separasi pada model lingkaran terjadi lebih awal dari elips.



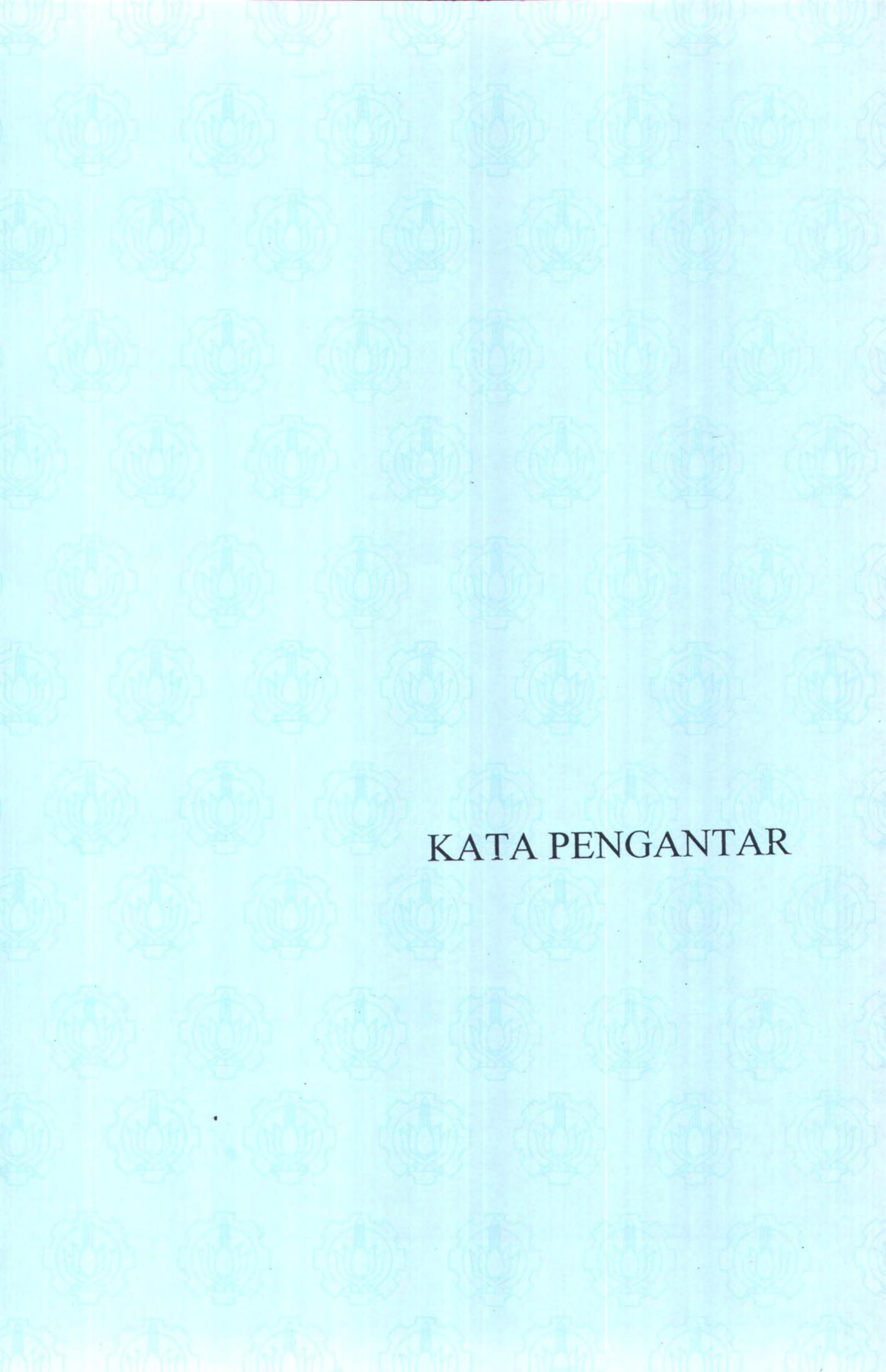
**ABSTRACT**

## ABSTRACT

Study about distribution velocity and pressure at various section of cylinder and elliptic effect due to current fluid flow at these section is being more significant. Since the models of cylinder and elliptic are widely range used for the engineering analysis of any material which passing of fluid flow.

At this study the models is assumed in serenity condition during the fluid flow. The radius of cylinder are 1 m, and the length for the elliptic are 2 m, with ratio of major axis and minor axis of the elliptic are 4 ( $a/b = 4$ ). The design of models are in 2-D form by using software of Flotran CFD ANSYS 5.7, which this software are well known for fluid analysis dynamics application (Computational Fluid Dynamics, CFD).

From the numerical study, it was found that the velocity profiles for different value of each section which is based on a series for the velocity  $u$ , carried as far as the term in  $x$ . The point of separation of cylinder models are happened more early than the elliptic models.



KATA PENGANTAR

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah, SWT pencipta alam semesta beserta isinya. Berkat Rahmat-Nya penulis akhirnya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang merupakan salah satu persyaratan kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Perkapalan jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.

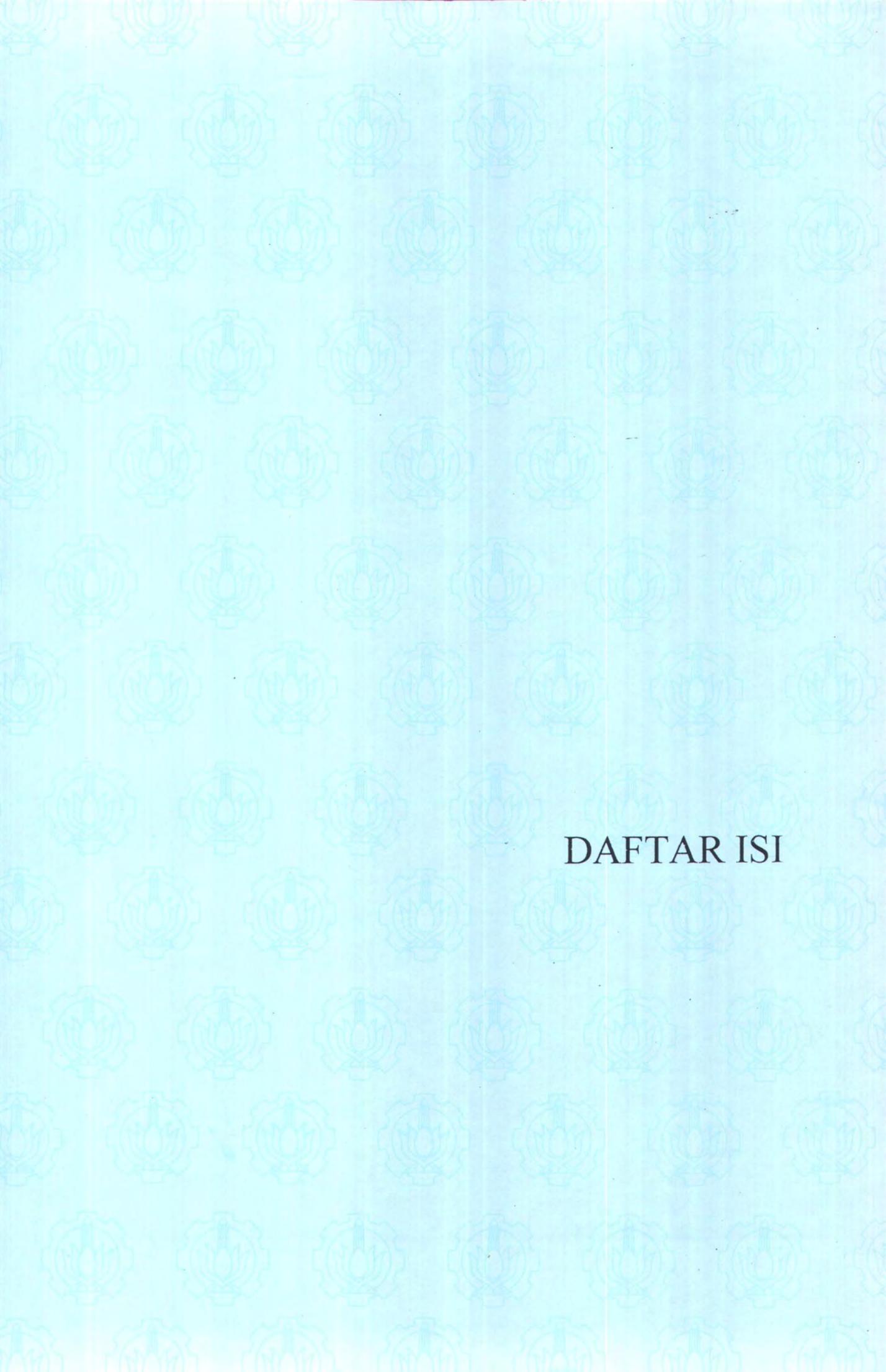
Keberhasilan penyelesaian tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak baik material maupun spiritual. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu dan Bapak, serta adik Non dan Fahmi, atas segala perhatian, kasih sayang, nasehat dan do'a sehingga terselesaikannya tugas akhir ini.
2. Ir. I.K.A. Pria Utama, M.Sc, Ph.D, selaku pembimbing dan dosen wali yang memberikan arahan dan bimbingan untuk kelancaran penulisan tugas akhir ini.
3. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D, Selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
4. Odam, Ghoffar, Jitno, Oka, Dodi, Dimas, Sulton, Usman, Sugi, Muslim, Nick, Wijayanto, Dinas, Kaimudin, Bagas, Lusi, Dini, sebagai teman yang telah banyak memberikan bantuan dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Anak-anak "Jomblo House" dan anak-anak "Kos-kosan I/10" yang sering memberikan dukungan yang berarti dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih belum sempurna. Meskipun demikian penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, Juli 2003

Penulis



DAFTAR ISI

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR JUDUL</b>	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	ii
<b>ABSTRAK</b>	iii
<b>ABSTRACT</b>	iv
<b>KATA PENGANTAR</b>	v
<b>DAFTAR ISI</b>	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xi
<b>DAFTAR TABEL</b>	xv
<b>DAFTAR SIMBOL</b>	xvii

### **BAB I. PENDAHULUAN**

1.1. Latar Belakang	1-1
1.2. Tujuan	1-3
1.3. Batasan Masalah	1-3
1.4. Metodologi	1-4
1.5. Sistematika Penulisan	1-5

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

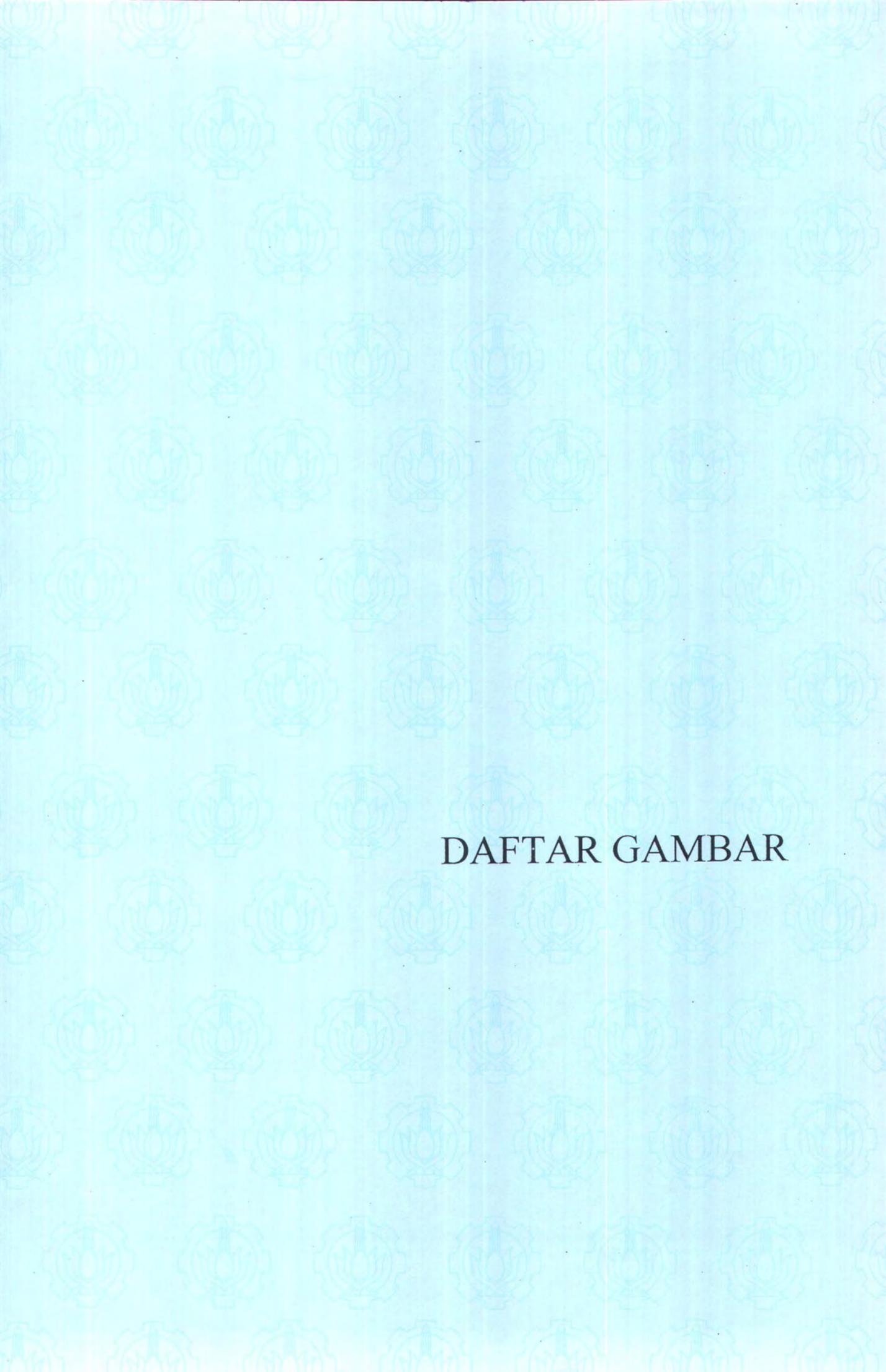
2.1. Prinsip Dasar Aliran Fluida	2-1
2.1.1. Definisi Tentang Fluida	2-1
2.1.2. Sifat-sifat Fluida	2-2
2.1.3. Klasifikasi Aliran Fluida	2-5

2.1.4.	Hukum-hukum Dasar untuk Suatu Sistem dan Volume Kendali	2-8
2.2.	Teori Mekanika Fluida Tentang Aliran Dua Dimensi	2-11
2.2.1.	Aliran Eksternal	2-11
2.2.2.	Bilangan Reynolds	2-12
2.3.	Teori Lapisan Batas	2-13
2.3.1.	Uraian Tentang Lapisan Batas	2-13
2.3.2.	Pemisahan Lapisan Batas	2-16
2.3.3.	Persamaan-persamaan Lapisan Batas	2-18
2.3.4.	Lapisan Batas dengan Gradien Tekanan	2-20
<b>BAB 3.</b>	<b>COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)</b>	
3.1.	Sejarah Pengembangan CFD	3-1
3.2.	Persamaan Dasar Dinamika Fluida dalam CFD	3-3
3.3.	Persamaan Aliran Viscous (Persamaan Navie-Stokes)	3-4
3.3.1.	Persamaan Kontinuitas	3-5
3.3.2.	Persamaan Momentum	3-8
3.4.	Flotran CFD ANSYS 5.7	3-17
3.4.1.	Preprocessor	3-18
3.4.2.	Solution	3-18
3.4.3.	General Postproc	3-19
3.5.	Proses Validasi	3-19
3.6.	Pemodelan Lingkaran dan Elips	3-21

## **BAB 4. ANALISIS DAN DISKUSI**

4.1.	Geometri Model Lingkaran dan Elips	4-1
4.1.1.	Model Lingkaran	4-1
4.1.2.	Model Elips	4-2
4.2.	Grid Independence	4-2
4.2.1.	Model Lingkaran	4-3
4.2.2.	Model Elips	4-4
4.3.	Data Jumlah Iterasi dan Waktu Running	4-6
4.4.	Analisis Distribusi Kecepatan pada Tiap Potongan Model	4-6
4.4.1.	Model Lingkaran	4-7
4.4.2.	Model Elips	4-17
4.5.	Analisis Distribusi Tekanan pada Tiap Potongan Model	4-28
4.5.1.	Model Lingkaran	4-28
4.5.2.	Model Elips	4-29
4.6.	Analisis Titik Separasi	4-32
4.7.	Perhitungan Tebal Lapisan Batas ( <i>boundary layer thickness</i> ), Tebal Displasemen ( <i>displacement thickness</i> ), Dan Tebal Momentum ( <i>momentum thickness</i> )	4-33
4.7.1.	Model Lingkaran	4-35
4.7.2.	Model Elips	4-36
4.8.	Validasi Hasil	4-37
4.8.1.	Koefisien Tekanan pada Titik Stagnasi	4-37
4.8.2.	Tebal Lapisan Batas ( <i>boundary layer thickness</i> ),	

	Tebal Displasemen ( <i>displacement thickness</i> ), dan Tebal Momentum ( <i>momentum thickness</i> )	4-38
	4.8.2.1. Model Lingkaran	4-38
	4.8.2.2. Model Ellips	4-40
<b>BAB 5.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1.	Kesimpulan	5-1
5.2.	Saran	5-3
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		



DAFTAR GAMBAR

## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1. Profil kecepatan dan gradien kecepatan.
- Gambar 2.2. Aliran dua dimensi.
- Gambar 2.3. Lapisan batas menurut definisi.
- Gambar 2.4. Separasi pada lapisan batas.
- Gambar 3.1. Model-model aliran.
- Gambar 3.2. Model elemen kecil tak hingga yang tetap dalam ruang.
- Gambar 3.3. Gaya-gaya yang bekerja pada sumbu  $x$  pada elemen takhingga yang bergerak.
- Gambar 3.4. Tegangan geser dan tegangan normal.
- Gambar 3.5. Model lingkaran.
- Gambar 3.7. Model elips.
- Gambar 4.1. Pengaruh jumlah elemen terhadap koefisien tekanan pada titik stagnasi model lingkaran.
- Gambar 4.2. Pengaruh jumlah elemen terhadap koefisien tekanan pada titik stagnasi model elips.
- Gambar 4.3. Profil kecepatan pada aliran laminar *boundary layer* model lingkaran [Ansys 5.7]
- Gambar 4.4a. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model lingkaran pada  $\phi = 60^\circ$  [Ansys 5.7].
- Gambar 4.4b. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model lingkaran pada  $\phi = 70^\circ$  [Ansys 5.7].

- Gambar 4.4c. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model lingkaran pada  $\phi = 80^\circ$  [Ansys 5.7].
- Gambar 4.4d. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model lingkaran pada  $\phi = 90^\circ$  [Ansys 5.7].
- Gambar 4.4e. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model lingkaran pada  $\phi = 91^\circ$  (separasi) [Ansys 5.7].
- Gambar 4.5. Profil kecepatan lingkaran Pohlhausen's [Schlichting, 1968].
- Gambar 4.6a. Perbandingan profil kecepatan model lingkaran [Ansys 5.7] dengan Pohlhausen's [Schlichting, 1968] pada  $\phi = 60^\circ$ .
- Gambar 4.6b. Perbandingan profil kecepatan model lingkaran [Ansys 5.7] dengan Pohlhausen's [Schlichting, 1968] pada  $\phi = 80^\circ$ .
- Gambar 4.6c. Perbandingan profil kecepatan model lingkaran [Ansys 5.7] dengan Pohlhausen's [Schlichting, 1968] pada  $\phi = 90^\circ$ .
- Gambar 4.6d. Perbandingan profil kecepatan model lingkaran [Ansys 5.7] dengan Pohlhausen's [Schlichting, 1968] untuk separasi.
- Gambar 4.7. Profil kecepatan pada aliran laminar *boundary layer* model elips ( $a/b = 4$ ) [Ansys 5.7]
- Gambar 4.8a. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model elips ( $a/b = 4$ ) pada  $x'/l' = 0.27$  [Ansys 5.7].
- Gambar 4.8b. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model elips ( $a/b = 4$ ) pada  $x'/l' = 0.5$  [Ansys 5.7].
- Gambar 4.8c. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model elips ( $a/b = 4$ ) pada  $x'/l' = 0.74$  [Ansys 5.7].

- Gambar 4.8d. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model elips ( $a/b = 4$ ) pada  $x'/l' = 0.81$  [Ansys 5.7].
- Gambar 4.8e. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model elips ( $a/b = 4$ ) pada  $x'/l' = 0.85$  (separasi) [Ansys 5.7].
- Gambar 4.9. Profil kecepatan aliran laminer *boundary layer* model elips ( $a/b = 4$ ) [Schlichting, 1968].
- Gambar 4.10a. Perbandingan profil kecepatan model elips ( $a/b = 4$ ) [Ansys 5.7] dengan [Schlichting, 1968] pada  $x'/l' = 0.27$ .
- Gambar 4.10b. Perbandingan profil kecepatan model elips ( $a/b = 4$ ) [Ansys 5.7] dengan [Schlichting, 1968] pada  $x'/l' = 0.5$ .
- Gambar 4.10c. Perbandingan profil kecepatan model elips ( $a/b = 4$ ) [Ansys 5.7] dengan [Schlichting, 1968] pada  $x'/l' = 0.74$ .
- Gambar 4.10d. Perbandingan profil kecepatan model elips ( $a/b = 4$ ) [Ansys 5.7] dengan [Schlichting, 1968] pada  $x'/l' = 0.81$ .
- Gambar 4.10e. Perbandingan profil kecepatan model elips ( $a/b = 4$ ) [Ansys 5.7] dengan [Schlichting, 1968] pada  $x'/l' = 0.85$  (separasi).
- Gambar 4.11. Distribusi tekanan pada permukaan model lingkaran [Ansys 5.7].
- Gambar 4.12. Distribusi tekanan pada permukaan model elips ( $a/b = 4$ ) [Ansys 5.7].
- Gambar 4.13. Distribusi tekanan mengelilingi lingkaran dari O. Flachsbar [Schlichting, 1968].
- Gambar 4.14. Distribusi tekanan pada permukaan model lingkaran dan elips ( $a/b = 4$ ) [Ansys 5.7].

Gambar 4.15. Tegangan geser pada dinding model lingkaran dan elips ( $a/b = 4$ )  
[Ansys 5.7].

Gambar 4.16. Tegangan geser pada dinding model lingkaran dan elips ( $a/b = 4$ )  
[Schlichting, 1968].

Gambar 4.17. Grafik  $\delta$ ,  $\delta^*$ , dan  $\theta$  model lingkaran dan model elips [Ansys 5.7].

Gambar A.1.1. Mesh pada model lingkaran.

Gambar A.1.2. Vektor kecepatan pada model lingkaran.

Gambar A.1.3. Contour kecepatan pada model lingkaran.

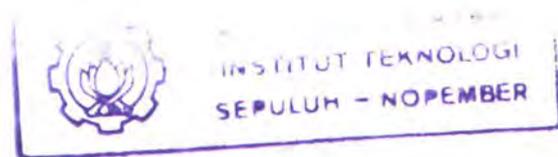
Gambar A.1.4. Koefisien tekanan pada model lingkaran.

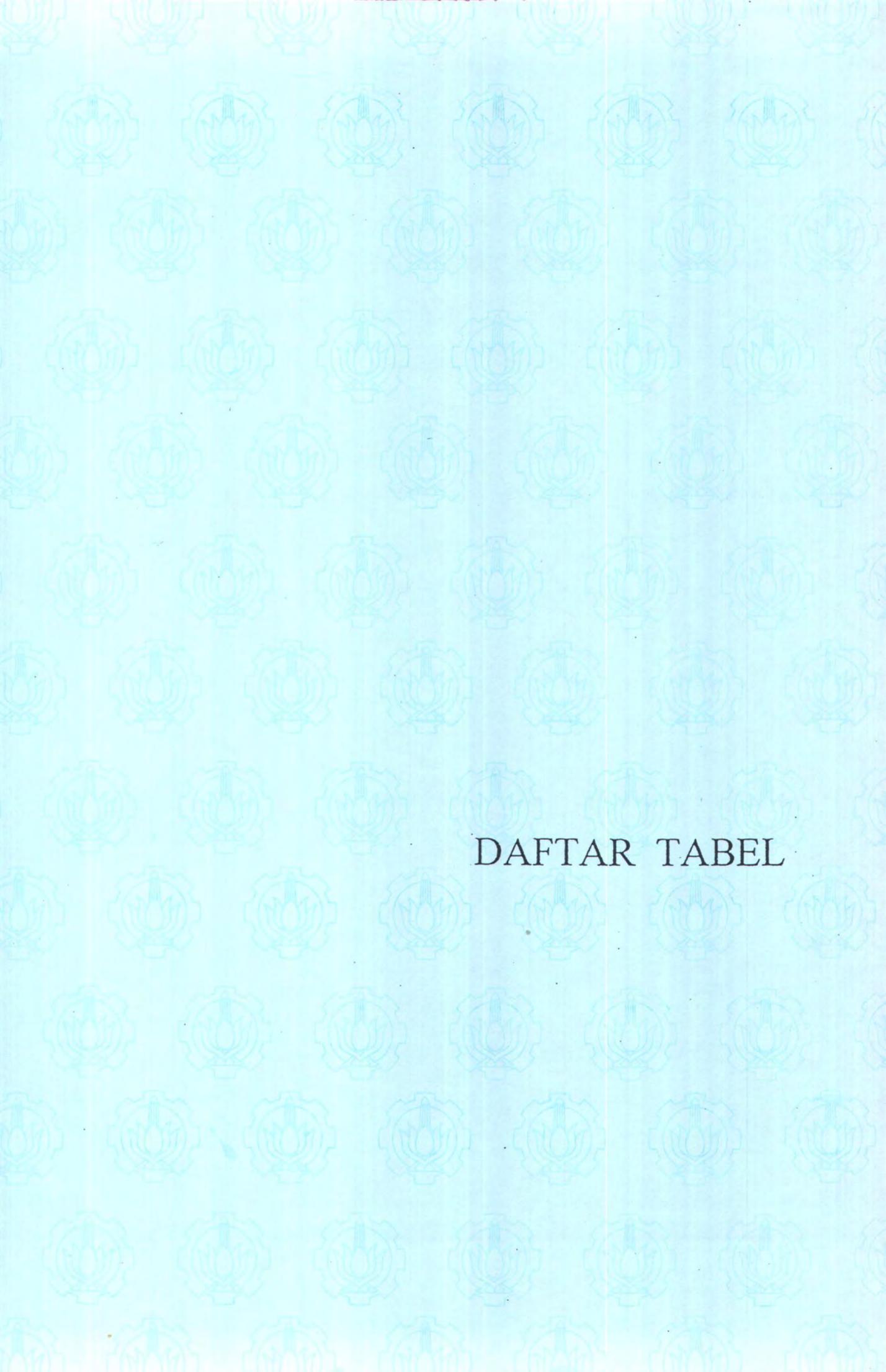
Gambar A.2.1. Mesh pada model elips ( $a/b = 4$ ).

Gambar A.2.2. Vektor kecepatan pada model elips ( $a/b = 4$ ).

Gambar A.2.3. Contour kecepatan pada model elips ( $a/b = 4$ ).

Gambar A.2.4. Koefisien tekanan pada model elips ( $a/b = 4$ ).





DAFTAR TABEL

## DAFTAR TABEL

- Tabel 4.1. Grid independence model lingkaran.
- Tabel 4.2. Grid independence model elips ( $a/b = 4$ ).
- Tabel 4.3. Data jumlah iterasi dan waktu running model lingkaran.
- Tabel 4.4. Data jumlah iterasi dan waktu running model elips ( $a/b = 4$ ).
- Tabel 4.5. Koreksi koefisien tekanan ( $C_p$ ) pada titik stagnasi.
- Tabel 4.6. Koreksi  $\delta$ ,  $\delta^*$ , dan  $\theta$ .
- Tabel A.1.1. Data koefisien tekanan ( $C_p$ ) pada permukaan model lingkaran.
- Tabel A.1.2. Data tegangan geser ( $\tau_0$ ) pada dinding model lingkaran.
- Tabel A.1.3. Data kecepatan ( $u$ ) dan koefisien tekanan ( $C_p$ ) model lingkaran pada  $\phi = 60^\circ$ .
- Tabel A.1.4. Data kecepatan ( $u$ ) dan koefisien tekanan ( $C_p$ ) model lingkaran pada  $\phi = 70^\circ$ .
- Tabel A.1.5. Data kecepatan ( $u$ ) dan koefisien tekanan ( $C_p$ ) model lingkaran pada  $\phi = 80^\circ$ .
- Tabel A.1.6. Data kecepatan ( $u$ ) dan koefisien tekanan ( $C_p$ ) model lingkaran pada  $\phi = 90^\circ$ .
- Tabel A.1.7. Data kecepatan ( $u$ ) dan koefisien tekanan ( $C_p$ ) model lingkaran pada  $\phi = 91^\circ$  (separasi).
- Tabel A.2.1. Data koefisien tekanan ( $C_p$ ) pada permukaan model elips ( $a/b = 4$ ).
- Tabel A.2.2. Data tegangan geser ( $\tau_0$ ) pada dinding model elips ( $a/b = 4$ ).

Tabel A.2.3. Data kecepatan ( $u$ ) dan koefisien tekanan ( $C_p$ ) model elips  
( $a/b = 4$ ) pada  $x'/l' = 0.27$ .

Tabel A.2.4. Data kecepatan ( $u$ ) dan koefisien tekanan ( $C_p$ ) model elips  
( $a/b = 4$ ) pada  $x'/l' = 0.5$ .

Tabel A.2.5. Data kecepatan ( $u$ ) dan koefisien tekanan ( $C_p$ ) model elips  
( $a/b = 4$ ) pada  $x'/l' = 0.74$ .

Tabel A.2.6. Data kecepatan ( $u$ ) dan koefisien tekanan ( $C_p$ ) model elips  
( $a/b = 4$ ) pada  $x'/l' = 0.80$ .

Tabel A.2.7. Data kecepatan ( $u$ ) dan koefisien tekanan ( $C_p$ ) model elips  
( $a/b = 4$ ) pada  $x'/l' = 0.85$  (separasi).



**DAFTAR SIMBOL**

## DAFTAR SIMBOL

### Simbol-simbol Huruf

a	sumbu mayor
$\alpha$	percepatan aliran fluida
A	luas penampang
b	sumbu minor
C <sub>p</sub>	koefisien tekanan
D	diameter
e	energi per satuan massa
E	perpindahan energi
F	gaya
<i>f</i>	fungsi
f	gaya badan per satuan massa
g	percepatan gravitasi
l	panjang
L	panjang
m	massa elemen fluida
M	massa
P	daya
Q	panas yang dipindahkan per satuan waktu
p	tekanan
R	jari-jari

$t$	waktu
$u$	komponen $x$ kecepatan
$u$	energi dalam per satuan massa
$U_{\infty}$	kecepatan free stream
$U(x)$	kecepatan aliran potensial
$v$	komponen $y$ kecepatan
$\forall$	volume
$v$	volume jenis
$w$	komponen $z$ kecepatan
$W$	kerja per satuan waktu
$x$	arah aliran
$y$	koordinat normal terhadap aliran atau kedalaman

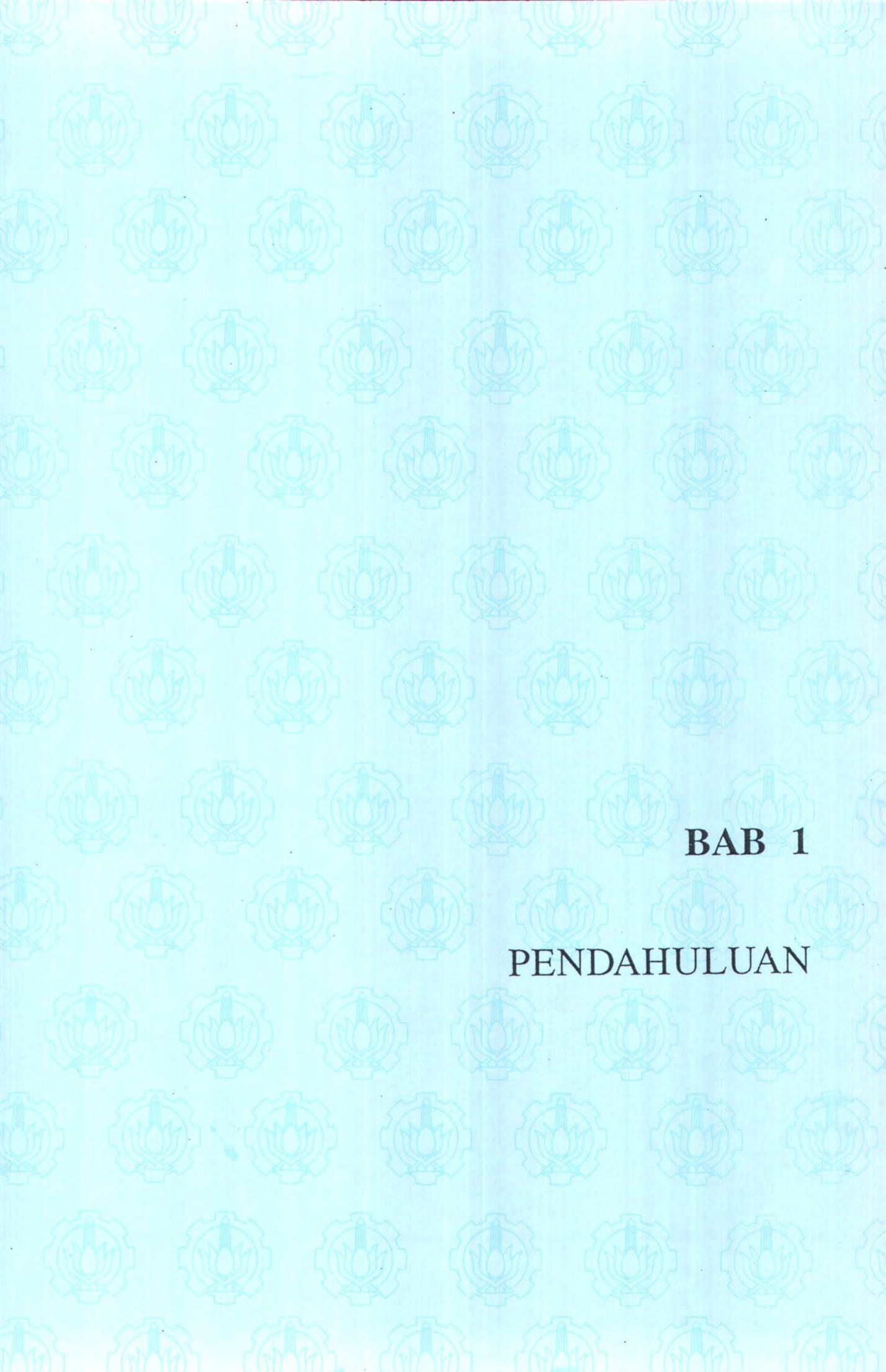
### Notasi Yunani

$\gamma$	berat jenis
$\delta$	tebal lapisan batas
$\delta^*$	tebal perpindahan
$\Delta$	pertambahan sebuah besaran
$\partial$	turunan parsial
$\eta$	koordinat tak berdimensi
$\theta$	tebal momentum
$\mu$	viskositas dinamik
$\nu$	viskositas kinematik

$\rho$	kerapatan massa
$\sigma$	tegangan normal
$\sigma$	tegangan permukaan
$\tau$	tegangan geser
$\tau$	tegangan normal
$\phi$	sudut
$\nabla$	operator vektor del

### **Angka atau Gugus tak Berdimensi**

Re angka Reynolds



**BAB 1**

**PENDAHULUAN**

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Mengetahui distribusi kecepatan dan tekanan pada suatu benda akibat adanya aliran fluida yang melewatinya merupakan faktor yang sangat penting untuk dipertimbangkan. Karena dapat memberikan gambaran tentang perilaku aliran fluida terutama pada daerah lapisan batasnya, dimana pada lapisan batas tersebut aliran masih dianggap kental (*viscous*).

Berbagai macam metode yang dipakai untuk mengetahui distribusi kecepatan dan tekanan aliran fluida pada suatu benda terutama berdasarkan pada hasil eksperimen murni yang biasanya dilakukan di laboratorium kolam uji (*towing tank*) dan terowongan angin (*wind tunnel*) [Anderson, 1995]. Banyak hasil-hasil dari eksperimen ini yang dipakai dalam teori dinamika fluida [White, 1994].

Pada akhir tahun 1970-an dikembangkan *Computational Fluid Dynamics* (*CFD*) dalam studi dan pengembangan dibidang dinamika fluida secara keseluruhan selain pendekatan teori dan eksperimen murni. Dengan hadirnya komputer digital berkecepatan tinggi dan dikombinasikan dengan pengembangan dari ketelitian algoritma numerik untuk penyelesaian masalah fisik pada komputer maka telah merubah dengan cepat cara kita dalam belajar dinamika fluida [Anderson, 1995].

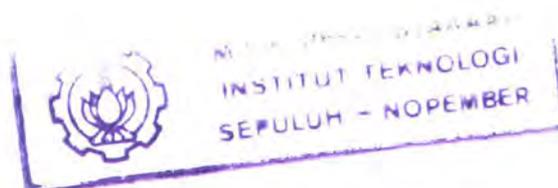
## *Tugas Akhir*

Ada ribuan makalah yang melaporkan data eksperimental tentang aliran-aliran luar (*eksternal flow*) [White, 1994]. Namun masih sedikit penelitian tentang aliran luar dengan menggunakan *CFD* terutama untuk aliran yang melewati penampang lingkaran dan elips.

Pada saat ini terdapat banyak perangkat lunak *CFD* yang dapat digunakan dalam analisa fluida diantaranya *FLUENT*, *CFX*, *ANSYS*, dan lain-lain. *FLOTRAN ANSYS* telah menawarkan sebuah *tool* yang sangat luas untuk analisa 2-dimensi dan 3-D. Dengan *CFD Flotran ANSYS* kita bisa mendapatkan penyelesaian seperti lift dan drag pada airfoil [Kohnke, 1998].

Untuk penyelesaian aliran dengan pendekatan 3-D pada penelitian ini terdapat beberapa kendala yang dihadapi, seperti adanya keterbatasan dari *hardware* yang diperlukan untuk penyelesaian dalam bentuk 3-D. Disamping itu juga terdapat kesulitan dalam mensimulasikan pola distribusi kecepatan sepanjang permukaan lingkaran dan elips. Hal ini terjadi karena pemodelannya dilakukan dalam bentuk 3-D. Untuk mempermudah dalam mensimulasikan pola distribusi kecepatan dan tekanan pada model tersebut maka pemodelannya dilakukan dalam bentuk 2-D.

Telah diketahui bahwa aliran fluida yang melalui lingkaran dan elips mempunyai distribusi kecepatan yang berbeda-beda pada tiap potongan. [Schlichting, 1968]. Disamping itu penelitian ini pernah diangkat dalam TA oleh [Ghoffar, 20002] namun dilihat secara memanjang dari model. Sedangkan pada penelitian ini secara melintang. Fenomena distribusi kecepatan dan tekanan ini menarik untuk dibuktikan.



## *Tugas Akhir*

### **1.2. Tujuan**

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

- Mengetahui profil distribusi kecepatan akibat adanya aliran fluida yang melewati potongan penampang lingkaran dan elips.
- Mengetahui pola distribusi tekanan yang terjadi pada permukaan penampang lingkaran dan elips.
- Mengetahui titik separasi (*separation point*) dari aliran fluida yang melewati model lingkaran dan elips.
- Mengetahui tebal lapisan batas (*boundary-layer thickness*), tebal displasemen (*displacement thickness*) dan tebal momentum (*momentum thickness*).

### **1.3. Batasan Masalah**

Adapun untuk menghindari bias, perlu diperjelas batasan masalah di atas, yaitu :

- Dimensi lingkaran yang dibuat yaitu berjari-jari 1 m.
- perbandingan panjang dan lebar ( $a/b$ ) dari elips adalah 4, dengan panjang elipsnya 2 m.
- Aliran yang akan disimulasikan adalah aliran Laminer.
- Kecepatan liquid dianggap konstan dan uniform pada inflow dengan kecepatan 0.00056951 m/det.
- Jenis fluida yang akan dianalisa adalah air tawar.
- Pemodelan yang digunakan dalam simulasi *CFD* adalah pemodelan dua dimensi (*2D*) pada aliran eksternal.

## *Tugas Akhir*

### **1.4. Metodologi**

Untuk mencapai tujuan yang diharapkan dalam pengerjaan tugas akhir ini, metodologi yang digunakan yaitu: studi literatur, penyelesaian masalah dengan simulasi menggunakan *software CFD Flotran ANSYS 5.7*, membandingkan hasil simulasi dengan teori mekanika fluida dan penulisan laporan akhir. Deskripsi masing-masing tahap pekerjaan adalah :

#### 1. Studi Literatur

Dilakukan studi literatur dengan menitik beratkan pada teori yang menjelaskan penelitian yang dilakukan serta acuan umum dan khusus yang meliputi :

- ❑ Prinsip-prinsip dasar aliran fluida.
- ❑ Teori mekanika fluida yang membahas masalah aliran yang melewati benda dua dimensi.
- ❑ Teori *boundary-layer*.
- ❑ Teori *Computational Fluid Dynamics (CFD)*.

#### 2. Pemodelan geometri ( *CFD* )

Dilakukan pemodelan dengan :

- ❑ Bentuk *lingkaran*
- ❑ Bentuk *elips*

#### 3. Solusi permasalahan dengan *CFD*

Dilakukan simulasi pola distribusi kecepatan pada berbagai potongan dari model lingkaran dan elips.

## *Tugas Akhir*

### 4. Sintesa dan analisa

Pada tahap ini dilakukan analisa terhadap pola distribusi kecepatan, distribusi tekanan, titik separasi (*separation point*), tebal lapisan batas (*boundary-layer thickness*), tebal displasemen (*displacement thickness*) dan tebal momentum (*momentum thickness*.) dari hasil simulasi *CFD* dan dibandingkan dengan hasil perhitungan dari rumus empiris yang diperoleh dari teks book teori mekanika fluida.

### 5. Penulisan Laporan

Semua tahap pekerjaan yang dilakukan disusun dalam sebuah buku laporan berupa buku tugas akhir.

## 1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah :

#### □ BAB I. PENDAHULUAN

Membahas latar belakang permasalahan, tujuan dari penulisan, pembatasan masalah, metodologi dan sistematika penulisan dari laporan tugas akhir ini.

#### □ BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Teori dasar yang digunakan sebagai landasan dalam menganalisa dan membahas dari permasalahan. Memuat tentang prinsip dasar aliran fluida yang melewati benda dua dimensi.

#### □ BAB III. COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

Menjelaskan tentang sejarah pengembangan *CFD*, persamaan dasar dinamika fluida dalam *CFD*, bagian-bagian yang digunakan oleh *software CFD Flotran*

## *Tugas Akhir*

ANSYS 5.7 dalam menyelesaikan masalah yang dibahas dan pembuatan model lingkaran dan elips.

### □ BAB IV. ANALISIS DAN DISKUSI

Bagian ini berisi analisa dari hasil yang didapatkan dari bab tiga serta diskusi-diskusi yang berkaitan dengan permasalahan tersebut.

### □ BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Merangkum hasil analisa untuk dijadikan kesimpulan dari penelitian dan saran-saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

### □ DAFTAR PUSTAKA

### □ LAMPIRAN

BAB 2  
TINJAUAN PUSTAKA



WISATA PERBUKUAN  
INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH - NOPEMBER

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Prinsip Dasar Aliran Fluida

##### 2.1.1. Definisi Tentang Fluida

Kebanyakan bahan bisa disebut entah sebagai zat padat, zat cair atau gas, walaupun sebagian di antaranya mempunyai sifat-sifat yang memungkinkan diperolehnya sebutan ganda. Sebuah zat padat umumnya mempunyai bentuk yang tertentu, sedangkan zat cair dan gas mempunyai bentuk yang ditetapkan oleh wadahnya masing-masing. Perbedaan pokok antara zat cair dan gas (keduanya digolongkan sebagai fluida) adalah bahwa gas akan menyebar dan mengisi seluruh wadah yang ditempatinya. Definisi yang lebih tepat untuk membedakan zat padat dan fluida adalah dari karakteristik deformasi bahan-bahan tersebut. Zat padat dianggap sebagai bahan yang menunjukkan reaksi deformasi yang terbatas ketika menerima atau mengalami suatu tegangan geser (*shear stress*). Fluida boleh didefinisikan sebagai suatu zat yang terus menerus berubah bentuk apabila mengalami tegangan geser. Fluida tidak mampu menahan tegangan geser tanpa berubah bentuk [Olson dan Wright,1990].

Gaya geser (*shear force*) adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan dan gaya ini yang dibagi dengan luas permukaan tersebut adalah tegangan geser rata-rata pada permukaan itu. Tegangan geser pada suatu titik adalah nilai batas perbandingan gaya geser terhadap luas dengan berkurangnya luas hingga menjadi titik tersebut [Streeter dan Wylie,1988].

### 2.1.2. Sifat-Sifat Fluida

Semua fluida sejati mempunyai atau menunjukkan sifat-sifat atau karakteristik-karakteristik yang penting dalam dunia rekayasa. Kerapatan dan kompresibilitas adalah sifat-sifat yang ada untuk fluida-fluida yang dalam keadaan diam. Kerapatan (*density*)  $\rho$  suatu zat adalah ukuran untuk konsentrasi zat tersebut dan dinyatakan dalam massa per satuan volume. Sifat ini ditentukan dengan cara menghitung nisbah (*ratio*) massa zat yang terkandung dalam suatu bagian tertentu terhadap volume bagian tersebut.

Volume jenis  $v$  adalah volume yang ditempati oleh sebuah satuan massa zat dan karena itu merupakan kebalikan dari kerapatan

$$v = \frac{1}{\rho} \quad (2-1)$$

Berat jenis  $\gamma$  adalah gaya gravitasi terhadap massa yang terkandung dalam sebuah satuan volume zat. Jadi

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (2-2)$$

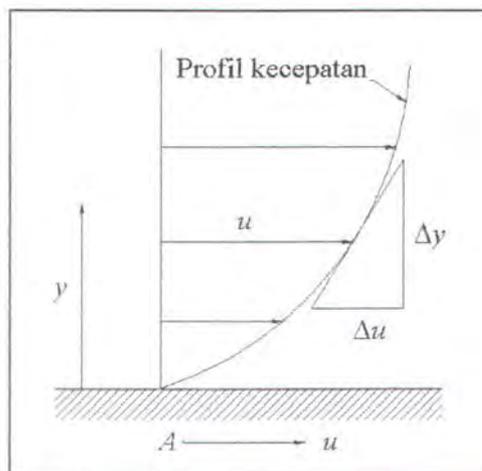
Untuk fluida-fluida sejati yang bergerak terdapat sebuah sifat yang penting yaitu viskositas. Viskositas merupakan ukuran ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan bentuk. Newton mendalilkan bahwa tegangan geser dalam sebuah fluida sebanding dengan laju perubahan kecepatan ruang (*spatial rate of change of velocity*) yang normal terhadap aliran. Laju perubahan kecepatan ruang ini disebut gradien kecepatan (*velocity gradient*), yang juga merupakan laju deformasi sudut (*rate of angular deformation*). Dalam Gambar. 2.1, kecepatan  $u$  bervariasi dengan jarak  $y$  dari batas pada lokasi  $A$ , dan kurva yang

## Tugas Akhir

menghubungkan ujung-ujung vektor kecepatan disebut profil kecepatan (*velocity profile*). Gradien kecepatan pada setiap harga  $y$  didefinisikan sebagai

$$\frac{du}{dy} = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta u}{\Delta y} \right)$$

dan menggambarkan kebalikan dari condong kurva profil kecepatan yang diperlihatkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Profil kecepatan dan gradien kecepatan

Untuk fluida yang sangat viskos pada kecepatan rendah, fluida mengalir dalam lapisan-lapisan yang sejajar, dan untuk fluida yang menjalani translasi dalam satu arah saja, sebagaimana tampak dalam gambar 2.1, tegangan geser pada suatu harga  $y$  adalah

$$\tau = \mu \left( \frac{du}{dy} \right) \quad (2-3)$$

dengan  $\mu$  faktor perbandingan yang dikenal sebagai *viskositas dinamik*. Pada aliran-aliran dengan gerak yang lebih kompleks terdapat tegangan-tegangan geser dengan arah lebih dari satu dan ekspresi yang menghubungkan tegangan dengan

## Tugas Akhir

gradien kecepatan pun lebih kompleks. Hubungan-hubungan ini umumnya hanya bermanfaat untuk aliran-aliran *laminer*, yang dibedakan dari aliran-aliran *turbulen* dalam hal bahwa secara keseluruhan gerak fluida tidak mengalami fluktuasi. Apabila fluktuasi ini, yang terdapat dalam aliran-aliran turbulen, dirata-ratakan dengan pengertian yang sama seperti merata-ratakan gerak setiap molekul, akan dibutuhkan hubungan-hubungan tambahan untuk menjelaskan perpindahan atau transfer momentum.

Viskositas dinamik tampaknya sama dengan nisbah tegangan geser terhadap gradien kecepatan sehingga karena itu dimensinya adalah gaya kali waktu per satuan luas atau massa per satuan panjang dan waktu. Dalam sistem satuan SI, tegangan geser diekspresikan dalam  $\text{N/m}^2$  (Pa) dan gradien kecepatan dalam  $(\text{m/s})/\text{m}$ , karena itu satuan SI untuk viskositas dinamik adalah

$$\mu = \frac{\text{N/m}^2}{(\text{m/s})/\text{m}} = \frac{\text{N s}}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{m s}}$$

karena  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$ .

Viskositas kinematik  $\nu$  didefinisikan sebagai nisbah viskositas dinamik terhadap kerapatan

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \tag{2-4}$$

dengan dimensi-dimensi luas per satuan waktu ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) dalam sistem SI.

Viskositas kinematik zat cair pada hakekatnya adalah suatu fungsi temperatur karena baik viskositas dinamik maupun kerapatan pun demikian. Jadi, baik viskositas dinamik maupun viskositas kinematik boleh disajikan dalam bentuk grafik atau tabel sebagai fungsi temperatur [Olson dan Wright, 1990].

### **2.1.3. Klasifikasi Aliran Fluida**

Banyak kriteria yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan fluida. Sebagai contoh, aliran dapat digolongkan sebagai aliran *steady* atau *unsteady*, satu, dua, atau tiga dimensi, seragam atau tidak seragam, laminar atau turbulen, dan dapat mampat atau tidak dapat mampat.

Aliran disebut *steady* bila kondisi-kondisi dalam medan aliran tidak bervariasi terhadap waktu, aliran yang tidak demikian tentu saja disebut aliran *unsteady* [Olson dan Wright, 1990].

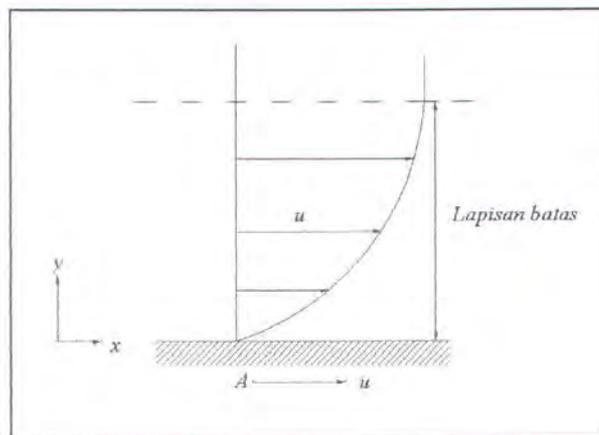
*Aliran satu dimensi* adalah aliran dimana semua parameter fluida dan aliran (kecepatan, tekanan, dan temperatur, dan karena itu kerapatan dan viskositas juga) konstan di seluruh potongan melintang yang normal terhadap aliran [Shapiro, 1953].

Kebanyakan orang menggunakan harga rata-rata untuk seluruh potongan melintang, meskipun sesungguhnya di situ terdapat sedikit variasi. Baik kecepatan aliran maupun luas potongan melintang mungkin berubah-ubah dari potongan yang satu ke potongan yang lain. Harga rata-rata untuk parameter-parameter fluida dan aliran hanya bervariasi dari potongan yang satu ke potongan yang lain. Aliran fluida sejati tidak bisa sepenuhnya satu dimensi, karena kecepatan di permukaan batas dan terhadap permukaan batas harus nol. Namun demikian, seringkali aliran fluida itu boleh diandaikan satu dimensi. Apabila suatu aliran tergolong satu dimensi, baik sesungguhnya maupun diandaikan, kita boleh menerapkan analisis satu dimensi terhadap sistem aliran itu. Dan untuk aliran

## Tugas Akhir

dalam sebuah potongan melintangnya, kita menggunakan harga rata-rata [Olson dan Wright, 1990].

*Aliran dua dimensi* umumnya didefinisikan sebagai aliran yang sama dalam bidang-bidang sejajarnya dan tidak satu dimensi. Juga dapat didefinisikan sebagai aliran yang parameter-parameter fluida dan alirannya dinyatakan dengan harga rata-rata dari harga-harga dalam suatu dimensi ruang. Aliran dalam sebuah danau yang dangkal sering dianalisis dengan memecahkan persamaan-persamaan yang menggunakan harga rata-rata untuk dimensi vertikal atau kedalamannya, akan tetapi untuk gerak dalam arah horisontal, harga-harga aslinyalah yang diambil. Definisi di atas lebih sering diterapkan pada aliran yang parameter-parameter fluida atau alirannya (atau keduanya) diandaikan memiliki gradien ruang dalam dua arah,  $x$  dan  $y$ . Pada Gambar 2.2, aliran di sebelah dalam lapisan batas adalah aliran dua dimensi, sedangkan aliran di luar lapisan batas pada dasarnya berdimensi satu.



Gambar 2.2. Aliran dua dimensi

## *Tugas Akhir*

*Aliran tiga dimensi* adalah aliran dimana parameter-parameter fluida atau alirannya bervariasi dalam arah-arah  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  dalam sistem koordinat kartesius. Jadi gradien-gradien parameter-parameter fluida atau aliran terdapat dalam ketiga arah tersebut.

Aliran dapat digolongkan sebagai aliran *rotasi* atau aliran *non-rotasi* tergantung apakah partikel-partikel atau elemen-elemen dalam fluida berputar terhadap sumbu aliran tersebut.

Aliran boleh dianggap *seragam (uniform)* atau *tidak seragam* tergantung pada variasi potongan melintang dan kecepatan aliran dalam arah aliran itu. Apabila kecepatan rata-rata (*mean velocity*)  $V$  dan luas penampang melintang  $A$  konstan dalam arah aliran, aliran disebut seragam. Bila tidak demikian, aliran disebut tidak seragam.

Aliran dianggap *tidak mampat (incompressible)* bila perubahan kerapatan fluida di situ dapat diabaikan. Semua aliran zat cair dan aliran gas pada kecepatan rendah boleh dianggap aliran yang tidak dapat mampat.

Sebuah klasifikasi yang penting sekali adalah klasifikasi yang menggolongkan aliran sebagai aliran *laminar* atau *turbulen*. Perbedaan ini didasarkan pada karakteristik internal aliran dan menentukan analisis macam apa yang boleh diterapkan. Umumnya klasifikasi ini bergantung pada apakah gangguan-gangguan sembarang yang dapat dialami oleh suatu aliran akan memudar kemudian lenyap di arah hilir dari titik tempat kejadian ataukah gangguan-gangguan itu akan semakin besar dan akhirnya akan mempengaruhi seluruh medan aliran dengan suatu komponen gerak yang tampak acak dan kacau.

Apabila sebuah aliran mempunyai kecepatan yang relatif rendah atau fluidanya sangat viskos, gangguan yang mungkin dialami oleh medan aliran itu akibat getaran, ketidakteraturan permukaan batas dan sebagainya, relatif lebih cepat teredam oleh viskositas fluida tersebut. Aliran yang demikian disebut aliran laminar. Dalam hal ini fluida boleh dianggap bergerak dalam bentuk lapisan-lapisan (*lamina*), dengan pertukaran molekuler yang hanya terjadi di antara lapisan-lapisan yang berbatasan.

Aliran *turbulen* dapat dicirikan dengan adanya ketidakteraturan lokal dalam medan aliran yang dipengaruhi oleh sifat-sifat mekanik seperti kecepatan, tekanan, atau temperatur. Cara yang mudah untuk membuat visualisasi tentang sifat aliran tersebut adalah dengan cara menganggap aliran itu tersusun dari sejumlah gumpalan fluida diskret yang disebut *eddies* (olakan, pusaran) [Olson dan Wright, 1990].

#### **2.1.4. Hukum-Hukum Dasar untuk Suatu Sistem dan Volume Kendali**

Suatu sistem menunjuk pada suatu massa bahan yang tertentu serta membedakannya dari semua zat lainnya yang disebut lingkungannya. Batas suatu sistem membentuk permukaan tertutup. Permukaan ini dapat berubah dengan waktu sedemikian hingga permukaan tersebut melingkupi massa yang sama selama terjadi perubahan-perubahan terhadap kondisinya. Suatu volume kendali menunjuk suatu daerah di dalam ruang dan bermanfaat dalam analisis terhadap situasi-situasi dengan terjadinya aliran ke dalam serta keluar dari ruang tersebut. Batas suatu volume kendali adalah permukaan kendalinya. Ukuran serta bentuk

## Tugas Akhir

volume kendali adalah sepenuhnya sembarang tetapi acapkali sebagian demi sebagian dibuat berimpit dengan batas-batas benda padat. Di bagian – bagian lainnya digambarkan tegak lurus terhadap arah aliran demi penyederhanaan. Dengan superposisi suatu kecepatan seragam pada sistem serta lingkungannya seringkali kita dapat memperoleh situasi yang memudahkan untuk penerapan volume kendali [Streeter dan Wylie,1988].

Untuk mempermudah dalam analisa suatu volume kontrol atau volume kendali ada beberapa hukum dasar yang perlu dipahami dan dimengerti. Hukum-hukum dasar tersebut adalah [Fox dan McDonald,1984]:

### 1. Hukum kekekalan massa (*the law of conservation of mass*)

Hukum kekekalan massa ini menyatakan bahwa massa tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Apabila diaplikasikan pada suatu sistem berarti bahwa massa didalam suatu sistem adalah tetap konstan terhadap waktu (jika pengaruh relativitasnya diabaikan). Jika ditulis dalam bentuk persamaan terhadap waktu atau laju (*rate equation*) maka dapat ditulis :

$$\left. \frac{dM}{dt} \right)_{sistem} = 0 \quad (2.5)$$

dimana :

$$M_{sistem} = \int_{massa(sistem)} dm = \int_{\forall(sistem)} \rho d\forall \quad (2.6)$$

## Tugas Akhir

### 2. Hukum kedua Newton (*the Newton's second law*)

Hukum kedua Newton menyatakan bahwa jumlah total gaya-gaya luar yang bekerja pada suatu sistem adalah berbanding lurus dengan laju perubahan momentum linier dari sistem terhadap waktu.

Bentuk persamaannya bila ditulis :

$$\vec{F} = \left. \frac{d\vec{P}}{dt} \right)_{sistem} \quad (2.7)$$

dimana :

$$\vec{P}_{sistem} = \int_{massa(sistem)} \vec{V} dm = \int_{\forall(sistem)} \vec{V} \rho d\forall \quad (2.8)$$

### 3. Hukum pertama termodinamika (*the first law of thermodynamics*)

Hukum pertama termodinamika merupakan pernyataan mengenai kekekalan energi untuk suatu sistem. Dalam bentuk persamaan terhadap waktu atau laju (*rate equation*) dapat ditulis dengan :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \left. \frac{dE}{dt} \right)_{sistem} \quad (2.9)$$

dimana total energi dari sistem adalah :

$$E_{sistem} = \int_{massa(sistem)} e dm = \int_{\forall(sistem)} e \rho d\forall \quad (2.10)$$

dan :

$$e = u + \frac{V^2}{2} + gz \quad (2.11)$$

## Tugas Akhir

dimana :

$u$  = energi dalam per satuan massa

$\frac{V^2}{2}$  = energi kinetik per satuan massa

$gz$  = energi potensial per satuan massa

Untuk persamaan (2.5) panas yang dipindahkan persatuan waktu,  $\dot{Q}$ , berharga positif bila panas diberikan ke sistem dari sekitarnya. Sedang kerja persatuan waktu,  $\dot{W}$ , berharga positif bila kerja dilakukan oleh sistem pada sekitarnya.

## 2.2. Teori Mekanika Fluida tentang Aliran Dua Dimensi

### 2.2.1. Aliran Eksternal

Aliran eksternal menyangkut aliran di daerah yang tidak terbatas, sebagaimana disebutkan oleh namanya. Jika suatu benda melalui suatu aliran fluida maka gerakan fluida nyata sangat terpengaruh oleh adanya benda tersebut. Aliran itu bisa meluas dengan bebas, betapapun tebal lapisan viskosnya.. Jadi, di tempat agak jauh dari benda tersebut alirannya tanpa kekentalan (*inviscid*). Dalam metode analisis yang sangat penting, yang disebut teori lapisan batas, gerak lapisan viskos di dekat dinding ditentukan, dan kemudian hasilnya di'tambal'kan pada aliran *inviscid* di bagian luar. Penambalan itu semakin berhasil apabila angka Reynoldnya semakin besar [White,1994].



### 2.2.2. Angka Reynolds

Aliran Laminer berdefiniskan aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar pada lapisan yang bersebelahan dengan saling tukar momentum secara molekular saja. Kecenderungan ke arah ketakstabilan dan turbulensi diredam habis oleh gaya-gaya geser viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan. Namun, aliran turbulen mempunyai gerakan partikel-partikel fluida yang sangat tidak menentu, dengan saling tukar momentum dalam arah melintang yang dahsyat. Sifat pokok aliran, yaitu apakah laminer atau turbulen, serta posisi relatifnya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen terhadap kecenderungan laminer ditunjukkan oleh *angka Reynolds* [Streeter dan Wylie, 1988].

Angka Reynolds mewakili ratio gaya-gaya inersia terhadap gaya-gaya viskos/kekentalan [Orianto dan Pratikto, 1989].

Untuk lingkaran :

$$\text{Angka Reynolds } Re = \frac{2\rho UR}{\mu} = \frac{2RU}{\nu} \quad (2.12)$$

Untuk ellips :

$$\text{Angka Reynolds } Re = \frac{\rho UI}{\mu} = \frac{IU}{\nu} \quad (2.13)$$

Dimana :

U = kecepatan free stream

## *Tugas Akhir*

$R$  = jari-jari penampang

$l$  = panjang penampang

$\nu$  = viskositas kinematis

$\rho$  = kerapatan / density

$\mu$  = viskositas dinamis

Reynolds menemukan bahwa aliran selalu menjadi laminar bila kecepataannya diturunkan sedemikian hingga  $Re$  lebih kecil daripada 2000. Aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen dalam daerah bilangan Reynolds dari 2000 sampai 4000 [Streeter dan Wylie, 1988].

### **2.3. Teori Lapisan Batas**

#### **2.3.1. Uraian Tentang Lapisan Batas**

Dalam kasus aliran fluida yang melewati suatu benda, misalnya aliran melewati benda yang streamline atau aerofoil, pengaruh viskositas pada angka Reynolds yang tinggi, akan tampak batasan yang sangat kecil disekitar permukaan benda. Pada lapisan tipis tersebut kecepatan fluida meningkat dari nol pada permukaan benda sampai kecepatan yang sama dengan kecepatan fluida (*free stream velocity*). Lapisan tipis inilah yang dinamakan *lapisan batas* (*boundary layer*) [Schlichting, 1968].

Tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*) dapat diekspresikan dalam sejumlah cara :

- Dalam salah satu definisi, tebal lapisan batas mengacu ketebal sesungguhnya daerah aliran yang terhambat,  $\delta$ . Namun, perlu diingat bahwa lapisan batas

## Tugas Akhir

hanyalah sebuah konsep sedangkan efek viskositas fluida harus dapat dirasakan dimana-mana, tidak peduli betapapun kecilnya efek tersebut yaitu [Olson dan Wright, 1990].

Karena kecepatan  $u$  dalam lapisan batas mendekati kecepatan arus bebas (free stream velocity)  $U_\infty$  di titik asimptot, maka dalam pengukuran profil kecepatan lapisan batas  $\delta$  lazim didefinisikan sebagai jarak dari batas ke titik dimana  $u = 0.99 U_\infty$  [Schlichting, 1968].

- Tebal displasemen (*displacement thickness*)  $\delta^*$  didefinisikan sebagai jarak batas sesungguhnya yang harus dipindahkan agar laju aliran sesungguhnya sama dengan laju aliran fluida ideal yang melewati batas yang pindah itu [Olson dan Wright, 1990]. Tebal ini boleh diekspresikan sebagai

$$\delta^* = \frac{1}{U_\infty} \int_0^\delta (U_\infty - u) dy = \int_0^\delta \left(1 - \frac{u}{U_\infty}\right) dy \quad (2-14)$$

Atau besarnya harga *displacement thickness* adalah sekitar  $\frac{1}{3}$  dari *boundary layer thickness*  $\delta$  [Schlichting, 1968]

- Tebal momentum (*momentum thickness*) didefinisikan sebagai jarak dari batas sesungguhnya yang sedemikian rupa sehingga fluks momentum melalui daerah lapisan batas sama dengan fluks momentum yang akan terjadi dengan kecepatan konstan  $U_\infty$  melalui kedalaman aliran yang dikurangi dengan  $\theta$  [Olson dan Wright, 1990], yang dapat diekspresikan sebagai

$$\rho U_\infty^2 \theta = \rho \int_0^\delta u(U_\infty - u) dy$$

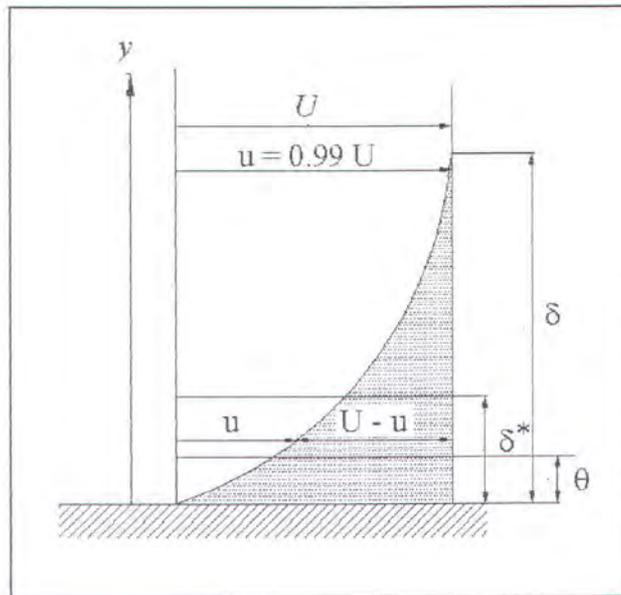
sehingga

## Tugas Akhir

$$\theta = \int_0^{\delta} \frac{u}{U_{\infty}} \left( 1 - \frac{u}{U_{\infty}} \right) dy \quad (2-15)$$

Atau besarnya harga momentum thickness adalah sekitar  $\frac{1}{6}$  dari boundary layer thikness  $\delta$  [Schlichting, 1968].

Jika  $\frac{u}{U_{\infty}}$  diekspresikan menurut  $y$ , maka  $\delta^*$  dan  $\theta$  dapat diekspresikan menurut  $\delta$ . Harga  $\delta$ , pada gilirannya dapat ditemukan dari sebuah solusi persamaan lapisan batas. Gambar 2.3, menjelaskan boundary layer thickness, displacement thickness, dan momentum thickness [Olson dan Wright, 1990].



Gambar 2.3. Lapisan batas menurut definisi, displacement thickness (luas persegi panjang  $U \cdot \delta^*$  sama dengan luas bagian yang diarsir

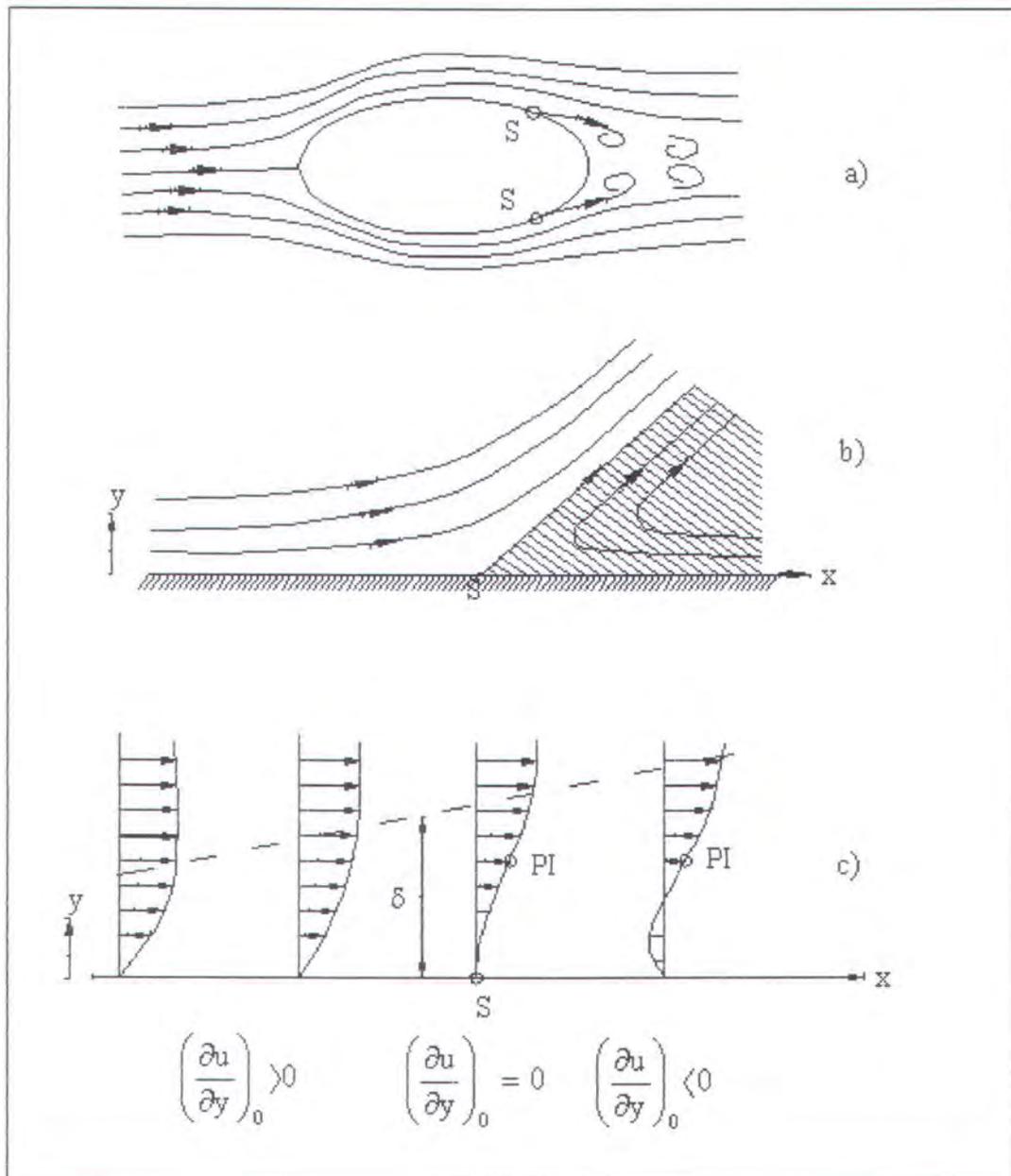
### 2.3.2. Pemisahan Lapisan Batas

Ketika suatu bidang permukaan dengan gradien tekanan berlawanan muncul di sepanjang dinding, partikel fluida lamban tidak mampu masuk / menembus terlalu jauh ke dalam bidang bertekanan tinggi akibat energi kinetiknya yang kecil. Jadi lapisan batas dibelokkan menyamping dari dinding dan bergerak ke dalam aliran utama. Hal inilah yang disebut pemisahan / separasi aliran (*flow separation*) seperti tampak pada gambar 2.4. Secara umum partikel fluida di belakang titik pemisahan (*point of separation*) mengikuti gradien tekanan dan bergerak dalam arah yang berlawanan dengan aliran eksternal.

Titik separasi didefinisikan sebagai batas antara aliran depan dan belakang pada lapisan yang paling dekat dari dinding, atau

$$\text{titik separasi : } \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=0} = 0 \quad (2-16)$$

Untuk menjawab pertanyaan apa dan kapan pemisahan terjadi, secara umum pertama-tama perlu mengintegrasikan persamaan lapisan batas. Umumnya persamaan lapisan batas sah jika hanya sejauh titik separasi. Suatu jarak pendek yang searah dengan aliran (*downstream*) dari titik separasi lapisan batas menjadi sangat kental sehingga asumsi yang dibuat pada awal tentang lapisan batas tidak berlaku lagi. Pada kasus benda dengan bagian belakang tumpul, lapisan batas terpisah menggantikan aliran potensial dari benda dengan jarak yang berarti dan distribusi tekanan yang dipengaruhi lapisan batas harus ditentukan lewat eksperimen, karena aliran eksternal tergantung pada gejala yang berkaitan dengan separasi [Schlichting, 1968].



Gambar 2.4. Separasi pada lapisan batas. a) Aliran melewati benda dengan separasi. b) Bentuk streamline dekat titik separasi. c) Distribusi kecepatan dekat titik separasi (PI = titik pembengkokan)

### 2.3.3. Persamaan-Persamaan Lapisan Batas

Disini hanya akan dilihat untuk aliran *viscous, incompressible dan steady* dalam dua dimensi, dengan arah  $x$  sepanjang dinding dan  $y$  normal pada dinding tersebut serta gravitasinya diabaikan. Persamaan gerak yang lengkap terdiri dari persamaan kontinuitas dan hubungan momentum pada arah-arah  $x$  dan  $y$ .

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.17a)$$

$$\rho \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2.17b)$$

$$\rho \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (2.17c)$$

Persamaan-persamaan di atas harus diselesaikan untuk memperoleh  $u$ ,  $v$ , dan  $p$ , dengan menerapkan syarat tidak tergelincir (*no slip*) dan syarat-syarat batas di lubang masuk (*inflow*) dan lubang keluar (*outflow*). Tetapi ternyata penyelesaian itu terlalu sulit untuk sebagian besar aliran luar (*eksternal flow*).

Pada tahun 1904 *Prandtl* menyimpulkan dengan betul bahwa suatu lapisan batas haruslah sangat tipis apabila bilangan Reynoldsnnya besar, sehingga pendekatan ini berlaku yaitu

Kecepatan :  $v \ll u$  (2.18a)

Laju perubahan :  $\frac{\partial}{\partial x} \ll \frac{\partial}{\partial y}$  (2.18b)

## Tugas Akhir

Jika pendekatan di atas dipakai dalam persamaan (2.17c), kita peroleh penyederhanaan yaitu

$$\frac{\partial p}{\partial y} \approx 0 \text{ atau } p \approx p(x) \text{ saja} \quad (2.19)$$

Dengan kata lain, persamaan momentum y dapat diabaikan sama sekali, dan tekanannya hanya berubah-ubah sepanjang lapisan batas, tidak melintasinya. Suku gradien tekanan dalam persamaan (2.17b) dianggap telah diketahui lebih dahulu dari persamaan Bernoulli yang diterapkan pada aliran luar inviscid.

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{dp}{dx} = -\rho U \frac{dU}{dx} \quad (2.20)$$

Akibat dari persamaan (2.18), maka satu suku dalam persamaan (2.17b) dapat diabaikan

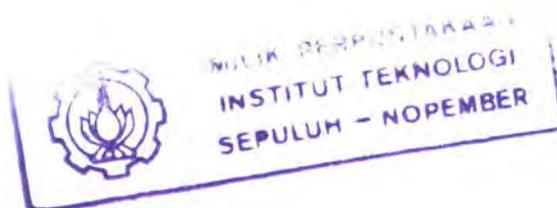
$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \ll \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2.21)$$

Namun tidak ada suku yang dapat diabaikan dalam persamaan kontinuitas (2.17), ini merupakan peringatan bahwa kontinuitas senantiasa menjadi bagian yang vital dari setiap analisis aliran fluida.

Hasilnya, ketiga persamaan gerak yang lengkap (2.17) tinggal menjadi dua persamaan lapisan batas Prandtl, yaitu

$$\text{Kontinuitas} \quad : \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.22a)$$

$$\text{Momentum sepanjang dinding} \quad : \quad u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \approx U \frac{dU}{dx} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial y} \quad (2.22b)$$



## Tugas Akhir

Dalam persamaan (2.22b),  $\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$  untuk aliran laminar dan

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} - \overline{\rho u'v'}$$
 untuk aliran turbulen.

Dari persamaan ini dicari  $u(x,y)$  dan  $v(x,y)$ , sedang  $U(x)$  dianggap telah diketahui dari analisis aliran inviscid di sebelah luar. Ada dua syarat batas untuk  $u$  dan  $v$ , yaitu

$$\text{Pada } y = 0 \text{ (dinding)} \rightarrow u = v = 0 \text{ (tidak terjadi slip)} \quad (2.23a)$$

$$\text{Pada } y = (\infty) \text{ (aliran luar)} \rightarrow u = U(x) \text{ (penambalan)} \quad (2.23b)$$

Persamaan lapisan batas telah diselesaikan untuk banyak kasus yang menarik, baik untuk aliran dalam, maupun untuk aliran luar, laminar atau turbulen, dengan memanfaatkan distribusi kecepatan di daerah aliran inviscid  $U(x)$  yang sesuai untuk aliran yang bersangkutan [White, 1994].

### 2.3.4. Lapisan Batas Dengan Gradien Tekanan

*Prandtl* menunjukkan bahwa pemisahan seperti dalam Gambar 2.4a disebabkan karena kerugian momentum yang berlebihan di dekat dinding dalam lapisan batas yang berusaha merambat ke hilir melawan tekanan yang semakin membesar. Menaiknya tekanan yang melawan aliran lapisan batas ini,  $dp/dx > 0$ , disebut gradien tekanan merugikan. Keadaan sebaliknya, yakni  $dp/dx < 0$ , disebut gradien tekanan menguntungkan, dan tidak pernah menimbulkan pemisahan aliran. Dalam aliran melalui benda terbenam yang lazim seperti Gambar 2.4a, gradien yang menguntungkan terjadi di depan dan gradien yang merugikan terjadi di belakang.

## Tugas Akhir

Dari persamaan momentum (2.22b) pada dinding, tempat  $u = v = 0$ , kita dapatkan

$$\left. \frac{\partial \tau}{\partial y} \right|_{\text{dinding}} = \mu \left. \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right|_{\text{dinding}} = -\rho U \frac{dU}{dx} = \frac{dp}{dx}$$

atau

$$\left. \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right|_{\text{dinding}} = \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dx} \quad (2.24)$$

Jadi dalam gradien yang merugikan, turunan kedua dari kecepatan mempunyai nilai positif di dinding, namun nilainya harus negatif di lapisan luar ( $y = \delta$ ) untuk menyatu dengan aliran utama  $U(x)$ . Karena itu, turunan kedua tersebut pastilah melalui nilai nol di suatu tempat di antara dinding dan lapisan luar itu. Tempat itu dinamakan titik infleksi (*point of inflexion*), dan setiap profil lapisan batas dalam daerah bergradien merugikan harus menunjukkan ciri khasnya, yaitu berbentuk S.

Teori lapisan batas hanya dapat digunakan untuk mengerjakan perhitungan sampai ke titik pisah, sesudah itu tidak berlaku lagi [White, 1994].



BAB 3

**COMPUTATIONAL FLUID  
DYNAMICS (CFD)**

## BAB 3

### COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

#### 3.1. Sejarah Pengembangan CFD

*Computational Fluid Dynamics (CFD)* adalah bentuk baru “pendekatan ketiga” dalam studi dan pengembangan dari keseluruhan disiplin ilmu dinamika fluida selain pendekatan teori dan eksperimen murni. Pada abad ketujuh belas, dasar-dasar eksperimen dinamika fluida dikenalkan di Prancis dan Inggris. Pada abad kedelapan belas dan kesembilan belas memperlihatkan pengembangan dinamika fluida teoritis secara perlahan-lahan terutama di Eropa. Kemudian sepanjang abad kedua puluh studi dan praktek dalam dinamika fluida melibatkan penggunaan teori murni di satu sisi dan eksperimen murni di sisi lainnya. Jika kita mempelajari dinamika fluida pada tahun 1960-an, maka kita hanya bisa melakukannya dengan dua pendekatan yaitu teori dan eksperimen [Anderson, 1995].

Pada tahun 1970-an telah dikembangkan *CFD* dengan berbagai keterbatasan. Dengan hadirnya komputer digital berkecepatan tinggi dan dikombinasikan dengan pengembangan dari ketelitian algoritma numerik untuk penyelesaian masalah fisik pada komputer maka telah merubah dengan cepat cara kita dalam belajar dinamika fluida sekarang ini. Namun seiring dengan perkembangannya, *CFD* telah menempatkan diri sebagai pasangan yang sama dengan teori murni dan eksperimen murni dalam analisa dan penyelesaian masalah dinamika fluida [Anderson, 1995].

Hasil-hasil dari *CFD* langsung bisa dianalogikan dengan hasil-hasil yang diambil dari percobaan. Keduanya menampilkan data-data tentang konfigurasi aliran pada berbagai *Mach numbers*, *Reynolds numbers*, dan lain-lain. Akan tetapi, tidak seperti pada percobaan wind tunnel, dimana secara umum sangat berat dan sukar ditangani, sebuah program komputer (dalam bentuk disket) adalah sesuatu yang bisa dibawa kemana saja. Atau lebih baik lagi yaitu, bahwa sumber dari suatu program yang dihasilkan dari komputer, bisa diakses dengan cepat oleh kita sekalipun bermil-mil jauhnya dari komputer itu sendiri [Anderson, 1995].

Pada saat ini terdapat banyak perangkat lunak *CFD* yang dapat digunakan selain *ANSYS Flotran CFD* dalam analisa fluida diantaranya *FLUENT*, *CFX*, dan lain-lain. *ANSYS/FLOTRAN* telah menawarkan sebuah *tool* yang sangat luas untuk analisa dua dimensi dan tiga dimensi. Dengan *CFD Flotran ANSYS* kita bisa mendapatkan penyelesaian seperti [Kohnke, 1998] :

- Lift dan Drag pada airfoil
- Aliran pada supersonic nozzles
- Aliran tiga dimensi pada suatu pipa

Pada penelitian ini digunakan perangkat lunak *Flotran CFD ANSYS 5.7* dengan salah satu kemampuannya yaitu menyelesaikan perhitungan distribusi kecepatan, serta koefisien tekanan dan tegangan geser pada permukaan benda lingkaran dan ellips.

### 3.2. Persamaan Dasar Dinamika Fluida dalam CFD

Pada dasarnya semua jenis *CFD* didasarkan pada persamaan umum (*governing equations*) dinamika fluida, yaitu persamaan kontinuitas, momentum, dan energi. Persamaan-persamaan ini merupakan pernyataan matematis untuk tiga prinsip dasar fisika yang merupakan dasar semua pengembangan dinamika fluida [Anderson, 1995] :

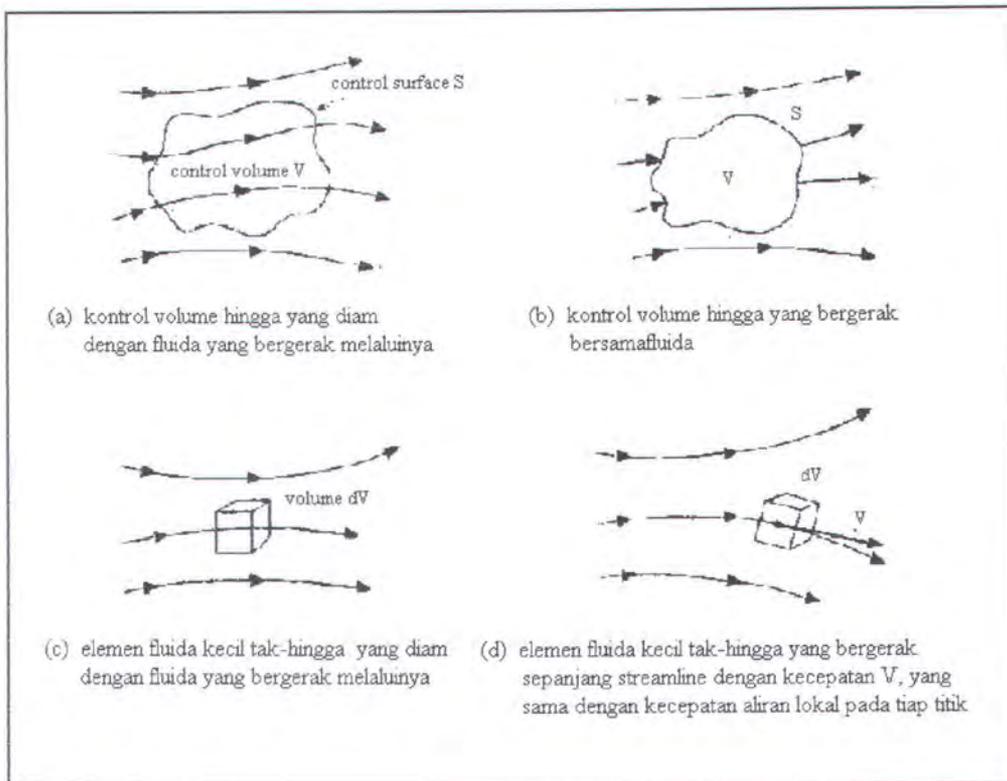
1. Hukum kekekalan massa.
2. Hukum kedua Newton,  $\mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$
3. Hukum kekekalan energi.

Untuk mendapatkan persamaan dasar gerak fluida, filosofi berikut ini selalu diikuti:

1. Memilih prinsip fisika dasar dari hukum-hukum fisika (hukum kekekalan massa, hukum kedua Newton, dan hukum kekekalan energi).
2. Menerapkan prinsip-prinsip fisika ini dalam model aliran.
3. Dari penerapan ini, diuraikan persamaan matematis yang meliputi prinsip-prinsip fisika.

Untuk menghasilkan model aliran dapat digunakan metode kontrol volume dan metode elemen fluida seperti pada Gambar 3.1. Dari penurunan model (a) dan (c) akan didapatkan persamaan yang disebut *conservation form*, sedangkan dari penurunan model (b) dan (d) akan didapatkan persamaan yang disebut *nonconservation form*. Hasil penurunan dari keempat model ini pada dasarnya akan menghasilkan persamaan yang sama, hanya dalam bentuk manipulasi matematis yang berbeda.

## Tugas Akhir



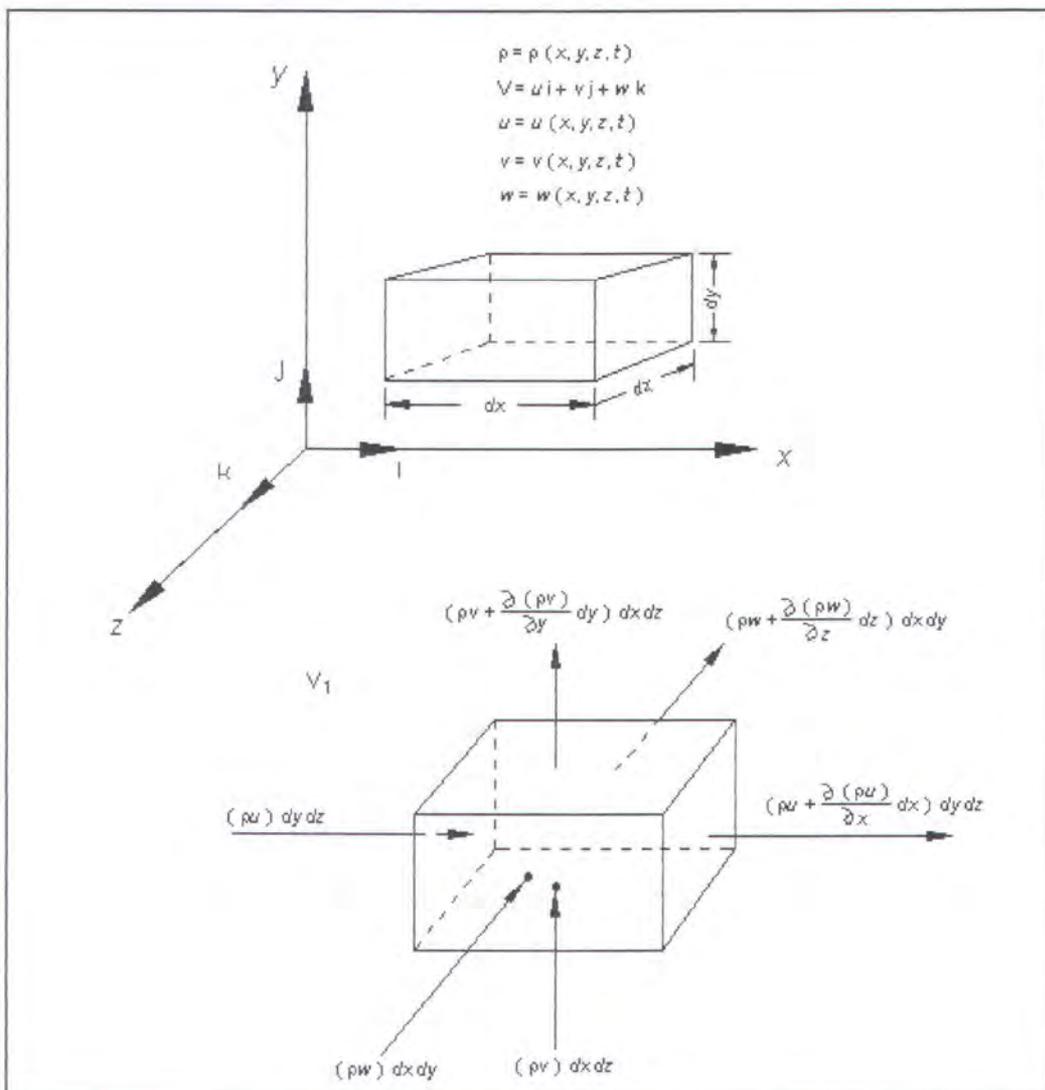
Gambar 3.1. Model-model aliran. (a & b) pendekatan kontrol volume-hingga, (c & d) pendekatan elemen fluida kecil tak-hingga.

### 3.3. Persamaan Aliran Viscous (Persamaan Navier~Stokes)

Aliran *viscous* merupakan persamaan aliran yang mengikutkan fenomena pemindahan gesekan/ *friction*, konduksi/ hantaran panas, dan/ atau difusi/ penyebaran massa.

### 3.3.1. Persamaan Kontinuitas

Pada Gambar 3.1c diperlihatkan elemen kecil tak-hingga (*infinitesimal fluid elemen*) yang tetap-dalam-ruang dengan fluida yang bergerak disekitarnya. Model aliran ini secara detail terlihat pada Gambar 3.2. Dalam hal ini digunakan sistem koordinat Cartesian, dengan kecepatan dan densitas merupakan fungsi dari bidang  $(x,y,z)$  dan waktu  $t$ . Elemen ini mempunyai sisi-sisi  $dx$ ,  $dy$ , dan  $dz$ .



Gambar 3.2. Model elemen kecil tak-hingga yang tetap-dalam-ruang

## Tugas Akhir

Gambar 3.2. memperlihatkan aliran massa yang melalui elemen-tetap ini. Pada permukaan kiri dan kanan (elemen yang tegak lurus terhadap sumbu  $x$ ) luasan pada permukaan ini adalah  $dy dz$ . Aliran massa melalui permukaan kiri adalah  $(\rho u) dy dz$ . Karena kecepatan dan densitas merupakan fungsi dari lokasinya di dalam ruang, maka nilai aliran massa yang melewati permukaan kanan akan berbeda dari nilai besaran massa yang melalui permukaan kiri dengan perbedaan aliran massa sebesar  $[\partial(\rho u) / \partial x] dx$ . Karenanya, aliran massa melalui permukaan kanan dapat dinyatakan sebagai  $\{\rho u + [\partial(\rho u) / \partial x] dx\} dy dz$ . Dengan cara yang sama, aliran massa yang melalui permukaan bawah dan atas, yang tegak lurus terhadap sumbu  $y$ , adalah  $(\rho v) dx dz$  dan  $\{\rho v + [\partial(\rho v) / \partial y] dy\} dx dz$ . Sedangkan aliran massa yang melalui permukaan depan dan belakang, yang tegak lurus terhadap sumbu  $z$ , adalah  $(\rho w) dx dy$  dan  $\{\rho w + [\partial(\rho w) / \partial z] dz\} dx dy$ .

Sesuai konvensi bahwa  $u$ ,  $v$ , dan  $w$  bernilai positif pada arah sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . Maka, arah panah pada Gambar 3.2 menunjukkan kontribusi aliran massa masuk dan keluar melalui sisi-sisi elemen-tetap. Aliran keluar massa dengan nilai positif akan didapatkan sebagai:

*Aliran keluar-bersih (net outflow) dalam arah sumbu  $x$  :*

$$\left[ \rho u + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} dx \right] dy dz - (\rho u) dy dz = \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} dx dy dz \quad (3.1)$$

*Aliran keluar-bersih dalam arah sumbu  $y$  :*

## Tugas Akhir

$$\left[ \rho v + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} dy \right] dx dz - (\rho v) dx dz = \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} dx dy dz \quad (3.2)$$

Aliran keluar-bersih dalam arah sumbu  $z$  :

$$\left[ \rho w + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} dz \right] dx dy - (\rho w) dx dy = \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} dx dy dz \quad (3.3)$$

Maka aliran massa-bersih yang keluar dari elemen adalah:

$$\text{Aliran massa-bersih} = \left[ \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \right] dx dy dz \quad (3.4)$$

Massa total fluida elemenkecil tak-hingga adalah  $\rho(dx dy dz)$ , maka peningkatan massa dalam ukuran waktu (*time rate*) tertentu di dalam elemen adalah:

$$\text{Peningkatan massa terhadap waktu} = \frac{\partial \rho}{\partial t} (dx dy dz) \quad (3.5)$$

Prinsip fisika menyatakan bahwa massa adalah kekal (*mass is conserve*), saat diterapkan untuk elemen-tetap dalam Gambar 3.2, bisa diekspresikan dalam pernyataan berikut: aliran massa-bersih yang keluar dari elemen harus sama dengan *pengurangan* massa dalam elemen dalam ukuran waktu tersebut. Menandai pengurangan massa dengan besaran negatif, pernyataan ini bisa dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$\left[ \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \right] dx dy dz = - \frac{\partial \rho}{\partial t} (dx dy dz) \quad (3.6)$$

atau

## Tugas Akhir

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \left[ \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \right] = 0 \quad (3.7)$$

Pada persamaan (3.7), variabel dalam kurung merupakan  $\nabla \cdot (\rho \mathbf{V})$ , maka persamaan (3.7) menjadi :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0 \quad (3.8)$$

Dalam koordinat Cartesian, operator vektor  $\nabla$  didefinisikan sebagai :

$$\nabla \equiv \mathbf{i} \frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial}{\partial z} \quad (3.9)$$

$\mathbf{V}$  adalah vektor kecepatan dalam koordinat Cartesian.

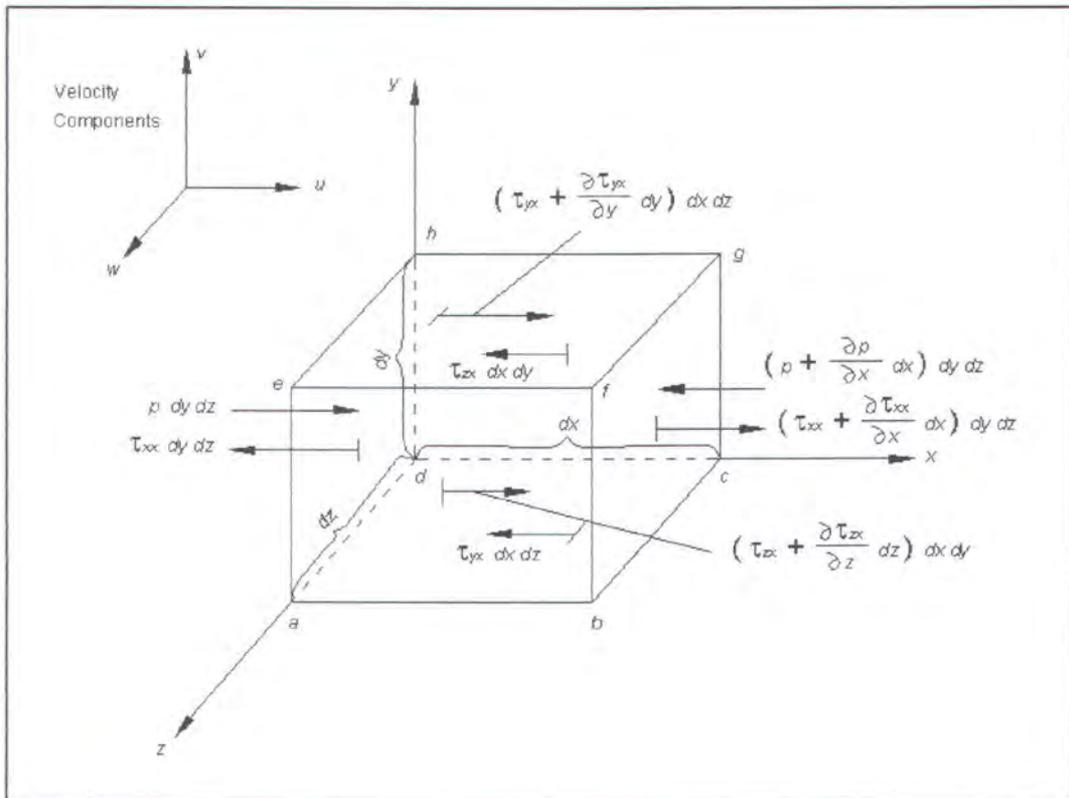
$$\mathbf{V} = u\mathbf{i} + v\mathbf{j} + w\mathbf{k}. \quad (3.10)$$

$\nabla \cdot \mathbf{V}$  disebut sebagai *convective derivative*, yang secara fisik merupakan ukuran waktu terjadinya perubahan karena pergerakan elemen fluida dari satu lokasi ke lokasi lainnya dalam bidang aliran, yang kondisinya relatif berbeda.

### 3.3.2. Persamaan Momentum

Pada bagian ini, diterapkan prinsip fisika dasar yang lain ke dalam model aliran, yaitu hukum Newton kedua. Seperti pada bagian 3.3.1, di sini digunakan model elemen fluida kecil tak-hingga dengan fluida bergerak di sekelilingnya. Model ini diperlihatkan dengan lebih jelas pada gambar berikut:

## Tugas Akhir



Gambar 3.3. Gaya-gaya yang bekerja pada sumbu x pada elemen fluida kecil takhingga yang bergerak

Hukum kedua Newton dalam arah  $x$  dapat ditulis sebagai berikut:

$$F_x = m a_x \quad (3.11)$$

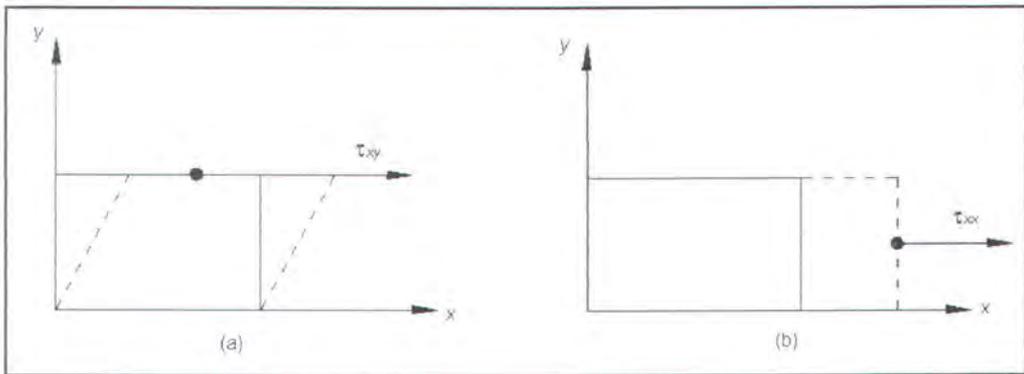
$F_x$  dan  $a_x$  adalah komponen skalar arah  $x$  untuk gaya dan percepatan.

Pada elemen fluida yang bergerak akan timbul gaya, dimana sumber gaya tersebut adalah:

1. Gaya badan (*body force*), yang berlaku langsung pada volume massa dari elemen fluida. Gaya-gaya ini “berlaku pada jarak tertentu”; contohnya adalah gaya gravitasi, listrik, dan magnetik.

## Tugas Akhir

2. Gaya permukaan, yang berlaku langsung pada permukaan elemen fluida. Gaya permukaan timbul karena adanya distribusi tekanan yang berlaku pada permukaan, disebabkan oleh fluida luar yang mengelilingi elemen fluida, dan distribusi tegangan geser dan normal yang berlaku pada permukaan, juga disebabkan oleh fluida luar yang “mendorong” permukaan dalam bentuk gesekan.



Gambar 3.4. (a) tegangan geser (berkaitan dengan tingkat perubahan deformasi pergeseran), dan (b) tegangan normal (berkaitan dengan tingkat perubahan volume).

Gaya badan per-unit massa pada elemen fluida ditandai sebagai  $f$ , dan  $f_x$  sebagai komponen gaya badan per-unit massa yang searah sumbu  $x$ . Volume fluida adalah  $(dx dy dz)$ , sehingga:

$$\text{Gaya badan pada elemen fluida searah sumbu } x = \rho f_x (dx dy dz) \quad (3.12)$$

Tegangan normal dan geser dalam fluida terkait dengan tingkat perubahan (terhadap waktu) dari deformasi elemen fluida, seperti terlihat dalam Gambar 3.4 (hanya untuk bidang  $xy$ ). Tegangan geser, ditandai dengan  $\tau_{xy}$ , berkaitan dengan

## Tugas Akhir

deformasi-pergeseran, sedangkan tegangan normal ( $\tau_{xx}$ ) berkaitan dengan tingkat perubahan volume dari elemen fluida. Sebagai hasilnya, baik tegangan geser maupun normal tergantung pada tingkat perubahan kecepatan dalam aliran. Dalam kebanyakan aliran *viscous*, tegangan normal (seperti  $\tau_{xx}$ ) jauh lebih kecil daripada tegangan geser dan seringkali diabaikan. Tegangan normal menjadi penting saat gradien kecepatan normal (misalnya  $\partial x / \partial y$ ) nilainya sangat besar, seperti di dalam gelombang kejut.

Gaya-gaya permukaan dalam arah- $x$  diperlihatkan dalam Gambar 3.3. Di sini diberlakukan konvensi bahwa  $\tau_{ij}$  menandai tegangan dalam arah  $j$  dan berlaku dalam bidang tegak lurus terhadap sumbu  $i$ . Pada permukaan  $abcd$ , gaya satu-satunya dalam arah- $x$  berhubungan dengan tegangan geser, yaitu  $\tau_{yz} dx dz$ . Permukaan  $efgh$  merupakan jarak  $dy$  di atas permukaan  $abcd$ , sehingga gaya geser pada arah  $x$  di permukaan  $efgh$  adalah  $[\tau_{yx} + (\partial\tau_{yx} / \partial y) dy] dx dz$  dengan arah ke kanan (positif terhadap arah- $x$ ). Perlu ditekankan bahwa arah tegangan geser pada permukaan  $abcd$  dan  $efgh$  di permukaan bawah, yaitu  $\tau_{yx}$  arahnya ke kiri (negatif sumbu  $x$ ), sedangkan pada permukaan atas,  $\tau_{yz} + (\partial\tau_{yx} / \partial y) dy$  arahnya ke kanan. Arah-arrah ini konsisten dengan konvensi bahwa nilai-nilai positif meningkat pada keseluruhan tiga komponen kecepatan,  $u$ ,  $v$ , dan  $w$ , terjadi pada arah positif sumbu. Sebagai contoh, dalam Gambar 3.3,  $u$  meningkat dalam arah  $y$ -positif. Kemudian, pada permukaan  $efgh$ ,  $u$  sedikit lebih tinggi di atas permukaan dari pada di permukaan, hal ini menyebabkan aksi “penarikan” (*tugging*) yang mencoba untuk mendorong elemen fluida ke arah  $x$ -positif. Sebaliknya, pada permukaan  $abcd$ ,  $u$  sedikit di bawah permukaan daripada di permukaan, hal ini

## Tugas Akhir

menyebabkan aksi pergeseran pada elemen fluida, yang terjadi pada arah  $x$ -negatif.

Arah-arrah dari seluruh tegangan *viscous* diperlihatkan dalam Gambar 3.3, termasuk  $\tau_{xx}$ , bisa disusun dengan cara yang sama. Khusus di permukaan  $dcgh$ ,  $\tau_{zx}$  berlaku pada arah  $x$ -negatif, sedangkan pada permukaan  $abfe$ ,  $\tau_{zx} + (\partial\tau_{zx}/\partial z) dz$  berlaku pada arah  $x$ -positif. Di permukaan  $adhe$ , yang tegak lurus terhadap sumbu- $x$ , gaya satu-satunya pada arah- $x$  adalah gaya tekan  $p dy dz$ , yang selalu beraksi pada arah *ke dalam* elemen fluida, dan  $\tau_{xx} dy dz$ , yang menuju ke arah  $x$ -negatif. Pada Gambar 3.3, alasan kenapa  $\tau_{xx}$  berada dalam permukaan  $adhe$  adalah sebagai “engsel-kiri” (*left hinges*) pada konvensi yang telah disepakati sebelumnya sebagai arah penambahan kecepatan. Di sini, sesuai konvensi, peningkatan positif dalam  $u$  adalah menuju ke arah  $x$ -positif. Karenanya, nilai  $u$  pada permukaan kiri  $adhe$  lebih kecil daripada nilai  $u$  pada permukaan itu sendiri. Sebagai hasilnya, aksi *viscous* pada tegangan normal berlaku sebagai suatu “hisapan” pada permukaan  $adhe$ , yaitu, ada aksi penggeseran ke arah kiri yang ingin memperlambat gerak elemen fluida. Kebalikannya, pada permukaan  $bcgf$ , gaya tekan  $[p + (\partial p/\partial x) dx] dy dz$  ditekan ke dalam pada elemen fluida (dalam arah  $x$ -negatif), dan karena nilai  $u$  pada sisi kanan permukaan  $bcgf$  lebih besar daripada nilai  $u$  di permukaan, terjadi “penghisapan” karena tegangan normal *viscous* yang mencoba untuk mendorong elemen ke kanan (dalam arah  $x$ -positif) dengan gaya setara dengan  $[\tau_{xx} + (\partial\tau_{xx}/\partial x) dx] dy dz$ . Dengan kerangka pikir seperti di atas, untuk elemen fluida yang bergerak bisa ditulis:

## Tugas Akhir

Gaya permukaan bersih dalam arah  $x =$

$$\begin{aligned} & \left[ p - \left( p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) \right] dydz + \left[ \left( \tau_{xx} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} dx \right) - \tau_{xx} \right] dydz + \\ & + \left[ \left( \tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy \right) - \tau_{yx} \right] dx dz + \left[ \left( \tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz \right) - \tau_{zx} \right] dx dy \quad (3.13) \end{aligned}$$

Gaya total dalam arah  $x$ ,  $F_x$ , diberikan oleh penjumlahan persamaan (3.12) dan (3.13), didapatkan :

$$F_x = \left[ -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right] dx dy dz + \rho f_x dx dy dz \quad (3.14)$$

Massa elemen fluida yaitu :

$$m = \rho dx dy dz \quad (3.15)$$

Percepatan elemen fluida adalah tingkat perubahan waktu dari kecepatan. Karenanya, komponen percepatan dalam arah- $x$  ( $a_x$ ), secara sederhana merupakan tingkat perubahan  $u$  terhadap waktu sejak kita mengikuti elemen fluida yang bergerak. Tingkat perubahan terhadap waktu ini diberikan oleh *derivative* dasar sebagai berikut :

$$a_x = \frac{Du}{Dt} \quad (3.16)$$

Dengan menggabungkan persamaan (3.11), (3.14), (3.15), dan (3.16), maka didapatkan :

## Tugas Akhir

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_x \quad (3.17)$$

yang merupakan komponen  $x$  dari persamaan momentum untuk aliran *viscous*.

Dengan cara yang sama, komponen  $y$  dan  $z$  bisa didapatkan sebagai berikut :

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho f_y \quad (3.18)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho f_z \quad (3.19)$$

Persamaan (3.17), (3.18), dan (3.19) merupakan persamaan *partial differential* yang didapatkan langsung dari penerapan prinsip fisika dasar terhadap elemen fluida kecil tak-hingga. Karena elemen fluida ini bergerak dengan fluida, maka persamaan (3.17) sampai (3.19) merupakan bentuk *nonconservation*. Persamaan-persamaan ini merupakan persamaan skalar dan disebut sebagai persamaan *Navier-Stokes*.

Persamaan Navier-Stokes bisa didapatkan dalam bentuk *conservation* sebagai berikut. Sisi kiri persamaan (3.17) ditulis dalam bentuk *derivative* dasar :

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho \mathbf{V} \cdot \nabla u \quad (3.20)$$

Juga diketahui bentuk *derivative* berikut :  $\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} = \rho \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial t}$  maka

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} - u \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (3.21)$$

## Tugas Akhir

Menggunakan identitas vektor untuk men-divergen-kan hasil skalar dikalikan dengan vektor, didapatkan  $\nabla \cdot (\rho u \mathbf{V}) = u \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) + (\rho \mathbf{V}) \cdot \nabla u$  atau dapat ditulis sebagai :

$$\rho \mathbf{V} \cdot \nabla u = \nabla \cdot (\rho u \mathbf{V}) - u \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) \quad (3.22)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3.21) dan (3.22) ke dalam persamaan (3.20), didapatkan :

$$\begin{aligned} \rho \frac{Du}{Dt} &= \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} - u \frac{\partial \rho}{\partial t} - u \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) + \nabla \cdot (\rho u \mathbf{V}) \\ \rho \frac{Du}{Dt} &= \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} - u \left[ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) \right] + \nabla \cdot (\rho u \mathbf{V}) \end{aligned} \quad (3.23)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3.8) ke dalam persamaan (3.23), didapatkan :

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u \mathbf{V}) \quad (3.24)$$

Substitusi persamaan (3.24) ke (3.17) menghasilkan :

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u \mathbf{V}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_x \quad (3.25)$$

dengan cara yang sama persamaan (3.18) dan (3.19) menjadi :

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v \mathbf{V}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho f_y \quad (3.26)$$

## Tugas Akhir

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho w \mathbf{V}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho f_z \quad (3.27)$$

Persamaan (3.25) sampai (3.27) adalah persamaan Navier-Stokes dalam bentuk *conservation*.

Pada akhir abad 17, Isaac Newton menyatakan bahwa tegangan geser pada fluida adalah proporsional terhadap tingkat waktu regangan (*strain*), yaitu gradien kecepatan. Beberapa fluida disebut fluida *newtonian* (fluida yang nilai  $\tau$ -nya tidak proporsional terhadap gradien kecepatan adalah fluida *non-newtonian*, darah contohnya). Dalam kebanyakan praktik aerodinamika, fluida bisa diasumsikan sebagai *newtonian*. Untuk fluida ini, Stokes mendapatkan :

$$\tau_{xx} = \lambda(\nabla \cdot \mathbf{V}) + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \quad (3.28)$$

$$\tau_{yy} = \lambda(\nabla \cdot \mathbf{V}) + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \quad (3.29)$$

$$\tau_{zz} = \lambda(\nabla \cdot \mathbf{V}) + 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \quad (3.30)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left[ \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right] \quad (3.31)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left[ \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right] \quad (3.32)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left[ \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right] \quad (3.33)$$

## Tugas Akhir

dengan  $\mu$  adalah koefisien viskositas molekul dan  $\lambda$  adalah koefisien viskositas kedua. Stokes membuat hipotesis bahwa  $\lambda = -(2/3)\mu$ , yang seringkali digunakan tapi belum didefinisikan dengan jelas hingga sekarang.

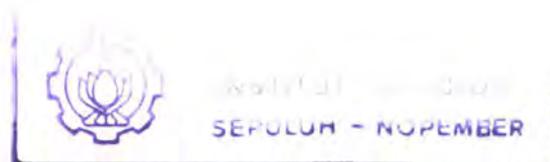
Substitusi persamaan (3.28) ~ (3.33) ke persamaan (3.25) ~ (3.27) didapatkan persamaan lengkap Navier~Stokes sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \nabla \cdot \mathbf{V} + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \rho f_x \end{aligned} \quad (3.34)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \nabla \cdot \mathbf{V} + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] + \rho f_y \end{aligned} \quad (3.35)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \nabla \cdot \mathbf{V} + 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \rho f_z \end{aligned} \quad (3.36)$$

### 3.4. Flotran CFD ANSYS 5.7



Dalam penyelesaian masalah dengan menggunakan *Flotran CFD ANSYS 5.7* terdiri dari tiga tahap, yaitu *Preprocessor*, *Solution (Flow Solver)*, dan *General Postproc (Post Processor)*.

## *Tugas Akhir*

### **3.4.1. Preprocessor**

Pada tahapan ini dilakukan beberapa langkah utama sebagai berikut :

1. *Element type* : pemilihan tipe elemen fluida yang akan digunakan, yaitu elemen *FLUID 141* untuk permasalahan yang diselesaikan dengan pendekatan dua dimensi atau *FLUID 142* untuk aliran tiga dimensi.
2. *Modeling* : pendefinisian geometri dari model yang akan diteliti.
3. *Meshing* : Membagi model yang telah dibuat menjadi sejumlah elemen, penentuan rasio dan tingkat kerapatannya, dan penentuan bentuk elemen serta sifat *meshing*.

### **3.4.2. Solution**

Pada tahap solusi terdiri dari dua masukan (*input*) utama yaitu masukan untuk kondisi batas (*loads*) dan masukan untuk *Flotran Set up*.

#### 1. *Loads*

Menentukan harga kecepatan dan tekanan pada batas-batas model yang telah dibuat.

#### 2. *Flotran Set up*

- a. *Solution options* : - *steady state* atau *transient*  
- *adiabatic* atau *thermal*  
- *laminar* atau *turbulent*  
- *incompressible* atau *compressible*

b. *Execution control* : penentuan jumlah iterasi dan tingkat kesalahan iterasi.

## *Tugas Akhir*

- c. *Additional out* : hasil tambahan yang ingin diketahui seperti tegangan geser di dinding.
- d. Penentuan sifat-sifat fluida yaitu densitas dan viskositas.
- e. *Flow environment* : penentuan acuan tekanan.

### 3. *Run Flotran*

Setelah semua *input* dimasukkan, maka pemodelan untuk simulasi ini dijalankan (proses *running*). Selama proses *running* berlangsung semua informasi iterasi ditampilkan oleh ANSYS *output* secara kontinyu. Iterasi akan berhenti sampai mencapai jumlah iterasi yang ditentukan atau sampai mencapai kesalahan iterasi yang telah ditentukan.

#### 3.4.3. General Postproc

Hasil dari proses *running* merupakan data-data numerik dari kecepatan dan tekanan pada tiap-tiap nodal. Hasil-hasil tersebut bisa ditampilkan dalam bentuk visualisasi dan animasi. *Additional out* (hasil tambahan) juga bisa didapatkan sesuai dengan yang diminta pada tahap *solution*.

### 3.5. Proses Validasi

#### 1. Convergence

Pada proses iterasi perhitungan akan selalu dikontrol dengan persamaan pengendali. Proses dikatakan berhenti jika variable-variabelnya tidak mengalami perubahan yang besar atau grafik iterasi berfluktuasi secara stabil.

## *Tugas Akhir*

### 2. Grid Independence

Untuk mendapatkan *grid independence* yang benar ada dua hal yang harus diperhatikan, yaitu :

- Rasio dan kerapatan elemen

Rasio dan kerapatan elemen sangat penting untuk diperhatikan karena berhubungan dengan konsistensi pada *grid independence*.

- Jumlah elemen

Jumlah elemen yang kita gunakan dalam perhitungan akan menentukan keakuratan hasil yang diperoleh. Tetapi tidak selamanya dengan jumlah elemen yang banyak akan menambah keakuratan hasil perhitungan. Dengan demikian pengguna dituntut untuk dapat menentukan jumlah elemen yang optimum, agar waktu dan memori komputer yang terpakai tidak terlalu besar.

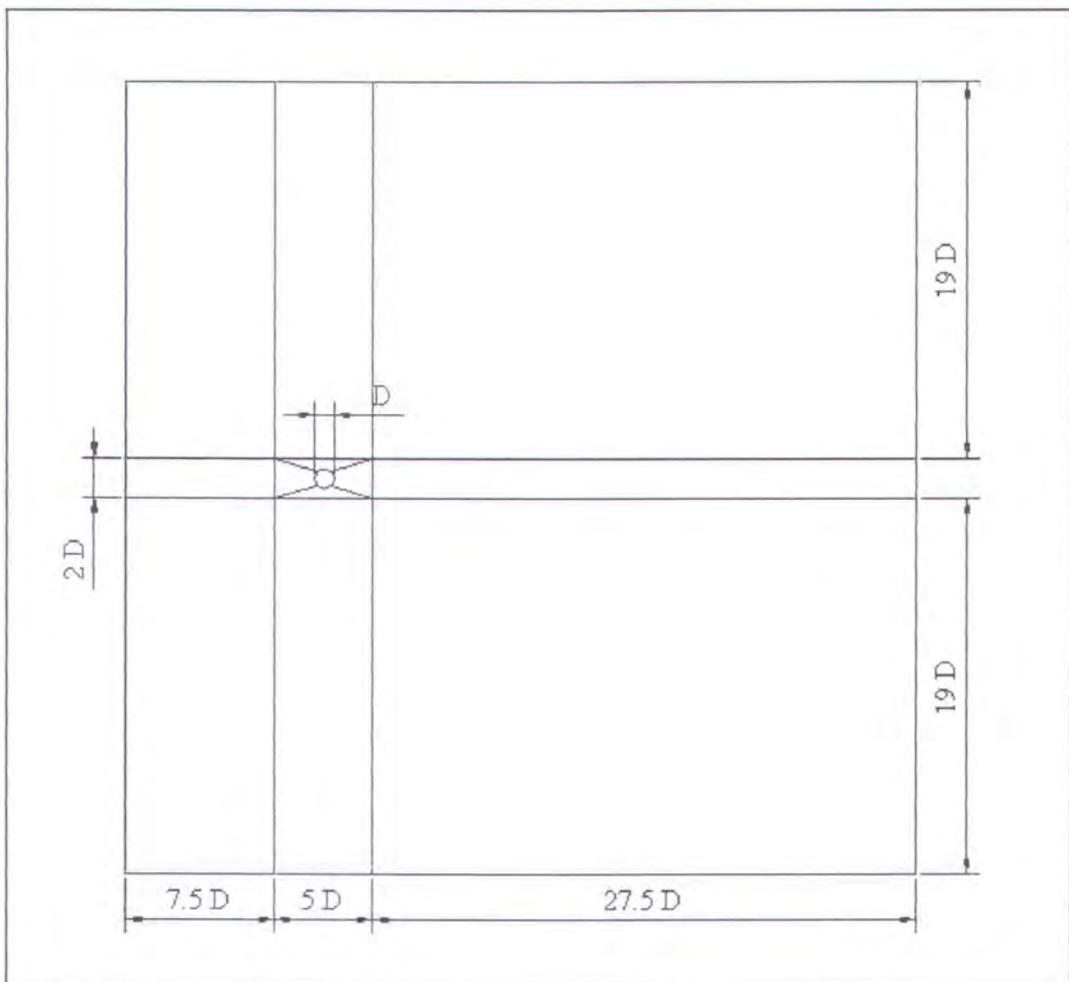
### 3. Verifikasi dengan teori atau data lain

Hasil perhitungan dengan pendekatan *CFD* dibandingkan dengan teori atau data lain yang sudah ada untuk mengetahui tingkat keakurasiannya.

### 3.6. Pemodelan Lingkaran dan Ellips

Dalam menganalisa distribusi kecepatan pada lingkaran dan ellips maka dipakai pendekatan 2D untuk masing-masing model dan domainnya. Langkah-langkah pembuatan model yaitu:

1. Tahap Preprocessor
  - Type element: FLUID 141
  - Geometri:
    - Lingkaran

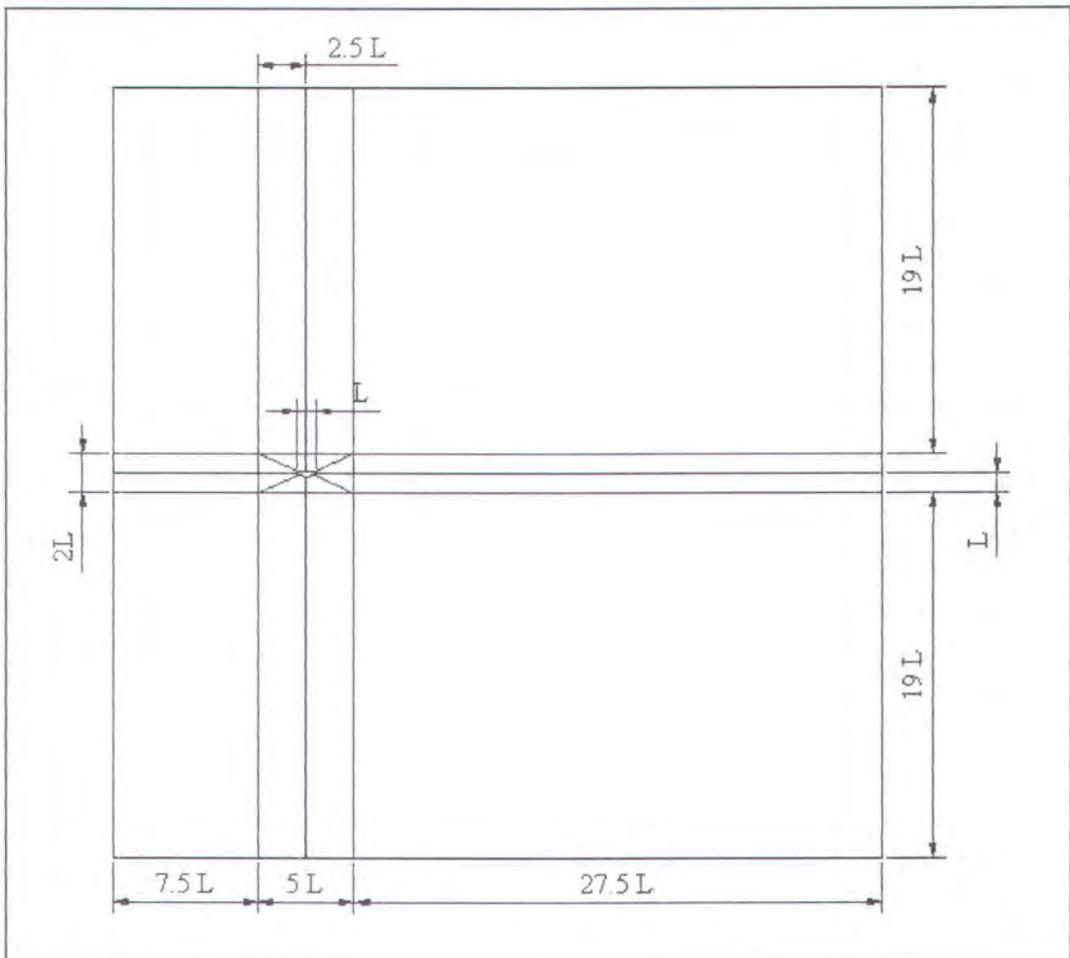


Gambar 3.5. Model lingkaran

## Tugas Akhir

Lingkaran yang dimodelkan mempunyai diameter (*chord*) 2 m. Batas fluida (*domain*) yang dipakai berbentuk bujursangkar dengan panjang dan lebar keseluruhan 40 kali panjang *chord*. Domain yang berbentuk bujursangkar tersebut kemudian masih dibagi lagi atas beberapa empat persegi panjang dengan ukurannya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.

- Elips ( $a/b = 4$ )



Gambar 3.6. Model elips ( $a/b = 4$ )

## Tugas Akhir

Elips yang dimodelkan mempunyai diameter (*chord*) 2 m. Batas fluida (*domain*) yang dipakai berbentuk bujursangkar dengan panjang dan lebar keseluruhan 40 kali panjang *chord*. Domain yang berbentuk bujursangkar tersebut kemudian masih dibagi lagi atas beberapa empat persegi panjang dengan ukurannya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.

- Meshing, yaitu membagi geometri model dengan elemen-elemen seperti pada metode elemen hingga. Bentuk elemen yang digunakan adalah elemen segi empat (lihat lampiran).

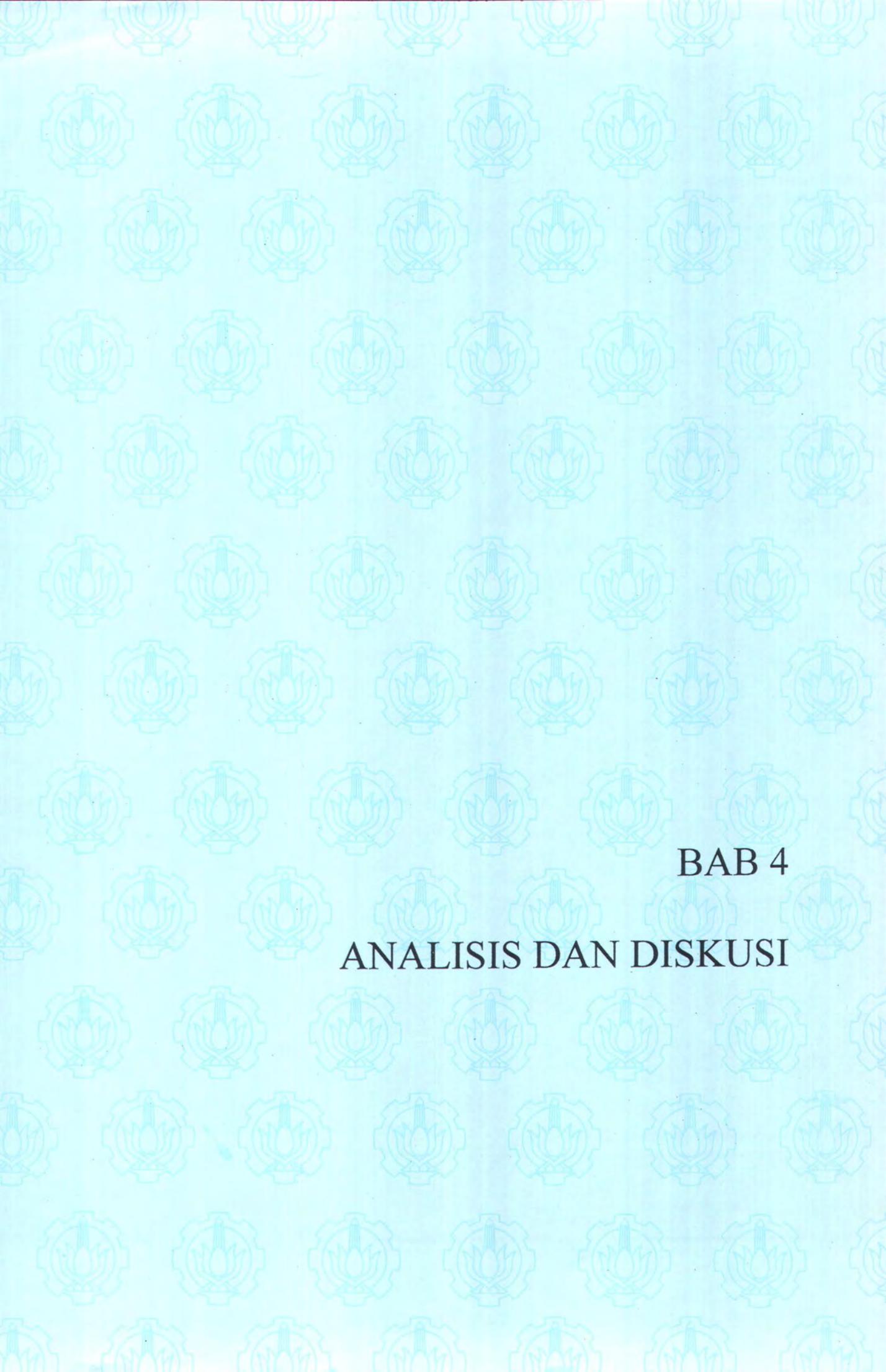
### 2. Tahap Solution

- Loads, pemberian kondisi batas dengan harga tertentu yaitu untuk harga kecepatan atau tekanan pada batas-batas geometri.
  - Pada batas inflow,  $V_x = 0,00056951 \text{ m/dt}$ , dan  $V_y = 0 \text{ m/dt}$ .
  - Pada batasm domain atas dan bawah,  $V_y = 0 \text{ m/det}$
  - Pada batas outflow, tekanan (*pressure*) = 0 Pa atau  $\text{N/m}^2$ .
  - Pada permukaan lingkaran dan ellips  $V_x = V_y = 0 \text{ m/dt}$ .
- Flotran Set-Up
  - Solution options: Steady state, Adiabatic, Laminar, Incompressible.  
Berdasarkan persamaan (2.12) dan (2.13) maka diperoleh bilangan Reynolds untuk lingkaran dan ellips adalah  $Re = 1000$   
Oleh karena bilangan Reynolds kurang dari  $2 \times 10^3$ , maka pada ANSYS dipilih aliran Laminer.
  - Execution control :  $P = 0.001$
  - Additional Out : Output wall shear stress

## *Tugas Akhir*

- Fluid properties :
    - density = Liquid
    - = 999
    - viscosity = Liquid
    - = 0.00113788098
  - Flow environment : tekanan = 1 atm = 101350 N/m<sup>2</sup>
- Run FLOTRAN

Model yang sudah di *set* tersebut di *run* untuk mendapatkan hasil (*output* berupa data-data numerik untuk kecepatan, koefisien tekanan dan tegangan geser di dinding).



BAB 4

ANALISIS DAN DISKUSI

## BAB 4

### ANALISIS DAN DISKUSI

Perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan percobaan numerik ini adalah *CFD Flotran ANSYS 5.7* yang dijalankan diatas sistem operasi Windows98. Komputer yang digunakan memiliki spesifikasi AMD Duron 1 GHz dengan kapasitas memori 256 MB. Ruang *hard disk* yang tersedia  $\pm$  20 Giga Bytes.

#### 4.1. Geometri Model Lingkaran dan Elips

##### 4.1.1. Model Lingkaran

Untuk mendapatkan data distribusi kecepatan pada tiap potongan Lingkaran yang telah dimodelkan dalam *software Flotran CFD ANSYS 5.7*, maka harus diketahui geometrinya. Model yang dibuat di sini selain model lingkaran, juga dibuat bentuk domain yang akan dilalui aliran fluida. Domain yang akan dilalui aliran fluida dibuat sebesar mungkin agar menghindari *side wall effect*. Akan tetapi dengan domain yang besar akan membutuhkan jumlah elemen yang banyak sehingga dibutuhkan memori dan kapasitas *hard disk* yang besar. Dengan mempertimbangkan hal tersebut disertai dengan beberapa percobaan numerik menggunakan *software Flotran CFD ANSYS 5.7* maka dipilih panjang domain sebesar 80 m dan lebar 80 m seperti yang terlihat pada Gambar 3.5.

## *Tugas Akhir*

### **4.1.2. Model Elips**

Dengan tujuan yang sama seperti pada model lingkaran, maka pada model elips dipilih panjang domain sebesar 80 m dan lebar 80 m seperti yang terlihat pada Gambar 3.6.

### **4.2. Grid Independence**

Tujuan dari proses *grid independence*, yaitu untuk mendapatkan jumlah elemen model yang efektif, yaitu data yang dihasilkan mempunyai keakurasian yang baik, serta jumlah elemen yang efisien, yaitu tidak memakan waktu yang lama dalam proses iterasi dan tidak membutuhkan *space hard disk* yang sangat besar. Untuk mendapatkan *grid independence* yang benar ada dua hal yang harus diperhatikan, yaitu :

- Rasio dan kerapatan elemen

Rasio dan kerapatan elemen sangat penting untuk diperhatikan karena berhubungan dengan konsistensi pada *grid independence*.

- Jumlah elemen

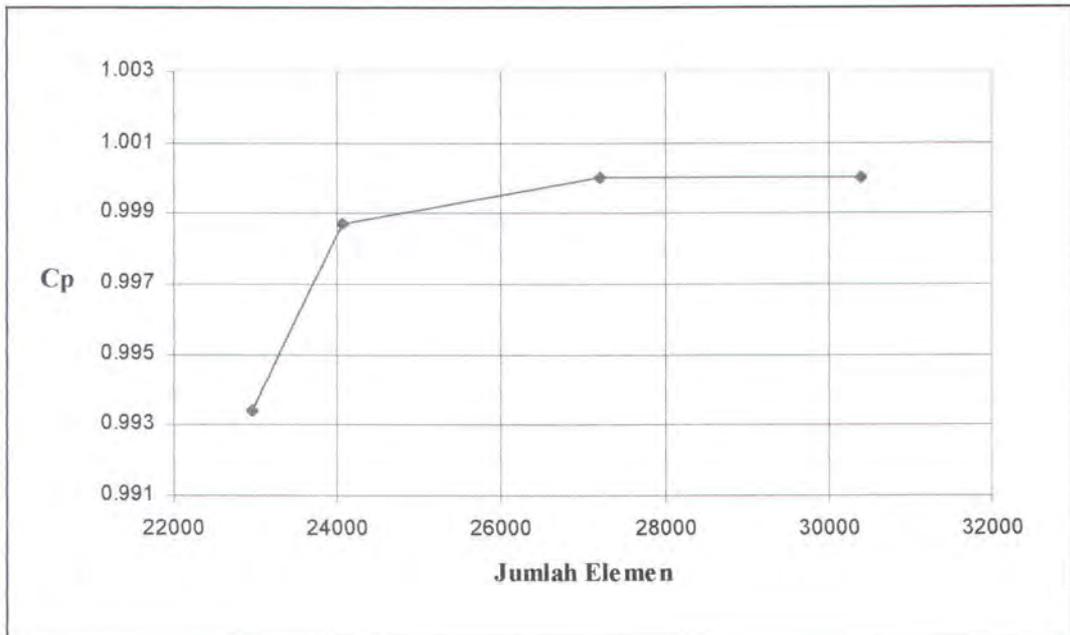
Jumlah elemen yang kita gunakan dalam perhitungan akan menentukan keakuratan hasil yang diperoleh. Tetapi tidak selamanya dengan jumlah elemen yang banyak akan menambah keakuratan hasil perhitungan. Dengan demikian pengguna dituntut untuk dapat menentukan jumlah elemen yang optimum, agar waktu dan memori komputer yang terpakai tidak terlalu besar. Data yang dipakai untuk proses *grid independence* adalah koefisien tekanan (*coeficient pressure*) pada titik stagnasi (*stagnation point*).

4.2.1. Model Lingkaran

Pada model lingkaran, pengujian dilakukan dengan berbagai variasi jumlah elemen antara lain 22960, 24064, 27216, dan 30400 elemen. Hasil dari proses *grid independence* dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.3.

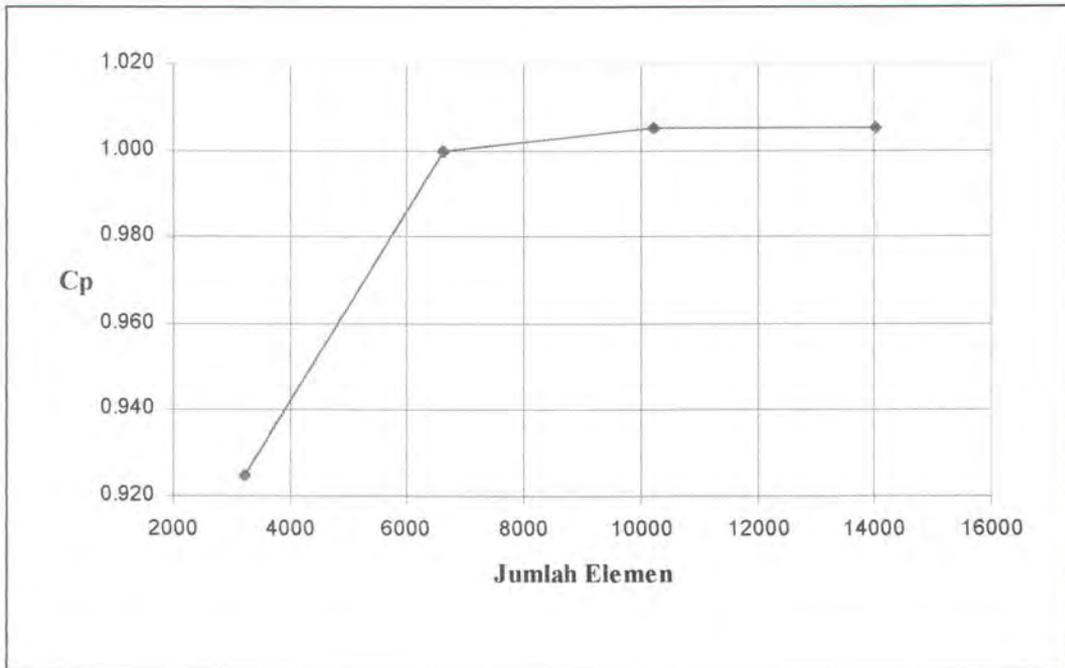
Tabel. 4.1. Grid independence model lingkaran

J. Elemen	Cp max
22960	0.993
24064	0.999
27216	1.000
30400	1.000



Gambar 4.1. Pengaruh jumlah elemen terhadap koefisien tekanan pada titik stagnasi model lingkaran.

## Tugas Akhir



Gambar 4.2. Pengaruh jumlah elemen terhadap koefisien tekanan pada titik stagnasi model elips.

Dari Tabel 4.2 dan Gambar 4.2 terlihat bahwa elemen dengan jumlah 3216 memiliki perbedaan koefisien tekanan di titik stagnasi yang cukup besar dengan elemen yang lain. Hal ini ditandai dengan bentuk grafik yang mempunyai *slope* cukup besar. Begitu juga dengan jumlah elemen 6624. Sedangkan jumlah elemen 10224 dan 14016 mempunyai selisih koefisien tekanan di titik stagnasi yang kecil dan cenderung membentuk garis lurus horisontal. Dengan pertimbangan tersebut, maka jumlah elemen yang dipakai sebanyak 10224 buah.

### 4.3. Data Jumlah Iterasi dan Waktu Running

Dari hasil *running* dengan *Flotran CFD Ansys 5.7* yang dilakukan, maka data-data yang nantinya didapatkan yaitu data dimana proses *running* berhenti dengan tingkat konvergensi  $10^{-3}$  atau iterasi mengalami kestabilan. Jumlah iterasi dan waktu running disajikan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3. Data jumlah iterasi dan waktu running model lingkaran

J. Elemen	J. Iterasi	Waktu
22960	229	11 menit
24064	234	15 menit
27216	239	22 menit
30400	299	51 menit

Tabel 4.4. Data jumlah iterasi dan waktu running model Elips

J. Elemen	J. Iterasi	Waktu
3216	214	5 menit
6624	220	11 menit
10224	238	20 menit
14016	249	32 menit

### 4.4. Analisis Distribusi Kecepatan pada Tiap Potongan Model

Berdasarkan latar belakang penelitian ini bahwa menurut teori, aliran fluida yang melalui model lingkaran dan elips mempunyai distribusi kecepatan pada tiap potongan yang berbeda-beda. Fenomena distribusi kecepatan ini menarik untuk dibuktikan dengan bantuan *software Flotran CFD ANSYS 5.7*.

#### **4.4.1. Model Lingkaran**

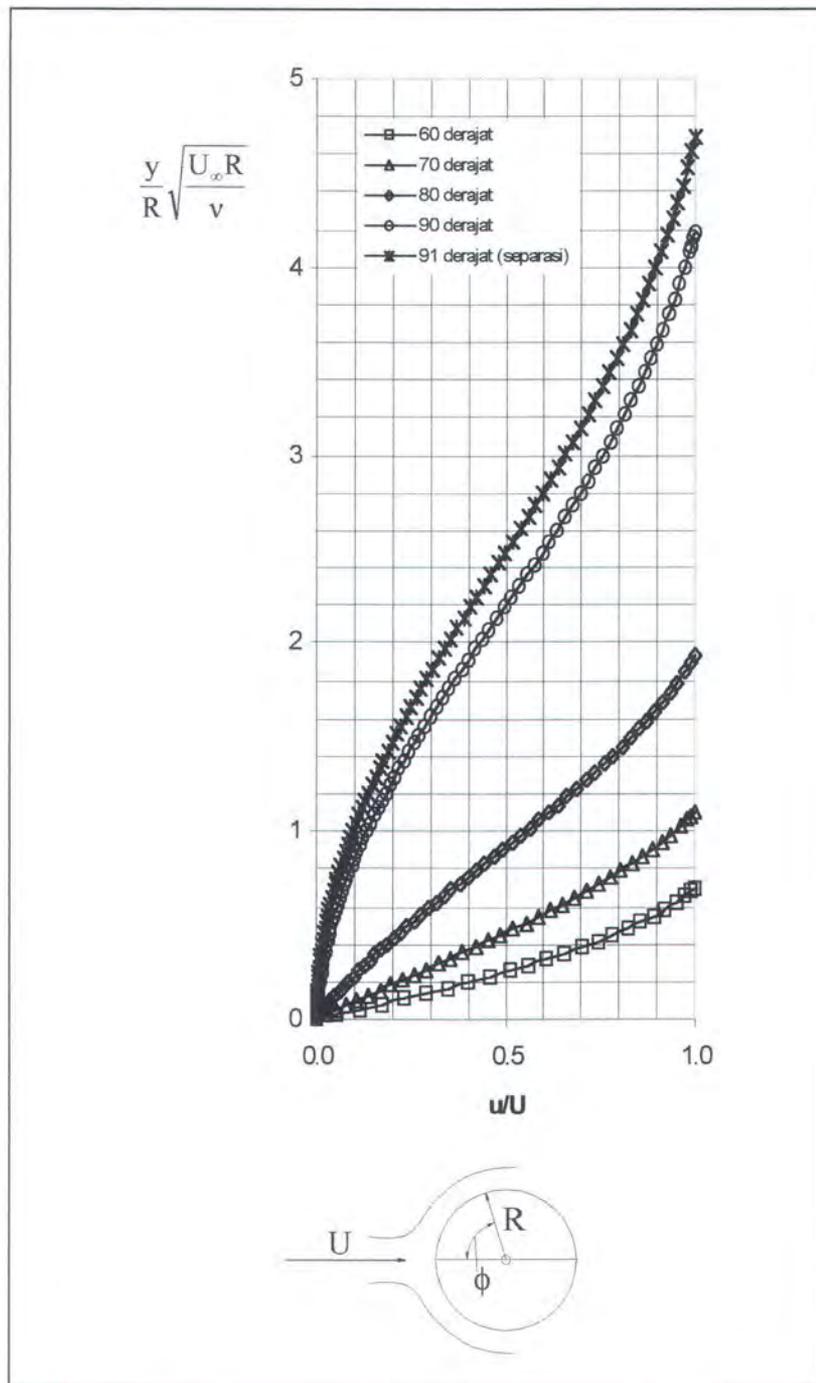
Dari percobaan dengan menggunakan *software Flotran CFD ANSYS 5.7* untuk model lingkaran didapatkan hasil numerik seperti pada Tabel A.1.3. sampai Tabel A.1.7. di lembar lampiran. Hasil tersebut berupa data distribusi kecepatan pada beberapa potongan model lingkaran yang berada di daerah lapisan batas laminar. Hasil dari numerik tersebut dibuat dalam bentuk grafik seperti diperlihatkan pada Gambar 4.3.

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa profil kecepatan memiliki nilai yang berbeda pada tiap potongan model atau sudut  $\phi$ , berdasarkan kecepatan  $u$  yang terjadi pada setiap panjang  $x$  [Davis, 1972]. Tampak bahwa profil-profil kecepatan aliran terjadi secara beruntun sewaktu lapisan batas merambat sepanjang dinding benda. Selain itu profil kecepatan semakin bertambah tinggi, hal ini menunjukkan bahwa terjadinya pembesaran lapisan batas (*boundary layer thickness*) yang dimulai dari bagian depan model (*leading edge*) sampai ke bagian belakang (*trailing edge*).

Pada  $\phi$   $60^\circ$ ,  $70^\circ$ , dan  $80^\circ$  menunjukkan bahwa profil alirannya sangat tumpul, dan tidak mungkin terjadi pemisahan aliran. Profil aliran ini sangat kebal terhadap transisi ke golakkan (keturbulennya). Hal inilah yang disebut gradien tekanan menguntungkan  $dp/dx < 0$  [White, 1994]. Sedangkan untuk  $\phi$   $90^\circ$  profil kecepatannya menunjukkan gradien tekanan yang lemah, alirannya tidak terpisah, tetapi rentan terhadap transisi ke golakkan. Untuk  $\phi$   $91^\circ$  profil kecepatannya menunjukkan gradien tekanan yang sedang, dimana tercapai suatu keadaan kritis

## Tugas Akhir

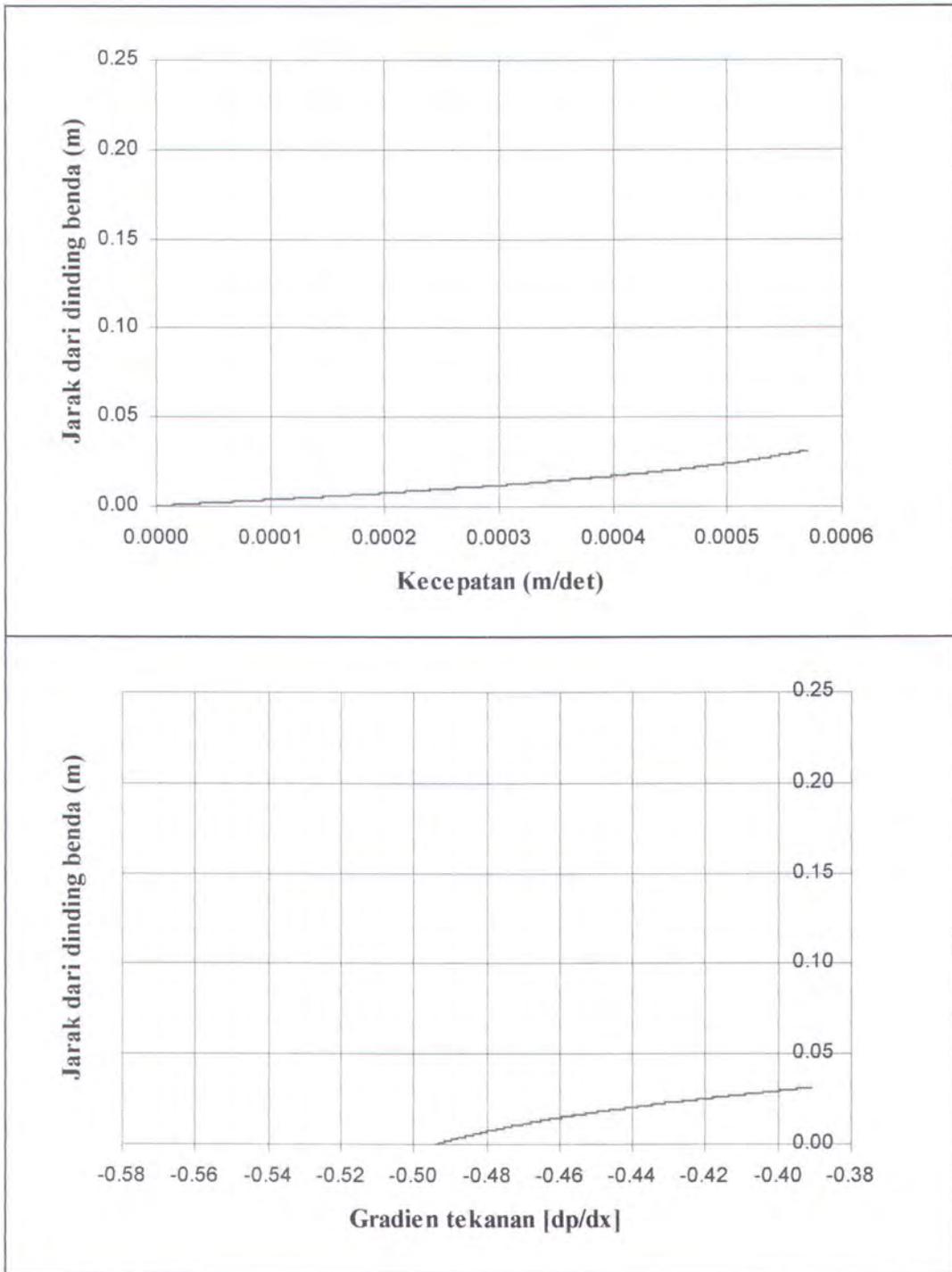
ketika tegangan geser pada dindingnya nol, hal inilah yang didefinisikan sebagai titik pisah ( $\tau_0 = 0$ ). Fenomena inilah yang ditunjukkan pada Gambar 4.4a-4.4e.



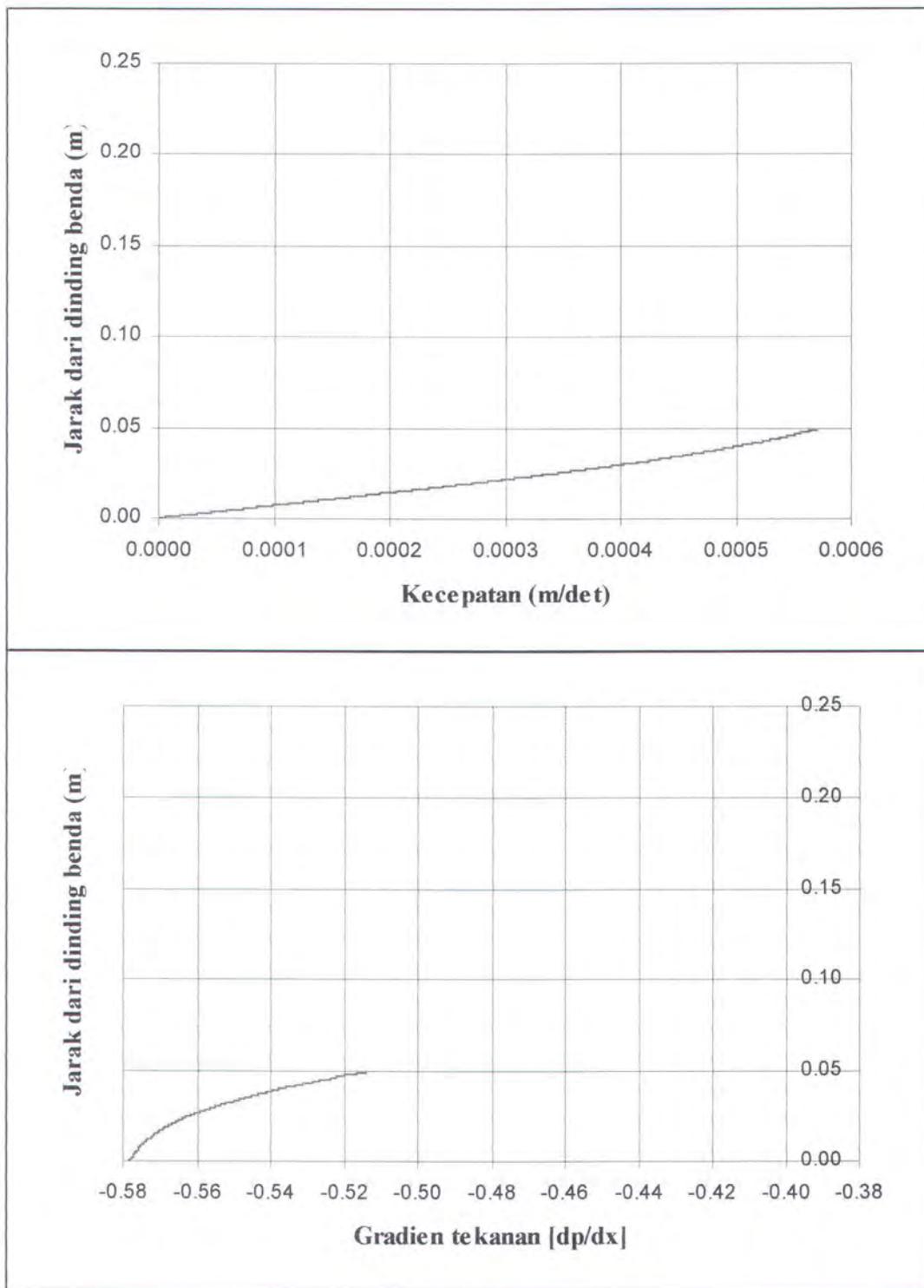
Gambar.4.3. Profil kecepatan aliran laminar *boundary layer* model lingkaran

[Ansys 5.7]

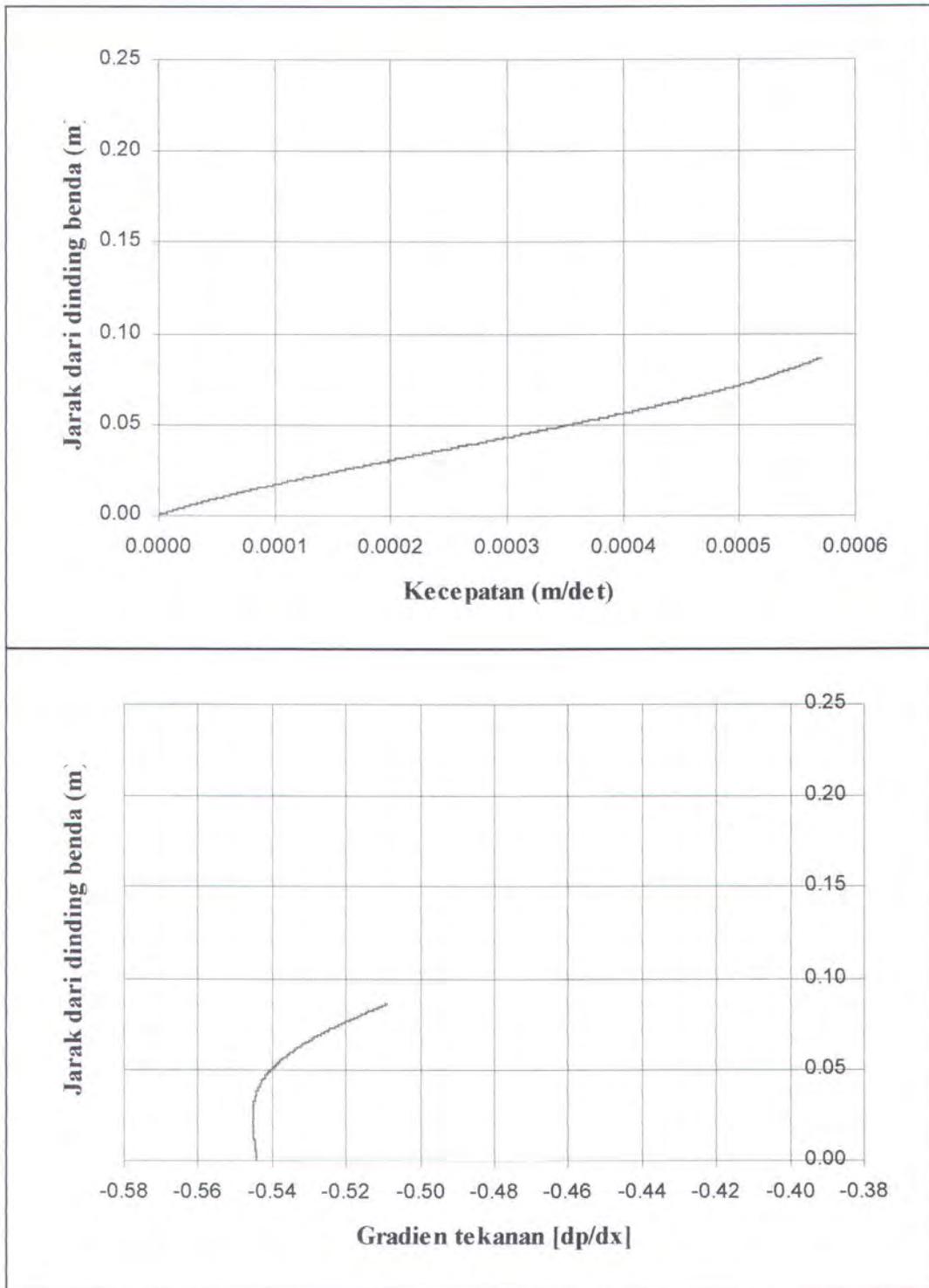
Tugas Akhir



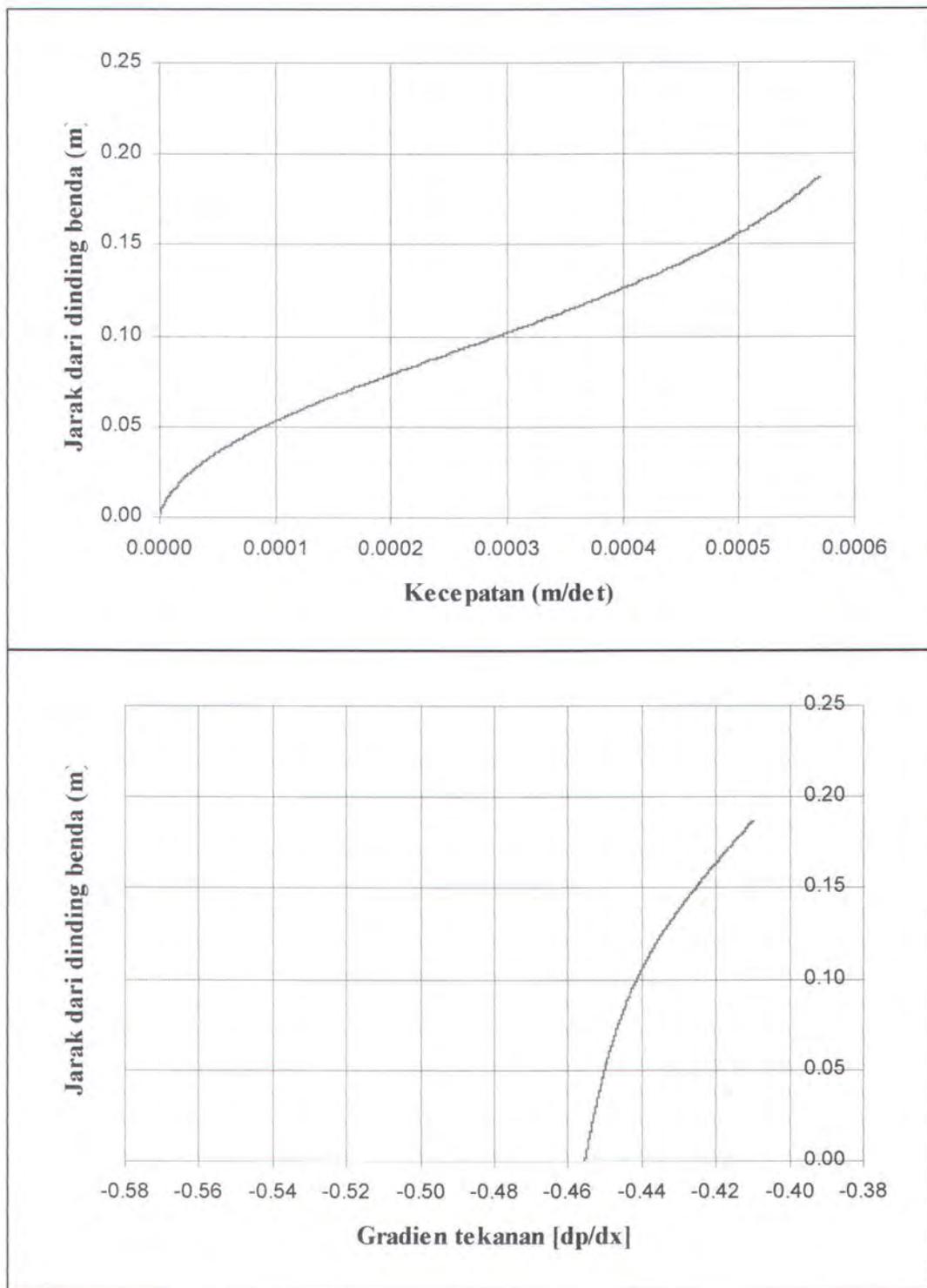
Gambar 4.4a. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model lingkaran pada  $\phi = 60^\circ$  [Ansys 5.7]



Gambar 4.4b. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model lingkaran pada  $\phi = 70^\circ$  [Ansys 5.7]

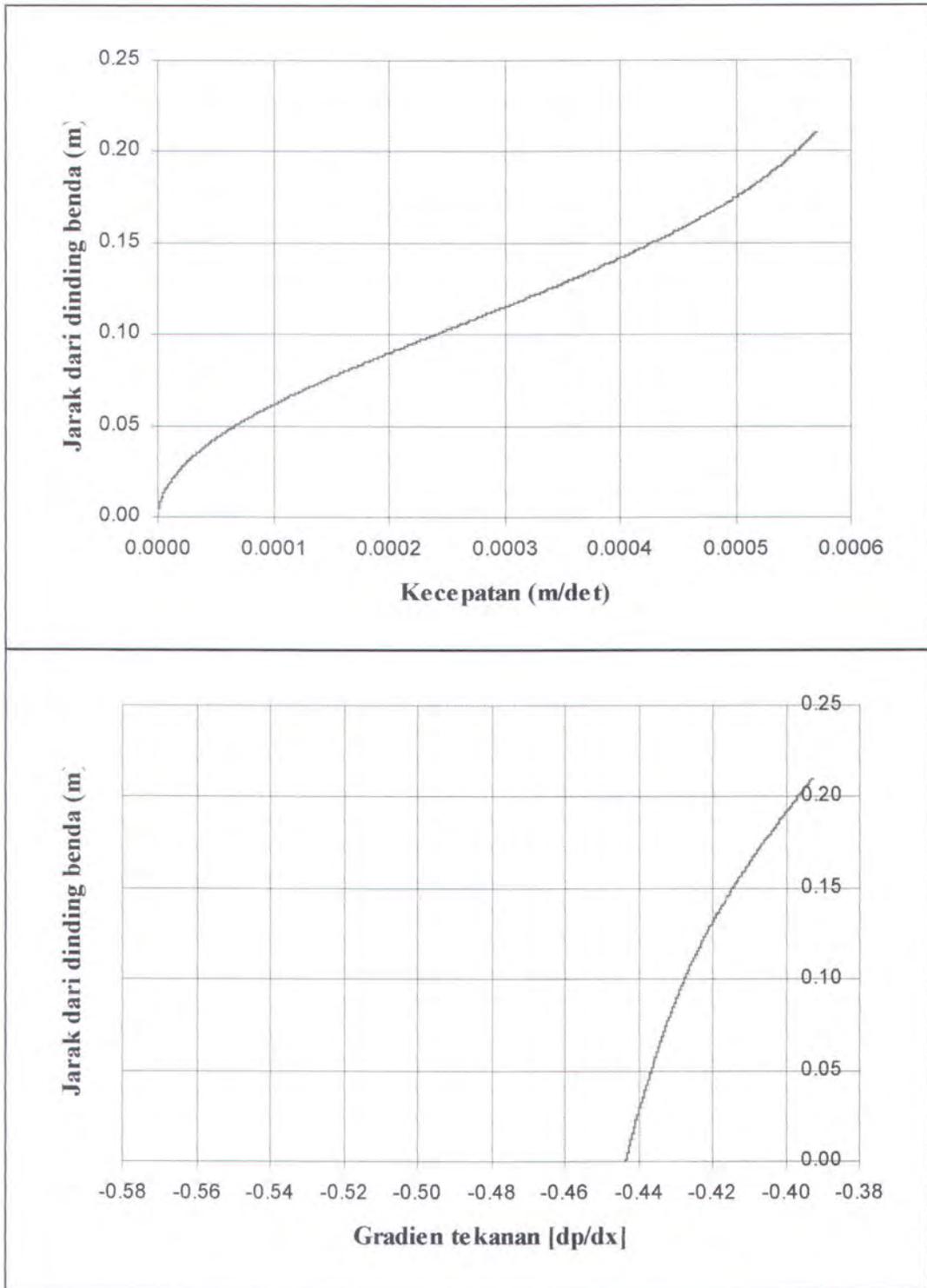


Gambar 4.4c. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model lingkaran pada  $\phi = 80^\circ$  [Ansys 5.7]



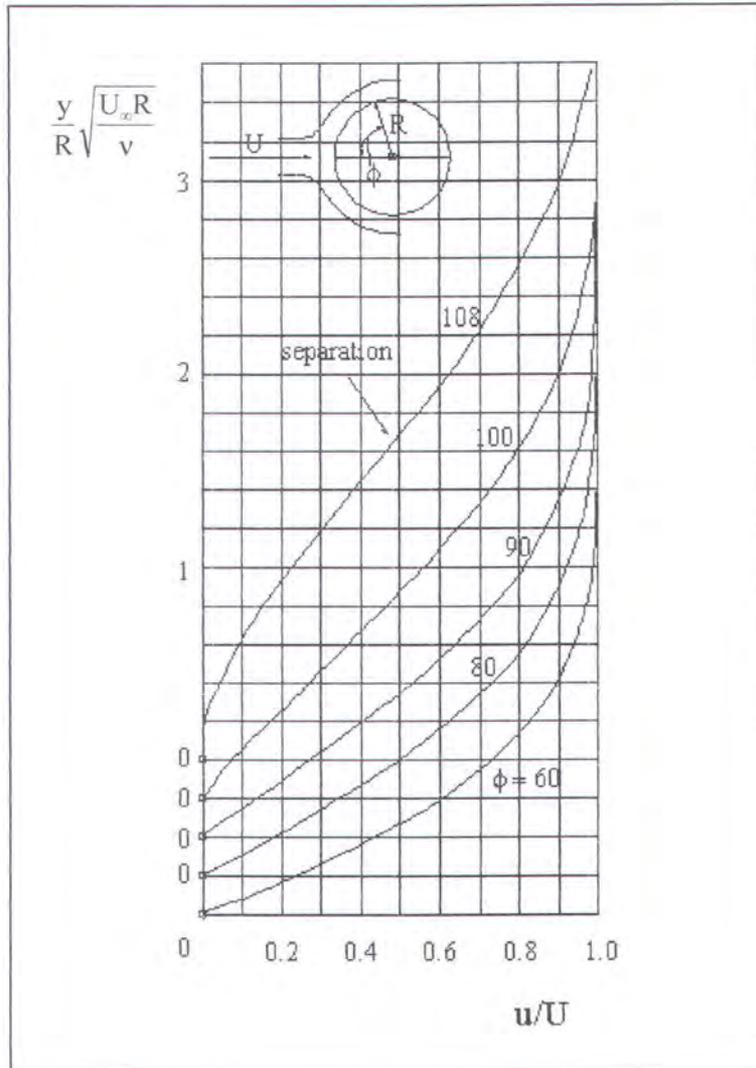
Gambar 4.4d. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model lingkaran pada  $\phi = 90^\circ$  [Ansys 5.7]

Tugas Akhir



Gambar 4.4e. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model lingkaran pada  $\phi = 91^\circ$  (separasi) [Ansys 5.7]

## Tugas Akhir

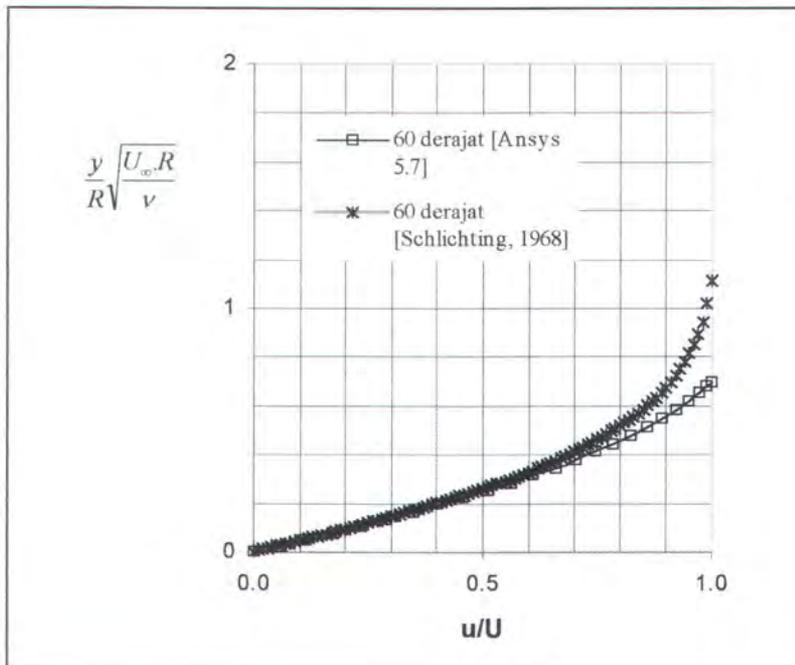


Gambar 4.5. Profil kecepatan lingkaran Pohlhausen's [Schlichting, 1968]

Pada Gambar 4.5. menunjukkan profil kecepatan lingkaran *Pohlhausen's* [Schlichting, 1968]. Ternyata hasil profil kecepatan yang dilakukan dengan bantuan *software Flotran CFD ANSYS 5.7* mempunyai bentuk profil kecepatan yang sama dengan profil kecepatan *Pohlhausen's*. Akan tetapi, jika dicermati tampak bahwa tinggi lapisan batas untuk tiap  $\phi$  hasil penelitian dengan metode *Pohlhausen's* memiliki perbedaan yang cukup besar seperti yang terlihat pada

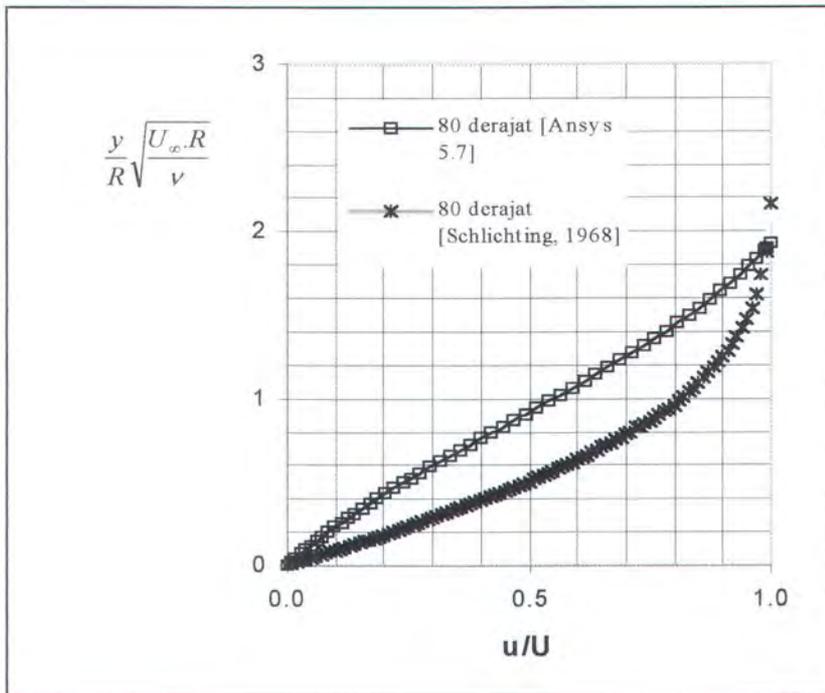
## Tugas Akhir

Gambar 4.6a-4.6d.. Hal ini disebabkan karena mungkin terjadi perbedaan kecepatan aliran, atau jari-jari dari model yang dibuat, dan ini bisa berpengaruh terhadap besarnya angka Reynolds. Sebagaimana diketahui bahwa lapisan batas itu timbul karena adanya kecepatan dari aliran fluida yang mengenai suatu permukaan benda, sehingga pada permukaan benda tersebut timbul suatu gaya tolakan terhadap aliran tersebut [Olson dan Wright, 1990]. Jadi tingginya aliran lapisan batas tergantung dari kecepatan aliran ataupun kecepatan dari suatu benda yang terjadi. Atau dengan kata lain, ketebalan suatu lapisan batas tergantung dari angka Reynoldsnnya. Semakin tinggi angka Reynolds, maka semakin kecil tebal lapisan batasnya [White, 1994].

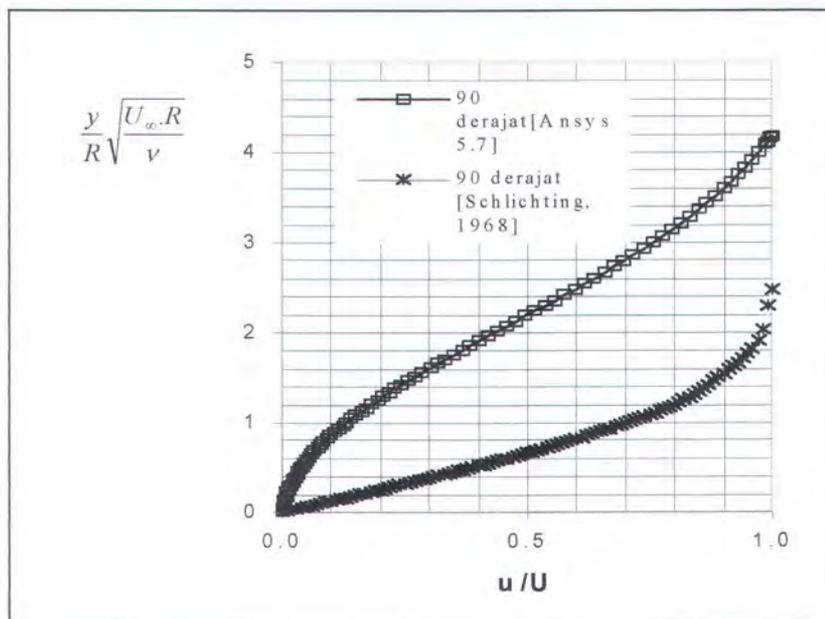


Gambar 4.6a. Perbandingan profil kecepatan model lingkaran [Ansys 5.7] dengan Pohlhausen's [Schlichting, 1968] pada  $\phi = 60^\circ$

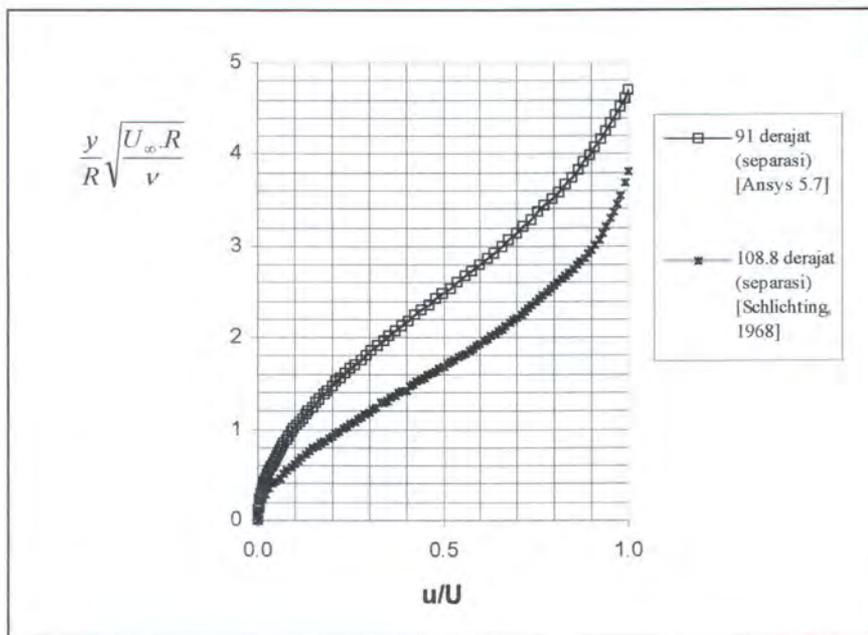
Tugas Akhir



Gambar 4.6b. Perbandingan profil kecepatan model lingkaran [Ansys 5.7] dengan Pohlhausen's [Schlichting, 1968] untuk sudut  $\phi$  80°



Gambar 4.6c. Perbandingan profil kecepatan model lingkaran hasil Ansys 5.7 dengan Pohlhausen's [Schlichting, 1968] untuk sudut  $\phi$  90°



Gambar 4.6d. Perbandingan profil kecepatan model lingkaran hasil Ansys 5.7 dengan Pohlhausen's [Schlichting, 1968] untuk separasi

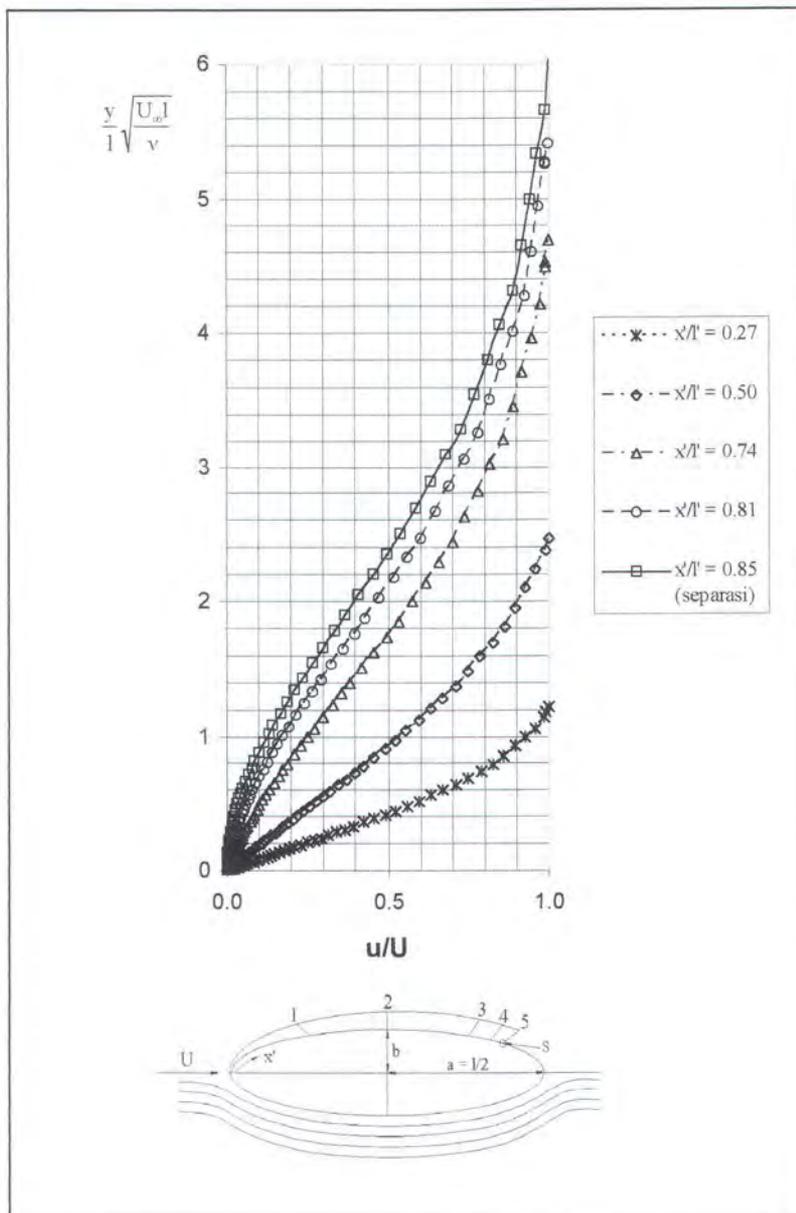
#### 4.4.2. Model Elips

Dari percobaan dengan menggunakan *software Flotran CFD ANSYS 5.7* untuk model elips didapatkan hasil numerik seperti pada Tabel A.2.3a sampai Tabel A.2.3e di lembar lampiran. Hasil tersebut berupa data distribusi kecepatan pada beberapa potongan model lingkaran yang berada di daerah lapisan batas laminer. Hasil dari numerik tersebut dibuat dalam bentuk grafik seperti diperlihatkan pada Gambar 4.7.

Dari Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa profil kecepatan memiliki nilai yang berbeda pada tiap potongan model  $x/l'$ , berdasarkan kecepatan  $u$  yang terjadi pada setiap panjang  $x$ . Tampak bahwa profil-profil kecepatan aliran terjadi secara beruntun sewaktu lapisan batas merambat sepanjang dinding benda. Selain itu

## Tugas Akhir

profil kecepatan semakin bertambah tinggi, hal ini menunjukkan bahwa terjadinya pembesaran lapisan batas (*boundary layer thickness*) yang dimulai dari bagian depan model (*leading edge*) sampai ke bagian belakang (*trailing edge*).

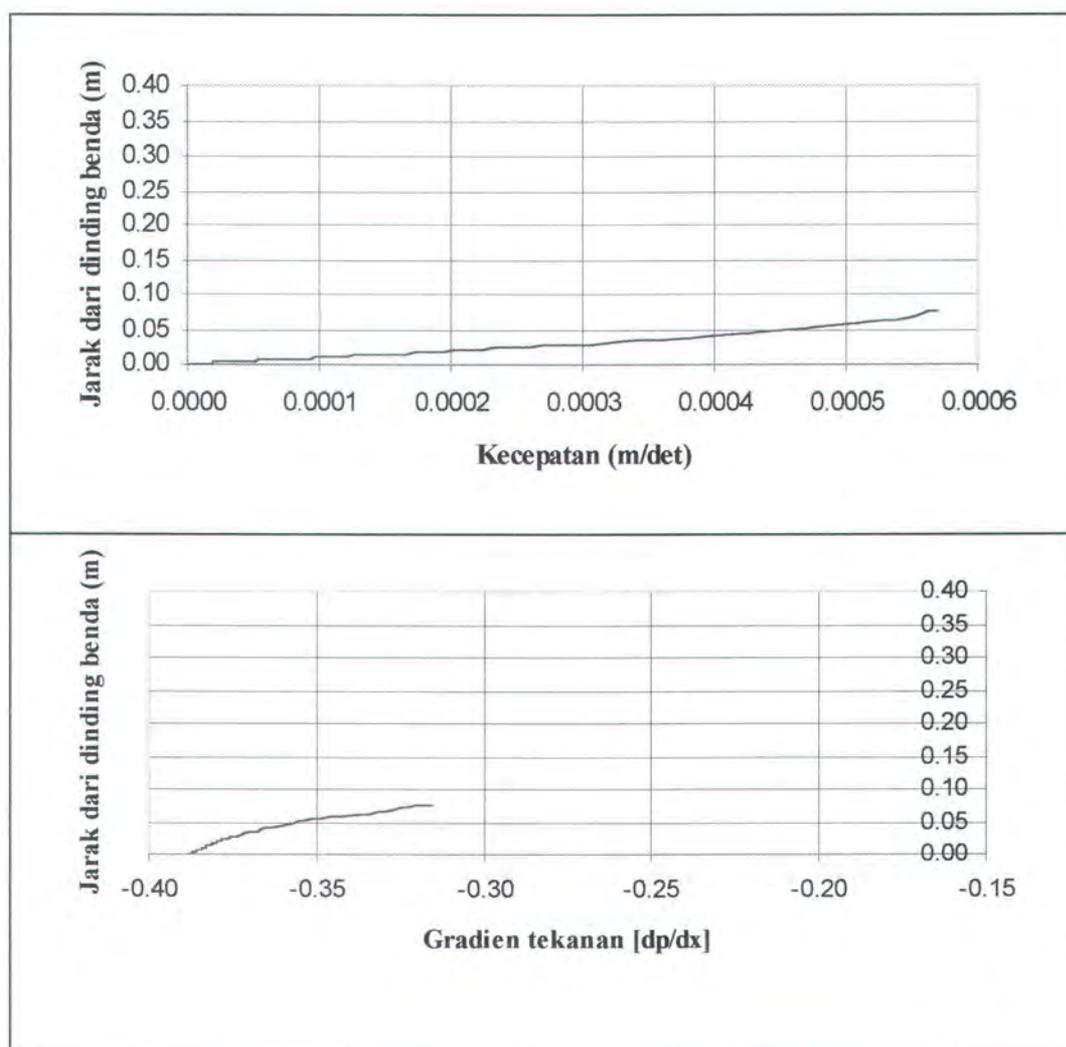


Gambar.4.7. Profil kecepatan aliran laminar *boundary layer* model elips

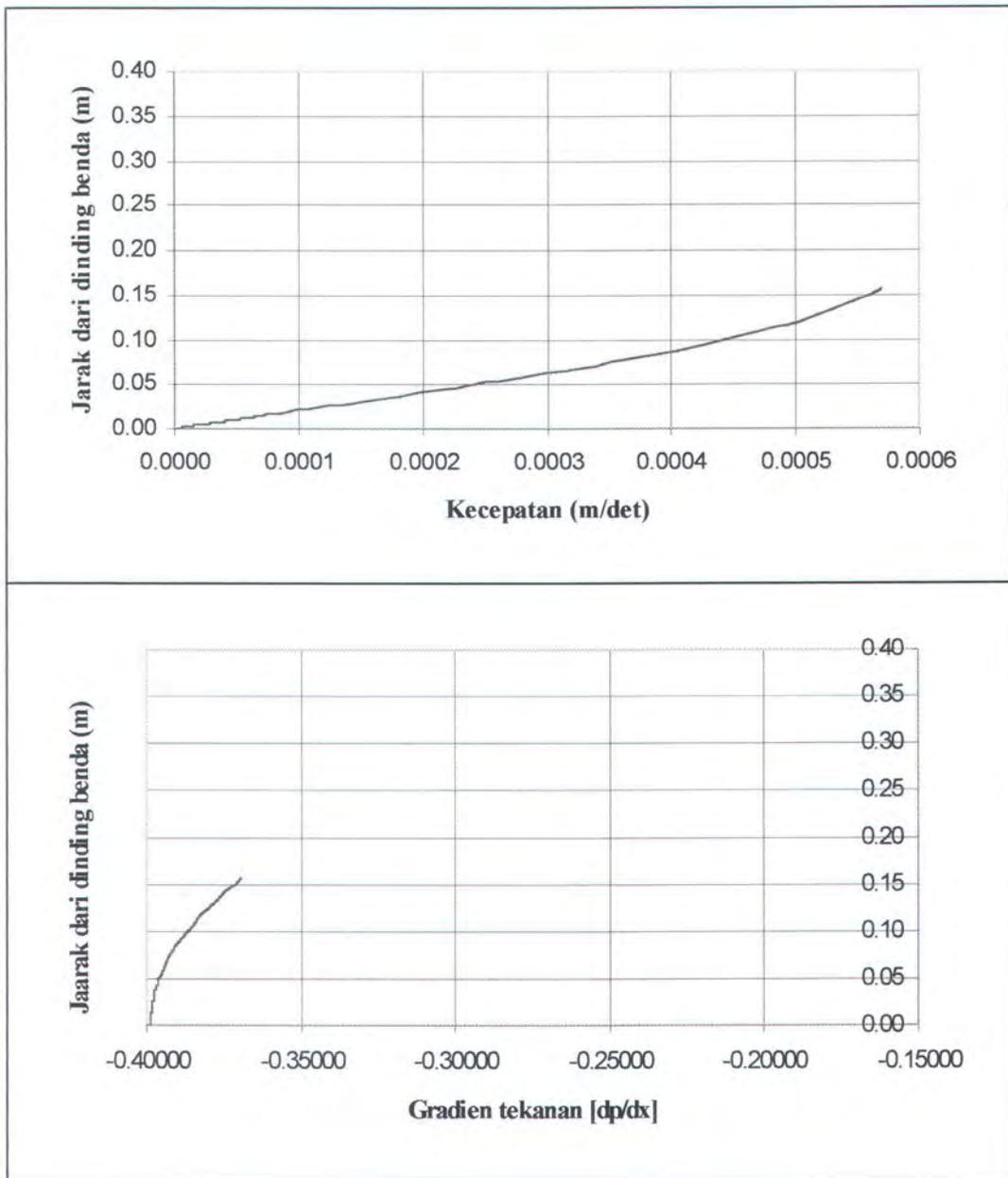
( $a/b = 4$ ) [Ansys 5.7]

## Tugas Akhir

Pada  $x'/l'$  0.27 dan 0.5 menunjukkan terjadinya gradien tekanan menguntungkan. Pada  $x'/l'$  0.74 dan 0.81 menunjukkan gradien tekanan yang lemah. Sedangkan untuk  $x'/l'$  0.85 menunjukkan gradien tekanan yang sedang, dimana tercapai suatu keadaan kritis ketika tegangan geser pada dindingnya nol, hal inilah yang didefinisikan sebagai titik pisah ( $\tau = 0$ ). Fenomena ini ditunjukkan pada Gambar 4.8a-4.8e.

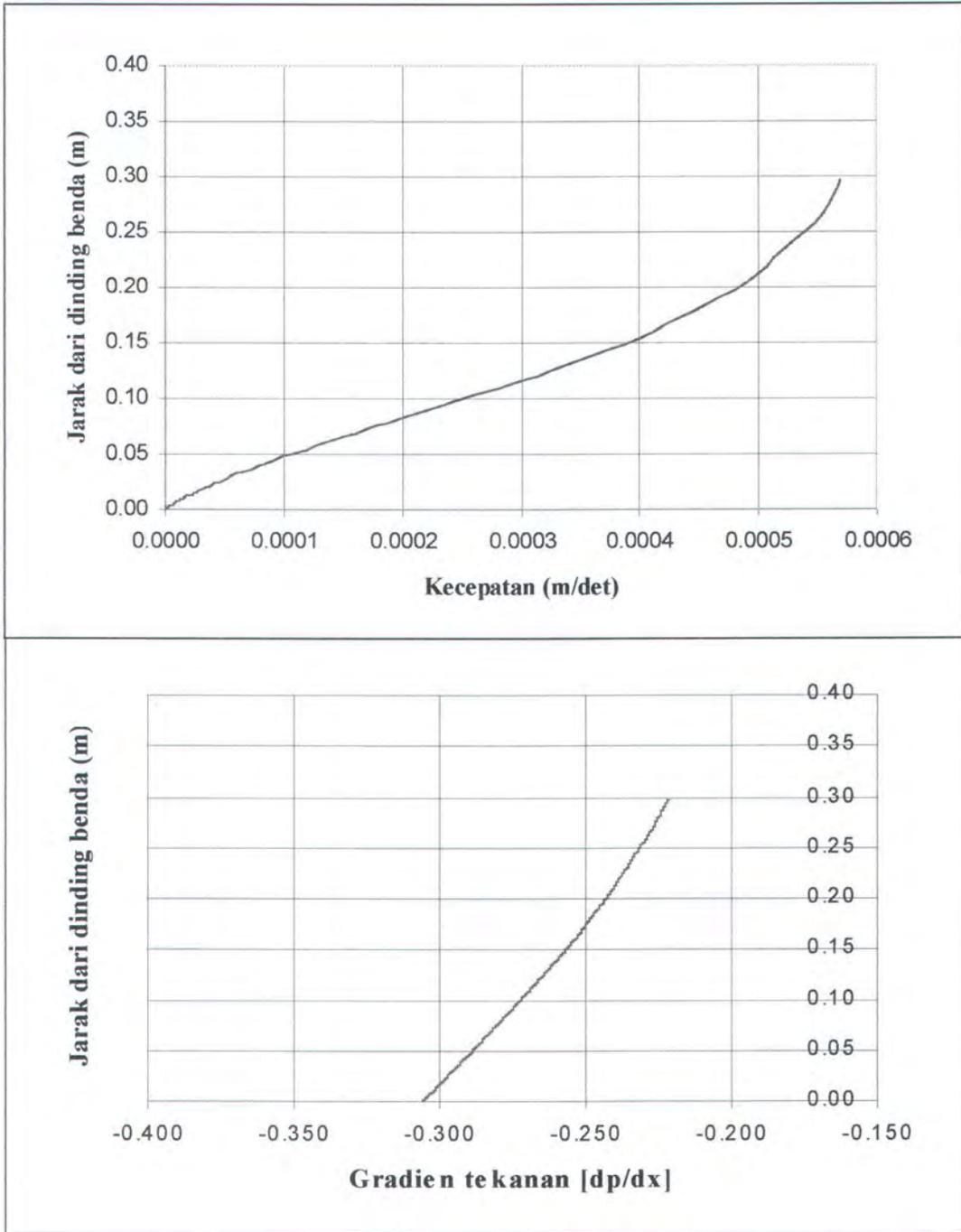


Gambar 4.8a. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model elips ( $a/b = 4$ ) pada  $x'/l' = 0.27$  [Ansys 5.7]



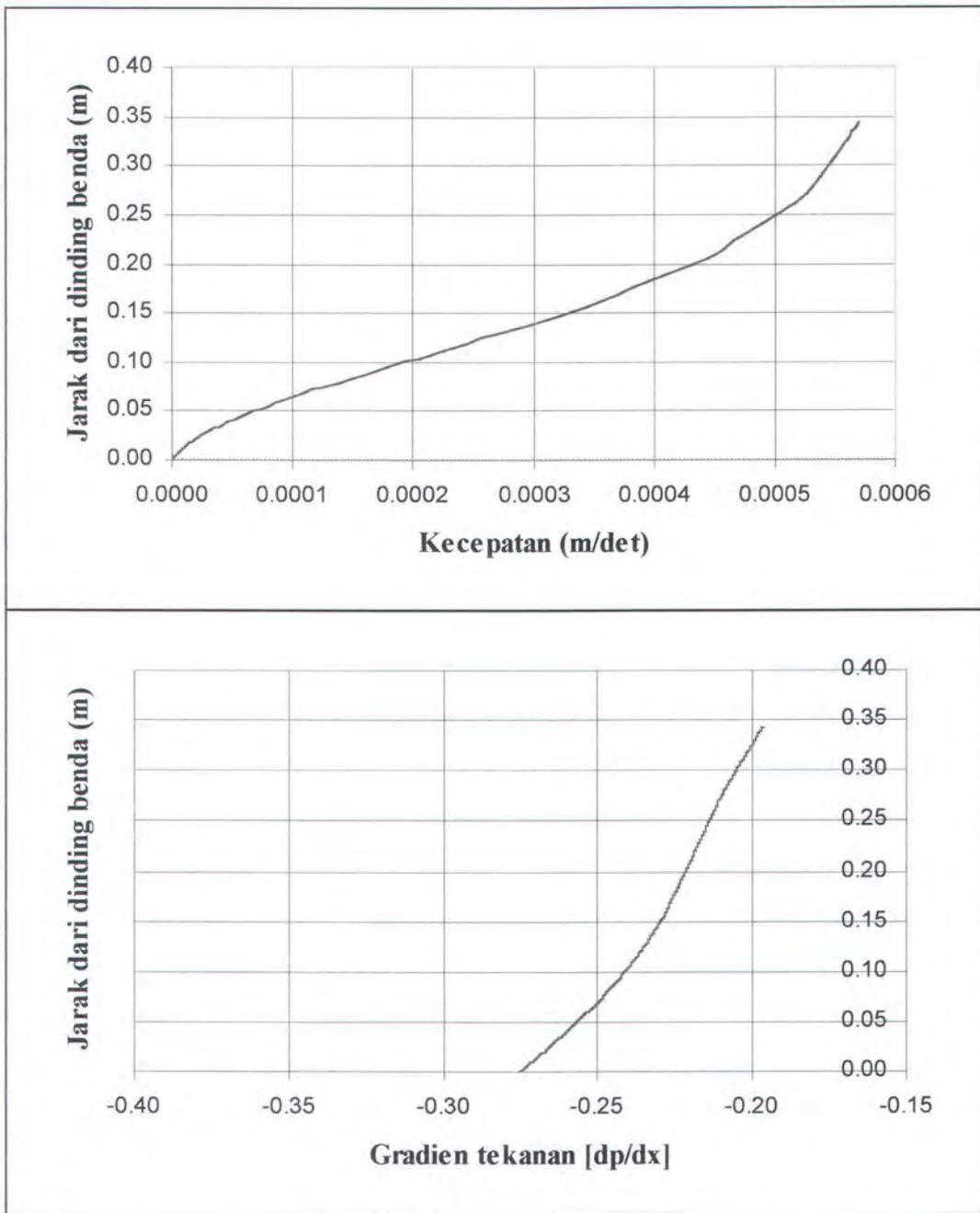
Gambar 4.8b. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model elips ( $a/b = 4$ ) pada  $x'/l' = 0.5$  [Ansys 5.7]

Tugas Akhir



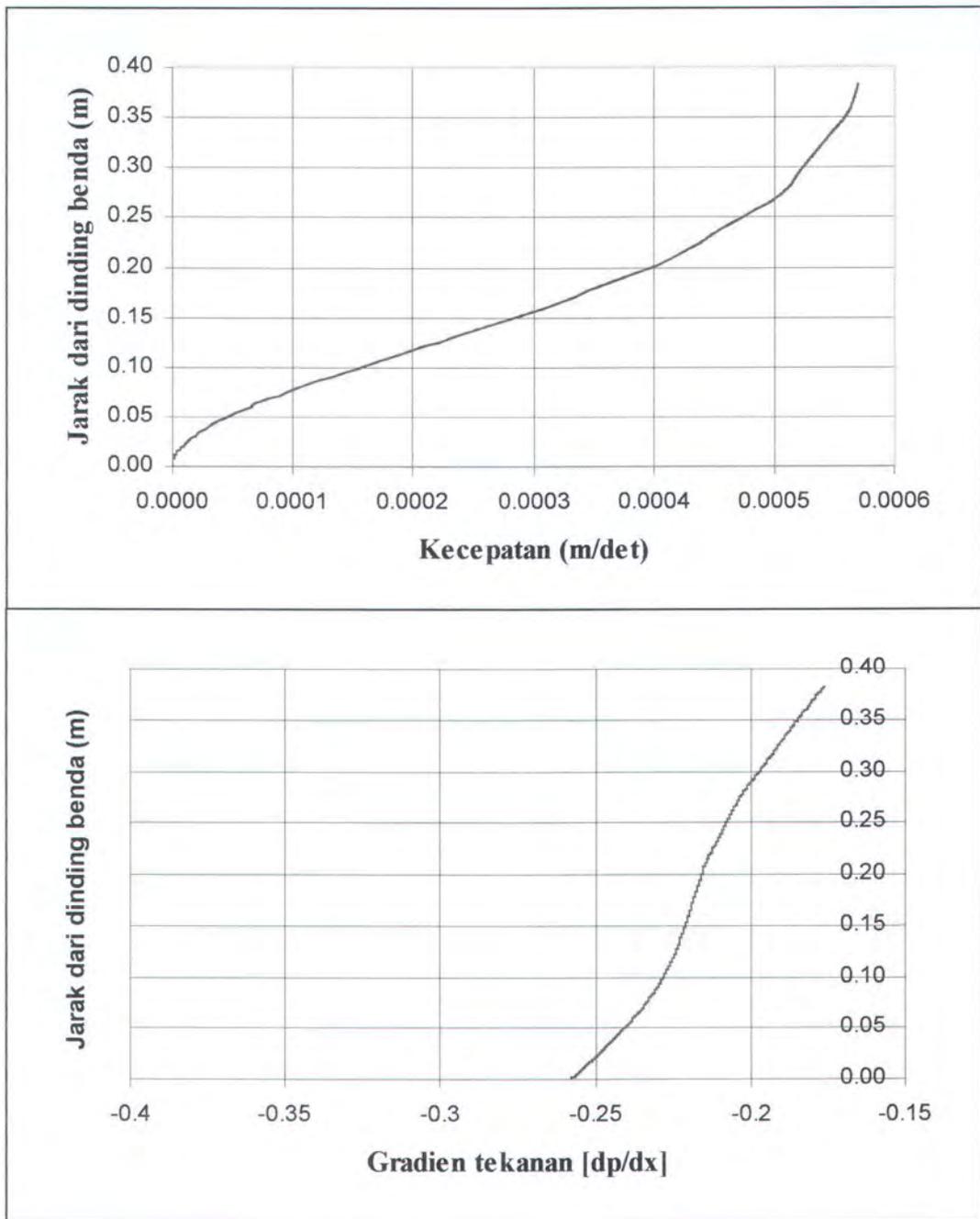
Gambar 4.8c. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model elips ( $a/b = 4$ ) pada  $x'/l' = 0.74$  [Ansys 5.7]

Tugas Akhir

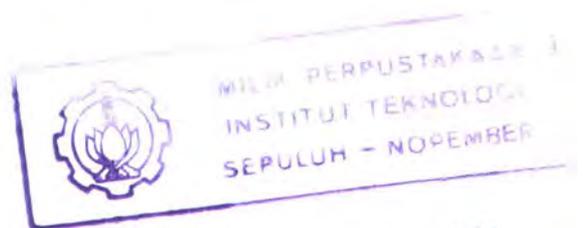


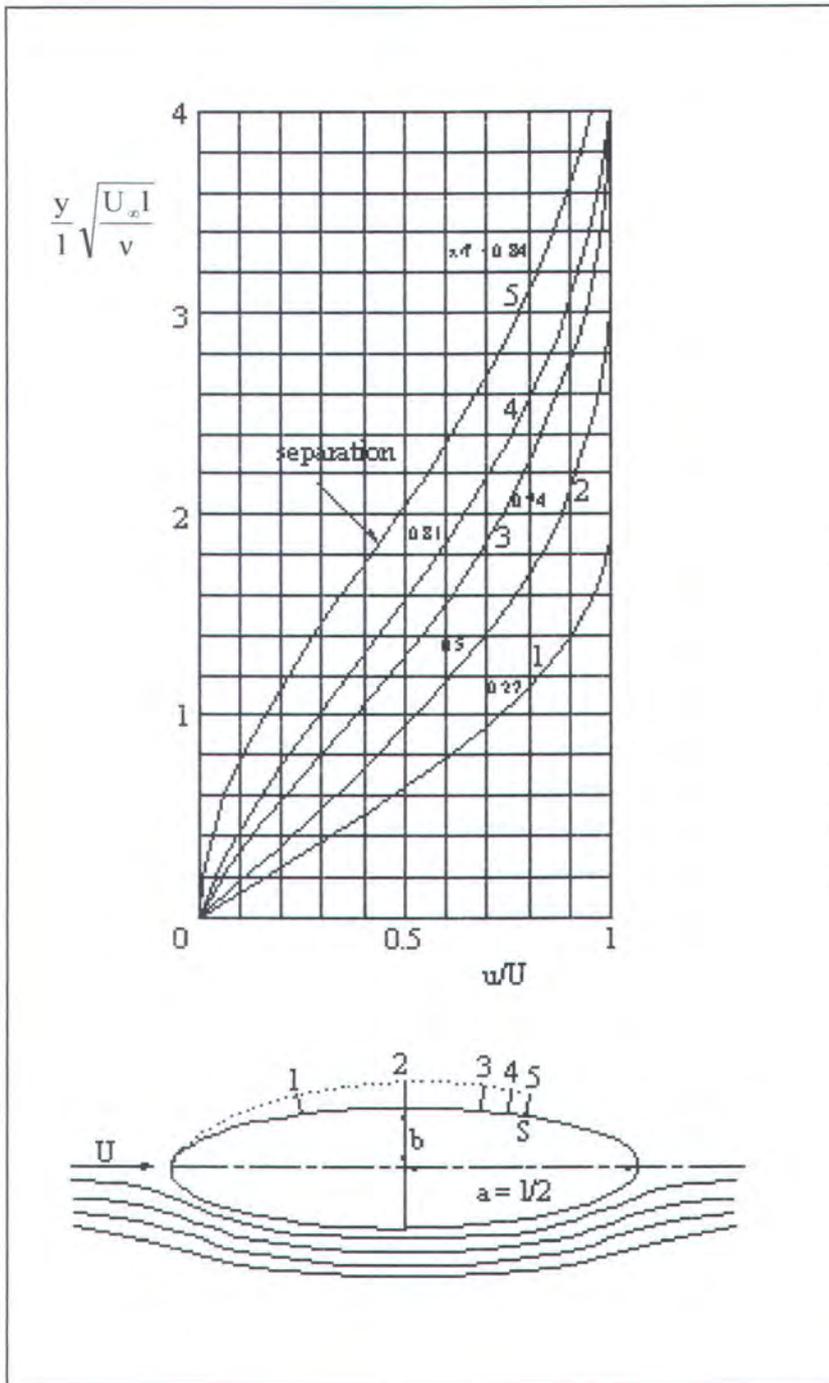
Gambar 4.8d. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model elips ( $a/b = 4$ ) pada  $x'/l' = 0.81$  [Ansys 5.7]

Tugas Akhir



Gambar 4.8e. Grafik hubungan antara distribusi kecepatan dan gradien tekanan model elips ( $a/b = 4$ ) pada  $x'/l' = 0.85$  (separasi) [Ansys 5.7]



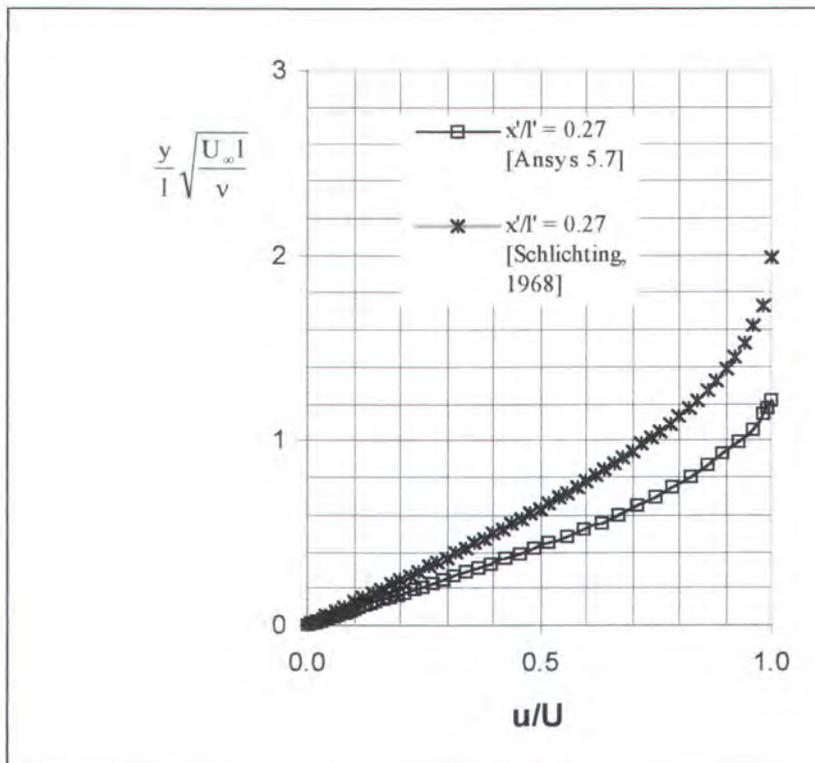


Gambar 4.9. Profil kecepatan aliran laminar *boundary layer* model elips ( $a/b = 4$ )

[Schlichting, 1968].

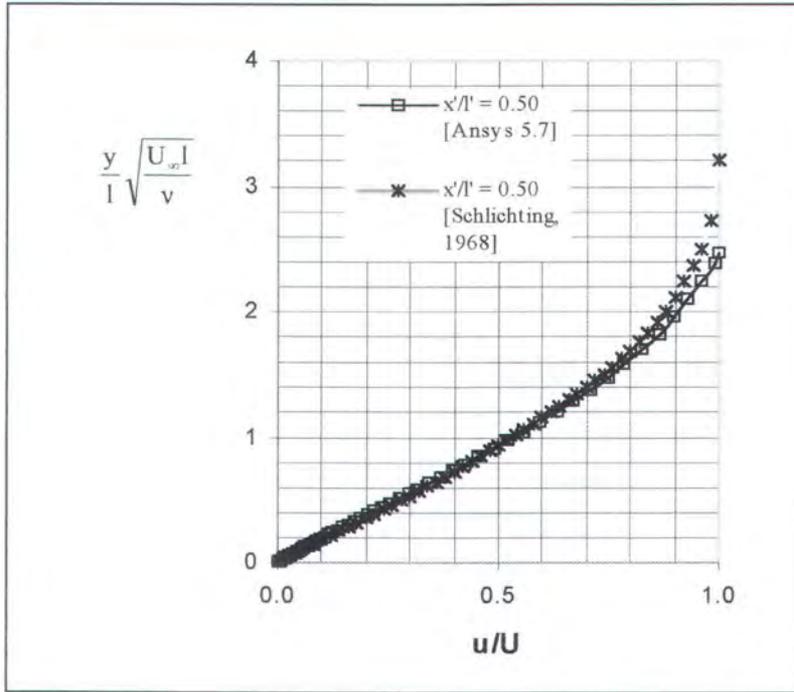
## Tugas Akhir

Pada Gambar 4.9. menunjukkan profil kecepatan elips [Schlichting, 1968]. Ternyata hasil profil kecepatan yang dilakukan dengan bantuan *software Flotran CFD ANSYS 5.7* mempunyai bentuk profil kecepatan yang sama. Akan tetapi, jika dicermati tampak bahwa tinggi lapisan batas untuk tiap  $x/l'$  hasil penelitian dengan profil yang terdapat pada Schlichting memiliki perbedaan yang cukup besar seperti yang terlihat pada gambar 4.10a-4.10e.. Hal ini disebabkan karena mungkin terjadi perbedaan kecepatan aliran yang bisa berpengaruh terhadap besarnya angka Reynolds.

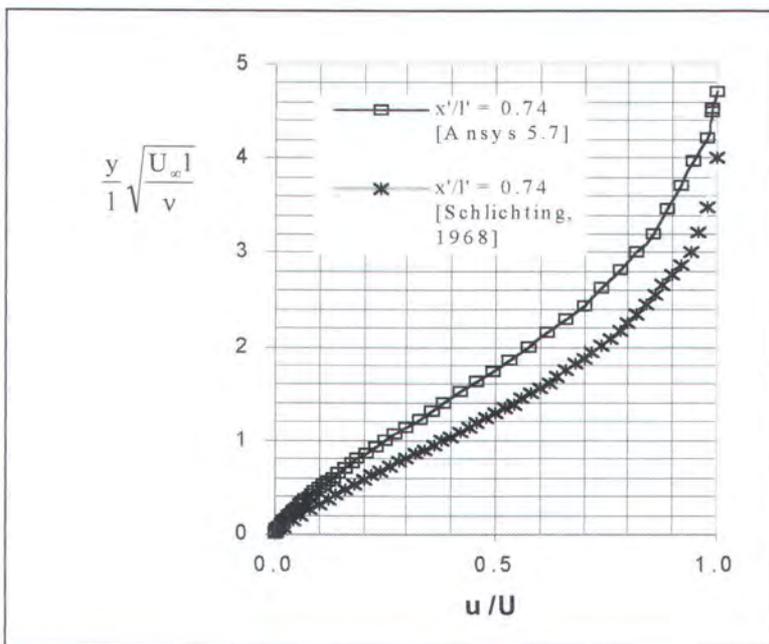


Gambar 4.10a. Perbandingan profil kecepatan model elips ( $a/b = 4$ ) [Ansys 5.7] dengan [Schlichting, 1968] pada  $x/l' = 0.27$

Tugas Akhir

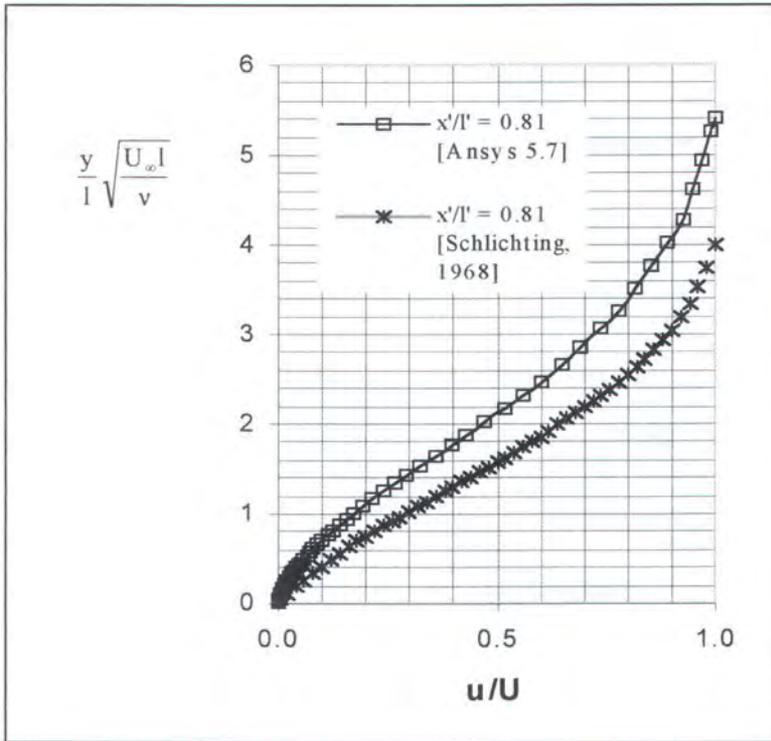


Gambar 4.10b. Perbandingan profil kecepatan model elips ( $a/b = 4$ ) [Ansys 5.7] dengan [Schlichting, 1968] pada  $x'/l' = 0.5$

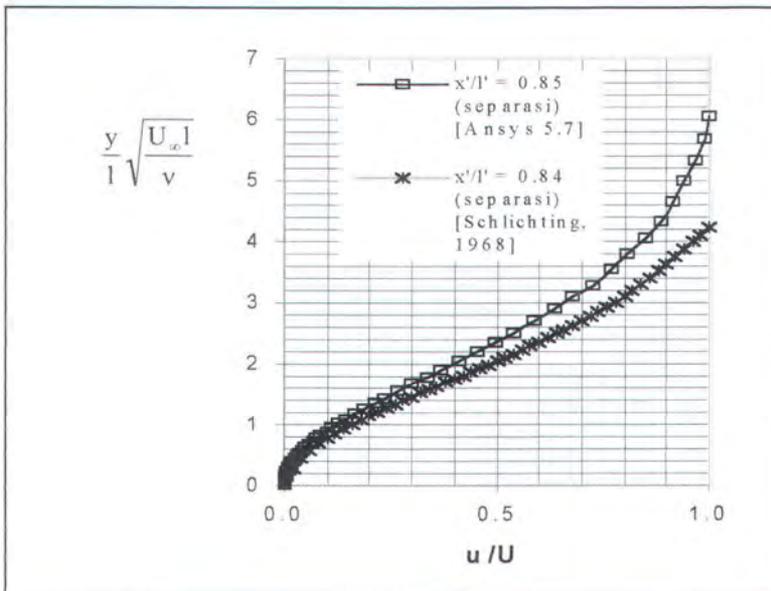


Gambar 4.10c. Perbandingan profil kecepatan model elips ( $a/b = 4$ ) [Ansys 5.7] dengan [Schlichting, 1968] pada  $x'/l' = 0.74$

Tugas Akhir



Gambar 4.10d. Perbandingan profil kecepatan model elips ( $a/b = 4$ ) [Ansys 5.7] dengan [Schlichting, 1968] pada  $x'/l' = 0.81$



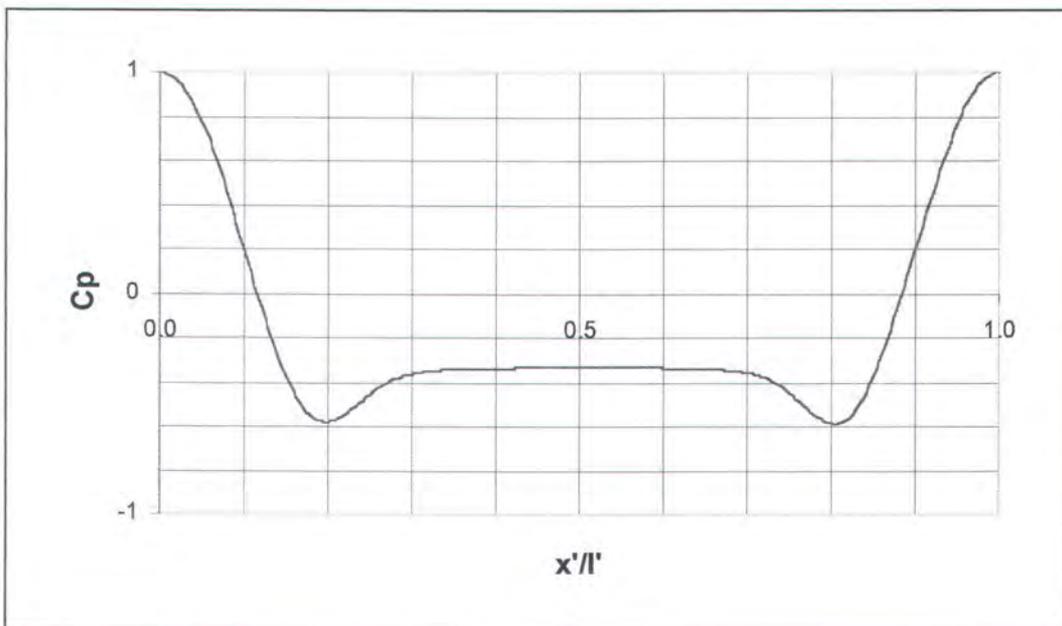
Gambar 4.10e. Perbandingan profil kecepatan model elips ( $a/b = 4$ ) [Ansys 5.7] dengan [Schlichting, 1968] pada separasi

#### 4.5. Analisis Distribusi Tekanan pada Permukaan Benda

Distribusi tekanan yang terjadi pada suatu permukaan benda memiliki karakteristik atau bentuk yang berbeda-beda sesuai dengan bentuk permukaannya dan angka Reynoldsnya [Schlichting, 1968].

##### 4.5.1. Model Lingkaran

Dari penelitian dengan menggunakan *software Flotran CFD ANSYS 5.7* diperoleh hasil numerik yang disajikan dalam bentuk Tabel A.1.1. Hasil dari tabel tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.



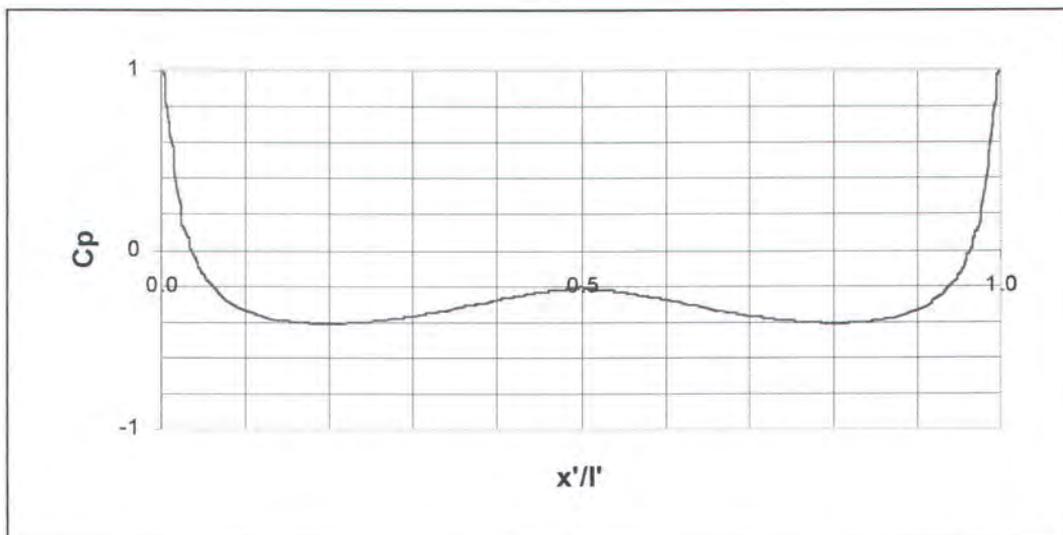
Gambar 4.11. Distribusi tekanan pada permukaan model lingkaran [Ansys 5.7]

## Tugas Akhir

Pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa nilai dari  $C_p$  di bagian *leading edge* yaitu pada  $x'/l' = 0$  atau pada  $\phi = 0^\circ$  bernilai satu sedangkan pada bagian *trailing edge* yaitu pada  $x'/l' = 0.5$  atau pada  $\phi = 180^\circ$  nilainya kurang dari satu. Pada  $x'/l' = 0$  terjadi nilai  $C_p$  maksimum, sedangkan pada bagian yang paling menjorok ke bawah yaitu pada  $x'/l' = 0.2$  terjadi nilai minimum dari  $C_p$ . Hal ini berbeda dengan anggapan teori dari fluida ideal bahwa  $C_p$  minimum terjadi pada  $x'/l' = 0.5$  atau pada  $\phi = 180^\circ$ . Karena kita ketahui bahwa aliran yang terjadi pada permukaan benda adalah aliran *viscous*.

### 4.5.2. Model Elips

Dari penelitian dengan menggunakan *software Flotran CFD ANSYS 5.7* diperoleh hasil numerik yang disajikan dalam bentuk Tabel A.2.1. Hasil dari tabel tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12.



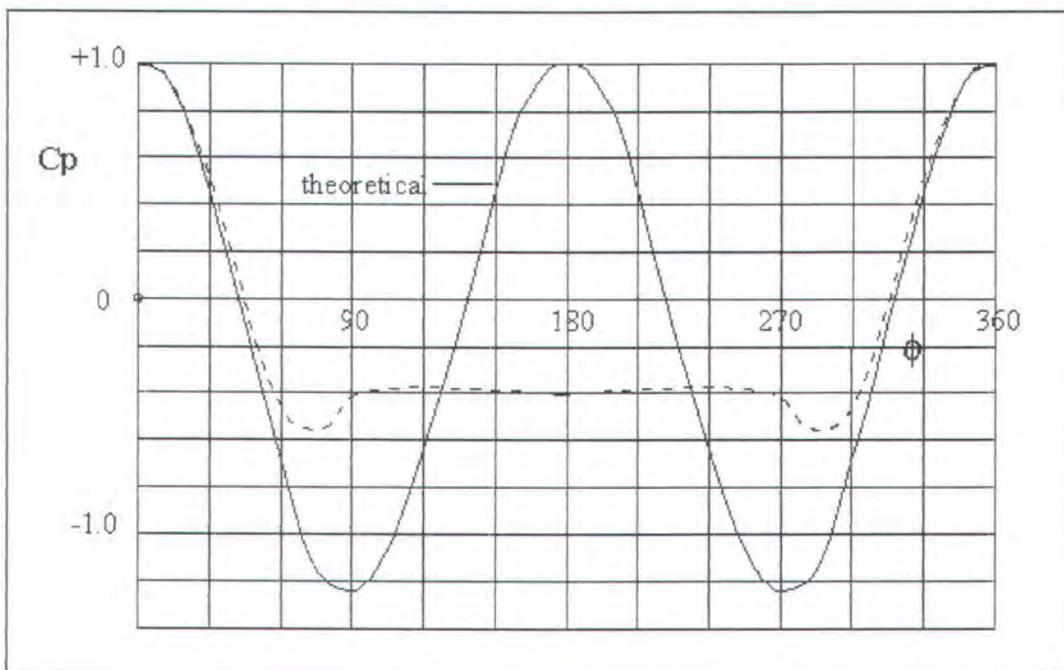
Gambar 4.12. Distribusi tekanan pada permukaan model elips ( $a/b = 4$ )

[Ansys 5.7]

## Tugas Akhir

Pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa nilai dari  $C_p$  di bagian *leading edge* yaitu pada  $x'/l' = 0$  bernilai satu sedangkan pada bagian *trailing edge* yaitu pada  $x'/l' = 0.5$  nilainya kurang dari satu. Pada  $x'/l' = 0$  terjadi nilai  $C_p$  maksimum, sedangkan pada bagian yang paling menjorok ke bawah yaitu pada  $x'/l' = 0.2$  terjadi nilai minimum dari  $C_p$ . Hal ini berbeda dengan anggapan teori dari fluida ideal bahwa  $C_p$  minimum terjadi pada  $x'/l' = 0.5$ . Karena aliran yang terjadi pada permukaan benda adalah aliran *viscous*.

Pada Gambar 4.13 memperlihatkan profil distribusi tekanan yang mengelilingi permukaan lingkaran menurut O. Flachsbar [Schlichting, 1968]. Jika dilihat dari Gambar 4.11 dan Gambar 4.13, ternyata keduanya mempunyai bentuk profil distribusi tekanan yang sama.

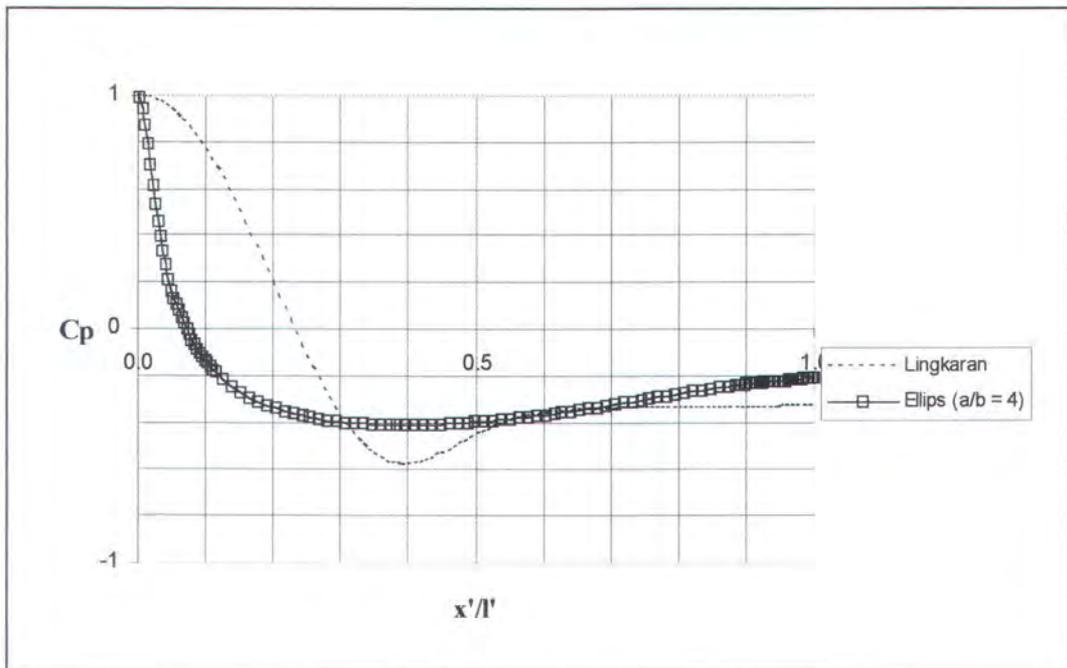


Gambar 4.13. Distribusi tekanan mengelilingi lingkaran dari O. Flachsbar

[Schlichting, 1968]

## Tugas Akhir

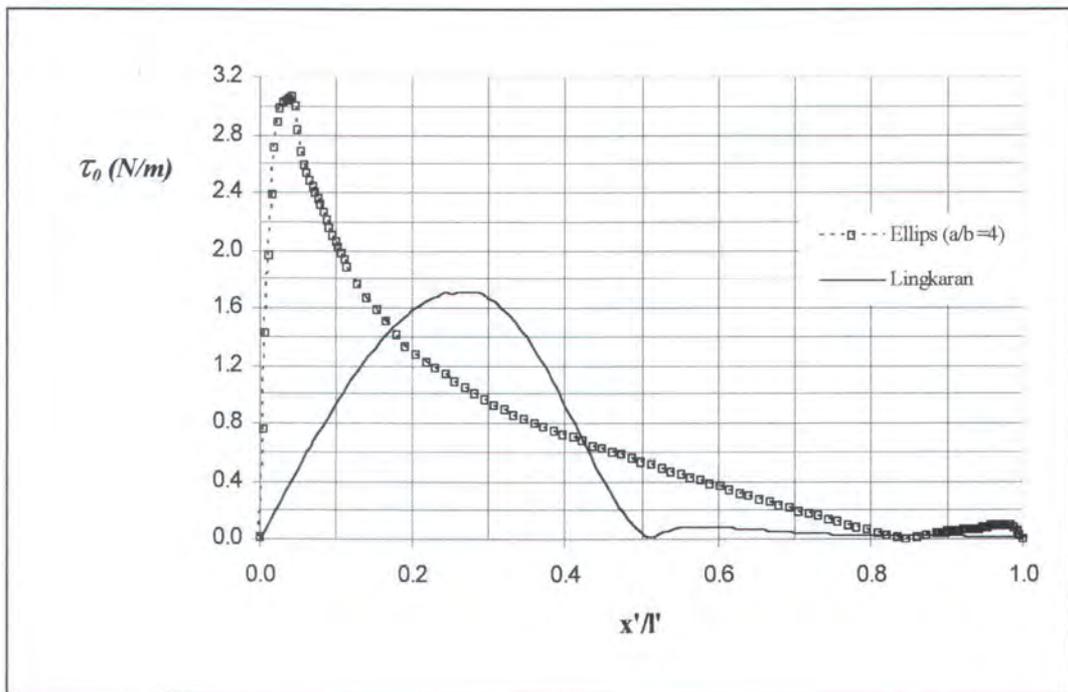
Berikut ini pada Gambar 4.14 akan ditunjukkan perbedaan distribusi tekanan yang terjadi pada permukaan model lingkaran dan elips mulai dari *leading edge* sampai *trailing edge*. Gambar 4.14 menunjukkan bahwa  $C_p$  minimum dari model lingkaran lebih kecil dari  $C_p$  minimum model elips.



Gambar 4.14. Grafik distribusi tekanan pada permukaan model lingkaran dan elips ( $a/b = 4$ ) [Ansys 5.7]

#### 4.6. Analisis Titik Separasi

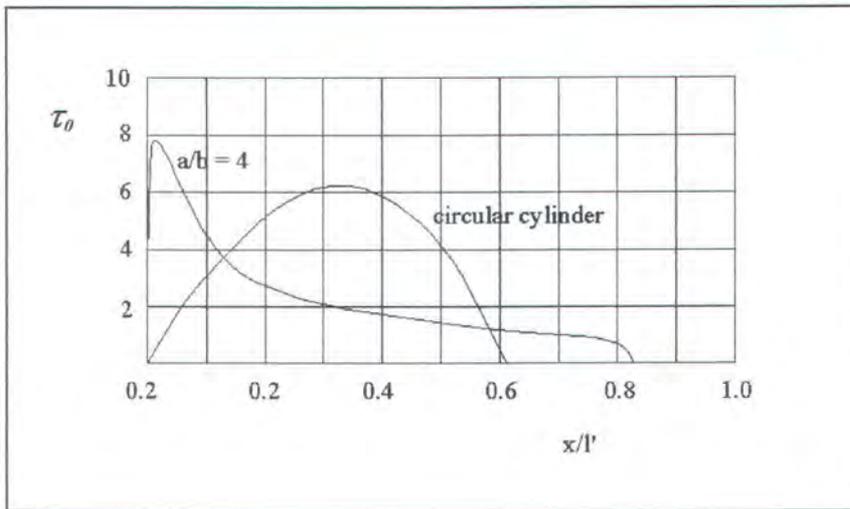
Titik separasi terjadi bila  $\partial w / \partial y = 0$  atau tegangan geser  $\tau_0$  adalah nol pada permukaan benda. Dari software CFD ANSYS 5.7 diperoleh data numerik tegangan geser seperti yang disajikan pada Tabel A.1.2 dan A.2.2. Dari tabel-tabel ini dibuat dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15. Tegangan geser pada dinding model lingkaran dan elips ( $a/b = 4$ )

[Ansys 5.7]

Pada Gambar 4.15. terlihat bahwa titik separasi dari lingkaran terjadi lebih awal dari elips ( $a/b = 4$ ). Berikut ini akan ditampilkan grafik trngangan geser pada dinding permukaan benda yang disajikan [Schlichting, 1968], seperti yang terlihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Tegangan geser pada dinding model lingkaran dan elips ( $a/b = 4$ )

[Schlichting, 1968]

Jika dibandingkan hasil dari penelitian dari software *Flotran CFD ANSYS 5.7* dengan yang disajikan oleh Schlichting, maka dapat dilihat bahwa kedua hasil tersebut mempunyai kesamaan bentuk tegangan geser, namun mempunyai tinggi yang berbeda. Titik separasi untuk hasil penelitian pada lingkaran terjadi pada  $x/l' = 0.51$  dan elips pada  $x/l' = 0.85$ . Sedangkan titik separasi dari Schlichting, untuk lingkaran terjadi pada  $x/l' = 0.6$  dan elips pada  $x/l' = 0.84$ .

**4.6. Perhitungan Tebal Lapisan Batas (boundary layer thickness), Tebal Displasemen (displacement thickness), dan Tebal Momentum (momentum thickness).**

Perhitungan pertumbuhan lapisan batas (*boundary layer*) pada umumnya adalah rumit. Kebanyakan rumus yang ada adalah untuk pelat datar, sedangkan untuk model lingkaran dan elips tidak disajikan. Untuk itu maka akan dilakukan

## Tugas Akhir

perhitungan dengan menggunakan rumus pendekatan pada pelat datar. Pada aliran luar (*eksternal flow*) yang melewati pelat datar diperoleh tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displasemen (*displacement thickness*), dan tebal momentum (*momentum thickness*) sebagai berikut [Schlichting, 1968 dan Douglas dan Gasiorek dan Swafield, 1999] :

Tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*)

$$\delta = 5.0 \sqrt{\frac{\nu \cdot x}{U_{\infty}}} \quad (4.1)$$

Tebal displasemen (*displacement thickness*)

$$\delta^* = \int_{y=0}^{\infty} \left( 1 - \frac{u}{U_{\infty}} \right) dy \quad (4.2)$$

atau

$$\delta^* = 1.721 \sqrt{\frac{\nu \cdot x}{U_{\infty}}} \quad (4.3)$$

Tebal Momentum (*momentum thickness*)

$$\theta = \int_{y=0}^{\infty} \frac{u}{U_{\infty}} \left( 1 - \frac{u}{U_{\infty}} \right) dy \quad (4.4)$$

atau

$$\theta = 0.664 \sqrt{\frac{\nu \cdot x}{U_{\infty}}} \quad (4.5)$$

## Tugas Akhir

### 4.7.1. Model Lingkaran

Perhitungan tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displasemen (*displacement thickness*), dan tebal momentum (*momentum thickness*) akan dilakukan pada sudut  $\phi = 90^\circ$  dimana aliran dianggap mempunyai kesamaan dengan pelat datar.

Dengan bantuan persamaan (4.1), (4.3), dan (4.5) diperoleh

Tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*)

$$\delta = 5.0 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_\infty}}$$

dimana :  $x = 1.5708$  m (panjang busur diukur dari *leading edge*)

$$\delta = 5.0 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \cdot 1.5708}{0.00056951}}$$

$$\delta = 0.280 \text{ m}$$

Tebal displasemen (*displacement thickness*)

$$\delta^* = 1.721 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_\infty}}$$

$$\delta^* = 1.721 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \cdot 1.5708}{0.00056951}}$$

$$\delta^* = 0.077 \text{ m}$$

Tebal Momentum (*momentum thickness*)

$$\theta = 0.664 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_\infty}}$$

## Tugas Akhir

$$\theta = 0.664 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \times 1.5708}{0.00056951}}$$

$$\theta = 0.023 \text{ m}$$

### 4.7.2. Model Elips

Perhitungan tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displasemen (*displacement thickness*), dan tebal momentum (*momentum thickness*) akan dilakukan pada  $x'/l' = 0.5$  dimana aliran dianggap mempunyai kesamaan dengan pelat datar.

Dengan bantuan persamaan (4.1), (4.3), dan (4.5) diperoleh

Tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*)

$$\delta = 5.0 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_{\infty}}}$$

dimana :  $x = 1.0722 \text{ m}$  (panjang busur diukur dari *leading edge*)

$$\delta = 5.0 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \times 1.0722}{0.00056951}}$$

$$\delta = 0.232 \text{ m}$$

Tebal displasemen (*displacement thickness*)

$$\delta^* = 1.721 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_{\infty}}}$$

$$\delta^* = 1.721 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \times 1.0722}{0.00056951}}$$

$$\delta^* = 0.080 \text{ m}$$

## Tugas Akhir

Tebal Momentum (*momentum thickness*)

$$\theta = 0.664 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_{\infty}}}$$

$$\theta = 0.664 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \cdot 1.0722}{0.00056951}}$$

$$\theta = 0.031 \text{ m}$$

### 4.8. Validasi Hasil

Validasi hasil dinyatakan dengan koreksi kesalahan dan kecenderungan kurva distribusi kecepatan yang terjadi pada penelitian menggunakan *software Flotran CFD Ansys 5.7* dengan teori mekanika fluida.

$$\text{Koreksi} = \frac{(\text{hasil CFD} - \text{hasil Teori})}{\text{hasil Teori}}$$

#### 4.8.1. Koefisien Tekanan (Cp) pada Titik Stagnasi

Koefisien tekanan (Cp) pada titik stagnasi (*stagnation point*) menurut O. Flachsbarth adalah bernilai 1 [Schlichting, 1968]. Dari hasil analisis distribusi tekanan dari software Flotran CFD Ansys 5.7, diperoleh harga Cp di titik stagnasi adalah sebagai berikut

- Untuk model lingkaran

$$C_p = 1.000$$

- Untuk model elips

$$C_p = 1.005$$

## Tugas Akhir

Koreksi dari koefisien tekanan ( $C_p$ ) untuk setiap model dapat dilihat pada Tabel 4.5. di bawah ini.

Tabel 4.5. Koreksi koefisien tekanan ( $C_p$ ) pada titik stagnasi.

Model	$C_p$ [Ansys]	$C_p$ [Teori]	Koreksi (%)
Lingkaran	1.000	1.000	0.000
Elips	1.005	1.000	0.005

### 4.8.2. Tebal Lapisan Batas (*boundary layer thickness*), Tebal Displasemen (*displacement thickness*), dan Tebal Momentum (*momentum thickness*)

Disini dilakukan perbandingan tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displasemen (*displacement thickness*), dan tebal momentum (*momentum thickness*) antara hasil penelitian dengan menggunakan *software Flotran CFD Ansys 5.7* dengan hasil perhitungan dengan menggunakan rumus pendekatan untuk pelat datar.

#### 4.8.2.1. Model Lingkaran

Perhitungan tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displasemen (*displacement thickness*), dan tebal momentum (*momentum thickness*) akan dilakukan pada  $\phi = 90^\circ$  dimana aliran dianggap mempunyai kesamaan dengan pelat datar. Berdasarkan Tabel A.1.6. pada lampiran, maka diperoleh

## Tugas Akhir

Tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*)

$$\delta = 3.281 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_{\infty}}}$$

dimana :  $x = 1.5708$  m (panjang busur diukur dari *leading edge*)

$$\delta = 3.281 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \cdot x \cdot 1.5708}{0.00056951}}$$

$$\delta = 0.184 \text{ m}$$

Tebal displasemen (*displacement thickness*)

Tebal displasemen (*displacement thickness*) secara kasar sama dengan  $\frac{1}{3}$  dari tebal lapisan batas (*boundary layer*) [Schlichting, 1968], sehingga

$$\delta^* = \frac{1}{3} x \left( 3.281 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_{\infty}}} \right)$$

$$\delta^* = 1.094 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_{\infty}}}$$

$$\delta^* = 1.094 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \cdot x \cdot 1.5708}{0.00056951}}$$

$$\delta^* = 0.061 \text{ m}$$

Tebal momentum (*momentum thickness*)

Tebal momentum (*momentum thickness*) secara kasar sama dengan  $\frac{1}{6}$  dari tebal lapisan batas (*boundary layer*) [Schlichting, 1968], sehingga

$$\theta = \frac{1}{6} x \left( 3.281 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_{\infty}}} \right)$$



## Tugas Akhir

$$\theta = 0.547 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_{\infty}}}$$

$$\theta = 0.547 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \cdot 1.5708}{0.00056951}}$$

$$\theta = 0.031 \text{ m}$$

### 4.8.3.2. Model Elips

Perhitungan tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displasemen (*displacement thickness*), dan tebal momentum (*momentum thickness*) akan dilakukan pada  $x'/l' = 0.5$  atau pada  $\phi = 90^\circ$  dimana aliran dianggap mempunyai kesamaan dengan pelat datar. Berdasarkan Tabel A.2.4, maka diperoleh

Tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*)

$$\delta = 3.254 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_{\infty}}}$$

dimana :  $x = 1.0722 \text{ m}$  (panjang busur diukur dari *leading edge*)

$$\delta = 3.254 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \cdot 1.0722}{0.00056951}}$$

$$\delta = 0.151 \text{ m}$$

Tebal displasemen (*displacement thickness*)

Tebal displasemen (*displacement thickness*) secara kasar sama dengan  $\frac{1}{3}$  dari tebal lapisan batas (*boundary layer*) [Schlichting, 1968], sehingga

## Tugas Akhir

$$\delta^* = \frac{1}{3} \times \left( 3.254 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_\infty}} \right)$$

$$\delta^* = 1.085 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_\infty}}$$

$$\delta^* = 1.085 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \cdot x \cdot 1.0722}{0.00056951}}$$

$$\delta^* = 0.050 \text{ m}$$

Tebal momentum (*momentum thickness*)

Tebal momentum (*momentum thickness*) secara kasar sama dengan  $\frac{1}{6}$  dari tebal lapisan batas (*boundary layer*) [Schlichting, 1968], sehingga

$$\theta = \frac{1}{6} \times \left( 3.254 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_\infty}} \right)$$

$$\theta = 0.542 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_\infty}}$$

$$\theta = 0.542 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \cdot x \cdot 1.0722}{0.00056951}}$$

$$\theta = 0.025 \text{ m}$$

Tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displasemen (*displacement thickness*), dan tebal momentum (*momentum thickness*) hasil Ansys 5.7 untuk lebih jelasnya terlihat pada Gambar 4.17. Tampak bahwa tebal  $\delta$ ,  $\delta^*$ , dan  $\theta$  pada model lingkaran lebih besar atau lebih tinggi dari model elips.

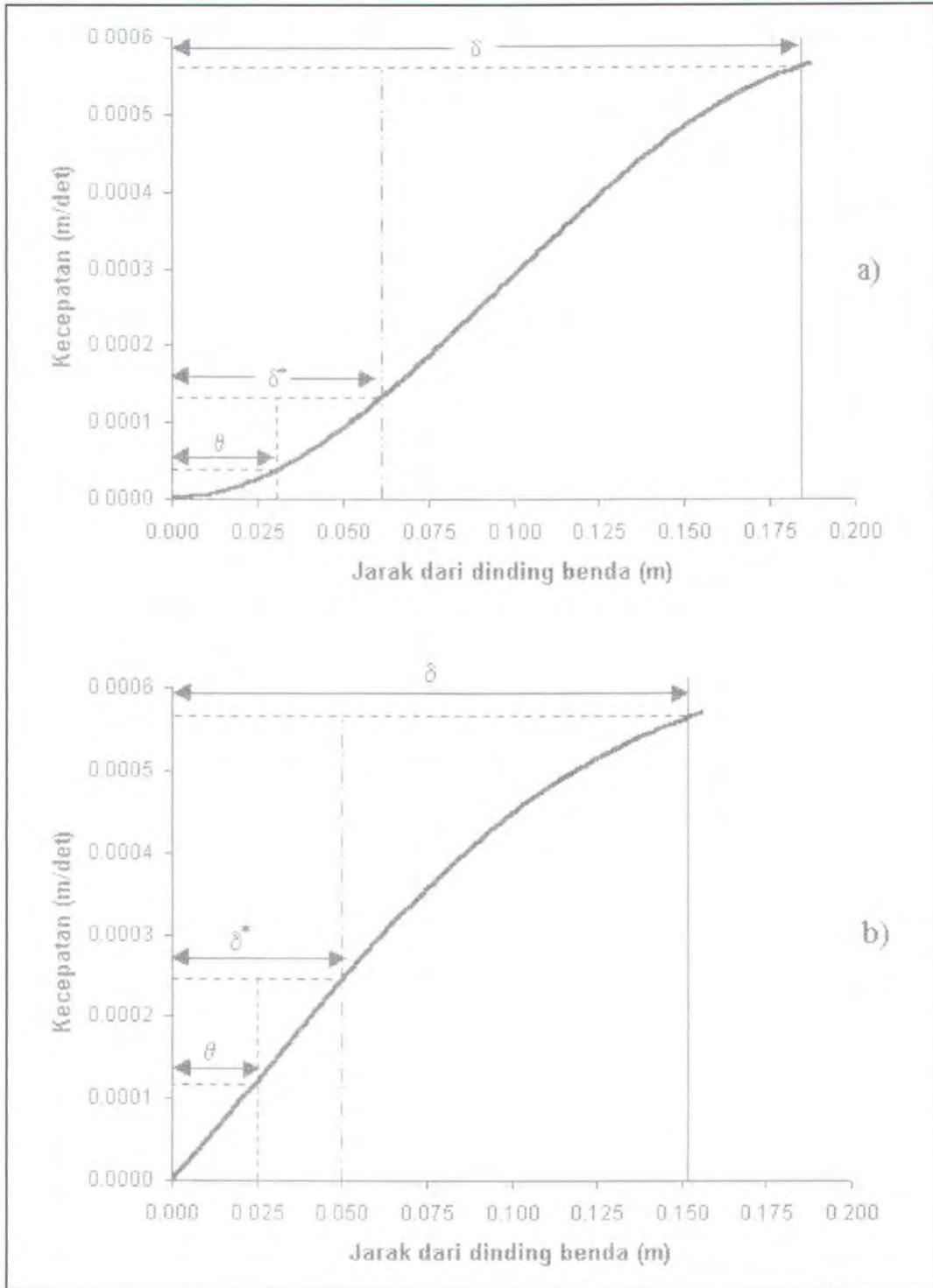
## Tugas Akhir

Koreksi tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displasemen (*displacement thickness*), dan tebal momentum (*momentum thickness*) untuk kedua model dirangkum dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Koreksi besarnya  $\delta$ ,  $\delta^*$ , dan  $\theta$ .

Model	Tebal Lapisan Batas $\delta$ (m)		Tebal Displasemen $\delta^*$ (m)		Tebal Momentum $\theta$ (m)	
	Ansys	Teori	Ansys	Teori	Ansys	Teori
Lingkaran	0.184	0.280	0.061	0.077	0.031	0.023
Koreksi (%)	<b>-34.286</b>		<b>-20.779</b>		<b>34.783</b>	
Elips	0.151	0.232	0.050	0.080	0.025	0.031
Koreksi (%)	<b>-34.914</b>		<b>-37.500</b>		<b>-19.355</b>	

Dari Tabel 4.6 memperlihatkan bahwa koreksi yang dihasilkan terlalu besar. Hal ini disebabkan rumus yang digunakan untuk memprediksi tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displasemen (*displacement thickness*), dan tebal momentum (*momentum thickness*) adalah untuk pelat datar. Sedangkan dalam penelitian ini model yang digunakan adalah lingkaran dan elips.



Gambar 4.17. Grafik  $\delta$ ,  $\delta^*$ , dan  $\theta$  a) model lingkaran, b) model elips [Ansys 5.7]



BAB 5  
KESIMPULAN DAN SARAN

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dengan menggunakan *software Flotran CFD Ansys*

5.7 menunjukkan bahwa :

1. Profil distribusi kecepatan antara tiap potongan penampang hasil dari *Ansys* 5.7 pada Gambar 4.3 untuk model lingkaran dan Gambar 4.7 untuk model elips ( $a/b = 4$ ), memiliki bentuk yang sama dengan profil distribusi kecepatan yang disajikan oleh Schlichting pada Gambar 4.5 untuk model lingkaran dan Gambar 4.9 untuk model elips ( $a/b = 4$ ). Akan tetapi memiliki perbedaan tinggi profil distribusi kecepatannya. Hal ini terlihat pada Gambar 4.6a – 4.6d untuk model lingkaran dan Gambar 4.11a-4.11e untuk model elips ( $a/b = 4$ ). Hal ini mungkin dikarenakan adanya perbedaan angka Reynolds.
2. Terdapat perbedaan tinggi profil distribusi kecepatan antara tiap potongan penampang dimulai dari yang terendah pada  $\phi = 60^\circ$  sampai pada titik separasi (*separation point*) untuk model lingkaran, dan pada potongan  $x'/l' = 0.27$  sampai pada titik separasi untuk model elips ( $a/b = 4$ ). Perbedaan ini disebabkan karena terjadinya pertumbuhan lapisan batas (*boundary layer*) di bagian depan model (*leading edge*) sampai yang tertinggi di bagian belakang (*trailing edge*).

## Tugas Akhir

3. Profil distribusi kecepatan yang dihasilkan dari *Ansys 5.7* baik itu untuk model lingkaran maupun model elips ( $a/b = 4$ ), ternyata masih menunjukkan gradien tekanan yang menguntungkan,  $dp/dx < 0$ . Hal ini bisa dilihat pada Gambar 4.4a-4.4e untuk model lingkaran, dan Gambar 4.9a-4.9e untuk model elips ( $a/b = 4$ ).
4. Nilai dari koefisien tekanan ( $C_p$ ) pada bagian *leading edge* atau pada titik stagnasi (*stagnation point*) baik itu pada model lingkaran maupun model elips ( $a/b = 4$ ) adalah 1, sedangkan pada bagian *trailing edge* adalah kurang dari 1. Hal ini terjadi pada aliran fluida viskos. Sedangkan pada aliran fluida inviscid baik pada *leading edge* maupun pada *trailing edge* nilainya adalah 1.
5. Untuk model lingkaran maupun elips ( $a/b = 4$ ) mempunyai koreksi koefisien tekanan ( $C_p$ ) yang sangat baik yaitu berkisar antara 0 % sampai 0.005 %.
6. Titik separasi yang terjadi jika tegangan geser  $\tau = 0$  pada hasil *Ansys 5.7* menunjukkan bahwa, untuk model lingkaran titik separasinya terjadi lebih dahulu yaitu pada  $x'/l' = 0.51$ , dibandingkan dengan model elips ( $a/b = 4$ ) yaitu pada  $x'/l' = 0.85$ . Harga ini perbedaannya tidak terlalu besar dengan apa yang disajikan oleh Schlichting. Dimana untuk lingkaran titik separasinya terjadi pada  $x'/l' = 0.6$  sedangkan elips ( $a/b = 4$ ) terjadi pada  $x'/l' = 0.84$ . Hal ini bisa dilihat pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17.
7. Perhitungan pertumbuhan lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displasemen (*displacement thickness*), dan tebal momentum (*momentum thickness*) pada hasil *Ansys 5.7* baik itu untuk model lingkaran maupun model elips ( $a/b = 4$ ), ternyata memiliki perbedaan yang cukup besar jika

## Tugas Akhir

dibandingkan dengan teori Blasius. Hal ini bisa dilihat dari koreksi yang terjadi, dimana koreksinya berkisar antara -19.355 % sampai -37.5 %. Perbedaan ini terjadi karena perhitungannya menggunakan rumus pendekatan teori lapisan batas untuk pelat datar, sedangkan model dalam penelitian ini adalah lingkaran dan elips ( $a/b = 4$ ).

8. Tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*) hasil Ansys 5.7 yang diambil harganya pada  $\phi = 90^\circ$  atau pada  $x'/l' = 0.5$  untuk model lingkaran ternyata lebih tinggi dari model elips ( $a/b = 4$ ). Karena pertumbuhan lapisan batas pada model lingkaran lebih tinggi mengakibatkan tebal displasemen (*displacement thickness*), dan tebal momentum (*momentum thickness*) juga lebih tinggi dari model elips ( $a/b = 4$ ).

### 5.2. Saran

Dalam penelitian yang dilakukan menunjukkan kecenderungan grafik profil distribusi kecepatan dan tekanan yang cukup baik yang mampu mewakili gambaran aliran fluida yang terjadi pada aliran fluida viscous. Untuk harga distribusi tekanan pada titik stagnasi sangat baik, akan tetapi lain halnya dengan tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displasemen (*displacement thickness*) dan tebal momentum (*momentum thickness*) terjadi pengurangan yang begitu besar.

Prosentase kesalahan yang begitu besar dapat terjadi karena meshing yang kurang baik. Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa pada proses meshing, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu rasio elemen, kerapatan

## *Tugas Akhir*

elemen, dan jumlah elemen. Untuk itu perlu dilakukan *trial and error* terhadap ketiga komponen tersebut.

Perbedaan yang cukup besar juga disebabkan karena rumus pendekatan yang dipakai pada teori lapisan batas adalah untuk model pelat datar. Sehingga seharusnya digunakan rumus pendekatan teori lapisan batas untuk model lingkaran dan elips.



DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR PUSTAKA

Anderson Jr., J.D., *Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications*, McGraw-Hill, Singapore, 1995.

Douglas, J. F., and Gasiorek, J. M., and Swaffield, J. A., *Fluid Mechanics, Fourth Edition*, Prentice-Hall, Inc., London, 1999.

Fox, R. W., and McDonald, A. T., *Introduction to Fluid Mechanics, Third Edition*, New York, 1984.

Harvald, Sv. Aa., *Resistance and Propulsion of Ships*, John Wiley & Sons, Inc., Toronto, 1983.

Kohnke, P., *ANSYS Theory Reference Release 5.5*, SAS IP, Inc., Philadelphia, 1998.

Olson, R.M., and Wright, S.J., *Essentials of Engineering Fluid Mechanics, Fifth Edition*, Harper & Row, Publishers, Inc., 1990.

Orianto, M., dan Pratikto, W.A., *Mekanika Fluida I*, Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 1989.

Schlichting, H., *Boundary-Layer Theory, Sixth Edition*, McGraw-Hill, Inc., New York, 1968.

Shapiro, A.H., *The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Flow, Vols. I and II*, Ronald Press, New York, 1983.

Street, R. L., and Vennard, J. K., *Elementary Fluid Mechanics, Sixth Edition*, John Wiley & Sons, Inc., Toronto, 1982.

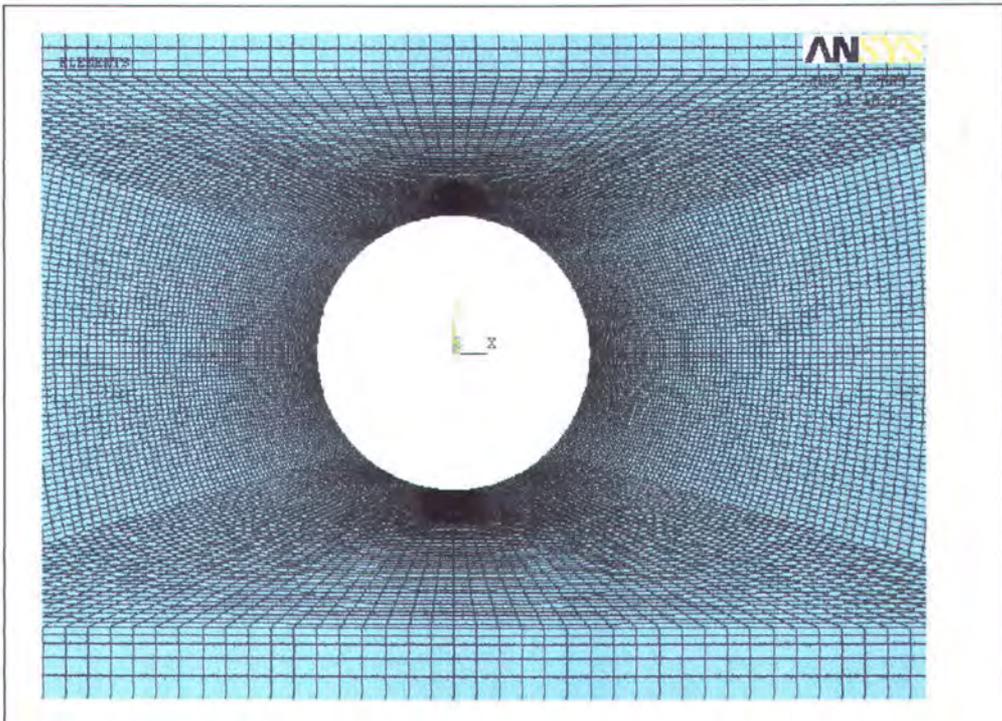
Streeter, V. L., dan Wylie, E. B., dan Prijono, A., *Mekanika Fluida*, Erlangga, 1988.

Utama, I. K. A. P., *Kajian 2-Dimensi Tahanan Kapal Pada Konfigurasi Monohull dan Catamaran, Sebuah Pendekatan Analitis dan CFD*, Jurusan Teknik Perkapalan, FTK-ITS, Surabaya, 2001.

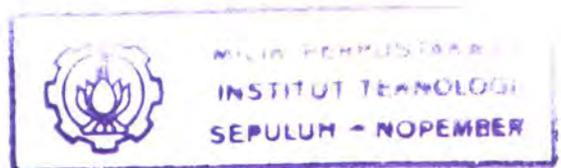
White, F. M., *Fluid Mechanics, Second Edition*, McGraw-Hill, Inc., New York, 1994.

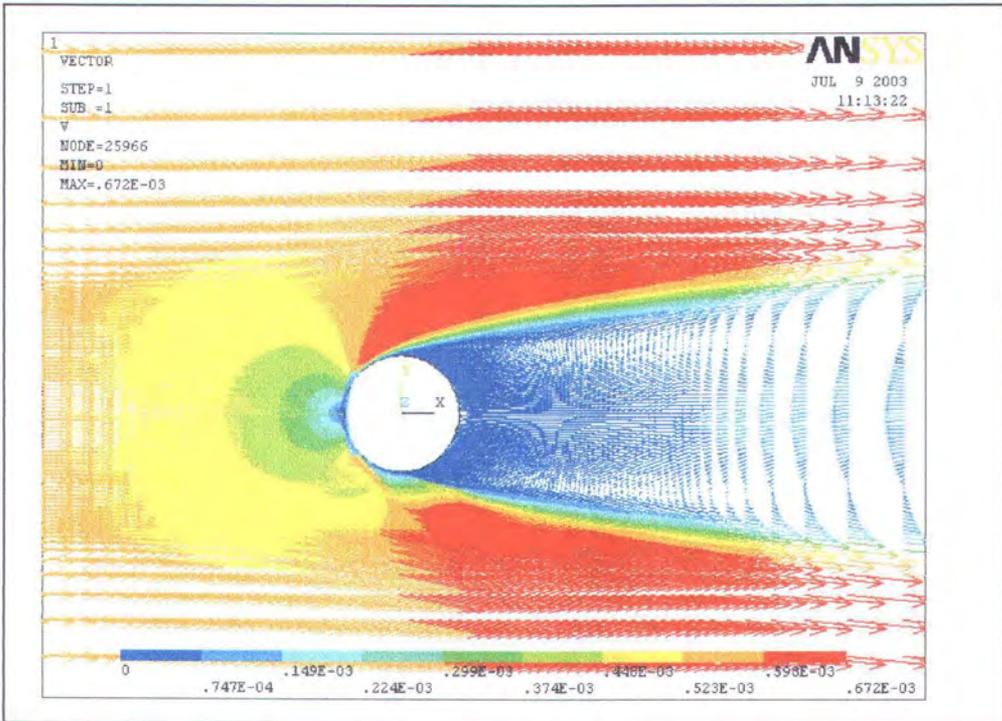


LAMPIRAN

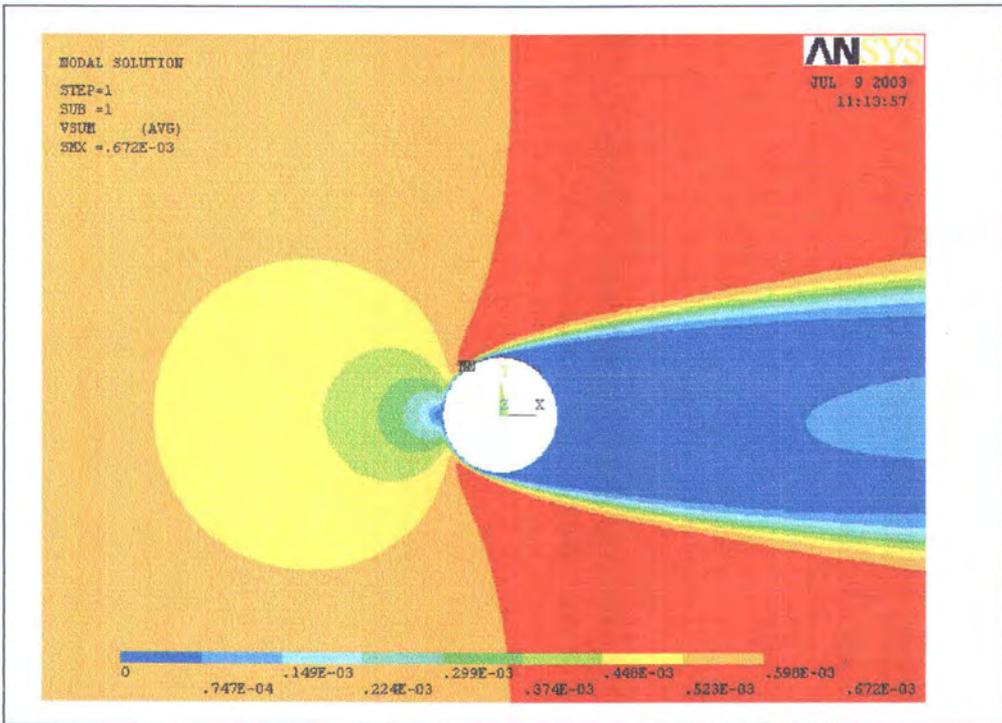


Gambar A.1.1. Mesh pada model lingkaran

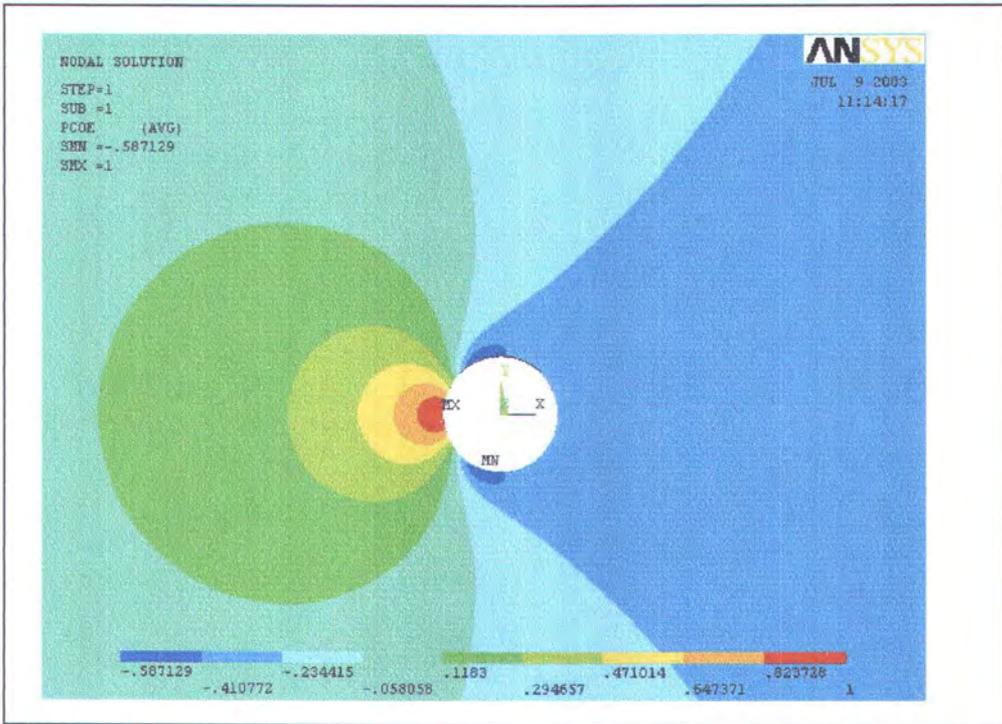




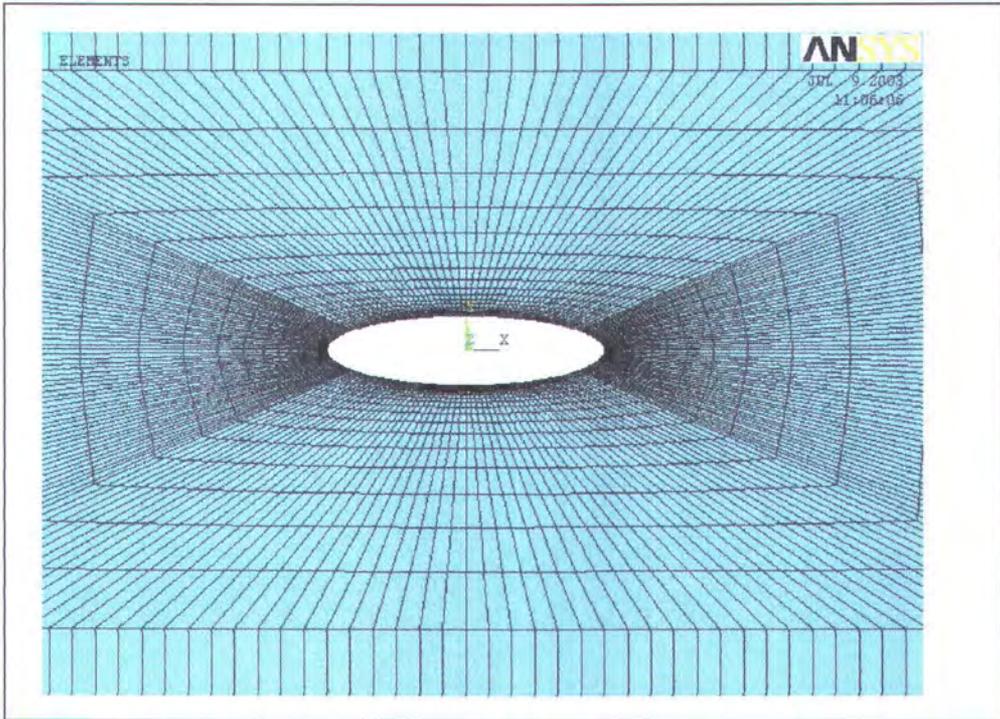
Gambar A.1.2. Vektor kecepatan pada model lingkaran



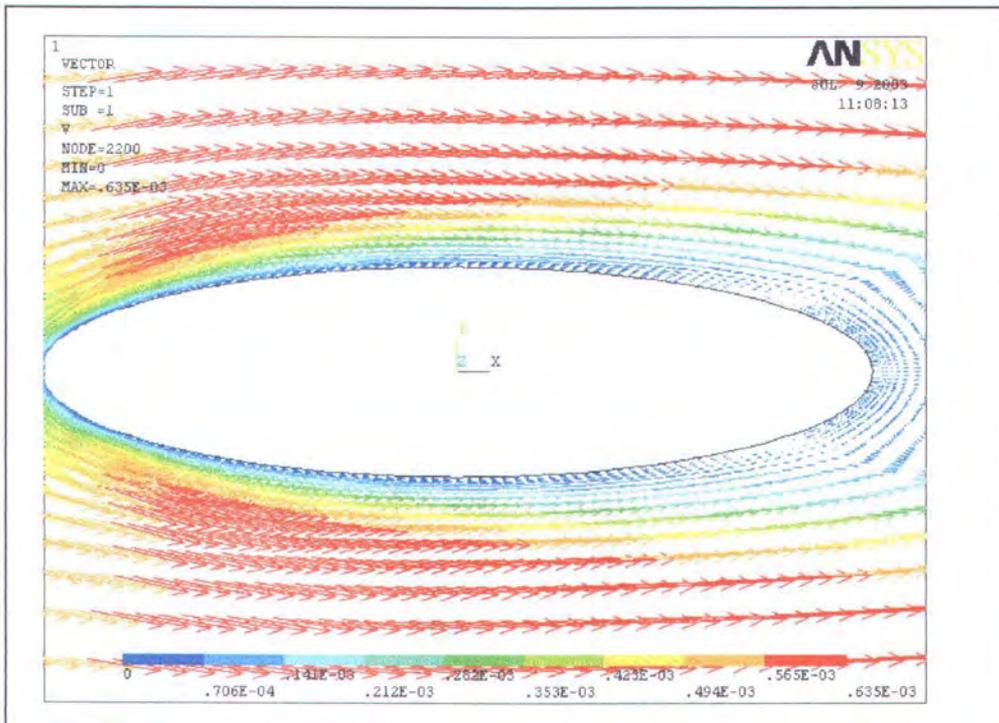
Gambar A.1.3. Contour kecepatan pada model lingkaran



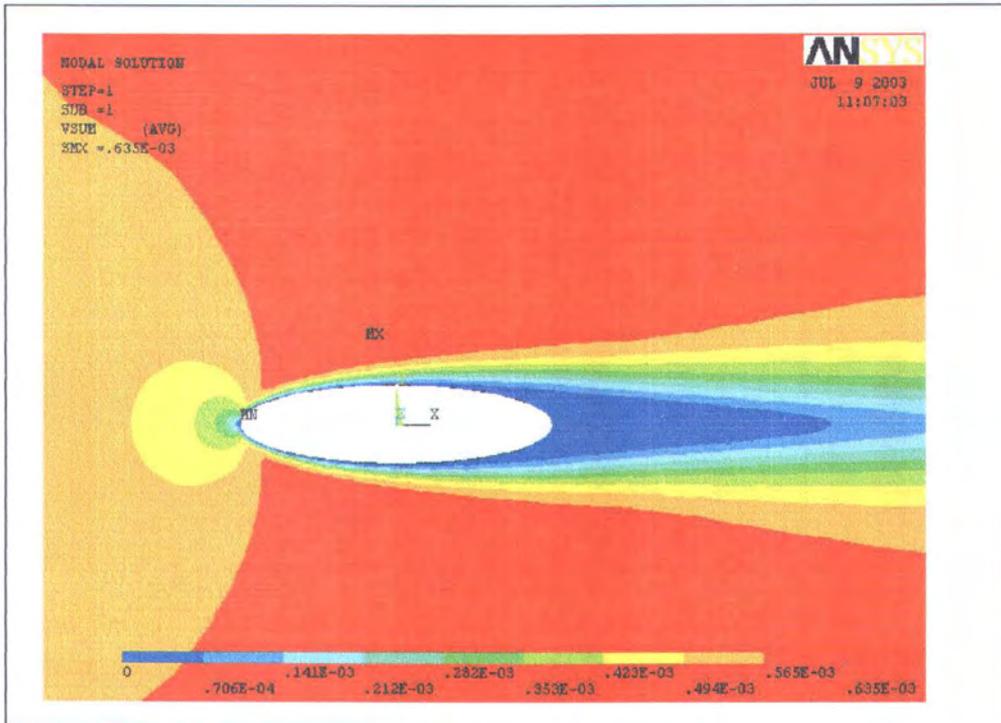
Gambar A.1.4. Koefisien tekanan pada model lingkaran



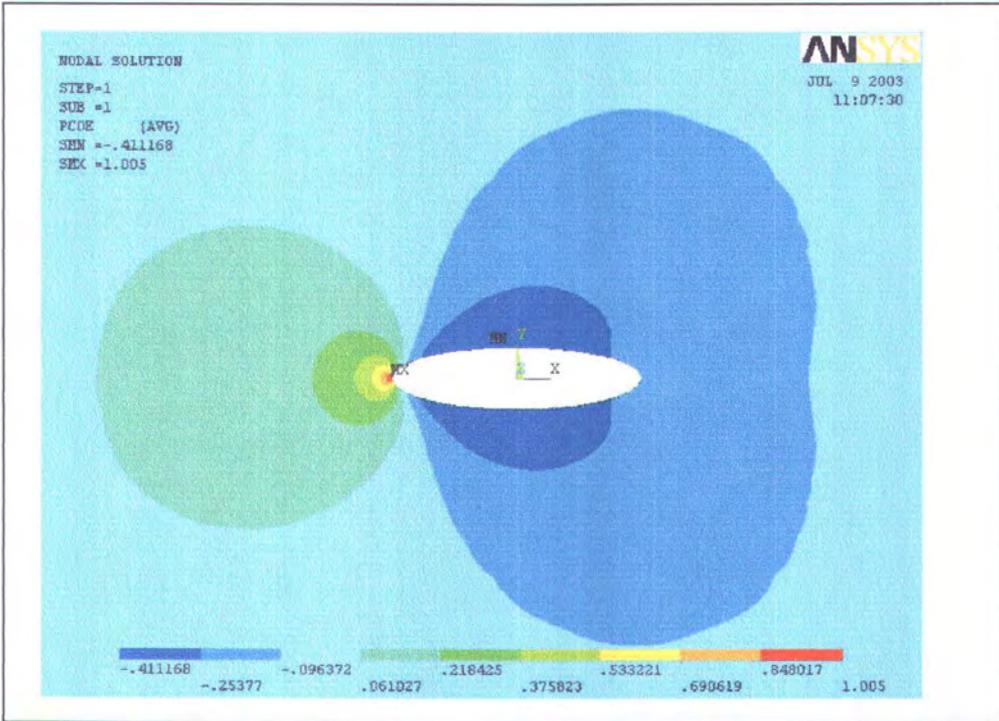
Gambar A.2.1. Mesh pada model ellips ( $a/b = 4$ )



Gambar A.2.2. Vektor kecepatan pada model elips ( $a/b = 4$ )



Gambar A.2.3. Contour kecepatan pada model elips ( $a/b = 4$ )



Gambar A.2.4. Koefisien tekanan pada model elips ( $a/b = 4$ )

**Tabel A.1.1. Data koefisien tekanan (Cp) pada permukaan model lingkaran**

Jumlah Elemen	=	27216	
Aliran	=	Full Laminar	
Jumlah Iterasi	=	239	
Term. Criteria	=	0.001	
R	=	1	m
l'	=	6.283	m
$\rho$	=	999	kg/m <sup>3</sup>
$\mu$	=	0.00113788098	kg/(m det)
v	=	1.13902E-06	m <sup>2</sup> /det
Kecepatan	=	0.00056951	m/det



Ansys 5.7					
Point	x	y	x'	x'/l'	Cp
1	-1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00010
2	-0.99966	0.02618	0.02618	0.00417	0.99836
3	-0.99863	0.05234	0.05236	0.00833	0.99314
4	-0.99692	0.07846	0.07854	0.01250	0.98479
5	-0.99452	0.10453	0.10472	0.01667	0.97328
6	-0.99144	0.13053	0.13090	0.02083	0.95860
7	-0.98769	0.15643	0.15708	0.02500	0.94079
8	-0.98325	0.18224	0.18325	0.02917	0.91989
9	-0.97815	0.20791	0.20943	0.03333	0.89594
10	-0.97237	0.23345	0.23561	0.03750	0.86903
11	-0.96593	0.25882	0.26179	0.04167	0.83924
12	-0.95882	0.28402	0.28797	0.04583	0.80667
13	-0.95106	0.30902	0.31415	0.05000	0.77145
14	-0.94264	0.33381	0.34033	0.05417	0.73371
15	-0.93358	0.35837	0.36651	0.05833	0.69359
16	-0.92388	0.38268	0.39269	0.06250	0.65125
17	-0.91355	0.40674	0.41887	0.06667	0.60685
18	-0.90259	0.43051	0.44505	0.07083	0.56059
19	-0.89101	0.45399	0.47123	0.07500	0.51266
20	-0.87882	0.47716	0.49740	0.07917	0.46326
21	-0.86603	0.50000	0.52358	0.08333	0.41260
22	-0.85264	0.52250	0.54976	0.08750	0.36091
23	-0.83867	0.54464	0.57594	0.09167	0.30843
24	-0.82413	0.56641	0.60212	0.09583	0.25538
25	-0.80902	0.58779	0.62830	0.10000	0.20203
26	-0.79335	0.60876	0.65448	0.10417	0.14863
27	-0.77715	0.62932	0.68066	0.10833	0.09544
28	-0.76041	0.64945	0.70684	0.11250	0.04270
29	-0.74314	0.66913	0.73302	0.11667	-0.00931
30	-0.72537	0.68835	0.75920	0.12083	-0.06057
31	-0.70711	0.70711	0.78538	0.12500	-0.11081
32	-0.68835	0.72537	0.81155	0.12917	-0.15911
33	-0.66913	0.74314	0.83773	0.13333	-0.20531
34	-0.64945	0.76041	0.86391	0.13750	-0.25018
35	-0.62932	0.77715	0.89009	0.14167	-0.29313
36	-0.60876	0.79335	0.91627	0.14583	-0.33375
37	-0.58779	0.80902	0.94245	0.15000	-0.37178

38	-0.56641	0.82413	0.96863	0.15417	-0.40699
39	-0.54464	0.83867	0.99481	0.15833	-0.43919
40	-0.52250	0.85264	1.02100	0.16250	-0.46820
41	-0.50000	0.86603	1.04720	0.16667	-0.49390
42	-0.47716	0.87882	1.07330	0.17083	-0.51617
43	-0.45399	0.89101	1.09950	0.17500	-0.53496
44	-0.43051	0.90259	1.12570	0.17917	-0.55027
45	-0.40674	0.91355	1.15190	0.18334	-0.56214
46	-0.38268	0.92388	1.17810	0.18751	-0.57068
47	-0.35837	0.93358	1.20420	0.19166	-0.57603
48	-0.33381	0.94264	1.23040	0.19583	-0.57840
49	-0.30902	0.95106	1.25660	0.20000	-0.57802
50	-0.28402	0.95882	1.28280	0.20417	-0.57514
51	-0.25882	0.96593	1.30900	0.20834	-0.57002
52	-0.23345	0.97237	1.33510	0.21249	-0.56295
53	-0.20791	0.97815	1.36130	0.21666	-0.55418
54	-0.18224	0.98325	1.38750	0.22083	-0.54397
55	-0.15643	0.98769	1.41370	0.22500	-0.53259
56	-0.13053	0.99144	1.43990	0.22917	-0.52031
57	-0.10453	0.99452	1.46600	0.23333	-0.50743
58	-0.07846	0.99692	1.49220	0.23750	-0.49425
59	-0.05234	0.99863	1.51840	0.24167	-0.48103
60	-0.02618	0.99966	1.54460	0.24584	-0.46803
61	0.00000	1.00000	1.57080	0.25001	-0.45545
62	0.02618	0.99966	1.59690	0.25416	-0.44348
63	0.05234	0.99863	1.62310	0.25833	-0.43223
64	0.07846	0.99692	1.64930	0.26250	-0.42179
65	0.10453	0.99452	1.67550	0.26667	-0.41224
66	0.13053	0.99144	1.70160	0.27083	-0.40358
67	0.15643	0.98769	1.72780	0.27500	-0.39580
68	0.18224	0.98325	1.75400	0.27917	-0.38887
69	0.20791	0.97815	1.78020	0.28334	-0.38272
70	0.23345	0.97237	1.80640	0.28751	-0.37729
71	0.25882	0.96593	1.83250	0.29166	-0.37252
72	0.28402	0.95882	1.85870	0.29583	-0.36833
73	0.30902	0.95106	1.88490	0.30000	-0.36466
74	0.33381	0.94264	1.91110	0.30417	-0.36145
75	0.35837	0.93358	1.93730	0.30834	-0.35864
76	0.38268	0.92388	1.96340	0.31249	-0.35618
77	0.40674	0.91355	1.98960	0.31666	-0.35403
78	0.43051	0.90259	2.01580	0.32083	-0.35214
79	0.45399	0.89101	2.04200	0.32500	-0.35049
80	0.47716	0.87882	2.06820	0.32917	-0.34903
81	0.50000	0.86603	2.09430	0.33333	-0.34774
82	0.52250	0.85264	2.12050	0.33750	-0.34660
83	0.54464	0.83867	2.14670	0.34167	-0.34559
84	0.56641	0.82413	2.17290	0.34584	-0.34469
85	0.58779	0.80902	2.19910	0.35001	-0.34389
86	0.60876	0.79335	2.22520	0.35416	-0.34318
87	0.62932	0.77715	2.25140	0.35833	-0.34255
88	0.64945	0.76041	2.27760	0.36250	-0.34198
89	0.66913	0.74314	2.30380	0.36667	-0.34148

90	0.68835	0.72537	2.32990	0.37083	-0.34104
91	0.70711	0.70711	2.35610	0.37500	-0.34065
92	0.72537	0.68835	2.38230	0.37917	-0.34031
93	0.74314	0.66913	2.40850	0.38334	-0.34000
94	0.76041	0.64945	2.43470	0.38751	-0.33972
95	0.77715	0.62932	2.46080	0.39166	-0.33946
96	0.79335	0.60876	2.48700	0.39583	-0.33922
97	0.80902	0.58779	2.51320	0.40000	-0.33899
98	0.82413	0.56641	2.53940	0.40417	-0.33877
99	0.83867	0.54464	2.56560	0.40834	-0.33854
100	0.85264	0.52250	2.59170	0.41249	-0.33831
101	0.86603	0.50000	2.61790	0.41666	-0.33809
102	0.87882	0.47716	2.64410	0.42083	-0.33785
103	0.89101	0.45399	2.67030	0.42500	-0.33761
104	0.90259	0.43051	2.69650	0.42917	-0.33737
105	0.91355	0.40674	2.72260	0.43333	-0.33712
106	0.92388	0.38268	2.74880	0.43750	-0.33687
107	0.93358	0.35837	2.77500	0.44167	-0.33662
108	0.94264	0.33381	2.80120	0.44584	-0.33637
109	0.95106	0.30902	2.82740	0.45001	-0.33612
110	0.95882	0.28402	2.85350	0.45416	-0.33587
111	0.96593	0.25882	2.87970	0.45833	-0.33562
112	0.97237	0.23345	2.90590	0.46250	-0.33538
113	0.97815	0.20791	2.93210	0.46667	-0.33515
114	0.98325	0.18224	2.95820	0.47083	-0.33494
115	0.98769	0.15643	2.98440	0.47500	-0.33473
116	0.99144	0.13053	3.01060	0.47917	-0.33454
117	0.99452	0.10453	3.03680	0.48334	-0.33437
118	0.99692	0.07846	3.06300	0.48751	-0.33422
119	0.99863	0.05234	3.08910	0.49166	-0.33409
120	0.99966	0.02618	3.11530	0.49583	-0.33398
121	1.00000	0.00000	3.14150	0.50000	-0.33390
122	0.99966	-0.02618	3.16770	0.50417	-0.33384
123	0.99863	-0.05234	3.19390	0.50834	-0.33381
124	0.99692	-0.07846	3.22000	0.51249	-0.33381
125	0.99452	-0.10453	3.24620	0.51666	-0.33383
126	0.99144	-0.13053	3.27240	0.52083	-0.33388
127	0.98769	-0.15643	3.29860	0.52500	-0.33395
128	0.98325	-0.18224	3.32480	0.52917	-0.33405
129	0.97815	-0.20791	3.35090	0.53333	-0.33417
130	0.97237	-0.23345	3.37710	0.53750	-0.33432
131	0.96593	-0.25882	3.40330	0.54167	-0.33449
132	0.95882	-0.28402	3.42950	0.54584	-0.33468
133	0.95106	-0.30902	3.45570	0.55001	-0.33488
134	0.94264	-0.33381	3.48180	0.55416	-0.33510
135	0.93358	-0.35837	3.50800	0.55833	-0.33534
136	0.92388	-0.38268	3.53420	0.56250	-0.33559
137	0.91355	-0.40674	3.56040	0.56667	-0.33584
138	0.90259	-0.43051	3.58650	0.57083	-0.33611
139	0.89101	-0.45399	3.61270	0.57500	-0.33637
140	0.87882	-0.47716	3.63890	0.57917	-0.33665
141	0.86603	-0.50000	3.66510	0.58334	-0.33692

142	0.85264	-0.52250	3.69130	0.58751	-0.33720
143	0.83867	-0.54464	3.71740	0.59166	-0.33748
144	0.82413	-0.56641	3.74360	0.59583	-0.33775
145	0.80902	-0.58779	3.76980	0.60000	-0.33803
146	0.79335	-0.60876	3.79600	0.60417	-0.33831
147	0.77715	-0.62932	3.82220	0.60834	-0.33859
148	0.76041	-0.64945	3.84830	0.61249	-0.33887
149	0.74314	-0.66913	3.87450	0.61666	-0.33916
150	0.72537	-0.68835	3.90070	0.62083	-0.33947
151	0.70711	-0.70711	3.92690	0.62500	-0.33979
152	0.68835	-0.72537	3.95310	0.62917	-0.34013
153	0.66913	-0.74314	3.97920	0.63333	-0.34050
154	0.64945	-0.76041	4.00540	0.63750	-0.34092
155	0.62932	-0.77715	4.03160	0.64167	-0.34137
156	0.60876	-0.79335	4.05780	0.64584	-0.34188
157	0.58779	-0.80902	4.08400	0.65001	-0.34245
158	0.56641	-0.82413	4.11010	0.65416	-0.34309
159	0.54464	-0.83867	4.13630	0.65833	-0.34380
160	0.52250	-0.85264	4.16250	0.66250	-0.34461
161	0.50000	-0.86603	4.18870	0.66667	-0.34553
162	0.47716	-0.87882	4.21480	0.67083	-0.34657
163	0.45399	-0.89101	4.24100	0.67500	-0.34776
164	0.43051	-0.90259	4.26720	0.67917	-0.34911
165	0.40674	-0.91355	4.29340	0.68334	-0.35066
166	0.38268	-0.92388	4.31960	0.68751	-0.35244
167	0.35837	-0.93358	4.34570	0.69166	-0.35449
168	0.33381	-0.94264	4.37190	0.69583	-0.35686
169	0.30902	-0.95106	4.39810	0.70000	-0.35959
170	0.28402	-0.95882	4.42430	0.70417	-0.36274
171	0.25882	-0.96593	4.45050	0.70834	-0.36638
172	0.23345	-0.97237	4.47660	0.71249	-0.37060
173	0.20791	-0.97815	4.50280	0.71666	-0.37546
174	0.18224	-0.98325	4.52900	0.72083	-0.38105
175	0.15643	-0.98769	4.55520	0.72500	-0.38747
176	0.13053	-0.99144	4.58140	0.72917	-0.39481
177	0.10453	-0.99452	4.60750	0.73333	-0.40314
178	0.07846	-0.99692	4.63370	0.73750	-0.41253
179	0.05234	-0.99863	4.65990	0.74167	-0.42300
180	0.02618	-0.99966	4.68610	0.74584	-0.43452
181	0.00000	-1.00000	4.71230	0.75001	-0.44700
182	-0.02618	-0.99966	4.73840	0.75416	-0.46031
183	-0.05234	-0.99863	4.76460	0.75833	-0.47429
184	-0.07846	-0.99692	4.79080	0.76250	-0.48871
185	-0.10453	-0.99452	4.81700	0.76667	-0.50327
186	-0.13053	-0.99144	4.84320	0.77084	-0.51766
187	-0.15643	-0.98769	4.86930	0.77500	-0.53154
188	-0.18224	-0.98325	4.89550	0.77917	-0.54457
189	-0.20791	-0.97815	4.92170	0.78334	-0.55641
190	-0.23345	-0.97237	4.94790	0.78751	-0.56675
191	-0.25882	-0.96593	4.97400	0.79166	-0.57528
192	-0.28402	-0.95882	5.00020	0.79583	-0.58172
193	-0.30902	-0.95106	5.02640	0.80000	-0.58576

194	-0.33381	-0.94264	5.05260	0.80417	-0.58713
195	-0.35837	-0.93358	5.07880	0.80834	-0.58556
196	-0.38268	-0.92388	5.10490	0.81249	-0.58083
197	-0.40674	-0.91355	5.13110	0.81666	-0.57276
198	-0.43051	-0.90259	5.15730	0.82083	-0.56119
199	-0.45399	-0.89101	5.18350	0.82500	-0.54606
200	-0.47716	-0.87882	5.20970	0.82917	-0.52733
201	-0.50000	-0.86603	5.23580	0.83333	-0.50502
202	-0.52250	-0.85264	5.26200	0.83750	-0.47922
203	-0.54464	-0.83867	5.28820	0.84167	-0.45002
204	-0.56641	-0.82413	5.31440	0.84584	-0.41759
205	-0.58779	-0.80902	5.34060	0.85001	-0.38210
206	-0.60876	-0.79335	5.36670	0.85416	-0.34377
207	-0.62932	-0.77715	5.39290	0.85833	-0.30281
208	-0.64945	-0.76041	5.41910	0.86250	-0.25951
209	-0.66913	-0.74314	5.44530	0.86667	-0.21426
210	-0.68835	-0.72537	5.47150	0.87084	-0.16768
211	-0.70711	-0.70711	5.49760	0.87500	-0.11899
212	-0.72537	-0.68835	5.52380	0.87917	-0.06834
213	-0.74314	-0.66913	5.55000	0.88334	-0.01668
214	-0.76041	-0.64945	5.57620	0.88751	0.03571
215	-0.77715	-0.62932	5.60230	0.89166	0.08882
216	-0.79335	-0.60876	5.62850	0.89583	0.14238
217	-0.80902	-0.58779	5.65470	0.90000	0.19613
218	-0.82413	-0.56641	5.68090	0.90417	0.24982
219	-0.83867	-0.54464	5.70710	0.90834	0.30320
220	-0.85264	-0.52250	5.73320	0.91249	0.35601
221	-0.86603	-0.50000	5.75940	0.91666	0.40801
222	-0.87882	-0.47716	5.78560	0.92083	0.45897
223	-0.89101	-0.45399	5.81180	0.92500	0.50867
224	-0.90259	-0.43051	5.83800	0.92917	0.55688
225	-0.91355	-0.40674	5.86410	0.93333	0.60342
226	-0.92388	-0.38268	5.89030	0.93750	0.64808
227	-0.93358	-0.35837	5.91650	0.94167	0.69068
228	-0.94264	-0.33381	5.94270	0.94584	0.73105
229	-0.95106	-0.30902	5.96890	0.95001	0.76903
230	-0.95882	-0.28402	5.99500	0.95416	0.80448
231	-0.96593	-0.25882	6.02120	0.95833	0.83727
232	-0.97237	-0.23345	6.04740	0.96250	0.86728
233	-0.97815	-0.20791	6.07360	0.96667	0.89440
234	-0.98325	-0.18224	6.09980	0.97084	0.91855
235	-0.98769	-0.15643	6.12590	0.97500	0.93966
236	-0.99144	-0.13053	6.15210	0.97917	0.95766
237	-0.99452	-0.10453	6.17830	0.98334	0.97252
238	-0.99692	-0.07846	6.20450	0.98751	0.98422
239	-0.99863	-0.05234	6.23060	0.99166	0.99275
240	-0.99966	-0.02618	6.25680	0.99583	0.99808
1	-1.00000	0.00000	6.28300	1.00000	1.00010

**Tabel A.1.2. Data tegangan geser ( $\tau_0$ ) pada dinding model lingkaran**

Jumlah Elemen = 27216  
 Aliran = Full Laminar  
 Jumlah Iterasi = 239  
 Term. Criteria = 0.001  
 R = 1 m  
 I' = 3.1415 m  
 $\rho$  = 999 kg/m<sup>3</sup>  
 $\mu$  = 0.00113788098 kg/(m det)  
 v = 1.13902E-06 m<sup>2</sup>/det  
 Kecepatan = 0.00056951 m/det

Ansys 5.7						
Point	x	y	x'	x'/I'	$\tau_0$	$\tau_0 \times 10^{-5}$
1	-1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	3.07E-08	0.00307
2	-0.99966	0.02618	0.02618	0.00833	8.35E-07	0.08354
3	-0.99863	0.05234	0.05236	0.01667	1.67E-06	0.16703
4	-0.99692	0.07846	0.07854	0.02500	2.49E-06	0.24860
5	-0.99452	0.10453	0.10472	0.03333	3.29E-06	0.32917
6	-0.99144	0.13053	0.13090	0.04167	4.09E-06	0.40882
7	-0.98769	0.15643	0.15708	0.05000	4.88E-06	0.48759
8	-0.98325	0.18224	0.18325	0.05833	5.65E-06	0.56541
9	-0.97815	0.20791	0.20943	0.06667	6.42E-06	0.64215
10	-0.97237	0.23345	0.23561	0.07500	7.18E-06	0.71768
11	-0.96593	0.25882	0.26179	0.08333	7.92E-06	0.79181
12	-0.95882	0.28402	0.28797	0.09167	8.64E-06	0.86438
13	-0.95106	0.30902	0.31415	0.10000	9.35E-06	0.93522
14	-0.94264	0.33381	0.34033	0.10833	1.00E-05	1.00420
15	-0.93358	0.35837	0.36651	0.11667	1.07E-05	1.07100
16	-0.92388	0.38268	0.39269	0.12500	1.14E-05	1.13560
17	-0.91355	0.40674	0.41887	0.13333	1.20E-05	1.19770
18	-0.90259	0.43051	0.44505	0.14167	1.26E-05	1.25720
19	-0.89101	0.45399	0.47123	0.15000	1.31E-05	1.31390
20	-0.87882	0.47716	0.49740	0.15833	1.37E-05	1.36760
21	-0.86603	0.50000	0.52358	0.16667	1.42E-05	1.41820
22	-0.85264	0.52250	0.54976	0.17500	1.47E-05	1.46540
23	-0.83867	0.54464	0.57594	0.18333	1.51E-05	1.50900
24	-0.82413	0.56641	0.60212	0.19167	1.55E-05	1.54900
25	-0.80902	0.58779	0.62830	0.20000	1.59E-05	1.58500
26	-0.79335	0.60876	0.65448	0.20833	1.62E-05	1.61700
27	-0.77715	0.62932	0.68066	0.21667	1.64E-05	1.64470
28	-0.76041	0.64945	0.70684	0.22500	1.67E-05	1.66810
29	-0.74314	0.66913	0.73302	0.23333	1.69E-05	1.68740
30	-0.72537	0.68835	0.75920	0.24167	1.70E-05	1.70360
31	-0.70711	0.70711	0.78538	0.25000	1.69E-05	1.68940
32	-0.68835	0.72537	0.81155	0.25833	1.71E-05	1.70870
33	-0.66913	0.74314	0.83773	0.26667	1.71E-05	1.71380
34	-0.64945	0.76041	0.86391	0.27500	1.71E-05	1.71350

35	-0.62932	0.77715	0.89009	0.28333	1.71E-05	1.70600
36	-0.60876	0.79335	0.91627	0.29167	1.69E-05	1.69110
37	-0.58779	0.80902	0.94245	0.30000	1.67E-05	1.66910
38	-0.56641	0.82413	0.96863	0.30833	1.64E-05	1.64010
39	-0.54464	0.83867	0.99481	0.31667	1.60E-05	1.60410
40	-0.52250	0.85264	1.02100	0.32500	1.56E-05	1.56130
41	-0.50000	0.86603	1.04720	0.33334	1.51E-05	1.51170
42	-0.47716	0.87882	1.07330	0.34165	1.46E-05	1.45570
43	-0.45399	0.89101	1.09950	0.34999	1.39E-05	1.39350
44	-0.43051	0.90259	1.12570	0.35833	1.33E-05	1.32560
45	-0.40674	0.91355	1.15190	0.36667	1.25E-05	1.25270
46	-0.38268	0.92388	1.17810	0.37501	1.18E-05	1.17530
47	-0.35837	0.93358	1.20420	0.38332	1.09E-05	1.09430
48	-0.33381	0.94264	1.23040	0.39166	1.01E-05	1.01030
49	-0.30902	0.95106	1.25660	0.40000	9.24E-06	0.92425
50	-0.28402	0.95882	1.28280	0.40834	8.37E-06	0.83673
51	-0.25882	0.96593	1.30900	0.41668	7.48E-06	0.74849
52	-0.23345	0.97237	1.33510	0.42499	6.60E-06	0.66030
53	-0.20791	0.97815	1.36130	0.43333	5.73E-06	0.57312
54	-0.18224	0.98325	1.38750	0.44167	4.88E-06	0.48805
55	-0.15643	0.98769	1.41370	0.45001	4.06E-06	0.40639
56	-0.13053	0.99144	1.43990	0.45835	3.29E-06	0.32942
57	-0.10453	0.99452	1.46600	0.46666	2.58E-06	0.25832
58	-0.07846	0.99692	1.49220	0.47500	1.94E-06	0.19393
59	-0.05234	0.99863	1.51840	0.48334	1.37E-06	0.13686
60	-0.02618	0.99966	1.54460	0.49168	8.73E-07	0.08732
61	0.00000	1.00000	1.57080	0.50002	4.53E-07	0.04529
62	0.02618	0.99966	1.59690	0.50832	1.04E-07	0.01042
63	0.05234	0.99863	1.62310	0.51666	1.78E-07	0.01783
64	0.07846	0.99692	1.64930	0.52500	4.01E-07	0.04011
65	0.10453	0.99452	1.67550	0.53334	5.70E-07	0.05704
66	0.13053	0.99144	1.70160	0.54165	6.94E-07	0.06938
67	0.15643	0.98769	1.72780	0.54999	7.79E-07	0.07790
68	0.18224	0.98325	1.75400	0.55833	8.33E-07	0.08332
69	0.20791	0.97815	1.78020	0.56667	8.63E-07	0.08630
70	0.23345	0.97237	1.80640	0.57501	8.74E-07	0.08737
71	0.25882	0.96593	1.83250	0.58332	8.70E-07	0.08700
72	0.28402	0.95882	1.85870	0.59166	8.56E-07	0.08557
73	0.30902	0.95106	1.88490	0.60000	8.34E-07	0.08339
74	0.33381	0.94264	1.91110	0.60834	8.07E-07	0.08068
75	0.35837	0.93358	1.93730	0.61668	7.77E-07	0.07765
76	0.38268	0.92388	1.96340	0.62499	7.44E-07	0.07443
77	0.40674	0.91355	1.98960	0.63333	7.11E-07	0.07113
78	0.43051	0.90259	2.01580	0.64167	6.78E-07	0.06782
79	0.45399	0.89101	2.04200	0.65001	6.46E-07	0.06455
80	0.47716	0.87882	2.06820	0.65835	6.14E-07	0.06137
81	0.50000	0.86603	2.09430	0.66666	5.83E-07	0.05829
82	0.52250	0.85264	2.12050	0.67500	5.53E-07	0.05532
83	0.54464	0.83867	2.14670	0.68334	5.25E-07	0.05245
84	0.56641	0.82413	2.17290	0.69168	4.97E-07	0.04969

85	0.58779	0.80902	2.19910	0.70002	4.70E-07	0.04701
86	0.60876	0.79335	2.22520	0.70832	4.44E-07	0.04443
87	0.62932	0.77715	2.25140	0.71666	4.19E-07	0.04193
88	0.64945	0.76041	2.27760	0.72500	3.95E-07	0.03952
89	0.66913	0.74314	2.30380	0.73334	3.72E-07	0.03721
90	0.68835	0.72537	2.32990	0.74165	3.50E-07	0.03501
91	0.70711	0.70711	2.35610	0.74999	3.29E-07	0.03295
92	0.72537	0.68835	2.38230	0.75833	3.07E-07	0.03071
93	0.74314	0.66913	2.40850	0.76667	2.91E-07	0.02912
94	0.76041	0.64945	2.43470	0.77501	2.78E-07	0.02775
95	0.77715	0.62932	2.46080	0.78332	2.66E-07	0.02662
96	0.79335	0.60876	2.48700	0.79166	2.57E-07	0.02569
97	0.80902	0.58779	2.51320	0.80000	2.50E-07	0.02498
98	0.82413	0.56641	2.53940	0.80834	2.44E-07	0.02443
99	0.83867	0.54464	2.56560	0.81668	2.40E-07	0.02404
100	0.85264	0.52250	2.59170	0.82499	2.38E-07	0.02377
101	0.86603	0.50000	2.61790	0.83333	2.36E-07	0.02358
102	0.87882	0.47716	2.64410	0.84167	2.34E-07	0.02345
103	0.89101	0.45399	2.67030	0.85001	2.33E-07	0.02334
104	0.90259	0.43051	2.69650	0.85835	2.32E-07	0.02323
105	0.91355	0.40674	2.72260	0.86666	2.31E-07	0.02309
106	0.92388	0.38268	2.74880	0.87500	2.29E-07	0.02291
107	0.93358	0.35837	2.77500	0.88334	2.26E-07	0.02264
108	0.94264	0.33381	2.80120	0.89168	2.23E-07	0.02229
109	0.95106	0.30902	2.82740	0.90002	2.18E-07	0.02183
110	0.95882	0.28402	2.85350	0.90832	2.13E-07	0.02126
111	0.96593	0.25882	2.87970	0.91666	2.05E-07	0.02055
112	0.97237	0.23345	2.90590	0.92500	1.97E-07	0.01970
113	0.97815	0.20791	2.93210	0.93334	1.87E-07	0.01872
114	0.98325	0.18224	2.95820	0.94165	1.76E-07	0.01759
115	0.98769	0.15643	2.98440	0.94999	1.63E-07	0.01633
116	0.99144	0.13053	3.01060	0.95833	1.49E-07	0.01493
117	0.99452	0.10453	3.03680	0.96667	1.34E-07	0.01340
118	0.99692	0.07846	3.06300	0.97501	1.18E-07	0.01176
119	0.99863	0.05234	3.08910	0.98332	1.00E-07	0.01001
120	0.99966	0.02618	3.11530	0.99166	8.16E-08	0.00816
121	1.00000	0.00000	3.14150	1.00000	6.24E-08	0.00624

**Tabel A.1.3. Data kecepatan (u) dan koefisien tekanan (Cp) model lingkaran pada  $\phi = 60^\circ$**

Jumlah Elemen	=	27216	
Aliran	=	Full Laminar	
Jumlah Iterasi	=	239	
Term. Criteria	=	0.001	
R	=	1	m
$\rho$	=	999	kg/m <sup>3</sup>
$\mu$	=	0.00113788098	kg/(m det)
$\nu$	=	1.13902E-06	m <sup>2</sup> /det
Kecepatan	=	0.00056951	m/det

Ansys 5.7						
x	y	y'	u	u/U	$y'/R \cdot ((U.R)/\nu)^{1/2}$	Cp
-0.50000	0.86603	0.00000	0.00000000	0.00000	0.00000	-0.49390
-0.50272	0.86712	0.00109	0.00003095	0.05434	0.02437	-0.49182
-0.50575	0.86833	0.00230	0.00006533	0.11471	0.05143	-0.48951
-0.50886	0.86957	0.00354	0.00009911	0.17403	0.07916	-0.48713
-0.51198	0.87082	0.00479	0.00013283	0.23324	0.10711	-0.48475
-0.51519	0.87210	0.00607	0.00016564	0.29085	0.13573	-0.48211
-0.51840	0.87339	0.00736	0.00019835	0.34828	0.16457	-0.47945
-0.52171	0.87471	0.00868	0.00022980	0.40350	0.19409	-0.47638
-0.52502	0.87604	0.01001	0.00026111	0.45848	0.22383	-0.47327
-0.52843	0.87740	0.01137	0.00029079	0.51060	0.25424	-0.46964
-0.53185	0.87877	0.01274	0.00032029	0.56240	0.28488	-0.46596
-0.53536	0.88018	0.01415	0.00034783	0.61075	0.31640	-0.46167
-0.53888	0.88159	0.01556	0.00037514	0.65871	0.34793	-0.45732
-0.54251	0.88304	0.01701	0.00040021	0.70273	0.38036	-0.45231
-0.54614	0.88449	0.01846	0.00042503	0.74631	0.41278	-0.44723
-0.54987	0.88599	0.01996	0.00044738	0.78555	0.44632	-0.44146
-0.55362	0.88748	0.02145	0.00046946	0.82432	0.47964	-0.43561
-0.55746	0.88902	0.02299	0.00048894	0.85853	0.51407	-0.42907
-0.56132	0.89057	0.02454	0.00050813	0.89222	0.54873	-0.42245
-0.56529	0.89216	0.02613	0.00052469	0.92130	0.58428	-0.41516
-0.56927	0.89375	0.02772	0.00054095	0.94985	0.61984	-0.40780
-0.57336	0.89539	0.02936	0.00055461	0.97384	0.65651	-0.39981
-0.57618	0.89652	0.03049	0.00056381	0.98999	0.68178	-0.39427
-0.57795	0.89722	0.03119	0.00056951	1.00000	0.69743	-0.39080

**Tabel A.1.4. Data kecepatan (u) dan koefisien tekanan (Cp) model lingkaran pada  $\phi = 70^\circ$**

**Jumlah Elemen** = 27216  
**Aliran** = Full Laminar  
**Jumlah Iterasi** = 239  
**Term. Criteria** = 0.001  
**R** = 1 m  
 **$\rho$**  = 999 kg/m<sup>3</sup>  
 **$\mu$**  = 0.00113788098 kg/(m det)  
 **$\nu$**  = 1.13902E-06 m<sup>2</sup>/det  
**Kecepatan** = 0.00056951 m/det

Ansys 5.7						
x	y	y'	u	u/U	y'/R.((U.R)/ $\nu$ ) <sup>1/2</sup>	Cp
-0.33381	0.94264	0.00000	0.00000000	0.00000	0.00000	-0.57840
-0.33557	0.94366	0.00102	0.00001388	0.02437	0.02281	-0.57797
-0.33753	0.94479	0.00215	0.00002931	0.05146	0.04808	-0.57749
-0.33954	0.94595	0.00331	0.00004535	0.07964	0.07401	-0.57704
-0.34156	0.94711	0.00447	0.00006147	0.10794	0.09995	-0.57660
-0.34363	0.94831	0.00567	0.00007820	0.13730	0.12679	-0.57612
-0.34571	0.94951	0.00687	0.00009499	0.16679	0.15362	-0.57565
-0.34785	0.95074	0.00810	0.00011235	0.19727	0.18112	-0.57511
-0.34999	0.95198	0.00934	0.00012977	0.22786	0.20885	-0.57455
-0.35220	0.95325	0.01061	0.00014769	0.25933	0.23725	-0.57390
-0.35441	0.95453	0.01189	0.00016566	0.29088	0.26587	-0.57324
-0.35668	0.95584	0.01320	0.00018405	0.32317	0.29516	-0.57245
-0.35896	0.95715	0.01451	0.00020248	0.35553	0.32445	-0.57165
-0.36130	0.95850	0.01586	0.00022120	0.38840	0.35464	-0.57068
-0.36365	0.95986	0.01722	0.00023996	0.42134	0.38505	-0.56970
-0.36607	0.96125	0.01861	0.00025886	0.45453	0.41613	-0.56852
-0.36849	0.96265	0.02001	0.00027779	0.48777	0.44744	-0.56732
-0.37098	0.96409	0.02145	0.00029671	0.52099	0.47964	-0.56588
-0.37348	0.96553	0.02289	0.00031563	0.55421	0.51184	-0.56442
-0.37604	0.96701	0.02437	0.00033437	0.58712	0.54493	-0.56269
-0.37862	0.96849	0.02585	0.00035308	0.61997	0.57802	-0.56092
-0.38126	0.97002	0.02738	0.00037143	0.65219	0.61224	-0.55885
-0.38392	0.97155	0.02891	0.00038974	0.68434	0.64645	-0.55674
-0.38664	0.97312	0.03048	0.00040749	0.71551	0.68155	-0.55429
-0.38938	0.97470	0.03206	0.00042518	0.74657	0.71688	-0.55180
-0.39219	0.97632	0.03368	0.00044212	0.77632	0.75311	-0.54894
-0.39501	0.97795	0.03531	0.00045898	0.80592	0.78956	-0.54604
-0.39791	0.97962	0.03698	0.00047493	0.83393	0.82690	-0.54274
-0.40082	0.98130	0.03866	0.00049077	0.86174	0.86446	-0.53939
-0.40381	0.98302	0.04038	0.00050553	0.88766	0.90292	-0.53563
-0.40680	0.98475	0.04211	0.00052018	0.91338	0.94161	-0.53182
-0.40988	0.98653	0.04389	0.00053362	0.93698	0.98141	-0.52758
-0.41297	0.98831	0.04567	0.00054692	0.96033	1.02121	-0.52330
-0.41615	0.99014	0.04750	0.00055893	0.98142	1.06213	-0.51859
-0.41746	0.99090	0.04826	0.00056381	0.98999	1.07913	-0.51664
-0.41899	0.99178	0.04914	0.00056951	1.00000	1.09880	-0.51435

**Tabel A.1.5. Data kecepatan (u) dan koefisien tekanan (Cp) model lingkaran pada  $\phi = 80^\circ$**

**Jumlah Elemen** = 27216  
**Aliran** = Full Laminar  
**Jumlah Iterasi** = 239  
**Term. Criteria** = 0.001  
**R** = 1 m  
 **$\rho$**  = 999 kg/m<sup>3</sup>  
 **$\mu$**  = 0.00113788098 kg/(m det)  
 **$\nu$**  = 1.13902E-06 m<sup>2</sup>/det  
**Kecepatan** = 0.00056951 m/det



Ansys 5.7						
x	y	y'	u	u/U	y'/R.((U.R)/ $\nu$ ) <sup>1/2</sup>	Cp
-0.18224	0.98325	0.00000	0.00000000	0.00000	0.00000	-0.54397
-0.18318	0.98423	0.00098	0.00000490	0.00861	0.02191	-0.54402
-0.18423	0.98532	0.00207	0.00001035	0.01818	0.04629	-0.54407
-0.18531	0.98643	0.00318	0.00001623	0.02850	0.07111	-0.54415
-0.18640	0.98755	0.00430	0.00002216	0.03891	0.09615	-0.54424
-0.18751	0.98870	0.00545	0.00002854	0.05012	0.12187	-0.54434
-0.18863	0.98986	0.00661	0.00003498	0.06142	0.14780	-0.54444
-0.18978	0.99104	0.00779	0.00004190	0.07357	0.17419	-0.54454
-0.19093	0.99223	0.00898	0.00004887	0.08581	0.20080	-0.54464
-0.19211	0.99346	0.01021	0.00005635	0.09895	0.22830	-0.54473
-0.19330	0.99468	0.01143	0.00006389	0.11218	0.25558	-0.54482
-0.19452	0.99594	0.01269	0.00007196	0.12635	0.28376	-0.54490
-0.19575	0.99721	0.01396	0.00008008	0.14062	0.31216	-0.54498
-0.19700	0.99851	0.01526	0.00008876	0.15585	0.34122	-0.54505
-0.19827	0.99981	0.01656	0.00009750	0.17119	0.37029	-0.54512
-0.19956	1.00120	0.01795	0.00010679	0.18751	0.40137	-0.54517
-0.20086	1.00250	0.01925	0.00011616	0.20396	0.43044	-0.54522
-0.20220	1.00390	0.02065	0.00012609	0.22140	0.46175	-0.54524
-0.20354	1.00530	0.02205	0.00013608	0.23894	0.49305	-0.54527
-0.20492	1.00670	0.02345	0.00014664	0.25748	0.52436	-0.54526
-0.20630	1.00810	0.02485	0.00015727	0.27615	0.55566	-0.54526
-0.20772	1.00960	0.02635	0.00016846	0.29580	0.58920	-0.54521
-0.20915	1.01110	0.02785	0.00017971	0.31555	0.62274	-0.54517
-0.21061	1.01260	0.02935	0.00019150	0.33625	0.65629	-0.54508
-0.21208	1.01410	0.03085	0.00020335	0.35706	0.68983	-0.54498
-0.21359	1.01560	0.03235	0.00021572	0.37878	0.72337	-0.54482
-0.21511	1.01720	0.03395	0.00022814	0.40059	0.75915	-0.54466
-0.21667	1.01880	0.03555	0.00024103	0.42322	0.79492	-0.54441
-0.21823	1.02040	0.03715	0.00025396	0.44593	0.83070	-0.54416
-0.21983	1.02210	0.03885	0.00026729	0.46933	0.86871	-0.54381
-0.22144	1.02370	0.04045	0.00028066	0.49281	0.90449	-0.54345
-0.22310	1.02550	0.04225	0.00029433	0.51681	0.94474	-0.54297
-0.22476	1.02720	0.04395	0.00030805	0.54090	0.98275	-0.54248
-0.22646	1.02890	0.04565	0.00032197	0.56535	1.02077	-0.54186
-0.22817	1.03070	0.04745	0.00033591	0.58982	1.06101	-0.54123
-0.22993	1.03250	0.04925	0.00034995	0.61448	1.10126	-0.54044
-0.23170	1.03430	0.05105	0.00036401	0.63916	1.14151	-0.53963
-0.23351	1.03620	0.05295	0.00037803	0.66378	1.18400	-0.53865

-0.23533	1.03810	0.05485	0.00039205	0.68840	1.22648	-0.53766
-0.23719	1.04000	0.05675	0.00040592	0.71275	1.26897	-0.53647
-0.23907	1.04200	0.05875	0.00041977	0.73707	1.31369	-0.53526
-0.24100	1.04390	0.06065	0.00043333	0.76088	1.35618	-0.53385
-0.24293	1.04590	0.06265	0.00044686	0.78464	1.40090	-0.53241
-0.24491	1.04800	0.06475	0.00045997	0.80766	1.44785	-0.53076
-0.24691	1.05000	0.06675	0.00047303	0.83059	1.49258	-0.52908
-0.24895	1.05220	0.06895	0.00048555	0.85258	1.54177	-0.52716
-0.25101	1.05430	0.07105	0.00049801	0.87445	1.58873	-0.52523
-0.25312	1.05650	0.07325	0.00050981	0.89517	1.63792	-0.52305
-0.25523	1.05860	0.07535	0.00052154	0.91577	1.68488	-0.52085
-0.25741	1.06090	0.07765	0.00053252	0.93505	1.73631	-0.51841
-0.25959	1.06320	0.07995	0.00054342	0.95419	1.78774	-0.51594
-0.26184	1.06550	0.08225	0.00055349	0.97187	1.83917	-0.51323
-0.26409	1.06780	0.08455	0.00056347	0.98939	1.89060	-0.51049
-0.26416	1.06790	0.08465	0.00056381	0.98999	1.89283	-0.51040
-0.26561	1.06940	0.08615	0.00056951	1.00000	1.92637	-0.50854

**Tabel A.1.6. Data kecepatan (u) dan koefisien tekanan (Cp) model lingkaran pada  $\phi = 90^\circ$**

**Jumlah Elemen** = 27216  
**Aliran** = Full Laminar  
**Jumlah Iterasi** = 239  
**Term. Criteria** = 0.001  
**R** = 1 m  
 **$\rho$**  = 999 kg/m<sup>3</sup>  
 **$\mu$**  = 0.00113788098 kg/(m det)  
 **$\nu$**  = 1.13902E-06 m<sup>2</sup>/det  
**Kecepatan** = 0.00056951 m/det

Ansys 5.7						
x	y	y'	u	u/U	y'/R.((U.R)/ $\nu$ ) <sup>1/2</sup>	Cp
0.00000	1.00000	0.00000	0.00000000	0.00000	0.00000	-0.45545
0.00000	1.00100	0.00100	0.00000038	0.00067	0.02236	-0.45535
0.00000	1.00200	0.00200	0.00000081	0.00142	0.04472	-0.45524
0.00000	1.00310	0.00310	0.00000138	0.00243	0.06932	-0.45513
0.00000	1.00420	0.00420	0.00000198	0.00347	0.09391	-0.45503
0.00000	1.00540	0.00540	0.00000273	0.00480	0.12075	-0.45492
0.00000	1.00650	0.00650	0.00000351	0.00616	0.14534	-0.45482
0.00000	1.00770	0.00770	0.00000445	0.00782	0.17218	-0.45471
0.00000	1.00880	0.00880	0.00000542	0.00952	0.19677	-0.45460
0.00000	1.01000	0.01000	0.00000657	0.01154	0.22361	-0.45448
0.00000	1.01120	0.01120	0.00000774	0.01360	0.25044	-0.45436
0.00000	1.01250	0.01250	0.00000911	0.01600	0.27951	-0.45424
0.00000	1.01370	0.01370	0.00001050	0.01844	0.30634	-0.45412
0.00000	1.01500	0.01500	0.00001211	0.02126	0.33541	-0.45399
0.00000	1.01630	0.01630	0.00001374	0.02412	0.36448	-0.45386
0.00000	1.01760	0.01760	0.00001559	0.02738	0.39355	-0.45373
0.00000	1.01890	0.01890	0.00001747	0.03068	0.42262	-0.45359
0.00000	1.02030	0.02030	0.00001960	0.03441	0.45392	-0.45345
0.00000	1.02160	0.02160	0.00002175	0.03819	0.48299	-0.45331
0.00000	1.02300	0.02300	0.00002417	0.04243	0.51430	-0.45316
0.00000	1.02440	0.02440	0.00002661	0.04672	0.54560	-0.45301
0.00000	1.02590	0.02590	0.00002934	0.05151	0.57914	-0.45285
0.00000	1.02730	0.02730	0.00003210	0.05636	0.61045	-0.45269
0.00000	1.02880	0.02880	0.00003516	0.06173	0.64399	-0.45253
0.00000	1.03030	0.03030	0.00003825	0.06716	0.67753	-0.45236
0.00000	1.03190	0.03190	0.00004167	0.07316	0.71331	-0.45219
0.00000	1.03340	0.03340	0.00004512	0.07923	0.74685	-0.45201
0.00000	1.03500	0.03500	0.00004892	0.08590	0.78262	-0.45183
0.00000	1.03660	0.03660	0.00005276	0.09264	0.81840	-0.45165
0.00000	1.03820	0.03820	0.00005696	0.10002	0.85418	-0.45145
0.00000	1.03980	0.03980	0.00006121	0.10748	0.88996	-0.45126
0.00000	1.04150	0.04150	0.00006585	0.11562	0.92797	-0.45105
0.00000	1.04320	0.04320	0.00007053	0.12384	0.96598	-0.45085
0.00000	1.04490	0.04490	0.00007562	0.13278	1.00399	-0.45063
0.00000	1.04670	0.04670	0.00008076	0.14180	1.04424	-0.45042
0.00000	1.04850	0.04850	0.00008632	0.15158	1.08449	-0.45019
0.00000	1.05020	0.05020	0.00009194	0.16144	1.12251	-0.44996
0.00000	1.05210	0.05210	0.00009801	0.17209	1.16499	-0.44971

0.00000	1.05390	0.05390	0.00010413	0.18284	1.20524	-0.44947
0.00000	1.05580	0.05580	0.00011071	0.19440	1.24773	-0.44921
0.00000	1.05770	0.05770	0.00011734	0.20604	1.29021	-0.44895
0.00000	1.05970	0.05970	0.00012445	0.21852	1.33493	-0.44867
0.00000	1.06170	0.06170	0.00013162	0.23111	1.37965	-0.44839
0.00000	1.06370	0.06370	0.00013927	0.24454	1.42438	-0.44809
0.00000	1.06570	0.06570	0.00014697	0.25806	1.46910	-0.44779
0.00000	1.06780	0.06780	0.00015516	0.27244	1.51605	-0.44746
0.00000	1.06990	0.06990	0.00016340	0.28691	1.56301	-0.44714
0.00000	1.07200	0.07200	0.00017212	0.30222	1.60997	-0.44678
0.00000	1.07420	0.07420	0.00018089	0.31762	1.65916	-0.44643
0.00000	1.07640	0.07640	0.00019013	0.33385	1.70836	-0.44605
0.00000	1.07860	0.07860	0.00019942	0.35016	1.75755	-0.44566
0.00000	1.08090	0.08090	0.00020915	0.36725	1.80898	-0.44525
0.00000	1.08310	0.08310	0.00021893	0.38442	1.85817	-0.44483
0.00000	1.08550	0.08550	0.00022912	0.40231	1.91184	-0.44437
0.00000	1.08780	0.08780	0.00023935	0.42027	1.96327	-0.44391
0.00000	1.09030	0.09030	0.00024994	0.43887	2.01917	-0.44341
0.00000	1.09270	0.09270	0.00026058	0.45755	2.07284	-0.44290
0.00000	1.09520	0.09520	0.00027153	0.47678	2.12874	-0.44235
0.00000	1.09770	0.09770	0.00028251	0.49606	2.18464	-0.44179
0.00000	1.10030	0.10030	0.00029374	0.51578	2.24278	-0.44118
0.00000	1.10290	0.10290	0.00030500	0.53555	2.30091	-0.44056
0.00000	1.10550	0.10550	0.00031643	0.55562	2.35905	-0.43989
0.00000	1.10820	0.10820	0.00032789	0.57574	2.41943	-0.43921
0.00000	1.11090	0.11090	0.00033944	0.59602	2.47980	-0.43847
0.00000	1.11360	0.11360	0.00035100	0.61632	2.54017	-0.43773
0.00000	1.11650	0.11650	0.00036258	0.63665	2.60502	-0.43691
0.00000	1.11930	0.11930	0.00037416	0.65699	2.66763	-0.43609
0.00000	1.12220	0.12220	0.00038566	0.67718	2.73248	-0.43520
0.00000	1.12510	0.12510	0.00039715	0.69735	2.79732	-0.43430
0.00000	1.12810	0.12810	0.00040848	0.71725	2.86440	-0.43333
0.00000	1.13110	0.13110	0.00041980	0.73712	2.93149	-0.43234
0.00000	1.13420	0.13420	0.00043086	0.75655	3.00080	-0.43128
0.00000	1.13730	0.13730	0.00044190	0.77593	3.07012	-0.43021
0.00000	1.14050	0.14050	0.00045260	0.79472	3.14168	-0.42905
0.00000	1.14370	0.14370	0.00046327	0.81345	3.21323	-0.42789
0.00000	1.14700	0.14700	0.00047353	0.83147	3.28702	-0.42664
0.00000	1.15030	0.15030	0.00048374	0.84940	3.36081	-0.42538
0.00000	1.15360	0.15360	0.00049348	0.86650	3.43460	-0.42404
0.00000	1.15700	0.15700	0.00050316	0.88350	3.51063	-0.42269
0.00000	1.16050	0.16050	0.00051232	0.89958	3.58889	-0.42125
0.00000	1.16400	0.16400	0.00052142	0.91556	3.66715	-0.41980
0.00000	1.16760	0.16760	0.00052993	0.93050	3.74765	-0.41826
0.00000	1.17120	0.17120	0.00053839	0.94536	3.82815	-0.41672
0.00000	1.17490	0.17490	0.00054624	0.95914	3.91088	-0.41509
0.00000	1.17870	0.17870	0.00055401	0.97278	3.99585	-0.41346
0.00000	1.18250	0.18250	0.00056116	0.98534	4.08082	-0.41174
0.00000	1.18390	0.18390	0.00056381	0.98999	4.11213	-0.41109
0.00000	1.18590	0.18590	0.00056754	0.99654	4.15685	-0.41018
0.00000	1.18700	0.18700	0.00056951	1.00000	4.18145	-0.40968

**Tabel A.1.7. Data kecepatan (u) dan koefisien tekanan (Cp) model lingkaran pada  $\phi = 91^\circ$  (separasi)**

Jumlah Elemen	=	27216	
Aliran	=	Full Laminar	
Jumlah Iterasi	=	239	
Term. Criteria	=	0.001	
R	=	1	m
$\rho$	=	999	kg/m <sup>3</sup>
$\mu$	=	0.00113788098	kg/(m det)
$\nu$	=	1.13902E-06	m <sup>2</sup> /det
Kecepatan	=	0.00056951	m/det

Ansys 5.7						
x	y	y'	u	u/U	y'/R.((U.R)/ $\nu$ ) <sup>1/2</sup>	Cp
0.026177	0.99966	0.00000	0.00000000	0.00000	0.00000	-0.44348
0.026312	1.00060	0.00094	0.00000009	0.00016	0.02102	-0.44335
0.026462	1.00170	0.00204	0.00000019	0.00033	0.04562	-0.44320
0.026616	1.00280	0.00314	0.00000042	0.00073	0.07021	-0.44306
0.026771	1.00390	0.00424	0.00000066	0.00116	0.09481	-0.44291
0.026930	1.00500	0.00534	0.00000105	0.00184	0.11941	-0.44277
0.027089	1.00620	0.00654	0.00000144	0.00254	0.14624	-0.44263
0.027253	1.00730	0.00764	0.00000199	0.00350	0.17084	-0.44248
0.027418	1.00850	0.00884	0.00000256	0.00449	0.19767	-0.44233
0.027587	1.00970	0.01004	0.00000328	0.00575	0.22450	-0.44217
0.027756	1.01090	0.01124	0.00000401	0.00705	0.25133	-0.44201
0.027930	1.01210	0.01244	0.00000492	0.00864	0.27817	-0.44184
0.028105	1.01340	0.01374	0.00000584	0.01026	0.30724	-0.44168
0.028285	1.01470	0.01504	0.00000695	0.01220	0.33630	-0.44151
0.028465	1.01590	0.01624	0.00000807	0.01417	0.36314	-0.44133
0.028650	1.01730	0.01764	0.00000938	0.01648	0.39444	-0.44116
0.028835	1.01860	0.01894	0.00001072	0.01882	0.42351	-0.44097
0.029026	1.01990	0.02024	0.00001226	0.02152	0.45258	-0.44079
0.029218	1.02130	0.02164	0.00001382	0.02427	0.48389	-0.44060
0.029414	1.02270	0.02304	0.00001560	0.02740	0.51519	-0.44040
0.029612	1.02410	0.02444	0.00001741	0.03057	0.54650	-0.44021
0.029815	1.02560	0.02594	0.00001945	0.03416	0.58004	-0.44000
0.030018	1.02700	0.02734	0.00002152	0.03779	0.61134	-0.43980
0.030227	1.02850	0.02884	0.00002384	0.04187	0.64488	-0.43958
0.030437	1.03000	0.03034	0.00002620	0.04600	0.67842	-0.43937
0.030652	1.03150	0.03184	0.00002882	0.05060	0.71196	-0.43915
0.030868	1.03310	0.03344	0.00003147	0.05526	0.74774	-0.43893
0.031091	1.03460	0.03494	0.00003442	0.06043	0.78128	-0.43869
0.031313	1.03620	0.03654	0.00003739	0.06566	0.81706	-0.43846
0.031543	1.03790	0.03824	0.00004068	0.07144	0.85507	-0.43822
0.031772	1.03950	0.03984	0.00004401	0.07727	0.89085	-0.43798
0.032008	1.04120	0.04154	0.00004767	0.08370	0.92886	-0.43772
0.032245	1.04290	0.04324	0.00005136	0.09019	0.96688	-0.43747
0.032489	1.04460	0.04494	0.00005541	0.09730	1.00489	-0.43721
0.032733	1.04630	0.04664	0.00005950	0.10448	1.04290	-0.43694
0.032984	1.04810	0.04844	0.00006397	0.11232	1.08315	-0.43667
0.033235	1.04990	0.05024	0.00006848	0.12024	1.12340	-0.43639
0.033494	1.05180	0.05214	0.00007339	0.12886	1.16589	-0.43610
0.033754	1.05360	0.05394	0.00007834	0.13755	1.20614	-0.43581

0.034020	1.05550	0.05584	0.00008371	0.14698	1.24862	-0.43551
0.034288	1.05740	0.05774	0.00008912	0.15649	1.29111	-0.43521
0.034563	1.05940	0.05974	0.00009497	0.16676	1.33583	-0.43489
0.034838	1.06130	0.06164	0.00010087	0.17712	1.37831	-0.43457
0.035122	1.06330	0.06364	0.00010722	0.18827	1.42303	-0.43424
0.035406	1.06540	0.06574	0.00011362	0.19950	1.46999	-0.43390
0.035698	1.06750	0.06784	0.00012049	0.21157	1.51695	-0.43355
0.035991	1.06950	0.06984	0.00012741	0.22372	1.56167	-0.43320
0.036293	1.07170	0.07204	0.00013480	0.23669	1.61086	-0.43283
0.036595	1.07380	0.07414	0.00014224	0.24976	1.65782	-0.43246
0.036905	1.07600	0.07634	0.00015015	0.26365	1.70701	-0.43206
0.037217	1.07830	0.07864	0.00015812	0.27764	1.75844	-0.43167
0.037537	1.08050	0.08084	0.00016655	0.29244	1.80764	-0.43125
0.037858	1.08280	0.08314	0.00017504	0.30735	1.85907	-0.43083
0.038188	1.08520	0.08554	0.00018398	0.32305	1.91273	-0.43039
0.038519	1.08750	0.08784	0.00019297	0.33884	1.96416	-0.42994
0.038859	1.09000	0.09034	0.00020240	0.35539	2.02006	-0.42946
0.039200	1.09240	0.09274	0.00021188	0.37204	2.07373	-0.42899
0.039551	1.09490	0.09524	0.00022176	0.38939	2.12963	-0.42848
0.039903	1.09740	0.09774	0.00023169	0.40682	2.18553	-0.42796
0.040264	1.10000	0.10034	0.00024199	0.42491	2.24367	-0.42742
0.040627	1.10250	0.10284	0.00025232	0.44305	2.29957	-0.42686
0.041000	1.10520	0.10554	0.00026297	0.46175	2.35995	-0.42627
0.041373	1.10790	0.10824	0.00027366	0.48052	2.42032	-0.42568
0.041758	1.11060	0.11094	0.00028461	0.49975	2.48069	-0.42504
0.042143	1.11330	0.11364	0.00029558	0.51901	2.54107	-0.42440
0.042539	1.11620	0.11654	0.00030675	0.53862	2.60591	-0.42371
0.042936	1.11900	0.11934	0.00031794	0.55827	2.66852	-0.42302
0.043345	1.12190	0.12224	0.00032925	0.57813	2.73337	-0.42227
0.043754	1.12480	0.12514	0.00034057	0.59801	2.79822	-0.42152
0.044175	1.12780	0.12814	0.00035193	0.61795	2.86530	-0.42072
0.044597	1.13080	0.13114	0.00036330	0.63792	2.93238	-0.41991
0.045031	1.13390	0.13424	0.00037462	0.65779	3.00170	-0.41904
0.045467	1.13700	0.13734	0.00038594	0.67767	3.07102	-0.41816
0.045914	1.14020	0.14054	0.00039713	0.69732	3.14257	-0.41722
0.046363	1.14340	0.14374	0.00040830	0.71693	3.21412	-0.41628
0.046824	1.14670	0.14704	0.00041927	0.73619	3.28791	-0.41527
0.047286	1.15000	0.15034	0.00043021	0.75540	3.36170	-0.41425
0.047762	1.15340	0.15374	0.00044086	0.77410	3.43773	-0.41317
0.048239	1.15670	0.15704	0.00045147	0.79273	3.51152	-0.41207
0.048729	1.16020	0.16054	0.00046172	0.81073	3.58978	-0.41091
0.049220	1.16370	0.16404	0.00047193	0.82866	3.66805	-0.40974
0.049726	1.16730	0.16764	0.00048171	0.84583	3.74854	-0.40850
0.050232	1.17090	0.17124	0.00049144	0.86292	3.82904	-0.40726
0.050753	1.17470	0.17504	0.00050068	0.87914	3.91401	-0.40594
0.051276	1.17840	0.17874	0.00050987	0.89528	3.99675	-0.40461
0.051813	1.18220	0.18254	0.00051852	0.91047	4.08172	-0.40321
0.052351	1.18600	0.18634	0.00052711	0.92555	4.16669	-0.40181
0.052905	1.19000	0.19034	0.00053513	0.93963	4.25613	-0.40033
0.053460	1.19390	0.19424	0.00054308	0.95359	4.34334	-0.39885
0.054031	1.19800	0.19834	0.00055044	0.96652	4.43502	-0.39730
0.054603	1.20210	0.20244	0.00055773	0.97932	4.52670	-0.39574
0.055138	1.20590	0.20624	0.00056381	0.98999	4.61167	-0.39426
0.055646	1.20950	0.20984	0.00056951	1.00000	4.69217	-0.39286

**Tabel A.2.1. Data koefisien tekanan (Cp) pada permukaan model elips (a/b = 4)**

Jumlah Elemen	=	10224	
Aliran	=	Full Laminar	
Jumlah Iterasi	=	238	
Term. Criteria	=	0.001	
l	=	2	m
a	=	1	m
b	=	0.25	m
l'	=	4.289	m
$\rho$	=	999	kg/m <sup>3</sup>
$\mu$	=	0.00113788098	kg/(m det)
v	=	1.13902E-06	m <sup>2</sup> /det
Kecepatan	=	0.00056951	m/det

Ansys 5.7					
Point	x	y	x'	x'/l'	Cp
1	-1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00540
2	-0.99946	0.00814	0.00816	0.00190	0.98863
3	-0.99790	0.01615	0.01632	0.00380	0.94228
4	-0.99538	0.02391	0.02447	0.00571	0.87466
5	-0.99208	0.03137	0.03263	0.00761	0.79415
6	-0.98810	0.03849	0.04079	0.00951	0.70497
7	-0.98348	0.04522	0.04896	0.01141	0.61588
8	-0.97840	0.05161	0.05712	0.01332	0.53471
9	-0.97295	0.05769	0.06528	0.01522	0.46114
10	-0.96721	0.06349	0.07344	0.01712	0.39510
11	-0.96124	0.06905	0.08160	0.01903	0.33368
12	-0.95504	0.07437	0.08977	0.02093	0.27237
13	-0.94858	0.07935	0.09793	0.02283	0.21156
14	-0.94184	0.08396	0.10609	0.02474	0.16408
15	-0.93498	0.08838	0.11425	0.02664	0.13226
16	-0.92806	0.09271	0.12242	0.02854	0.10436
17	-0.92108	0.09694	0.13058	0.03045	0.07685
18	-0.91403	0.10106	0.13874	0.03235	0.05023
19	-0.90692	0.10506	0.14691	0.03425	0.02458
20	-0.89974	0.10894	0.15507	0.03616	-0.00019
21	-0.89249	0.11270	0.16323	0.03806	-0.02408
22	-0.88517	0.11632	0.17139	0.03996	-0.04668
23	-0.87779	0.11981	0.17956	0.04187	-0.06733
24	-0.87036	0.12319	0.18772	0.04377	-0.08599
25	-0.86288	0.12645	0.19588	0.04567	-0.10301
26	-0.85535	0.12962	0.20405	0.04758	-0.11878
27	-0.84779	0.13268	0.21221	0.04948	-0.13374
28	-0.84019	0.13565	0.22037	0.05138	-0.14810
29	-0.83255	0.13854	0.22854	0.05329	-0.16175
30	-0.82489	0.14136	0.23670	0.05519	-0.17472
31	-0.81720	0.14410	0.24486	0.05709	-0.18764
32	-0.79106	0.15291	0.27244	0.06352	-0.21811
33	-0.76472	0.16108	0.30002	0.06995	-0.24948
34	-0.73822	0.16871	0.32760	0.07638	-0.27419
35	-0.71157	0.17579	0.35518	0.08281	-0.29777

36	-0.68475	0.18223	0.38276	0.08924	-0.31716
37	-0.65781	0.18814	0.41034	0.09567	-0.33090
38	-0.63082	0.19379	0.43792	0.10210	-0.34189
39	-0.60376	0.19916	0.46550	0.10853	-0.35268
40	-0.57666	0.20423	0.49308	0.11496	-0.36300
41	-0.54949	0.20896	0.52066	0.12139	-0.37296
42	-0.52224	0.21327	0.54823	0.12782	-0.38140
43	-0.49495	0.21723	0.57581	0.13425	-0.38757
44	-0.46762	0.22095	0.60339	0.14068	-0.39245
45	-0.44026	0.22443	0.63097	0.14711	-0.39681
46	-0.41288	0.22767	0.65855	0.15354	-0.40060
47	-0.38546	0.23067	0.68613	0.15997	-0.40395
48	-0.35801	0.23339	0.71371	0.16640	-0.40650
49	-0.33055	0.23591	0.74129	0.17284	-0.40820
50	-0.30307	0.23822	0.76887	0.17927	-0.40975
51	-0.27557	0.24029	0.79645	0.18570	-0.41085
52	-0.24805	0.24214	0.82403	0.19213	-0.41117
53	-0.22052	0.24384	0.85161	0.19856	-0.41117
54	-0.19298	0.24534	0.87919	0.20499	-0.41113
55	-0.16543	0.24658	0.90677	0.21142	-0.41086
56	-0.13787	0.24757	0.93435	0.21785	-0.40944
57	-0.11030	0.24847	0.96193	0.22428	-0.40781
58	-0.08273	0.24915	0.98951	0.23071	-0.40626
59	-0.05516	0.24962	1.01710	0.23714	-0.40424
60	-0.02758	0.24988	1.04470	0.24358	-0.40176
61	0.00000	0.25000	1.07220	0.24999	-0.39909
62	0.02758	0.24988	1.09980	0.25642	-0.39613
63	0.05516	0.24962	1.12740	0.26286	-0.39284
64	0.08273	0.24915	1.15500	0.26929	-0.38940
65	0.11030	0.24847	1.18260	0.27573	-0.38573
66	0.13787	0.24757	1.21010	0.28214	-0.38154
67	0.16543	0.24658	1.23770	0.28858	-0.37719
68	0.19298	0.24534	1.26530	0.29501	-0.37298
69	0.22052	0.24384	1.29290	0.30145	-0.36831
70	0.24805	0.24214	1.32050	0.30788	-0.36327
71	0.27557	0.24029	1.34800	0.31429	-0.35806
72	0.30307	0.23822	1.37560	0.32073	-0.35281
73	0.33055	0.23591	1.40320	0.32716	-0.34735
74	0.35801	0.23339	1.43080	0.33360	-0.34165
75	0.38546	0.23067	1.45840	0.34003	-0.33590
76	0.41288	0.22767	1.48590	0.34644	-0.33005
77	0.44026	0.22443	1.51350	0.35288	-0.32404
78	0.46762	0.22095	1.54110	0.35931	-0.31794
79	0.49495	0.21723	1.56870	0.36575	-0.31177
80	0.52224	0.21327	1.59630	0.37218	-0.30561
81	0.54949	0.20896	1.62380	0.37860	-0.29949
82	0.57666	0.20423	1.65140	0.38503	-0.29333
83	0.60376	0.19916	1.67900	0.39147	-0.28712
84	0.63082	0.19379	1.70660	0.39790	-0.28099
85	0.65781	0.18814	1.73420	0.40434	-0.27495
86	0.68475	0.18223	1.76170	0.41075	-0.26909
87	0.71157	0.17579	1.78930	0.41718	-0.26341

88	0.73822	0.16871	1.81690	0.42362	-0.25788
89	0.76472	0.16108	1.84450	0.43005	-0.25259
90	0.79106	0.15291	1.87210	0.43649	-0.24751
91	0.81720	0.14410	1.89960	0.44290	-0.24290
92	0.82489	0.14136	1.90780	0.44481	-0.24152
93	0.83255	0.13854	1.91600	0.44672	-0.24019
94	0.84019	0.13565	1.92410	0.44861	-0.23891
95	0.84779	0.13268	1.93230	0.45052	-0.23764
96	0.85535	0.12962	1.94040	0.45241	-0.23641
97	0.86288	0.12645	1.94860	0.45433	-0.23521
98	0.87036	0.12319	1.95680	0.45624	-0.23404
99	0.87779	0.11981	1.96490	0.45813	-0.23291
100	0.88517	0.11632	1.97310	0.46004	-0.23180
101	0.89249	0.11270	1.98130	0.46195	-0.23073
102	0.89974	0.10894	1.98940	0.46384	-0.22970
103	0.90692	0.10506	1.99760	0.46575	-0.22872
104	0.91403	0.10106	2.00580	0.46766	-0.22780
105	0.92108	0.09694	2.01390	0.46955	-0.22693
106	0.92806	0.09271	2.02210	0.47146	-0.22611
107	0.93498	0.08838	2.03020	0.47335	-0.22536
108	0.94184	0.08396	2.03840	0.47526	-0.22462
109	0.94858	0.07935	2.04660	0.47717	-0.22363
110	0.95504	0.07437	2.05470	0.47906	-0.22245
111	0.96124	0.06905	2.06290	0.48097	-0.22137
112	0.96721	0.06349	2.07110	0.48289	-0.22034
113	0.97295	0.05769	2.07920	0.48478	-0.21923
114	0.97840	0.05161	2.08740	0.48669	-0.21794
115	0.98348	0.04522	2.09550	0.48858	-0.21645
116	0.98810	0.03849	2.10370	0.49049	-0.21470
117	0.99208	0.03137	2.11190	0.49240	-0.21284
118	0.99538	0.02391	2.12000	0.49429	-0.21107
119	0.99790	0.01615	2.12820	0.49620	-0.20948
120	0.99946	0.00814	2.13630	0.49809	-0.20834
121	1.00000	0.00000	2.14450	0.50000	-0.20792
122	0.99946	-0.00814	2.15270	0.50191	-0.20831
123	0.99790	-0.01615	2.16080	0.50380	-0.20943
124	0.99538	-0.02391	2.16900	0.50571	-0.21101
125	0.99208	-0.03137	2.17710	0.50760	-0.21277
126	0.98810	-0.03849	2.18530	0.50951	-0.21463
127	0.98348	-0.04522	2.19340	0.51140	-0.21639
128	0.97840	-0.05161	2.20160	0.51331	-0.21788
129	0.97295	-0.05769	2.20980	0.51522	-0.21918
130	0.96721	-0.06349	2.21790	0.51711	-0.22031
131	0.96124	-0.06905	2.22610	0.51903	-0.22135
132	0.95504	-0.07437	2.23430	0.52094	-0.22243
133	0.94858	-0.07935	2.24240	0.52283	-0.22362
134	0.94184	-0.08396	2.25060	0.52474	-0.22461
135	0.93498	-0.08838	2.25870	0.52663	-0.22536
136	0.92806	-0.09271	2.26690	0.52854	-0.22611
137	0.92108	-0.09694	2.27510	0.53045	-0.22693
138	0.91403	-0.10106	2.28320	0.53234	-0.22780
139	0.90692	-0.10506	2.29140	0.53425	-0.22872

140	0.89974	-0.10894	2.29960	0.53616	-0.22970
141	0.89249	-0.11270	2.30770	0.53805	-0.23072
142	0.88517	-0.11632	2.31590	0.53996	-0.23179
143	0.87779	-0.11981	2.32410	0.54187	-0.23290
144	0.87036	-0.12319	2.33220	0.54376	-0.23403
145	0.86288	-0.12645	2.34040	0.54567	-0.23519
146	0.85535	-0.12962	2.34850	0.54756	-0.23639
147	0.84779	-0.13268	2.35670	0.54948	-0.23762
148	0.84019	-0.13565	2.36490	0.55139	-0.23887
149	0.83255	-0.13854	2.37300	0.55328	-0.24016
150	0.82489	-0.14136	2.38120	0.55519	-0.24148
151	0.81720	-0.14410	2.38940	0.55710	-0.24285
152	0.79106	-0.15291	2.41690	0.56351	-0.24744
153	0.76472	-0.16108	2.44450	0.56995	-0.25250
154	0.73822	-0.16871	2.47210	0.57638	-0.25775
155	0.71157	-0.17579	2.49970	0.58282	-0.26325
156	0.68475	-0.18223	2.52730	0.58925	-0.26889
157	0.65781	-0.18814	2.55480	0.59566	-0.27472
158	0.63082	-0.19379	2.58240	0.60210	-0.28072
159	0.60376	-0.19916	2.61000	0.60853	-0.28681
160	0.57666	-0.20423	2.63760	0.61497	-0.29298
161	0.54949	-0.20896	2.66510	0.62138	-0.29910
162	0.52224	-0.21327	2.69270	0.62782	-0.30517
163	0.49495	-0.21723	2.72030	0.63425	-0.31129
164	0.46762	-0.22095	2.74790	0.64069	-0.31742
165	0.44026	-0.22443	2.77550	0.64712	-0.32347
166	0.41288	-0.22767	2.80300	0.65353	-0.32944
167	0.38546	-0.23067	2.83060	0.65997	-0.33525
168	0.35801	-0.23339	2.85820	0.66640	-0.34095
169	0.33055	-0.23591	2.88580	0.67284	-0.34661
170	0.30307	-0.23822	2.91340	0.67927	-0.35203
171	0.27557	-0.24029	2.94090	0.68568	-0.35723
172	0.24805	-0.24214	2.96850	0.69212	-0.36240
173	0.22052	-0.24384	2.99610	0.69855	-0.36740
174	0.19298	-0.24534	3.02370	0.70499	-0.37203
175	0.16543	-0.24658	3.05130	0.71142	-0.37620
176	0.13787	-0.24757	3.07880	0.71784	-0.38051
177	0.11030	-0.24847	3.10640	0.72427	-0.38466
178	0.08273	-0.24915	3.13400	0.73071	-0.38829
179	0.05516	-0.24962	3.16160	0.73714	-0.39169
180	0.02758	-0.24988	3.18920	0.74358	-0.39494
181	0.00000	-0.25000	3.21670	0.74999	-0.39785
182	-0.02758	-0.24988	3.24430	0.75642	-0.40049
183	-0.05516	-0.24962	3.27190	0.76286	-0.40293
184	-0.08273	-0.24915	3.29950	0.76929	-0.40491
185	-0.11030	-0.24847	3.32710	0.77573	-0.40642
186	-0.13787	-0.24757	3.35460	0.78214	-0.40802
187	-0.16543	-0.24658	3.38220	0.78858	-0.40939
188	-0.19298	-0.24534	3.40980	0.79501	-0.40962
189	-0.22052	-0.24384	3.43740	0.80145	-0.40962
190	-0.24805	-0.24214	3.46500	0.80788	-0.40957
191	-0.27557	-0.24029	3.49250	0.81429	-0.40922

192	-0.30307	-0.23822	3.52010	0.82073	-0.40807
193	-0.33055	-0.23591	3.54770	0.82716	-0.40647
194	-0.35801	-0.23339	3.57530	0.83360	-0.40473
195	-0.38546	-0.23067	3.60290	0.84003	-0.40214
196	-0.41288	-0.22767	3.63040	0.84644	-0.39874
197	-0.44026	-0.22443	3.65800	0.85288	-0.39490
198	-0.46762	-0.22095	3.68560	0.85931	-0.39049
199	-0.49495	-0.21723	3.71320	0.86575	-0.38556
200	-0.52224	-0.21327	3.74080	0.87218	-0.37933
201	-0.54949	-0.20896	3.76830	0.87860	-0.37084
202	-0.57666	-0.20423	3.79590	0.88503	-0.36082
203	-0.60376	-0.19916	3.82350	0.89147	-0.35043
204	-0.63082	-0.19379	3.85110	0.89790	-0.33958
205	-0.65781	-0.18814	3.87860	0.90431	-0.32853
206	-0.68475	-0.18223	3.90620	0.91075	-0.31471
207	-0.71157	-0.17579	3.93380	0.91718	-0.29525
208	-0.73822	-0.16871	3.96140	0.92362	-0.27158
209	-0.76472	-0.16108	3.98900	0.93005	-0.24678
210	-0.79106	-0.15291	4.01650	0.93647	-0.21531
211	-0.81720	-0.14410	4.04410	0.94290	-0.18473
212	-0.82489	-0.14136	4.05230	0.94481	-0.17178
213	-0.83255	-0.13854	4.06040	0.94670	-0.15879
214	-0.84019	-0.13565	4.06860	0.94861	-0.14512
215	-0.84779	-0.13268	4.07680	0.95052	-0.13073
216	-0.85535	-0.12962	4.08490	0.95241	-0.11574
217	-0.86288	-0.12645	4.09310	0.95433	-0.09995
218	-0.87036	-0.12319	4.10130	0.95624	-0.08290
219	-0.87779	-0.11981	4.10940	0.95813	-0.06421
220	-0.88517	-0.11632	4.11760	0.96004	-0.04354
221	-0.89249	-0.11270	4.12580	0.96195	-0.02091
222	-0.89974	-0.10894	4.13390	0.96384	0.00301
223	-0.90692	-0.10506	4.14210	0.96575	0.02781
224	-0.91403	-0.10106	4.15020	0.96764	0.05350
225	-0.92108	-0.09694	4.15840	0.96955	0.08015
226	-0.92806	-0.09271	4.16660	0.97146	0.10770
227	-0.93498	-0.08838	4.17470	0.97335	0.13562
228	-0.94184	-0.08396	4.18290	0.97526	0.16745
229	-0.94858	-0.07935	4.19110	0.97717	0.21491
230	-0.95504	-0.07437	4.19920	0.97906	0.27568
231	-0.96124	-0.06905	4.20740	0.98097	0.33694
232	-0.96721	-0.06349	4.21550	0.98286	0.39832
233	-0.97295	-0.05769	4.22370	0.98478	0.46429
234	-0.97840	-0.05161	4.23190	0.98669	0.53775
235	-0.98348	-0.04522	4.24000	0.98858	0.61874
236	-0.98810	-0.03849	4.24820	0.99049	0.70755
237	-0.99208	-0.03137	4.25640	0.99240	0.79636
238	-0.99538	-0.02391	4.26450	0.99429	0.87642
239	-0.99790	-0.01615	4.27270	0.99620	0.94351
240	-0.99946	-0.00814	4.28080	0.99809	0.98935
241	-1.00000	0.00000	4.28900	1.00000	1.00540

**Tabel A.2.2. Data tegangan geser ( $\tau_0$ ) pada dinding model elips ( $a/b = 4$ )**

Jumlah Elemen	=	27216	
Aliran	=	Full Laminar	
Jumlah Iterasi	=	239	
Term. Criteria	=	0.001	
l	=	2	m
a	=	1	m
b	=	0.25	m
l'	=	2.1445	m
$\rho$	=	999	kg/m <sup>3</sup>
$\mu$	=	0.00113788098	kg/(m det)
v	=	1.13902E-06	m <sup>2</sup> /det
Kecepatan	=	0.00056951	m/det

Ansys 5.7						
Point	x	y	x'	x'/l'	$\tau_0$	$\tau_0 \times 10^{-5}$
1	-1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.21E-07	0.01209
2	-0.99946	0.00814	0.00816	0.00380	7.56E-06	0.75593
3	-0.99790	0.01615	0.01632	0.00761	1.42E-05	1.41900
4	-0.99538	0.02391	0.02447	0.01141	1.96E-05	1.96240
5	-0.99208	0.03137	0.03263	0.01522	2.39E-05	2.39230
6	-0.98810	0.03849	0.04079	0.01902	2.71E-05	2.70870
7	-0.98348	0.04522	0.04896	0.02283	2.89E-05	2.88940
8	-0.97840	0.05161	0.05712	0.02663	2.98E-05	2.98240
9	-0.97295	0.05769	0.06528	0.03044	3.02E-05	3.02240
10	-0.96721	0.06349	0.07344	0.03425	3.03E-05	3.03440
11	-0.96124	0.06905	0.08160	0.03805	3.05E-05	3.05070
12	-0.95504	0.07436	0.08977	0.04186	3.06E-05	3.06040
13	-0.94858	0.07935	0.09793	0.04566	3.00E-05	2.99910
14	-0.94184	0.08396	0.10609	0.04947	2.83E-05	2.83020
15	-0.93498	0.08838	0.11425	0.05328	2.69E-05	2.68550
16	-0.92806	0.09271	0.12242	0.05709	2.59E-05	2.59080
17	-0.92108	0.09694	0.13058	0.06089	2.53E-05	2.52910
18	-0.91403	0.10106	0.13874	0.06470	2.48E-05	2.48130
19	-0.90692	0.10506	0.14691	0.06851	2.44E-05	2.44020
20	-0.89974	0.10894	0.15507	0.07231	2.40E-05	2.40190
21	-0.89249	0.11270	0.16323	0.07612	2.36E-05	2.36170
22	-0.88517	0.11632	0.17139	0.07992	2.31E-05	2.31460
23	-0.87779	0.11981	0.17956	0.08373	2.26E-05	2.26120
24	-0.87036	0.12319	0.18772	0.08754	2.21E-05	2.20670
25	-0.86288	0.12645	0.19588	0.09134	2.15E-05	2.15430
26	-0.85535	0.12962	0.20405	0.09515	2.11E-05	2.10630
27	-0.84779	0.13268	0.21221	0.09896	2.06E-05	2.06250
28	-0.84019	0.13565	0.22037	0.10276	2.02E-05	2.02120
29	-0.83255	0.13854	0.22854	0.10657	1.98E-05	1.98070
30	-0.82489	0.14136	0.23670	0.11038	1.94E-05	1.93940
31	-0.81720	0.14410	0.24486	0.11418	1.89E-05	1.88790
32	-0.79106	0.15291	0.27244	0.12704	1.76E-05	1.75810



33	-0.76472	0.16108	0.30002	0.13990	1.67E-05	1.66790
34	-0.73822	0.16871	0.32760	0.15276	1.58E-05	1.58270
35	-0.71157	0.17579	0.35518	0.16562	1.51E-05	1.50730
36	-0.68475	0.18223	0.38276	0.17848	1.42E-05	1.41580
37	-0.65781	0.18814	0.41034	0.19135	1.33E-05	1.32950
38	-0.63082	0.19379	0.43792	0.20421	1.27E-05	1.26940
39	-0.60376	0.19916	0.46550	0.21707	1.22E-05	1.22130
40	-0.57666	0.20423	0.49308	0.22993	1.18E-05	1.18040
41	-0.54949	0.20896	0.52066	0.24279	1.14E-05	1.13890
42	-0.52224	0.21327	0.54823	0.25564	1.09E-05	1.08780
43	-0.49495	0.21723	0.57581	0.26851	1.04E-05	1.03910
44	-0.46762	0.22095	0.60339	0.28137	9.98E-06	0.99788
45	-0.44026	0.22443	0.63097	0.29423	9.62E-06	0.96171
46	-0.41288	0.22767	0.65855	0.30709	9.28E-06	0.92799
47	-0.38546	0.23067	0.68613	0.31995	8.96E-06	0.89564
48	-0.35801	0.23339	0.71371	0.33281	8.61E-06	0.86079
49	-0.33055	0.23591	0.74129	0.34567	8.31E-06	0.83114
50	-0.30307	0.23822	0.76887	0.35853	8.04E-06	0.80401
51	-0.27557	0.24029	0.79645	0.37139	7.74E-06	0.77430
52	-0.24805	0.24214	0.82403	0.38425	7.46E-06	0.74605
53	-0.22052	0.24384	0.85161	0.39711	7.23E-06	0.72257
54	-0.19298	0.24534	0.87919	0.40997	7.00E-06	0.70006
55	-0.16543	0.24658	0.90677	0.42284	6.73E-06	0.67290
56	-0.13787	0.24757	0.93435	0.43570	6.43E-06	0.64331
57	-0.11030	0.24847	0.96193	0.44856	6.24E-06	0.62379
58	-0.08273	0.24915	0.98951	0.46142	6.01E-06	0.60067
59	-0.05516	0.24962	1.01710	0.47428	5.77E-06	0.57734
60	-0.02758	0.24988	1.04470	0.48715	5.53E-06	0.55331
61	0.00000	0.25000	1.07220	0.49998	5.33E-06	0.53286
62	0.02758	0.24988	1.09980	0.51285	5.09E-06	0.50920
63	0.05516	0.24962	1.12740	0.52572	4.89E-06	0.48901
64	0.08273	0.24915	1.15500	0.53859	4.67E-06	0.46738
65	0.11030	0.24847	1.18260	0.55146	4.46E-06	0.44578
66	0.13787	0.24757	1.21010	0.56428	4.21E-06	0.42121
67	0.16543	0.24658	1.23770	0.57715	4.05E-06	0.40456
68	0.19298	0.24534	1.26530	0.59002	3.84E-06	0.38407
69	0.22052	0.24384	1.29290	0.60289	3.60E-06	0.36034
70	0.24805	0.24214	1.32050	0.61576	3.38E-06	0.33799
71	0.27557	0.24029	1.34800	0.62858	3.18E-06	0.31825
72	0.30307	0.23822	1.37560	0.64145	2.98E-06	0.29845
73	0.33055	0.23591	1.40320	0.65433	2.77E-06	0.27658
74	0.35801	0.23339	1.43080	0.66720	2.56E-06	0.25597
75	0.38546	0.23067	1.45840	0.68007	2.37E-06	0.23694
76	0.41288	0.22767	1.48590	0.69289	2.16E-06	0.21598
77	0.44026	0.22443	1.51350	0.70576	1.96E-06	0.19553
78	0.46762	0.22095	1.54110	0.71863	1.75E-06	0.17545
79	0.49495	0.21723	1.56870	0.73150	1.56E-06	0.15620
80	0.52224	0.21327	1.59630	0.74437	1.38E-06	0.13805
81	0.54949	0.20896	1.62380	0.75719	1.19E-06	0.11934
82	0.57666	0.20423	1.65140	0.77006	9.90E-07	0.09900

83	0.60376	0.19916	1.67900	0.78293	7.97E-07	0.07968
84	0.63082	0.19379	1.70660	0.79580	6.18E-07	0.06183
85	0.65781	0.18814	1.73420	0.80867	4.53E-07	0.04533
86	0.68475	0.18223	1.76170	0.82150	3.05E-07	0.03051
87	0.71157	0.17579	1.78930	0.83437	1.52E-07	0.01517
88	0.73822	0.16871	1.81690	0.84724	1.90E-10	0.00002
89	0.76472	0.16108	1.84450	0.86011	1.39E-07	0.01388
90	0.79106	0.15291	1.87210	0.87298	2.60E-07	0.02599
91	0.81720	0.14410	1.89960	0.88580	3.73E-07	0.03730
92	0.82489	0.14136	1.90780	0.88962	4.00E-07	0.04000
93	0.83255	0.13854	1.91600	0.89345	4.30E-07	0.04301
94	0.84019	0.13565	1.92410	0.89723	4.59E-07	0.04593
95	0.84779	0.13268	1.93230	0.90105	4.88E-07	0.04875
96	0.85535	0.12962	1.94040	0.90483	5.15E-07	0.05147
97	0.86288	0.12645	1.94860	0.90865	5.41E-07	0.05406
98	0.87036	0.12319	1.95680	0.91247	5.65E-07	0.05654
99	0.87779	0.11981	1.96490	0.91625	5.89E-07	0.05890
100	0.88517	0.11632	1.97310	0.92007	6.12E-07	0.06115
101	0.89249	0.11270	1.98130	0.92390	6.32E-07	0.06320
102	0.89974	0.10894	1.98940	0.92768	6.51E-07	0.06505
103	0.90692	0.10506	1.99760	0.93150	6.68E-07	0.06681
104	0.91403	0.10106	2.00580	0.93532	6.86E-07	0.06859
105	0.92108	0.09694	2.01390	0.93910	7.05E-07	0.07053
106	0.92806	0.09271	2.02210	0.94292	7.29E-07	0.07286
107	0.93498	0.08838	2.03020	0.94670	7.60E-07	0.07604
108	0.94184	0.08396	2.03840	0.95052	8.07E-07	0.08074
109	0.94858	0.07935	2.04660	0.95435	8.66E-07	0.08659
110	0.95504	0.07436	2.05470	0.95813	9.02E-07	0.09019
111	0.96124	0.06905	2.06290	0.96195	9.25E-07	0.09248
112	0.96721	0.06349	2.07110	0.96577	9.50E-07	0.09503
113	0.97295	0.05769	2.07920	0.96955	9.81E-07	0.09813
114	0.97840	0.05161	2.08740	0.97337	1.01E-06	0.10063
115	0.98348	0.04522	2.09550	0.97715	1.02E-06	0.10157
116	0.98810	0.03849	2.10370	0.98097	9.93E-07	0.09932
117	0.99208	0.03137	2.11190	0.98480	9.14E-07	0.09143
118	0.99538	0.02391	2.12000	0.98858	7.79E-07	0.07792
119	0.99790	0.01615	2.12820	0.99240	5.82E-07	0.05818
120	0.99946	0.00814	2.13630	0.99618	3.19E-07	0.03187
121	1.00000	0.00000	2.14450	1.00000	1.72E-08	0.00172

**Tabel A.2.3. Data kecepatan (u) dan koefisien tekanan (Cp) model elips (a/b = 4) pada  $x'/l' = 0.27$**

**Jumlah Elemen** = 10224  
**Aliran** = Full Laminar  
**Jumlah Iterasi** = 238  
**Term. Criteria** = 0.001  
**a** = 1  
**b** = 0.25  
**l** = 2  
 **$\rho$**  = 999  
 **$\mu$**  = 0.00113788098  
 **$\nu$**  = 1.13902E-06  
**Kecepatan** = 0.00056951

Ansys 5.7						
x	y	y'	u	u/U	$y'/l' \cdot ((U.l)/\nu)^{1/2}$	Cp
-0.49495	0.21723	0.00000	0.00000000	0.00000	0.00000	-0.38757
-0.49524	0.21743	0.00020	0.00000221	0.00388	0.00316	-0.38750
-0.49553	0.21764	0.00041	0.00000451	0.00792	0.00648	-0.38742
-0.49583	0.21786	0.00063	0.00000681	0.01195	0.00996	-0.38733
-0.49613	0.21807	0.00084	0.00000911	0.01599	0.01328	-0.38725
-0.49651	0.21834	0.00111	0.00001210	0.02124	0.01755	-0.38715
-0.49690	0.21862	0.00139	0.00001511	0.02653	0.02198	-0.38705
-0.49729	0.21890	0.00167	0.00001813	0.03183	0.02641	-0.38695
-0.49768	0.21917	0.00194	0.00002114	0.03712	0.03067	-0.38684
-0.49818	0.21953	0.00230	0.00002506	0.04400	0.03637	-0.38671
-0.49869	0.21989	0.00266	0.00002901	0.05094	0.04206	-0.38658
-0.49920	0.22026	0.00303	0.00003296	0.05788	0.04791	-0.38644
-0.49971	0.22062	0.00339	0.00003692	0.06482	0.05360	-0.38631
-0.50038	0.22109	0.00386	0.00004205	0.07383	0.06103	-0.38613
-0.50104	0.22157	0.00434	0.00004723	0.08293	0.06862	-0.38595
-0.50171	0.22204	0.00481	0.00005241	0.09203	0.07605	-0.38577
-0.50238	0.22252	0.00529	0.00005759	0.10112	0.08364	-0.38559
-0.50325	0.22313	0.00590	0.00006431	0.11292	0.09329	-0.38534
-0.50412	0.22376	0.00653	0.00007109	0.12483	0.10325	-0.38510
-0.50500	0.22438	0.00715	0.00007787	0.13674	0.11305	-0.38486
-0.50587	0.22500	0.00777	0.00008466	0.14865	0.12285	-0.38461
-0.50701	0.22581	0.00858	0.00009343	0.16405	0.13566	-0.38428
-0.50816	0.22663	0.00940	0.00010228	0.17959	0.14863	-0.38395
-0.50930	0.22744	0.01021	0.00011113	0.19513	0.16143	-0.38361
-0.51045	0.22826	0.01103	0.00011999	0.21069	0.17440	-0.38327
-0.51194	0.22932	0.01209	0.00013136	0.23065	0.19116	-0.38280
-0.51344	0.23039	0.01316	0.00014285	0.25083	0.20808	-0.38232
-0.51494	0.23146	0.01423	0.00015433	0.27099	0.22500	-0.38184
-0.51645	0.23253	0.01530	0.00016581	0.29115	0.24191	-0.38137
-0.51840	0.23392	0.01669	0.00018036	0.31669	0.26389	-0.38066
-0.52037	0.23532	0.01809	0.00019505	0.34249	0.28603	-0.37994
-0.52233	0.23672	0.01949	0.00020973	0.36826	0.30816	-0.37922
-0.52430	0.23812	0.02089	0.00022441	0.39404	0.33030	-0.37851

-0.52686	0.23994	0.02271	0.00024251	0.42582	0.35908	-0.37739
-0.52944	0.24177	0.02454	0.00026074	0.45783	0.38801	-0.37626
-0.53202	0.24361	0.02638	0.00027898	0.48986	0.41710	-0.37512
-0.53460	0.24545	0.02822	0.00029722	0.52189	0.44620	-0.37399
-0.53795	0.24783	0.03060	0.00031844	0.55915	0.48383	-0.37214
-0.54133	0.25023	0.03300	0.00033979	0.59664	0.52178	-0.37026
-0.54471	0.25264	0.03541	0.00036114	0.63412	0.55988	-0.36838
-0.54809	0.25504	0.03781	0.00038249	0.67161	0.59783	-0.36650
-0.55247	0.25817	0.04094	0.00040469	0.71059	0.64732	-0.36333
-0.55690	0.26132	0.04409	0.00042692	0.74963	0.69712	-0.36011
-0.56133	0.26447	0.04724	0.00044916	0.78868	0.74693	-0.35688
-0.56576	0.26762	0.05039	0.00047139	0.82771	0.79674	-0.35366
-0.57150	0.27171	0.05448	0.00049041	0.86111	0.86140	-0.34824
-0.57731	0.27584	0.05861	0.00050929	0.89426	0.92671	-0.34274
-0.58311	0.27997	0.06274	0.00052818	0.92743	0.99201	-0.33723
-0.58891	0.28410	0.06687	0.00054706	0.96058	1.05731	-0.33172
-0.59644	0.28946	0.07223	0.00055908	0.98169	1.14206	-0.32295
-0.59951	0.29164	0.07441	0.00056381	0.98999	1.17653	-0.31936
-0.60320	0.29427	0.07704	0.00056951	1.00000	1.21811	-0.31503

**Tabel A.2.4. Data kecepatan (u) dan koefisien tekanan (Cp) model elips (a/b = 4) pada x'/l' = 0.50**

Jumlah Elemen	=	10224	
Aliran	=	Full Laminar	
Jumlah Iterasi	=	238	
Term. Criteria	=	0.001	
a	=	1	m
b	=	0.25	m
l	=	2	m
$\rho$	=	999	kg/m <sup>3</sup>
$\mu$	=	0.00113788098	kg/(m det)
$\nu$	=	1.13902E-06	m <sup>2</sup> /det
Kecepatan	=	0.00056951	m/det

Ansys 5.7						
x	y	y'	u	u/U	y'/l.((U.l)/ $\nu$ ) <sup>1/2</sup>	Cp
0.00000	0.25000	0.00000	0.00000000	0.00000	0.00000	-0.39909
0.00000	0.25020	0.00020	0.00000093	0.00164	0.00316	-0.39907
0.00000	0.25041	0.00041	0.00000190	0.00334	0.00648	-0.39906
0.00000	0.25061	0.00061	0.00000288	0.00505	0.00964	-0.39905
0.00000	0.25082	0.00082	0.00000385	0.00676	0.01297	-0.39904
0.00000	0.25109	0.00109	0.00000511	0.00898	0.01723	-0.39903
0.00000	0.25136	0.00136	0.00000639	0.01122	0.02150	-0.39901
0.00000	0.25163	0.00163	0.00000767	0.01346	0.02577	-0.39900
0.00000	0.25191	0.00191	0.00000894	0.01570	0.03020	-0.39899
0.00000	0.25226	0.00226	0.00001061	0.01862	0.03573	-0.39897
0.00000	0.25262	0.00262	0.00001228	0.02157	0.04143	-0.39895
0.00000	0.25297	0.00297	0.00001396	0.02452	0.04696	-0.39894
0.00000	0.25333	0.00333	0.00001564	0.02747	0.05265	-0.39892
0.00000	0.25379	0.00379	0.00001783	0.03131	0.05993	-0.39890
0.00000	0.25426	0.00426	0.00002004	0.03519	0.06736	-0.39887
0.00000	0.25472	0.00472	0.00002225	0.03907	0.07463	-0.39885
0.00000	0.25519	0.00519	0.00002446	0.04296	0.08206	-0.39883
0.00000	0.25580	0.00580	0.00002735	0.04802	0.09171	-0.39880
0.00000	0.25641	0.00641	0.00003026	0.05314	0.10135	-0.39877
0.00000	0.25702	0.00702	0.00003318	0.05826	0.11100	-0.39874
0.00000	0.25763	0.00763	0.00003609	0.06337	0.12064	-0.39871
0.00000	0.25842	0.00842	0.00003990	0.07007	0.13313	-0.39868
0.00000	0.25923	0.00923	0.00004375	0.07682	0.14594	-0.39864
0.00000	0.26003	0.01003	0.00004760	0.08358	0.15859	-0.39860
0.00000	0.26083	0.01083	0.00005145	0.09034	0.17124	-0.39856
0.00000	0.26187	0.01187	0.00005649	0.09918	0.18768	-0.39851
0.00000	0.26292	0.01292	0.00006158	0.10812	0.20428	-0.39846
0.00000	0.26397	0.01397	0.00006666	0.11706	0.22089	-0.39841
0.00000	0.26502	0.01502	0.00007175	0.12599	0.23749	-0.39835
0.00000	0.26638	0.01638	0.00007843	0.13771	0.25899	-0.39828
0.00000	0.26775	0.01775	0.00008516	0.14954	0.28065	-0.39821
0.00000	0.26913	0.01913	0.00009190	0.16137	0.30247	-0.39814
0.00000	0.27051	0.02051	0.00009864	0.17320	0.32429	-0.39807

0.00000	0.27229	0.02229	0.00010746	0.18869	0.35244	-0.39797
0.00000	0.27409	0.02409	0.00011637	0.20433	0.38090	-0.39787
0.00000	0.27589	0.02589	0.00012529	0.22000	0.40936	-0.39777
0.00000	0.27770	0.02770	0.00013420	0.23564	0.43798	-0.39766
0.00000	0.28004	0.03004	0.00014581	0.25603	0.47497	-0.39750
0.00000	0.28240	0.03240	0.00015753	0.27661	0.51229	-0.39734
0.00000	0.28476	0.03476	0.00016926	0.29720	0.54960	-0.39718
0.00000	0.28712	0.03712	0.00018098	0.31778	0.58692	-0.39702
0.00000	0.29018	0.04018	0.00019603	0.34421	0.63530	-0.39675
0.00000	0.29328	0.04328	0.00021121	0.37086	0.68432	-0.39647
0.00000	0.29637	0.04637	0.00022639	0.39752	0.73317	-0.39620
0.00000	0.29946	0.04946	0.00024157	0.42417	0.78203	-0.39592
0.00000	0.30348	0.05348	0.00026035	0.45715	0.84559	-0.39543
0.00000	0.30753	0.05753	0.00027928	0.49039	0.90963	-0.39493
0.00000	0.31159	0.06159	0.00029821	0.52363	0.97382	-0.39443
0.00000	0.31564	0.06564	0.00031714	0.55686	1.03786	-0.39393
0.00000	0.32090	0.07090	0.00033888	0.59504	1.12103	-0.39300
0.00000	0.32621	0.07621	0.00036074	0.63342	1.20499	-0.39206
0.00000	0.33152	0.08152	0.00038260	0.67181	1.28894	-0.39112
0.00000	0.33683	0.08683	0.00040446	0.71019	1.37290	-0.39018
0.00000	0.34372	0.09372	0.00042642	0.74875	1.48184	-0.38847
0.00000	0.35068	0.10068	0.00044838	0.78731	1.59189	-0.38672
0.00000	0.35764	0.10764	0.00047035	0.82589	1.70194	-0.38498
0.00000	0.36460	0.11460	0.00049231	0.86444	1.81199	-0.38324
0.00000	0.37363	0.12363	0.00051045	0.89630	1.95476	-0.38029
0.00000	0.38275	0.13275	0.00052843	0.92787	2.09896	-0.37730
0.00000	0.39186	0.14186	0.00054642	0.95946	2.24300	-0.37430
0.00000	0.40068	0.15068	0.00056381	0.98999	2.38246	-0.37141
0.00000	0.40596	0.15596	0.00056951	1.00000	2.46594	-0.36942

**Tabel A.2.5. Data kecepatan (u) dan koefisien tekanan (Cp) model elips (a/b = 4) pada  $x'/l' = 0.74$**

Jumlah Elemen	=	10224	
Aliran	=	Full Laminar	
Jumlah Iterasi	=	238	
Term. Criteria	=	0.001	
a	=	1	m
b	=	0.25	m
l	=	2	m
$\rho$	=	999	kg/m <sup>3</sup>
$\mu$	=	0.00113788098	kg/(m det)
$\nu$	=	1.13902E-06	m <sup>2</sup> /det
Kecepatan	=	0.00056951	m/det

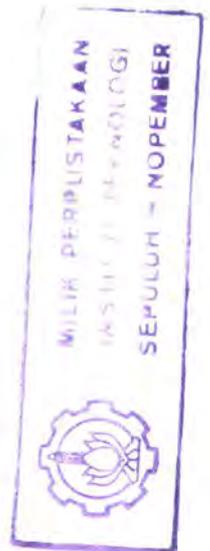
Ansys 5.7						
x	y	y'	u	u/U	$y'/l' \cdot ((U \cdot l)/\nu)^{1/2}$	Cp
0.52224	0.21327	0.00000	0.00000000	0.00000	0.00000	-0.30561
0.52254	0.21347	0.00020	0.00000030	0.00052	0.00316	-0.30554
0.52286	0.21368	0.00041	0.00000061	0.00106	0.00648	-0.30547
0.52317	0.21389	0.00062	0.00000091	0.00161	0.00980	-0.30540
0.52349	0.21410	0.00083	0.00000122	0.00215	0.01312	-0.30532
0.52389	0.21438	0.00111	0.00000163	0.00287	0.01755	-0.30523
0.52430	0.21466	0.00139	0.00000205	0.00359	0.02198	-0.30513
0.52471	0.21493	0.00166	0.00000246	0.00432	0.02625	-0.30504
0.52512	0.21521	0.00194	0.00000287	0.00504	0.03067	-0.30494
0.52566	0.21557	0.00230	0.00000342	0.00600	0.03637	-0.30482
0.52620	0.21594	0.00267	0.00000397	0.00698	0.04222	-0.30470
0.52673	0.21630	0.00303	0.00000453	0.00795	0.04791	-0.30457
0.52727	0.21666	0.00339	0.00000508	0.00892	0.05360	-0.30445
0.52797	0.21714	0.00387	0.00000582	0.01022	0.06119	-0.30429
0.52868	0.21761	0.00434	0.00000657	0.01154	0.06862	-0.30413
0.52938	0.21809	0.00482	0.00000732	0.01285	0.07621	-0.30396
0.53009	0.21857	0.00530	0.00000807	0.01417	0.08380	-0.30380
0.53100	0.21918	0.00591	0.00000908	0.01594	0.09345	-0.30359
0.53193	0.21981	0.00654	0.00001010	0.01774	0.10341	-0.30338
0.53285	0.22043	0.00716	0.00001112	0.01953	0.11321	-0.30316
0.53377	0.22106	0.00779	0.00001214	0.02132	0.12317	-0.30295
0.53497	0.22187	0.00860	0.00001353	0.02376	0.13598	-0.30268
0.53618	0.22268	0.00941	0.00001494	0.02623	0.14879	-0.30240
0.53740	0.22350	0.01023	0.00001634	0.02869	0.16175	-0.30212
0.53861	0.22432	0.01105	0.00001775	0.03116	0.17472	-0.30184
0.54018	0.22538	0.01211	0.00001968	0.03455	0.19148	-0.30148
0.54176	0.22645	0.01318	0.00002163	0.03799	0.20839	-0.30111
0.54335	0.22753	0.01426	0.00002359	0.04142	0.22547	-0.30075
0.54494	0.22860	0.01533	0.00002554	0.04485	0.24239	-0.30038
0.54699	0.22999	0.01672	0.00002827	0.04963	0.26437	-0.29991
0.54907	0.23139	0.01812	0.00003102	0.05447	0.28650	-0.29943
0.55115	0.23280	0.01953	0.00003377	0.05930	0.30880	-0.29895
0.55323	0.23420	0.02093	0.00003653	0.06414	0.33093	-0.29847

0.55593	0.23602	0.02275	0.00004041	0.07095	0.35971	-0.29785
0.55865	0.23786	0.02459	0.00004433	0.07784	0.38880	-0.29722
0.56137	0.23970	0.02643	0.00004826	0.08474	0.41789	-0.29659
0.56410	0.24154	0.02827	0.00005219	0.09163	0.44699	-0.29597
0.56763	0.24393	0.03066	0.00005777	0.10145	0.48478	-0.29515
0.57120	0.24634	0.03307	0.00006343	0.11138	0.52288	-0.29433
0.57477	0.24875	0.03548	0.00006909	0.12131	0.56099	-0.29351
0.57833	0.25116	0.03789	0.00007474	0.13124	0.59909	-0.29269
0.58296	0.25429	0.04102	0.00008282	0.14543	0.64858	-0.29163
0.58764	0.25745	0.04418	0.00009100	0.15979	0.69855	-0.29056
0.59231	0.26061	0.04734	0.00009918	0.17415	0.74851	-0.28949
0.59699	0.26377	0.05050	0.00010736	0.18851	0.79848	-0.28843
0.60306	0.26787	0.05460	0.00011894	0.20885	0.86330	-0.28705
0.60918	0.27201	0.05874	0.00013066	0.22943	0.92876	-0.28566
0.61531	0.27614	0.06287	0.00014238	0.25000	0.99406	-0.28427
0.62143	0.28028	0.06701	0.00015409	0.27057	1.05952	-0.28288
0.62938	0.28565	0.07238	0.00017018	0.29882	1.14443	-0.28110
0.63741	0.29108	0.07781	0.00018644	0.32737	1.23028	-0.27931
0.64543	0.29650	0.08323	0.00020271	0.35594	1.31598	-0.27752
0.65346	0.30192	0.08865	0.00021897	0.38449	1.40168	-0.27572
0.66387	0.30896	0.09569	0.00023983	0.42112	1.51299	-0.27345
0.67439	0.31606	0.10279	0.00026087	0.45806	1.62525	-0.27117
0.68490	0.32317	0.10990	0.00028192	0.49502	1.73767	-0.26888
0.69542	0.33027	0.11700	0.00030296	0.53197	1.84993	-0.26659
0.70906	0.33949	0.12622	0.00032684	0.57390	1.99571	-0.26378
0.72284	0.34880	0.13553	0.00035083	0.61602	2.14292	-0.26094
0.73662	0.35811	0.14484	0.00037482	0.65814	2.29012	-0.25810
0.75039	0.36742	0.15415	0.00039882	0.70029	2.43733	-0.25526
0.76827	0.37950	0.16623	0.00042144	0.74000	2.62833	-0.25195
0.78632	0.39169	0.17842	0.00044401	0.77964	2.82107	-0.24861
0.80437	0.40389	0.19062	0.00046658	0.81927	3.01397	-0.24527
0.82243	0.41609	0.20282	0.00048914	0.85888	3.20687	-0.24194
0.84585	0.43191	0.21864	0.00050601	0.88850	3.45700	-0.23830
0.86950	0.44789	0.23462	0.00052264	0.91770	3.70967	-0.23465
0.89315	0.46387	0.25060	0.00053926	0.94688	3.96233	-0.23100
0.91680	0.47985	0.26658	0.00055589	0.97608	4.21500	-0.22735
0.94242	0.49716	0.28389	0.00056381	0.98999	4.48870	-0.22397
0.94626	0.49976	0.28649	0.00056493	0.99196	4.52980	-0.22346
0.96182	0.51027	0.29700	0.00056951	1.00000	4.69598	-0.22142

Tabel A.2.6. Data kecepatan (u) dan koefisien tekanan (Cp) model elips (a/b = 4) pada  $x'/l' = 0.81$

Jumlah Elemen	=	10224	
Aliran	=	Full Laminar	
Jumlah Iterasi	=	238	
Term. Criteria	=	0.001	
a	=	1	m
b	=	0.25	m
l	=	2	m
$\rho$	=	999	kg/m <sup>3</sup>
$\mu$	=	0.00113788098	kg/(m det)
v	=	1.13902E-06	m <sup>2</sup> /det
Kecepatan	=	0.00056951	m/det

Ansys 5.7						
x	y	y'	u	u/U	$y'/l,((U.l)/v)^{1/2}$	Cp
0.65781	0.18814	0.00000	0.00000000	0.00000	0.00000	-0.27495
0.65819	0.18835	0.00021	0.00000011	0.00020	0.00332	-0.27487
0.65859	0.18856	0.00042	0.00000023	0.00040	0.00664	-0.27478
0.65898	0.18877	0.00063	0.00000034	0.00060	0.00996	-0.27470
0.65938	0.18899	0.00085	0.00000046	0.00081	0.01344	-0.27461
0.65990	0.18927	0.00113	0.00000062	0.00109	0.01787	-0.27450
0.66041	0.18955	0.00141	0.00000078	0.00137	0.02229	-0.27439
0.66093	0.18983	0.00169	0.00000094	0.00166	0.02672	-0.27428
0.66145	0.19011	0.00197	0.00000111	0.00194	0.03115	-0.27417
0.66213	0.19048	0.00234	0.00000133	0.00234	0.03700	-0.27403
0.66281	0.19085	0.00271	0.00000156	0.00275	0.04285	-0.27389
0.66349	0.19122	0.00308	0.00000179	0.00315	0.04870	-0.27374
0.66417	0.19158	0.00344	0.00000202	0.00355	0.05439	-0.27360
0.66505	0.19206	0.00392	0.00000235	0.00413	0.06198	-0.27342
0.66594	0.19255	0.00441	0.00000268	0.00471	0.06973	-0.27323
0.66683	0.19303	0.00489	0.00000301	0.00529	0.07732	-0.27304
0.66772	0.19351	0.00537	0.00000334	0.00587	0.08491	-0.27285
0.66888	0.19414	0.00600	0.00000382	0.00671	0.09487	-0.27261
0.67005	0.19477	0.00663	0.00000431	0.00756	0.10483	-0.27237
0.67122	0.19541	0.00727	0.00000479	0.00841	0.11495	-0.27212
0.67238	0.19604	0.00790	0.00000528	0.00926	0.12491	-0.27188
0.67390	0.19686	0.00872	0.00000599	0.01051	0.13788	-0.27157
0.67543	0.19769	0.00955	0.00000671	0.01178	0.15100	-0.27125
0.67696	0.19852	0.01038	0.00000743	0.01304	0.16412	-0.27093
0.67849	0.19935	0.01121	0.00000815	0.01431	0.17725	-0.27061
0.68048	0.20043	0.01229	0.00000922	0.01619	0.19432	-0.27020
0.68248	0.20151	0.01337	0.00001031	0.01811	0.21140	-0.26979
0.68449	0.20260	0.01446	0.00001140	0.02002	0.22863	-0.26937
0.68649	0.20369	0.01555	0.00001249	0.02193	0.24587	-0.26896
0.68909	0.20510	0.01696	0.00001413	0.02482	0.26816	-0.26843
0.69172	0.20652	0.01838	0.00001580	0.02775	0.29061	-0.26789
0.69435	0.20795	0.01981	0.00001747	0.03068	0.31322	-0.26736
0.69697	0.20937	0.02123	0.00001914	0.03361	0.33568	-0.26682
0.70038	0.21122	0.02308	0.00002169	0.03808	0.36493	-0.26613
0.70382	0.21308	0.02494	0.00002428	0.04262	0.39434	-0.26544
0.70727	0.21495	0.02681	0.00002686	0.04717	0.42390	-0.26474
0.71071	0.21681	0.02867	0.00002945	0.05171	0.45331	-0.26405



0.71517	0.21924	0.03110	0.00003342	0.05869	0.49173	-0.26317
0.71968	0.22168	0.03354	0.00003746	0.06577	0.53031	-0.26228
0.72419	0.22413	0.03599	0.00004149	0.07285	0.56905	-0.26139
0.72870	0.22657	0.03843	0.00004552	0.07993	0.60763	-0.26050
0.73455	0.22974	0.04160	0.00005171	0.09080	0.65775	-0.25938
0.74046	0.23295	0.04481	0.00005799	0.10183	0.70851	-0.25826
0.74637	0.23615	0.04801	0.00006427	0.11285	0.75910	-0.25713
0.75228	0.23935	0.05121	0.00007055	0.12388	0.80970	-0.25600
0.75995	0.24351	0.05537	0.00008005	0.14057	0.87548	-0.25461
0.76769	0.24771	0.05957	0.00008969	0.15749	0.94188	-0.25321
0.77543	0.25190	0.06376	0.00009933	0.17442	1.00813	-0.25181
0.78317	0.25610	0.06796	0.00010897	0.19134	1.07454	-0.25041
0.79322	0.26155	0.07341	0.00012310	0.21615	1.16071	-0.24873
0.80336	0.26704	0.07890	0.00013741	0.24128	1.24752	-0.24704
0.81350	0.27254	0.08440	0.00015172	0.26640	1.33448	-0.24536
0.82365	0.27804	0.08990	0.00016603	0.29153	1.42144	-0.24367
0.83681	0.28518	0.09704	0.00018571	0.32609	1.53434	-0.24177
0.85010	0.29238	0.10424	0.00020561	0.36103	1.64818	-0.23986
0.86339	0.29959	0.11145	0.00022551	0.39597	1.76218	-0.23795
0.87668	0.30679	0.11865	0.00024541	0.43091	1.87602	-0.23604
0.89392	0.31614	0.12800	0.00026983	0.47379	2.02386	-0.23408
0.91134	0.32558	0.13744	0.00029445	0.51702	2.17312	-0.23212
0.92875	0.33502	0.14688	0.00031906	0.56024	2.32238	-0.23015
0.94616	0.34446	0.15632	0.00034367	0.60345	2.47164	-0.22819
0.96876	0.35671	0.16857	0.00036900	0.64793	2.66533	-0.22625
0.99157	0.36908	0.18094	0.00039436	0.69245	2.86091	-0.22432
1.01440	0.38144	0.19330	0.00041972	0.73698	3.05634	-0.22238
1.03720	0.39381	0.20567	0.00044509	0.78153	3.25193	-0.22044
1.06680	0.40986	0.22172	0.00046581	0.81791	3.50570	-0.21801
1.09670	0.42607	0.23793	0.00048634	0.85396	3.76200	-0.21556
1.12660	0.44227	0.25413	0.00050686	0.88999	4.01815	-0.21311
1.15650	0.45848	0.27034	0.00052739	0.92604	4.27445	-0.21066
1.19530	0.47951	0.29137	0.00053999	0.94817	4.60696	-0.20659
1.23440	0.50074	0.31260	0.00055226	0.96971	4.94264	-0.20245
1.27130	0.52073	0.33259	0.00056381	0.98999	5.25871	-0.19855
1.27200	0.52112	0.33298	0.00056403	0.99038	5.26488	-0.19848
1.28950	0.53060	0.34246	0.00056951	1.00000	5.41477	-0.19663

**Tabel A.27. Data kecepatan (u) dan koefisien tekanan (Cp) model elips (a/b = 4) pada x'/l' = 0.85 (separasi)**

**Jumlah Elemen** = 10224  
**Aliran** = Full Laminar  
**Jumlah Iterasi** = 238  
**Term. Criteria** = 0.001  
**a** = 1 m  
**b** = 0.25 m  
**l** = 2 m  
**ρ** = 999 kg/m<sup>3</sup>  
**μ** = 0.00113788098 kg/(m det)  
**ν** = 1.13902E-06 m<sup>2</sup>/det  
**Kecepatan** = 0.00056951 m/det

Ansys 5.7						
x	y	y'	u	u/U	y'/l.((U.l)/ν) <sup>1/2</sup>	Cp
0.73822	0.16871	0.00000	0.00000000	0.00000	0.00000	-0.25788
0.73865	0.16892	0.00021	0.00000000	0.00000	0.00332	-0.25780
0.73910	0.16914	0.00043	0.00000000	0.00000	0.00680	-0.25771
0.73954	0.16935	0.00064	0.00000000	0.00000	0.01012	-0.25763
0.73999	0.16957	0.00086	0.00000000	0.00000	0.01360	-0.25755
0.74057	0.16985	0.00114	0.00000001	0.00002	0.01802	-0.25744
0.74115	0.17014	0.00143	0.00000003	0.00004	0.02261	-0.25733
0.74174	0.17042	0.00171	0.00000004	0.00007	0.02704	-0.25722
0.74232	0.17071	0.00200	0.00000005	0.00009	0.03162	-0.25711
0.74308	0.17107	0.00236	0.00000008	0.00015	0.03731	-0.25697
0.74384	0.17145	0.00274	0.00000012	0.00021	0.04332	-0.25683
0.74461	0.17182	0.00311	0.00000016	0.00027	0.04917	-0.25669
0.74538	0.17219	0.00348	0.00000019	0.00034	0.05502	-0.25655
0.74637	0.17268	0.00397	0.00000027	0.00048	0.06277	-0.25636
0.74737	0.17317	0.00446	0.00000035	0.00062	0.07052	-0.25618
0.74838	0.17365	0.00494	0.00000044	0.00076	0.07811	-0.25599
0.74938	0.17414	0.00543	0.00000052	0.00091	0.08586	-0.25581
0.75068	0.17478	0.00607	0.00000068	0.00119	0.09598	-0.25557
0.75200	0.17542	0.00671	0.00000084	0.00148	0.10609	-0.25533
0.75331	0.17606	0.00735	0.00000101	0.00177	0.11621	-0.25509
0.75462	0.17670	0.00799	0.00000118	0.00206	0.12633	-0.25485
0.75633	0.17753	0.00882	0.00000149	0.00261	0.13946	-0.25454
0.75805	0.17836	0.00965	0.00000180	0.00316	0.15258	-0.25423
0.75978	0.17920	0.01049	0.00000212	0.00372	0.16586	-0.25392
0.76150	0.18004	0.01133	0.00000243	0.00427	0.17914	-0.25360
0.76373	0.18113	0.01242	0.00000300	0.00527	0.19638	-0.25321
0.76599	0.18223	0.01352	0.00000358	0.00628	0.21377	-0.25280
0.76825	0.18333	0.01462	0.00000416	0.00730	0.23116	-0.25240
0.77050	0.18442	0.01571	0.00000473	0.00831	0.24840	-0.25200
0.77343	0.18585	0.01714	0.00000575	0.01009	0.27101	-0.25148
0.77639	0.18729	0.01858	0.00000678	0.01191	0.29378	-0.25097
0.77934	0.18873	0.02002	0.00000781	0.01372	0.31654	-0.25045
0.78230	0.19017	0.02146	0.00000884	0.01553	0.33931	-0.24993

0.78614	0.19204	0.02333	0.00001061	0.01863	0.36888	-0.24927
0.79001	0.19392	0.02521	0.00001241	0.02179	0.39861	-0.24861
0.79388	0.19581	0.02710	0.00001421	0.02495	0.42849	-0.24795
0.79776	0.19769	0.02898	0.00001601	0.02811	0.45821	-0.24729
0.80279	0.20014	0.03143	0.00001903	0.03341	0.49695	-0.24646
0.80786	0.20261	0.03390	0.00002209	0.03879	0.53601	-0.24562
0.81294	0.20508	0.03637	0.00002516	0.04418	0.57506	-0.24479
0.81801	0.20755	0.03884	0.00002823	0.04957	0.61411	-0.24395
0.82460	0.21076	0.04205	0.00003327	0.05843	0.66487	-0.24293
0.83125	0.21400	0.04529	0.00003840	0.06743	0.71610	-0.24189
0.83790	0.21723	0.04852	0.00004353	0.07643	0.76717	-0.24086
0.84455	0.22047	0.05176	0.00004865	0.08543	0.81840	-0.23983
0.85318	0.22467	0.05596	0.00005685	0.09983	0.88481	-0.23860
0.86189	0.22892	0.06021	0.00006518	0.11446	0.95200	-0.23737
0.87061	0.23316	0.06445	0.00007352	0.12908	1.01904	-0.23613
0.87932	0.23740	0.06869	0.00008185	0.14371	1.08608	-0.23490
0.89063	0.24290	0.07419	0.00009467	0.16623	1.17305	-0.23354
0.90204	0.24846	0.07975	0.00010768	0.18907	1.26096	-0.23218
0.91346	0.25402	0.08531	0.00012069	0.21192	1.34887	-0.23082
0.92488	0.25958	0.09087	0.00013370	0.23476	1.43678	-0.22946
0.93969	0.26679	0.09808	0.00015245	0.26769	1.55078	-0.22817
0.95465	0.27407	0.10536	0.00017144	0.30103	1.66589	-0.22688
0.96961	0.28135	0.11264	0.00019043	0.33438	1.78099	-0.22559
0.98457	0.28863	0.11992	0.00020942	0.36772	1.89610	-0.22430
1.00400	0.29808	0.12937	0.00023388	0.41067	2.04552	-0.22322
1.02360	0.30762	0.13891	0.00025857	0.45402	2.19636	-0.22215
1.04320	0.31716	0.14845	0.00028326	0.49737	2.34720	-0.22108
1.06280	0.32671	0.15800	0.00030795	0.54073	2.49820	-0.22001
1.08820	0.33909	0.17038	0.00033464	0.58759	2.69394	-0.21872
1.11390	0.35159	0.18288	0.00036141	0.63460	2.89159	-0.21742
1.13960	0.36409	0.19538	0.00038819	0.68162	3.08923	-0.21612
1.16520	0.37659	0.20788	0.00041496	0.72863	3.28687	-0.21482
1.19860	0.39281	0.22410	0.00043792	0.76894	3.54333	-0.21205
1.23220	0.40919	0.24048	0.00046073	0.80899	3.80232	-0.20922
1.26590	0.42557	0.25686	0.00048353	0.84903	4.06131	-0.20640
1.29950	0.44195	0.27324	0.00050634	0.88908	4.32030	-0.20357
1.34320	0.46320	0.29449	0.00052105	0.91491	4.65630	-0.19830
1.38720	0.48466	0.31595	0.00053543	0.94016	4.99561	-0.19294
1.43130	0.50612	0.33741	0.00054981	0.96541	5.33492	-0.18757
1.47420	0.52700	0.35829	0.00056381	0.98999	5.66506	-0.18234
1.52280	0.55067	0.38196	0.00056951	1.00000	6.03932	-0.17613

