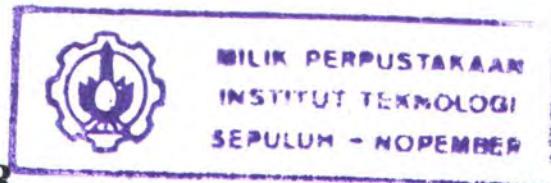


20.620 /H/04



**TUGAS AKHIR
(KP 1701)**

**ANALISIS TAHANAN KAPAL DENGAN
BOUNDARY LAYER INTEGRAL METHOD**

RSPe
623.812
Has
a
2004



oleh :

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	11-8-2004
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	720992

HASUDUNGAN HASIBUAN
NRP. 4199 100 033

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2004**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS TAHANAN KAPAL DENGAN BOUNDARY LAYER INTEGRAL METHOD

TUGAS AKHIR KP 1701

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

Mengetahui dan Menyetujui,

Dosen Pembimbing



A handwritten signature in black ink, appearing to read "IKA Utama".

Ir. I.K.A.P. UTAMA, MSc. PhD

NIP. 132 007 645

**Lembar Pengesahan
Tugas Akhir
(KP 1701)
Judul**

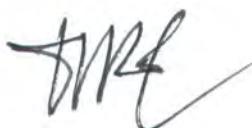
**ANALISIS TAHANAN KAPAL DENGAN
BOUNDARY LAYER INTEGRAL METHOD**

Telah Direvisi Sesuai Dengan Hasil Sidang Ujian Tugas Akhir

**Pada
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Surabaya, - Agustus - 2004

**Mengetahui dan Menyetujui
Dosen Pembimbing**



Ir.I.K.A.P. UTAMA, MSc, PhD

NIP. 132 007 645

KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Tuhan atas segala kasih dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir dengan judul : **“ Analisis Tahanan Kapal Dengan Boundary Layer Integral Method ”**.

Di dalam penyelesaian Tugas Akhir ini tentunya tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak terutama keluarga dan teman-teman kuliah. Penulis juga ingin menyampaikan rasa terimakasih serta penghargaan yang setulus-tulusnya kepada :

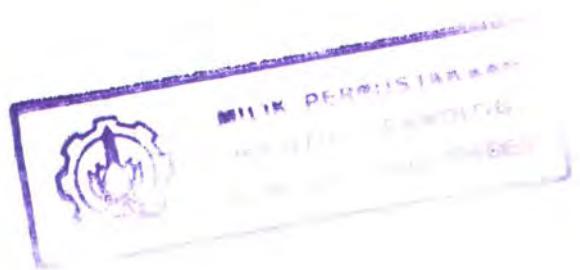
1. Bapak Ir. Triwilaswadio, MSc selaku Ketu Jurusan Teknik Perkapalan
2. Bapak Ir.I.K.A.P.Utama, MSc, PhD selaku dosen pembimbing atas arahan dan bimbingannya.
3. Bapak-bapak dosen, seluruh staf dan pengajar di Jurusan Teknik Perkapalan.
4. Teman- teman angkatan 99 di Jurusan Teknik Perkapalan
5. Teman- teman senasib dan seperjuangan ANSYS club TEKPAL : Mas Dodi Cool, Yusuf Mauri Yang Baik Hati, Hasyim, Andre.
6. Teman- teman di Jurusan Teknik Perkapalan semuanya
7. Bapak, ibu dan kakak - kakakku yang telah memberikan dukungan moral maupun material sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya dengan lancar.

8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang juga turut serta memberikan bantuan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini Akhirnya penulis berharap kiranya Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan penulis mohon saran serta kritik yang membangun demi perbaikan Tugas Akhir ini.

SURABAYA JULI 2004



PENULIS



ABSTRAK

ABSTRAK

Usaha untuk menghitung tahanan kapal telah banyak dilakukan oleh para ahli di bidang Hidrodinamika seperti Froude, Taylor, Hughes dan yang lainnya dengan menggunakan hasil percobaan model kapal. Tentunya metode perhitungan yang dilakukan tersebut masih banyak kekurangan dan keterbatasannya. Untuk itu perlu dilakukan analisis tahanan kapal dengan *boundary layer integral method* untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan lebih baik. Hal ini dilakukan dengan pembuatan pemodelan bentuk ellips dan pelat datar dua dimensi yang mempunyai perbandingan dimensi yang sama ($a/b = 6$) dengan menggunakan ANSYS Flotran CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Model ellips ini menggambarkan bentuk badan kapal jika dilihat dari atas sedangkan pelat datar mewakili bentuk *barge*.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan CFD tersebut diperoleh bahwa tebal lapisan batas pada kondisi aliran laminar pada kedua model lebih tebal dari pada kondisi aliran turbulen. Adapun koreksi hasil perhitungan tahanan total dengan menggunakan *boundary layer integral method* jika dibandingkan dengan yang dihasilkan CFD pada aliran laminar untuk pelat datar sebesar 4.97% dan ellips sebesar 9.89% sedangkan pada aliran turbulen untuk pelat datar sebesar 5.83% dan ellips sebesar 8.73%. Kontribusi terbesar dari tahanan total adalah tahanan gesek yaitu berkisar antara 65 – 80%, sedangkan kontribusi tahanan tekanan yaitu selisih dari tahanan total dengan tahanan gesek.

ABSTRACT

ABSTRACT

Hydrodynamics experts like Froude, Taylor, Hughes and the other experts have conducted many efforts in calculating ship resistance by using the result of model ship trial. The method has a lot of weaknesses and limitations. Therefore, the analysis of ship resistance has to be carried out by boundary layer integral method to get more accurate and better result. This final project is carried out by creating two dimensional ellipses and flat plate models which have same dimension comparison ($a/b = 6$) by using ANSYS Flotran CFD (Computational Fluid Dynamics). This ellipse models represent the body of the ship if we see from the top view while the flat plate models represent barges.

From the numerical analysis that has been done, It is known that the boundary layer thickness for laminar flow is thicker than turbulent flow for the two models. If we compare the correction result of total resistance by using boundary layer integral method and result of CFD for laminar flat plate flow is 4,97% and for ellipse 9,89% while for turbulent flat plate flow is 5,83% and for ellipse 8,73%. The biggest contribution of total resistance is friction resistance which ranges from 65 – 80 % while contribution of pressure resistance is the difference between total resistance and friction resistance.

DAFTAR ISI



DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i	
LEMBAR PENGESAHAN	ii	
KATA PENGANTAR	iii	
ABSTRAK	v	
DAFTAR ISI	vii	
DAFTAR TABEL	ix	
DAFTAR GAMBAR	x	
BAB I	PENDAHULUAN	
1.1.	Latar Belakang Masalah	1-1
1.2.	Tujuan Penulisan	1-3
1.3.	Batasan Masalah	1-4
1.4.	Metodologi	1-4
1.5.	Sistematika Penulisan	1-7
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	
2.1.	Tahanan Gesek	2-4
2.2.	Aliran Laminar dan Turbulen	2-6
2.3.	Teori Lapisan Batas	2-7
BAB III	COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS	
3.1.	Sejarah Perkembangan CFD	3-1
3.2.	Persamaan Dasar Dinamika Fluida Dalam CFD	3-3
3.3.	Persamaan Aliran Viscous (Persamaan Navier-Stokes)	3-4

3.4.	Flotran CFD ANSYS 5.4	3-17
3.5.	Proses Validasi	3-19
3.6.	Pemodelan Pelat Datar dan Ellips	3-21

BAB IV ANALISIS DAN DISKUSI

4.1.	Geometri Pemodelan Pelat Datar dan Ellips	4-1
4.2	Grid Independence	4-2
4.3.	Data Jumlah Iterasi dan Waktu Running	4-8
4.4.	Analisis Distribusi Tekanan pada Permukaan Benda	4-9
4.5.	Analisis Distribusi Kecepatan Pada Model	4-14
4.6.	Analisis Titik Separasi	4-22
4.7.	Perhitungan Tebal Lapisan Batas (<i>Boundary Layer Thickness</i>), Tebal Displacemen (<i>Displacement Thickness</i>) dan Tebal Momentum (<i>Momentum Thickness</i>)	4-24
4.8.	Validasi Hasil	4-27
4.9.	Hasil dan Analisa Tahanan total (Hasil Langsung Ansys 5.4)	4-34
4.10.	Hasil dan Analisa Tahanan Total (Hasil Distribusi Tahanan Tekanan dan Tahanan Gesek Lokal Ansys 5.4)	4-35

BAB V KESIMPULAN

5.1.	Kesimpulan	5-1
5.2.	Saran	5-3

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Grid independence model pelat datar aliran laminar	4-3
Tabel 4.2.	Grid Independence pada model pelat datar aliran turbulen	4-4
Tabel 4.3.	Grid independence model ellips aliran laminar	4-6
Tabel 4.4.	Grid Independence pada model ellips aliran turbulen	4-7
Tabel 4.5.	Data jumlah iterasi dan waktu running pada model pelat datar aliran laminar	4-8
Tabel 4.6.	Data jumlah iterasi dan waktu running pada model pelat datar aliran turbulen	4-9
Tabel 4.7.	Data jumlah iterasi dan waktu running pada model ellips aliran laminar	4-9
Tabel 4.8.	Data jumlah iterasi dan waktu running pada model ellips aliran turbulen	4-9
Tabel 4.9.	Koreksi koefisien tekanan (C_p) pada titik stagnasi	4-28
Tabel 4.10.	Hasil perhitungan dan koreksi δ , δ^* , dan θ (Laminar)	4-33
Tabel 4.11.	Hasil perhitungan dan koreksi δ , δ^* , dan θ (Turbulen)	4-33
Tabel 4.12.	Hasil Perhitungan Tahaman Total	4-37

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Kurva Koefisien Tahanan	2-1
Gambar 2.2.	Skema Komponen-Komponen Tahanan Total	2-3
Gambar 2.3.	Aliran Diantara Pelat Sejajar	2-4
Gambar 2.4.	Aliran Laminar dan Turbulen	2-7
Gambar 2.5.	Lapisan batas menurut definisi, <i>displacement thickness</i> (luas persegi panjang $U \cdot \delta^*$ sama dengan luas bagian yang diarsir)	2-10
Gambar 2.6.	Separasi pada Lapisan Batas	2-12
Gambar 3.1.	Model-model aliran. (a & b) pendekatan kontrol volume-hingga, (c & d) pendekatan elemen fluida kecil tak-hingga	3-4
Gambar 3.2.	Model elemen kecil tak-hingga yang tetap-dalam-ruang	3-5
Gambar 3.3.	Gaya-gaya yang bekerja pada sumbu x pada elemen fluida kecil takhingga yang bergerak	3-9
Gambar 3.4.	(a) tegangan geser (berkaitan dengan tingkat perubahan deformasi pergeseran), dan (b) tegangan normal (berkaitan dengan tingkat perubahan volume).	3-10
Gambar 3.5.	Pemodelan Pelat Datar (Laminar dan turbulen)	3-21

Gambar 3.6.	Model elips Laminar ($a/b = 6$)	3-23
Gambar 3.7.	Model elips Turbulen ($a/b = 6$)	3-24
Gambar 4.1.	Pengaruh jumlah elemen terhadap kofisien tekanan pada titik stagnasi model pelat datar aliran laminar	4-3
Gambar 4.2.	Pengaruh jumlah elemen terhadap kofisien tekanan pada titik stagnasi model pelat datar aliran turbulen	4-5
Gambar 4.3.	Pengaruh jumlah elemen terhadap kofisien tekanan pada titik stagnasi model ellips aliran laminar	4-6
Gambar 4.4.	Pengaruh jumlah elemen terhadap kofisien tekanan pada titik stagnasi model ellips aliran turbulen	4-7
Gambar 4.5.	Distribusi tekanan pada permukaan model pelat datar (Laminar)	4-10
Gambar 4.6.	Distribusi tekanan pada permukaan model pelat datar (Turbulen)	4-11
Gambar 4.7.	Distribusi tekanan pada permukaan model ellips (Laminar)	4-12
Gambar 4.8.	Distribusi tekanan pada permukaan model ellips (Turbulen)	4-13
Gambar 4.9.	Profil Kecepatan pada aliran laminar model pelat datar	4-15
Gambar 4.10.	Profil Kecepatan pada aliran turbulen model pelat datar	4-16
Gambar 4.11.	Profil Kecepatan pada aliran laminar model ellips [CFD]	4-18
Gambar 4.12.	Profil Kecepatan pada aliran laminar model ellips [Schlichting,1968]	4-19

Gambar 4.13.	Profil Kecepatan pada aliran turbulen model ellips [CFD] dan pelat datar [Schlichting,1968]	4-20
Gambar 4.14.	Tegangan Geser pada dinding ellips [CFD]	4-22
Gambar 4.15.	Tegangan Geser pada dinding ellips J.Pretsch [Schlichting]	4-23

BAB 1

PENDAHULUAN

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pada sebuah kapal yang bergerak maju di air akan mendapatkan berbagai macam gaya dari fluida yang dilewatinya, yang salah satunya adalah gaya tahanan. Tahanan ini terdiri dari dua komponen yaitu tahanan tekanan dan tahanan gesek. Umumnya pada kapal-kapal yang bergerak di permukaan air, besarnya kontribusi tahanan gesek terhadap tahanan total kapal adalah sekitar 65 –80% [Lammeren, 1948].

Banyak penelitian secara teoritis maupun dengan memakai percobaan yang telah dilakukan untuk menentukan suatu metode perhitungan tahanan total kapal. Penanganan masalah ini secara teoritis umumnya sulit untuk dapat mencapai hasil yang dapat dipakai. Hanya masalah yang sederhana saja yang dapat diselesaikan. Di samping itu, dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan adanya keterbatasan-keterbatasan dalam metode percobaan di laboratorium. Keterbatasan-keterbatasan tersebut antara lain adanya perbedaan jenis aliran fluida yang mengalir pada percobaan dengan model dengan percobaan sesungguhnya. Hal itu disebabkan karena adanya perbedaan angka Reynolds yang digunakan pada percobaan di laboratorium dengan angka Reynolds pada kondisi sesungguhnya.

Penentuan metode perhitungan tahanan yaitu tahanan gesek secara klasik dengan memakai percobaan dilakukan oleh William Froude di kolam

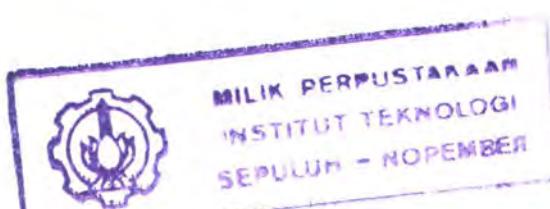
Tugas Akhir

percobaan yang pertama kali didirikan di Torquay [Harvald, 1983]. Froude menggunakan pelat tipis dengan ukuran yang berbeda-beda yang ditarik dengan berbagai variasi kecepatan di kolam air tawar. Penggunaan pelat datar ini dimaksudkan agar yang terjadi hanya tahanan gesek saja.

Seiring dengan perkembangan teknologi akhirnya ditemukan sarana untuk menganalisa perilaku fluida dengan komputer, yaitu CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Dengan hadirnya computer digital berkecepatan tinggi dan dikombinasikan dengan pengembangan dari ketelitian algoritma numerik untuk penyelesaian masalah fisik pada computer maka telah merubah dengan cepat cara kita dalam belajar dinamika fluida [Anderson, 1995].

Pada saat ini terdapat banyak perangkat lunak CFD yang dapat digunakan selain ANSYS Flotran CFD dalam analisa fluida diantaranya CFX, FLUENT, 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 *lift* dan *drag* pada airfoil [Kohnke, 1998].

Dengan perkembangan teknologi computer dan perangkat lunak CFD Flotran ANSYS tersebut tentunya kita dapat menggunakannya untuk menghitung besarnya tahanan total pada kapal. Tetapi untuk menyederhanakan permasalahan maka kita menganalisis tahanan total dengan menggunakan model pelat datar dan ellips. Hal ini dilakukan karena model ellips dapat menggambarkan bentuk badan kapal jika dilihat dari atas sedangkan pelat datar merepresentasikan bentuk *barge*.



Tugas Akhir

Untuk penyelesaian aliran dengan pendekatan tiga dimensi pada penelitian ini terdapat beberapa kendala yang dihadapi, seperti adanya keterbatasan dari hardware yang diperlukan untuk penyelesaian dalam bentuk tiga dimensi. Di samping itu juga terdapat kesulitan dalam mensimulasikan pola distribusi kecepatan sepanjang permukaan pelat datar dan ellips. Sehingga untuk mempermudah dalam mensimulasikan pola distribusi kecepatan pada model tersebut maka pemodelannya dilakukan dalam bentuk dua dimensi.

Penelitian di atas tentunya sangat menarik untuk dilakukan sehingga nantinya diharapkan dapat menghitung besarnya tahanan total dengan menggunakan model ellips dan pelat datar 2D dengan menggunakan CFD Flotran ANSYS 5.4 dan tentu saja hasilnya diharapkan cukup akurat dan dapat dipertanggung jawabkan serta biaya yang dibutuhkan jauh lebih kecil dibanding dengan melakukan eksperimen laboratorium.

1.2. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

- Menganalisis tahanan total dengan menggunakan boundary layer integral method.
- Mengetahui pola distribusi tekanan yang terjadi pada permukaan model pelat datar dan ellips.
- Mengetahui tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displacement (*displacement thickness*) dan tebal momentum (*momentum thickness*).

1.3. Batasan Masalah

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

- Pemodelan yang dilakukan adalah ellips dengan perbandingan panjang dan lebar (a/b) adalah 6 dan pelat datar yang perbandingan panjang dan tebalnya sama dengan ellips.
- Aliran yang akan disimulasikan adalah aliran Laminer dan turbulen.
- Kecepatan liquid dianggap konstan dan uniform
- Jenis fluida yang akan dianalisa adalah air tawar.
- Pemodelan yang digunakan dalam simulasi *CFD* adalah pemodelan dua dimensi (*2D*) pada aliran eksternal.
- Perangkat lunak yang digunakan untuk Computational Fluid Dynamics adalah ANSYS Flotran CFD release 5.4.

1.4. Metodologi

Untuk mencapai tujuan yang diharapkan dalam penggerjaan tugas akhir ini, metodologi yang digunakan yaitu: studi literatur, penyelesaian masalah dengan simulasi menggunakan *software CFD Flotran ANSYS 5.4*. Adapun 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 :

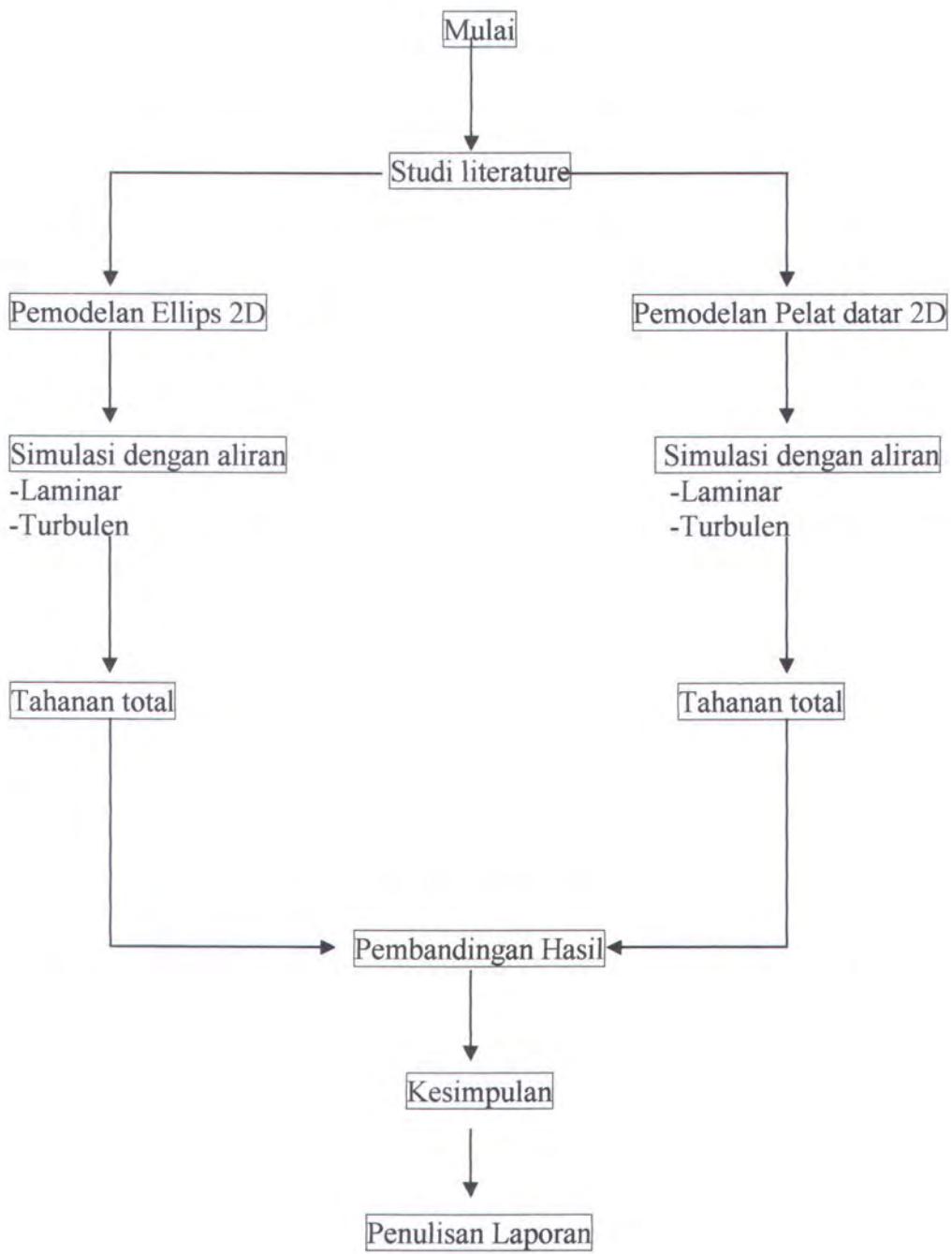
- Prinsip-prinsip dasar aliran fluida.

Tugas Akhir

- Teori mekanika fluida yang membahas masalah aliran yang melewati benda dua dimensi.
 - Teori tahanan kapal
 - Teori *boundary-layer*.
 - Teori *Computational Fluid Dynamics (CFD)*.
2. Pemodelan geometri (*CFD*)
- Dilakukan pemodelan dengan :
- Bentuk *ellips*
 - Bentuk *pelat datar*
3. Solusi permasalahan dengan *CFD*
- Dilakukan simulasi aliran laminar dan turbulen pada model ellips dan pelat datar dengan kecepatan aliran yang dianggap konstan dan uniform.
4. Sintesa dan analisa
- Pada tahap ini dilakukan analisa terhadap tahanan total dari masing – masing model, 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 .
5. Penulisan Laporan

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

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

Berisi teori dasar yang berkenaan dengan permasalahan yang dibahas serta metode penyelesaian yang dipakai.

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 ANSYS 5.4* dalam menyelesaikan masalah yang dibahas dan pembuatan model pelat 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

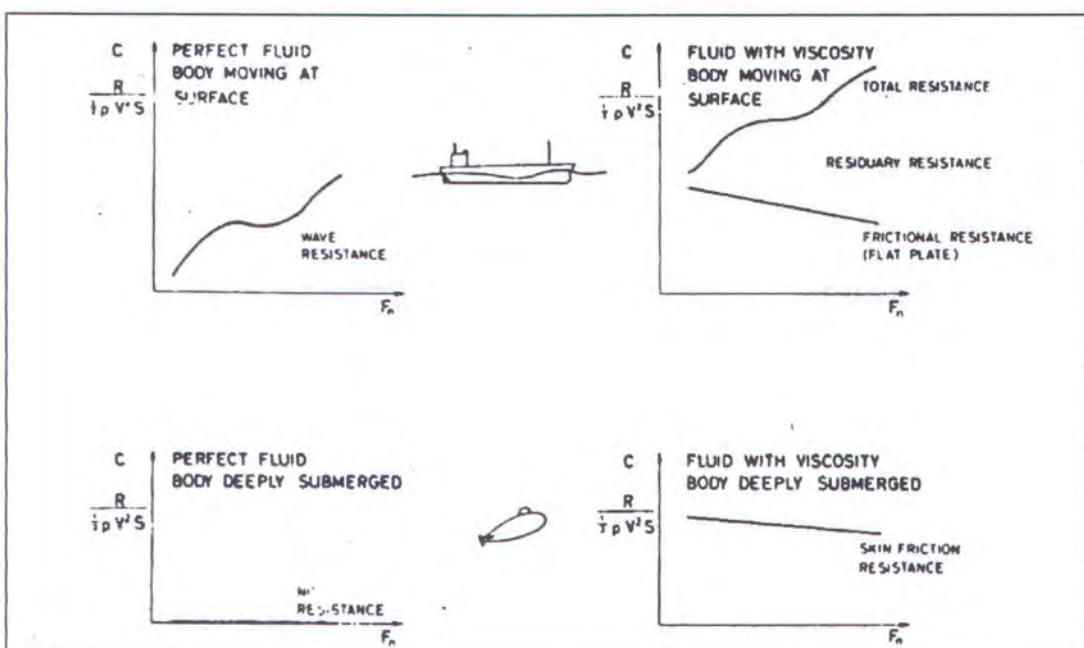
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Tahanan (*resistance*) kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal [Harvald,1983]. Tahanan tersebut sama dengan komponen fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal. Pada umumnya *resistance* merupakan istilah yang sering digunakan dalam bidang hidrodinamika, sedangkan *drag* biasanya dipakai untuk bidang aerodinamika dan untuk bidang benam. Gambar 2.1 menunjukkan beberapa kurva koefisien tahanan untuk benda yang bergerak dipermukaan atau yang terbenam di dalam fluida sempurna dan fluida yang mempunyai viskositas.



Gambar 2.1 Kurva Koefisien Tahanan

Tugas Akhir

Kordinat horizontalnya adalah angka Froude:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (2.1)$$

Sedangkan ordinatnya adalah koefisien tahanan yang didefinisikan sebagai:

$$C = \frac{R}{1/2 \rho V^2 S} \quad (2.2)$$

Dimana V adalah kecepatan, L panjang benda, g percepatan gravitasi, ρ massa jenis dan S luas permukaan basah benda.

Lingkungan juga berpengaruh terhadap tahanan. Bila kapal bergerak di air yang terbatas, maka dinding pembatas air akan cukup dekat untuk bisa mempengaruhi tahanan kapal. Yang dimaksud terbatas adalah dekatnya jarak dinding pembatas air dalam arah horizontal. Di samping itu kedangkalan air juga mempunyai pengaruh pada tahanan. Bila membandingkan karakteristik untuk kerja kapal maka karakteristik yang harus dibandingkan adalah karakteristik di daerah perairan yang mempunyai panjang, lebar dan kedalaman tak terbatas.

Agar dapat menangani tahanan secara praktis maka tahanan total harus ditinjau secara praktis pula, yang mana tahanan total dipandang sebagai sesuatu yang terdiri dari komponen yang saling dikombinasikan. Maka tahanan total dapat dituliskan dalam dua komponen besar sebagai berikut :

$$R_T = R_f + R_p \quad (2.3)$$

dimana :

$$R_f = \int_{\xi} \tau_0 \cos(\tau_0, x) ds \quad (2.4)$$

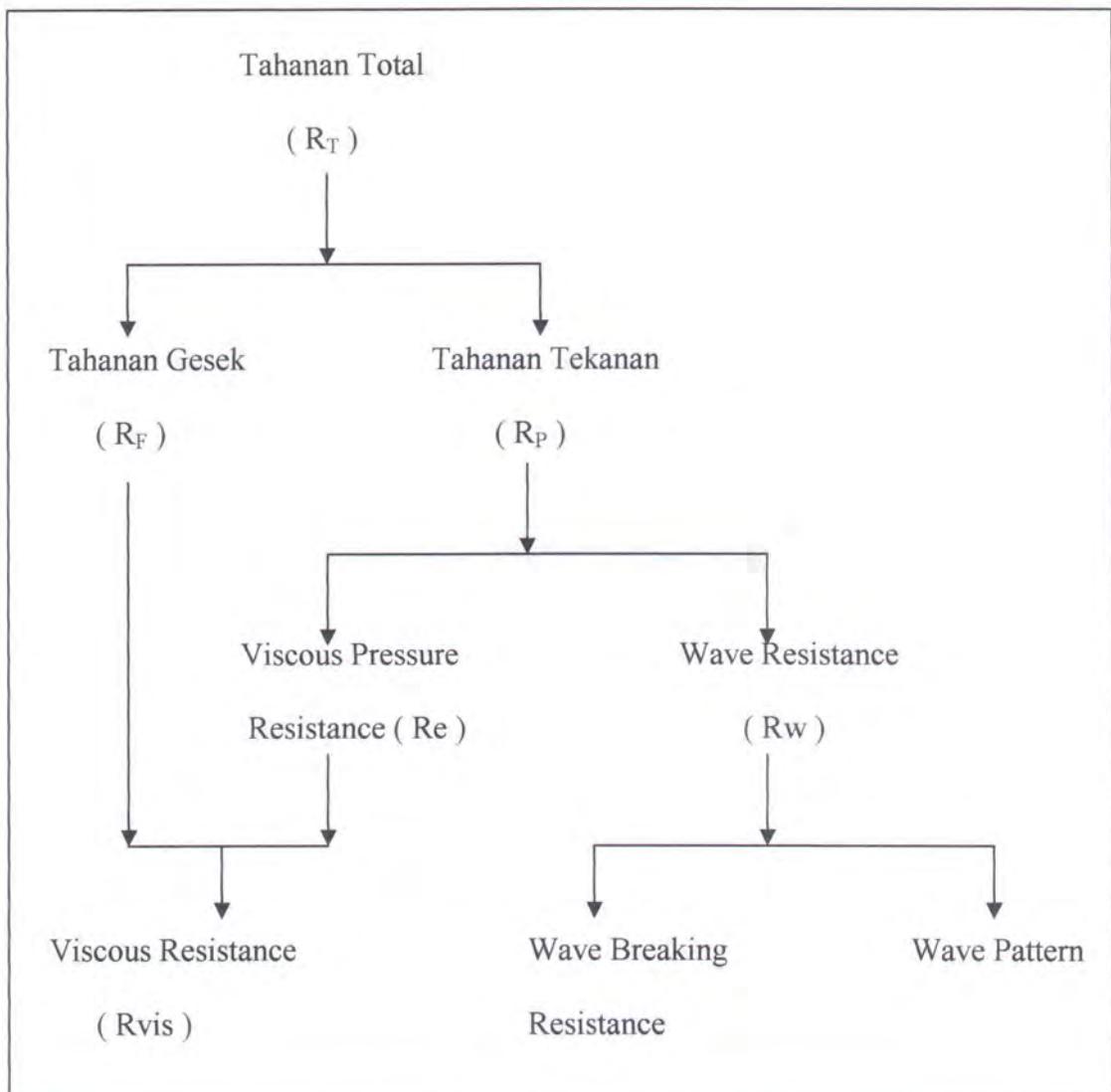
Tugas Akhir

$$R_p = \int_{\zeta} p \cos(\tau_0, x) ds \quad (2.5)$$

R_f = tahanan gesekan

R_p = tahanan tekanan

Tahanan total kapal dapat juga dibagi dalam beberapa komponen tahanan seperti skema di bawah ini :

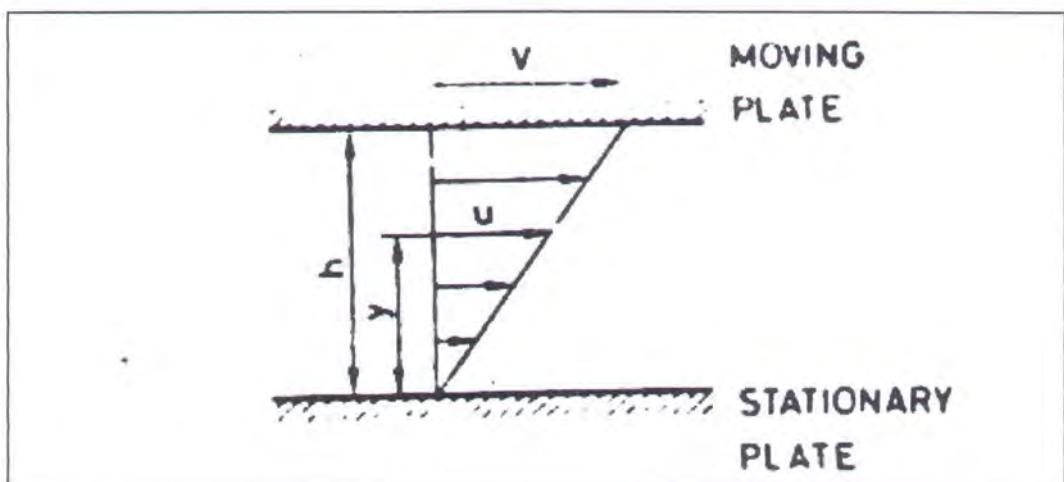


Gambar 2.2 Skema Komponen-Komponen Tahanan Total

2.1 Tahanan Gesek

Salah satu komponen tahanan total adalah tahanan gesek (*friction resistance*). Tahanan gesek merupakan komponen tahanan yang diperoleh dengan cara mengintegralkan tegangan tangensial ke seluruh permukaan basah benda menurut arah gerakan benda [Lammeren, 1948]. Tegangan tangensial ini timbul bila benda bergerak di fluida yang mempunyai kekentalan (*viscosity*). Semua fluida mempunyai viskositas dan dengan adanya viskositas ini akan menimbulkan gaya gesekan. Gaya gesekan ini tergantung pada jenis fluida dan konfigurasi fisik atau pola aliran (*flow pattern*). Jika gaya gesekan tersebut dapat diabaikan maka alirannya dapat disebut aliran ideal (*ideal flow*).

Viskositas merupakan suatu ukuran tahanan fluida terhadap gesekan bilamana fluida tersebut bergerak. Dalam Gambar. 2.3 diperlihatkan suatu fluida viskos dalam jumlah yang cukup di antara dua buah pelat yang sejajar dengan jarak h .



Gambar 2.3 Aliran Diantara Pelat Sejajar

Tugas Akhir

Dua buah pelat tersebut berada dalam gerakan yang relatif tunak (*steady*), sedangkan jarak antara h selalu tetap. Fluida yang berada diantara kedua pelat tersebut akan mempunyai profil kecepatan yang linier bilamana sepanjang pelat tersebut tidak ada gradien tekanan (*pressure gradient*). Lapisa fluida yang menyentuh pelat tidak mempunyai kecepatan relatif terhadap pelat yang bersangkutan atau dengan kata lain antara fluida dengan kedua pelat tersebut tidak terjadi slip (*no slip*). Fluida tersebut akan terdorong sedemikian rupa sehingga berbagai lapisan fluida dapat saling bergeser secara seragam (*uniform*). Kecepatan lapisan yang berjarak y dari pelat yang diam dapat dinyatakan sebagai :

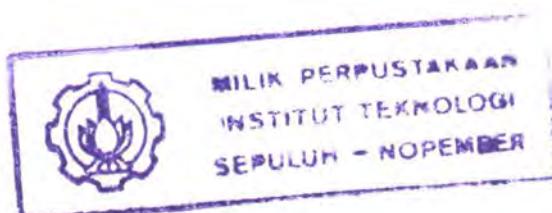
$$U = \frac{y}{h} V \quad (2.6)$$

dimana V adalah kecepatan pelat yang bergerak.

Untuk mempertahankan gerakan pelat ini, harus ada gaya F yang bekerja pada pelat yang bergerak. Percobaan menunjukkan bahwa gaya tersebut berbanding lurus dengan luas pelat dan berbanding terbalik dengan jarak antara kedua pelat. Ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$F = \mu \frac{S V}{h} \quad (2.7)$$

dimana S adalah luas pelat dan μ adalah koefisien viskositas dinamis (*dynamic viscosity*). Gaya F sama dengan tahanan yang dihasilkan oleh pergerakan pelat dan dapat diterangkan dengan mengasumsikan bahwa di seluruh fluida viskos yang bergerak terdapat tegangan tangensial atau gaya geser yang melawan perubahan bentuk yang terjadi. Dengan meninjau elemen kecil pada fluida yang



sedang dalam keadaan bergeser dengan lainnya maka pers. (2.7) dapat ditulis kembali sebagai berikut :

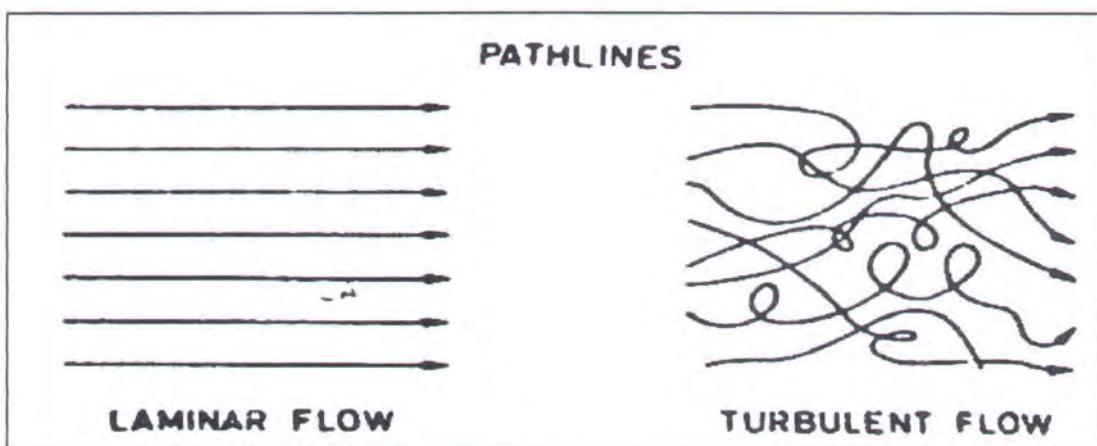
$$\tau = \mu \frac{\partial U}{\partial y} \quad (2.8)$$

dimana τ adalah tegangan geser dan $\partial U/\partial y$ adalah gradien kecepatan (*velocity gradient*) atau laju perubahan kecepatan sebagai fungsi dari jarak y dari pelat yang diam. Persamaan (2.8) ini dapat diintegralkan terhadap seluruh permukaan benda untuk mendapatkan hasil tahanan gesek.

2.2. Aliran Laminar dan Turbulen

Dalam bidang hidrodinamika terdapat dua macam aliran viscous yaitu aliran laminar dan aliran turbulen [Fox and McDonald, 1994].

Dalam aliran laminar, fluida bergerak sebagai sejumlah lapisan atau laminasi. Semua lapisan tersebut tidak aling memotong dan membaur, tetapi saling bergeser pada kecepatan relatif yang bervariasi dalam penampang aliran. Sedangkan aliran turbulen, komponen kecepatan fluida mempunyai fluktuasi yang tak menentu. Aliran tersebut terpotong dan terbaur dalam gerakan ulakan (*eddying motion*). Kecepatan aliran harus dipandang sebagai harga rata-rata kecepatan partikel. Dalam Gambar.2.4 akan ditunjukkan pola aliran laminar dan turbulen.



Gambar 2.4 Aliran Laminar dan Turbulen

Faktor yang menentukan laminar atau turbulennya suatu aliran adalah fluida, kecepatan, bentuk dan ukuran benda yang diletakkan di dalam aliran. Baik aliran laminar ataupun aliran turbulen ada dalam kenyataan, tetapi aliran turbulen adalah keadaan yang lebih umum. Bila kecepatan bertambah, maka aliran akan berubah dari laminar ke turbulen, melalui daerah transisi. Transisi terjadi pada angka Reynolds (*Reynolds number*) $Rn = 10^5 - 10^6$. Dengan demikian, dalam percobaan model aliran di suatu daerah yang tak diketahui di model dapat saja bersifat laminar yang berarti bahwa ketepatan percobaan sering tak sebaik yang diinginkan.

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 ke tebal sesungguhnya daerah aliran yang terhambat, δ . Namun, perlu diingat bahwa lapisan batas 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_∞ di titik asimptot, maka dalam pengukuran profil kecepatan lapisan batas δ lazim didefinisikan sebagai jarak dari batas ke titik dimana $u = 0.99 U_\infty$ [Schlichting, 1968].

- Tebal displasemen (*displacement thickness*) δ^* 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

$$\delta^* = \frac{1}{U_\infty} \int_0^\delta (U_\infty - u) dy = \int_0^\delta \left(1 - \frac{u}{U_\infty}\right) dy \quad (2-9)$$

Atau besarnya harga *displacement thickness* adalah sekitar $\frac{1}{3}$ dari *boundary*

layer thickness δ [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_∞ melalui kedalaman aliran yang dikurangi dengan θ [Olson dan Wright, 1990], yang dapat diekspresikan sebagai

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

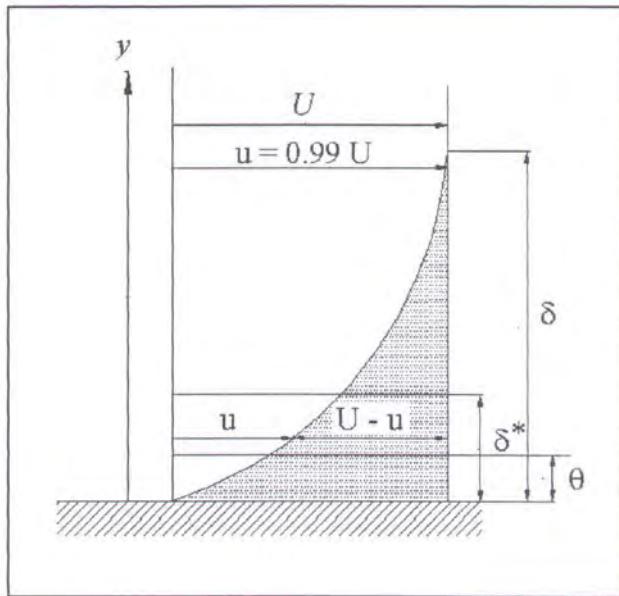
sehingga

$$\theta = \int_0^\delta \frac{u}{U_\infty} \left(1 - \frac{u}{U_\infty} \right) dy \quad (2-10)$$

Atau besarnya harga *momentum thickness* adalah sekitar $\frac{1}{6}$ dari *boundary*

layer thickness δ [Schlichting, 1968].

Jika $\frac{u}{U_\infty}$ diekspresikan menurut y , maka δ^* dan θ dapat diekspresikan menurut δ . Harga δ , pada gilirannya dapat ditemukan dari sebuah solusi persamaan lapisan batas. Gambar 2.5, menjelaskan *boundary layer thickness*, *displacement thickness*, dan *momentum thickness* [Olson dan Wright, 1990].



Gambar 2.5. Lapisan batas menurut definisi, *displacement thickness* (luas persegi panjang $U.\delta^*$ sama dengan luas bagian yang diarsir).

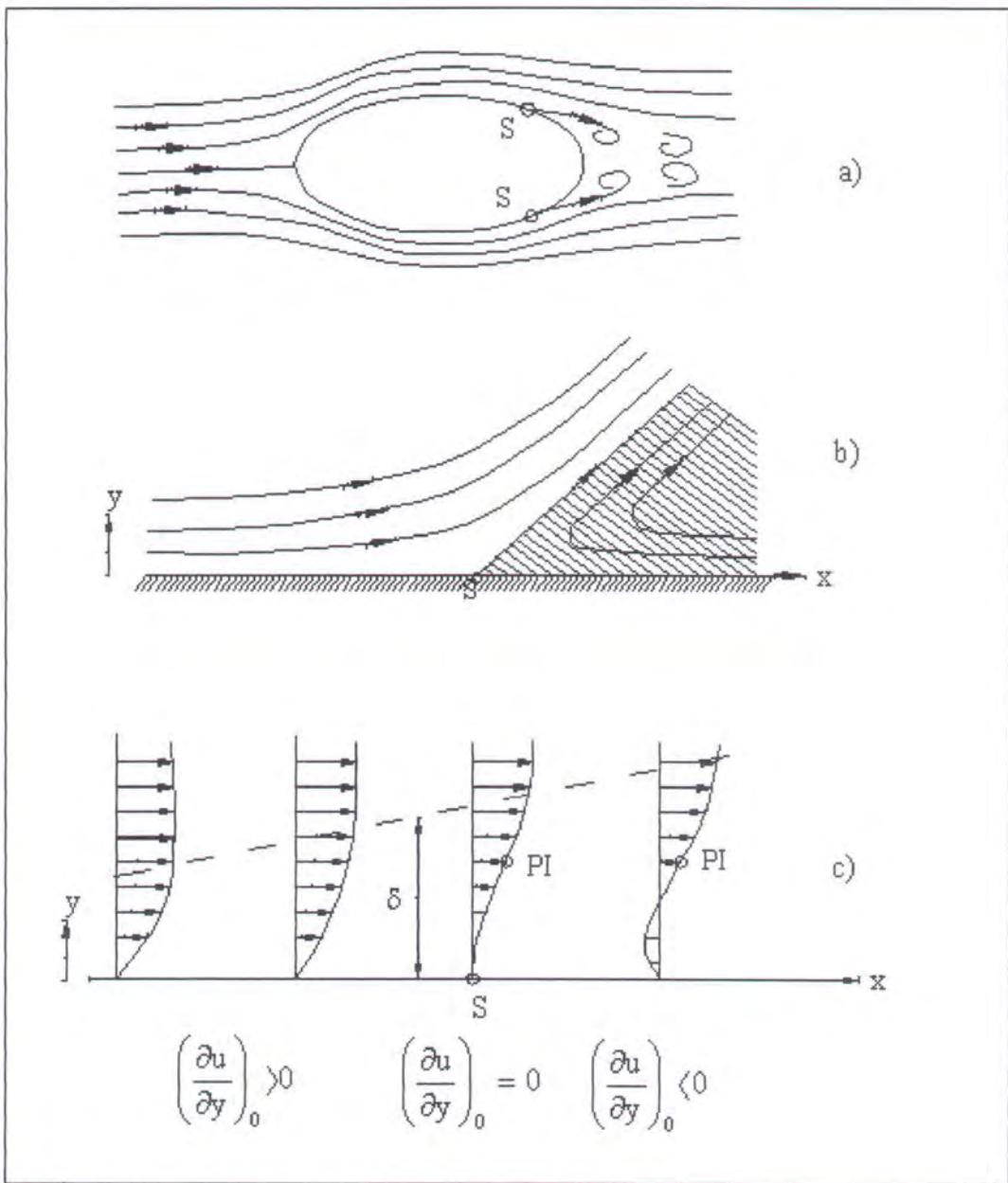
2.3.2. Pemisahan Lapisan Batas

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 2.6. 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

$$\text{titik separasi : } \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=0} = 0 \quad (2-11)$$

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 mengantikan 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 2.6. 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 tediri dari persamaan kontinuitas dan hubungan momentum pada arah-arah x dan y .

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.12a)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2.12b)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (2.12c)$$

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* [Schlichting, 1968] menyimpulkan dengan betul bahwa suatu lapisan batas haruslah sangat tipis apabila bilangan Reynoldsnya besar, sehingga pendekatan ini berlaku yaitu

$$\text{Kecepatan} : v \ll u \quad (2.13a)$$

$$\text{Laju perubahan} : \frac{\partial}{\partial x} \ll \frac{\partial}{\partial y} \quad (2.13b)$$

Tugas Akhir

Jika pendekatan di atas dipakai dalam persamaan (2.12c), kita peroleh penyederhanaan yaitu

$$\frac{\partial p}{\partial y} \approx 0 \text{ atau } p \approx p(x) \text{ saja} \quad (2.14)$$

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 (2.12b) dianggap telah diketahui lebih dahulu dari persamaan Bernoulli yang diterapkan pada aliran luar inviscid.

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{dp}{dx} = -\rho U \frac{dU}{dx} \quad (2.15)$$

Akibat dari persamaan (2.13), maka satu suku dalam persamaan (2.12b) dapat diabaikan

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \ll \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2.16)$$

Namun tidak ada suku yang dapat diabaikan dalam persamaan kontinuitas (2.12), ini merupakan peringatan bahwa kontinuitas senantiasa menjadi bagian yang vital dari setiap analisis aliran fluida.

Hasilnya, ketiga persamaan gerak yang lengkap (2.12) tinggal menjadi dua persamaan lapisan batas Prandtl, yaitu

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

$$\text{Momentum sepanjang dinding} : u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \approx U \frac{dU}{dx} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial y} \quad (2.17b)$$

Tugas Akhir

Dalam persamaan (2.17b), $\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$ untuk aliran laminer dan

$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} - \rho \bar{u'v'}$ 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

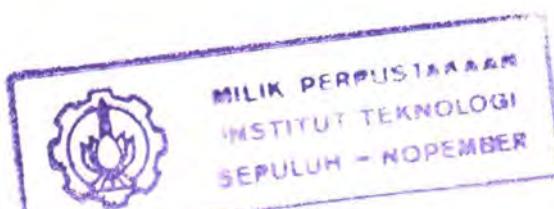
$$\text{Pada } y = 0 \text{ (dinding)} \rightarrow u = v = 0 \text{ (tidak terjadi slip)} \quad (2.18a)$$

$$\text{Pada } y = (x) \text{ (aliran luar)} \rightarrow u = U(x) \text{ (penambalan)} \quad (2.18b)$$

Persamaan lapisan batas telah diselesaikan untuk banyak kasus yang menarik, baik untuk aliran dalam, maupun untuk aliran luar, laminer 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 2.6a 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 2.6a, gradien yang menguntungkan terjadi di depan dan gradien yang merugikan terjadi di belakang.



Dari persamaan momentum (2.17b) pada dinding, tempat $u = v = 0$, kita dapatkan

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

atau

$$\left. \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right|_{dinding} = \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dx} \quad (2.19)$$

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 inflection*), 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

Dalam studi dan pengembangan dari keseluruhan disiplin ilmu dinamika fluida, *Computational Fluid Dynamics (CFD)* adalah bentuk baru “pendekatan ketiga” 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].

Tugas Akhir

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/FLOTTRAN* 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 5.4* dengan salah satu kemampuannya yaitu menyelesaikan perhitungan boundary layer, serta koefisien tekanan dan tegangan geser pada permukaan benda pelat datar dan ellips.

3.2. Persamaan Dasar Dinamika Fluida dalam CFD

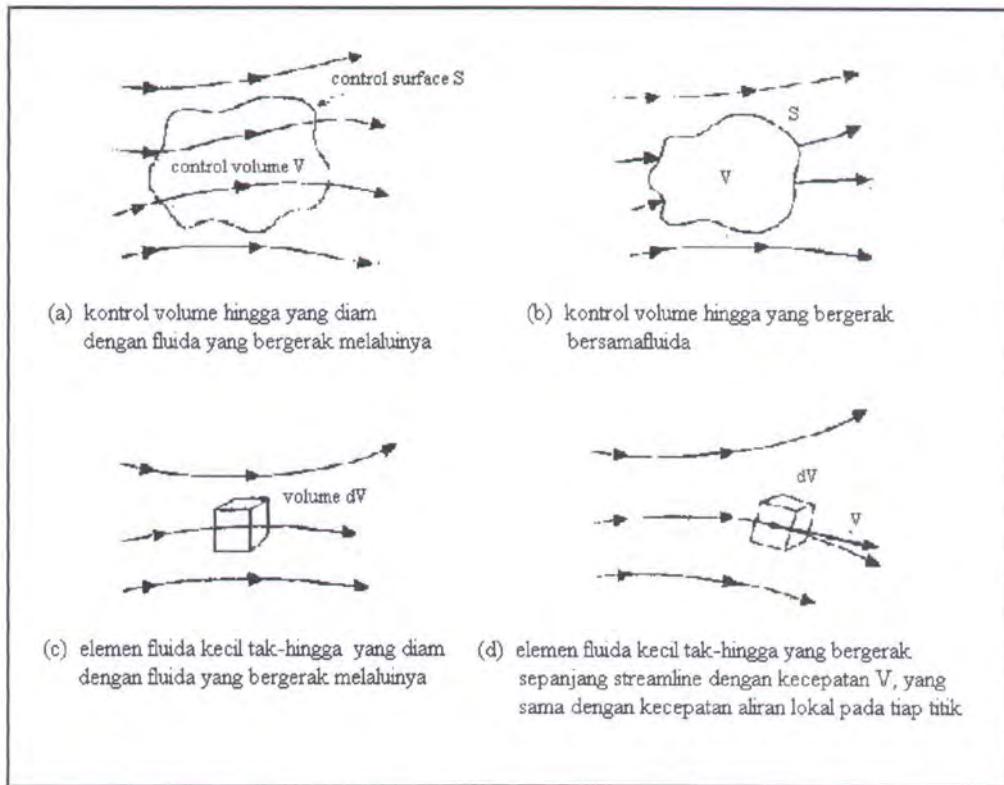
Pada dasarnya semua jenis *CFD* didasarkan pada persamaan umum (*governing equations*) dinamika fluida, yaitu persamaan kontinuitas, momentum, dan energi. Persamaan-persamaan ini merupakan pernyataan matematis untuk tiga prinsip dasar fisika yang merupakan dasar semua pengembangan dinamika fluida [Anderson,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



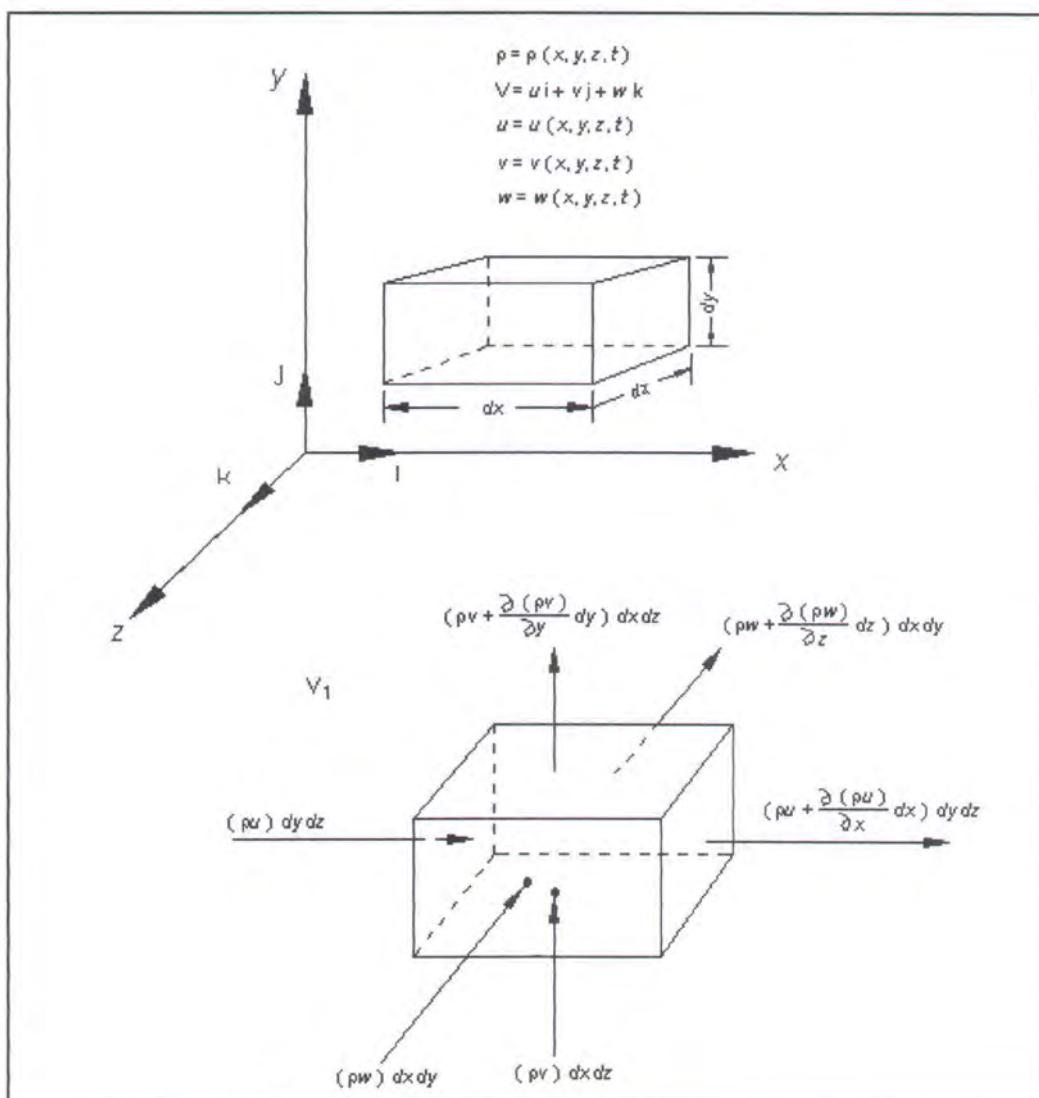
Gambar 3.1. Model-model aliran. (a & b) pendekatan kontrol volume-hingga, (c & d) pendekatan elemen fluida kecil tak-hingga.

3.3. Persamaan Aliran Viscous (Persamaan Navier~Stokes)

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

3.3.1. Persamaan Kontinuitas

Pada Gambar 3.1c diperlihatkan elemen kecil tak-hingga (*infinitesimal fluid element*) 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 elemen kecil 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 $\nabla \cdot (\rho V)$, maka persamaan (3.7) menjadi :

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

Dalam koordinat Cartesian, operator vektor ∇ didefinisikan sebagai :

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

V adalah vektor kecepatan dalam koordinat Cartesian.

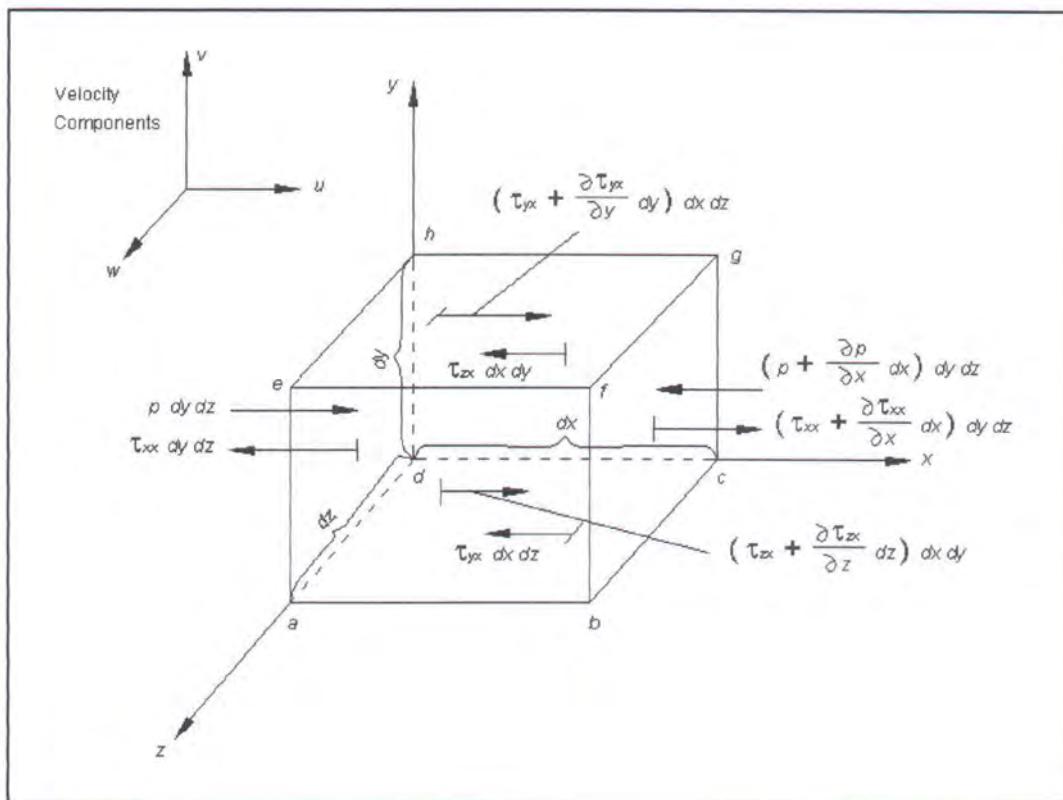
$$\mathbf{V} = u\mathbf{i} + v\mathbf{j} + w\mathbf{k}. \quad (3.10)$$

$\nabla \cdot V$ 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 tahaningga yang bergerak

Hukum kedua Newton dalam arah x dapat ditulis sebagai berikut:

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

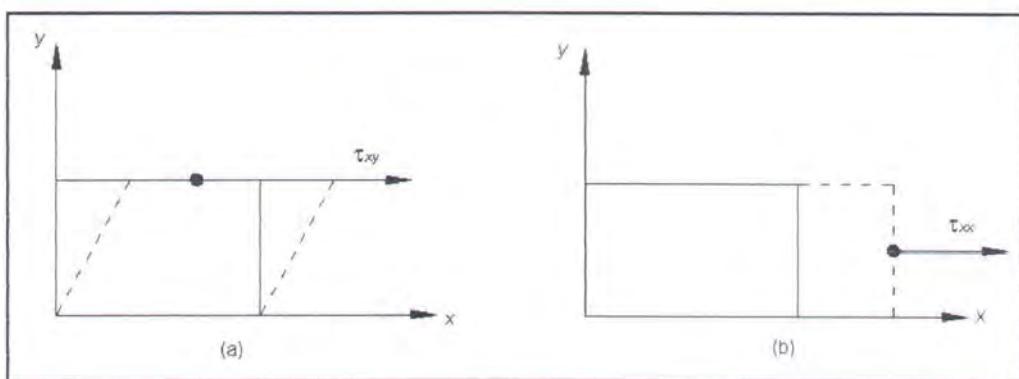
F_x dan a_x adalah komponen skalar arah x untuk gaya dan percepatan.

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 τ_{xy} , berkaitan dengan

deformasi-pergeseran, sedangkan tegangan normal (τ_{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 τ_{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 τ_{ij} menandai tegangan dalam arah *j* dan berlaku dalam bidang tegak lurus terhadap sumbu *i*. Pada permukaan *abcd*, gaya 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 τ_{yx} arahnya ke kiri (negatif sumbu *x*), sedangkan pada permukaan atas, $\tau_{yz} + (\partial \tau_{yx} / \partial y) dy$ arahnya ke kanan. Arah-arah 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-arah dari seluruh tegangan *viscous* diperlihatkan dalam Gambar 3.3, termasuk τ_{xx} , bisa disusun dengan cara yang sama. Khusus di permukaan *dcgh*, τ_{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 τ_{xx} berada dalam permukaan *adhe* adalah sebagai “engsel-kiri” (*left hinge*) 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 kerena 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 =

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

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

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

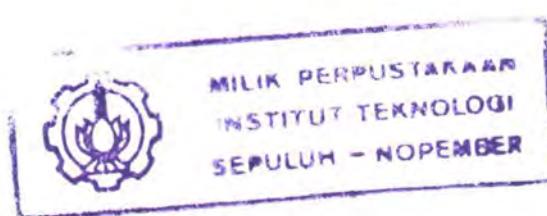
Massa elemen fluida yaitu :

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

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 :



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

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 :

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

Substisi 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 :

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

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

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 τ -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 μ adalah koefisien viskositas molekul dan λ 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 :

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

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

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

3.4. Flotran CFD ANSYS 5.4

Dalam penyelesaian masalah dengan menggunakan *Flotran CFD ANSYS 5.4* terdiri dari tiga tahap, yaitu *Preprocessor*, *Solution (Flow Solver)*, dan *General Postproc (Post Processor)*.

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*
 - *laminer* atau *turbulen*
 - *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 [ANSYS Theory Reference release 5.4]

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

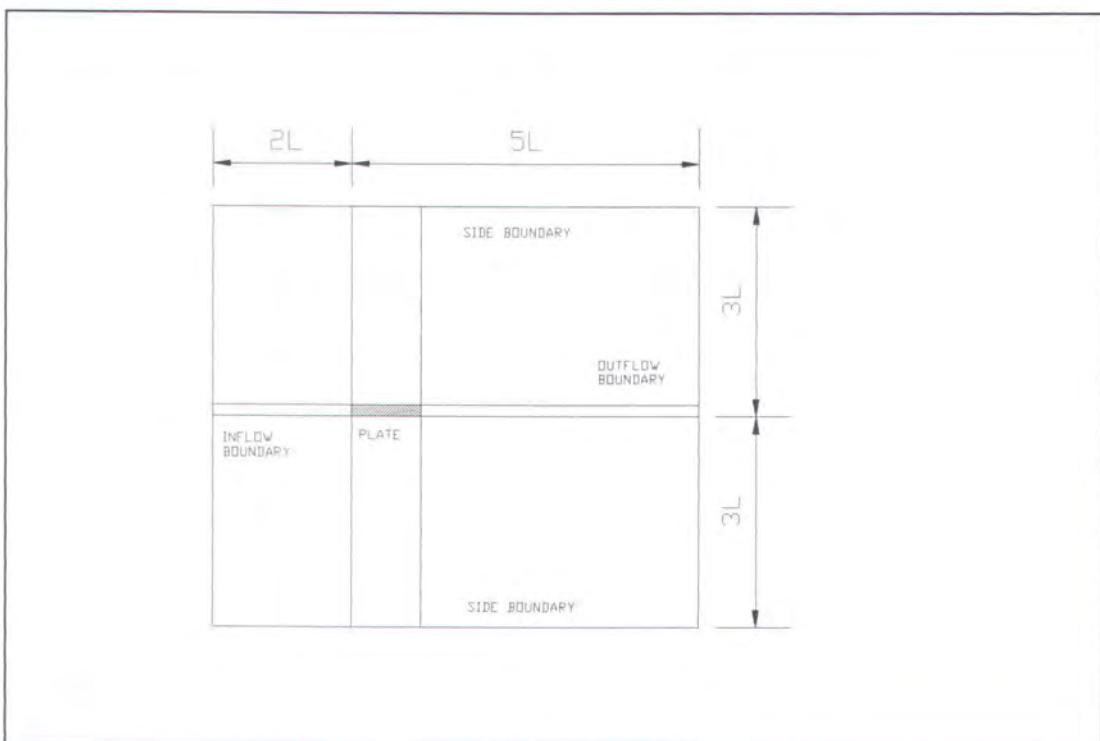
Hasil perhitungan dengan pendekatan *CFD* dibandingkan dengan teori atau data lain yang sudah ada untuk mengetahui tingkat keakurasiannya. Sehingga hasil yang didapatkan dapat dipercaya dan dipertanggungjawabkan.

3.6. Pemodelan Pelat Datar dan Ellips

Dalam menganalisa tahanan total model pelat datar 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:
 - Pelat Datar (Laminar dan turbulen)



Gambar 3.5. Pelat Datar (Laminar dan turbulen)

Tugas Akhir

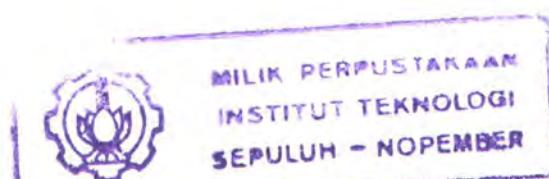
Pelat datar yang dimodelkan mempunyai perbandingan panjang dan tebal yaitu 6 dimana panjangnya = 2.4384 m dan tebalnya = 0.4064 m. Batas fluida (*domain*) yang dipakai berbentuk bujursangkar. Pendefinisian geometri dari domain permasalahan merupakan hasil kombinasi dari domain permasalahan untuk kondisi aliran eksternal (*external flow*). Menurut Utama (1999), kondisi optimum yang bekerja pada model pada keadaan aliran eksternal adalah :

- Jarak sisi depan (inlet) terhadap model berkisar $2L - 3L$
- Jarak samping ke sisi model $\geq 2L$
- Jarak sisi belakang (outlet) terhadap model berkisar $3L - 5L$

Dengan mengadopsi dan mengkombinasikan referensi bentuk domain di atas, maka domain untuk permasalahan ini dibuat. Domain ini kemudian diselesaikan oleh komputasi. Proses ini dilakukan berulangkali hingga domain yang optimal didapatkan, yaitu domain yang memiliki ukuran minimal tetapi tidak mempengaruhi aliran yang terjadi.

Setelah menjalankan beberapa ukuran domain permasalahan yang berbeda pada perangkat lunak, maka geometri domain permasalahan untuk keperluan analisis tahanan total pada pelat datar adalah sebagai berikut :

- Jarak inlet dari ujung depan model pelat datar adalah $2L$
- Jarak samping ke sisi model pelat datar adalah $3L$
- Jarak outlet dari ujung belakang model pelat datar adalah $4L$

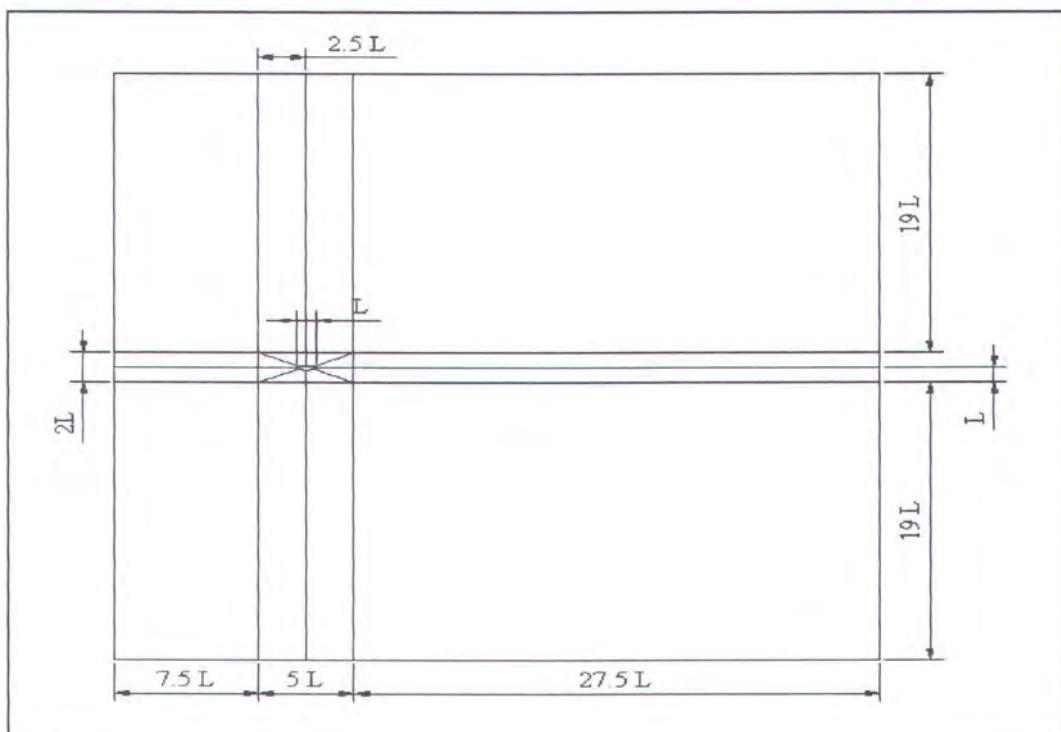


Tugas Akhir

Untuk lebuh jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.5 di atas.

- Elips (Laminar)

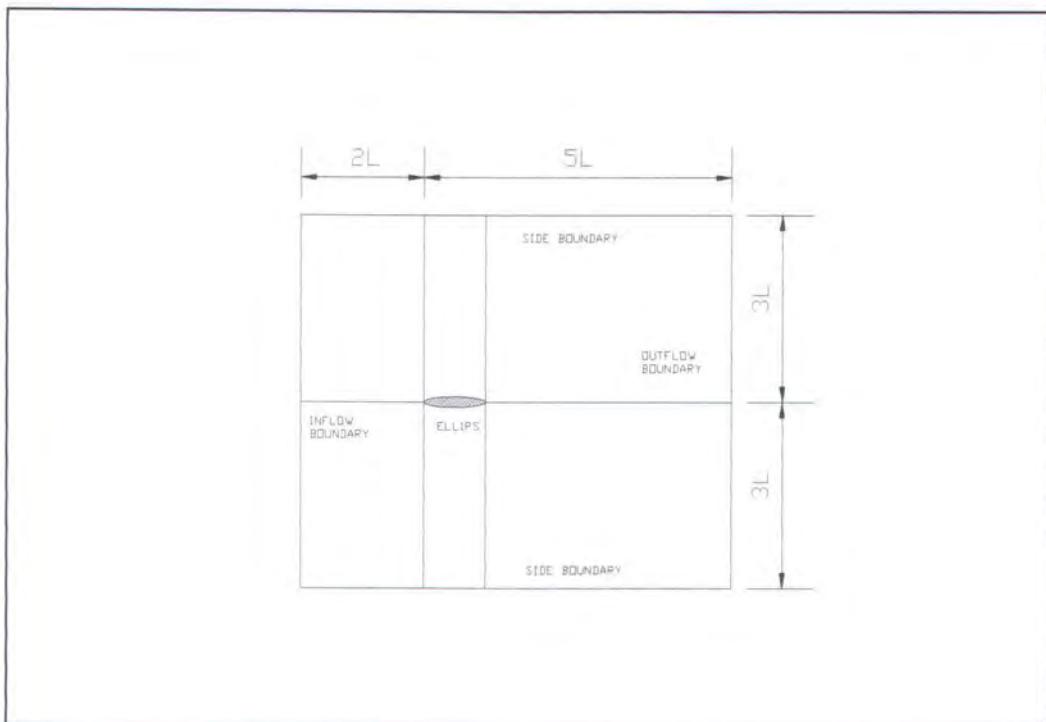
Elips yang dimodelkan mempunyai perbandingan panjang dan lebar = 6 dimana panjangnya = 2.4384 m dan lebarnya = 0.4064 m. Batas fluida (*domain*) yang dipakai berbentuk bujursangkar dengan panjang dan lebar keseluruhan 40 kali panjang chord. Domain yang berbentuk bujursangkar tersebut kemudian masih dibagi lagi atas beberapa empat persegi panjang. Domain di bawah ini adalah domain yang paling optimal untuk aliran laminar pada ellips setelah dilakukan uji coba beberapa kali. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.6. Model elips ($a/b = 6$)

Tugas Akhir

- Elips (Turbulen)



Gambar 3.7. Model elips ($a/b = 6$)

Ellips yang dimodelkan mempunyai perbandingan panjang dan lebar yaitu 6 dimana panjangnya = 2.4384 m dan lebarnya = 0.4064 m. Batas fluida (*domain*) yang dipakai berbentuk bujursangkar. Adapun geometri dari domain adalah sebagai berikut :

- Jarak inlet dari ujung depan model pelat datar adalah $2L$

Tugas Akhir

- Jarak samping ke sisi model pelat datar adalah $3L$
- Jarak outlet dari ujung belakang model pelat datar adalah $4L$

Domain di atas adalah domain yang paling optimal untuk aliran turbulen pada ellips setelah dilakukan uji coba beberapa kali.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.7 di atas.

- 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, $Vx = 0,0005 \text{ m/dt}$ (laminar), $Vx = 1.016 \text{ m/dt}$ (turbulen), dan $Vy = 0 \text{ m/dt}$.
 - Pada batas domain atas dan bawah, $Vy = 0 \text{ m/dt}$
 - Pada batas outflow, tekanan (*pressure*) = 0 Pa atau N/m^2 .
 - Pada permukaan lingkaran dan ellips $Vx = Vy = 0 \text{ m/dt}$.

□ Flotran Set-Up

- Solution options: Steady state, Adiabatic, Laminar, Incompressible.

Reynolds untuk pelat datar dan ellips yang dialiri aliran laminar adalah $Re = 1000$ dan untuk aliran turbulen model pelat datar dan ellips $Re = 2,175 \cdot 10^6$

Tugas Akhir

- Execution control : $P = 0.001$
 - Additional Out : Output wall shear stress
 - Fluid properties :
 - density = Liquid
= 999
 - viscosity = Liquid
= 0.00113788098
 - Flow environment : tekanan = 1 atm = 101350 N/m^2
- Run FLOTTRAN

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

Percobaan numerik ini dilakukan dengan menggunakan CFD Flotran ANSYS 5.4 yang dijalankan diatas system operasi Windows98. Komputer yang digunakan memiliki spesifikasi AMD Duron 850 MHz dengan kapasitas memori 128 MB dan hard disk 20 Giga Bytes.

4.1. Geometri Model Pelat Datar dan Ellips

4.1.1. Model Pelat Datar

Untuk mendapatkan data tahanan total pada pelat datar yang telah dimodelkan secara 2D dalam software Flotran CFD ANSYS 5.4, maka harus diketahui geometrinya terutama panjang dan tebal serta kecepatan penarikannya. Adapun perbandingan panjang dan tebal pelat adalah 6 dimana panjang pelat yaitu $8 \text{ ft} = 2.4384 \text{ m}$ dengan tebal 0.4064 m . Pelat tersebut dialiri aliran laminar dengan kecepatan 0.0005 m/s dan aliran turbulen dengan kecepatan $200 \text{ ft/min} = 1.016 \text{ m/s}$. Model pelat datar yang digunakan mempunyai permukaan tanpa kekasaran atau rata.

4.1.2. Model Ellips

Dengan tujuan yang sama seperti pada model pelat datar maka pada model ellips mempunyai perbandingan chordnya (a/b) adalah 6 dimana panjang ellips yaitu $8 \text{ ft} = 2.4384 \text{ m}$ dan lebar 0.4064 m . Model ellips juga dialiri dengan aliran

laminar dengan kecepatan 0.0005 m/s dan aliran turbulen dengan kecepatan 200 ft/min = 1.016 m/s.

4.2. Grid Independence

Grid Independence bertujuan untuk mendapatkan jumlah elemen model yang efektif, yaitu data yang dihasilkan mempunyai keakurasi yang baik, serta jumlah elemen yang efisien, yaitu tidak memakan waktu yang lama dalam proses iterasi dan tidak membutuhkan space harddisk 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 digunakan 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 grid independence adalah koefisien tekanan (*coefisien pressure*) pada titik stagnasi (*stagnation point*).

4.2.1. Model Pelat Datar

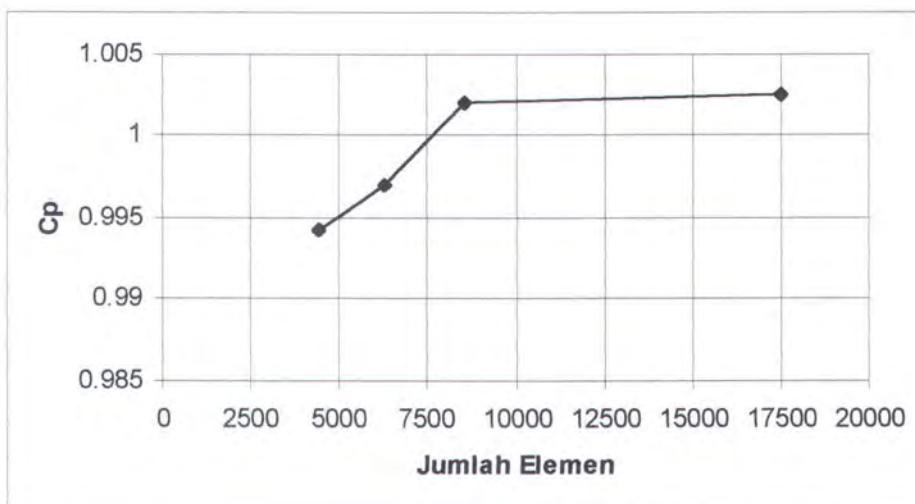
Pada model pelat datar, pengujian dilakukan dengan memberi aliran laminar dan turbulen.

a. Aliran Laminar

Pengujian dilakukan dengan berbagai variasi jumlah elemen antara lain 4400, 6300, 8540, dan 17500 elemen. Hasil dari proses grid independence dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan gambar 4.1.

Tabel 4.1. Grid independence model pelat datar aliran laminar

J. Elemen	Cp max
4400	0.9943
6300	0.997
8540	1.002
17500	1.003



Gambar 4.1 Pengaruh jumlah elemen terhadap koefisien tekanan pada titik stagnasi model pelat datar aliran laminar.

Tugas Akhir

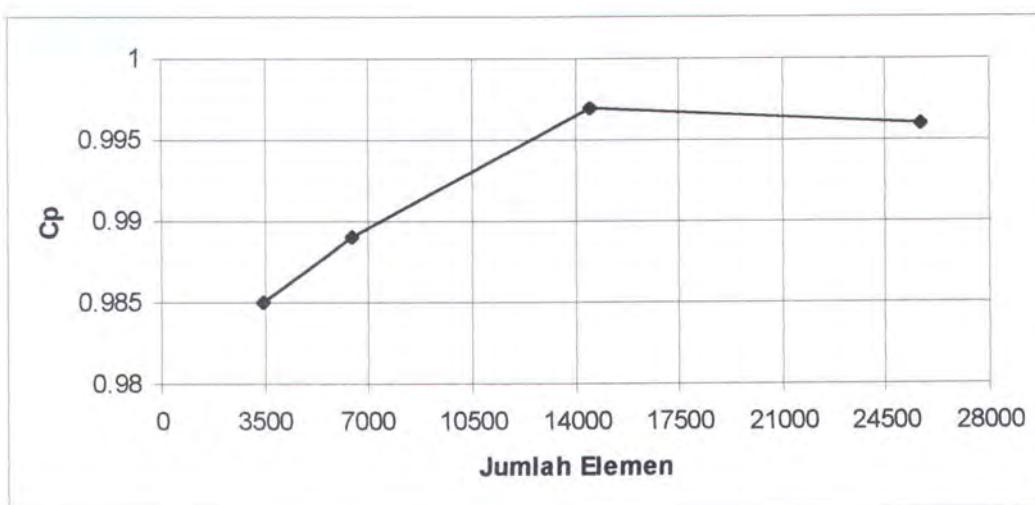
Dari Tabel 4.1 dan Gambar 4.1 terlihat bahwa elemen dengan jumlah 4400 memiliki perbedaan koefisien tekanan di titik stagnasi yang cukup besar dengan jumlah elemen yang lain. Hal ini ditandai dengan bentuk grafik yang mempunyai kemiringan (*slope*) cukup besar. Begitu juga dengan jumlah elemen 6300. Sedangkan jumlah elemen 8540 dan 17500 mempunyai selisih koefisien tekanan di titik stagnasi yang kecil dan cenderung membentuk garis lurus horizontal. Dengan pertimbangan tersebut, maka jumlah elemen yang dipakai sebanyak 8540 buah.

b. Aliran Turbulen

Pengujian dilakukan dengan jumlah elemen antara lain 3432, 6420, 14490, dan 25680 elemen. Hasil dari proses grid independence dapat dilihat pada Tabel 4.2. dan gambar 4.2

Tabel 4.2 Grid Independence pada model pelat datar aliran turbulen

J. Elemen	Cp max
3432	0.985
6420	0.989
14490	0.997
25680	0.9952



Gambar 4.2. Pengaruh jumlah elemen terhadap koefisien tekanan pada titik stagnasi model pelat datar aliran turbulen.

Dari Tabel 4.2. dan Gambar 4.2. terlihat bahwa elemen dengan jumlah 3432 memiliki perbedaan koefisien tekanan di titik stagnasi yang cukup besar dengan jumlah elemen yang lain. Hal ini ditandai dengan bentuk grafik yang mempunyai kemiringan (*slope*) cukup besar. Begitu juga dengan jumlah elemen 6420. Sedangkan jumlah elemen 14490 dan 25680 mempunyai selisih koefisien tekanan di titik stagnasi yang kecil dan cenderung membentuk garis lurus horizontal. Dengan pertimbangan tersebut, maka jumlah elemen yang dipakai sebanyak 14490 buah.

4.2.2. Model Ellips

Pada model pelat ellips, pengujian dilakukan dengan memberi aliran laminar dan turbulen.

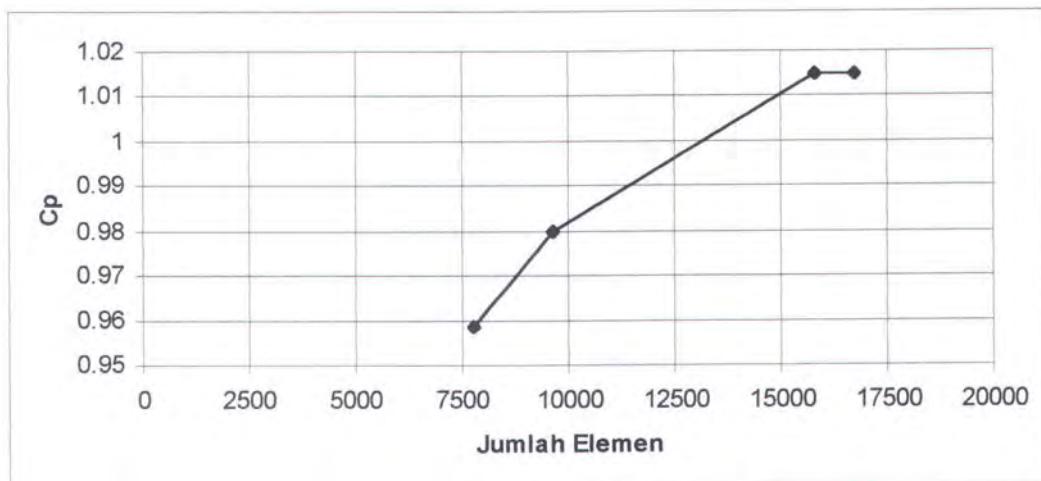
- Aliran Laminar

Tugas Akhir

Pengujian dilakukan dengan berbagai variasi jumlah elemen antara lain 7780, 9624, 15800, dan 16752 elemen. Hasil dari proses grid independence dapat dilihat pada Tabel 4.3. dan gambar 4.3.

Tabel 4.3. Grid independence model ellips aliran laminar

J.Elemen	Cp max
7780	0.9586
9624	0.98
15800	1.015
16752	1.015



Gambar 4.3. Pengaruh jumlah elemen terhadap kofisien tekanan pada titik stagnasi model ellips aliran laminar.

Dari Tabel 4.3. dan Gambar 4.3. terlihat bahwa elemen dengan jumlah 7780 memiliki perbedaan koefisien tekanan di titik stagnasi yang cukup besar dengan jumlah elemen yang lain. Hal ini ditandai dengan bentuk grafik yang mempunyai kemiringan (*slope*) cukup besar. Begitu juga dengan jumlah elemen 9624. Sedangkan jumlah elemen 15800 dan 16752 mempunyai selisih koefisien tekanan di titik stagnasi yang kecil dan cenderung membentuk garis lurus

Tugas Akhir

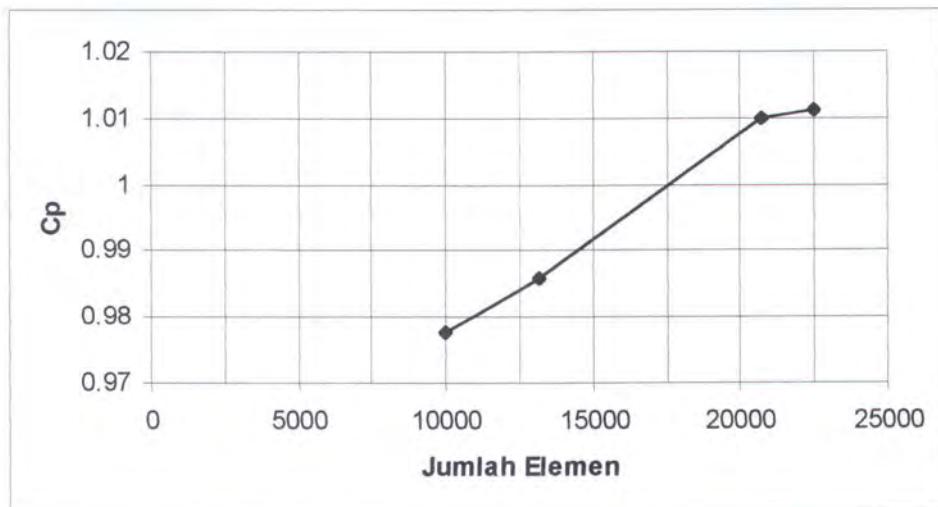
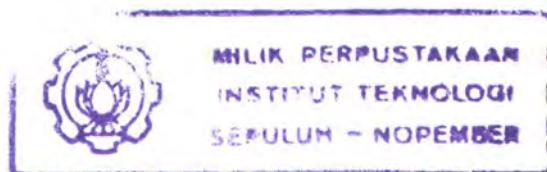
horizontal. Dengan pertimbangan tersebut, maka jumlah elemen yang dipakai sebanyak 15800 buah.

b. Aliran Turbulen

Pengujian dilakukan dengan jumlah elemen antara lain 9984, 13200, 20700, dan 22464 elemen. Hasil dari proses grid independence dapat dilihat pada tabel 4.4. dan gambar 4.4.

Tabel 4.4. Grid Independence pada model ellips aliran turbulen

J.Elemen	Cp max
9984	0.9775
13200	0.986
20700	1.01
22464	1.014



Gambar 4.4. Pengaruh jumlah elemen terhadap kofisien tekanan pada titik stagnasi model ellips aliran turbulen

Dari Tabel 4.4. dan Gambar 4.4. terlihat bahwa elemen dengan jumlah 9984 memiliki perbedaan koefisien tekanan di titik stagnasi yang cukup besar dengan jumlah elemen yang lain. Hal ini ditandai dengan bentuk grafik yang mempunyai kemiringan (*slope*) cukup besar. Begitu juga dengan jumlah elemen 13200. Sedangkan jumlah elemen 20700 dan 22464 mempunyai selisih koefisien tekanan di titik stagnasi yang kecil dan cenderung membentuk garis lurus horizontal. Dengan pertimbangan tersebut, maka jumlah elemen yang dipakai sebanyak 20700 buah.

4.3. Data Jumlah Iterasi dan Waktu Running

Dari hasil running dengan flotran CFD Ansys 5.4 yang dilakukan maka data- data yang didapatkan yaitu data dimana proses running berhenti dengan tingkat konvergensi 10^{-3} atau iterasi mengalami kestabilan. Jumlah iterasi dan waktu running disajikan pada Tabel 4.5. – 4.8.

Tabel 4.5 Data jumlah iterasi dan waktu running pada model pelat datar aliran laminar

J. Elemen	J. Iterasi	Waktu
4400	480	4 menit
6300	465	6 menit
8540	658	13 menit
17500	660	32 menit

Tugas Akhir

Tabel 4.6. Data jumlah iterasi dan waktu running pada model pelat datar aliran turbulen

J. Elemen	J. Iterasi	Waktu
3432	490	5 menit
6420	475	11 menit
14490	732	36 menit
25680	652	48 menit

Tabel 4.7. Data jumlah iterasi dan waktu running pada model ellips aliran laminar

J. Elemen	J. Iterasi	Waktu
7780	152	6 menit
9624	158	8 menit
15800	168	10 menit
16752	172	11 menit

Tabel 4.8. Data jumlah iterasi dan waktu running pada model ellips aliran turbulen

J. Elemen	J. Iterasi	Waktu
9984	216	12 menit
13200	224	18 menit
20700	245	22 menit
22464	252	25 menit

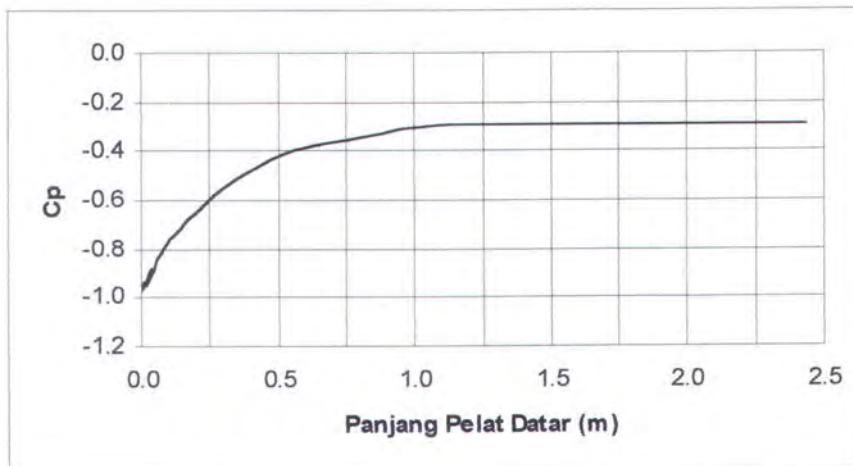
4.4 Analisa Distribusi Tekanan Pada Permukaan Benda

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

4.4.1. Model Pelat Datar

a. Aliran Laminar

Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan software Flotran CFD ANSYS 5.4 diperoleh hasil numerik yang disajikan dalam Lampiran A (Tabel A.1.). Hasil dari tabel tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5.



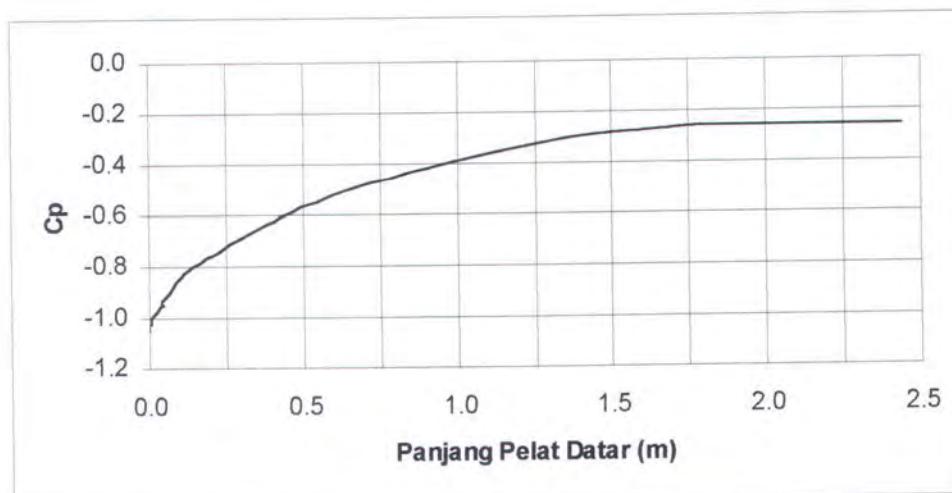
Gambar 4.5. Distribusi tekanan pada permukaan model pelat datar (Laminar)

Pada gambar 4.5. menunjukkan bahwa nilai Cp di bagian leading edge yaitu pada $x'/l' = 0$ agak menjorok ke bawah sedangkan pada bagian trailing edge yaitu pada $x'/l' = 0.5$ nilainya cenderung konstan sehingga bentuknya mendekati garis lurus. Bentuk Cp dari $x'/l' = 0$ sampai $x'/l' = 0.5$ agak melengkung terjadi karena adanya pengaruh ketebalan pelat dan viskositas. Hal ini berbeda dengan

anggapan teori dari fluida ideal bahwa bentuk C_p sepanjang pelat datar merupakan garis lurus.

b. Aliran Turbulen

Dari hasil percobaan yang dilakukan dengan menggunakan software Flotran CFD ANSYS 5.4 diperoleh hasil numerik yang disajikan di dalam Lampiran A (Tabel A.2) Hasil dari tabel tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6. Distribusi tekanan pada permukaan model pelat datar (Turbulen)

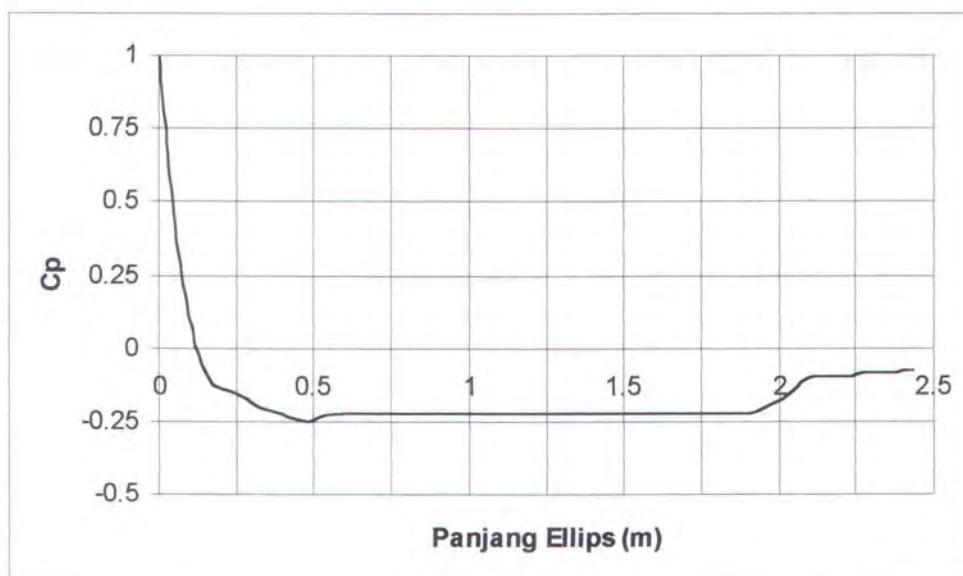
Pada gambar 4.6. menunjukkan bahwa nilai C_p di bagian leading edge yaitu pada $x'/l' = 0$ agak ekstrim menjorok ke bawah dan mempunyai trend yang sama dengan bentuk C_p pada pelat datar yang dialiri aliran laminar begitu juga pada bagian trailing edge yaitu pada $x'/l' = 0.5$ nilainya cenderung konstan

sehingga bentuknya mendekati garis lurus sama seperti pelat datar yang dialiri aliran laminar. Bentuk C_p dari $x'/l' = 0$ sampai $x'/l' = 0.5$ agak melengkung terjadi karena adanya pengaruh ketebalan pelat dan viskositas. Hal ini berbeda dengan anggapan teori dari fluida ideal bahwa bentuk C_p sepanjang pelat merupakan garis lurus.

4.4.2. Model Ellips

a. Aliran Laminar

Dari hasil percobaan yang dilakukan dengan menggunakan software Flotran CFD ANSYS 5.4 diperoleh hasil numerik yang disajikan di dalam Lampiran A (Tabel A.3.) Hasil dari tabel tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7.

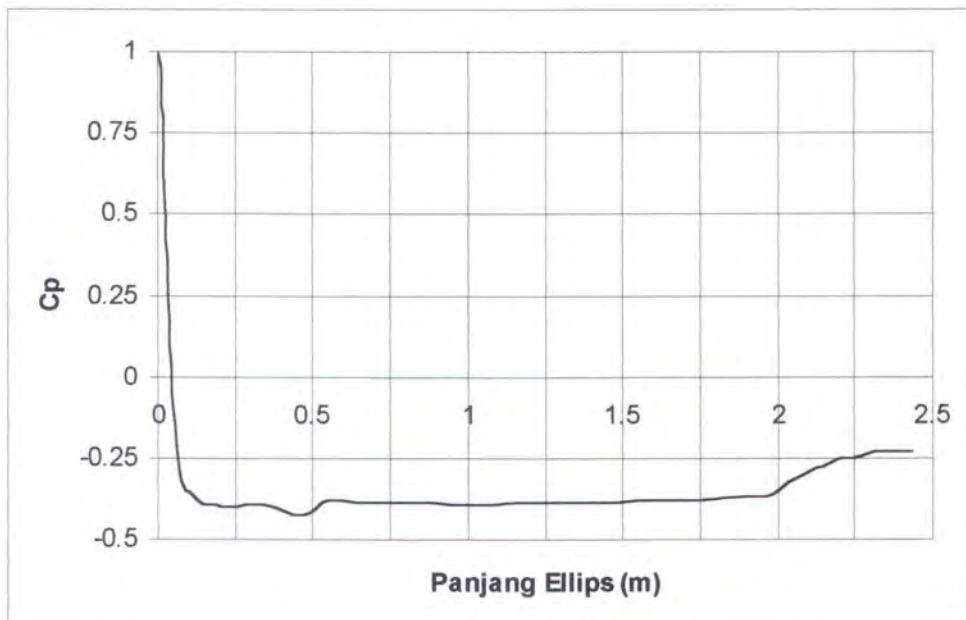


Gambar 4.7. Distribusi tekanan pada permukaan model ellips (Laminar)

Pada gambar 4.7. menunjukkan bahwa nilai C_p di bagian leading edge yaitu pada $x'/l' = 0$ bernilai mendekati satu.lalu turun nilainya kurang dari satu. Bentuk C_p $x'/l' = 0$ 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 trailing edge karena aliran yang terjadi pada permukaan benda adalah aliran viscous.

b. Aliran Turbulen

Dari hasil percobaan yang dilakukan dengan menggunakan software Flotran CFD ANSYS 5.4 diperoleh hasil numerik yang disajikan di dalam Lampiran A (Tabel A.4.) Hasil dari tabel tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8. Distribusi tekanan pada permukaan model ellips (Turbulen)

Pada gambar 4.8. menunjukkan bahwa nilai C_p di bagian leading edge yaitu pada $x'/l' = 0$ bernilai mendekati satu.lalu turun nilainya kurang dari satu. Bentuk C_p $x'/l' = 0$ 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 . Bentuk C_p pada aliran turbulen mempunyai trend yang hampir sama dengan aliran laminar pada ellips. Tetapi hal ini berbeda dengan anggapan teori dari fluida ideal bahwa C_p minimum terjadi pada trailing edge karena aliran yang terjadi pada permukaan benda adalah aliran viscous.

4.5 Analisis Distribusi Kecepatan Pada Model

4.5.1 Model Pelat Datar

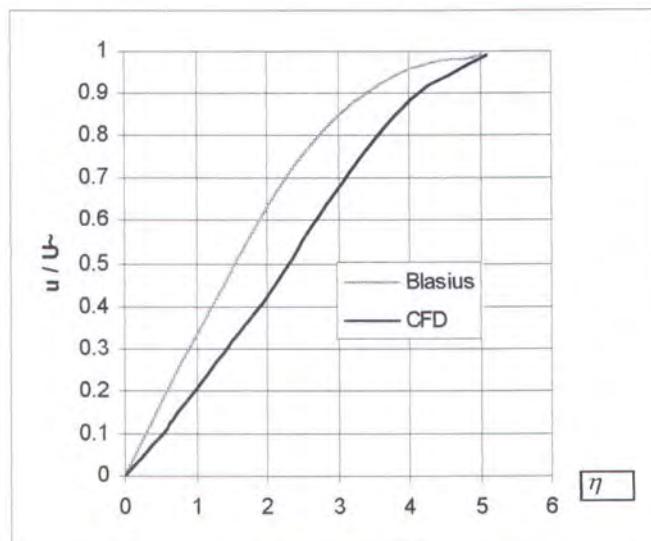
a. Aliran Laminar

Dari hasil percobaan yang dilakukan dengan menggunakan software Flotran CFD ANSYS 5.4 diperoleh hasil numerik yang disajikan di dalam Lampiran B (Tabel B.1.) Hasil tersebut berupa data distribusi kecepatan pada pelat datar. Hasil dari data numerik tersebut dibuat dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.9.

Dari gambar 4.9. dapat dilihat bahwa profil kecepatan u yang terjadi pada setiap panjang x pada pelat datar mempunyai bentuk dan trend yang sama dengan

Tugas Akhir

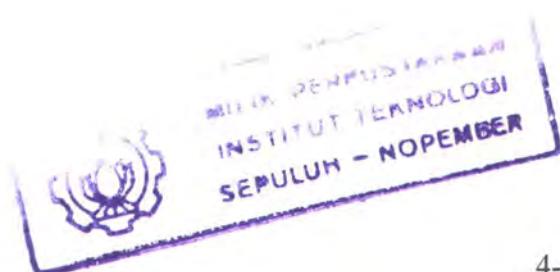
hasil dari percobaan Blasius. Profil kecepatan (u/U_∞) pada pelat datar merupakan fungsi dari eta (η) dimana η adalah jarak tidak berdimensi dari wall.



Gambar 4.9. Profil Kecepatan pada aliran laminar model pelat datar

Dari grafik di atas dapat kita lihat hasil Blasius menunjukkan bahwa nilai $u/U_\infty = 0.99$ pada saat nilai eta (η) = 5. Sedangkan hasil dari flotran Ansys 5.4 menunjukkan nilai $u/U_\infty = 0.99$ pada saat nilai eta (η) = 5.07829.

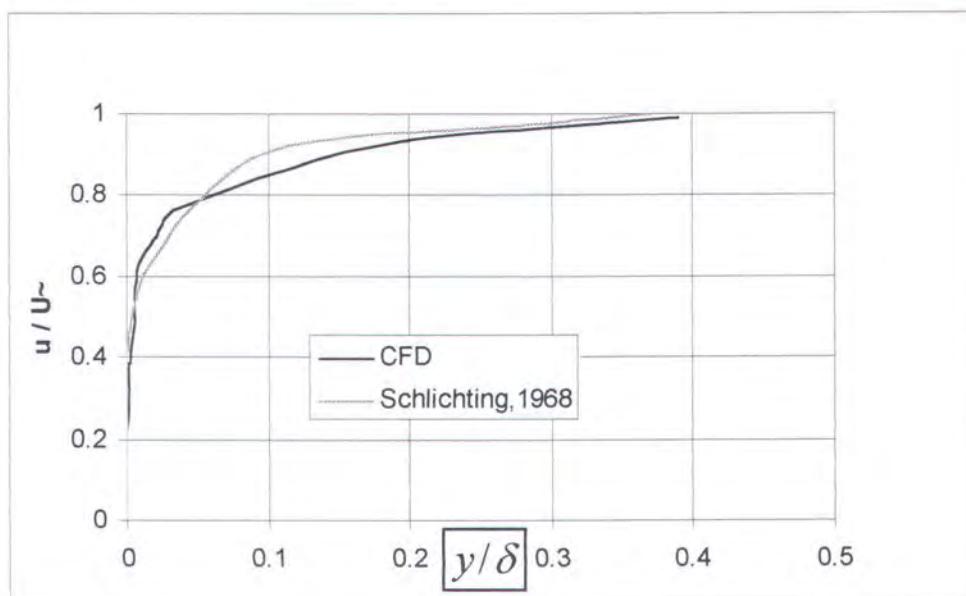
Dari kedua hasil tersebut dapat kita lihat perbedaan yang tidak begitu besar. Adanya perbedaan itu mungkin disebabkan karena adanya perbedaan kecepatan aliran yang bisa berpengaruh terhadap besarnya angka Reynolds. Di samping itu adanya perbedaan ini karena dalam simulasi numerik, konvergensinya solusi iterative, yang dihasilkan pasti akan selalu mengandung rounding error yaitu error yang terjadi karena proses iterasi.



b. Aliran Turbulen

Dari hasil percobaan yang dilakukan dengan menggunakan software Flotran CFD ANSYS 5.4 diperoleh hasil numerik yang disajikan di dalam Lampiran B (Tabel B.2.). Hasil tersebut berupa data distribusi kecepatan pada pelat datar. Hasil dari data numerik tersebut dibuat dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10.

Dari gambar 4.10. dapat dilihat bahwa profil kecepatan u yang terjadi pada setiap panjang x pada pelat datar mempunyai bentuk dan trend yang sama dengan hasil yang terdapat pada Schlichting. Profil kecepatan (u/U_∞) pada pelat datar merupakan fungsi dari eta (η) dimana $\eta = y / \delta$ adalah jarak tidak berdimensi dari wall.



Gambar 4.10. Profil Kecepatan pada aliran turbulen model pelat datar

Tugas Akhir

Dari grafik di atas dapat kita lihat hasil pada Schlichting menunjukkan bahwa nilai $u/U_\infty = 0.99$ pada saat nilai eta (η) = 0.37. Sedangkan hasil dari flotran Ansys 5.4 menunjukkan nilai $u/U_\infty = 0.99$ pada saat nilai eta (η) = 0.3901. Dari kedua hasil tersebut dapat kita lihat perbedaan yang tidak begitu besar. Adanya perbedaan itu mungkin disebabkan karena adanya perbedaan kecepatan aliran yang bisa berpengaruh terhadap besarnya angka Reynolds. Di samping itu adanya perbedaan ini karena dalam simulasi numerik, konvergensi solusi iterative, yang dihasilkan pasti akan selalu mengandung rounding error yaitu error yang terjadi karena proses iterasi.

Kalau kita bandingkan dengan aliran laminar pada pelat datar, pada aliran turbulen nilai eta (η) merupakan fungsi dari angka Reynolds $(Re)^{-1/5}$ sedangkan pada aliran laminar nilai eta (η) merupakan fungsi dari angka Reynolds $(Re)^{-1/2}$.

4.5.2 Model Ellips

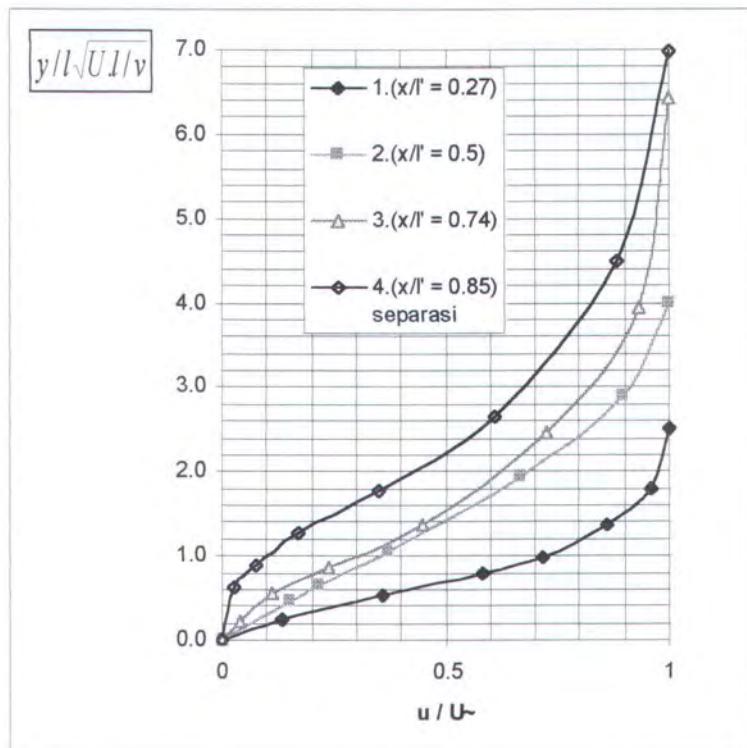
a. Aliran Laminar

Dari hasil percobaan yang dilakukan dengan menggunakan software Flotran CFD ANSYS 5.4 diperoleh hasil numerik yang disajikan di dalam Lampiran B (Tabel B.3.). Hasil tersebut berupa data distribusi kecepatan pada ellips. Hasil dari data numerik tersebut dibuat dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.11.

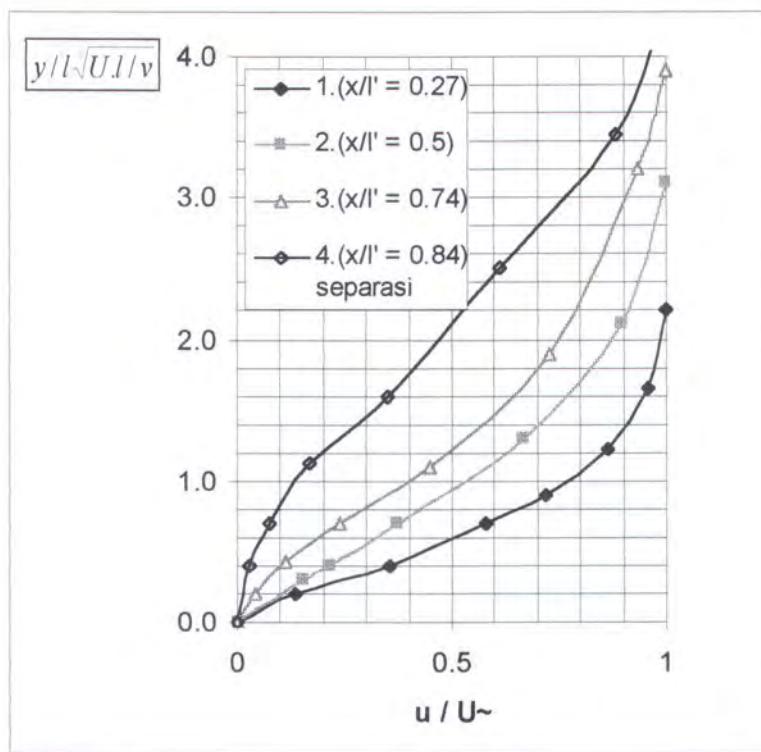
Dari gambar 4.11. dapat dilihat bahwa profil kecepatan memiliki nilai yang berbeda pada tiap potongan model x / l' , berdasarkan kecepatan u yang terjadi pada setiap panjang x . Tampak bahwa profil – profil kecepatan aliran semakin bertambah tinggi, hal ini menunjukkan bahwa terjadinya pembesaran

Tugas Akhir

lapisan batas (*boundary layer*) yang dimulai dari bagian depan model (*leading edge*) sampai ke belakang (*trailing edge*).



Gambar 4.11. Profil Kecepatan pada aliran laminar model ellips [CFD].



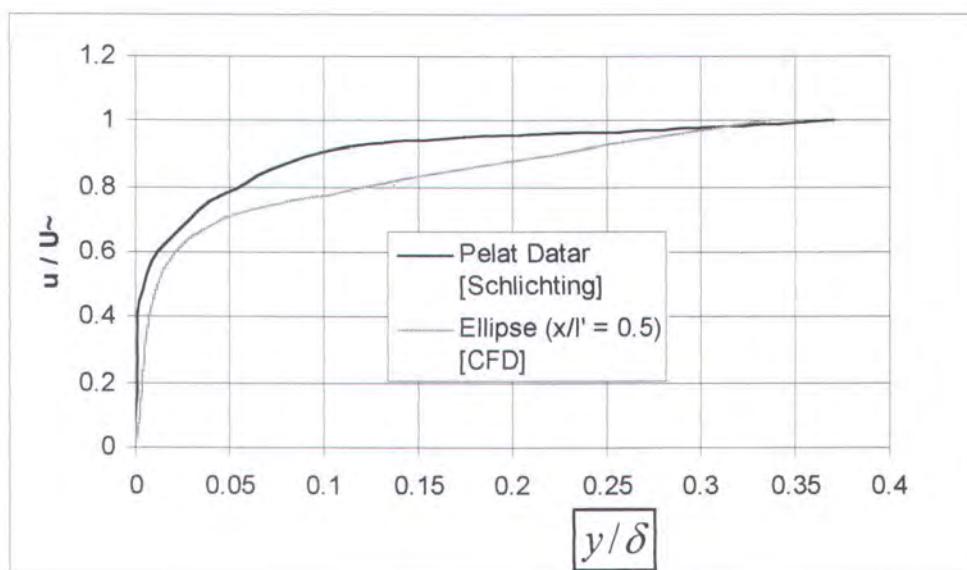
Gambar 4.12. Profil Kecepatan pada aliran laminar model ellips
[Schlichting,1968].

Dari kedua grafik di atas profil kecepatan ellips [Schlichting,1968] dan profil kecepatan dengan bantuan software Ansys 5.4 mempunyai bentuk yang sama. Tetapi terdapat adanya perbedaan terjadinya titik separasi dimana untuk profil kecepatan yang dilakukan dengan bantuan software Ansys 5.4, titik pisah (*separation point*) terjadi pada $x / l^* = 0.85$ sedangkan pada Schlichting titik separasi terjadi pada $x / l^* = 0.84$. Di samping itu tampak bahwa tinggi lapisan batas untuk tiap x / l^* hasil penelitian dengan profil yang terdapat pada Schlichting memiliki perbedaan yang cukup besar. Adanya perbedaan itu mungkin disebabkan karena adanya perbedaan kecepatan aliran yang bisa berpengaruh terhadap besarnya angka Reynolds. Di samping itu adanya perbedaan ini karena dalam

simulasi numerik, konvergensi solusi iterative, yang dihasilkan pasti akan selalu mengandung *rounding error* yaitu error yang terjadi karena proses iterasi.

b. Aliran Turbulen

Dari hasil percobaan yang dilakukan dengan menggunakan software Flotran CFD ANSYS 5.4 diperoleh hasil numerik yang disajikan di dalam Lampiran B (Tabel B.4.). Hasil tersebut berupa data distribusi kecepatan pada pelat datar. Hasil dari data numerik tersebut dibuat dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.13.



Gambar 4.13. Profil Kecepatan pada aliran turbulen model ellips [CFD] dan pelat datar [Schlichting,1968].

Tugas Akhir

Dari gambar 4.13. dapat dilihat bahwa profil kecepatan u yang terjadi pada aliran turbulen untuk ellips mempunyai bentuk dan trend yang sama dengan hasil yang terdapat pada Schlichting. Profil kecepatan (u/U_∞) pada pelat datar merupakan fungsi dari eta (η) dimana $\eta = y / \delta$ adalah jarak tidak berdimensi dari wall.

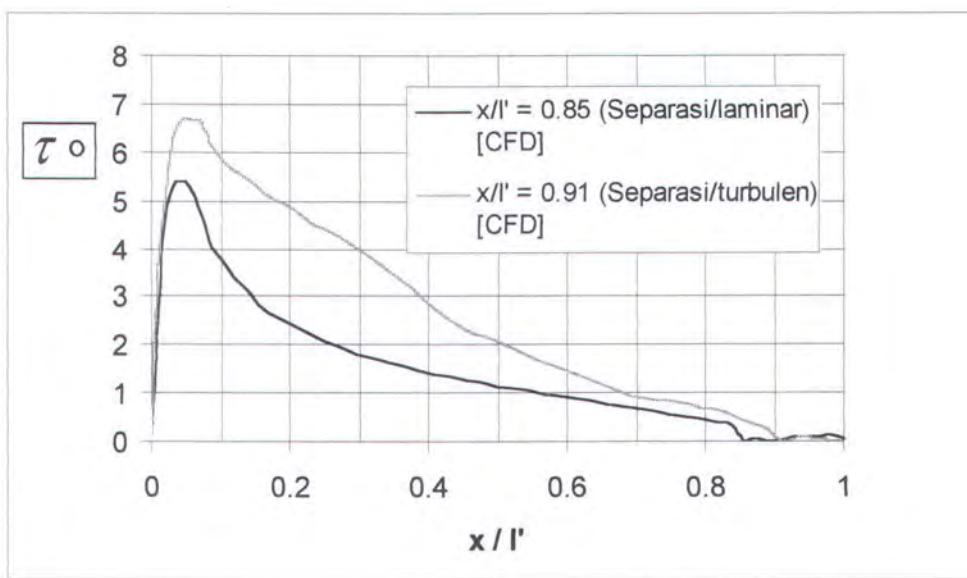
Dari grafik di atas dapat kita lihat hasil pada Schlichting untuk pelat datar menunjukkan bahwa nilai $u/U_\infty = 0.99$ pada saat nilai eta (η) = 0.37. Sedangkan hasil dari flotran Ansys 5.4 untuk model ellips pada $x/l' = 0.5$ menunjukkan nilai $u/U_\infty = 0.99$ pada saat nilai eta (η) = 0.33.

Dari kedua hasil tersebut dapat kita lihat perbedaan yang begitu besar. Adanya perbedaan itu karena bentuk kontur yang berbeda. Di samping itu adanya perbedaan ini karena dalam simulasi numerik, konvergensinya solusi iterative, yang dihasilkan pasti akan selalu mengandung *rounding error* yaitu error yang terjadi karena proses iterasi.

Pada model ellips turbulen titik separasi terjadi pada $x/l' = 0.91$ (akan dijelaskan lebih lanjut pada pembahasan analisis titik separasi).

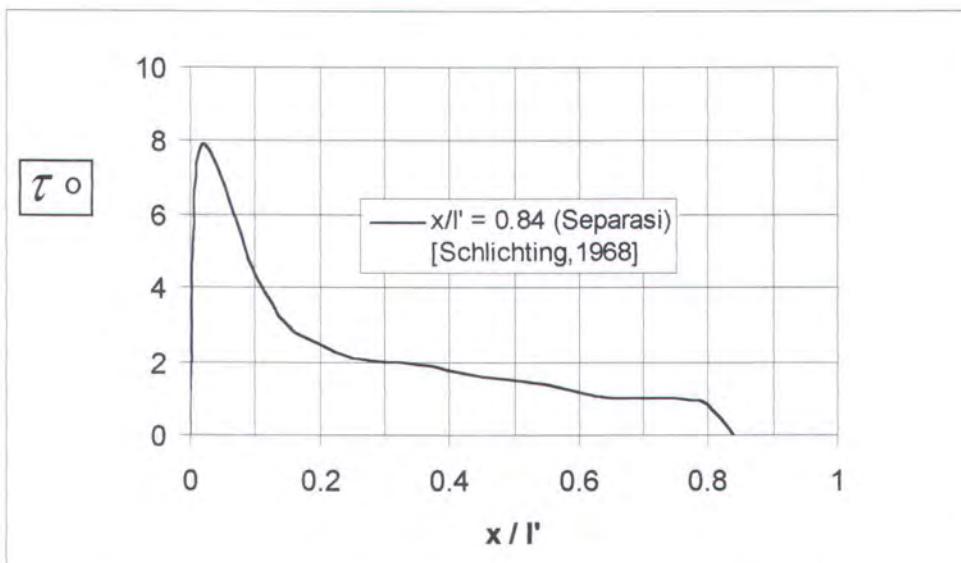
4.6 Analisis Titik Separasi

Titik separasi terjadi bila $\partial u / \partial y = 0$ atau tegangan geser τ adalah nol pada permukaan benda. Dari software CFD ANSYS 5.4 diperoleh data numerik tegangan geser yang disajikan di dalam Lampiran C (Tabel C.1. dan Tabel C.2) Dari Tabel – Tabel ini dibuat dalam bentuk grafik seperti terlihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.14. Tegangan Geser pada dinding ellips [CFD]

Pada gambar 4.14. terlihat bahwa titik separasi dari aliran laminar pada ellips terjadi lebih awal dari aliran turbulen. Berikut ini akan ditampilkan grafik tegangan geser pada permukaan didnding yang disajikan pada makalah J. Presch [Schlichting, 1968] seperti yang terlihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.15. Tegangan Geser pada dinding ellips J.Pretsch [Schlichting]

Jika dibandingkan hasil penelitian dari software Flotran CFD ANSYS 5.4 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 aliran laminar pada ellips terjadi pada $x/l' = 0.85$ dan aliran turbulen pada $x/l' = 0.91$. Sedangkan titik separasi dari Schlichting untuk ellips terjadi pada $x/l' = 0.84$.

4.7 Perhitungan Tebal Lapisan Batas (*Boundary Layer Thickness*), Tebal Displacemen (*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 ellips tidak disajikan.

Pada aliran eksternal (*external flow*) yang melewati pelat datar, tebal displacemen (*displacement thickness*) dan tebal momentum (*momentum thickness*) [Schlichting, 1968] adalah sebagai berikut :

Tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*) δ adalah jarak dari batas ke titik dimana:

$$\mu = 0.99 U_\infty \quad (4.1)$$

Tebal displacemen (*displacement thickness*)

$$\delta^* = \frac{1}{U_\infty} \int_0^\delta (U_\infty - u) dy = \int_0^\delta \left(1 - \frac{u}{U_\infty}\right) dy \quad (4.2)$$

Tebal momentum (*momentum thickness*)

$$\theta = \int_0^\delta \frac{u}{U_\infty} \left(1 - \frac{u}{U_\infty}\right) dy \quad (4.3)$$

a. Aliran Laminar

Perhitungan tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displacemen (*displacement thickness*) dan tebal momentum (*momentum thickness*) pada $x = 1.2192$ m (jarak yang diukur dari depan sampai ke tengah model) dengan bantuan persamaan (4.1) – (4.3) diperoleh :

Tebal Lapisan Batas (*boundary layer thickness*) [Blasius] :

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

dimana: $x = 1.2192$ m

$$\delta = 5.0 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} x 1.2192}{0.0005}}$$

$$\delta = 0.2635 \text{ m}$$

Tebal displacemen (*displacement thickness*)

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

$$\delta^* = 1.721 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} x 1.2192}{0.0005}}$$

$$\delta^* = 0.09069 \text{ m}$$

Tebal momentum (*momentum thickness*)

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

$$\theta = 0.664 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} x 1.2192}{0.0005}}$$

$$\theta = 0.03499 \text{ m}$$

b. Aliran Turbulen

Perhitungan tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displacemen (*displacement thickness*) dan tebal momentum (*momentum thickness*) pada $x = 1.2192$ m (jarak yang diukur dari depan sampai ke tengah model) [Schlichting, 1968] adalah sebagai berikut :

Tebal Lapisan Batas (*boundary layer thickness*)

$$\delta = 0.37 \cdot (x)^{4/5} \cdot \left(\frac{v}{U_\infty} \right)^{1/5}$$

dimana: $x = 1.2192$ m

$$\delta = 0.37 \cdot (1.2192)^{4/5} \cdot \left(\frac{1.13902 \cdot 10^{-6}}{1.016} \right)^{1/5}$$

$$\delta = 0.02798 \text{ m}$$

Tebal displacemen (*displacement thickness*)

$$\delta^* = 0.0467 (x)^{4/5} \cdot \left(\frac{v}{U_\infty} \right)^{1/5}$$

$$\delta^* = 0.0467 (1.2192)^{4/5} \cdot \left(\frac{1.13902 \cdot 10^{-6}}{1.016} \right)^{1/5}$$

$$\delta^* = 0.00353 \text{ m}$$

Tebal momentum (*momentum thickness*)

$$\theta = 0.0363 (x)^{4/5} \cdot \left(\frac{v}{U_\infty} \right)^{1/5}$$

$$\theta = 0.0363 (1.2192)^{4/5} \cdot \left(\frac{1.13902 \cdot 10^{-6}}{1.016} \right)^{1/5}$$

$$\theta = 0.002746 \text{ m}$$

4.8 Validasi Hasil

Validasi hasil dinyatakan dengan koreksi kesalahan dan kecenderungan hasil-hasil perhitungan yang dilakukan pada penelitian menggunakan software Flotran CFD Ansys 5.4 dengan teori mekanika fluida.

$$\text{Koreksi} = \left[\frac{\text{hasilCFD} - \text{hasilTeori}}{\text{hasilCFD}} \right] \times 100 \% \quad (4.4)$$

4.8.1 Koefisien Tekanan (C_p) pada Titik Stagnasi

Koefisien tekanan (C_p) pada titik stagnasi (*stagnation point*) menurut O. Flachsbart adalah bernilai 1 [Schlichting, 1968]. Dari hasil analisis distribusi tekanan dari software Flotran CFD Ansys 5.4, diperoleh harga C_p di titik stagnasi adalah sebagai berikut :

- Untuk model pelat datar (laminar)

$$C_p = 1.002$$

- Untuk model pelat datar (turbulen)

$$C_p = 0.997$$

- Untuk model ellips (laminar)

$$C_p = 1.015$$

- Untuk model ellips (turbulen)

$$C_p = 1.01$$

Tugas Akhir

Koreksi dari koefisien tekanan (C_p) untuk setiap model dapat dilihat pada tabel 4.9. di bawah ini :

Tabel 4.9. Koreksi koefisien tekanan (C_p) pada titik stagnasi.

MODEL	LAMINAR		TURBULEN	
	Ansys	Teori	Ansys	Teori
Pelat Datar	1.002	1	0.997	1
Koreksi (%)	0.1996		0.3009	
Ellips	1.015	1	1.01	1
Koreksi (%)	1.4778		0.9901	

4.8.2 Perhitungan Tebal Lapisan Batas (*Boundary Layer Thickness*), Tebal Displacemen (*Displacement Thickness*) dan Tebal Momentum (*Momentum Thickness*)

Di sini dilakukan perbandingan Perhitungan tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displacemen (*displacement thickness*) dan tebal momentum (*momentum thickness*) antara hasil penelitian dengan menggunakan software Flotran CFD Ansys 5.4 pada $x = 1.2192$ m (jarak yang diukur dari depan sampai ke tengah model) dengan hasil perhitungan pelat datar dengan Schlichting.

4.8.2.1. Model Pelat Datar

a. Aliran Laminar

Tebal Lapisan Batas (*boundary layer thickness*) [Ansys 5.4] :

$$\delta = 5.1078 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_\infty}}$$

Tugas Akhir

dimana: $x = 1.2192 \text{ m}$

$$\delta = 0.3901 \cdot (1.2192)^{4/5} \cdot \left(\frac{1.13902 \cdot 10^{-6}}{1.016} \right)^{1/5}$$

$$\delta = 0.029507 \text{ m}$$

Tebal displacemen (*displacement thickness*)

$$\delta^* = 1/8 \cdot 0.3901 \cdot (x)^{4/5} \cdot \left(\frac{v}{U_\infty} \right)^{1/5}$$

$$\delta^* = 1/8 \cdot 0.3901 \cdot (1.2192)^{4/5} \cdot \left(\frac{1.13902 \cdot 10^{-6}}{1.016} \right)^{1/5}$$

$$\delta^* = 0.003688 \text{ m}$$

Tebal momentum (*momentum thickness*)

$$\theta = 1/10 \cdot 0.3901 \cdot (x)^{4/5} \cdot \left(\frac{v}{U_\infty} \right)^{1/5}$$

$$\theta = 1/10 \cdot 0.3901 \cdot (1.2192)^{4/5} \cdot \left(\frac{1.13902 \cdot 10^{-6}}{1.016} \right)^{1/5}$$

$$\theta = 0.0029507 \text{ m}$$

4.8.2.2. Model Ellips

a. Aliran Laminar

Perhitungan tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displacemen (*displacement thickness*) dan tebal momentum (*momentum thickness*) dilakukan pada $x/l = 0.5$ dimana aliran dianggap mempunyai kesamaan dengan pelat datar dengan bantuan persamaan (4.1) – (4.3) diperoleh :

Tugas Akhir

dimana: $x = 1.2192 \text{ m}$

$$\delta = 5.1078 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \cdot x \cdot 1.2192}{0.0005}}$$

$$\delta = 0.26918 \text{ m}$$

Tebal displacemen (*displacement thickness*)

Tebal displacemen (*displacement thickness*) secara kasar sama dengan 1/3 dari tebal lapisan batas (*boundary layer*) [Schlichting,1968], sehingga :

$$\delta^* = \frac{1}{3} \times 5.1078 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_\infty}}$$

$$\delta^* = 1.7026 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \cdot x \cdot 1.2192}{0.0005}}$$

$$\delta^* = 0.0897 \text{ m}$$

Tebal momentum (*momentum thickness*)

Tebal displacemen (*displacement thickness*) secara kasar sama dengan 1/6 dari tebal lapisan batas (*boundary layer*) [Schlichting,1968], sehingga :

$$\theta = \frac{1}{6} \times 5.1078 \sqrt{\frac{v \cdot x}{U_\infty}}$$

$$\theta = 0.8513 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \cdot x \cdot 1.2192}{0.0005}}$$

$$\theta = 0.03845 \text{ m}$$



b. Aliran Turbulen

Tebal Lapisan Batas (*boundary layer thickness*) [Ansys 5.4] :

$$\delta = 0.3901 \cdot (x)^{4/5} \cdot \left(\frac{v}{U_\infty} \right)^{1/5}$$

Tugas Akhir

Tebal Lapisan Batas (*boundary layer thickness*) [Ansys 5.4]:

$$\delta = 3.9942 \sqrt{\frac{v.x}{U_\infty}}$$

dimana: $x = 1.2192 \text{ m}$

$$\delta = 3.9942 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \times 1.2192}{0.0005}}$$

$$\delta = 0.2105 \text{ m}$$

Tebal displacemen (*displacement thickness*)

Tebal displacemen (*displacement thickness*) secara kasar sama dengan 1/3 dari tebal lapisan batas (*boundary layer*) [Schlichting,1968], sehingga :

$$\delta^* = 1/3 \times 3.9942 \sqrt{\frac{v.x}{U_\infty}}$$

$$\delta^* = 1.3314 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \times 1.2192}{0.0005}}$$

$$\delta^* = 0.07017 \text{ m}$$

Tebal momentum (*momentum thickness*)

Tebal displacemen (*displacement thickness*) secara kasar sama dengan 1/6 dari tebal lapisan batas (*boundary layer*) [Schlichting,1968], sehingga :

$$\theta = 1/6 \times 3.9942 \sqrt{\frac{v.x}{U_\infty}}$$

$$\theta = 0.6657 \sqrt{\frac{1.13902 \cdot 10^{-6} \times 1.2192}{0.0005}}$$

$$\theta = 0.03007 \text{ m}$$

b. Aliran Turbulen

Perhitungan tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displacemen (*displacement thickness*) dan tebal momentum (*momentum thickness*) dilakukan pada $x/l^* = 0.5$ dimana aliran dianggap mempunyai kesamaan dengan pelat datar dengan bantuan persamaan (4.1) – (4.3) diperoleh :

Tebal Lapisan Batas (*boundary layer thickness*) [Ansys 5.4] :

$$\delta = 0.335 \cdot (x)^{4/5} \cdot \left(\frac{v}{U_\infty} \right)^{1/5}$$

dimana: $x = 1.2192 \text{ m}$

$$\delta = 0.335 \cdot (1.2192)^{4/5} \cdot \left(\frac{1.13902 \cdot 10^{-6}}{1.016} \right)^{1/5}$$

$$\delta = 0.025339 \text{ m}$$

Tebal displacemen (*displacement thickness*)

$$\delta^* = 1/8 \cdot 0.335 \cdot (x)^{4/5} \cdot \left(\frac{v}{U_\infty} \right)^{1/5}$$

$$\delta^* = 1/8 \cdot 0.335 \cdot (1.2192)^{4/5} \cdot \left(\frac{1.13902 \cdot 10^{-6}}{1.016} \right)^{1/5}$$

$$\delta^* = 0.003167 \text{ m}$$

Tebal momentum (*momentum thickness*)

$$\theta = 1/10 \cdot 0.335 \cdot (x)^{4/5} \cdot \left(\frac{v}{U_\infty} \right)^{1/5}$$

Tugas Akhir

$$\theta = \frac{1}{10} \cdot 0.335 \cdot (1.2192)^{4/5} \cdot \left(\frac{1.13902 \cdot 10^{-6}}{1.016} \right)^{1/5}$$

$$\theta = 0.0025339 \text{ m}$$

Hasil perhitungan dan koreksi tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displacemen (*displacement thickness*) dan tebal momentum (*momentum thickness*) untuk kedua model pada $x = 1.2192 \text{ m}$ (jarak yang diukur dari depan sampai ke tengah model) dirangkum dalam tabel (4.10) – (4.11)

Tabel 4.10. Hasil perhitungan dan koreksi δ , δ^* , dan θ (Laminar)

MODEL	LAMINAR					
	Tebal Lapisan Batas		Tebal Displacemen		Tebal Momentum	
	Ansys	Teori	Ansys	Teori	Ansys	Teori
Pelat Datar	0.26918	0.2635	0.0897	0.09069	0.03845	0.03499
Koreksi (%)	2.1101		1.1037		8.9987	
Ellips	0.2105	0.2635	0.07017	0.09069	0.03007	0.03499
Koreksi (%)	25.1781		29.2433		16.3618	

Tabel 4.11 Hasil perhitungan dan koreksi δ , δ^* , dan θ (Turbulen)

MODEL	TURBULEN					
	Tebal Lapisan Batas		Tebal Displacemen		Tebal Momentum	
	Ansys	Teori	Ansys	Teori	Ansys	Teori
Pelat Datar	0.029507	0.02798	0.003688	0.00353	0.00295	0.0027
Koreksi (%)	5.1750		4.2842		8.4746	
Ellips	0.025339	0.02798	0.003167	0.00353	0.002534	0.0027
Koreksi (%)	10.4227		11.4620		6.5551	

(Hasil perhitungan tebal lapisan batas, tebal displacemen, dan tebal momentum pada sepanjang model disajikan pada lampiran D)

Dari hasil perhitungan di atas dapat kita lihat bahwa tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*) pada kondisi aliran laminar pada pelat datar lebih tebal daripada kondisi aliran turbulen. Hal ini sesuai dengan Lammeren (1948), tebal

Tugas Akhir

lapisan batas pada kondisi aliran turbulen lebih tipis dibandingkan pada kondisi aliran laminar. Begitu juga tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*) pada pelat datar lebih besar dari pada model ellips. Di samping itu bila kita bandingkan hasil perhitungan dan koreksi antara pelat datar dan ellips baik itu pada aliran laminar dan aliran turbulen mempunyai perbedaan yang cukup besar. Hal ini disebabkan rumus yang digunakan untuk menghitung tebal lapisan batas (*boundary layer thickness*), tebal displacemen (*displacement thickness*) dan tebal momentum (*momentum thickness*) pada ellips menggunakan rumus untuk pelat datar.

4.9. Hasil dan Analisa Tahanan total (Hasil Langsung Ansys 5.4)

Dari hasil percobaan Software Flotran CFD Ansys 5.4 didapatkan secara langsung hasil berupa Tahanan Total (R_T) yang terdiri dari Tahanan Tekanan (R_P) dan Tahanan Gesek (R_F) sebagai berikut :

4.9.1 Model Pelat Datar

a. Aliran Laminar

$$\begin{aligned} R_T &= R_P + R_F \\ &= 4.332 \cdot 10^{-7} + 1.114 \cdot 10^{-6} \\ &= 1.547 \cdot 10^{-6} \text{ N} \end{aligned}$$

b. Aliran Turbulen

$$\begin{aligned} R_T &= R_P + R_F \\ &= 1.7893 + 4.6011 \\ &= 6.3904 \text{ N} \end{aligned}$$

4.9.2 Model Ellips

a. Aliran Laminar

$$\begin{aligned} R_T &= R_P + R_F \\ &= 3.34 \cdot 10^{-7} + 1.002 \cdot 10^{-6} \\ &= 1.336 \cdot 10^{-6} \text{ N} \end{aligned}$$

b. Aliran Turbulen

$$\begin{aligned} R_T &= R_P + R_F \\ &= 1.3803 + 4.141 \\ &= 5.5213 \text{ N} \end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} R_F &= \int_s (\tau \cos \theta) ds \\ R_P &= \int_s (p \cos \theta) ds \end{aligned}$$

R_F = Tahanan Gesekan

R_P = Tahanan Tekanan

4.10 Hasil dan Analisa Tahanan Total (Hasil Distribusi Tahanan Tekanan dan Tahanan Gesek Lokal Ansys 5.4)

Dari hasil percobaan didapatkan hasil berupa distribusi tahanan tekanan dan distribusi tahanan gesek lokal yang merupakan hasil dari integral tekanan lokal dan tegangan geser lokal dari dinding model sampai pada tebal lapisan batas. Pada lembar lampiran E sampai Lampiran H disajikan hasil distribusi

Tugas Akhir

tekanan lokal dan tegangan geser lokal pada tiap koordinat x sampai pada tebal lapisan batas. Maka dengan mengintegralkan nilai – nilai tersebut didapatkan besarnya tahanan total pada model adalah sebagai berikut :

4.10.1 Model Pelat Datar

Dari hasil percobaan didapatkan hasil berupa distribusi tahanan tekanan dan distribusi tahanan gesek lokal yang merupakan hasil dari integral tekanan lokal dan tegangan geser lokal dari dinding model sampai pada tebal lapisan batas. Pada Tabel (I.1.) – (I.2.) di lembar lampiran I disajikan hasil distribusi tekanan dan tahanan gesek lokal pada tiap koordinat x sepanjang model. Dengan mengintegralkan nilai – nilai tersebut maka besarnya tahanan total pada model pelat datar didapatkan :

a. Aliran Laminar

$$\begin{aligned} R_T &= R_P + R_F \\ &= 4.066 \cdot 10^{-7} + 1.0635 \cdot 10^{-6} \\ &= 1.4701 \cdot 10^{-6} \text{ N} \end{aligned}$$

a. Aliran Turbulen

$$\begin{aligned} R_T &= R_P + R_F \\ &= 1.64573 + 4.3723 \\ &= 6.01803 \text{ N} \end{aligned}$$

4.10.2 Model Ellips

Dari hasil percobaan didapatkan hasil berupa distribusi tahanan tekanan dan distribusi tahanan gesek lokal yang merupakan hasil dari integral tekanan lokal dan tegangan geser lokal dari dinding model sampai pada tebal lapisan batas. Pada Tabel (I.3.) – (I.4.) di lembar lampiran I disajikan hasil distribusi tekanan dan tahanan gesek lokal pada tiap koordinat x sepanjang model. Dengan mengintegralkan nilai – nilai tersebut maka besarnya tahanan total pada model ellips didapatkan :

a. Aliran Laminar

$$\begin{aligned}
 R_T &= R_P + R_F \\
 &= 3.065 \cdot 10^{-7} + 8.973 \cdot 10^{-7} \\
 &= 1.2038 \cdot 10^{-6} \text{ N}
 \end{aligned}$$

b. Aliran Turbulen

$$\begin{aligned}
 R_T &= R_P + R_F \\
 &= 1.2598 + 3.7794 \\
 &= 5.0392 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan di atas dirangkum dalam Tabel 4.12. berikut ini :

Tabel 4.12. Hasil Perhitungan Tahanan Total

MODEL	LAMINAR		TURBULEN	
	Langsung	Distribusi	Langsung	Distribusi
Pelat Datar	1.547E-06	1.47E-06	6.3904	6.01803
Koreksi (%)		4.9709		5.8270
Ellips	1.336E-06	1.204E-06	5.5213	5.0392
Koreksi (%)		9.8952		8.7316

Tugas Akhir

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa harga Tahanan Total (R_T) pada aliran turbulen untuk model pelat datar lebih besar dari pada aliran laminar dengan ukuran dimensi yang sama. Hal ini disebabkan karena perbedaan kecepatannya. Karena kita ketahui bahwa besarnya Tahanan Total (R_T) berbanding lurus dengan pangkat kuadrat dari kecepatan. Begitu juga dengan perbandingan besarnya Tahanan Total (R_T) untuk aliran laminar dan turbulen pada model ellips. Di samping itu harga Tahanan Total (R_T) pada model ellips lebih kecil dari pada model pelat datar untuk kecepatan dan dimensi yang sama. Hal ini disebabkan karena bentuk pelat datar pada bagian leading edge lebih tumpul daripada ellips dan pada bagian trailing edge pada model ellips maka air dapat dialirkan relatif lebih baik dari pada bentuk pelat sehingga tahanan total pelat datar lebih besar dari pada model ellips. Begitu pula jika kita bandingkan komponen tahanan total dimana kontribusi tahanan gesek lebih besar daripada tahanan tekanan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dengan menggunakan *software Flotran CFD Ansys 5.4* menunjukkan bahwa :

1. Profil distribusi kecepatan dari *Ansys 5.4* pada Gambar (4.5.1.a) – (4.5.1.b) memiliki bentuk yang sama dengan profil distribusi kecepatan yang disajikan oleh Schlichting. Akan tetapi memiliki perbedaan untuk model pelat datar laminar pada saat nilai $u/U_\infty = 0.99$ nilai etanya (η) = 5 [Blasius] dan (η) = 5.1078 [Ansys], untuk model ellips laminar pada saat nilai $u/U_\infty = 0.99$ nilai etanya (η) = 5 [Blasius] dan (η) = 3.9942 [Ansys], untuk model pelat datar turbulen pada saat nilai $u/U_\infty = 0.99$ nilai etanya (η) = 0.37 [Von Karman] dan (η) = 0.3901 [Ansys], untuk model ellips turbulen pada saat nilai $u/U_\infty = 0.99$ nilai etanya (η) = 0.37 [Von Karman] dan (η) = 0.33 [Ansys]. Perbedaan pada model ellips yang begitu besar dikarenakan rumus yang digunakan adalah untuk model pelat datar.
2. Untuk model pelat datar maupun ellips ($a/b = 6$) baik untuk pada aliran laminar maupun turbulen mempunyai koreksi koefisien tekanan (C_p) yang sangat baik yaitu berkisar antara 0.199 % sampai dengan 1.4778 %.
3. Titik separasi yang terjadi jika tegangan geser $\tau = 0$ pada hasil *Ansys 5.4* menunjukkan bahwa, untuk model ellips pada aliran laminar titik separasinya

Tugas Akhir

- terjadi lebih dahulu yaitu pada $x/l = 0.85$, dibandingkan dengan model elips pada aliran turbulen yaitu pada $x/l = 0.91$. Harga ini perbedaanya tidak terlalu besar dengan apa yang disajikan oleh Schlichting. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 4.6.a dan Gambar 4.6.b.
4. Perhitungan tebal lapisan batas, tebal displacement dan tebal momentum pada hasil Ansys 5.4 pada aliran laminar untuk model pelat datar memiliki hasil yang sangat baik jika dibandingkan dengan teori Blasius. Hal ini bisa dilihat dari koreksi yang terjadi, dimana koreksinya 2.11 %, 1.10% dan 8.99%. Tetapi pada model ellips ($a/b = 6$), memiliki perbedaan yang cukup besar jika dibandingkan dengan teori Blasius, dimana koreksinya 25.18 %, 29.24% dan 16.36%. Perbedaan ini terjadi karena perhitungannya menggunakan rumus pendekatan teori lapisan batas untuk pelat datar. Sedangkan pada aliran turbulen untuk model pelat datar memiliki hasil yang juga cukup baik jika dibandingkan dengan hasil Von Karman. Hal ini bisa dilihat dari koreksi yang terjadi, dimana koreksinya 5.18 %, 4.28% dan 8.47%. Tetapi pada model ellips ($a/b = 6$) memiliki perbedaan yang cukup besar, dimana koreksinya 10.42 %, 11.46% dan 6.56%. Perbedaan ini terjadi karena perhitungannya menggunakan rumus pendekatan teori lapisan batas untuk pelat datar .
5. Harga Tahanan Total (R_T) pada aliran turbulen untuk model pelat datar lebih besar dari pada aliran laminar dengan ukuran dimensi yang sama. Hal ini disebabkan karena perbedaan kecepatannya. Karena kita ketahui bahwa besarnya Tahanan Total (R_T) berbanding lurus dengan pangkat kuadrat dari kecepatan. Begitu juga dengan perbandingan besarnya Tahanan Total (R_T)

Tugas Akhir

untuk aliran laminar dan turbulen pada model ellips. Di samping itu harga Tahanan Total (R_T) pada model ellips lebih kecil dari pada model pelat datar untuk kecepatan dan dimensi yang sama. Hal ini disebabkan karena bentuk pelat datar pada bagian leading edge lebih tumpul daripada ellips dan pada bagian trailing edge pada model ellips maka air dapat dialirkan relatif lebih baik dari pada bentuk pelat sehingga tahanan total pelat datar lebih besar dari pada model ellips.

6. Kontribusi terbesar dari tahanan total adalah komponen tahanan gesek yaitu harganya berkisar 65 – 80 %. Sedangkan kontribusi tahanan tekanan lebih kecil yaitu selisih dari tekanan total dengan tahanan gesek.

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 displacemen (*displacement thickness*) dan tebal momentum (*momentum thickness*) pada model ellips terjadi koreksi 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 ellips.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

Anderson Jr., JD., Computational Fluid Dynamics : The Basics with Applications, Singapore, 1995.

Fox, R.W. and McDonald, A.T., Introduction to Fluid Mechanics, John Wiley and Sons Inc., 1994.

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

Lammeren, W.P.A Van, Troost, L. and Koning, J.G., Resistance, Propulsion and Steering of Ships, Holland, 1948.

Siswanto, Digul, Tahanan Kapal I & II, ITS, Surabaya, 1986.

Cook, R.D., Concepts and Applications of Finite Element Analysis, John Wiley and Sons Inc., 1981.

Harvald, Sv. Aa., Resistance and Propulsion of ship, John Wiley and Sons Inc., 1983.

White, F.M., Fluid Mechanics, Fourth Edition, McGraw-Hill, Inc., New York, 1999.

Olson, R. M., and Wright, S. J., Dasar – Dasar Mekanika Fluida Teknik, Edisi Kelima, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1993.

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

LAMPIRAN

LAMPIRAN A (Tabel A.1.)

Data pada Tabel A.1. di bawah ini adalah data distribusi tekanan pada permukaan model pelat datar (laminar) yang diperoleh dari hasil penelitian dengan menggunakan software CFD ANSYS 5.4 yang disajikan dalam gambar 4.5. (Bab 4)

Tabel A.1. Data Distribusi Tekanan Pada Permukaan Model Pelat Datar (Laminar)

POINT	NODE	X	PCOE
1	2	0.0000	-0.9832
2	36	0.0021	-0.9760
3	35	0.0049	-0.9600
4	34	0.0087	-0.9550
5	33	0.0138	-0.9542
6	32	0.0208	-0.9537
7	31	0.0303	-0.9525
8	30	0.0432	-0.9414
9	29	0.0607	-0.9361
10	28	0.0845	-0.9342
11	27	0.1167	-0.8230
12	26	0.1605	-0.7410
13	25	0.2199	-0.6270
14	24	0.3005	-0.5500
15	23	0.4099	-0.4800
16	22	0.5584	-0.4000
17	21	0.7600	-0.3500
18	20	1.0335	-0.3040
19	19	1.4049	-0.2889
20	18	1.6784	-0.2889
21	17	1.8800	-0.2889
22	16	2.0285	-0.2889
23	15	2.1379	-0.2889
24	14	2.2185	-0.2889
25	13	2.2779	-0.2889
26	12	2.3217	-0.2889
27	11	2.3539	-0.2889
28	10	2.3777	-0.2889
29	9	2.3952	-0.2889
30	8	2.4081	-0.2889
31	7	2.4176	-0.2889
32	6	2.4246	-0.2889
33	5	2.4297	-0.2889
34	4	2.4335	-0.2889
35	3	2.4363	-0.2889
36	1	2.4384	-0.2889

LAMPIRAN A (Tabel A.2.)

Data pada Tabel A.2. di bawah ini adalah data distribusi tekanan pada permukaan model pelat datar (turbulen) yang diperoleh dari hasil penelitian dengan menggunakan software CFD ANSYS 5.4 yang disajikan dalam gambar 4.6. (Bab 4)

Tabel A.2. Data Distribusi Tekanan Pada Permukaan Model Pelat Datar (Turbulen)

POINT	NODE	X	PCOE
1	2	0.0000	-1.0512
2	46	0.0016	-1.0313
3	45	0.0036	-1.0236
4	44	0.0062	-1.0123
5	43	0.0094	-1.0071
6	42	0.0135	-0.9950
7	41	0.0188	-0.9812
8	40	0.0253	-0.9737
9	39	0.0337	-0.9543
10	38	0.0443	-0.9474
11	37	0.0576	-0.9321
12	36	0.0746	-0.9030
13	35	0.0960	-0.8620
14	34	0.1232	-0.8290
15	33	0.1576	-0.7850
16	32	0.2012	-0.7580
17	31	0.2290	-0.7190
18	30	0.3262	-0.6840
19	29	0.4146	-0.6510
20	28	0.5266	-0.6100
21	27	0.6684	-0.5270
22	26	0.8479	-0.4370
23	25	1.0753	-0.3650
24	24	1.3631	-0.3020
25	23	1.5905	-0.2710
26	22	1.7700	-0.2586
27	21	1.9118	-0.2586
28	20	2.0238	-0.2586
29	19	2.1122	-0.2586
30	18	2.1821	-0.2586
31	17	2.2372	-0.2586
32	16	2.2808	-0.2586
33	15	2.3152	-0.2586
34	14	2.3424	-0.2586
35	13	2.3638	-0.2586
36	12	2.3808	-0.2586
37	11	2.3941	-0.2586
38	10	2.4047	-0.2586
39	9	2.4131	-0.2586
40	8	2.4196	-0.2586
41	7	2.4249	-0.2586
42	6	2.4290	-0.2586
43	5	2.4322	-0.2586
44	4	2.4348	-0.2586
45	3	2.4368	-0.2586
46	1	2.4384	-0.2586

LAMPIRAN A (Tabel A.3.)

Data pada Tabel A.3. di bawah ini adalah data distribusi tekanan pada permukaan model ellips (laminar) yang diperoleh dari hasil penelitian dengan menggunakan software CFD ANSYS 5.4 yang disajikan dalam gambar 4.7. (Bab 4)

Tabel A.3. Data Distribusi Tekanan Pada Permukaan Model Ellips (Laminar)

POINT	NODE	X	PCOE
1	187	0.0000	1.0147
2	197	0.0198	0.7850
3	198	0.0527	0.4243
4	199	0.0895	0.1615
5	200	0.1277	-0.0253
6	201	0.1668	-0.1113
7	202	0.2062	-0.1429
8	203	0.2457	-0.1577
9	204	0.2855	-0.1765
10	205	0.3255	-0.2006
11	27	0.3658	-0.2199
12	28	0.4222	-0.2384
13	29	0.4788	-0.2530
14	30	0.5354	-0.2298
15	31	0.5922	-0.2247
16	32	0.6490	-0.2226
17	33	0.7059	-0.2224
18	34	0.7628	-0.2219
19	35	0.8198	-0.2218
20	36	0.8768	-0.2216
21	37	0.9339	-0.2215
22	38	0.9909	-0.2214
23	39	1.0480	-0.2213
24	40	1.1050	-0.2213
25	41	1.1621	-0.2213
26	17	1.2192	-0.2212
27	974	1.2763	-0.2212
28	973	1.3334	-0.2212
29	972	1.3904	-0.2212
30	971	1.4475	-0.2212
31	970	1.5045	-0.2212
32	969	1.5616	-0.2211
33	968	1.6186	-0.2211
34	967	1.6756	-0.2211
35	966	1.7325	-0.2211
36	965	1.7894	-0.2210
37	964	1.8462	-0.2210
38	963	1.9030	-0.2201
39	962	1.9596	-0.2021
40	961	2.0162	-0.1722
41	847	2.0726	-0.1214
42	865	2.1129	-0.1000
43	864	2.1529	-0.0999
44	863	2.1927	-0.0998
45	862	2.2322	-0.0981
46	861	2.2716	-0.0881
47	860	2.3107	-0.0880
48	859	2.3489	-0.0870
49	858	2.3857	-0.0850
50	857	2.4186	-0.0797
51	727	2.4384	-0.0799

LAMPIRAN A (Tabel A.4.)

Data pada Tabel A.4. di bawah ini adalah data distribusi tekanan pada permukaan model ellips (turbulen) yang diperoleh dari hasil penelitian dengan menggunakan software CFD ANSYS 5.4 yang disajikan dalam gambar 4.8. (Bab 4)

Tabel A.4. Data Distribusi Tekanan Pada Permukaan Model Ellips (Turbulen)

POINT	NODE	X	PCOE
1	2	0.0000	1.0101
2	78	0.0100	0.9214
3	79	0.0257	0.4929
4	80	0.0497	-0.1085
5	81	0.0780	-0.3275
6	82	0.1105	-0.3627
7	83	0.1473	-0.3912
8	84	0.1884	-0.3921
9	85	0.2341	-0.4032
10	86	0.2850	-0.3915
11	87	0.3416	-0.3925
12	88	0.4045	-0.4132
13	89	0.4740	-0.4282
14	90	0.5511	-0.3822
15	91	0.6364	-0.3879
16	92	0.7308	-0.3891
17	93	0.8352	-0.3904
18	94	0.9506	-0.3911
19	95	1.0782	-0.3913
20	96	1.2192	-0.3902
21	97	1.3602	-0.3886
22	98	1.4878	-0.3871
23	99	1.6032	-0.3847
24	100	1.7076	-0.3814
25	101	1.8020	-0.3767
26	102	1.8873	-0.3720
27	103	1.9644	-0.3665
28	104	2.0339	-0.3232
29	105	2.0968	-0.2923
30	106	2.1534	-0.2732
31	107	2.2043	-0.2536
32	108	2.2500	-0.2509
33	109	2.2911	-0.2412
34	110	2.3279	-0.2315
35	111	2.3604	-0.2314
36	112	2.3887	-0.2309
37	113	2.4127	-0.2308
38	114	2.4284	-0.2308
39	77	2.4384	-0.2307

LAMPIRAN B (Tabel B.1.)

Data pada Tabel B.1. di bawah ini adalah data profil kecepatan pada model Pelat Datar (laminar) yang diperoleh dari hasil penelitian dengan menggunakan software CFD ANSYS 5.4 yang disajikan dalam gambar 4.9. (Bab 4)

Tabel B.1. Data Profil Kecepatan Pada Model Pelat Datar (Laminar)

No	X	Y	u / U~	η	= Y.	$\sqrt{\frac{U}{v_x}}$
0	1.2192	0.0000	0.000		0.0000	
1		0.0053	0.095		0.5210	
2		0.0079	0.147		0.7420	
3		0.0110	0.213		1.0404	
4		0.0149	0.321		1.5213	
5		0.0196	0.408		1.9402	
6		0.0253	0.711		3.1452	
7		0.0323	0.886		4.0154	
8		0.0409	0.990		5.1078	

LAMPIRAN B (Tabel B.2.)

Data pada Tabel B.2. di bawah ini adalah data profil kecepatan pada model Pelat Datar (turbulen) yang diperoleh dari hasil penelitian dengan menggunakan software CFD ANSYS 5.4 yang disajikan dalam gambar 4.10. (Bab 4)

Tabel B.2. Data Profil Kecepatan Pada Model Pelat Datar (Turbulen)

No	X	Y	u / U~	y/δ $(y/(U~/v)^{0.2})/(x)^{0.8}$
0	1.2192	0.00000	0.0000	0.00000
1		0.00122	0.3847	0.00147
2		0.00264	0.3870	0.00318
3		0.00429	0.5201	0.00517
4		0.00621	0.6112	0.00748
5		0.00845	0.6402	0.01018
6		0.01105	0.6601	0.01331
7		0.01408	0.6812	0.01696
8		0.01761	0.7021	0.02121
9		0.02172	0.7303	0.02616
10		0.02650	0.7601	0.03191
11		0.14759	0.9203	0.17775
12		0.32392	0.9900	0.39011

LAMPIRAN B (Tabel B.3.)

Data pada Tabel B.3. di bawah ini adalah data profil kecepatan pada model Ellips (laminar) yang diperoleh dari hasil penelitian dengan menggunakan software CFD ANSYS 5.4 yang disajikan dalam gambar 4.11. (Bab 4)

Tabel B.3. Data Profil Kecepatan Pada Model Ellips (Laminar)

Untuk $x/l' = 0.27$				
POINT	NODE	$\frac{y}{l}$	$\sqrt{\frac{U_{\infty} \cdot l}{v}}$	u / U_{\sim}
1	32	0.0000	0.00000	
2	167	0.2300	0.13430	
3	153	0.5200	0.35656	
4	139	0.7900	0.58078	
5	125	0.9700	0.71842	
6	111	1.3510	0.86272	
7	97	1.7949	0.96000	
8	84	2.5193	0.99000	

Untuk $x/l' = 0.5$				
POINT	NODE	$\frac{y}{l}$	$\sqrt{\frac{U_{\infty} \cdot l}{v}}$	u / U_{\sim}
1	17	0.0000	0.0000	
2	18	0.4500	0.1530	
3	19	0.6400	0.2170	
4	20	1.0500	0.3719	
5	21	1.9460	0.6700	
6	22	2.8816	0.8959	
7	23	3.9942	0.9900	

Untuk $x/l' = 0.74$				
POINT	NODE	$\frac{y}{l}$	$\sqrt{\frac{U_{\infty} \cdot l}{v}}$	u / U_{\sim}
1	965	0.0000	0.0000	
2	1096	0.2100	0.0418	
3	1082	0.5500	0.1138	
4	1068	0.8500	0.2385	
5	1054	1.3700	0.4486	
6	1040	2.4600	0.7267	
7	1026	3.9500	0.9334	
8	1011	6.4360	0.9900	

Untuk $x/l' = 0.85$				
POINT	NODE	$\frac{y}{l}$	$\sqrt{\frac{U_{\infty} \cdot l}{v}}$	u / U_{\sim}
1	847	0.0000	0.0000	
2	848	0.6240	0.0263	
3	849	0.8900	0.0752	
4	850	1.2758	0.1695	
5	851	1.7700	0.3505	
6	852	2.6600	0.6110	
7	1030	4.4900	0.8827	
8	1015	6.9676	0.9900	

LAMPIRAN B (Tabel B.4.)

Data pada Tabel B.4. di bawah ini adalah data profil kecepatan pada model Ellips (turbulen) yang diperoleh dari hasil penelitian dengan menggunakan software CFD ANSYS 5.4 yang disajikan dalam gambar 4.13. (Bab 4)

**Tabel B.4. Data Profil Kecepatan Pada Model Ellips
(Turbulen)**

Untuk $x/l' = 0.5$			
POINT	NODE	y/ δ	u / U_∞
1	96	0.00000	0.0000
2	2946	0.02082	0.6003
3	2909	0.12006	0.8010
4	2872	0.33576	0.9900



LAMPIRAN C (Tabel C.1.)

Data pada Tabel C.1. di bawah ini adalah data distribusi tegangan geser pada dinding model ellips (laminar) yang diperoleh dari hasil penelitian dengan menggunakan software CFD ANSYS 5.4 yang disajikan dalam gambar 4.14. (Bab 4)

Tabel C.1. Data Tegangan Geser Pada Dinding Model Ellips (Laminar)

Point	Node	$\frac{2\tau_0}{\rho U^2} \sqrt{\frac{U_{inf}}{v}}$	x / l'
1	187	0.09696	0.0000
2	197	4.28788	0.0161
3	198	5.30942	0.0320
4	199	5.38382	0.0482
5	200	5.07755	0.0643
6	201	4.28945	0.0804
7	202	3.84825	0.0965
8	203	3.53254	0.1127
9	204	3.27735	0.1288
10	205	3.03579	0.1449
11	27	2.74235	0.1610
12	28	2.55130	0.1836
13	29	2.38542	0.2062
14	30	2.21649	0.2288
15	31	2.06170	0.2514
16	32	1.92913	0.2740
17	33	1.81652	0.2966
18	34	1.71817	0.3192
19	35	1.62746	0.3417
20	36	1.54307	0.3643
21	37	1.46408	0.3869
22	38	1.39027	0.4095
23	39	1.32142	0.4321
24	40	1.25697	0.4547
25	41	1.19611	0.4773
26	17	1.13784	0.4999
27	974	1.08185	0.5225
28	973	1.02733	0.5451
29	972	0.97403	0.5676
30	971	0.92169	0.5902
31	970	0.87007	0.6128
32	969	0.81851	0.6354
33	968	0.76763	0.6580
34	967	0.71599	0.6806
35	966	0.66317	0.7032
36	965	0.60959	0.7258
37	964	0.55463	0.7484
38	963	0.49856	0.7710
39	962	0.44005	0.7935
40	961	0.37880	0.8161
41	847	0.31545	0.8387
42	865	0.00003	0.8548
43	864	0.02230	0.8710
44	863	0.01665	0.8871
45	862	0.01111	0.9032
46	861	0.05969	0.9194
47	860	0.07237	0.9355
48	859	0.08986	0.9516
49	858	0.10034	0.9677
50	857	0.10651	0.9837
51	727	0.04622	1.0000

LAMPIRAN C (Tabel C.2.)

Data pada Tabel C.2. di bawah ini adalah data distribusi tegangan geser pada dinding model ellips (turbulen) yang diperoleh dari hasil penelitian dengan menggunakan software CFD ANSYS 5.4 yang disajikan dalam gambar 4.15. (Bab 4)

Tabel C.2. Data Tegangan Geser Pada Dinding Model Ellips (Turbulen)

Point	Node	$\frac{2\sigma}{\rho u^2} \sqrt{\frac{E\alpha}{\nu}}$	x / l'
1	2	0.0137	0.0000
2	78	3.2622	0.0093
3	79	5.0774	0.0195
4	80	6.3213	0.0308
5	81	6.6425	0.0434
6	82	6.6740	0.0572
7	83	6.6371	0.0725
8	84	6.0545	0.0894
9	85	5.7730	0.1081
10	86	5.5799	0.1287
11	87	5.3074	0.1515
12	88	5.0213	0.1767
13	89	4.7970	0.2045
14	90	4.4858	0.2352
15	91	4.2558	0.2691
16	92	3.9123	0.3066
17	93	3.4623	0.3480
18	94	2.9511	0.3937
19	95	2.2912	0.4560
20	96	2.0638	0.5000
21	97	1.6602	0.5558
22	98	1.4112	0.6063
23	99	1.1805	0.6520
24	100	0.9403	0.6934
25	101	0.8511	0.7309
26	102	0.8012	0.7649
27	103	0.6713	0.7956
28	104	0.6321	0.8233
29	105	0.4812	0.8485
30	106	0.3317	0.8713
31	107	0.2251	0.8919
32	108	0.0000	0.9106
33	109	0.0342	0.9275
34	110	0.0792	0.9428
35	111	0.0405	0.9566
36	112	0.0430	0.9692
37	113	0.0081	0.9805
38	114	0.0022	0.9907
39	77	0.0061	1.0000

LAMPIRAN D (Tabel D.1.)

Data pada Tabel D.1. di bawah ini adalah hasil perhitungan tebal lapisan batas, tebal displacemen dan tebal momentum sepanjang model pelat datar (laminar), dimana koreksi pada $x = 1.2192$ m disajikan dalam Tabel 4.10. (Bab 4)

Tabel D.1. Hasil Perhitungan Tebal Lapisan Batas, Tebal Displacemen, Tebal Momentum Pada Model Pelat Datar (Laminar)

POINT	NODE	X	δ	δ^*	θ
1	2	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000
2	36	0.0021	0.01107	0.00369	0.00158
3	35	0.0049	0.01700	0.00567	0.00243
4	34	0.0087	0.02269	0.00756	0.00324
5	33	0.0138	0.02866	0.00955	0.00409
6	32	0.0208	0.03518	0.01173	0.00503
7	31	0.0303	0.04245	0.01415	0.00606
8	30	0.0432	0.05068	0.01689	0.00724
9	29	0.0607	0.06007	0.02002	0.00858
10	28	0.0845	0.07086	0.02362	0.01012
11	27	0.1167	0.08329	0.02776	0.01190
12	26	0.1605	0.09766	0.03255	0.01395
13	25	0.2199	0.11432	0.03811	0.01633
14	24	0.3005	0.13364	0.04455	0.01909
15	23	0.4099	0.15608	0.05203	0.02230
16	22	0.5584	0.18217	0.06072	0.02602
17	21	0.7600	0.21252	0.07084	0.03036
18	20	1.0335	0.24784	0.08261	0.03541
19	19	1.4049	0.28896	0.09632	0.04128
20	18	1.6784	0.31583	0.10528	0.04512
21	17	1.8800	0.33426	0.11142	0.04775
22	16	2.0285	0.34721	0.11574	0.04960
23	15	2.1379	0.35645	0.11882	0.05092
24	14	2.2185	0.36311	0.12104	0.05187
25	13	2.2779	0.36794	0.12265	0.05256
26	12	2.3217	0.37146	0.12382	0.05307
27	11	2.3539	0.37403	0.12468	0.05343
28	10	2.3777	0.37591	0.12530	0.05370
29	9	2.3952	0.37730	0.12577	0.05390
30	8	2.4081	0.37831	0.12610	0.05404
31	7	2.4176	0.37906	0.12635	0.05415
32	6	2.4246	0.37960	0.12653	0.05423
33	5	2.4297	0.38000	0.12667	0.05429
34	4	2.4335	0.38030	0.12677	0.05433
35	3	2.4363	0.38052	0.12684	0.05436
36	1	2.4384	0.38068	0.12689	0.05438

LAMPIRAN D (Tabel D.2.)

Data pada Tabel D.2. di bawah ini adalah hasil perhitungan tebal lapisan batas, tebal displacemen dan tebal momentum sepanjang model pelat datar (turbulen), dimana koreksi pada $x = 1.2192$ m disajikan dalam Tabel 4.11. (Bab 4)

Tabel D.2. Hasil Perhitungan Tebal Lapisan Batas, Tebal Displacemen, Tebal Momentum Pada Model Pelat Datar (Turbulen)

POINT	NODE	X	δ	δ^*	θ
1	2	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000
2	46	0.0016	0.00015	0.00002	0.00001
3	45	0.0036	0.00028	0.00004	0.00003
4	44	0.0062	0.00043	0.00005	0.00004
5	43	0.0094	0.00060	0.00008	0.00006
6	42	0.0135	0.00081	0.00010	0.00008
7	41	0.0188	0.00105	0.00013	0.00010
8	40	0.0253	0.00133	0.00017	0.00013
9	39	0.0337	0.00167	0.00021	0.00017
10	38	0.0443	0.00208	0.00026	0.00021
11	37	0.0576	0.00257	0.00032	0.00026
12	36	0.0746	0.00316	0.00039	0.00032
13	35	0.0960	0.00386	0.00048	0.00039
14	34	0.1232	0.00472	0.00059	0.00047
15	33	0.1576	0.00574	0.00072	0.00057
16	32	0.2012	0.00698	0.00087	0.00070
17	31	0.2290	0.00774	0.00097	0.00077
18	30	0.3262	0.01028	0.00128	0.00103
19	29	0.4146	0.01245	0.00156	0.00125
20	28	0.5266	0.01508	0.00188	0.00151
21	27	0.6684	0.01824	0.00228	0.00182
22	26	0.8479	0.02207	0.00276	0.00221
23	25	1.0753	0.02669	0.00334	0.00267
24	24	1.3631	0.03226	0.00403	0.00323
25	23	1.5905	0.03650	0.00456	0.00365
26	22	1.7700	0.03976	0.00497	0.00398
27	21	1.9118	0.04229	0.00529	0.00423
28	20	2.0238	0.04426	0.00553	0.00443
29	19	2.1122	0.04580	0.00573	0.00458
30	18	2.1821	0.04701	0.00588	0.00470
31	17	2.2372	0.04796	0.00599	0.00480
32	16	2.2808	0.04870	0.00609	0.00487
33	15	2.3152	0.04929	0.00616	0.00493
34	14	2.3424	0.04975	0.00622	0.00498
35	13	2.3638	0.05012	0.00626	0.00501
36	12	2.3808	0.05041	0.00630	0.00504
37	11	2.3941	0.05063	0.00633	0.00506
38	10	2.4047	0.05081	0.00635	0.00508
39	9	2.4131	0.05095	0.00637	0.00510
40	8	2.4196	0.05106	0.00638	0.00511
41	7	2.4249	0.05115	0.00639	0.00512
42	6	2.4290	0.05122	0.00640	0.00512
43	5	2.4322	0.05127	0.00641	0.00513
44	4	2.4348	0.05132	0.00641	0.00513
45	3	2.4368	0.05135	0.00642	0.00514
46	1	2.4384	0.05138	0.00642	0.00514

LAMPIRAN D (Tabel D.3.)

Data pada Tabel D.3. di bawah ini adalah hasil perhitungan tebal lapisan batas, tebal displacemen dan tebal momentum sepanjang model ellips (laminar), dimana koreksi pada $x = 1.2192$ m disajikan dalam Tabel 4.10. (Bab 4)

Tabel D.3. Hasil Perhitungan Tebal Lapisan Batas, Tebal Displacemen, Tebal Momentum Pada Model Ellips (Laminar)

POINT	NODE	X	δ	δ^*	θ
1	187	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000
2	197	0.0198	0.02684	0.00895	0.00383
3	198	0.0527	0.04375	0.01458	0.00625
4	199	0.0895	0.05702	0.01901	0.00815
5	200	0.1277	0.06813	0.02271	0.00973
6	201	0.1668	0.07786	0.02595	0.01112
7	202	0.2062	0.08656	0.02885	0.01237
8	203	0.2457	0.09449	0.03150	0.01350
9	204	0.2855	0.10186	0.03395	0.01455
10	205	0.3255	0.10876	0.03625	0.01554
11	27	0.3658	0.11529	0.03843	0.01647
12	28	0.4222	0.12387	0.04129	0.01770
13	29	0.4788	0.13191	0.04397	0.01884
14	30	0.5354	0.13949	0.04650	0.01993
15	31	0.5922	0.14670	0.04890	0.02096
16	32	0.6490	0.15358	0.05119	0.02194
17	33	0.7059	0.16017	0.05339	0.02288
18	34	0.7628	0.16650	0.05550	0.02379
19	35	0.8198	0.17261	0.05754	0.02466
20	36	0.8768	0.17851	0.05950	0.02550
21	37	0.9339	0.18422	0.06141	0.02632
22	38	0.9909	0.18977	0.06326	0.02711
23	39	1.0480	0.19516	0.06505	0.02788
24	40	1.1050	0.20040	0.06680	0.02863
25	41	1.1621	0.20551	0.06850	0.02936
26	17	1.2192	0.21050	0.07017	0.03007
27	974	1.2763	0.21537	0.07179	0.03077
28	973	1.3334	0.22013	0.07338	0.03145
29	972	1.3904	0.22479	0.07493	0.03211
30	971	1.4475	0.22936	0.07645	0.03277
31	970	1.5045	0.23383	0.07794	0.03340
32	969	1.5616	0.23823	0.07941	0.03403
33	968	1.6186	0.24253	0.08084	0.03465
34	967	1.6756	0.24677	0.08226	0.03525
35	966	1.7325	0.25092	0.08364	0.03585
36	965	1.7894	0.25501	0.08500	0.03643
37	964	1.8462	0.25903	0.08634	0.03700
38	963	1.9030	0.26298	0.08766	0.03757
39	962	1.9596	0.26687	0.08896	0.03812
40	961	2.0162	0.27069	0.09023	0.03867
41	847	2.0726	0.27445	0.09148	0.03921
42	865	2.1129	0.27711	0.09237	0.03959

LAMPIRAN D (Tabel D.4.)

Data pada Tabel D.4. di bawah ini adalah hasil perhitungan tebal lapisan batas, tebal displacemen dan tebal momentum sepanjang model ellips (turbulen), dimana koreksi pada $x = 1.2192$ m disajikan dalam Tabel 4.11. (Bab 4)

Tabel D.4. Hasil Perhitungan Tebal Lapisan Batas, Tebal Displacemen, Tebal Momentum Pada Model Ellips (Turbulen)

POINT	NODE	X	δ	δ^*	θ
1	2	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000
2	78	0.0100	0.00054	0.00007	0.00005
3	79	0.0257	0.00116	0.00014	0.00012
4	80	0.0497	0.00196	0.00024	0.00020
5	81	0.0780	0.00281	0.00035	0.00028
6	82	0.1105	0.00371	0.00046	0.00037
7	83	0.1473	0.00467	0.00058	0.00047
8	84	0.1884	0.00569	0.00071	0.00057
9	85	0.2341	0.00677	0.00085	0.00068
10	86	0.2850	0.00792	0.00099	0.00079
11	87	0.3416	0.00916	0.00114	0.00092
12	88	0.4045	0.01048	0.00131	0.00105
13	89	0.4740	0.01190	0.00149	0.00119
14	90	0.5511	0.01343	0.00168	0.00134
15	91	0.6364	0.01506	0.00188	0.00151
16	92	0.7308	0.01683	0.00210	0.00168
17	93	0.8352	0.01872	0.00234	0.00187
18	94	0.9506	0.02077	0.00260	0.00208
19	95	1.0782	0.02297	0.00287	0.00230
20	96	1.2192	0.02534	0.00317	0.00253
21	97	1.3602	0.02766	0.00346	0.00277
22	98	1.4878	0.02972	0.00371	0.00297
23	99	1.6032	0.03155	0.00394	0.00315
24	100	1.7076	0.03318	0.00415	0.00332
25	101	1.8020	0.03464	0.00433	0.00346
26	102	1.8873	0.03595	0.00449	0.00359
27	103	1.9644	0.03712	0.00464	0.00371
28	104	2.0339	0.03816	0.00477	0.00382
29	105	2.0968	0.03910	0.00489	0.00391
30	106	2.1534	0.03995	0.00499	0.00399
31	107	2.2043	0.04070	0.00509	0.00407
32	108	2.2276	0.04104	0.00513	0.00410

LAMPIRAN E

Data pada Lampiran E di bawah ini adalah hasil integral pressure lokal dan tegangan geser lokal dari dinding sampai pada tebal lapisan batas pada aliran laminar model pelat datar yang kemudian diintegralkan sepanjang model sehingga diperoleh tahanan tekanan dan tahanan gesek lokal lalu dijumlahkan untuk mendapatkan tahanan total seperti yang disajikan pada Tabel 4.12 (Bab 4)

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0	0	0	-5.25E-07	PRESSURE	1.50E-05	T.GESER
					-5.25E-07	1.50E-05

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0021	0.01107	0.00000	-1.04E-04	PRESSURE	9.49E-03	T.GESER
		0.00154	-8.65E-05	-1.468E-07	1.71E-16	7.230E-06
		0.00342	-7.52E-05	-1.520E-07	1.02E-16	2.563E-19
		0.00571	-6.59E-05	-1.616E-07	5.73E-17	1.824E-19
		0.00849	-5.91E-05	-1.737E-07	1.17E-22	7.968E-20
		0.01107	-5.32E-05	-1.449E-07	7.71E-23	2.506E-25
					-7.76E-07	7.23E-06

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0049	0.01700	0.00000	-4.42E-05	PRESSURE	2.74E-03	T.GESER
		0.00154	-4.24E-05	-6.671E-08	4.93E-17	2.090E-06
		0.00342	-3.95E-05	-7.700E-08	2.20E-17	6.702E-20
		0.00571	-3.63E-05	-8.672E-08	1.47E-17	4.202E-20
		0.00849	-3.31E-05	-9.640E-08	1.31E-22	2.048E-20
		0.01700	-3.01E-05	-2.690E-07	7.41E-23	8.707E-25
					-5.98E-07	2.09E-06

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0087	0.02269	0.00000	-2.63E-05	PRESSURE	5.73E-04	T.GESER
		0.00154	-2.58E-05	-4.013E-08	1.03E-17	4.360E-07
		0.00342	-2.52E-05	-4.801E-08	5.79E-18	1.512E-20
		0.00571	-2.43E-05	-5.671E-08	2.27E-18	9.221E-21
		0.00849	-2.30E-05	-6.574E-08	1.47E-23	3.152E-21
		0.01188	-2.15E-05	-7.546E-08	1.13E-23	4.413E-26
		0.01600	-1.98E-05	-8.515E-08	6.29E-24	3.627E-26
		0.02269	-1.80E-05	-1.264E-07	2.05E-24	2.789E-26
					-4.98E-07	4.36E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0138	0.02866	0.00000	-1.73E-05	PRESSURE	1.67E-04	T.GESER
		0.00154	-1.72E-05	-2.652E-08	3.01E-18	1.280E-07
		0.00342	-1.70E-05	-3.214E-08	1.82E-18	4.542E-21
		0.00571	-1.67E-05	-3.864E-08	1.34E-18	3.625E-21
		0.00849	-1.63E-05	-4.588E-08	1.32E-23	1.869E-21
		0.01188	-1.57E-05	-5.412E-08	9.66E-24	3.871E-26
		0.01600	-1.48E-05	-6.279E-08	8.05E-24	3.649E-26
		0.02102	-1.38E-05	-7.183E-08	3.80E-24	2.976E-26
		0.02866	-1.25E-05	-1.004E-07	2.88E-24	2.551E-26
					-4.33E-07	1.28E-07

LANJUTAN LAMPIRAN E

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0208	0.03518	0.00000	-1.21E-05	PRESSURE	5.35E-04	T.GESER
		0.00154	-1.21E-05	-1.858E-08	9.61E-18	4.070E-07
		0.00342	-1.20E-05	-2.262E-08	5.80E-18	1.449E-20
		0.00571	-1.19E-05	-2.740E-08	1.49E-18	8.352E-21
		0.00849	-1.18E-05	-3.291E-08	1.25E-23	2.073E-21
		0.01188	-1.15E-05	-3.945E-08	9.34E-24	3.696E-26
		0.01600	-1.12E-05	-4.672E-08	8.77E-24	3.730E-26
		0.02102	-1.07E-05	-5.481E-08	5.82E-24	3.662E-26
		0.02713	-9.97E-06	-6.306E-08	4.18E-24	3.055E-26
		0.03518	-9.04E-06	-7.650E-08	3.23E-24	2.982E-26
				-3.85E-07		4.07E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0303	0.04245	0.00000	-8.89E-06	PRESSURE	6.87E-04	T.GESER
		0.00154	-8.88E-06	-1.368E-08	1.24E-17	5.230E-07
		0.00342	-8.87E-06	-1.668E-08	9.39E-18	2.044E-20
		0.00571	-8.84E-06	-2.027E-08	5.84E-18	1.744E-20
		0.00849	-8.78E-06	-2.449E-08	1.34E-18	9.981E-21
		0.01188	-8.69E-06	-2.961E-08	1.69E-23	2.273E-21
		0.01600	-8.55E-06	-3.550E-08	1.54E-23	6.658E-26
		0.02102	-8.33E-06	-4.237E-08	1.35E-23	7.252E-26
		0.02713	-8.01E-06	-4.992E-08	1.07E-23	7.370E-26
		0.03457	-7.51E-06	-5.770E-08	6.91E-24	6.537E-26
		0.04245	-6.79E-06	-5.632E-08	5.07E-24	4.722E-26
				-3.45E-07		5.23E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0432	0.05068	0.00000	-6.56E-06	PRESSURE	7.21E-04	T.GESER
		0.00154	-6.56E-06	-1.010E-08	1.30E-17	5.490E-07
		0.00342	-6.56E-06	-1.233E-08	8.09E-18	1.980E-20
		0.00571	-6.55E-06	-1.500E-08	2.11E-18	1.167E-20
		0.00849	-6.53E-06	-1.818E-08	1.24E-18	4.654E-21
		0.01188	-6.49E-06	-2.208E-08	1.56E-23	2.104E-21
		0.01600	-6.44E-06	-2.665E-08	1.33E-23	5.963E-26
		0.02102	-6.36E-06	-3.212E-08	1.10E-23	6.096E-26
		0.02713	-6.22E-06	-3.843E-08	9.54E-24	6.268E-26
		0.03457	-6.00E-06	-4.546E-08	7.34E-24	6.277E-26
		0.04362	-5.63E-06	-5.263E-08	5.82E-24	5.955E-26
		0.05068	-5.07E-06	-3.778E-08	3.48E-24	3.284E-26
				-3.11E-07		5.49E-07

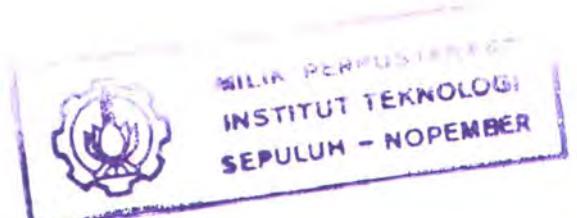
X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0607	0.06007	0.00000	-4.93E-06	PRESSURE	6.98E-04	T.GESER
		0.00154	-4.93E-06	-7.592E-09	1.25E-17	5.310E-07
		0.00342	-4.93E-06	-9.268E-09	1.23E-17	2.336E-20
		0.00571	-4.93E-06	-1.129E-08	9.30E-18	2.474E-20
		0.00849	-4.92E-06	-1.369E-08	1.56E-18	1.511E-20
		0.01188	-4.91E-06	-1.666E-08	1.19E-23	2.651E-21
		0.01600	-4.89E-06	-2.018E-08	9.77E-24	4.458E-26
		0.02102	-4.86E-06	-2.446E-08	6.36E-24	4.047E-26
		0.02713	-4.80E-06	-2.950E-08	2.93E-24	2.837E-26
		0.03457	-4.71E-06	-3.540E-08	1.43E-24	1.620E-26
		0.04362	-4.55E-06	-4.194E-08	1.17E-24	1.173E-26
		0.05464	-4.27E-06	-4.864E-08	8.27E-25	1.099E-26
		0.06007	-3.83E-06	-2.202E-08	5.32E-25	3.691E-27
				-2.80E-07		5.31E-07

LANJUTAN LAMPIRAN E

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0845	0.07086	0.00000	-3.72E-06	PRESSURE	6.36E-04	T.GESER
		0.00154	-3.72E-06	-5.723E-09	1.14E-17	4.850E-07
		0.00342	-3.72E-06	-6.987E-09	8.18E-18	1.845E-20
		0.00571	-3.72E-06	-8.511E-09	4.79E-18	1.484E-20
		0.00849	-3.71E-06	-1.033E-08	1.32E-18	8.491E-21
		0.01188	-3.71E-06	-1.258E-08	1.47E-23	2.243E-21
		0.01600	-3.70E-06	-1.527E-08	1.00E-23	5.095E-26
		0.02102	-3.69E-06	-1.855E-08	6.95E-24	4.263E-26
		0.02713	-3.67E-06	-2.248E-08	3.34E-24	3.142E-26
		0.03457	-3.64E-06	-2.718E-08	1.41E-24	1.768E-26
		0.04362	-3.58E-06	-3.264E-08	1.20E-24	1.182E-26
		0.05464	-3.46E-06	-3.876E-08	1.03E-24	1.230E-26
		0.06806	-3.24E-06	-4.496E-08	6.82E-25	1.151E-26
		0.07086	-2.90E-06	-8.577E-09	2.93E-25	1.363E-27
				-2.52E-07		4.85E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.1167	0.08329	0.00000	-2.80E-06	PRESSURE	5.66E-04	T.GESER
		0.00154	-2.80E-06	-4.313E-09	1.02E-17	4.32E-07
		0.00342	-2.80E-06	-5.266E-09	6.50E-18	1.569E-20
		0.00571	-2.80E-06	-6.415E-09	2.52E-18	1.033E-20
		0.00849	-2.80E-06	-7.787E-09	1.11E-18	5.046E-21
		0.01188	-2.80E-06	-9.492E-09	1.45E-23	1.886E-21
		0.01600	-2.80E-06	-1.153E-08	1.10E-23	5.249E-26
		0.02102	-2.79E-06	-1.403E-08	7.55E-24	4.657E-26
		0.02713	-2.78E-06	-1.704E-08	5.07E-24	3.857E-26
		0.03457	-2.77E-06	-2.067E-08	1.63E-24	2.494E-26
		0.04362	-2.75E-06	-2.498E-08	1.32E-24	1.337E-26
		0.05464	-2.71E-06	-3.005E-08	1.17E-24	1.372E-26
		0.06806	-2.62E-06	-3.570E-08	8.05E-25	1.323E-26
		0.08329	-2.44E-06	-3.853E-08	5.66E-25	1.044E-26
				-2.26E-07		4.32E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.16048	0.09766	0.00000	-2.14E-06	PRESSURE	4.78E-04	T.GESER
		0.00154	-2.14E-06	-3.289E-09	8.59E-18	3.67E-07
		0.00342	-2.14E-06	-4.016E-09	5.68E-18	1.342E-20
		0.00571	-2.14E-06	-4.892E-09	3.38E-18	1.038E-20
		0.00849	-2.14E-06	-5.939E-09	9.50E-19	6.020E-21
		0.01188	-2.14E-06	-7.241E-09	1.26E-23	1.611E-21
		0.01600	-2.14E-06	-8.799E-09	1.03E-23	4.714E-26
		0.02102	-2.13E-06	-1.071E-08	6.46E-24	4.207E-26
		0.02713	-2.13E-06	-1.303E-08	4.80E-24	3.439E-26
		0.03457	-2.13E-06	-1.583E-08	1.15E-24	2.210E-26
		0.04362	-2.12E-06	-1.920E-08	9.98E-25	9.699E-27
		0.05464	-2.10E-06	-2.324E-08	8.46E-25	1.016E-26
		0.06806	-2.07E-06	-2.796E-08	6.44E-25	1.000E-26
		0.08439	-2.00E-06	-3.317E-08	4.53E-25	8.960E-27
		0.09766	-1.86E-06	-2.558E-08	3.49E-25	5.320E-27
				-2.02E-07		3.67E-07



MILIA PERMESTIKA
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

LANJUTAN LAMPIRAN E

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.2199	0.11432	0.00000	-1.59E-06	PRESSURE	4.00E-04	T.GESER
		0.00154	-1.59E-06	-2.442E-09	7.19E-18	3.070E-07
		0.00342	-1.59E-06	-2.982E-09	5.56E-18	1.198E-20
		0.00571	-1.59E-06	-3.633E-09	2.21E-18	8.897E-21
		0.00849	-1.59E-06	-4.411E-09	1.58E-18	5.275E-21
		0.01188	-1.59E-06	-5.379E-09	1.10E-23	2.682E-21
		0.01600	-1.59E-06	-6.537E-09	7.56E-24	3.828E-26
		0.02102	-1.59E-06	-7.963E-09	6.51E-24	3.532E-26
		0.02713	-1.58E-06	-9.687E-09	2.78E-24	2.839E-26
		0.03457	-1.58E-06	-1.178E-08	1.59E-24	1.624E-26
		0.04362	-1.58E-06	-1.431E-08	1.39E-24	1.345E-26
		0.05464	-1.57E-06	-1.737E-08	1.17E-24	1.406E-26
		0.06806	-1.56E-06	-2.103E-08	1.04E-24	1.480E-26
		0.08439	-1.53E-06	-2.528E-08	7.98E-25	1.500E-26
		0.10427	-1.48E-06	-2.994E-08	4.41E-25	1.232E-26
		0.11432	-1.37E-06	-1.433E-08	2.07E-25	3.254E-27
				-1.773E-07		3.07E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.3005	0.13364	0.00000	-1.17E-06	PRESSURE	2.99E-04	T.GESER
		0.00154	-1.17E-06	-1.796E-09	5.38E-18	2.30E-07
		0.00342	-1.17E-06	-2.193E-09	3.73E-18	8.568E-21
		0.00571	-1.17E-06	-2.672E-09	2.25E-18	6.850E-21
		0.00849	-1.17E-06	-3.244E-09	1.16E-18	4.731E-21
		0.01188	-1.17E-06	-3.956E-09	1.39E-23	1.959E-21
		0.01600	-1.17E-06	-4.809E-09	1.22E-23	5.367E-26
		0.02102	-1.17E-06	-5.859E-09	8.69E-24	5.233E-26
		0.02713	-1.17E-06	-7.130E-09	4.35E-24	3.985E-26
		0.03457	-1.17E-06	-8.678E-09	1.74E-24	2.268E-26
		0.04362	-1.16E-06	-1.055E-08	1.48E-24	1.457E-26
		0.05464	-1.16E-06	-1.282E-08	1.32E-24	1.539E-26
		0.06806	-1.16E-06	-1.557E-08	1.04E-24	1.578E-26
		0.08439	-1.15E-06	-1.883E-08	8.35E-25	1.529E-26
		0.10427	-1.13E-06	-2.262E-08	5.27E-25	1.355E-26
		0.12846	-1.08E-06	-2.674E-08	3.61E-25	1.075E-26
		0.13364	-1.01E-06	-5.411E-09	2.37E-25	1.548E-27
				-1.53E-07		2.30E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.4099	0.15608	0.00000	-8.45E-07	PRESSURE	2.03E-04	T.GESER
		0.00154	-8.45E-07	-1.302E-09	3.65E-18	1.560E-07
		0.00342	-8.46E-07	-1.590E-09	3.49E-18	6.708E-21
		0.00571	-8.46E-07	-1.936E-09	1.86E-18	6.120E-21
		0.00849	-8.46E-07	-2.351E-09	1.39E-18	4.517E-21
		0.01188	-8.46E-07	-2.867E-09	1.53E-23	2.358E-21
		0.01600	-8.46E-07	-3.485E-09	1.37E-23	5.979E-26
		0.02102	-8.46E-07	-4.246E-09	8.23E-24	5.513E-26
		0.02713	-8.46E-07	-5.168E-09	5.24E-24	4.115E-26
		0.03457	-8.46E-07	-6.292E-09	1.31E-24	2.435E-26
		0.04362	-8.45E-07	-7.651E-09	1.11E-24	1.095E-26
		0.05464	-8.44E-07	-9.310E-09	9.66E-25	1.145E-26
		0.06806	-8.43E-07	-1.132E-08	8.48E-25	1.217E-26
		0.08439	-8.39E-07	-1.374E-08	6.46E-25	1.220E-26
		0.10427	-8.32E-07	-1.661E-08	4.88E-25	1.128E-26
		0.12846	-8.15E-07	-1.992E-08	3.70E-25	1.038E-26
		0.15608	-7.82E-07	-2.206E-08	3.26E-25	9.607E-27
				-1.29E-07		1.56E-07

LANJUTAN LAMPIRAN E

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.5584	0.18217	0.00000	-5.88E-07	PRESSURE	9.21E-05	T.GESER
		0.00154	-5.88E-07	-9.056E-10	1.47E-18	7.09E-08
		0.00342	-5.88E-07	-1.106E-09	9.42E-24	1.383E-21
		0.00571	-5.88E-07	-1.347E-09	8.23E-24	2.020E-26
		0.00849	-5.88E-07	-1.635E-09	6.53E-24	2.052E-26
		0.01188	-5.88E-07	-1.995E-09	3.31E-24	1.668E-26
		0.01600	-5.89E-07	-2.425E-09	1.59E-24	1.009E-26
		0.02102	-5.89E-07	-2.955E-09	1.35E-24	7.383E-27
		0.02713	-5.89E-07	-3.596E-09	1.21E-24	7.813E-27
		0.03457	-5.89E-07	-4.379E-09	9.45E-25	8.000E-27
		0.04362	-5.88E-07	-5.326E-09	7.42E-25	7.632E-27
		0.05464	-5.88E-07	-6.483E-09	6.50E-25	7.665E-27
		0.06806	-5.87E-07	-7.888E-09	3.96E-25	7.019E-27
		0.08439	-5.86E-07	-9.582E-09	2.34E-25	5.145E-27
		0.10427	-5.83E-07	-1.163E-08	1.20E-25	3.517E-27
		0.12846	-5.77E-07	-1.404E-08	7.73E-26	2.389E-27
		0.15792	-5.65E-07	-1.683E-08	6.12E-26	2.041E-27
		0.18217	-5.42E-07	-1.342E-08	2.50E-26	1.045E-27
				-1.06E-07		7.09E-08

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.7600	0.21252	0.00000	-3.99E-07	PRESSURE	1.73E-05	T.GESER
		0.00154	-3.99E-07	-6.139E-10	1.16E-19	1.33E-08
		0.00342	-3.99E-07	-7.495E-10	1.39E-24	1.086E-22
		0.00571	-3.99E-07	-9.131E-10	1.05E-24	2.794E-27
		0.00849	-3.99E-07	-1.109E-09	6.43E-25	2.360E-27
		0.01188	-3.99E-07	-1.352E-09	4.66E-25	1.881E-27
		0.01600	-3.99E-07	-1.643E-09	1.26E-25	1.220E-27
		0.02102	-3.99E-07	-2.003E-09	1.16E-25	6.062E-28
		0.02713	-3.99E-07	-2.438E-09	9.59E-26	6.461E-28
		0.03457	-3.99E-07	-2.969E-09	7.99E-26	6.540E-28
		0.04362	-3.99E-07	-3.612E-09	5.53E-26	6.116E-28
		0.05464	-3.99E-07	-4.397E-09	4.35E-26	5.442E-28
		0.06806	-3.99E-07	-5.353E-09	3.55E-26	5.299E-28
		0.08439	-3.98E-07	-6.508E-09	2.58E-26	5.006E-28
		0.10427	-3.97E-07	-7.910E-09	1.55E-26	4.108E-28
		0.12846	-3.96E-07	-9.592E-09	1.35E-26	3.511E-28
		0.15792	-3.91E-07	-1.159E-08	9.38E-27	3.370E-28
		0.19377	-3.83E-07	-1.388E-08	8.80E-27	3.259E-28
		0.21252	-3.68E-07	-7.046E-09	3.59E-27	1.161E-28
				-8.36E-08		1.33E-08

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.0335	0.24784	0.00000	-2.60E-07	PRESSURE	1.32E-04	T.GESER
		0.00154	-2.60E-07	-4.007E-10	2.38E-18	1.02E-07
		0.00342	-2.60E-07	-4.892E-10	1.49E-18	3.636E-21
		0.00571	-2.60E-07	-5.960E-10	1.10E-23	1.701E-21
		0.00849	-2.60E-07	-7.236E-10	8.23E-24	2.677E-26
		0.01188	-2.60E-07	-8.825E-10	6.38E-24	2.477E-26
		0.01600	-2.60E-07	-1.073E-09	3.22E-24	1.976E-26
		0.02102	-2.60E-07	-1.307E-09	1.45E-24	1.170E-26
		0.02713	-2.60E-07	-1.591E-09	1.28E-24	8.323E-27
		0.03457	-2.60E-07	-1.938E-09	1.13E-24	8.971E-27
		0.04362	-2.61E-07	-2.358E-09	9.08E-25	9.234E-27
		0.05464	-2.61E-07	-2.871E-09	8.64E-25	9.764E-27
		0.06806	-2.60E-07	-3.496E-09	5.60E-25	9.555E-27
		0.08439	-2.60E-07	-4.253E-09	4.31E-25	8.093E-27
		0.10427	-2.60E-07	-5.174E-09	1.98E-25	6.252E-27
		0.12846	-2.60E-07	-6.287E-09	1.13E-25	3.765E-27
		0.15792	-2.59E-07	-7.634E-09	8.07E-26	2.860E-27
		0.19377	-2.56E-07	-9.226E-09	5.58E-26	2.448E-27
		0.23741	-2.51E-07	-1.107E-08	2.31E-26	1.723E-27
		0.24784	-2.43E-07	-2.578E-09	2.14E-26	2.321E-28
				-6.39E-08		1.02E-07

LANJUTAN LAMPIRAN E

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.4049	0.28896	0.00000	-1.69E-07	PRESSURE	2.24E-04	T.GESER
		0.00154	-1.69E-07	-2.596E-10	3.68E-18	1.72E-07
		0.00342	-1.69E-07	-3.169E-10	4.66E-18	7.842E-21
		0.00571	-1.69E-07	-3.861E-10	2.03E-18	7.667E-21
		0.00849	-1.69E-07	-4.687E-10	1.41E-18	4.779E-21
		0.01188	-1.69E-07	-5.717E-10	1.51E-23	2.384E-21
		0.01600	-1.69E-07	-6.949E-10	1.27E-23	5.714E-26
		0.02102	-1.69E-07	-8.468E-10	7.51E-24	5.060E-26
		0.02713	-1.69E-07	-1.031E-09	3.82E-24	3.460E-26
		0.03457	-1.69E-07	-1.255E-09	1.75E-24	2.070E-26
		0.04362	-1.69E-07	-1.527E-09	1.46E-24	1.453E-26
		0.05464	-1.69E-07	-1.860E-09	1.32E-24	1.532E-26
		0.06806	-1.69E-07	-2.265E-09	1.20E-24	1.689E-26
		0.08439	-1.69E-07	-2.756E-09	9.98E-25	1.795E-26
		0.10427	-1.69E-07	-3.353E-09	8.41E-25	1.828E-26
		0.12846	-1.68E-07	-4.077E-09	5.46E-25	1.677E-26
		0.15792	-1.68E-07	-4.958E-09	5.02E-25	1.543E-26
		0.19377	-1.68E-07	-6.016E-09	3.60E-25	1.545E-26
		0.23741	-1.66E-07	-7.282E-09	3.48E-25	1.546E-26
		0.28896	-1.64E-07	-8.505E-09	2.37E-25	1.507E-26
				-4.84E-08		1.72E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.6784	0.31583	0.00000	-1.35E-07	PRESSURE	2.90E-04	T.GESER
		0.00154	-1.36E-07	-2.087E-10	1.04E-17	2.23E-07
		0.00342	-1.36E-07	-2.548E-10	5.19E-18	1.468E-20
		0.00571	-1.36E-07	-3.104E-10	3.27E-18	9.690E-21
		0.00849	-1.36E-07	-3.768E-10	1.23E-18	6.253E-21
		0.01188	-1.36E-07	-4.596E-10	1.54E-23	2.084E-21
		0.01600	-1.36E-07	-5.586E-10	1.09E-23	5.423E-26
		0.02102	-1.36E-07	-6.808E-10	8.57E-24	4.883E-26
		0.02713	-1.36E-07	-8.288E-10	4.17E-24	3.892E-26
		0.03457	-1.36E-07	-1.009E-09	1.62E-24	2.155E-26
		0.04362	-1.36E-07	-1.228E-09	1.50E-24	1.413E-26
		0.05464	-1.36E-07	-1.495E-09	1.34E-24	1.561E-26
		0.06806	-1.36E-07	-1.821E-09	1.09E-24	1.630E-26
		0.08439	-1.36E-07	-2.216E-09	9.45E-25	1.665E-26
		0.10427	-1.36E-07	-2.696E-09	7.88E-25	1.723E-26
		0.12846	-1.35E-07	-3.276E-09	5.64E-25	1.635E-26
		0.15792	-1.35E-07	-3.982E-09	5.19E-25	1.595E-26
		0.19377	-1.34E-07	-4.830E-09	3.78E-25	1.609E-26
		0.23741	-1.34E-07	-5.848E-09	3.30E-25	1.546E-26
		0.29054	-1.32E-07	-7.054E-09	2.90E-25	1.647E-26
		0.31583	-1.30E-07	-3.308E-09	2.01E-25	6.212E-27
				-4.24E-08		2.23E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.8800	0.33426	0.00000	-1.20E-07	PRESSURE	3.27E-04	T.GESER
		0.00154	-1.20E-07	-1.846E-10	5.87E-18	2.51E-07
		0.00342	-1.20E-07	-2.254E-10	3.78E-18	9.075E-21
		0.00571	-1.20E-07	-2.746E-10	3.09E-18	7.869E-21
		0.00849	-1.20E-07	-3.334E-10	1.58E-18	6.498E-21
		0.01188	-1.20E-07	-4.066E-10	1.44E-23	2.683E-21
		0.01600	-1.20E-07	-4.942E-10	1.19E-23	5.423E-26
		0.02102	-1.20E-07	-6.023E-10	7.33E-24	4.838E-26
		0.02713	-1.20E-07	-7.332E-10	5.23E-24	3.838E-26
		0.03457	-1.20E-07	-8.930E-10	3.62E-24	3.293E-26
		0.04362	-1.20E-07	-1.086E-09	3.30E-24	3.134E-26
		0.05464	-1.20E-07	-1.323E-09	1.51E-24	2.654E-26
		0.06806	-1.20E-07	-1.612E-09	1.29E-24	1.879E-26
		0.08439	-1.20E-07	-1.962E-09	1.17E-24	2.011E-26
		0.10427	-1.20E-07	-2.388E-09	9.65E-25	2.127E-26
		0.12846	-1.20E-07	-2.905E-09	7.76E-25	2.105E-26
		0.15792	-1.20E-07	-3.533E-09	5.55E-25	1.960E-26
		0.19377	-1.19E-07	-4.289E-09	5.02E-25	1.894E-26
		0.23741	-1.19E-07	-5.196E-09	3.66E-25	1.893E-26
		0.29054	-1.17E-07	-6.272E-09	3.43E-25	1.882E-26
		0.33426	-1.15E-07	-5.086E-09	2.37E-25	1.267E-26
				-3.98E-08		2.51E-07

LANJUTAN LAMPIRAN E

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.0285	0.34721	0.00000	-1.13E-07	PRESSURE	3.53E-04	T.GESER
		0.00154	-1.13E-07	-1.737E-10	6.36E-18	2.72E-07
		0.00342	-1.13E-07	-2.121E-10	5.02E-18	1.069E-20
		0.00571	-1.13E-07	-2.584E-10	2.03E-18	8.072E-21
		0.00849	-1.13E-07	-3.137E-10	1.05E-18	4.288E-21
		0.01188	-1.13E-07	-3.826E-10	1.26E-23	1.785E-21
		0.01600	-1.13E-07	-4.650E-10	1.16E-23	4.986E-26
		0.02102	-1.13E-07	-5.667E-10	8.22E-24	4.971E-26
		0.02713	-1.13E-07	-6.899E-10	5.05E-24	4.054E-26
		0.03457	-1.13E-07	-8.402E-10	3.80E-24	3.293E-26
		0.04362	-1.13E-07	-1.022E-09	3.48E-24	3.294E-26
		0.05464	-1.13E-07	-1.245E-09	3.30E-24	3.738E-26
		0.06806	-1.13E-07	-1.516E-09	1.87E-24	3.474E-26
		0.08439	-1.13E-07	-1.845E-09	1.53E-24	2.777E-26
		0.10427	-1.13E-07	-2.246E-09	1.32E-24	2.829E-26
		0.12846	-1.13E-07	-2.731E-09	1.13E-24	2.960E-26
		0.15792	-1.13E-07	-3.323E-09	9.08E-25	3.001E-26
		0.19377	-1.12E-07	-4.034E-09	8.55E-25	3.161E-26
		0.23741	-1.12E-07	-4.887E-09	5.42E-25	3.049E-26
		0.29054	-1.10E-07	-5.896E-09	5.19E-25	2.821E-26
		0.34721	-1.08E-07	-6.195E-09	3.27E-25	2.398E-26
				-3.88E-08		2.72E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.1379	0.35645	0.00000	-1.09E-07	PRESSURE	3.72E-04	T.GESER
		0.00154	-1.09E-07	-1.680E-10	6.70E-18	2.87E-07
		0.00342	-1.09E-07	-2.051E-10	4.84E-18	1.085E-20
		0.00571	-1.09E-07	-2.499E-10	2.23E-18	8.092E-21
		0.00849	-1.09E-07	-3.034E-10	9.12E-19	4.362E-21
		0.01188	-1.09E-07	-3.700E-10	1.61E-23	1.545E-21
		0.01600	-1.09E-07	-4.498E-10	1.51E-23	6.442E-26
		0.02102	-1.09E-07	-5.481E-10	1.35E-23	7.189E-26
		0.02713	-1.09E-07	-6.672E-10	1.21E-23	7.832E-26
		0.03457	-1.09E-07	-8.127E-10	9.10E-24	7.893E-26
		0.04362	-1.09E-07	-9.888E-10	8.78E-24	8.091E-26
		0.05464	-1.09E-07	-1.204E-09	6.84E-24	8.606E-26
		0.06806	-1.09E-07	-1.467E-09	3.64E-24	7.030E-26
		0.08439	-1.09E-07	-1.785E-09	1.70E-24	4.364E-26
		0.10427	-1.09E-07	-2.172E-09	1.57E-24	3.251E-26
		0.12846	-1.09E-07	-2.641E-09	1.31E-24	3.473E-26
		0.15792	-1.09E-07	-3.212E-09	1.14E-24	3.597E-26
		0.19377	-1.08E-07	-3.896E-09	1.03E-24	3.886E-26
		0.23741	-1.08E-07	-4.714E-09	7.19E-25	3.820E-26
		0.29054	-1.06E-07	-5.678E-09	6.96E-25	3.759E-26
		0.35645	-1.04E-07	-6.925E-09	5.04E-25	3.954E-26
				-3.85E-08		2.87E-07

LANJUTAN LAMPIRAN E

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.2185	0.36311	0.00000	-1.08E-07	PRESSURE	3.88E-04	T.GESER
		0.00154	-1.08E-07	-1.661E-10	6.98E-18	2.99E-07
		0.00342	-1.08E-07	-2.028E-10	4.19E-18	1.050E-20
		0.00571	-1.08E-07	-2.471E-10	2.58E-18	7.748E-21
		0.00849	-1.08E-07	-3.000E-10	1.52E-18	5.702E-21
		0.01188	-1.08E-07	-3.658E-10	1.63E-23	2.581E-21
		0.01600	-1.08E-07	-4.447E-10	1.53E-23	6.515E-26
		0.02102	-1.08E-07	-5.419E-10	1.37E-23	7.277E-26
		0.02713	-1.08E-07	-6.598E-10	1.09E-23	7.508E-26
		0.03457	-1.08E-07	-8.036E-10	9.63E-24	7.631E-26
		0.04362	-1.08E-07	-9.777E-10	7.54E-24	7.771E-26
		0.05464	-1.08E-07	-1.191E-09	5.95E-24	7.438E-26
		0.06806	-1.08E-07	-1.450E-09	5.05E-24	7.386E-26
		0.08439	-1.08E-07	-1.764E-09	2.58E-24	6.232E-26
		0.10427	-1.08E-07	-2.147E-09	1.49E-24	4.050E-26
		0.12846	-1.08E-07	-2.610E-09	1.29E-24	3.366E-26
		0.15792	-1.07E-07	-3.171E-09	1.12E-24	3.545E-26
		0.19377	-1.07E-07	-3.841E-09	1.01E-24	3.823E-26
		0.23741	-1.06E-07	-4.638E-09	7.37E-25	3.820E-26
		0.29054	-1.04E-07	-5.572E-09	6.78E-25	3.759E-26
		0.35520	-1.02E-07	-6.647E-09	4.86E-25	3.764E-26
		0.36311	-9.83E-08	-7.908E-10	3.27E-25	3.215E-27
				-3.85E-08		2.99E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.2779	0.36794	0.00000	-1.07E-07	PRESSURE	4.01E-04	T.GESER
		0.00154	-1.07E-07	-1.650E-10	7.21E-18	3.09E-07
		0.00342	-1.07E-07	-2.014E-10	6.04E-18	1.246E-20
		0.00571	-1.07E-07	-2.454E-10	4.29E-18	1.183E-20
		0.00849	-1.07E-07	-2.980E-10	9.38E-19	7.272E-21
		0.01188	-1.07E-07	-3.634E-10	1.61E-23	1.590E-21
		0.01600	-1.07E-07	-4.418E-10	1.45E-23	6.304E-26
		0.02102	-1.07E-07	-5.384E-10	1.28E-23	6.852E-26
		0.02713	-1.07E-07	-6.555E-10	1.11E-23	7.287E-26
		0.03457	-1.07E-07	-7.984E-10	9.59E-24	7.683E-26
		0.04362	-1.07E-07	-9.714E-10	7.44E-24	7.707E-26
		0.05464	-1.07E-07	-1.183E-09	5.92E-24	7.360E-26
		0.06806	-1.07E-07	-1.441E-09	4.96E-24	7.303E-26
		0.08439	-1.07E-07	-1.753E-09	2.51E-24	6.102E-26
		0.10427	-1.07E-07	-2.132E-09	1.53E-24	4.011E-26
		0.12846	-1.07E-07	-2.590E-09	1.40E-24	3.539E-26
		0.15792	-1.06E-07	-3.143E-09	1.12E-24	3.711E-26
		0.19377	-1.06E-07	-3.801E-09	9.66E-25	3.740E-26
		0.23741	-1.04E-07	-4.579E-09	8.32E-25	3.925E-26
		0.29054	-1.02E-07	-5.486E-09	6.15E-25	3.844E-26
		0.35520	-9.96E-08	-6.526E-09	4.54E-25	3.456E-26
		0.36794	-9.63E-08	-1.248E-09	2.79E-25	4.671E-27
				-3.86E-08		3.09E-07

LANJUTAN LAMPIRAN E

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.3217	0.37146	0.00000	-1.08E-07	PRESSURE	4.13E-04	T.GESER
		0.00154	-1.08E-07	-1.656E-10	7.42E-18	3.18E-07
		0.00342	-1.08E-07	-2.022E-10	5.51E-18	1.216E-20
		0.00571	-1.08E-07	-2.464E-10	4.26E-18	1.119E-20
		0.00849	-1.08E-07	-2.992E-10	1.47E-18	7.959E-21
		0.01188	-1.08E-07	-3.649E-10	1.63E-23	2.489E-21
		0.01600	-1.08E-07	-4.436E-10	1.46E-23	6.373E-26
		0.02102	-1.08E-07	-5.407E-10	1.30E-23	6.927E-26
		0.02713	-1.08E-07	-6.583E-10	1.12E-23	7.395E-26
		0.03457	-1.08E-07	-8.018E-10	9.77E-24	7.815E-26
		0.04362	-1.08E-07	-9.756E-10	7.51E-24	7.819E-26
		0.05464	-1.08E-07	-1.188E-09	6.80E-24	7.885E-26
		0.06806	-1.08E-07	-1.447E-09	3.73E-24	7.066E-26
		0.08439	-1.08E-07	-1.759E-09	2.53E-24	5.107E-26
		0.10427	-1.07E-07	-2.139E-09	1.51E-24	4.011E-26
		0.12846	-1.07E-07	-2.595E-09	1.29E-24	3.389E-26
		0.15792	-1.06E-07	-3.144E-09	1.14E-24	3.581E-26
		0.19377	-1.05E-07	-3.795E-09	9.33E-25	3.712E-26
		0.23741	-1.04E-07	-4.562E-09	7.39E-25	3.647E-26
		0.29054	-1.02E-07	-5.454E-09	5.90E-25	3.529E-26
		0.35520	-9.88E-08	-6.476E-09	4.43E-25	3.342E-26
		0.37146	-9.54E-08	-1.579E-09	2.19E-25	5.387E-27
				-3.88E-08		3.18E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.3539	0.37403	0.00000	-1.08E-07	PRESSURE	4.24E-04	T.GESER
		0.00154	-1.08E-07	-1.664E-10	7.62E-18	3.263E-07
		0.00342	-1.08E-07	-2.032E-10	6.80E-18	1.356E-20
		0.00571	-1.08E-07	-2.476E-10	3.90E-18	1.226E-20
		0.00849	-1.08E-07	-3.006E-10	9.38E-19	6.731E-21
		0.01188	-1.08E-07	-3.667E-10	1.64E-23	1.590E-21
		0.01600	-1.08E-07	-4.458E-10	1.46E-23	6.373E-26
		0.02102	-1.08E-07	-5.434E-10	1.29E-23	6.896E-26
		0.02713	-1.08E-07	-6.617E-10	1.12E-23	7.368E-26
		0.03457	-1.08E-07	-8.060E-10	9.84E-24	7.828E-26
		0.04362	-1.08E-07	-9.807E-10	8.39E-24	8.251E-26
		0.05464	-1.08E-07	-1.194E-09	6.45E-24	8.177E-26
		0.06806	-1.08E-07	-1.454E-09	3.90E-24	6.947E-26
		0.08439	-1.08E-07	-1.767E-09	3.41E-24	5.972E-26
		0.10427	-1.08E-07	-2.145E-09	1.58E-24	4.959E-26
		0.12846	-1.07E-07	-2.599E-09	1.35E-24	3.539E-26
		0.15792	-1.06E-07	-3.144E-09	1.21E-24	3.763E-26
		0.19377	-1.05E-07	-3.788E-09	9.51E-25	3.870E-26
		0.23741	-1.03E-07	-4.546E-09	7.56E-25	3.724E-26
		0.29054	-1.01E-07	-5.427E-09	6.08E-25	3.623E-26
		0.35520	-9.82E-08	-6.438E-09	4.26E-25	3.342E-26
		0.37403	-9.48E-08	-1.816E-09	3.30E-25	7.119E-27
				-3.90E-08		3.26E-07

LANJUTAN LAMPIRAN E

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.3777	0.37591	0.00000	-9.46E-08	PRESSURE	4.35E-04	T.GESER
		0.00154	-9.47E-08	-1.457E-10	9.24E-18	3.35E-07
		0.00342	-9.47E-08	-1.780E-10	6.91E-18	1.518E-20
		0.00571	-9.47E-08	-2.169E-10	5.14E-18	1.380E-20
		0.00849	-9.48E-08	-2.634E-10	1.04E-18	8.598E-21
		0.01188	-9.48E-08	-3.214E-10	1.70E-23	1.770E-21
		0.01600	-9.49E-08	-3.908E-10	1.43E-23	6.464E-26
		0.02102	-9.49E-08	-4.764E-10	1.30E-23	6.856E-26
		0.02713	-9.50E-08	-5.801E-10	1.19E-23	7.605E-26
		0.03457	-9.50E-08	-7.067E-10	1.01E-23	8.209E-26
		0.04362	-9.50E-08	-8.597E-10	8.32E-24	8.354E-26
		0.05464	-9.49E-08	-1.047E-09	5.67E-24	7.710E-26
		0.06806	-9.48E-08	-1.273E-09	4.15E-24	6.591E-26
		0.08439	-9.45E-08	-1.546E-09	2.17E-24	5.164E-26
		0.10427	-9.41E-08	-1.875E-09	1.46E-24	3.607E-26
		0.12846	-9.34E-08	-2.268E-09	1.30E-24	3.329E-26
		0.15792	-9.25E-08	-2.739E-09	1.10E-24	3.526E-26
		0.19377	-9.13E-08	-3.295E-09	1.02E-24	3.800E-26
		0.23741	-8.97E-08	-3.950E-09	7.61E-25	3.894E-26
		0.29054	-8.77E-08	-4.712E-09	6.84E-25	3.839E-26
		0.35520	-8.52E-08	-5.589E-09	4.10E-25	3.536E-26
		0.43392	-8.23E-08	-6.591E-09	2.46E-25	2.580E-26
				-3.91E-08		3.35E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.3952	0.37730	0.00000	-1.09E-07	PRESSURE	4.47E-04	T.GESER
		0.00154	-1.09E-07	-1.675E-10	8.03E-18	3.44E-07
		0.00342	-1.09E-07	-2.046E-10	5.67E-18	1.288E-20
		0.00571	-1.09E-07	-2.493E-10	3.87E-18	1.092E-20
		0.00849	-1.09E-07	-3.029E-10	1.04E-18	6.820E-21
		0.01188	-1.09E-07	-3.696E-10	1.63E-23	1.758E-21
		0.01600	-1.09E-07	-4.495E-10	1.43E-23	6.311E-26
		0.02102	-1.09E-07	-5.481E-10	1.30E-23	6.869E-26
		0.02713	-1.09E-07	-6.675E-10	1.20E-23	7.648E-26
		0.03457	-1.09E-07	-8.131E-10	9.26E-24	7.907E-26
		0.04362	-1.09E-07	-9.890E-10	7.56E-24	7.611E-26
		0.05464	-1.09E-07	-1.203E-09	6.73E-24	7.876E-26
		0.06806	-1.09E-07	-1.462E-09	4.29E-24	7.398E-26
		0.08439	-1.08E-07	-1.773E-09	2.14E-24	5.251E-26
		0.10427	-1.08E-07	-2.147E-09	1.65E-24	3.765E-26
		0.12846	-1.07E-07	-2.595E-09	1.26E-24	3.522E-26
		0.15792	-1.06E-07	-3.130E-09	1.17E-24	3.586E-26
		0.19377	-1.04E-07	-3.762E-09	9.93E-25	3.883E-26
		0.23741	-1.02E-07	-4.507E-09	7.30E-25	3.759E-26
		0.29054	-1.00E-07	-5.375E-09	6.40E-25	3.637E-26
		0.35520	-9.72E-08	-6.376E-09	5.00E-25	3.684E-26
		0.37730	-9.39E-08	-2.111E-09	3.06E-25	8.901E-27
				-3.93E-08		3.44E-07

LANJUTAN LAMPIRAN E

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.4081	0.37831	0.00000	-1.09E-07	PRESSURE	4.61E-04	T.GESER
		0.00154	-1.09E-07	-1.684E-10	8.28E-18	3.55E-07
		0.00342	-1.09E-07	-2.057E-10	5.71E-18	1.315E-20
		0.00571	-1.10E-07	-2.508E-10	3.78E-18	1.086E-20
		0.00849	-1.10E-07	-3.048E-10	1.03E-18	6.682E-21
		0.01188	-1.10E-07	-3.720E-10	1.63E-23	1.740E-21
		0.01600	-1.10E-07	-4.527E-10	1.44E-23	6.318E-26
		0.02102	-1.10E-07	-5.521E-10	1.29E-23	6.856E-26
		0.02713	-1.10E-07	-6.725E-10	1.19E-23	7.578E-26
		0.03457	-1.10E-07	-8.189E-10	9.28E-24	7.874E-26
		0.04362	-1.10E-07	-9.954E-10	7.49E-24	7.587E-26
		0.05464	-1.10E-07	-1.210E-09	6.80E-24	7.876E-26
		0.06806	-1.09E-07	-1.468E-09	4.35E-24	7.481E-26
		0.08439	-1.09E-07	-1.778E-09	2.26E-24	5.395E-26
		0.10427	-1.08E-07	-2.152E-09	1.72E-24	3.957E-26
		0.12846	-1.07E-07	-2.597E-09	1.31E-24	3.667E-26
		0.15792	-1.06E-07	-3.131E-09	1.11E-24	3.576E-26
		0.19377	-1.04E-07	-3.762E-09	9.31E-25	3.667E-26
		0.23741	-1.02E-07	-4.505E-09	8.32E-25	3.847E-26
		0.29054	-1.00E-07	-5.374E-09	5.67E-25	3.717E-26
		0.35520	-9.72E-08	-6.376E-09	4.33E-25	3.233E-26
		0.37831	-9.39E-08	-2.208E-09	2.37E-25	7.737E-27
				-3.94E-08		3.55E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.4176	0.37906	0.00000	-1.09E-07	PRESSURE	4.78E-04	T.GESER
		0.00154	-1.10E-07	-1.687E-10	7.93E-18	3.68E-07
		0.00342	-1.10E-07	-2.063E-10	5.71E-18	1.282E-20
		0.00571	-1.10E-07	-2.516E-10	4.86E-18	1.210E-20
		0.00849	-1.10E-07	-3.059E-10	9.73E-19	8.107E-21
		0.01188	-1.10E-07	-3.737E-10	1.70E-23	1.650E-21
		0.01600	-1.11E-07	-4.550E-10	1.46E-23	6.508E-26
		0.02102	-1.11E-07	-5.550E-10	1.29E-23	6.883E-26
		0.02713	-1.11E-07	-6.758E-10	1.11E-23	7.335E-26
		0.03457	-1.10E-07	-8.223E-10	9.38E-24	7.637E-26
		0.04362	-1.10E-07	-9.984E-10	8.55E-24	8.115E-26
		0.05464	-1.10E-07	-1.212E-09	5.57E-24	7.778E-26
		0.06806	-1.09E-07	-1.469E-09	4.13E-24	6.508E-26
		0.08439	-1.09E-07	-1.778E-09	3.20E-24	5.987E-26
		0.10427	-1.08E-07	-2.150E-09	1.61E-24	4.784E-26
		0.12846	-1.07E-07	-2.594E-09	1.34E-24	3.579E-26
		0.15792	-1.05E-07	-3.126E-09	1.12E-24	3.633E-26
		0.19377	-1.04E-07	-3.755E-09	9.35E-25	3.686E-26
		0.23741	-1.02E-07	-4.498E-09	8.32E-25	3.855E-26
		0.29054	-9.98E-08	-5.366E-09	6.38E-25	3.905E-26
		0.35520	-9.71E-08	-6.367E-09	4.54E-25	3.530E-26
		0.37906	-9.37E-08	-2.276E-09	2.46E-25	8.345E-27
				-3.94E-08		3.68E-07

LANJUTAN LAMPIRAN E

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.4246	0.37960	0.00000	-1.09E-07	PRESSURE	5.03E-04	T.GESER
		0.00154	-1.10E-07	-1.688E-10	9.04E-18	3.871E-07
		0.00342	-1.10E-07	-2.065E-10	6.40E-18	1.451E-20
		0.00571	-1.10E-07	-2.523E-10	4.79E-18	1.281E-20
		0.00849	-1.11E-07	-3.072E-10	9.88E-19	8.028E-21
		0.01188	-1.11E-07	-3.756E-10	1.61E-23	1.674E-21
		0.01600	-1.11E-07	-4.573E-10	1.47E-23	6.355E-26
		0.02102	-1.11E-07	-5.577E-10	1.38E-23	7.153E-26
		0.02713	-1.11E-07	-6.784E-10	1.12E-23	7.627E-26
		0.03457	-1.11E-07	-8.244E-10	9.49E-24	7.683E-26
		0.04362	-1.10E-07	-9.997E-10	8.50E-24	8.139E-26
		0.05464	-1.10E-07	-1.212E-09	5.51E-24	7.720E-26
		0.06806	-1.09E-07	-1.469E-09	3.78E-24	6.236E-26
		0.08439	-1.08E-07	-1.776E-09	2.14E-24	4.833E-26
		0.10427	-1.08E-07	-2.147E-09	1.74E-24	3.857E-26
		0.12846	-1.07E-07	-2.589E-09	1.35E-24	3.735E-26
		0.15792	-1.05E-07	-3.121E-09	1.12E-24	3.638E-26
		0.19377	-1.04E-07	-3.749E-09	9.20E-25	3.664E-26
		0.23741	-1.02E-07	-4.492E-09	8.34E-25	3.828E-26
		0.29054	-9.97E-08	-5.359E-09	6.40E-25	3.914E-26
		0.35520	-9.70E-08	-6.360E-09	4.52E-25	3.530E-26
		0.37960	-9.36E-08	-2.325E-09	2.44E-25	8.494E-27
				-3.94E-08		3.87E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.4297	0.38000	0.00000	-1.09E-07	PRESSURE	5.38E-04	T.GESER
		0.00154	-1.10E-07	-1.685E-10	9.67E-18	4.14E-07
		0.00342	-1.10E-07	-2.069E-10	6.57E-18	1.527E-20
		0.00571	-1.11E-07	-2.534E-10	4.91E-18	1.315E-20
		0.00849	-1.11E-07	-3.092E-10	1.05E-18	8.288E-21
		0.01188	-1.12E-07	-3.783E-10	1.65E-23	1.782E-21
		0.01600	-1.12E-07	-4.603E-10	1.56E-23	6.602E-26
		0.02102	-1.12E-07	-5.605E-10	1.29E-23	7.153E-26
		0.02713	-1.11E-07	-6.807E-10	1.13E-23	7.395E-26
		0.03457	-1.11E-07	-8.261E-10	9.13E-24	7.598E-26
		0.04362	-1.10E-07	-1.001E-09	7.26E-24	7.419E-26
		0.05464	-1.10E-07	-1.213E-09	5.87E-24	7.233E-26
		0.06806	-1.09E-07	-1.468E-09	4.49E-24	6.947E-26
		0.08439	-1.08E-07	-1.775E-09	3.02E-24	6.131E-26
		0.10427	-1.07E-07	-2.145E-09	1.62E-24	4.612E-26
		0.12846	-1.06E-07	-2.588E-09	1.29E-24	3.522E-26
		0.15792	-1.05E-07	-3.119E-09	1.12E-24	3.550E-26
		0.19377	-1.04E-07	-3.748E-09	9.24E-25	3.658E-26
		0.23741	-1.02E-07	-4.491E-09	8.32E-25	3.832E-26
		0.29054	-9.97E-08	-5.360E-09	5.51E-25	3.675E-26
		0.35520	-9.70E-08	-6.360E-09	3.82E-25	3.016E-26
		0.38000	-9.36E-08	-2.363E-09	2.42E-25	7.735E-27
				-3.93E-08		4.14E-07

LANJUTAN LAMPIRAN E

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.4335	0.3803	0.00000	-1.08E-07	PRESSURE	6.03E-04	T.GESER
		0.00154	-1.09E-07	-1.676E-10	1.08E-17	4.634E-07
		0.00342	-1.10E-07	-2.058E-10	7.50E-18	1.725E-20
		0.00571	-1.10E-07	-2.520E-10	5.37E-18	1.474E-20
		0.00849	-1.11E-07	-3.075E-10	1.17E-18	9.086E-21
		0.01188	-1.11E-07	-3.763E-10	1.86E-23	1.984E-21
		0.01600	-1.11E-07	-4.578E-10	1.75E-23	7.428E-26
		0.02102	-1.11E-07	-5.575E-10	1.45E-23	8.027E-26
		0.02713	-1.11E-07	-6.770E-10	1.25E-23	8.245E-26
		0.03457	-1.10E-07	-8.217E-10	1.03E-23	8.464E-26
		0.04362	-1.10E-07	-9.954E-10	8.16E-24	8.333E-26
		0.05464	-1.09E-07	-1.206E-09	6.59E-24	8.129E-26
		0.06806	-1.09E-07	-1.460E-09	5.13E-24	7.866E-26
		0.08439	-1.08E-07	-1.766E-09	3.41E-24	6.969E-26
		0.10427	-1.07E-07	-2.134E-09	1.82E-24	5.190E-26
		0.12846	-1.06E-07	-2.574E-09	1.45E-24	3.954E-26
		0.15792	-1.05E-07	-3.103E-09	1.37E-24	4.156E-26
		0.19377	-1.03E-07	-3.728E-09	1.03E-24	4.302E-26
		0.23741	-1.01E-07	-4.467E-09	9.35E-25	4.291E-26
		0.29054	-9.92E-08	-5.331E-09	6.20E-25	4.129E-26
		0.35520	-9.65E-08	-6.326E-09	4.30E-25	3.393E-26
		0.38030	-9.31E-08	-2.379E-09	3.35E-25	9.593E-27
				-3.93E-08		4.63E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.4363	0.38052	0.00000	-1.05E-07	PRESSURE	7.44E-04	T.GESER
		0.00154	-1.11E-07	-1.661E-10	1.34E-17	5.670E-07
		0.00342	-1.12E-07	-2.095E-10	6.18E-18	1.838E-20
		0.00571	-1.13E-07	-2.577E-10	3.82E-18	1.145E-20
		0.00849	-1.13E-07	-3.132E-10	9.18E-19	6.588E-21
		0.01188	-1.12E-07	-3.807E-10	1.66E-23	1.556E-21
		0.01600	-1.12E-07	-4.606E-10	1.58E-23	6.677E-26
		0.02102	-1.11E-07	-5.585E-10	1.31E-23	7.248E-26
		0.02713	-1.10E-07	-6.764E-10	1.14E-23	7.479E-26
		0.03457	-1.10E-07	-8.194E-10	9.23E-24	7.672E-26
		0.04362	-1.09E-07	-9.914E-10	7.38E-24	7.515E-26
		0.05464	-1.09E-07	-1.201E-09	5.96E-24	7.350E-26
		0.06806	-1.08E-07	-1.454E-09	4.48E-24	7.010E-26
		0.08439	-1.07E-07	-1.758E-09	3.09E-24	6.182E-26
		0.10427	-1.06E-07	-2.125E-09	1.64E-24	4.700E-26
		0.12846	-1.06E-07	-2.565E-09	1.31E-24	3.570E-26
		0.15792	-1.04E-07	-3.093E-09	1.24E-24	3.754E-26
		0.19377	-1.03E-07	-3.719E-09	9.34E-25	3.889E-26
		0.23741	-1.01E-07	-4.458E-09	8.46E-25	3.885E-26
		0.29054	-9.90E-08	-5.320E-09	5.61E-25	3.738E-26
		0.35520	-9.62E-08	-6.310E-09	3.89E-25	3.071E-26
		0.38052	-9.27E-08	-2.391E-09	3.05E-25	8.794E-27
				-3.93E-08		5.67E-07

LANJUTAN LAMPIRAN E

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.4384	0.38068	0.00000	-1.29E-07	PRESSURE	8.97E-04	T.GESER
		0.00154	-1.18E-07	-1.899E-10	1.61E-17	6.830E-07
		0.00342	-1.15E-07	-2.192E-10	5.93E-18	2.073E-20
		0.00571	-1.14E-07	-2.632E-10	3.79E-18	1.112E-20
		0.00849	-1.13E-07	-3.166E-10	9.20E-19	6.540E-21
		0.01188	-1.13E-07	-3.830E-10	1.66E-23	1.559E-21
		0.01600	-1.12E-07	-4.621E-10	1.58E-23	6.684E-26
		0.02102	-1.11E-07	-5.595E-10	1.31E-23	7.257E-26
		0.02713	-1.10E-07	-6.770E-10	1.14E-23	7.490E-26
		0.03457	-1.10E-07	-8.198E-10	9.25E-24	7.686E-26
		0.04362	-1.09E-07	-9.919E-10	7.39E-24	7.531E-26
		0.05464	-1.09E-07	-1.201E-09	5.98E-24	7.370E-26
		0.06806	-1.08E-07	-1.455E-09	4.50E-24	7.034E-26
		0.08439	-1.07E-07	-1.760E-09	3.11E-24	6.211E-26
		0.10427	-1.07E-07	-2.128E-09	1.64E-24	4.720E-26
		0.12846	-1.06E-07	-2.569E-09	1.31E-24	3.575E-26
		0.15792	-1.05E-07	-3.100E-09	1.24E-24	3.759E-26
		0.19377	-1.03E-07	-3.729E-09	9.36E-25	3.895E-26
		0.23741	-1.02E-07	-4.471E-09	8.48E-25	3.893E-26
		0.29054	-9.92E-08	-5.334E-09	5.70E-25	3.767E-26
		0.35520	-9.63E-08	-6.323E-09	4.00E-25	3.135E-26
		0.38068	-9.27E-08	-2.409E-09	3.14E-25	9.101E-27
				-3.93E-08		6.83E-07

LAMPIRAN F

Data pada Lampiran F di bawah ini adalah hasil integral pressure lokal dan tegangan geser lokal dari dinding sampai pada tebal lapisan batas pada aliran turbulen model pelat datar yang kemudian diintegarkan sepanjang model sehingga diperoleh tahanan tekanan dan tahanan gesek lokal lalu dijumlahkan untuk mendapatkan tahanan total seperti yang disajikan pada Tabel 4.12 (Bab 4)

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0	0	0	-1.39E+00	PRESSURE	1.87E+00	T.GESER
					-1.39E+00	1.87E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0016	0.00015	0	-7.33E+03	PRESSURE	2.19E+05	T.GESER
		0.00015	-6.80E+03	-1.03E+00	4.99E-09	1.60E+01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0036	0.00028	0	-7.45E+02	PRESSURE	3.03E+03	T.GESER
		0.00122	-7.48E+02	-9.10E-01	6.89E-11	1.85E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0062	0.00043	0	-2.07E+03	PRESSURE	7.72E+03	T.GESER
		0.00043	-2.07E+03	-8.92E-01	1.76E-10	1.66E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0094	0.00060	0	-7.21E+02	PRESSURE	2.38E+04	T.GESER
		0.00122	-7.22E+02	-8.80E-01	5.42E-10	1.45E+01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0135	0.00081	0	-1.08E+03	PRESSURE	3.33E+03	T.GESER
		0.00081	-1.08E+03	-8.74E-01	7.57E-11	1.34E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0188	0.00105	0	-7.14E+02	PRESSURE	2.15E+03	T.GESER
		0.00122	-7.14E+02	-8.71E-01	4.90E-11	1.31E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0253	0.00133	0	-6.54E+02	PRESSURE	2.17E+03	T.GESER
		0.00122	-6.54E+02	-7.98E-01	4.94E-11	1.32E+00
		0.00133	-6.54E+02	-7.26E-02	1.94E-16	2.74E-15
					-8.70E-01	1.32E+00

LANJUTAN LAMPIRAN F

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0337	0.00167	0	-5.20E+02	PRESSURE	2.21E+03	T.GESER
		0.00122	-5.20E+02	-6.35E-01	5.04E-11	1.35E+00
		0.00167	-5.20E+02	-2.35E-01	2.34E-16	1.14E-14
				-8.69E-01		1.35E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0443	0.00208	0	-4.17E+02	PRESSURE	2.29E+03	T.GESER
		0.00122	-4.17E+02	-5.08E-01	5.20E-11	1.39E+00
		0.00208	-4.17E+02	-3.58E-01	2.55E-16	2.23E-14
				-8.67E-01		1.39E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0576	0.00257	0	-3.36E+02	PRESSURE	2.36E+03	T.GESER
		0.00122	-3.36E+02	-4.10E-01	-5.37E-11	1.44E+00
		0.00257	-3.36E+02	-4.53E-01	2.62E-16	-3.62E-14
				-8.63E-01		1.44E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0746	0.00316	0	-2.72E+02	PRESSURE	2.43E+03	T.GESER
		0.00122	-2.72E+02	-3.32E-01	5.52E-11	1.48E+00
		0.00264	-2.72E+02	-3.86E-01	2.63E-16	3.92E-14
		0.00316	-2.72E+02	-1.40E-01	2.87E-16	1.42E-19
				-8.57E-01		1.48E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0960	0.00386	0	-2.20E+02	PRESSURE	2.47E+03	T.GESER
		0.00122	-2.20E+02	-2.68E-01	5.63E-11	1.51E+00
		0.00264	-2.20E+02	-3.12E-01	2.65E-16	4.00E-14
		0.00386	-2.20E+02	-2.69E-01	2.88E-16	3.39E-19
				-8.48E-01		1.51E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.1232	0.00472	0	-1.78E+02	PRESSURE	2.51E+03	T.GESER
		0.00122	-1.78E+02	-2.17E-01	1.14E-10	1.53E+00
		0.00264	-1.78E+02	-2.52E-01	2.67E-16	8.11E-14
		0.00429	-1.78E+02	-2.93E-01	2.91E-16	4.61E-19
		0.00472	-1.78E+02	-7.57E-02	3.68E-16	1.41E-19
				-8.37E-01		1.53E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.1576	0.00574	0	-1.43E+02	PRESSURE	2.56E+03	T.GESER
		0.00122	-1.43E+02	-1.75E-01	1.16E-10	1.56E+00
		0.00264	-1.43E+02	-2.04E-01	2.70E-16	8.27E-14
		0.00429	-1.43E+02	-2.37E-01	2.93E-16	4.64E-19
		0.00574	-1.43E+02	-2.08E-01	3.71E-16	4.82E-19
				-8.23E-01		1.56E+00

LANJUTAN LAMPIRAN F

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.2012	0.00698	0	-1.15E+02	PRESSURE	2.61E+03	T.GESER
		0.00122	-1.15E+02	-1.40E-01	5.93E-11	1.59E+00
		0.00264	-1.15E+02	-1.63E-01	2.07E-16	4.21E-14
		0.00429	-1.15E+02	-1.90E-01	2.79E-16	4.01E-19
		0.00621	-1.15E+02	-2.21E-01	3.25E-16	5.79E-19
		0.00698	-1.15E+02	-8.88E-02	3.40E-16	2.56E-19
				-8.02E-01		1.59E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.2290	0.00774	0	-9.98E+01	PRESSURE	2.61E+03	T.GESER
		0.00122	-9.98E+01	-1.22E-01	5.93E-11	1.59E+00
		0.00264	-9.98E+01	-1.42E-01	2.08E-16	4.21E-14
		0.00429	-9.98E+01	-1.65E-01	2.79E-16	4.02E-19
		0.00621	-9.98E+01	-1.92E-01	3.26E-16	5.81E-19
		0.00774	-9.98E+01	-1.53E-01	3.41E-16	5.12E-19
				-7.72E-01		1.59E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.3262	0.01028	0	-7.17E+01	PRESSURE	2.61E+03	T.GESER
		0.00122	-7.17E+01	-8.75E-02	5.94E-11	1.59E+00
		0.00264	-7.17E+01	-1.02E-01	2.09E-16	4.22E-14
		0.00429	-7.17E+01	-1.18E-01	2.82E-16	4.05E-19
		0.00621	-7.17E+01	-1.38E-01	3.28E-16	5.86E-19
		0.00845	-7.17E+01	-1.61E-01	3.41E-16	7.50E-19
		0.01028	-7.17E+01	-1.31E-01	3.43E-16	6.25E-19
				-7.38E-01		1.59E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.4146	0.01245	0	-5.50E+01	PRESSURE	2.53E+03	T.GESER
		0.00122	-5.50E+01	-6.71E-02	5.75E-11	1.54E+00
		0.00264	-5.50E+01	-7.81E-02	2.00E-16	4.08E-14
		0.00429	-5.50E+01	-9.08E-02	2.75E-16	3.92E-19
		0.00621	-5.50E+01	-1.06E-01	3.24E-16	5.74E-19
		0.00845	-5.50E+01	-1.23E-01	3.32E-16	7.34E-19
		0.01105	-5.50E+01	-1.43E-01	3.38E-16	8.72E-19
		0.01245	-5.50E+01	-7.71E-02	3.40E-16	4.75E-19
				-6.84E-01		1.54E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.5266	0.01508	0	-4.03E+01	PRESSURE	2.18E+03	T.GESER
		0.00122	-4.03E+01	-4.92E-02	4.96E-11	1.33E+00
		0.00264	-4.03E+01	-5.72E-02	1.90E-16	3.52E-14
		0.00429	-4.03E+01	-6.65E-02	2.69E-16	3.79E-19
		0.00621	-4.03E+01	-7.74E-02	3.20E-16	5.66E-19
		0.00845	-4.03E+01	-9.03E-02	3.14E-16	7.10E-19
		0.01105	-4.03E+01	-1.05E-01	3.05E-16	8.05E-19
		0.01408	-4.03E+01	-1.22E-01	3.00E-16	9.18E-19
		0.01508	-4.04E+01	-4.02E-02	2.88E-16	2.93E-19
				-6.08E-01		1.33E+00



LANJUTAN LAMPIRAN F

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.6684	0.01824	0	-2.83E+01	PRESSURE	1.60E+03	T.GESER
		0.00122	-2.83E+01	-3.45E-02	2.04E-11	9.77E-01
		0.00264	-2.83E+01	-4.01E-02	3.71E-16	1.45E-14
		0.00429	-2.83E+01	-4.66E-02	3.32E-16	5.80E-19
		0.00621	-2.83E+01	-5.43E-02	2.33E-16	5.43E-19
		0.00845	-2.83E+01	-6.34E-02	2.25E-16	5.13E-19
		0.01105	-2.83E+01	-7.36E-02	6.11E-17	3.72E-19
		0.01408	-2.83E+01	-8.58E-02	3.09E-17	1.39E-19
		0.01761	-2.83E+01	-1.00E-01	1.98E-17	8.95E-20
		0.01824	-2.83E+01	-1.80E-02	1.68E-17	1.16E-20
				-5.16E-01		9.77E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.8479	0.02207	0	-1.88E+01	PRESSURE	1.01E+03	T.GESER
		0.00122	-1.88E+01	-2.29E-02	1.95E-11	6.15E-01
		0.00264	-1.88E+01	-2.67E-02	3.46E-16	1.39E-14
		0.00429	-1.88E+01	-3.10E-02	3.29E-16	5.56E-19
		0.00621	-1.88E+01	-3.61E-02	2.55E-16	5.60E-19
		0.00845	-1.88E+01	-4.22E-02	1.89E-16	4.96E-19
		0.01105	-1.88E+01	-4.90E-02	7.91E-17	3.48E-19
		0.01408	-1.89E+01	-5.71E-02	3.22E-17	1.69E-19
		0.01761	-1.89E+01	-6.66E-02	1.95E-17	9.13E-20
		0.02172	-1.89E+01	-7.76E-02	1.75E-17	7.59E-20
		0.02207	-1.89E+01	-6.59E-03	1.16E-17	5.07E-21
				-4.16E-01		6.15E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.0753	0.02669	0	-1.12E+01	PRESSURE	3.13E+02	T.GESER
		0.00122	-1.12E+01	-1.37E-02	7.13E-12	1.91E-01
		0.00264	-1.12E+01	-1.59E-02	3.90E-16	5.06E-15
		0.00429	-1.12E+01	-1.85E-02	3.26E-16	5.91E-19
		0.00621	-1.12E+01	-2.16E-02	2.54E-16	5.56E-19
		0.00845	-1.12E+01	-2.52E-02	1.86E-16	4.93E-19
		0.01105	-1.13E+01	-2.92E-02	7.96E-17	3.46E-19
		0.01408	-1.13E+01	-3.41E-02	3.23E-17	1.69E-19
		0.01761	-1.13E+01	-3.98E-02	1.96E-17	9.16E-20
		0.02172	-1.13E+01	-4.63E-02	1.72E-17	7.57E-20
		0.02650	-1.13E+01	-5.39E-02	1.17E-17	6.92E-20
		0.02669	-1.13E+01	-2.13E-03	1.08E-17	2.12E-21
				-3.00E-01		1.91E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.3631	0.03226	0	-6.11E+01	PRESSURE	1.43E+02	T.GESER
		0.00122	-6.11E+01	-7.46E-02	3.26E-12	8.75E-02
		0.00264	-6.12E+01	-8.68E-02	3.32E-17	2.32E-15
		0.00429	-6.12E+01	-1.01E-01	2.85E-17	5.09E-20
		0.00621	-6.13E+01	-1.18E-01	2.34E-17	4.98E-20
		0.00845	-6.13E+01	-1.37E-01	1.76E-17	4.59E-20
		0.01105	-6.14E+01	-1.60E-01	6.97E-18	3.19E-20
		0.01408	-6.15E+01	-1.86E-01	3.27E-18	1.55E-20
		0.01761	-6.15E+01	-2.17E-01	2.87E-18	1.08E-20
		0.02172	-6.16E+01	-2.53E-01	2.69E-18	1.14E-20
		0.02650	-6.17E+01	-2.95E-01	2.20E-18	1.17E-20
		0.03207	-6.17E+01	-3.44E-01	1.59E-18	1.06E-20
		0.03226	-6.18E+01	-1.20E-02	8.19E-19	2.34E-22
				-1.99E-01		8.75E-02

LANJUTAN LAMPIRAN F

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.5905	0.03650	0	-4.09E+01	PRESSURE	5.96E+02	T.GESER
		0.00122	-4.09E+01	-4.99E-02	1.36E-11	3.64E-01
		0.00264	-4.09E+01	-5.81E-02	3.33E-17	9.64E-15
		0.00429	-4.10E+01	-6.75E-02	2.86E-17	5.10E-20
		0.00621	-4.10E+01	-7.87E-02	2.34E-17	4.99E-20
		0.00845	-4.10E+01	-9.19E-02	1.77E-17	4.60E-20
		0.01105	-4.11E+01	-1.07E-01	7.01E-18	3.21E-20
		0.01408	-4.11E+01	-1.25E-01	3.28E-18	1.56E-20
		0.01761	-4.12E+01	-1.45E-01	2.89E-18	1.09E-20
		0.02172	-4.12E+01	-1.69E-01	2.70E-18	1.15E-20
		0.02650	-4.13E+01	-1.97E-01	2.21E-18	1.17E-20
		0.03207	-4.13E+01	-2.30E-01	1.59E-18	1.06E-20
		0.03650	-4.14E+01	-1.83E-01	5.74E-19	4.80E-21
				-1.50E+00		3.64E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.7700	0.03976	0	-3.01E+01	PRESSURE	1.01E+03	T.GESER
		0.00122	-3.01E+01	-3.67E-02	2.31E-11	6.19E-01
		0.00264	-3.01E+01	-4.28E-02	3.68E-17	1.64E-14
		0.00429	-3.01E+01	-4.97E-02	3.32E-17	5.78E-20
		0.00621	-3.02E+01	-5.79E-02	2.58E-17	5.67E-20
		0.00845	-3.02E+01	-6.76E-02	1.56E-17	4.65E-20
		0.01105	-3.02E+01	-7.86E-02	7.87E-18	3.06E-20
		0.01408	-3.03E+01	-9.17E-02	7.06E-18	2.26E-20
		0.01761	-3.03E+01	-1.07E-01	3.05E-18	1.78E-20
		0.02172	-3.04E+01	-1.25E-01	2.67E-18	1.18E-20
		0.02650	-3.04E+01	-1.45E-01	2.18E-18	1.16E-20
		0.03207	-3.05E+01	-1.70E-01	1.45E-18	1.01E-20
		0.03855	-3.05E+01	-1.98E-01	5.83E-19	6.59E-21
		0.03976	-3.06E+01	-3.71E-02	4.70E-19	6.39E-22
				-1.21E+00		6.19E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.9118	0.04229	0	-2.57E+01	PRESSURE	1.42E+03	T.GESER
		0.00122	-2.57E+01	-3.14E-02	6.48E-11	8.68E-01
		0.00264	-2.57E+01	-3.65E-02	3.86E-17	4.60E-14
		0.00429	-2.57E+01	-4.25E-02	3.31E-17	5.91E-20
		0.00621	-2.58E+01	-4.94E-02	2.59E-17	5.66E-20
		0.00845	-2.58E+01	-5.77E-02	1.57E-17	4.66E-20
		0.01105	-2.58E+01	-6.71E-02	7.78E-18	3.05E-20
		0.01408	-2.59E+01	-7.83E-02	6.92E-18	2.23E-20
		0.01761	-2.59E+01	-9.13E-02	3.07E-18	1.76E-20
		0.02172	-2.59E+01	-1.06E-01	2.68E-18	1.18E-20
		0.02650	-2.59E+01	-1.24E-01	2.18E-18	1.16E-20
		0.03207	-2.60E+01	-1.45E-01	1.48E-18	1.02E-20
		0.03855	-2.60E+01	-1.68E-01	5.47E-19	6.56E-21
		0.04229	-2.60E+01	-9.73E-02	4.57E-19	1.88E-21
				-1.09E+00		8.68E-01

LANJUTAN LAMPIRAN F

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.0238	0.04426	0	-2.27E+01	PRESSURE	1.72E+03	T.GESER
		0.00122	-2.27E+01	-2.77E-02	7.84E-11	1.05E+00
		0.00264	-2.27E+01	-3.22E-02	3.86E-17	5.56E-14
		0.00429	-2.27E+01	-3.75E-02	3.31E-17	5.91E-20
		0.00621	-2.27E+01	-4.36E-02	2.61E-17	5.68E-20
		0.00845	-2.28E+01	-5.10E-02	1.57E-17	4.69E-20
		0.01105	-2.28E+01	-5.92E-02	7.82E-18	3.06E-20
		0.01408	-2.28E+01	-6.91E-02	7.19E-18	2.27E-20
		0.01761	-2.29E+01	-8.06E-02	3.15E-18	1.83E-20
		0.02172	-2.29E+01	-9.40E-02	2.67E-18	1.20E-20
		0.02650	-2.29E+01	-1.09E-01	2.18E-18	1.16E-20
		0.03207	-2.30E+01	-1.28E-01	1.48E-18	1.02E-20
		0.03855	-2.30E+01	-1.49E-01	5.79E-19	6.67E-21
		0.04426	-2.31E+01	-1.32E-01	4.61E-19	2.97E-21
				-1.01E+00		1.05E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.1122	0.04580	0	-2.18E+00	PRESSURE	1.98E+03	T.GESER
		0.00122	-2.18E+00	-2.66E-03	4.50E-11	1.21E+00
		0.00264	-2.18E+00	-3.09E-03	3.85E-17	3.19E-14
		0.00429	-2.18E+00	-3.60E-03	3.31E-17	5.91E-20
		0.00621	-2.18E+00	-4.19E-03	2.61E-17	5.69E-20
		0.00845	-2.19E+00	-4.89E-03	1.58E-17	4.70E-20
		0.01105	-2.19E+00	-5.69E-03	7.87E-18	3.08E-20
		0.01408	-2.19E+00	-6.63E-03	7.28E-18	2.30E-20
		0.01761	-2.19E+00	-7.74E-03	3.16E-18	1.84E-20
		0.02172	-2.20E+00	-9.02E-03	2.68E-18	1.20E-20
		0.02650	-2.20E+00	-1.05E-02	2.19E-18	1.16E-20
		0.03207	-2.20E+00	-1.23E-02	1.48E-18	1.02E-20
		0.03855	-2.20E+00	-1.43E-02	1.04E-18	8.16E-21
		0.04580	-2.21E+00	-1.60E-02	7.87E-19	6.61E-21
				-1.01E-01		1.21E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.1821	0.04701	0	-2.12E+00	PRESSURE	2.17E+03	T.GESER
		0.00122	-2.12E+00	-2.59E-03	4.94E-11	1.32E+00
		0.00264	-2.12E+00	-3.01E-03	3.22E-17	3.51E-14
		0.00429	-2.12E+00	-3.50E-03	2.86E-17	5.02E-20
		0.00621	-2.13E+00	-4.08E-03	2.34E-17	4.99E-20
		0.00845	-2.13E+00	-4.77E-03	1.49E-17	4.29E-20
		0.01105	-2.13E+00	-5.54E-03	6.06E-18	2.72E-20
		0.01408	-2.13E+00	-6.46E-03	7.42E-18	2.04E-20
		0.01761	-2.14E+00	-7.54E-03	3.72E-18	1.97E-20
		0.02172	-2.14E+00	-8.79E-03	3.58E-18	1.50E-20
		0.02650	-2.14E+00	-1.02E-02	2.78E-18	1.52E-20
		0.03207	-2.15E+00	-1.19E-02	2.39E-18	1.44E-20
		0.03855	-2.15E+00	-1.39E-02	1.45E-18	1.24E-20
		0.04610	-2.15E+00	-1.62E-02	1.26E-18	1.02E-20
		0.04701	-2.16E+00	-1.96E-03	4.75E-19	7.89E-22
				-1.01E-01		1.32E+00

LANJUTAN LAMPIRAN F

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.2372	0.04796	0	-2.10E+00	PRESSURE	2.33E+03	T.GESER
		0.00122	-2.10E+00	-2.57E-03	5.30E-11	1.42E+00
		0.00264	-2.10E+00	-2.99E-03	3.22E-17	3.76E-14
		0.00429	-2.11E+00	-3.47E-03	2.85E-17	5.01E-20
		0.00621	-2.11E+00	-4.04E-03	2.34E-17	4.98E-20
		0.00845	-2.11E+00	-4.72E-03	1.48E-17	4.28E-20
		0.01105	-2.11E+00	-5.49E-03	6.02E-18	2.71E-20
		0.01408	-2.11E+00	-6.40E-03	7.37E-18	2.03E-20
		0.01761	-2.12E+00	-7.47E-03	3.71E-18	1.96E-20
		0.02172	-2.12E+00	-8.70E-03	3.58E-18	1.50E-20
		0.02650	-2.12E+00	-1.01E-02	2.77E-18	1.52E-20
		0.03207	-2.12E+00	-1.18E-02	2.38E-18	1.44E-20
		0.03855	-2.13E+00	-1.38E-02	1.46E-18	1.24E-20
		0.04610	-2.13E+00	-1.61E-02	1.25E-18	1.02E-20
		0.04796	-2.13E+00	-3.96E-03	4.70E-19	1.60E-21
				-1.01E-01		1.42E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.2808	0.04870	0.00000	-2.07E+00	PRESSURE	2.46E+03	T.GESER
		0.00122	-2.07E+00	-2.52E-03	5.59E-11	1.50E+00
		0.00264	-2.07E+00	-2.93E-03	3.69E-17	3.97E-14
		0.00429	-2.07E+00	-3.41E-03	3.31E-17	5.77E-20
		0.00621	-2.07E+00	-3.97E-03	2.38E-17	5.46E-20
		0.00845	-2.07E+00	-4.64E-03	1.52E-17	4.38E-20
		0.01105	-2.07E+00	-5.39E-03	5.92E-18	2.75E-20
		0.01408	-2.08E+00	-6.29E-03	6.24E-18	1.84E-20
		0.01761	-2.08E+00	-7.34E-03	3.74E-18	1.76E-20
		0.02172	-2.08E+00	-8.55E-03	3.46E-18	1.48E-20
		0.02650	-2.09E+00	-9.96E-03	2.91E-18	1.52E-20
		0.03207	-2.09E+00	-1.16E-02	2.36E-18	1.47E-20
		0.03855	-2.09E+00	-1.35E-02	1.45E-18	1.23E-20
		0.04610	-2.09E+00	-1.58E-02	1.23E-18	1.01E-20
		0.04870	-2.10E+00	-5.46E-03	7.10E-19	2.52E-21
				-1.01E-01		1.50E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.3152	0.04929	0.00000	-2.04E+00	PRESSURE	2.57E+03	T.GESER
		0.00122	-2.04E+00	-2.49E-03	5.84E-11	1.57E+00
		0.00264	-2.04E+00	-2.90E-03	3.69E-17	4.15E-14
		0.00429	-2.04E+00	-3.37E-03	3.31E-17	5.78E-20
		0.00621	-2.04E+00	-3.92E-03	2.38E-17	5.46E-20
		0.00845	-2.05E+00	-4.58E-03	1.51E-17	4.36E-20
		0.01105	-2.05E+00	-5.32E-03	5.97E-18	2.74E-20
		0.01408	-2.05E+00	-6.21E-03	6.20E-18	1.84E-20
		0.01761	-2.05E+00	-7.24E-03	3.74E-18	1.75E-20
		0.02172	-2.06E+00	-8.45E-03	3.46E-18	1.48E-20
		0.02650	-2.06E+00	-9.83E-03	2.90E-18	1.52E-20
		0.03207	-2.06E+00	-1.15E-02	2.37E-18	1.47E-20
		0.03855	-2.06E+00	-1.34E-02	1.46E-18	1.24E-20
		0.04610	-2.06E+00	-1.56E-02	1.23E-18	1.01E-20
		0.04929	-2.07E+00	-6.59E-03	7.19E-19	3.11E-21
				-1.01E-01		1.57E+00

LANJUTAN LAMPIRAN F

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.3424	0.04975	0.00000	-2.02E+00	PRESSURE	2.66E+03	T.GESER
		0.00122	-2.02E+00	-2.47E-03	6.05E-11	1.62E+00
		0.00264	-2.02E+00	-2.87E-03	3.74E-17	4.30E-14
		0.00429	-2.02E+00	-3.34E-03	3.36E-17	5.86E-20
		0.00621	-2.03E+00	-3.89E-03	2.42E-17	5.54E-20
		0.00845	-2.03E+00	-4.54E-03	1.61E-17	4.51E-20
		0.01105	-2.03E+00	-5.28E-03	6.56E-18	2.95E-20
		0.01408	-2.03E+00	-6.16E-03	6.29E-18	1.95E-20
		0.01761	-2.04E+00	-7.18E-03	3.88E-18	1.79E-20
		0.02172	-2.04E+00	-8.37E-03	3.60E-18	1.54E-20
		0.02650	-2.04E+00	-9.75E-03	2.91E-18	1.56E-20
		0.03207	-2.04E+00	-1.14E-02	2.38E-18	1.47E-20
		0.03855	-2.04E+00	-1.32E-02	1.51E-18	1.26E-20
		0.04610	-2.04E+00	-1.54E-02	1.26E-18	1.04E-20
		0.04975	-2.04E+00	-7.47E-03	7.46E-19	3.66E-21
				-1.01E-01		1.62E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.3638	0.05012	0.00000	-2.01E+00	PRESSURE	2.74E+03	T.GESER
		0.00122	-2.01E+00	-2.45E-03	6.23E-11	1.67E+00
		0.00264	-2.01E+00	-2.85E-03	3.75E-17	4.43E-14
		0.00429	-2.01E+00	-3.31E-03	3.36E-17	5.87E-20
		0.00621	-2.01E+00	-3.86E-03	2.42E-17	5.55E-20
		0.00845	-2.01E+00	-4.51E-03	1.62E-17	4.52E-20
		0.01105	-2.02E+00	-5.24E-03	6.60E-18	2.96E-20
		0.01408	-2.02E+00	-6.11E-03	6.38E-18	1.97E-20
		0.01761	-2.02E+00	-7.13E-03	3.89E-18	1.81E-20
		0.02172	-2.02E+00	-8.31E-03	3.61E-18	1.54E-20
		0.02650	-2.02E+00	-9.67E-03	2.92E-18	1.56E-20
		0.03207	-2.03E+00	-1.13E-02	2.39E-18	1.48E-20
		0.03855	-2.03E+00	-1.31E-02	1.52E-18	1.26E-20
		0.04610	-2.02E+00	-1.53E-02	1.26E-18	1.05E-20
		0.05012	-2.02E+00	-8.13E-03	7.55E-19	4.05E-21
				-1.01E-01		1.67E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.3808	0.05041	0.00000	-1.99E+00	PRESSURE	2.81E+03	T.GESER
		0.00122	-1.99E+00	-2.43E-03	6.40E-11	1.71E+00
		0.00264	-1.99E+00	-2.83E-03	3.78E-17	4.54E-14
		0.00429	-1.99E+00	-3.29E-03	3.37E-17	5.90E-20
		0.00621	-1.99E+00	-3.83E-03	2.44E-17	5.58E-20
		0.00845	-2.00E+00	-4.47E-03	1.75E-17	4.69E-20
		0.01105	-2.00E+00	-5.19E-03	1.09E-17	3.69E-20
		0.01408	-2.00E+00	-6.06E-03	5.97E-18	2.56E-20
		0.01761	-2.00E+00	-7.07E-03	3.70E-18	1.71E-20
		0.02172	-2.00E+00	-8.24E-03	3.34E-18	1.45E-20
		0.02650	-2.01E+00	-9.58E-03	2.90E-18	1.49E-20
		0.03207	-2.01E+00	-1.12E-02	2.37E-18	1.47E-20
		0.03855	-2.00E+00	-1.30E-02	1.52E-18	1.26E-20
		0.04610	-2.00E+00	-1.51E-02	1.23E-18	1.04E-20
		0.05041	-2.00E+00	-8.60E-03	7.28E-19	4.22E-21
				-1.01E-01		1.71E+00

LANJUTAN LAMPIRAN F

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.3941	0.05063	0.00000	-1.99E+00	PRESSURE	2.88E+03	T.GESER
		0.00122	-2.00E+00	-2.43E-03	6.55E-11	1.76E+00
		0.00264	-2.00E+00	-2.83E-03	4.00E-17	4.65E-14
		0.00429	-2.00E+00	-3.30E-03	3.39E-17	6.10E-20
		0.00621	-2.00E+00	-3.84E-03	2.46E-17	5.61E-20
		0.00845	-2.00E+00	-4.48E-03	1.76E-17	4.72E-20
		0.01105	-2.01E+00	-5.21E-03	1.16E-17	3.80E-20
		0.01408	-2.01E+00	-6.08E-03	7.42E-18	2.89E-20
		0.01761	-2.01E+00	-7.09E-03	3.67E-18	1.96E-20
		0.02172	-2.01E+00	-8.26E-03	3.31E-18	1.43E-20
		0.02650	-2.01E+00	-9.60E-03	2.96E-18	1.50E-20
		0.03207	-2.01E+00	-1.12E-02	2.60E-18	1.55E-20
		0.03855	-2.00E+00	-1.30E-02	1.74E-18	1.41E-20
		0.04610	-2.00E+00	-1.51E-02	1.25E-18	1.13E-20
		0.05063	-1.99E+00	-9.03E-03	7.56E-19	4.54E-21
				-1.01E-01		1.76E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.4047	0.05081	0.00000	-1.98E+00	PRESSURE	2.94E+03	T.GESER
		0.00122	-1.98E+00	-2.41E-03	6.69E-11	1.79E+00
		0.00264	-1.98E+00	-2.81E-03	3.46E-17	4.75E-14
		0.00429	-1.98E+00	-3.27E-03	3.25E-17	5.54E-20
		0.00621	-1.98E+00	-3.81E-03	2.91E-17	5.92E-20
		0.00845	-1.99E+00	-4.45E-03	1.49E-17	4.93E-20
		0.01105	-1.99E+00	-5.17E-03	9.82E-18	3.21E-20
		0.01408	-1.99E+00	-6.03E-03	8.33E-18	2.75E-20
		0.01761	-1.99E+00	-7.03E-03	4.24E-18	2.22E-20
		0.02172	-1.99E+00	-8.18E-03	3.81E-18	1.65E-20
		0.02650	-1.99E+00	-9.51E-03	3.55E-18	1.76E-20
		0.03207	-1.98E+00	-1.11E-02	2.83E-18	1.78E-20
		0.03855	-1.98E+00	-1.28E-02	2.42E-18	1.70E-20
		0.04610	-1.97E+00	-1.49E-02	2.02E-18	1.67E-20
		0.05081	-1.96E+00	-9.24E-03	1.66E-18	8.66E-21
				-1.01E-01		1.79E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.4131	0.05095	0.00000	-1.98E+00	PRESSURE	3.00E+03	T.GESER
		0.00122	-1.98E+00	-2.41E-03	1.37E-10	1.83E+00
		0.00264	-1.98E+00	-2.81E-03	3.44E-17	9.70E-14
		0.00429	-1.98E+00	-3.27E-03	3.27E-17	5.54E-20
		0.00621	-1.98E+00	-3.81E-03	2.90E-17	5.93E-20
		0.00845	-1.99E+00	-4.45E-03	1.48E-17	4.92E-20
		0.01105	-1.99E+00	-5.17E-03	9.86E-18	3.21E-20
		0.01408	-1.99E+00	-6.02E-03	8.28E-18	2.75E-20
		0.01761	-1.99E+00	-7.01E-03	4.23E-18	2.21E-20
		0.02172	-1.98E+00	-8.16E-03	3.81E-18	1.65E-20
		0.02650	-1.98E+00	-9.47E-03	3.54E-18	1.76E-20
		0.03207	-1.97E+00	-1.10E-02	2.82E-18	1.77E-20
		0.03855	-1.96E+00	-1.27E-02	2.42E-18	1.70E-20
		0.04610	-1.95E+00	-1.48E-02	2.00E-18	1.67E-20
		0.05095	-1.94E+00	-9.42E-03	1.63E-18	8.82E-21
				-1.00E-01		1.83E+00

LANJUTAN LAMPIRAN F

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.4196	0.05106	0.00000	-2.01E+00	PRESSURE	3.06E+03	T.GESER
		0.00122	-2.01E+00	-2.45E-03	1.39E-10	1.86E+00
		0.00264	-2.01E+00	-2.85E-03	3.53E-17	9.90E-14
		0.00429	-2.01E+00	-3.32E-03	3.29E-17	5.63E-20
		0.00621	-2.02E+00	-3.87E-03	2.93E-17	5.96E-20
		0.00845	-2.02E+00	-4.52E-03	1.46E-17	4.92E-20
		0.01105	-2.02E+00	-5.24E-03	9.73E-18	3.16E-20
		0.01408	-2.02E+00	-6.11E-03	8.19E-18	2.71E-20
		0.01761	-2.01E+00	-7.11E-03	4.24E-18	2.19E-20
		0.02172	-2.01E+00	-8.25E-03	3.83E-18	1.66E-20
		0.02650	-2.00E+00	-9.57E-03	3.54E-18	1.76E-20
		0.03207	-1.99E+00	-1.11E-02	3.00E-18	1.82E-20
		0.03855	-1.97E+00	-1.28E-02	2.42E-18	1.76E-20
		0.04610	-1.96E+00	-1.48E-02	2.14E-18	1.72E-20
		0.05106	-1.94E+00	-9.68E-03	1.66E-18	9.41E-21
				-1.02E-01		1.86E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.4249	0.05115	0.00000	-2.07E+00	PRESSURE	3.11E+03	T.GESER
		0.00122	-2.07E+00	-2.53E-03	1.42E-10	1.90E+00
		0.00264	-2.08E+00	-2.95E-03	3.85E-17	1.01E-13
		0.00429	-2.08E+00	-3.43E-03	3.47E-17	6.04E-20
		0.00621	-2.08E+00	-3.99E-03	2.88E-17	6.09E-20
		0.00845	-2.08E+00	-4.66E-03	2.37E-17	5.88E-20
		0.01105	-2.08E+00	-5.41E-03	2.10E-17	5.81E-20
		0.01408	-2.07E+00	-6.29E-03	1.23E-17	5.05E-20
		0.01761	-2.07E+00	-7.30E-03	4.15E-18	2.90E-20
		0.02172	-2.06E+00	-8.47E-03	3.92E-18	1.66E-20
		0.02650	-2.04E+00	-9.80E-03	3.31E-18	1.73E-20
		0.03207	-2.03E+00	-1.13E-02	3.14E-18	1.80E-20
		0.03855	-2.02E+00	-1.31E-02	2.33E-18	1.77E-20
		0.04610	-2.00E+00	-1.52E-02	2.16E-18	1.69E-20
		0.05115	-1.98E+00	-1.01E-02	1.75E-18	9.89E-21
				-1.04E-01		1.90E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.429	0.05122	0.00000	-2.09E+00	PRESSURE	3.18E+03	T.GESER
		0.00122	-2.09E+00	-2.55E-03	7.23E-11	1.94E+00
		0.00264	-2.10E+00	-2.97E-03	3.71E-17	5.13E-14
		0.00429	-2.10E+00	-3.46E-03	3.24E-17	5.74E-20
		0.00621	-2.10E+00	-4.03E-03	2.75E-17	5.75E-20
		0.00845	-2.09E+00	-4.69E-03	2.32E-17	5.68E-20
		0.01105	-2.09E+00	-5.43E-03	1.83E-17	5.40E-20
		0.01408	-2.08E+00	-6.31E-03	1.00E-17	4.29E-20
		0.01761	-2.07E+00	-7.32E-03	4.11E-18	2.49E-20
		0.02172	-2.05E+00	-8.47E-03	3.83E-18	1.63E-20
		0.02650	-2.04E+00	-9.78E-03	3.22E-18	1.69E-20
		0.03207	-2.02E+00	-1.13E-02	3.10E-18	1.76E-20
		0.03855	-2.01E+00	-1.31E-02	2.28E-18	1.74E-20
		0.04610	-1.99E+00	-1.51E-02	2.12E-18	1.66E-20
		0.05122	-1.97E+00	-1.01E-02	1.62E-18	9.56E-21
				-1.05E-01		1.94E+00

LANJUTAN LAMPIRAN F

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.4322	0.05127	0.00000	-2.19E+00	PRESSURE	3.25E+03	T.GESER
		0.00122	-2.19E+00	-2.67E-03	8.13E-11	1.98E+00
		0.00264	-2.19E+00	-3.11E-03	3.76E-17	5.78E-14
		0.00429	-2.19E+00	-3.62E-03	3.47E-17	5.96E-20
		0.00621	-2.19E+00	-4.20E-03	2.93E-17	6.14E-20
		0.00845	-2.18E+00	-4.89E-03	2.42E-17	5.99E-20
		0.01105	-2.16E+00	-5.64E-03	1.92E-17	5.64E-20
		0.01408	-2.15E+00	-6.54E-03	1.23E-17	4.77E-20
		0.01761	-2.14E+00	-7.56E-03	4.24E-18	2.91E-20
		0.02172	-2.12E+00	-8.74E-03	3.88E-18	1.67E-20
		0.02650	-2.10E+00	-1.01E-02	3.45E-18	1.75E-20
		0.03207	-2.09E+00	-1.17E-02	3.05E-18	1.81E-20
		0.03855	-2.07E+00	-1.35E-02	2.42E-18	1.77E-20
		0.04610	-2.05E+00	-1.55E-02	2.16E-18	1.73E-20
		0.05127	-2.03E+00	-1.06E-02	1.66E-18	9.89E-21
				-1.08E-01		1.98E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.4348	0.05132	0.00000	-2.26E+00	PRESSURE	3.34E+03	T.GESER
		0.00122	-2.27E+00	-2.76E-03	2.28E-10	2.04E+00
		0.00264	-2.27E+00	-3.22E-03	4.46E-17	1.62E-13
		0.00429	-2.26E+00	-3.74E-03	3.96E-17	6.95E-20
		0.00621	-2.24E+00	-4.32E-03	3.43E-17	7.09E-20
		0.00845	-2.22E+00	-5.00E-03	3.10E-17	7.30E-20
		0.01105	-2.20E+00	-5.75E-03	2.38E-17	7.11E-20
		0.01408	-2.19E+00	-6.65E-03	1.45E-17	5.80E-20
		0.01761	-2.17E+00	-7.69E-03	3.77E-18	3.23E-20
		0.02172	-2.15E+00	-8.88E-03	3.33E-18	1.46E-20
		0.02650	-2.14E+00	-1.02E-02	2.90E-18	1.49E-20
		0.03207	-2.12E+00	-1.18E-02	2.61E-18	1.53E-20
		0.03855	-2.10E+00	-1.37E-02	1.97E-18	1.48E-20
		0.04610	-2.08E+00	-1.58E-02	1.68E-18	1.38E-20
		0.05132	-2.06E+00	-1.08E-02	1.16E-18	7.41E-21
				-1.10E-01		2.04E+00

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.4368	0.051352	0.00000	-2.38E+00	PRESSURE	3.49E+03	T.GESER
		0.00122	-2.41E+00	-2.92E-03	7.94E-11	2.13E+00
		0.00264	-2.38E+00	-3.40E-03	3.42E-17	5.64E-14
		0.00429	-2.34E+00	-3.90E-03	2.88E-17	5.19E-20
		0.00621	-2.31E+00	-4.46E-03	2.38E-17	5.05E-20
		0.00845	-2.28E+00	-5.14E-03	1.96E-17	4.87E-20
		0.01105	-2.26E+00	-5.91E-03	1.43E-17	4.41E-20
		0.01408	-2.24E+00	-6.83E-03	7.29E-18	3.26E-20
		0.01761	-2.23E+00	-7.89E-03	3.59E-18	1.92E-20
		0.02172	-2.21E+00	-9.11E-03	2.97E-18	1.35E-20
		0.02650	-2.19E+00	-1.05E-02	2.41E-18	1.29E-20
		0.03207	-2.17E+00	-1.22E-02	2.43E-18	1.35E-20
		0.03855	-2.16E+00	-1.40E-02	1.48E-18	1.26E-20
		0.04610	-2.14E+00	-1.62E-02	1.09E-18	9.69E-21
		0.051352	-2.12E+00	-1.12E-02	8.46E-19	5.09E-21
				-1.14E-01		2.13E+00

LANJUTAN LAMPIRAN F

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.4384	0.05138	0.00000	-3.23E+00	PRESSURE	3.52E+03	T.GESER
		0.00122	-2.98E+00	-3.79E-03	8.02E-11	2.15E+00
		0.00264	-2.81E+00	-4.11E-03	3.43E-17	5.69E-14
		0.00429	-2.74E+00	-4.57E-03	2.89E-17	5.22E-20
		0.00621	-2.70E+00	-5.21E-03	2.39E-17	5.07E-20
		0.00845	-2.66E+00	-6.00E-03	1.98E-17	4.90E-20
		0.01105	-2.64E+00	-6.90E-03	1.44E-17	4.44E-20
		0.01408	-2.62E+00	-7.97E-03	7.42E-18	3.30E-20
		0.01761	-2.60E+00	-9.21E-03	3.60E-18	1.95E-20
		0.02172	-2.58E+00	-1.06E-02	2.95E-18	1.35E-20
		0.02650	-2.56E+00	-1.23E-02	2.42E-18	1.28E-20
		0.03207	-2.54E+00	-1.42E-02	2.44E-18	1.35E-20
		0.03855	-2.52E+00	-1.64E-02	1.48E-18	1.27E-20
		0.04610	-2.50E+00	-1.90E-02	1.10E-18	9.74E-21
		0.05138	-2.48E+00	-1.32E-02	5.79E-19	4.42E-21
				-1.33E-01		2.15E+00

LAMPIRAN G

Data pada Lampiran G di bawah ini adalah hasil integral pressure lokal dan tegangan geser lokal dari dinding sampai pada tebal lapisan batas pada aliran laminar model ellips yang kemudian diintegarkan sepanjang model sampai pada titik separasi sehingga diperoleh tahanan tekanan dan tahanan gesek lokal lalu dijumlahkan sehingga mendapatkan tahanan total seperti yang disajikan pada Tabel 4.12 (Bab 4)

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0	0	0	-2.48E-07	PRESSURE	1.14E-07	T.GESER
					-2.48E-07	1.14E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0198	0.02684	0.00000	-7.27E-06	PRESSURE	9.04E-06	T.GESER
		0.02684	-7.05E-06	-1.92E-07	2.04E-17	1.21E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0527	0.04375	0.00000	-2.11E-06	PRESSURE	5.81E-06	T.GESER
		0.04375	-2.70E-06	-1.05E-07	7.87E-17	1.27E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.08946	0.05702	0.00000	-4.13E-07	PRESSURE	4.70E-06	T.GESER
		0.0570205	-7.00E-07	-3.17E-08	1.23E-16	1.34E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.1277	0.06813	0.00000	-1.50E-07	PRESSURE	4.12E-06	T.GESER
		0.06813	-7.87E-07	-3.19E-08	1.72E-20	1.40E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.1668	0.07786	0.00000	-5.61E-07	PRESSURE	3.81E-06	T.GESER
		0.07786	-3.21E-07	-3.43E-08	8.74E-17	1.48E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.2062	0.08656	0.00000	-4.23E-07	PRESSURE	3.58E-06	T.GESER
		0.08656	-3.79E-07	-3.47E-08	6.20E-17	1.55E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.2457	0.09449	0.00000	-3.81E-07	PRESSURE	3.46E-06	T.GESER
		0.09449	-3.70E-07	-3.55E-08	4.61E-17	1.63E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.2855	0.10186	0.00000	-4.01E-07	PRESSURE	3.38E-06	T.GESER
		0.10186	-3.86E-07	-4.00E-08	3.77E-17	1.72E-07

LANJUTAN LAMPIRAN G

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.3255	0.10876	0.00000	-4.34E-07	PRESSURE	3.33E-06	T.GESER
		0.10876	-4.11E-07	-4.59E-08	3.07E-17	1.81E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.3658	0.11529	0.00000	-4.47E-07	PRESSURE	3.31E-06	T.GESER
		0.11529	-4.30E-07	-5.05E-08	3.25E-17	1.91E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.4222	0.12387	0.00000	-4.49E-07	PRESSURE	3.26E-06	T.GESER
		0.12387	-4.40E-07	-5.50E-08	4.78E-18	2.02E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.4788	0.13191	0.00000	-4.47E-07	PRESSURE	3.23E-06	T.GESER
		0.13191	-4.40E-07	-5.85E-08	4.75E-18	2.13E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.5354	0.13949	0.00000	-4.44E-07	PRESSURE	3.24E-06	T.GESER
		0.13949	-4.37E-07	-6.14E-08	4.50E-18	2.26E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.5922	0.14670	0.00000	-4.37E-07	PRESSURE	3.29E-06	T.GESER
		0.14670	-4.31E-07	-6.37E-08	4.71E-18	2.42E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.6490	0.15358	0.00000	-4.30E-07	PRESSURE	3.39E-06	T.GESER
		0.15358	-4.26E-07	-6.57E-08	5.06E-18	2.60E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.7059	0.16017	0.00000	-4.22E-07	PRESSURE	2.25E-06	T.GESER
		0.16017	-4.18E-07	-6.73E-08	5.47E-18	1.80E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.7628	0.16650	0.00000	-4.13E-07	PRESSURE	3.59E-06	T.GESER
		0.16650	-4.11E-07	-6.87E-08	3.83E-18	2.99E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.8198	0.17261	0.00000	-4.05E-07	PRESSURE	3.73E-06	T.GESER
		0.17261	-4.04E-07	-6.98E-08	6.30E-18	3.22E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.8768	0.17851	0.00000	-3.97E-07	PRESSURE	3.99E-06	T.GESER
		0.17851	-3.96E-07	-7.07E-08	7.59E-18	3.56E-07



LANJUTAN LAMPIRAN G

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.9339	0.18422	0.00000	-3.87E-07	PRESSURE	4.18E-06	T.GESER
		0.18422	-3.87E-07	-7.13E-08	8.31E-18	3.85E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.9909	0.18977	0.00000	-3.79E-07	PRESSURE	4.37E-06	T.GESER
		0.18977	-3.78E-07	-7.18E-08	8.16E-18	4.15E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.0480	0.19516	0.00000	-3.69E-07	PRESSURE	2.59E-06	T.GESER
		0.19516	-3.69E-07	-7.20E-08	5.54E-18	2.52E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.1050	0.20040	0.00000	-3.60E-07	PRESSURE	5.02E-06	T.GESER
		0.20040	-3.60E-07	-7.21E-08	1.13E-17	5.03E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.1621	0.20551	0.00000	-3.51E-07	PRESSURE	4.90E-06	T.GESER
		0.20551	-3.51E-07	-7.21E-08	1.09E-17	5.03E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.2192	0.21050	0.00000	-3.41E-07	PRESSURE	5.66E-06	T.GESER
		0.21050	-3.41E-07	-7.19E-08	1.08E-17	5.96E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.2763	0.21537	0.00000	-3.32E-07	PRESSURE	5.78E-06	T.GESER
		0.21537	-3.32E-07	-7.15E-08	1.51E-17	6.23E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.3334	0.22013	0.00000	-3.23E-07	PRESSURE	5.74E-06	T.GESER
		0.22013	-3.23E-07	-7.11E-08	1.58E-17	6.32E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.3904	0.22479	0.00000	-3.14E-07	PRESSURE	1.01E-06	T.GESER
		0.22479	-3.14E-07	-7.05E-08	2.93E-18	1.14E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.4475	0.22936	0.00000	-3.05E-07	PRESSURE	9.38E-07	T.GESER
		0.22936	-3.04E-07	-6.98E-08	2.93E-18	1.08E-07

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.5045	0.23383	0.00000	-2.95E-07	PRESSURE	8.76E-07	T.GESER
		0.23383	-2.94E-07	-6.89E-08	2.85E-18	1.02E-07

LANJUTAN LAMPIRAN G

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.5616	0.23823	0.00000	-2.86E-07	PRESSURE	8.06E-07	T.GESER
		0.23823	-2.85E-07	-6.80E-08	2.79E-18	9.61E-08

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.6186	0.24253	0.00000	-2.77E-07	PRESSURE	7.43E-07	T.GESER
		0.24253	-2.75E-07	-6.69E-08	2.74E-18	9.01E-08

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.6756	0.24677	0.00000	-2.67E-07	PRESSURE	6.81E-07	T.GESER
		0.24677	-2.66E-07	-6.57E-08	2.51E-18	8.40E-08

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.7325	0.25092	0.00000	-2.57E-07	PRESSURE	6.20E-07	T.GESER
		0.25092	-2.56E-07	-6.44E-08	2.65E-18	7.78E-08

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.7894	0.25501	0.00000	-2.48E-07	PRESSURE	5.61E-07	T.GESER
		0.25501	-2.46E-07	-6.29E-08	2.60E-18	7.15E-08

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.8462	0.25903	0.00000	-2.38E-07	PRESSURE	5.03E-07	T.GESER
		0.25903	-2.36E-07	-6.13E-08	2.57E-18	6.51E-08

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.9030	0.26298	0.00000	-2.28E-07	PRESSURE	4.45E-07	T.GESER
		0.2629802	-2.26E-07	-5.96E-08	2.52E-18	5.85E-08

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.9596	0.26687	0.00000	-2.21E-07	PRESSURE	3.92E-07	T.GESER
		0.2629802	-2.19E-07	-5.79E-08	2.52E-18	5.16E-08

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.0162	0.27069	0.00000	-2.08E-07	PRESSURE	3.29E-07	T.GESER
		0.27069	-2.05E-07	-5.59E-08	2.52E-18	4.45E-08

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.0726	0.27445	0.00000	-1.98E-07	PRESSURE	2.69E-07	T.GESER
		0.27445	-1.95E-07	-5.39E-08	-1.95E-18	3.70E-08

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.1129	0.27711	0.00000	-1.91E-07	PRESSURE	2.32E-07	T.GESER
		0.27711	-1.88E-07	-5.24E-08	-2.02E-18	3.21E-08

LAMPIRAN H

Data pada Lampiran H di bawah ini adalah hasil integral pressure lokal dan tegangan geser lokal dari dinding sampai pada tebal lapisan batas pada aliran turbulen model ellips yang kemudian diintegralkan sepanjang model sampai pada titik separasi sehingga diperoleh tahanan tekanan dan tahanan gesek lokal lalu dijumlahkan sehingga mendapatkan tahanan total seperti yang disajikan pada Tabel 4.12 (Bab 4)

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0	0	0	-8.69E-01	PRESSURE	1.75E-01	T.GESER

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0100	0.00054	0.00000	-1.70E+03	PRESSURE	1.53E+03	T.GESER

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0257	0.00116	0.00000	-4.69E+02	PRESSURE	1.12E+03	T.GESER

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0497	0.00196	0.00000	-2.16E+02	PRESSURE	8.23E+02	T.GESER

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.0780	0.00281	0.00000	-1.18E+03	PRESSURE	5.74E+02	T.GESER

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.1105	0.00371	0.00000	-9.53E+02	PRESSURE	4.39E+02	T.GESER

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.1473	0.00467	0.00000	-6.84E+02	PRESSURE	3.53E+02	T.GESER

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.1884	0.00569	0.00000	-4.73E+02	PRESSURE	2.93E+02	T.GESER

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.2341	0.00677	0.00000	-4.01E+02	PRESSURE	2.49E+02	T.GESER

LANJUTAN LAMPIRAN H

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.2850	0.00792	0.00000	-3.97E+02	PRESSURE	2.14E+02	T.GESER
		0.00792	-3.66E+02	-3.02E+00	1.11E-12	8.47E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.3416	0.00916	0.00000	-3.66E+02	PRESSURE	1.85E+02	T.GESER
		0.00916	-3.38E+02	-3.23E+00	1.11E-12	8.48E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.4045	0.01048	0.00000	-3.05E+02	PRESSURE	1.62E+02	T.GESER
		0.01048	-2.90E+02	-3.12E+00	8.49E-13	8.49E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.4740	0.01190	0.00000	-2.62E+02	PRESSURE	1.43E+02	T.GESER
		0.01190	-2.53E+02	-3.07E+00	8.49E-13	8.50E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.5511	0.01343	0.00000	-2.39E+02	PRESSURE	1.27E+02	T.GESER
		0.01343	-2.31E+02	-3.15E+00	6.69E-13	8.52E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.6364	0.01506	0.00000	-2.15E+02	PRESSURE	1.14E+02	T.GESER
		0.01506	-2.09E+02	-3.19E+00	6.02E-13	8.56E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.7308	0.01683	0.00000	-1.92E+02	PRESSURE	1.02E+02	T.GESER
		0.01683	-1.88E+02	-3.20E+00	5.46E-13	8.62E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.8352	0.01872	0.00000	-1.74E+02	PRESSURE	9.22E+01	T.GESER
		0.01872	-1.70E+02	-3.22E+00	4.95E-13	8.64E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
0.9506	0.02077	0.00000	-1.57E+02	PRESSURE	8.34E+01	T.GESER
		0.02077	-1.54E+02	-3.22E+00	4.51E-13	8.66E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.0782	0.02297	0.00000	-1.42E+02	PRESSURE	7.55E+01	T.GESER
		0.02297	-1.39E+02	-3.22E+00	4.13E-13	8.67E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.2192	0.02534	0.00000	-1.28E+02	PRESSURE	6.87E+01	T.GESER
		0.02534	-1.26E+02	-3.21E+00	3.80E-13	8.70E-01

LANJUTAN LAMPIRAN H

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.3602	0.02766	0.00000	-1.17E+02	PRESSURE	6.35E+01	T.GESER
		0.02766	-1.15E+02	-3.20E+00	3.55E-13	8.78E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.4878	0.02972	0.00000	-1.08E+02	PRESSURE	5.91E+01	T.GESER
		0.02972	-1.06E+02	-3.19E+00	3.37E-13	8.78E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.6032	0.03155	0.00000	-1.01E+02	PRESSURE	5.05E+01	T.GESER
		0.03155	-9.95E+01	-3.17E+00	2.92E-13	7.97E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.7076	0.03318	0.00000	-9.56E+01	PRESSURE	4.75E+01	T.GESER
		0.03318	-9.37E+01	-3.14E+00	2.77E-13	7.88E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.8020	0.03464	0.00000	-9.03E+01	PRESSURE	4.50E+01	T.GESER
		0.03464	-8.84E+01	-3.10E+00	2.66E-13	7.79E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.8873	0.03595	0.00000	-8.61E+01	PRESSURE	4.29E+01	T.GESER
		3.59E-02	-8.40E+01	-3.06E+00	2.56E-13	7.70E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
1.9644	0.03712	0.00000	-8.23E+01	PRESSURE	4.09E+01	T.GESER
		0.03712	-7.97E+01	-3.01E+00	2.48E-13	7.59E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.0339	0.03816	0.00000	-7.73E+01	PRESSURE	3.91E+01	T.GESER
		0.03816	-7.49E+01	-2.90E+00	2.41E-13	7.46E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.0968	0.03910	0.00000	-7.32E+01	PRESSURE	3.77E+01	T.GESER
		0.03910	-7.06E+01	-2.81E+00	2.35E-13	7.37E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.1534	0.03995	0.00000	-7.31E+01	PRESSURE	3.63E+01	T.GESER
		0.03995	-6.87E+01	-2.83E+00	2.30E-13	7.26E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.2043	0.04070	0.00000	-6.99E+01	PRESSURE	3.46E+01	T.GESER
		0.04070	-6.44E+01	-2.73E+00	2.26E-13	7.04E-01

X	δ	Y	PRESSURE	INTEGRAL	T.GESER	INTEGRAL
2.2276	0.04104	0.00000	-5.95E+01	PRESSURE	3.28E+01	T.GESER
		0.04104	-5.53E+01	-2.35E+00	2.24E-13	6.72E-01

LAMPIRAN I (Tabel I.1.)

Data pada Tabel I.1 di bawah ini adalah tahanan tekanan dan tahanan gesek lokal pada aliran laminar model pelat datar (hasil dari lampiran E) yang kemudian diintegralkan sepanjang model sehingga diperoleh tahanan tekanan dan tahanan gesek total lalu dijumlahkan untuk mendapatkan tahanan total seperti yang disajikan pada Tabel 4.12 (Bab 4)

Tabel I.1. Data Tahanan Tekanan dan Tahanan Gesek Pada Model Pelat Datar (Laminar)

Point	Node	X	T.TEKANAN	T.GESEK	INTEGRAL	INTEGRAL
1	2	0.0000	-5.25E-07	1.50E-05	T.TEKANAN	T.GESEK
2	36	0.0021	-7.76E-07	7.23E-06	-1.34E-09	2.29E-08
3	35	0.0049	-5.98E-07	2.09E-06	-1.92E-09	1.31E-08
4	34	0.0087	-4.98E-07	4.36E-07	-2.08E-09	4.80E-09
5	33	0.0138	-4.33E-07	1.28E-07	-2.40E-09	1.45E-09
6	32	0.0208	-3.85E-07	4.07E-07	-2.86E-09	1.87E-09
7	31	0.0303	-3.45E-07	5.23E-07	-3.47E-09	4.42E-09
8	30	0.0432	-3.11E-07	5.49E-07	-4.23E-09	6.92E-09
9	29	0.0607	-2.80E-07	5.31E-07	-5.17E-09	9.46E-09
10	28	0.0845	-2.52E-07	4.85E-07	-6.32E-09	1.21E-08
11	27	0.1167	-2.26E-07	4.32E-07	-7.71E-09	1.48E-08
12	26	0.1605	-2.02E-07	3.67E-07	-9.36E-09	1.75E-08
13	25	0.2199	-1.77E-07	3.07E-07	-1.13E-08	2.00E-08
14	24	0.3005	-1.53E-07	2.30E-07	-1.33E-08	2.17E-08
15	23	0.4099	-1.29E-07	1.56E-07	-1.54E-08	2.11E-08
16	22	0.5584	-1.06E-07	7.09E-08	-1.74E-08	1.68E-08
17	21	0.7600	-8.36E-08	1.33E-08	-1.91E-08	8.49E-09
18	20	1.0335	-6.39E-08	1.02E-07	-2.02E-08	1.58E-08
19	19	1.4049	-4.84E-08	1.72E-07	-2.08E-08	5.09E-08
20	18	1.6784	-4.24E-08	2.23E-07	-1.24E-08	5.41E-08
21	17	1.8800	-3.98E-08	2.51E-07	-8.29E-09	4.78E-08
22	16	2.0285	-3.88E-08	2.72E-07	-5.84E-09	3.89E-08
23	15	2.1379	-3.85E-08	2.87E-07	-4.23E-09	3.06E-08
24	14	2.2185	-3.85E-08	2.99E-07	-3.10E-09	2.36E-08
25	13	2.2779	-3.86E-08	3.09E-07	-2.29E-09	1.80E-08
26	12	2.3217	-3.88E-08	3.18E-07	-1.69E-09	1.37E-08
27	11	2.3539	-3.90E-08	3.26E-07	-1.25E-09	1.04E-08
28	10	2.3777	-3.91E-08	3.35E-07	-9.27E-10	7.85E-09
29	9	2.3952	-3.93E-08	3.44E-07	-6.86E-10	5.94E-09
30	8	2.4081	-3.94E-08	3.55E-07	-5.07E-10	4.50E-09
31	7	2.4176	-3.94E-08	3.68E-07	-3.74E-10	3.44E-09
32	6	2.4246	-3.94E-08	3.87E-07	-2.76E-10	2.64E-09
33	5	2.4297	-3.93E-08	4.14E-07	-2.03E-10	2.07E-09
34	4	2.4335	-3.93E-08	4.63E-07	-1.49E-10	1.67E-09
35	3	2.4363	-3.93E-08	5.67E-07	-1.10E-10	1.44E-09
36	1	2.4384	-3.93E-08	6.83E-07	-8.11E-11	1.29E-09
					-2.0330E-07	5.3175E-07
					R GAB =	7.3505E-07

Tahanan Total = 1.4701E-06 N

LAMPIRAN I (Tabel I.2.)

Data pada Tabel I.2 di bawah ini adalah tahanan tekanan dan tahanan gesek lokal pada aliran turbulen model pelat datar (hasil dari lampiran F) yang kemudian diintegralkan sepanjang model sehingga diperoleh tahanan tekanan dan tahanan gesek gesek total lalu dijumlahkan untuk mendapatkan tahanan total seperti yang disajikan pada Tabel 4.12 (Bab 4)

Tabel I.2. Data Tahanan Tekanan dan Tahanan Gesek Pada Model Pelat Datar (Turbulen)

Point	Node	X	T.TEKANAN	T.GESEK	INTEGRAL	INTEGRAL
1	2	0.0000	-1.39E+00	1.87E+00		
2	46	0.0016	-1.03E+00	1.60E+00	-1.93E-03	2.78E-03
3	45	0.0036	-9.10E-01	1.85E+00	-1.96E-03	3.49E-03
4	44	0.0062	-8.92E-01	1.66E+00	-2.31E-03	4.50E-03
5	43	0.0094	-8.80E-01	1.45E+00	-2.88E-03	5.06E-03
6	42	0.0135	-8.74E-01	1.34E+00	-3.60E-03	5.74E-03
7	41	0.0188	-8.71E-01	1.31E+00	-4.54E-03	6.89E-03
8	40	0.0253	-8.70E-01	1.32E+00	-5.74E-03	8.64E-03
9	39	0.0337	-8.69E-01	1.35E+00	-7.25E-03	1.11E-02
10	38	0.0443	-8.67E-01	1.39E+00	-9.17E-03	1.45E-02
11	37	0.0576	-8.63E-01	1.44E+00	-1.16E-02	1.90E-02
12	36	0.0746	-8.57E-01	1.48E+00	-1.46E-02	2.47E-02
13	35	0.0960	-8.48E-01	1.51E+00	-1.83E-02	3.21E-02
14	34	0.1232	-8.37E-01	1.53E+00	-2.29E-02	4.12E-02
15	33	0.1576	-8.23E-01	1.56E+00	-2.85E-02	5.31E-02
16	32	0.2012	-8.02E-01	1.59E+00	-3.54E-02	6.86E-02
17	31	0.2563	-7.72E-01	1.59E+00	-4.34E-02	8.77E-02
18	30	0.3262	-7.38E-01	1.59E+00	-5.27E-02	1.11E-01
19	29	0.4146	-6.84E-01	1.54E+00	-6.29E-02	1.38E-01
20	28	0.5266	-6.08E-01	1.33E+00	-7.24E-02	1.61E-01
21	27	0.6684	-5.16E-01	9.77E-01	-7.97E-02	1.63E-01
22	26	0.8479	-4.16E-01	6.15E-01	-8.37E-02	1.43E-01
23	25	1.0753	-3.00E-01	1.91E-01	-8.15E-02	9.17E-02
24	24	1.3631	-1.99E-01	8.75E-02	-7.18E-02	4.01E-02
25	23	1.5905	-1.50E-01	3.64E-01	-3.96E-02	5.13E-02
26	22	1.7700	-1.21E-01	6.19E-01	-2.43E-02	8.82E-02
27	21	1.9118	-1.09E-01	8.68E-01	-1.63E-02	1.05E-01
28	20	2.0238	-1.01E-01	1.05E+00	-1.18E-02	1.08E-01
29	19	2.1122	-1.01E-01	1.21E+00	-8.92E-03	9.98E-02
30	18	2.1821	-1.01E-01	1.32E+00	-7.06E-03	8.84E-02
31	17	2.2372	-1.01E-01	1.42E+00	-5.57E-03	7.56E-02
32	16	2.2808	-1.01E-01	1.50E+00	-4.40E-03	6.36E-02
33	15	2.3152	-1.01E-01	1.57E+00	-3.47E-03	5.27E-02
34	14	2.3424	-1.01E-01	1.62E+00	-2.75E-03	4.33E-02
35	13	2.3638	-1.01E-01	1.67E+00	-2.16E-03	3.52E-02
36	12	2.3808	-1.01E-01	1.71E+00	-1.72E-03	2.88E-02
37	11	2.3941	-1.01E-01	1.76E+00	-1.34E-03	2.31E-02
38	10	2.4047	-1.01E-01	1.79E+00	-1.07E-03	1.88E-02
39	9	2.4131	-1.00E-01	1.83E+00	-8.45E-04	1.52E-02
40	8	2.4196	-1.02E-01	1.86E+00	-6.57E-04	1.20E-02
41	7	2.4249	-1.04E-01	1.90E+00	-5.44E-04	9.97E-03
42	6	2.4290	-1.05E-01	1.94E+00	-4.28E-04	7.86E-03
43	5	2.4322	-1.08E-01	1.98E+00	-3.41E-04	6.27E-03
44	4	2.4348	-1.10E-01	2.04E+00	-2.83E-04	5.22E-03
45	3	2.4368	-1.14E-01	2.13E+00	-2.24E-04	4.16E-03
46	1	2.4384	-1.33E-01	2.15E+00	-1.97E-04	3.42E-03
					-0.822865	2.18615
					R GAB =	3.009015

Tahanan Total = 6.01803 N

LAMPIRAN I (Tabel I.3.)

Data pada Tabel I.3. di bawah ini adalah tahanan tekanan dan tahanan gesek lokal pada aliran laminar model ellips (hasil dari lampiran G) yang kemudian diintegralkan sepanjang model sampai pada titik separasi sehingga diperoleh tahanan tekanan dan gesek total lalu dijumlahkan untuk mendapatkan tahanan total seperti yang disajikan pada Tabel 4.12 (Bab 4)

Tabel I.3. Data Tahanan Tekanan dan Tahanan Gesek Pada Model Ellips (Laminar)

Point	Node	X	T.TEKANAN	T.GESEK	INTEGRAL	INTEGRAL
1	187	0.0000	-2.48E-07	1.14E-07	T.TEKANAN	T.GESEK
2	197	0.0198	-1.92E-07	1.21E-07	-4.36E-09	2.33E-09
3	198	0.0527	-1.05E-07	1.27E-07	-4.89E-09	4.07E-09
4	199	0.0895	-3.17E-08	1.34E-07	-2.52E-09	4.80E-09
5	200	0.1277	-3.19E-08	1.40E-07	-1.22E-09	5.24E-09
6	201	0.1668	-3.43E-08	1.48E-07	-1.29E-09	5.63E-09
7	202	0.2062	-3.47E-08	1.55E-07	-1.36E-09	5.96E-09
8	203	0.2457	-3.55E-08	1.63E-07	-1.39E-09	6.29E-09
9	204	0.2855	-4.00E-08	1.72E-07	-1.50E-09	6.66E-09
10	205	0.3255	-4.59E-08	1.81E-07	-1.72E-09	7.07E-09
11	27	0.3658	-5.05E-08	1.91E-07	-1.94E-09	7.49E-09
12	28	0.4222	-5.50E-08	2.02E-07	-2.98E-09	1.11E-08
13	29	0.4788	-5.85E-08	2.13E-07	-3.21E-09	1.17E-08
14	30	0.5354	-6.14E-08	2.26E-07	-3.40E-09	1.24E-08
15	31	0.5922	-6.37E-08	2.42E-07	-3.55E-09	1.33E-08
16	32	0.6490	-6.57E-08	2.60E-07	-3.68E-09	1.43E-08
17	33	0.7059	-6.73E-08	2.80E-07	-3.78E-09	1.54E-08
18	34	0.7628	-6.87E-08	2.99E-07	-3.87E-09	1.65E-08
19	35	0.8198	-6.98E-08	3.22E-07	-3.94E-09	1.77E-08
20	36	0.8768	-7.07E-08	3.56E-07	-4.00E-09	1.93E-08
21	37	0.9339	-7.13E-08	3.85E-07	-4.05E-09	2.11E-08
22	38	0.9909	-7.18E-08	4.15E-07	-4.08E-09	2.28E-08
23	39	1.0480	-7.20E-08	4.52E-07	-4.10E-09	2.47E-08
24	40	1.1050	-7.21E-08	5.03E-07	-4.11E-09	2.73E-08
25	41	1.1621	-7.21E-08	5.03E-07	-4.12E-09	2.87E-08
26	17	1.2192	-7.19E-08	5.96E-07	-4.11E-09	3.14E-08
27	974	1.2763	-7.15E-08	6.23E-07	-4.09E-09	3.48E-08
28	973	1.3334	-7.11E-08	6.32E-07	-4.07E-09	3.58E-08
29	972	1.3904	-7.05E-08	1.14E-07	-4.04E-09	2.13E-08
30	971	1.4475	-6.98E-08	1.08E-07	-4.00E-09	6.35E-09
31	970	1.5045	-6.89E-08	1.02E-07	-3.96E-09	6.00E-09
32	969	1.5616	-6.80E-08	9.61E-08	-3.90E-09	5.65E-09
33	968	1.6186	-6.69E-08	9.01E-08	-3.84E-09	5.31E-09
34	967	1.6756	-6.57E-08	8.40E-08	-3.78E-09	4.96E-09
35	966	1.7325	-6.44E-08	7.78E-08	-3.70E-09	4.61E-09
36	965	1.7894	-6.29E-08	7.15E-08	-3.62E-09	4.25E-09
37	964	1.8462	-6.13E-08	6.51E-08	-3.53E-09	3.88E-09
38	963	1.9030	-5.96E-08	5.85E-08	-3.43E-09	3.51E-09
39	962	1.9596	-5.79E-08	5.16E-08	-3.33E-09	3.12E-09
40	961	2.0162	-5.59E-08	4.45E-08	-3.22E-09	2.72E-09
41	847	2.0726	-5.39E-08	3.70E-08	-3.10E-09	2.30E-09
42	865	2.0929	-5.24E-08	3.21E-11	-1.08E-09	3.75E-10
					-1.5325E-07	4.4865E-07
					R GAB =	6.0190E-07

$$\text{Tahanan Total} = 1.2038E-06 \text{ N}$$

LAMPIRAN I (Tabel I.4.)

Data pada Tabel I.4. di bawah ini adalah tahanan tekanan dan tahanan gesek lokal pada aliran turbulen model ellips (hasil dari lampiran H) yang kemudian diintegralkan sepanjang model sampai pada titik separasi sehingga diperoleh tahanan tekanan dan gesek total lalu dijumlahkan untuk mendapatkan tahanan total seperti yang disajikan pada Tabel 4.12 (Bab 4)

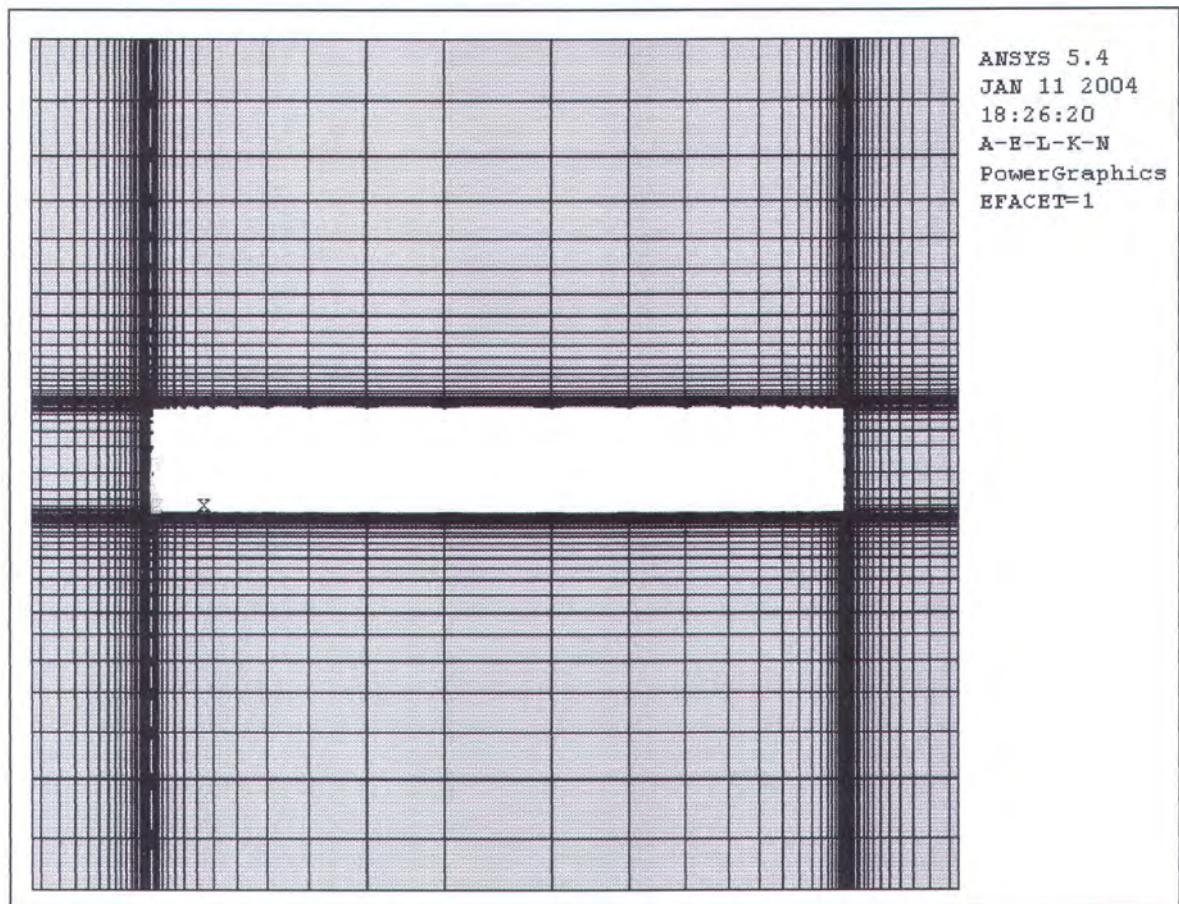
Tabel I.4. Data Tahanan Tekanan dan Tahanan Gesek Pada Model Ellips (Turbulen)

Point	Node	X	T.TEKANAN	T.GESEK	INTEGRAL	INTEGRAL
1	2	0.0000	-8.69E-01	1.75E-01	T.TEKANAN	T.GESEK
2	78	0.0100	-7.94E-01	4.16E-01	-8.32E-03	2.96E-03
3	79	0.0257	-4.30E-01	6.48E-01	-9.63E-03	8.37E-03
4	80	0.0497	-3.18E-01	8.06E-01	-8.95E-03	1.74E-02
5	81	0.0780	-2.68E-01	8.07E-01	-8.30E-03	2.28E-02
6	82	0.1105	-2.98E-01	8.15E-01	-9.18E-03	2.63E-02
7	83	0.1473	-2.83E-01	8.25E-01	-1.07E-02	3.02E-02
8	84	0.1884	-2.53E-01	8.34E-01	-1.10E-02	3.41E-02
9	85	0.2341	-2.62E-01	8.43E-01	-1.18E-02	3.83E-02
10	86	0.2850	-3.02E-01	8.47E-01	-1.44E-02	4.30E-02
11	87	0.3416	-3.23E-01	8.48E-01	-1.77E-02	4.80E-02
12	88	0.4045	-3.12E-01	8.49E-01	-2.00E-02	5.33E-02
13	89	0.4740	-3.07E-01	8.50E-01	-2.15E-02	5.91E-02
14	90	0.5511	-3.15E-01	8.52E-01	-2.39E-02	6.56E-02
15	91	0.6364	-3.19E-01	8.56E-01	-2.70E-02	7.29E-02
16	92	0.7308	-3.20E-01	8.62E-01	-3.02E-02	8.11E-02
17	93	0.8352	-3.22E-01	8.64E-01	-3.35E-02	9.01E-02
18	94	0.9506	-3.22E-01	8.66E-01	-3.72E-02	9.99E-02
19	95	1.0782	-3.22E-01	8.67E-01	-4.11E-02	1.11E-01
20	96	1.2192	-3.21E-01	8.70E-01	-4.54E-02	1.22E-01
21	97	1.3602	-3.20E-01	8.78E-01	-4.52E-02	1.23E-01
22	98	1.4878	-3.19E-01	8.78E-01	-4.07E-02	1.12E-01
23	99	1.6032	-3.17E-01	7.97E-01	-3.67E-02	9.67E-02
24	100	1.7076	-3.14E-01	7.88E-01	-3.29E-02	8.27E-02
25	101	1.8020	-3.10E-01	7.79E-01	-2.94E-02	7.39E-02
26	102	1.8873	-3.06E-01	7.70E-01	-2.63E-02	6.61E-02
27	103	1.9644	-3.01E-01	7.59E-01	-2.34E-02	5.89E-02
28	104	2.0339	-2.90E-01	7.46E-01	-2.06E-02	5.23E-02
29	105	2.0968	-2.81E-01	7.37E-01	-1.79E-02	4.66E-02
30	106	2.1534	-2.83E-01	7.26E-01	-1.60E-02	4.14E-02
31	107	2.2043	-2.73E-01	7.04E-01	-1.41E-02	3.64E-02
32	108	2.2276	-2.35E-01	6.72E-04	-5.92E-03	8.21E-03
					-6.299E-01	1.8897E+00
					R GAB =	2.520E+00

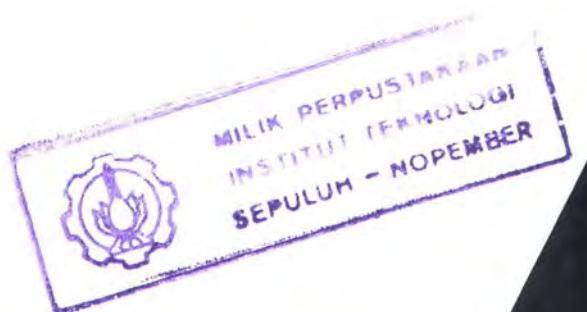
Tahanan Total = 5.0392E+00 N

LAMPIRAN J (Gambar J.1)

Gambar J.1 di bawah ini adalah gambar *Meshing* pada aliran laminar model pelat datar. Adapun kecepatan yang disimulasikan pada model ini ($V = 0.0005$ m/s). Adapun besarnya jumlah elemen untuk meshing ini adalah 8540 yang disajikan dalam (tabel *grid independence*) pada tabel 4.1. (Bab 4).

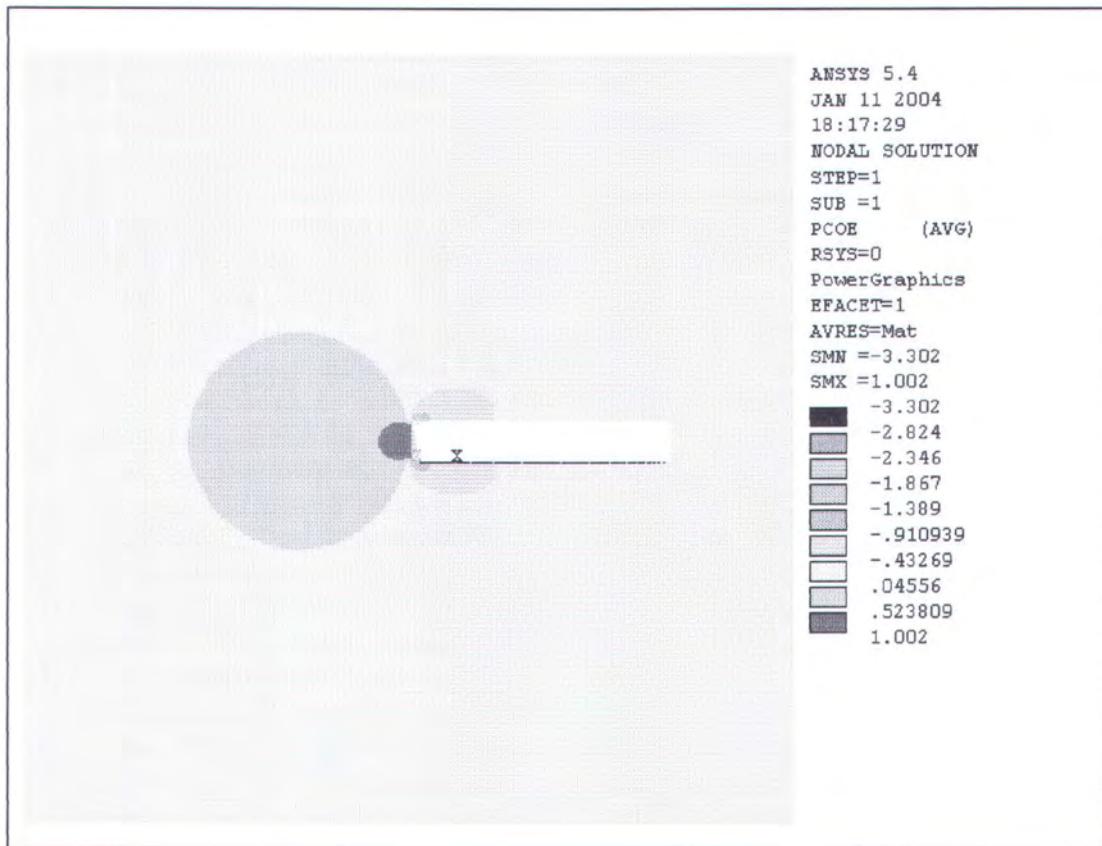


Gambar J.1. Gambar *Meshing* Pada Aliran Laminar Model Pelat Datar



LAMPIRAN J (Gambar J.2)

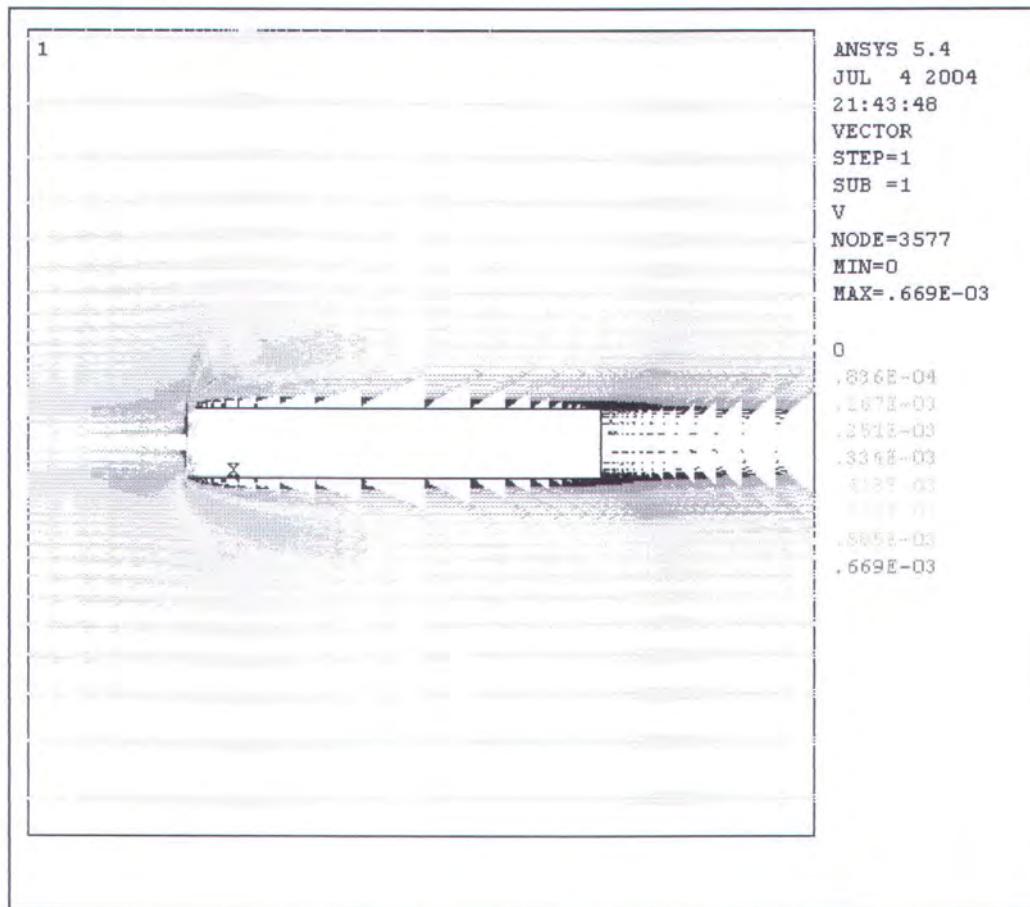
Gambar J.2. di bawah ini adalah adalah gambar *Pressure Coefficient* pada aliran laminar model pelat datar. Adapun kecepatan yang disimulasikan pada model ini ($V = 0.0005$ m/s). Hubungan antara jumlah elemen dan besarnya C_p pada titik stagnasi dalam proses grid independence disajikan dalam tabel 4.1. (Bab 4).



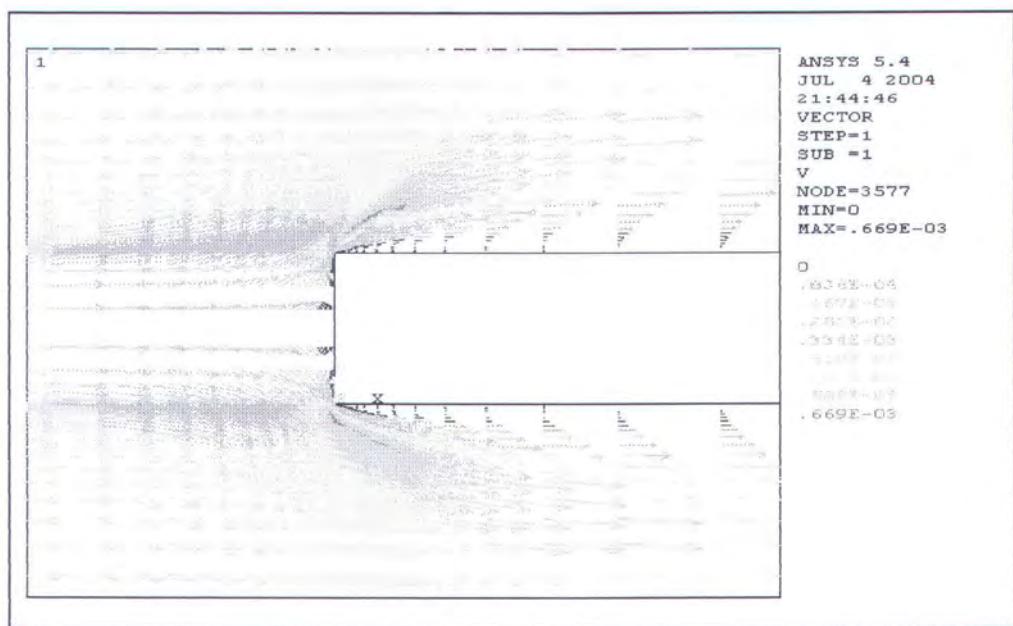
Gambar J.2. Gambar Pressure Coefficient Pada Aliran Laminar Model Pelat Datar

LAMPIRAN J (Gambar J.3 – J5)

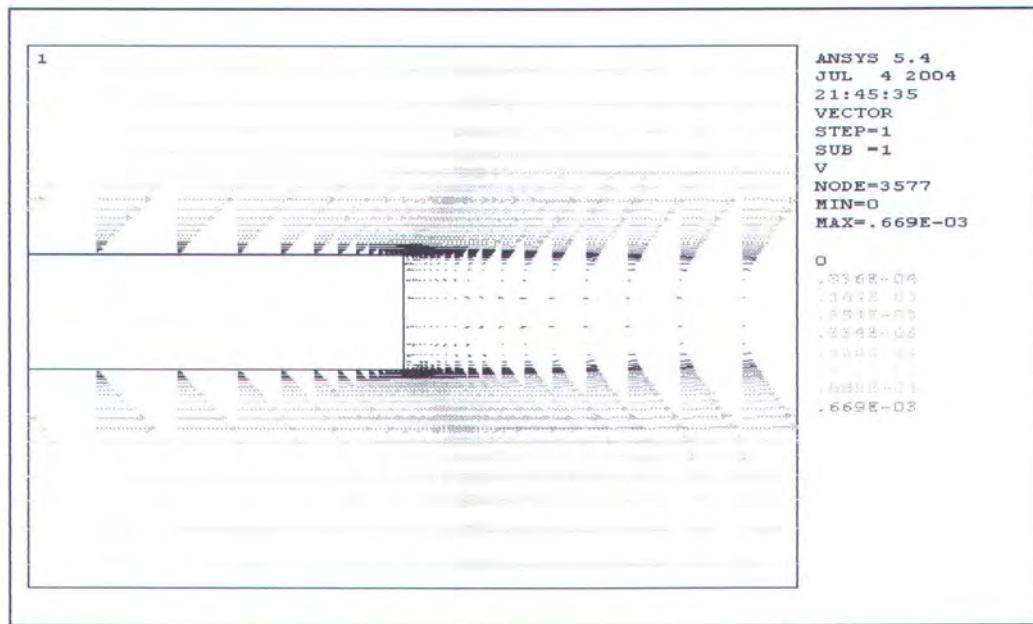
Gambar J.3 di bawah ini adalah gambar *vector kecepatan* pada aliran laminar model pelat datar. Adapun kecepatan yang disimulasikan pada model ini ($V = 0.0005 \text{ m/s}$). Profil kecepatan pada model ini disajikan dalam gambar 4.9. (Bab 4).



Gambar J.3. Gambar Vektor Kecepatan Pada Aliran Laminar Model Pelat Datar



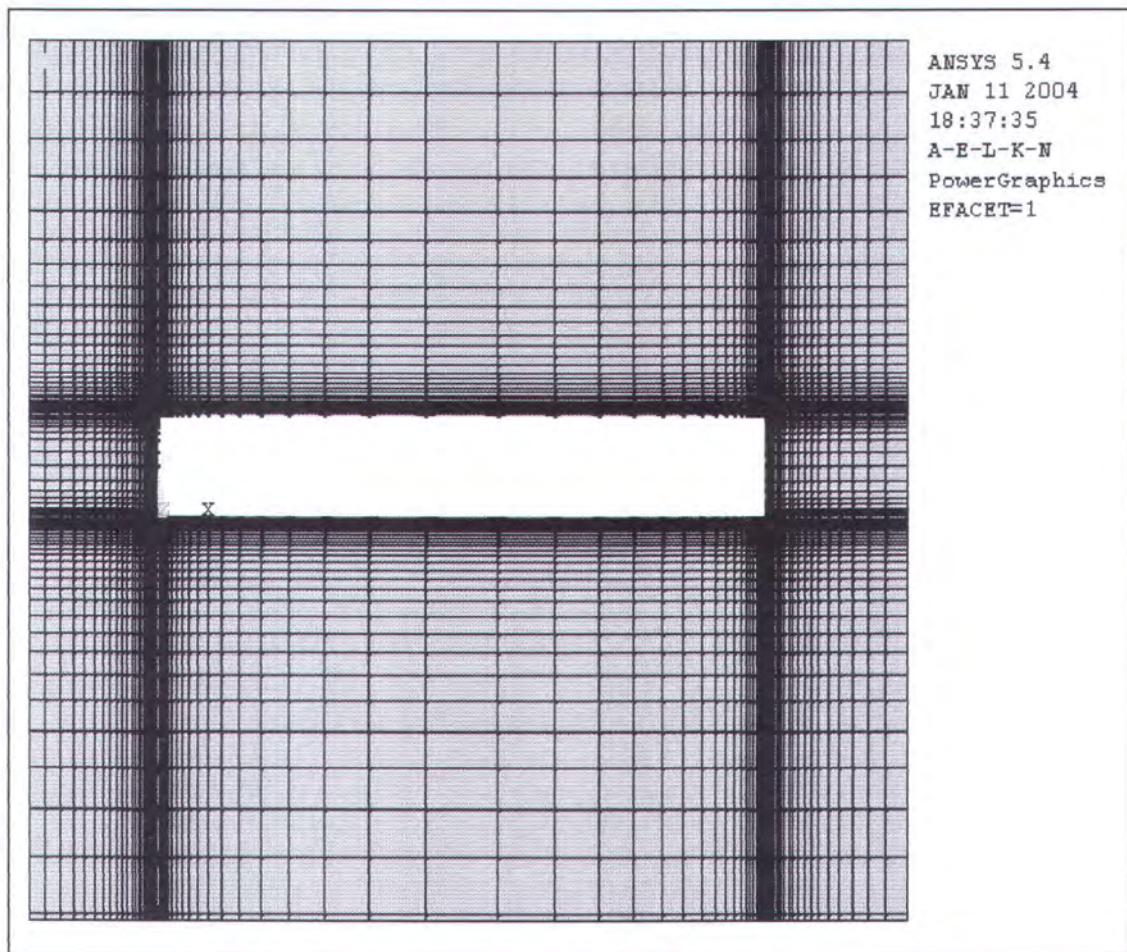
Gambar J.4. Gambar Vektor Kecepatan Pada Aliran Laminar Model Pelat Datar Bagian Depan



Gambar J.5. Gambar Vektor Kecepatan Pada Aliran Laminar Model Pelat Datar Bagian Belakang

LAMPIRAN K (Gambar K.1)

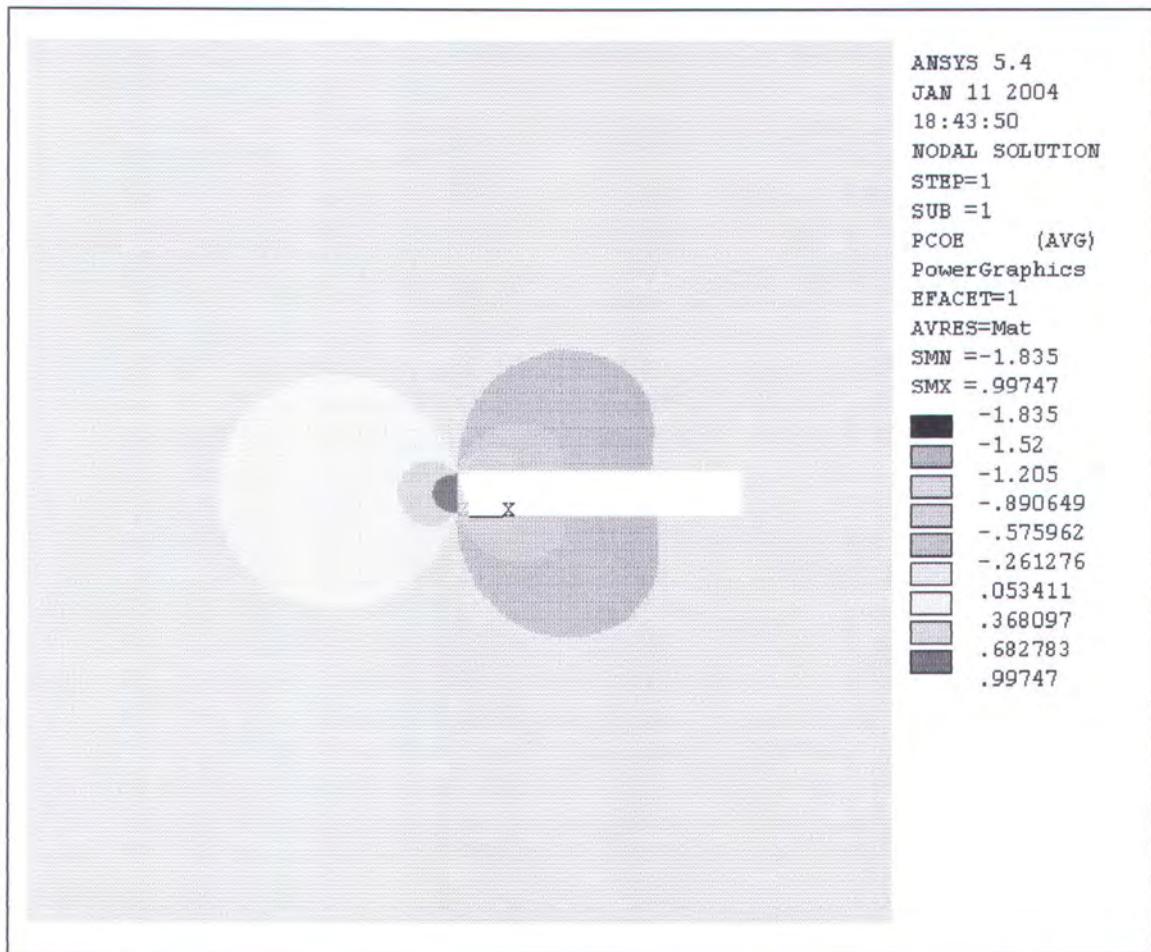
Gambar K.1 di bawah ini adalah gambar *Meshing* pada aliran turbulen model pelat datar. Adapun kecepatan yang disimulasikan pada model ini ($V = 1.016$ m/s). Adapun besarnya jumlah elemen untuk meshing ini adalah 14490 yang disajikan dalam (tabel *grid independence*) pada tabel 4.2. (Bab 4).



Gambar K.1. Gambar *Meshing* Pada Aliran Turbulen Model Pelat Datar

LAMPIRAN K (Gambar K.2)

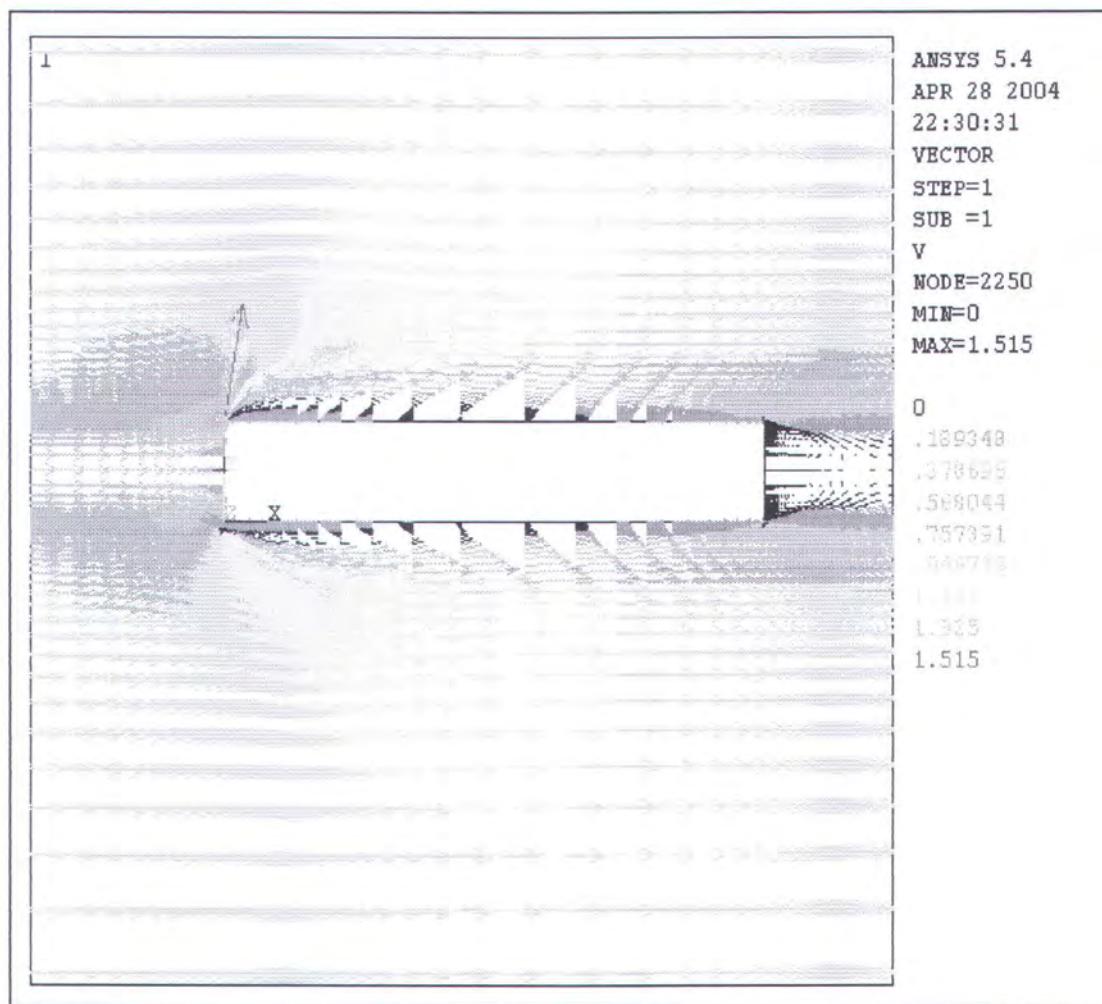
Gambar K.2. di bawah ini adalah gambar *Pressure Coefficient* pada aliran turbulen model pelat datar. Adapun kecepatan yang disimulasikan pada model ini ($V = 1.016 \text{ m/s}$). Hubungan antara jumlah elemen dan besarnya C_p pada titik stagnasi dalam proses grid independence disajikan dalam tabel 4.2. (Bab 4).



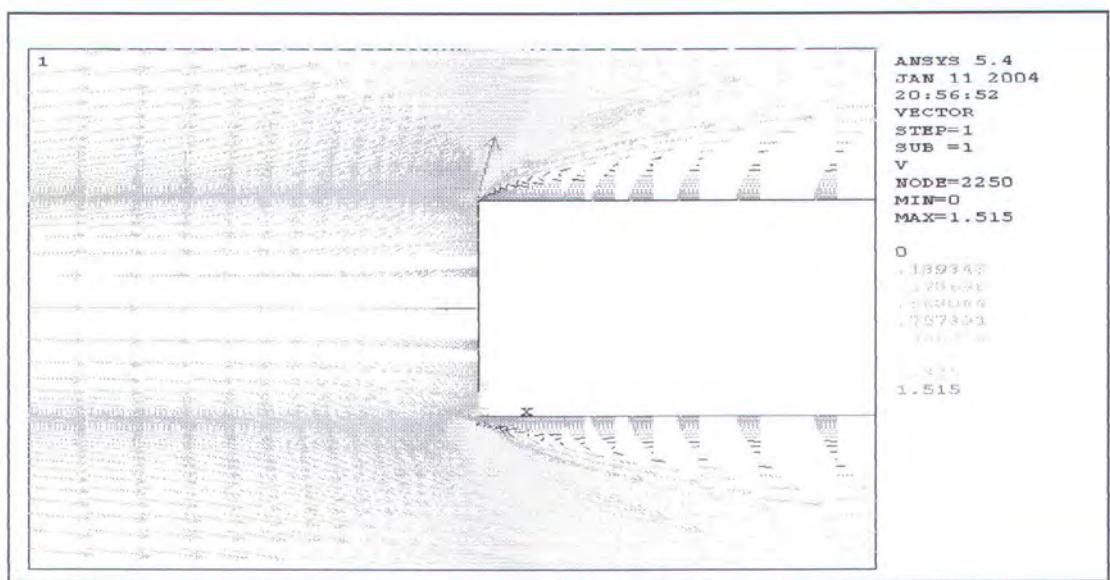
Gambar K.2. Gambar Pressure Coefficient Pada Aliran turbulen Model Pelat Datar

LAMPIRAN K (Gambar K.3 – K.5)

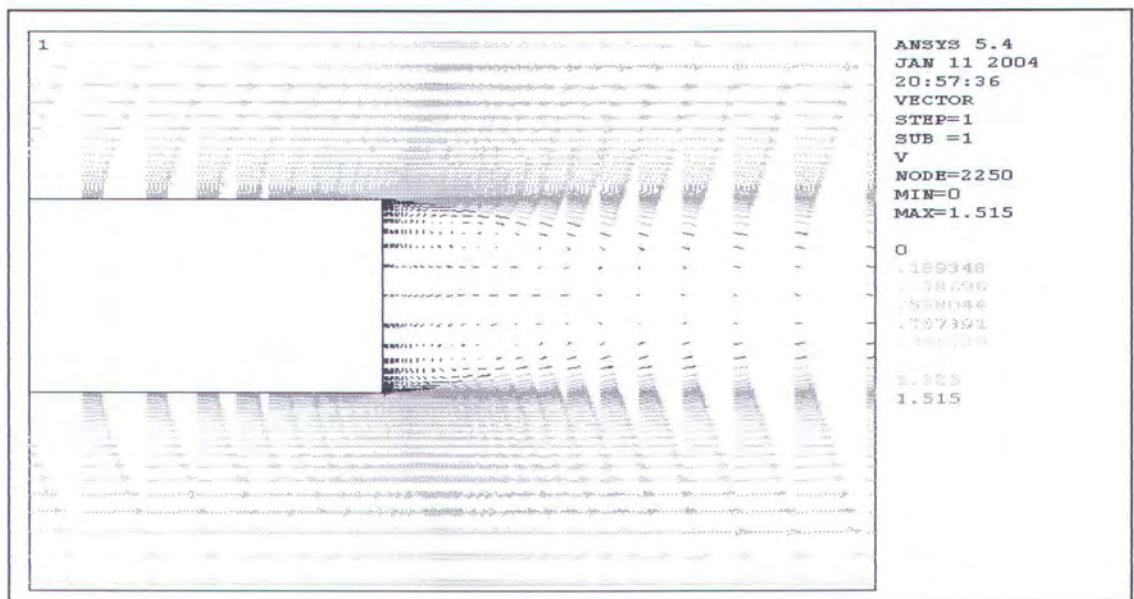
Gambar K.3 di bawah ini adalah gambar vektor kecepatan pada aliran turbulen model pelat datar. Adapun kecepatan yang disimulasikan pada model ini ($V = 1.016 \text{ m/s}$). Profil kecepatan pada model ini disajikan dalam gambar 4.10. (Bab 4).



Gambar K.3. Gambar Vektor Kecepatan Pada Aliran Turbulen Model Pelat Datar



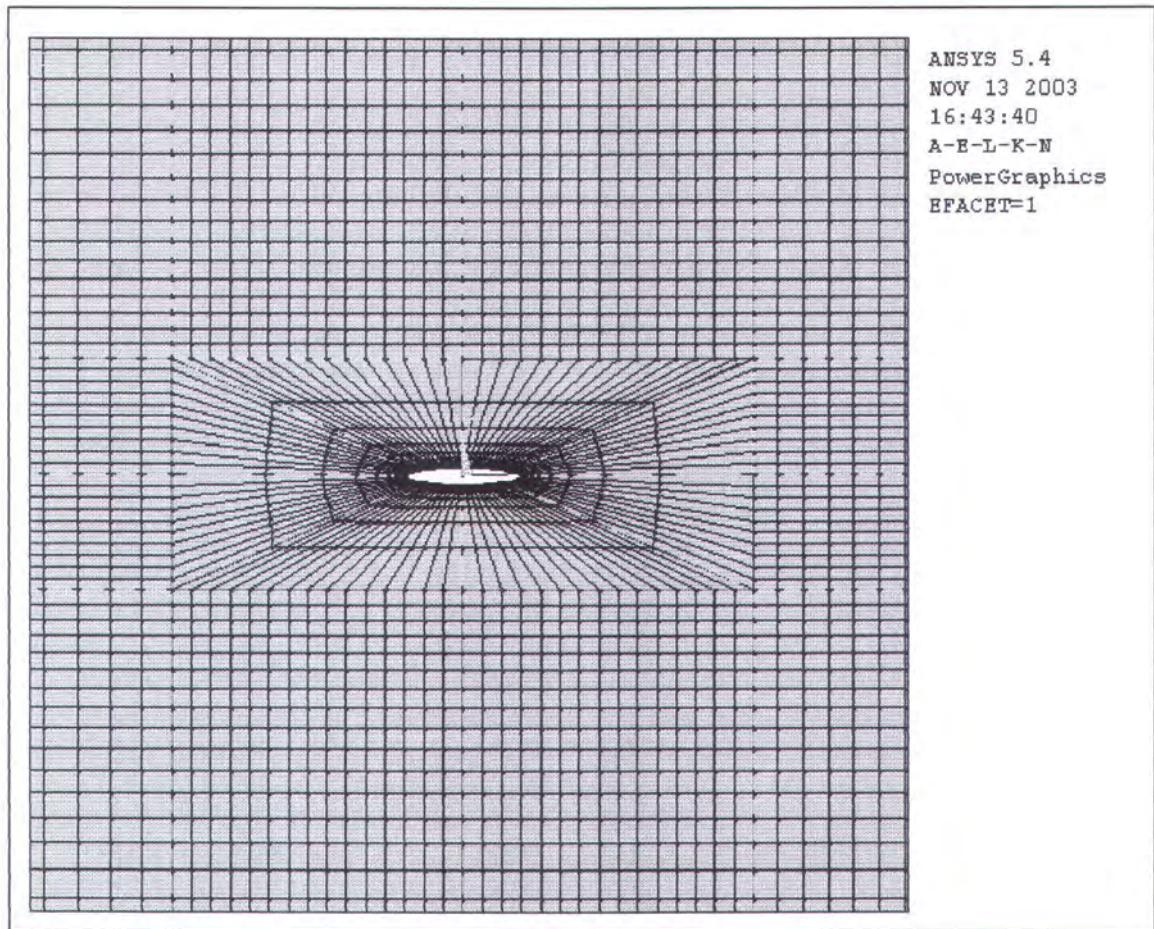
Gambar K.4. Gambar Vektor Kecepatan Pada Aliran Turbulen Model Pelat Datar Bagian Depan



Gambar K.5. Gambar Vektor Kecepatan Pada Aliran Turbulen Model Pelat Datar Bagian Belakang

LAMPIRAN L (Gambar L.1)

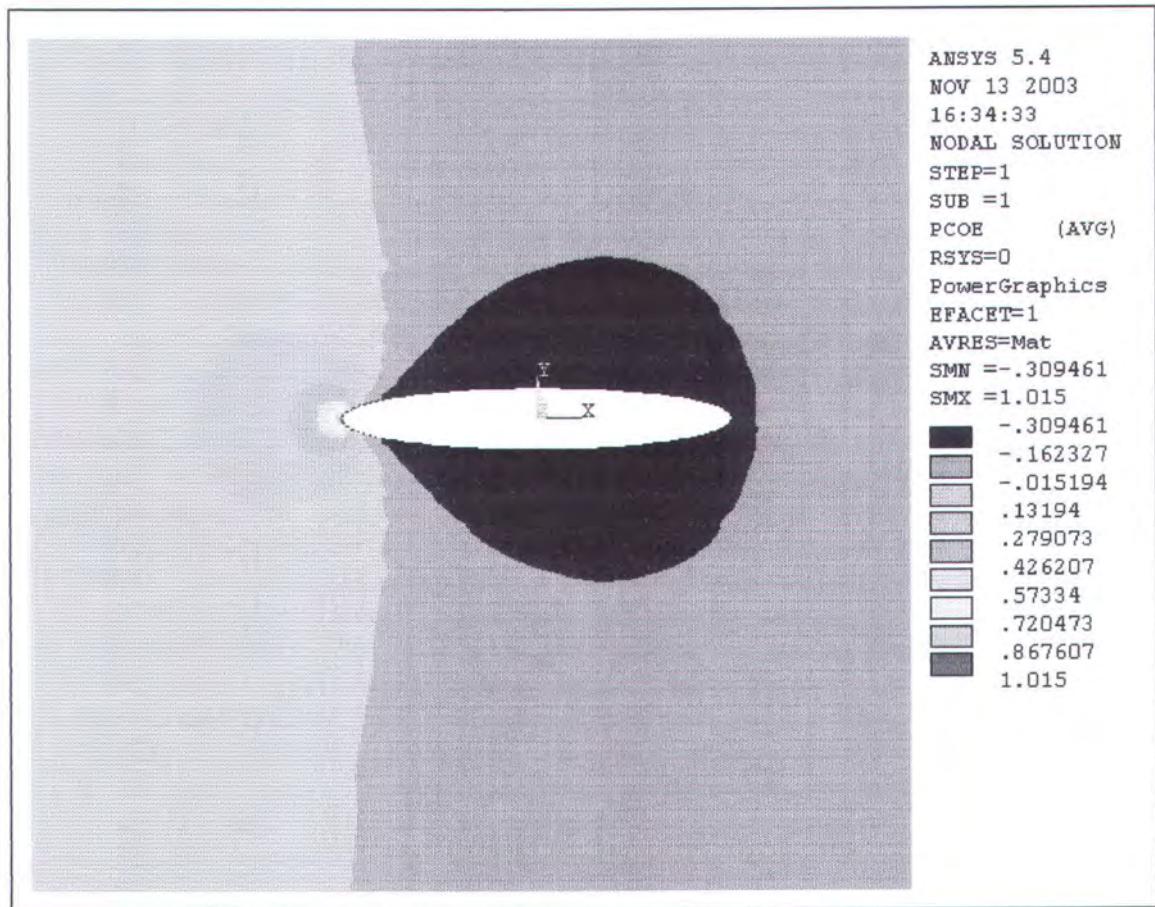
Gambar L.1 di bawah ini adalah gambar *Meshing* pada aliran laminar model ellips. Adapun kecepatan yang disimulasikan pada model ini ($V = 0.0005 \text{ m/s}$). Adapun besarnya jumlah elemen untuk meshing ini adalah 15800 yang disajikan dalam (tabel *grid independence*) pada tabel 4.3. (Bab 4).



Gambar L.1. Gambar *Meshing* Pada Aliran Laminar Model Ellips

LAMPIRAN L (Gambar L.2)

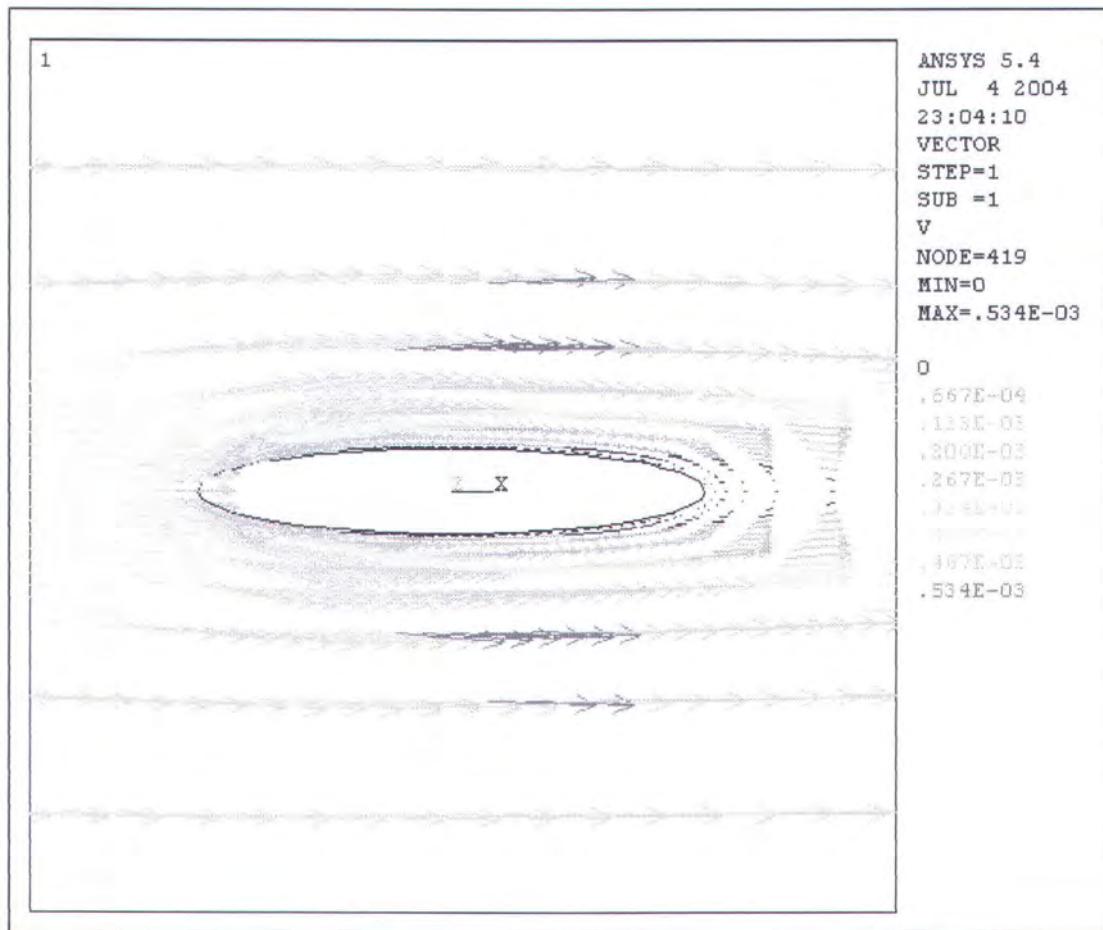
Gambar L.2. di bawah ini adalah gambar *Pressure Coefficient* pada aliran laminar model ellips. Adapun kecepatan yang disimulasikan pada model ini ($V = 0.0005 \text{ m/s}$). Hubungan antara jumlah elemen dan besarnya C_p pada titik stagnasi dalam proses grid independence disajikan dalam tabel 4.3. (Bab 4).



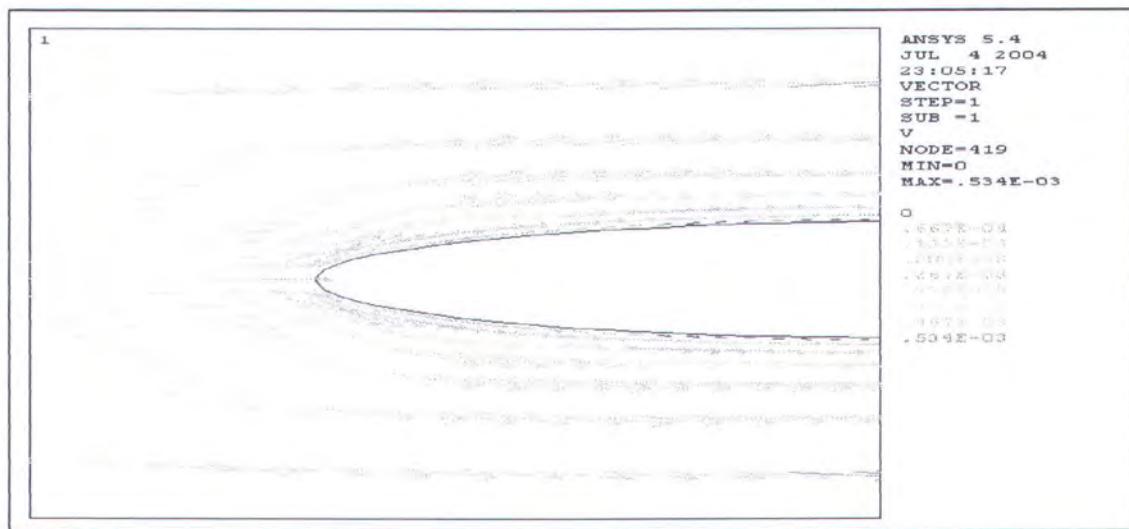
Gambar L.2. Gambar Pressure Coefficient Pada Aliran Laminar Model ellips

LAMPIRAN L (Gambar L.3 – L.5)

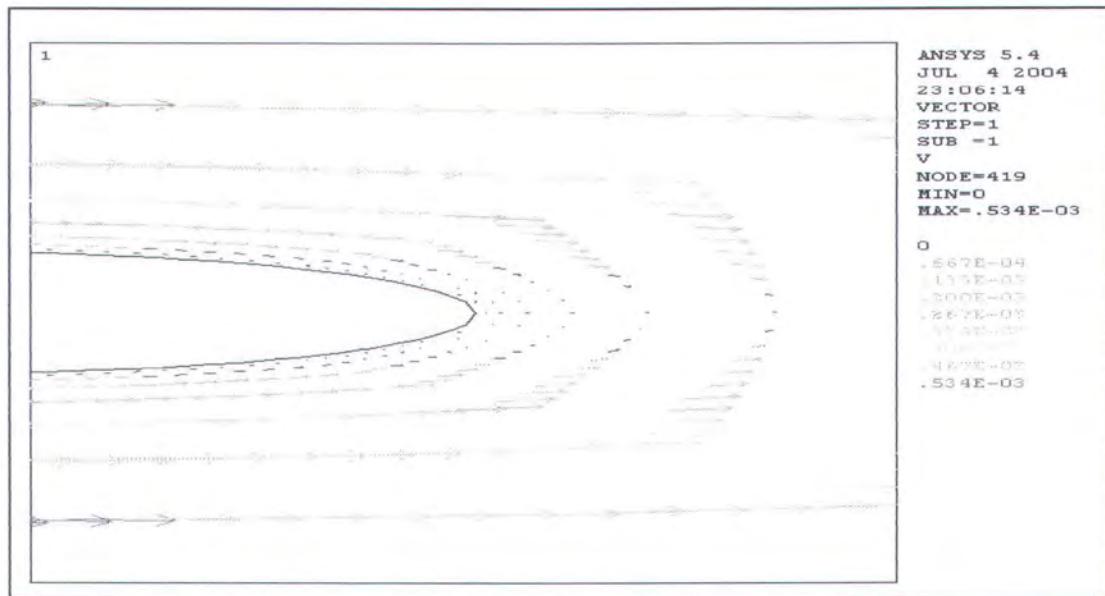
Gambar L.3 di bawah ini adalah gambar *vector kecepatan* pada aliran laminar model ellips. Adapun kecepatan yang disimulasikan pada model ini ($V = 0.0005 \text{ m/s}$). Profil kecepatan pada model ini disajikan dalam gambar 4.11. (Bab 4).



Gambar L.3. Gambar Vektor Kecepatan Pada Aliran Laminar Model Ellips



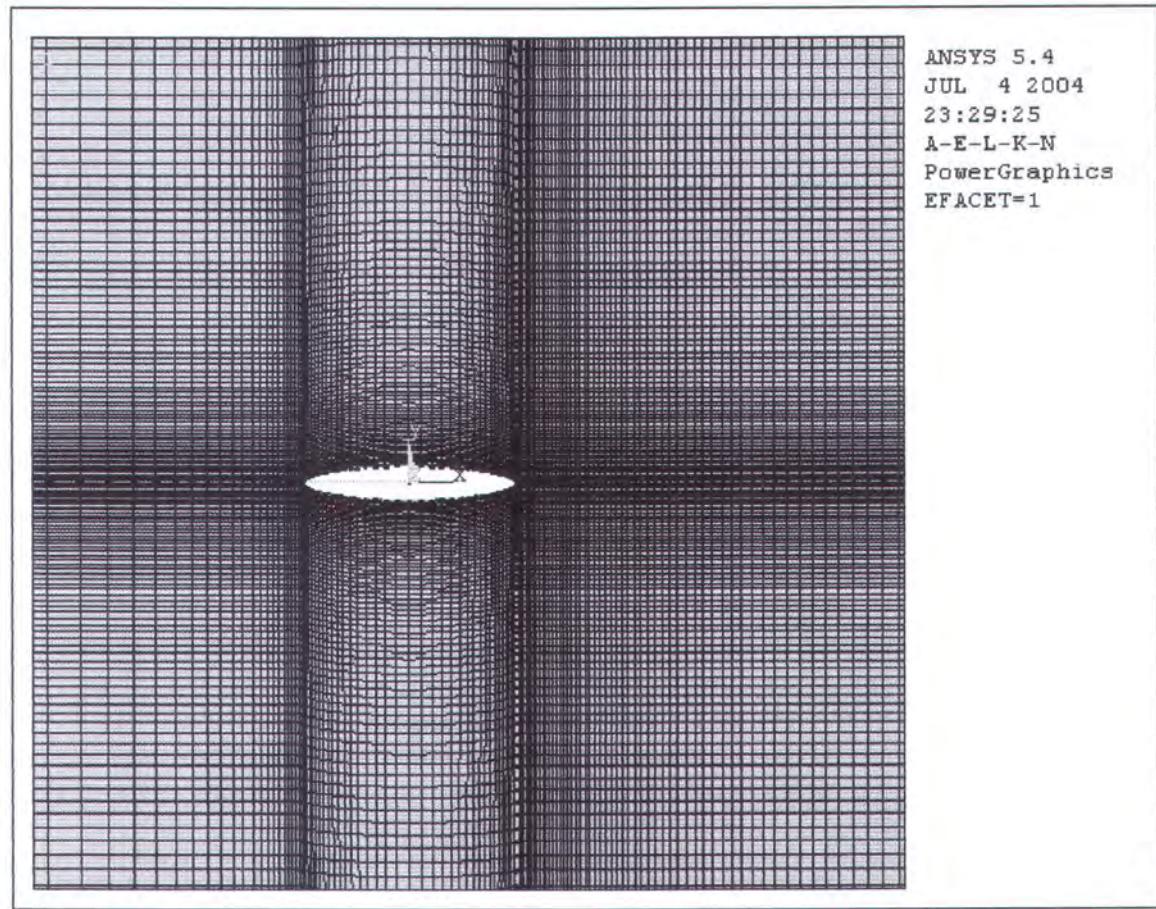
Gambar L.4. Gambar Vektor Kecepatan Pada Aliran Laminar Model Ellips
Bagian Depan



Gambar L.5. Gambar Vektor Kecepatan Pada Aliran Laminar Model Ellips
Bagian Belakang

LAMPIRAN M (Gambar M.1)

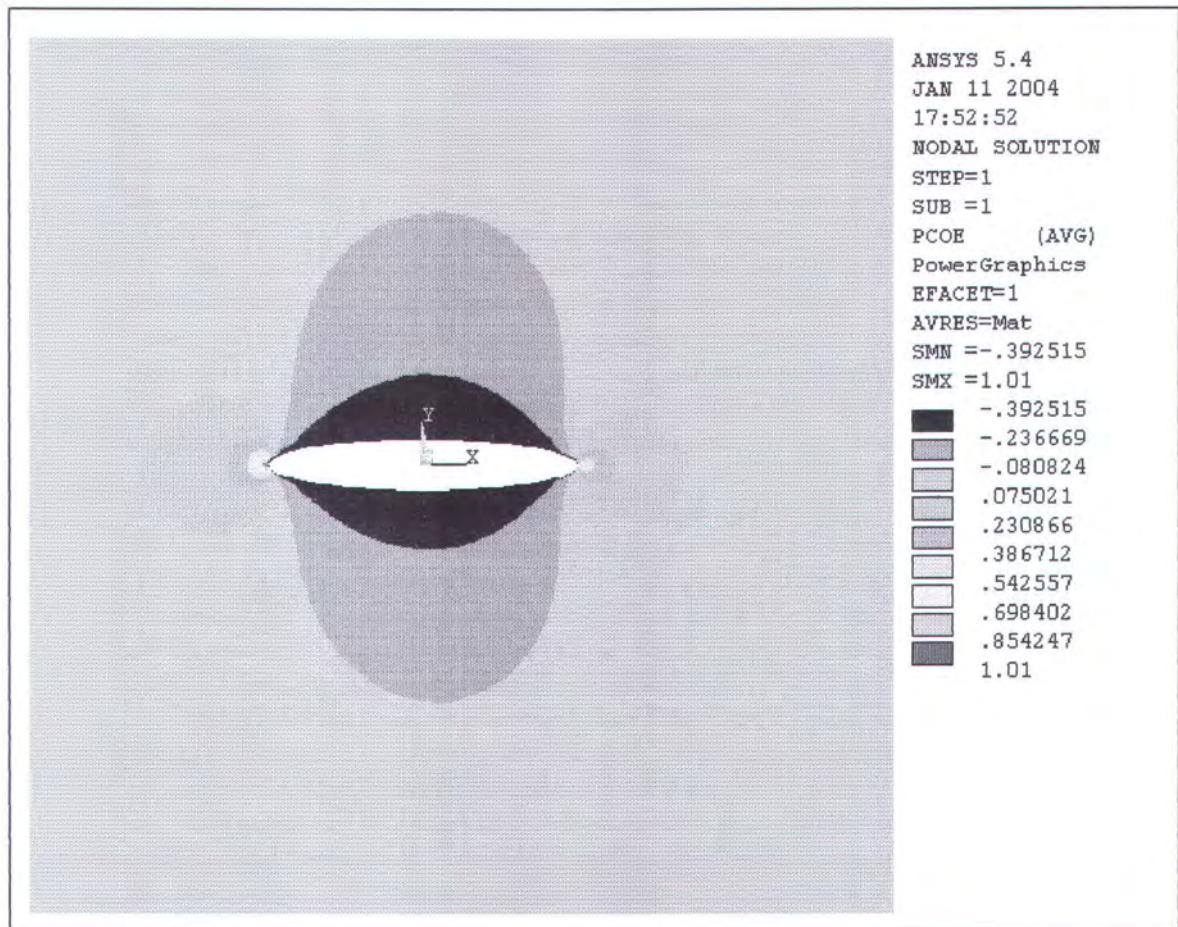
Gambar M.1 di bawah ini adalah gambar *Meshing* pada aliran turbulen model ellips. Adapun kecepatan yang disimulasikan pada model ini ($V = 1.016 \text{ m/s}$). Adapun besarnya jumlah elemen untuk meshing ini adalah 20700 yang disajikan dalam (tabel *grid independence*) pada tabel 4.4. (Bab 4).



Gambar M.1. Gambar *Meshing* Pada Aliran Turbulen Model Ellips

LAMPIRAN M (Gambar M.2)

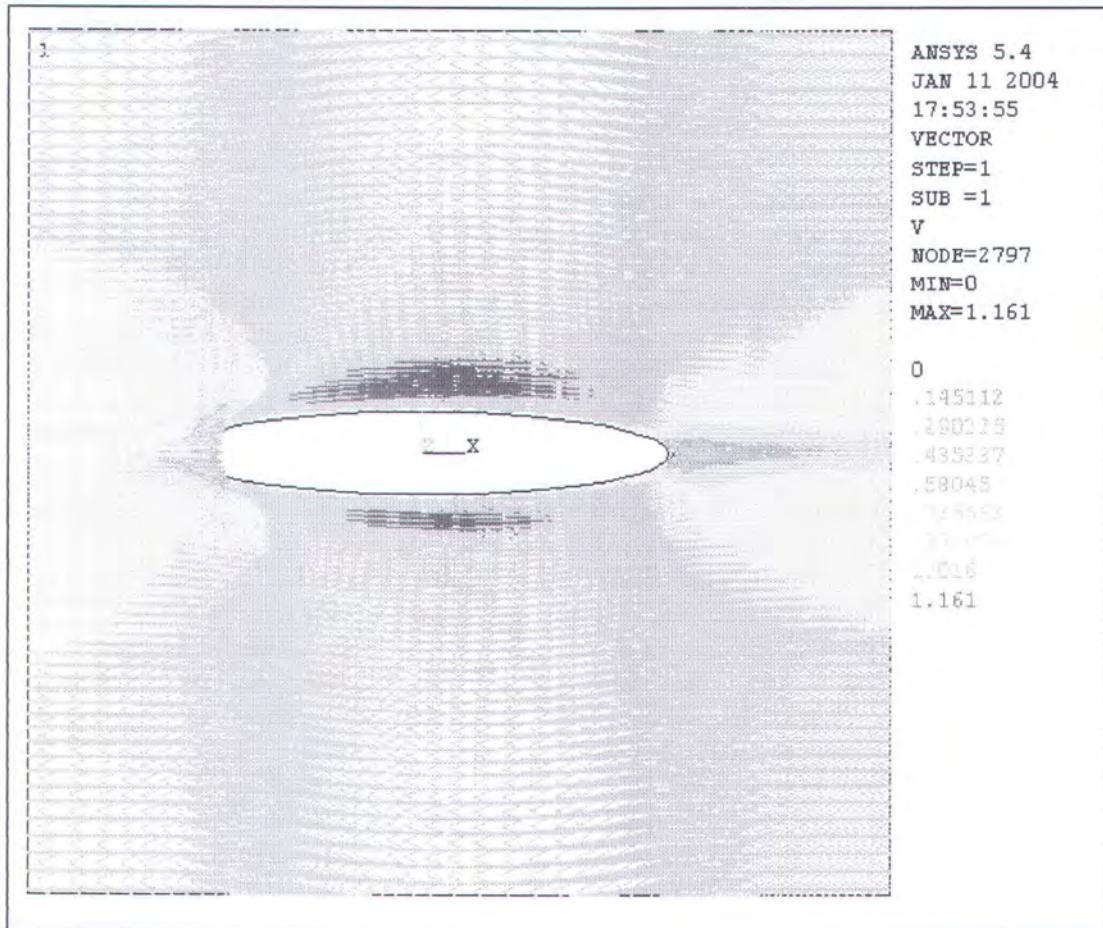
Gambar M.2. di bawah ini adalah gambar *Pressure Coefficient* pada aliran turbulen model ellips. Adapun kecepatan yang disimulasikan pada model ini ($V = 1.016 \text{ m/s}$). Hubungan antara jumlah elemen dan besarnya C_p pada titik stagnasi dalam proses grid independence disajikan dalam tabel 4.4. (Bab 4).



Gambar M.2. Gambar Pressure Coefficient Pada Aliran turbulen Model Ellips

LAMPIRAN M (Gambar M.3 – M.5)

Gambar M.3 di bawah ini adalah gambar vektor kecepatan pada aliran turbulen model ellips. Adapun kecepatan yang disimulasikan pada model ini ($V = 1.016 \text{ m/s}$). Profil kecepatan pada model ini disajikan dalam gambar 4.13. (Bab 4).



Gambar M.3. Gambar Vektor Kecepatan Pada Aliran Turbulen Model Ellips

