

15.038/H/02

TUGAS AKHIR
(KP. 1701)

DESAIN LAYAR DENGAN SIMULASI CFD



RSPe
623.8203
Nas
d-1
2002

OLEH :

AHMAD NASIRUDIN
NRP. 4196 100 047

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

SURABAYA PERPUSTAKAAN 2002 I T S	
Tgl. Terima	13-2-2002
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	215037

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN LAYAR DENGAN SIMULASI CFD

TUGAS AKHIR

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

Mengetahui dan Menyetujui
Dosen Pembimbing



Ir. I.K.A. Pria Utama, MSc., PhD.

Nip. 132 007 645

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah penguasa alam. Berkat rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir. Tugas Akhir ini merupakan sebagian dari upaya penerapan ilmu yang telah didapatkan di jurusan Teknik Perkapalan ITS Surabaya sebagai prasyarat meraih gelar kesarjanaan.

Laporan ini dibuat berdasarkan hasil percobaan numerik menggunakan perangkat lunak Flotran CFD ANSYS 5.4 untuk mendesain layar.

Terselesaikannya penulisan Tugas Akhir ini tentu tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. I.K.A. Pria Utama, M. Sc., Ph. D., selaku dosen pembimbing yang memberikan arahan dan bimbingan untuk kelancaran penulisan tugas akhir ini.
2. Ir. Djauhar Manfaat, MSc., PhD., selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS yang telah memberikan ijin penulisan ini.
3. Bapak Kepala UPT Komputer ITS, Bapak Katjuk, yang telah memberikan ijin pemanfaatan fasilitas Lab.
4. ITS-Net crew, mbak Mudji, dan mbak Yeni, yang membantu melancarkan proses pemanfaatan Lab.
5. Bapak, Ibu, dan Saudara-saudara yang lain, yang memberikan dorongan dan semangat kepada penulis.
6. Kos GL 56 A crew, Mbah Warno, Puji, Makmudin, Banu, Santo, Odel.

7. P'36 gank, Didik T'wol, Bram, PacGoeh, Indro, Bang Yek, Didit, Fasich, Ian, ThoHir, Omy, BayBurhan, Lian, Uzanh, dan semuanya.
8. Daniel (teman refreshing), Erick, Fajar, Jane, Yayan, yang membantu memberikan referensi, dan pihak-pihak lain yang juga tidak mungkin penulis sebut satu per-satu.

Demikian, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan penulis khususnya.

Surabaya, Januari 2002

Penulis

ABSTRAK

Hal yang paling diharapkan dalam mendesain layar adalah untuk mendapatkan gaya dorong yang optimal. Salah satu aspek yang mempengaruhi besarnya gaya dorong adalah besarnya *camber* layar.

Desain dilakukan pada layar kaku tanpa puntiran (*rigid, untwisted*) berbentuk segi empat, dengan aspek rasio sebesar 5 dan dengan dua variasi *camber*, yaitu 1/10 dan 1/20. Desain dilakukan dengan pendekatan dua dimensi menggunakan *Flotran CFD ANSYS 5.4* yang merupakan perangkat lunak untuk aplikasi analisa dinamika fluida (*Computational Fluid Dynamics, CFD*)

Dari pengujian numerik yang dilakukan diketahui bahwa layar dengan *camber* 1/10 memiliki gaya dorong maksimal yang lebih besar dibanding dengan layar dengan *camber* 1/20. Hal ini sesuai dengan hasil percobaan pada *Wind Tunnel* yang ada.

ABSTRACT

The most important thing in designing sail is to achieve the optimum driving force. One the aspects that influence the diriving force is the dimension of sail camber.

Design is adapted at rigid rectangular sail, untwisted, with aspect ratio 5 and two camber variations, which is 1/10 and 1/20. The design is approached with two dimensional analysis with the use of Flotran CFD ANSYS 5.4, which is the software for fluid dynamics analysis (Computational Fluid Dynamics, CFD).

From the numeric testing that have been done it is noted that sail with camber 1/10 having greater maximum driving force compared with 1/20 camber. This is suitable with the Wind Tunnel testing that exist.

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAKSI	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR GRAFIK	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Tujuan Penulisan	2
1.3. Pembatasan Masalah	2
1.4. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Konsep Gaya Aerodinamika pada Layar	4
2.2. Geometri Layar	7
2.3. Gaya-gaya yang Bekerja pada Layar	8
2.4. Lift, Drag, dan Momen pada Aerofoil	9
2.5. Centre of Effort	14
2.6. Tipikal Lift, Drag, dan Distribusi Tekanan	15
2.7. Diagram Polar	17
BAB III COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)	
3.1. Persamaan Dasar Dinamika Fluida dalam CFD	19
3.2. Persamaan Aliran Viscous (Persamaan Navier~Stokes)	20
3.3. Flotran CFD ANSYS 5.4	32

3.4. Proses Validasi	34
3.5. Pemodelan Layar 2D	35

BAB IV ANALISA DATA

4.1. Data Eksperimen	37
4.2. Data Geometri Model Layar	39
4.3. Grid Independence	40
4.4. Data Jumlah Iterasi, dan Waktu Running	44
4.5. Hasil dan Analisa Cross-wind force, Drag, dan Momen	44
4.6. Analisa Centre of Effort	56
4.7. Analisa Gaya Dorong	60
4.8. Validasi Hasil	64

BAB V KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan	69
5.2. Saran	69

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Aliran fluida di sekitar layar	5
Gambar 2.2.	(a) Total Force F_T , (b) Sirkulasi yang bekerja pada layar	6
Gambar 2.3.	Geometri Layar	7
Gambar 2.4.	Gaya-gaya yang bekerja pada layar	9
Gambar 2.5.	Komponen gaya aerodinamika	10
Gambar 2.6.	Integrasi distribusi p dan τ pada permukaan aerofoil 2-D	11
Gambar 2.7.	Aerofoil 3-D	13
Gambar 2.8.	Centre of effort	15
Gambar 2.9.	Distribusi tekanan	16
Gambar 2.10.	Diagram Polar	17
Gambar 3.1.	Model-model aliran. (a & b) pendekatan kontrol volume-hingga, (c & d) pendekatan elemen fluida kecil tak-hingga.	20
Gambar 3.2.	Model elemen kecil tak-hingga yang tetap-dalam-ruang.	21
Gambar 3.3.	Gaya-gaya yang bekerja pada sumbu x pada elemen fluida kecil tak-hingga yang bergerak	24
Gambar 3.4.	(a) tegangan geser (berkaitan dengan tingkat perubahan deformasi pergeseran), dan (b) tegangan normal (berkaitan dengan tingkat perubahan volume).	25
Gambar 3.5.	Pemodelan Layar 2D	35
Gambar 4.1.	Vektor Kecepatan pada Layar dengn Camber 1/10, $\alpha = 10^\circ$	54
Gambar 4.2.	Vektor Kecepatan pada Layar dengn Camber 1/10, $\alpha = 15^\circ$	54
Gambar 4.3.	Vektor Kecepatan pada Layar dengn Camber 1/10, $\alpha = 20^\circ$	55



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1.	Pengaruh Jumlah elemen terhadap L'	41
Grafik 4.2.	Pengaruh Jumlah elemen terhadap D'	42
Grafik 4.3.	Pengaruh Jumlah elemen terhadap M'	42
Grafik 4.4.	Pengaruh Jumlah elemen terhadap N'	43
Grafik 4.5.	Distribusi tekanan Layar dengan Camber 1/10, $\alpha = 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$	57
Grafik 4.6.	Distribusi tekanan Layar dengan Camber 1/10, $\alpha = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$	58
Grafik 4.7.	Distribusi tekanan Layar dengan Camber 1/20, $\alpha = 10^\circ, 12^\circ, 15^\circ$	59
Grafik 4.8.	Distribusi tekanan Layar dengan Camber 1/20, $\alpha = 15^\circ, 20^\circ, 30^\circ$	60
Grafik 4.9.	Diagram Polar	62
Grafik 4.10.	Perbandingan distribusi tekanan layar dengan camber 1/10 dan 1/20	63
Grafik 4.11.	Perbandingan koefisien Cross-wind Force hasil eksperimen dan hasil CFD untuk layar dengan camber 1/10	65
Grafik 4.12.	Perbandingan koefisien Drag hasil eksperimen dan hasil CFD untuk layar dengan camber 1/10	65
Grafik 4.13.	Perbandingan Centre of Effort hasil eksperimen dan hasil CFD untuk layar dengan camber 1/10	66
Grafik 4.14.	Perbandingan koefisien Cross-wind Force hasil eksperimen dan hasil CFD untuk layar dengan camber 1/20	66
Grafik 4.15.	Perbandingan koefisien Drag hasil eksperimen dan hasil CFD untuk layar dengan camber 1/20	67

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Data eksperimen C_L , C_D , dan C_E dari layar dengan camber 1/10 dengan berbagai variasi angle of incident (α)	38
Tabel 4.2.	Data eksperimen C_L dan C_D dari layar dengan camber 1/20 dengan berbagai variasi angle of incident (α)	38
Tabel 4.3.	Data eksperimen C_R dan C_H , dari layar dengan camber 1/10 dengan berbagai angle of incident (α) dan apparent wind angle (β)	38
Tabel 4.4.	Data eksperimen C_R dan C_H , dari layar dengan camber 1/20 dengan berbagai angle of incident (α) dan apparent wind angle (β)	39
Tabel 4.5.	Grid Independence	41
Tabel 4.6.	Data Jumlah iterasi, dan Waktu Running	44
Tabel 4.7.	Data L' , D' , dan M' .	53
Tabel 4.8.	Data M' , N' , dan C_E' .	56
Tabel 4.9.	Data cl , dan cd hasil simulasi CFD	61
Tabel 4.10.	Data C_R , C_H untuk layar dengan camber 1/10	61
Tabel 4.11.	Data C_R , C_H untuk layar dengan camber 1/20	62
Tabel 4.12.	Koreksi cl , cd , dan C_E	64

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Layar merupakan salah satu alat propulsif pada kapal. Sebagaimana alat propulsif yang lain seperti propeller, maka layar diusahakan menghasilkan gaya dorong yang optimal agar menghasilkan kecepatan kapal yang maksimal.

Dari eksperimen yang telah dilakukan maupun dari teori-teori yang ada menunjukkan bahwa gaya dorong yang dihasilkan oleh layar dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu tekanan dinamis yang mana besarnya tergantung dari kecepatan dan densitas udara, luasan layar, posisi layar pada saat dioperasikan terhadap arah angin (*angle of incident, α*) dan arah kapal terhadap arah angin (*apparent wind angle, β*), bentuk layar dan besarnya *camber*/ kelengkungan layar pada saat beroperasi, dan jenis bahan layar antara lain kekasaran dan berat dari bahan tersebut. Dari aspek-aspek tersebut dapat diketahui bahwa gaya dorong tergantung dari kondisi alam (kecepatan angin), keterampilan operator mengendalikan kapal (*angle of incident, α* dan *apparent wind angle, β*), dan desain layar (luas, bentuk, besanya camber, dan bahan layar). Hal yang paling mungkin dilakukan dan yang cukup signifikan dalam mempengaruhi gaya dorong yaitu desain layar. Oleh karena itu desain layar yang baik guna memperoleh gaya dorong yang optimal mutlak dilakukan.

Banyak eksperimen yang telah dilakukan untuk mendapatkan desain yang baik. Pada mulanya eksperimen dilakukan dengan menggunakan skala

sesungguhnya, kemudian dengan adanya *wind tunnel* eksperimen dilakukan dengan memodelkan layar dalam skala tertentu. Seiring dengan perkembangan teknologi akhirnya ditemukan sarana untuk memprediksi perilaku fluida menggunakan komputer, yaitu *CFD (Computational Fluid Dynamics)*. Dengan adanya *CFD*, maka banyak desain dilakukan dengan menggunakan komputer, karena hasilnya dapat dipertanggung jawabkan dan biaya yang dibutuhkan jauh lebih kecil dibanding dengan melakukan eksperimen pada *wind tunnel*.



1.2. Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

- a. Untuk mengetahui pengaruh besarnya *camber* terhadap gaya dorong layar.
- b. Untuk mengetahui pengaruh besarnya sudut serang (*angle of incident*, α) terhadap besarnya gaya dorong layar.
- c. Untuk mengetahui pengaruh besarnya *apparent wind angle*, β terhadap gaya dorong layar.

1.3. Pembatasan Masalah

Dalam tugas akhir ini dibuat beberapa batasan untuk mempermudah analisa terhadap permasalahan yang dibahas. Batasan-batasan tersebut yaitu :

- Layar yang dimodelkan adalah layar *rigid, untwisted* (kaku tanpa puntiran) dengan bentuk segi empat.
- Desain dilakukan pada pengaruh besarnya *camber* terhadap gaya dorong dengan *camber* sebesar 1/10 dan 1/20.

- Kecepatan angin dianggap konstan dan uniform pada inlet dengan kecepatan apparent, V_A 10 knot.
- Pemodelan yang digunakan dalam simulasi *CFD* adalah pemodelan dua dimensi (*2D*) pada aliran eksternal.

1.4. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini dibagi dalam lima bab yaitu :

- **BAB I. PENDAHULUAN**

Berisi penjelasan mengenai latar belakang permasalahan, tujuan, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan 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 teori dasar dalam *CFD*, bagian-bagian *Flotran CFD ANSYS 5.4*, dan pemodelan layar.

- **BAB IV. ANALISA**

Berisi data-data eksperimen dan hasil yang didapatkan dari simulasi *CFD* beserta analisanya.

- **BAB V. PENUTUP**

Berisi kesimpulan dari penelitian dan saran-saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Gaya Aerodinamika pada Layar

Mengacu pada hukum newton yang menyatakan bahwa massa dari suatu benda adalah berat benda tersebut dibagi dengan gravitasi ;

$$m = \frac{W}{g} \quad (2.1)$$

maka, massa jenis udara (γ_A) dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$\rho_A = \frac{\gamma_A}{g} \quad (2.2)$$

γ_A = berat udara per-unit volume

g = gravitasi

Karena udara mempunyai massa dan kecepatan, maka udara memiliki energi kinetik yang besarnya :

$$Ek = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2.3)$$

Jika energi kinetik ini dinyatakan dalam satuan per-unit volume, maka dinamakan tekanan dinamis (*dynamic pressure*). Besarnya tekanan dinamis adalah ;

$$q = \frac{1}{2} \cdot \gamma_A / g \cdot v^2 \quad (2.4)$$

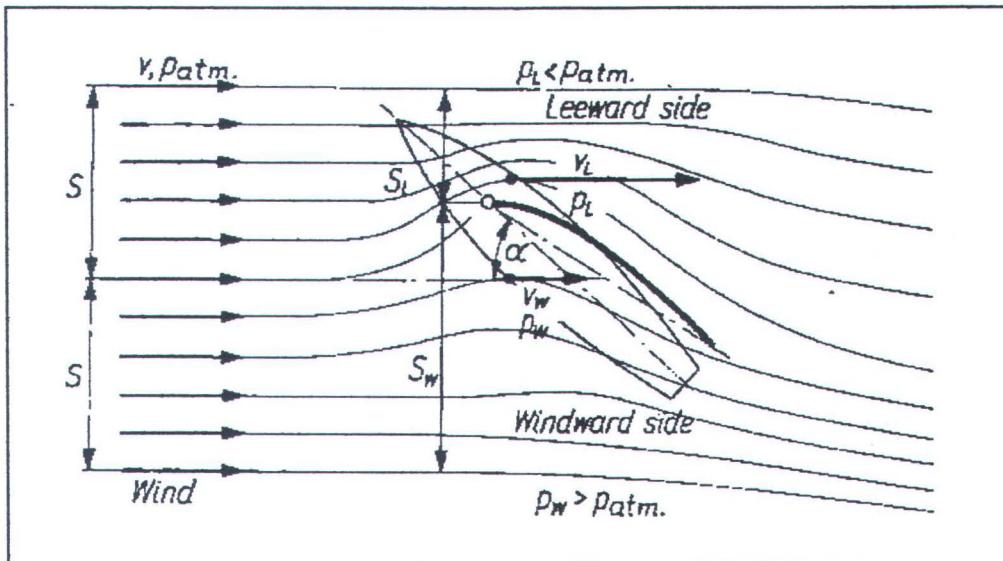
q = tekanan dinamis

v = kecepatan angin

Menurut persamaan Bernoulli [Marchaj, 1982] hubungan antara tekanan statis dan tekanan dinamis adalah :

$$p + q = p_1 + q_1 = \text{total head atau tekanan stagnasi (konstan)} \quad (2.5)$$

Pada Gb. 2.1 memperlihatkan aliran di sekitar layar yang terdiri dari dua bagian aliran, yaitu aliran yang melewati *lee side* (sisi yang tidak terkena angin secara langsung) dan aliran yang melewati *windward side* (sisi yang terkena angin secara langsung)

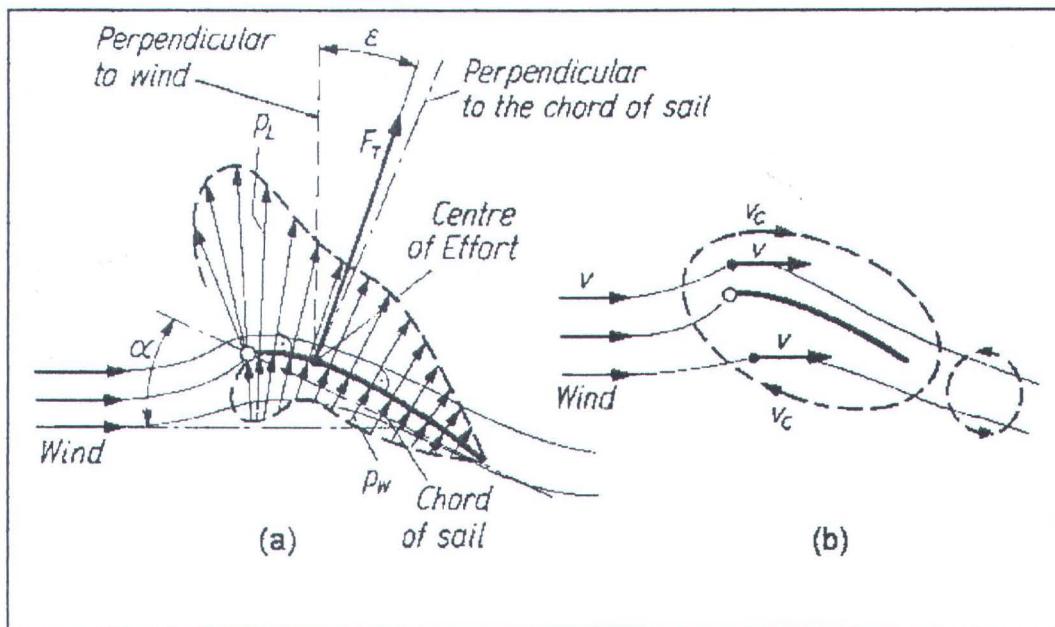


Gambar 2.1 Aliran fluida di sekitar layar

Pada gambar di atas menunjukkan bahwa aliran yang melewati *lee side* mengelil dari S ke S_L . Kecepatan angin pada daerah ini (v_L) lebih besar daripada kecepatan angin pada *free stream* (aliran jauh dari layar), v . Menurut persamaan Bernoulli bahwa pertambahan kecepatan akan mengurangi tekanan statik (p_L) pada *lee side*. Perubahan kecepatan yang besar terjadi pada daerah *luff* (ujung depan) pada layar.

Dengan analisa yang sama, pada *weather side/ windward side* didapatkan kecepatan lokal angin v_w rendah dan tekanan statik p_w meningkat sebagai akibat dari perubahan energi kinetik.

Oleh sebab itu pada *windward side* didapatkan tekanan lokal lebih besar daripada tekanan atmosfir dan pada *lee side* kurang dari tekanan atmosfir. Tekanan ini menghasilkan suatu resultan gaya F_T yang mempunyai arah ϵ terhadap garis yang tegak lurus arah angin dan berada pada titik yang dinamakan dengan *centre of effort* (C_E), Gb. 2.2a.



Gambar 2.2. (a) Total Force F_T , (b) Sirkulasi yang bekerja pada layar

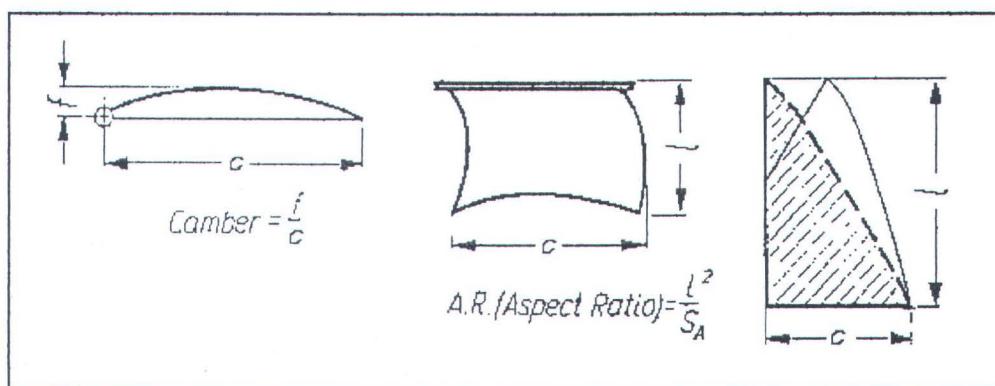
Selain itu untuk menganalisa gaya aerodinamika dapat dilakukan dengan teori lain yang mana sesuai juga dengan persamaan Bernoulli. Dalam teori ini diasumsikan bahwa aliran disekitar layar merupakan perpaduan dari dua bagian kecepatan (Gb. 2.2b), yaitu kecepatan angin normal v dan sirkulasi, v_c . Dari



gambar tersebut dapat dipahami bahwa dua komponen ini akan berinteraksi yang mengakibatkan berkurangnya kecepatan pada *windward side* dan menambah kecepatan pada *leeward side*. Hal tersebut otomatis akan mengurangi dan menambah tekanan yang timbul.

Teori sirkulasi pertama kali diperkenalkan oleh Magnus. Dia membuat eksperimen, yaitu sebuah silinder lingkaran yang mempunyai kecepatan sudut ω kemudian ditiupkan angin ke arah silinder tersebut. Dari kondisi tersebut ternyata silinder menghasilkan gaya yang berpotongan dengan sumbu silinder dan arah angin. Fenomena ini terjadi karena adanya gaya aerodinamis, dan dinamakan dengan “*Magnus effect*”.

2.2. Geometri Layar



Gambar 2.3. Geometri Layar

Chord (c), yaitu panjang dari sisi depan layar (*luff*) sampai dengan sisi belakang layar (*leach*). Pada aerofoil *chord* didefinisikan sebagai jarak dari *leading edge* sampai dengan *trailing edge*. Tinggi layar/ *span* (*l*), yaitu jarak dari

sisi bawah layar sampai dengan sisi/ ujung teratas dari layar. Aspek rasio (AR), yaitu perbandingan dari kuadrat span dengan luasan layar.

$$AR = \frac{l^2}{S_A} \quad (2.6)$$

Camber merupakan lengkungan dari layar yang merupakan perbandingan dari tinggi lengkungan dengan *chord*.

$$Camber = \frac{f}{c} \quad (2.7)$$

2.3. Gaya-gaya yang Bekerja pada Layar

Ketika kapal layar berlayar melawan angin, maka usaha yang dilakukan adalah untuk memperbesar nilai F_R (*Driving Force*), yaitu gaya yang searah dengan arah kapal berlayar dan mengurangi besarnya F_H (*Heeling Force*), yaitu gaya yang tegak lurus dengan arah kapal berlayar. Besarnya F_R dan F_H tergantung dari besarnya arah kapal berlayar terhadap arah angin/ *apparent wind angle* (β), gaya samping/ *cross-wind force* (L), dan Hambatan aerodinamis/ *Drag* (D), seperti terlihat pada Gb. 2.4.

Besarnya F_R dan F_H dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F_R = L \sin \beta - D \cos \beta \quad (2.8)$$

$$F_H = L \cos \beta + D \sin \beta \quad (2.9)$$

Persamaan di atas dapat dituliskan dalam bentuk koefisien :

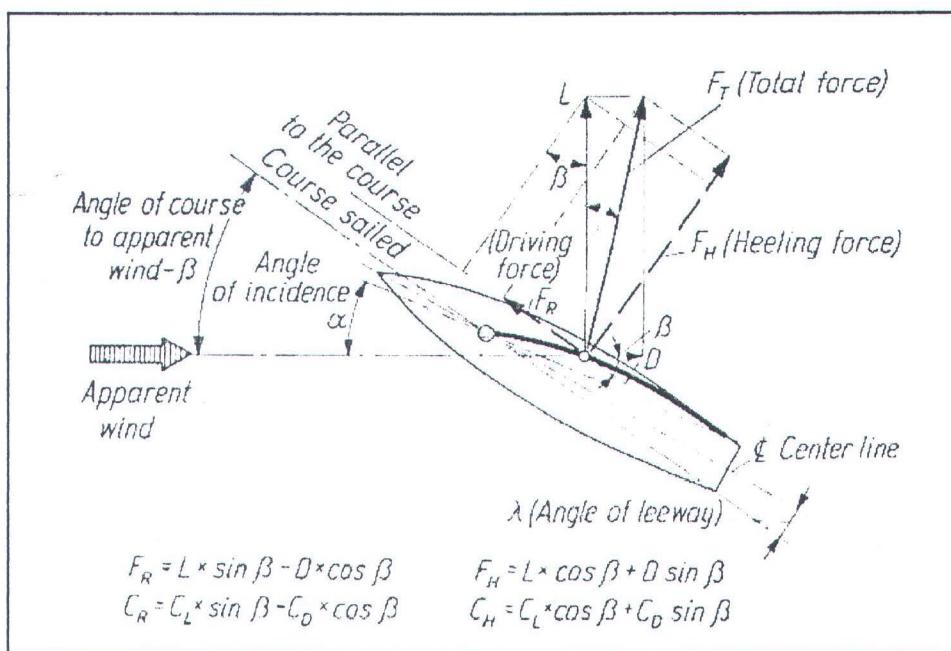
$$C_R = C_L \sin \beta - C_D \cos \beta \quad (2.10)$$

$$C_H = C_L \cos \beta + C_D \sin \beta \quad (2.11)$$

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa *drag* akan mempengaruhi besarnya *driving force* dan *heeling force*. Semakin besar D , maka F_R semakin kecil dan F_H akan semakin besar. Disamping itu besarnya D tergantung dari besarnya ε (*angle of drag*), yaitu sudut antara L dengan F_T . Sedangkan besarnya ε dipengaruhi oleh rasio antara L dan D (L/D), yang mana merupakan ukuran efisiensi dari aerofoil.

$$\varepsilon = \cot^{-1} \left(\frac{L}{D} \right) \quad (2.12)$$

Dengan kata lain diharapkan layar mempunyai sudut drag (ε) yang kecil, atau efisiensi layar (L/D) yang tinggi.



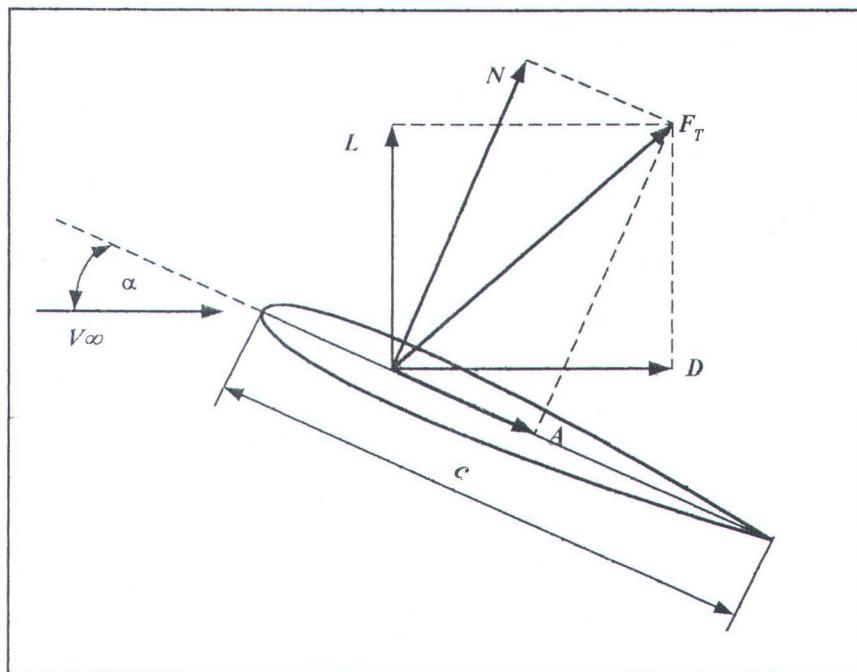
Gambar 2.4 Gaya-gaya yang bekerja pada layar

2.4. Lift, Drag, dan Momen pada Aerofoil

Pada dasarnya layar tergolong dalam *aerofoil*, oleh karena itu gaya-gaya yang bekerja pada layar merupakan konsep dari gaya-gaya yang bekerja pada

aerofoil. Gaya dan momen aerodinamika yang bekerja pada *aerofoil* disebabkan oleh dua hal yaitu adanya tekanan yang arahnya tegak lurus terhadap permukaan *aerofoil* dan gaya geser yang arahnya tangensial terhadap permukaan *aerofoil*.

Efek gabungan dari adanya distribusi tekanan dan tegangan geser dinamakan resultan gaya dan momen aerodinamika. Gaya resultan, F_T dapat diuraikan menjadi komponen-komponen gaya berupa *Lift* (L) atau dalam sistem layar dikatakan sebagai *cross-wind force* yang mana arahnya tegak lurus terhadap aliran fluida jauh di luar profil *aerofoil*/ aliran bebas (V_∞). Sedangkan komponen gaya yang sejajar dengan dengan kecepatan aliran bebas dinamakan *Drag* (D). Resultan gaya dapat diuraikan juga menjadi gaya Normal (N) yang arahnya tegak lurus terhadap *chord* (c) dan gaya aksial (A) yang arahnya sejajar dengan *chord*. Seperti terlihat pada Gb. 2.5.



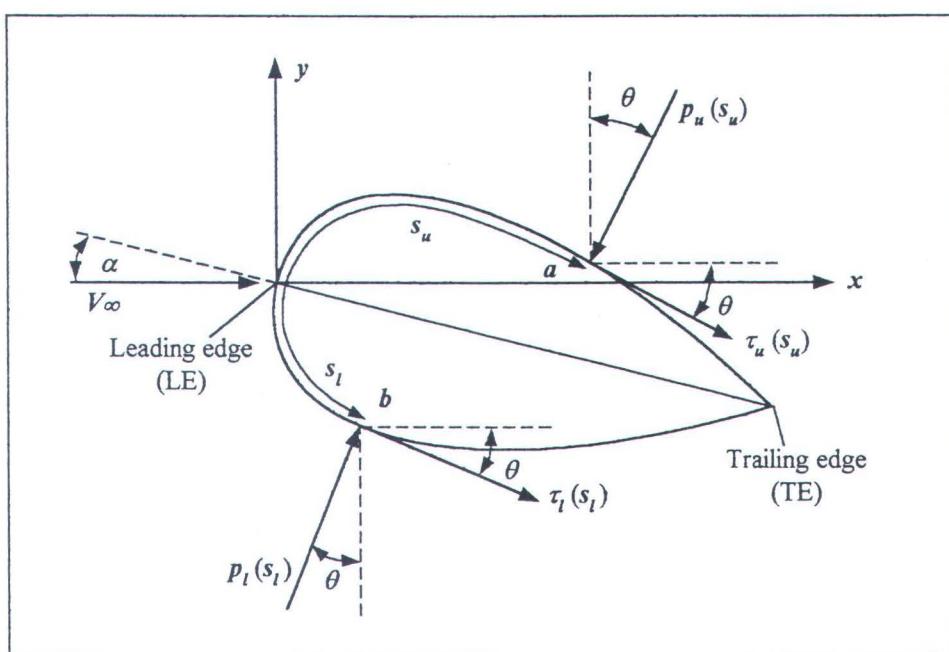
Gambar 2.5 Komponen gaya aerodinamika

Sudut serang (*angle of incident*), α didefinisikan sebagai sudut antara *chord* dengan arah kecepatan aliran bebas, atau juga bisa dikatakan sebagai sudut antara L dengan N atau sudut antara D dan A . Sehingga hubungan antara gaya-gaya tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$N = D \sin \alpha + L \cos \alpha \quad (2.13)$$

$$A = D \cos \alpha - L \sin \alpha \quad (2.14)$$

Integrasi distribusi tekanan dan tegangan geser akan menghasilkan gaya-gaya aerodinamis, seperti terlihat pada Gb. 2.6. Jarak dari *leading edge* yang diukur sepanjang permukaan *aerofoil* sampai dengan titik a disebut s_u . Sedangkan s_l adalah jarak dari *leading edge* sampai dengan titik b . Tekanan pada bagian atas (*upper*) dari *aerofoil* sebagai fungsi dari s_u disebut p_u dan τ_u adalah tegangan geser yang bekerja pada bagian atas sebagai fungsi s_u . Pada bagian bawah (*lower*) terdapat tekanan p_l dan tegangan geser τ_l sebagai fungsi dari s_l .



Gambar 2.6. Integrasi distribusi p dan τ pada permukaan aerofoil 2-D

Tekanan arahnya normal terhadap permukaan *aerofoil* dengan sudut θ terhadap sumbu vertikal. Sedangkan tegangan geser dengan arah tangensial terhadap permukaan dengan sudut yang sama yaitu θ relatif terhadap arah horizontal dan dengan perjanjian sudut positif untuk yang searah dengan arah jarum jam.

Untuk model dua dimensi panjang span dianggap sebagai satu satuan panjang, maka $dS = ds$ (1), sehingga elemen Lift dan Drag yang bekerja pada elemen permukaan dS untuk permukaan bagian atas profil dirumuskan :

$$dL'_u = -p_u ds_u \cos \theta - \tau_u ds_u \sin \theta \quad (2.15)$$

$$dD'_u = -p_u ds_u \sin \theta + \tau_u ds_u \cos \theta \quad (2.16)$$

Sedangkan untuk profil bagian bawah didapatkan :

$$dL'_l = p_l ds_l \cos \theta - \tau_l ds_l \sin \theta \quad (2.17)$$

$$dD'_l = p_l ds_l \sin \theta + \tau_l ds_l \cos \theta \quad (2.18)$$

Sehingga *cross-wind force* dan *drag total* per-unit *span* dapat dihasilkan dari pengintegrasian persamaan (2.15) sampai (2.18) mulai dari *leading edge (LE)* hingga *trailing edge (TE)* sebagai berikut

$$L' = - \int_{LE}^{TE} (p_u \cos \theta + \tau_u \sin \theta) ds_u + \int_{LE}^{TE} (p_l \cos \theta - \tau_l \sin \theta) ds_l \quad (2.19)$$

$$D' = - \int_{LE}^{TE} (-p_u \sin \theta + \tau_u \cos \theta) ds_u + \int_{LE}^{TE} (p_l \sin \theta + \tau_l \cos \theta) ds_l \quad (2.20)$$

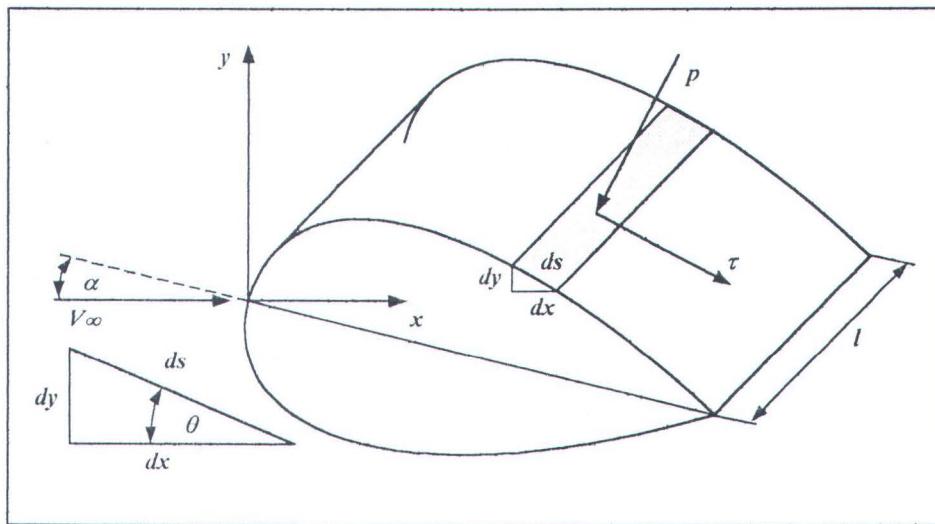
Maka dengan cara yang sama untuk momen pada *leading edge*, dengan perjanjian tanda untuk momen yang bekerja searah jarum jam bertanda positif adalah :

$$dM'_u = (p_u \cos \theta + \tau_u \sin \theta) x \, ds_u + (-p_u \sin \theta + \tau_u \cos \theta) y \, ds_u \quad (2.21)$$

$$dM'_l = (-p_l \cos \theta + \tau_l \sin \theta) x \, ds_l + (p_l \sin \theta + \tau_l \cos \theta) y \, ds_l \quad (2.22)$$

Sehingga momen pada *leading edge* dari aerofoil dapat dirumuskan dengan persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned} M'_{LE} &= \int_{LE}^{TE} [(p_u \cos \theta + \tau_u \sin \theta) x \, ds_u + (-p_u \sin \theta + \tau_u \cos \theta) y] \, ds_u \\ &\quad + \int_{LE}^{TE} [(-p_l \cos \theta + \tau_l \sin \theta) x \, ds_l + (p_l \sin \theta + \tau_l \cos \theta) y] \, ds_l \end{aligned} \quad (2.23)$$



Gambar 2.7 Aerofoil 3-D

Dari Gb. 2.7. terlihat bahwa $dx = ds \cos \theta$ dan $dy = -(ds \sin \theta)$ serta $S = c(1)$, sehingga persamaan (2.19), (2.20), dan (2.23) dapat ditulis dalam \$dx\$ dan \$dy\$ sebagai berikut :

$$L' = \int_{LE}^{TE} (p_l - p_u) \, dx + \int_{LE}^{TE} (\tau_u + \tau_l) \, dy \quad (2.24)$$

$$D' = \int_{LE}^{TE} (p_l - p_u) dy + \int_{LE}^{TE} (\tau_u + \tau_l) dx \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned} M'_{LE} = & \int_{LE}^{TE} (p_u - p_l) x dx + \int_{LE}^{TE} (p_u - p_l) y dy - \int_{LE}^{TE} (\tau_u + \tau_l) x dy + \\ & + \int_{LE}^{TE} (\tau_u + \tau_l) y dx \end{aligned} \quad (2.26)$$

Apabila tekanan dinamis aliran bebas didefinisikan sebagai $q_\infty = \frac{1}{2} \rho V_\infty^2$, maka bilangan tak berdimensi dari koefisien gaya dan momen untuk model dua dimensi dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\text{Koefisien } cross-wind force : cl = L' / (q_\infty c) \quad (2.27)$$

$$\text{Koefisien } drag : cd = D' / (q_\infty c) \quad (2.28)$$

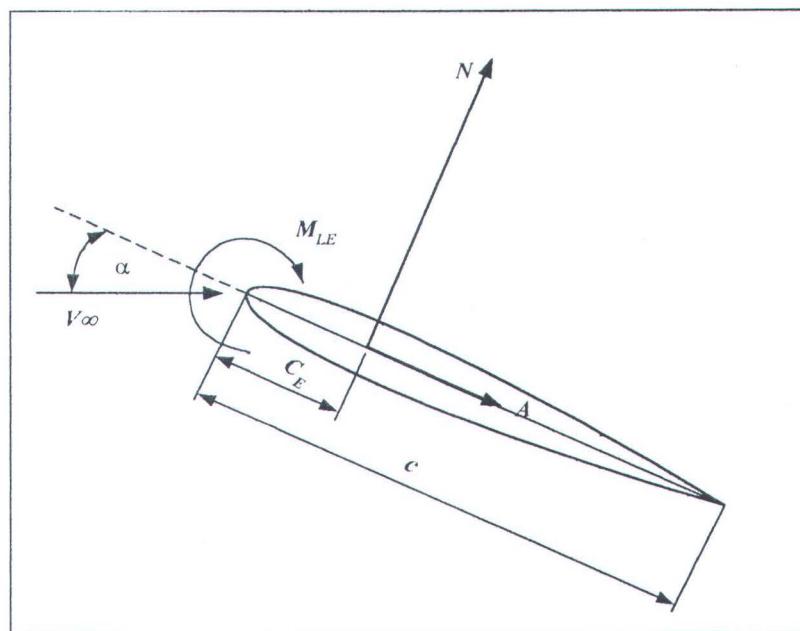
$$\text{Koefisien momen} : cm = M' / (q_\infty c^2) \quad (2.29)$$

2.5. Centre of Effort

Distribusi tekanan yang tersebar pada sisi atas (*upper*) dan bawah (*lower*) dari *aerofoil* atau pada sistem layar disebut sebagai sisi *leeward* dan *windward* diasumsikan menghasilkan satu gaya resultan yang besarnya adalah F_T . Gaya resultan tersebut terletak pada satu titik yang dinamakan *centre of pressure*, dalam sistem layar dinamakan dengan *centre of effort* (C_E), Gb. 2.8.

Pada pusat tekanan (*centre of effort*) adalah lokasi pada *aerofoil* dimana resultan dari distribusi gaya secara efektif bekerja pada *aerofoil*. Dengan kata lain *centre of effort* (C_E) merupakan suatu titik pada *aerofoil* dimana momen aerodinamikanya berharga nol.

$$C_E = \frac{-M'_{LE}}{N'} \quad (2.30)$$



Gambar 2.8. Centre of effort.

2.6. Tipikal Lift, Drag, dan Distribusi Tekanan

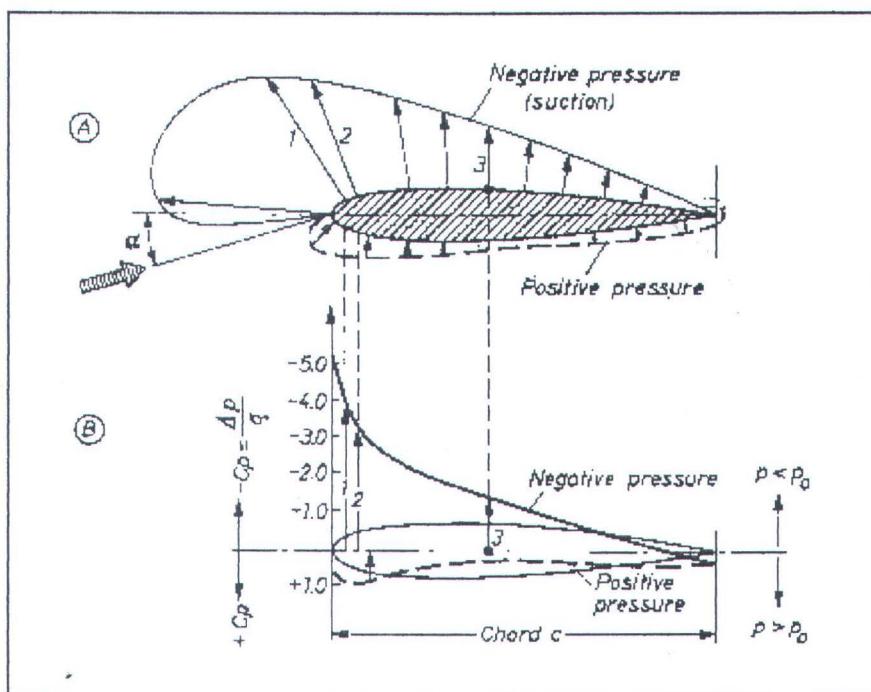
Tipikal dari variasi *lift* koefisien terhadap sudut serang (*angle of incident*) dari suatu *aerofoil*, yaitu naik secara linier terhadap kenaikan sudut serang sampai sudut serang tertentu. Pada kondisi ini aliran bergerak mulus melalui *aerofoil*. Apabila sudut serang menjadi besar, aliran cenderung untuk terpisah/ terseparasi dari permukaan atas *aerofoil* dan membuat suatu olakan yang besar pada daerah belakang *aerofoil*. Di dalam daerah separasi, aliran bersirkulasi dan ada aliran yang bergerak dengan arah berlawanan dengan arah aliran (*free stream*) yang dinamakan aliran balik (*reversed flow*). Akibat dari separasi aliran ini, pada harga sudut serang yang cukup besar terjadi penurunan yang tiba-tiba pada lift dan kenaikan yang besar dalam *drag*. Pada kondisi ini *aerofoil* dikatakan mengalami

kehilangan kecepatan terbang yang disebut *stall*. *Drag* akan terus mengalami pertambahan seiring dengan bertambahnya sudut serang. Hal ini disebabkan karena semakin besarnya daerah separasi yang terjadi.

Ketika suatu aliran melalui permukaan aerofoil, terjadi perubahan kecepatan lokal pada permukaan *aerofoil*, sehingga timbul perubahan pada tekanan statis. Untuk mengekspresikan distribusi tekanan, maka digunakan koefisien tekanan yang dirumuskan :

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{q_\infty} = 1 - \left(\frac{V}{V_\infty} \right)^2 \quad (2.31)$$

Harga koefisien tekanan yang positif menunjukkan tekanan lokal pada permukaan aerofoil lebih tinggi dari pada harga pada aliran bebasnya (*free stream pressure*). Begitu juga sebaliknya untuk harga negatif menunjukkan bahwa tekanannya lebih rendah dari harga pada tekanan aliran bebasnya.

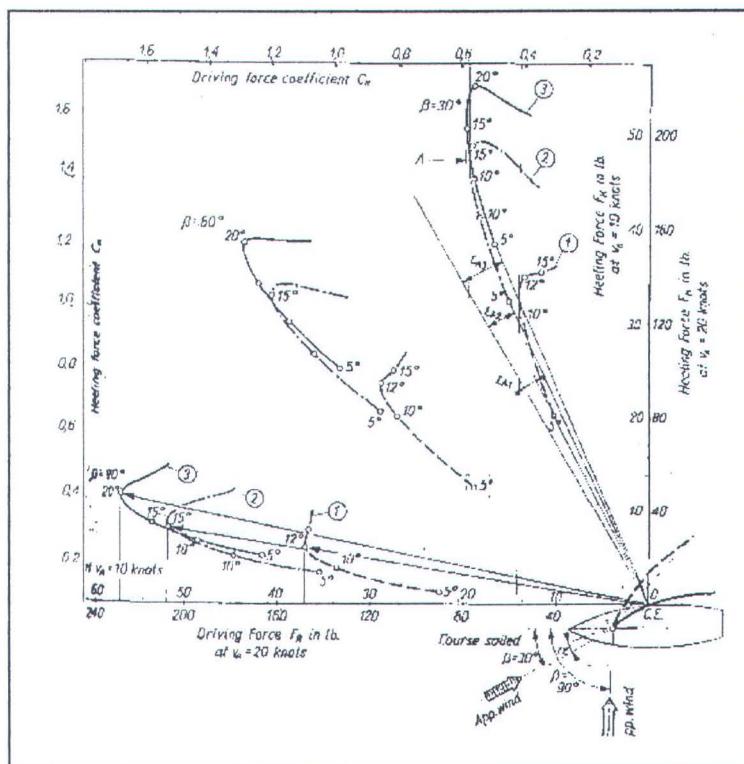


Gambar 2.9. Distribusi tekanan

Harga koefisien tekanan yang negatif pada permukaan bagian atas *aerofoil* berhubungan dengan kenaikan harga *lift*. Begitu juga harga positif pada permukaan bawah memberikan kontribusi pada koefisien *lift*. Luas antara permukaan bagian atas dan bawah dari distribusi tekanan proporsional dengan harga *lift*. Gambaran mengenai kecenderungan kurva dari koefisien tekanan (C_p) seperti terlihat pada Gb. 2.9.

2.7. Diagram Polar

Untuk mengetahui besarnya *driving force* (F_R) dan *heeling force* (F_H) pada layar dengan berbagai kondisi *angle of incident* (α) dan *apparent wind angle* (β), maka digambarkan grafik hubungan antara koefisien *driving force* (C_R) dan koefisien *heeling force* (C_H), seperti Gb. 2.10.



Gambar 2.10. Diagram Polar



BAB III

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)



BAB III

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan ilmu sains dalam penentuan penyelesaian numerik dinamika fluida. *CFD* adalah pendekatan ketiga dalam studi dan pengembangan bidang dinamika fluida selain pendekatan teori dan eksperimen murni.

Pada abad ketujuh belas, dasar-dasar dinamika fluida eksperimental dikenalkan di Inggris dan Prancis. Pada abad kedelapan belas dan kesembilan belas memperlihatkan pengembangan dinamika fluida secara teoritis. Kemudian sepanjang abad kedua puluh studi dan praktik dalam dinamika fluida melibatkan penggunaan teori murni di satu sisi dan eksperimen murni di sisi lainnya. Hal ini terjadi hingga awal tahun 1960-an. Pada akhirnya di tahun 1970 dikembangkan *CFD* dengan berbagai keterbatasan. Namun seiring dengan perkembangannya *CFD* modern bisa diterapkan dalam semua disiplin ilmu yang mementingkan analisis aliran fluida.

Pada saat ini terdapat banyak perangkat lunak *CFD* yang dapat digunakan dalam analisa fluida diantaranya *FLUENT*, *CFX*, *ANSYS Flotran CFD*, dan lain-lain. Pada percobaan ini digunakan perangkat lunak *Flotran CFD ANSYS 5.4* dengan salah satu kemampuannya yaitu menyelesaikan perhitungan *lift* dan *drag* pada *airfoil*.

3.1. Persamaan dasar dinamika fluida dalam CFD

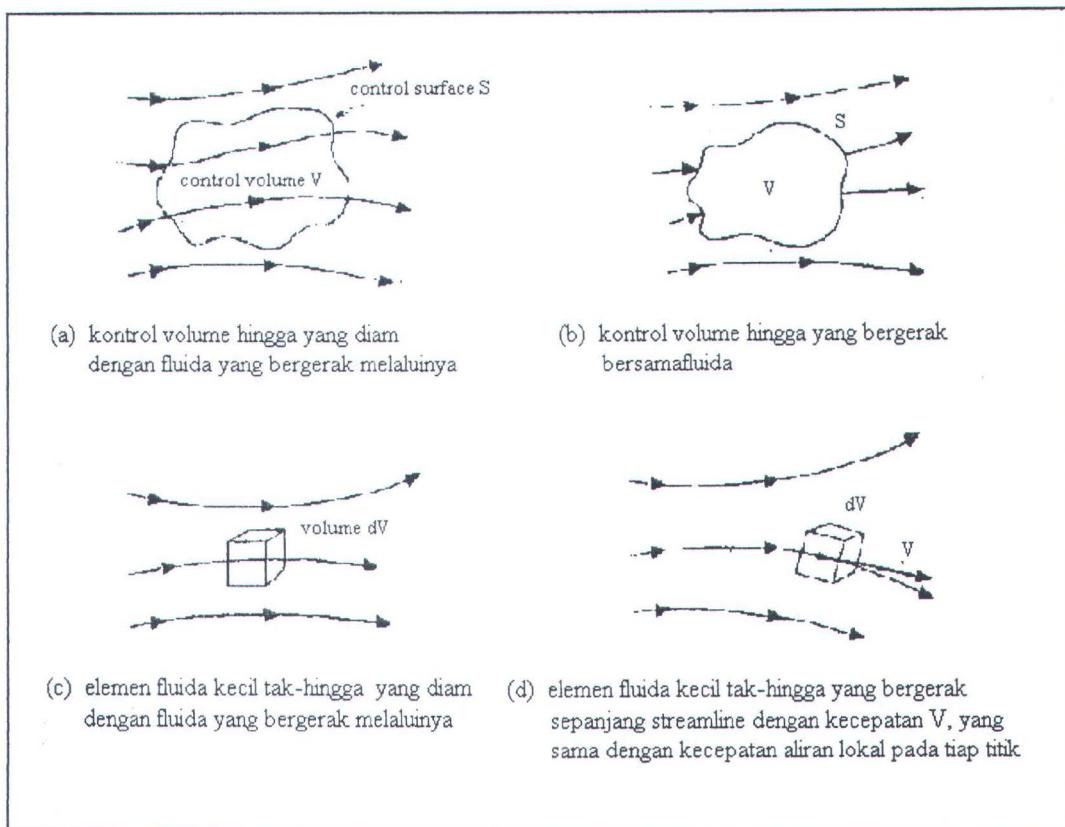
Pada dasarnya semua jenis *CFD* didasarkan pada persamaan dasar (*governing equations*) dinamika fluida, yaitu persamaan kontinuitas, momentum, dan energi. Persamaan-persamaan ini merupakan pernyataan matematis untuk tiga prinsip dasar fisika :

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

Dalam 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 Gb. 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.

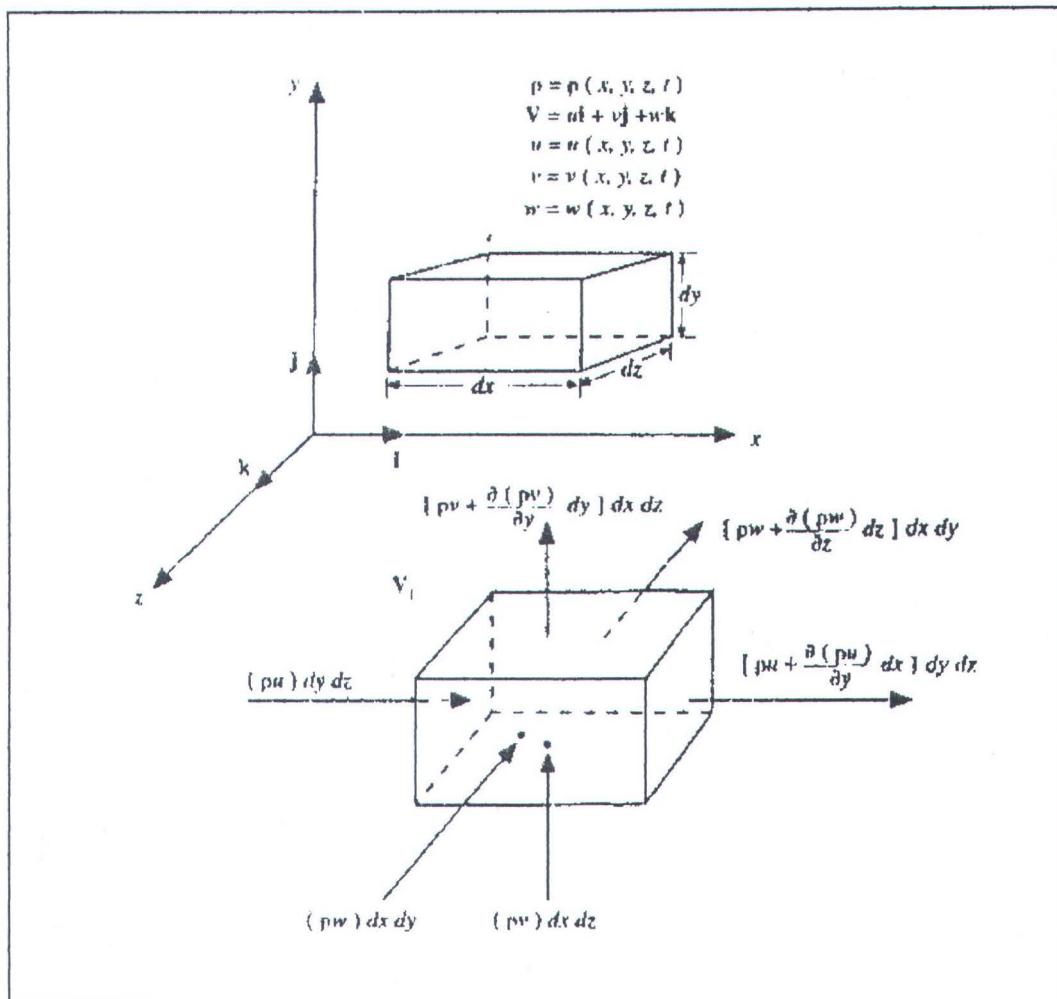
3.2. Persamaan aliran viscous (Persamaan Navier~Stokes)

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

A. Persamaan Kontinuitas

Pada Gb. 3.1c diperlihatkan elemen kecil tak-hingga (*infinitesimal fluid elemen*) yang tetap-dalam-ruang dengan fluida yang bergerak disekitarnya. Model aliran ini secara detail terlihat pada Gb. 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

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 Gb. 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 :

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

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:

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

Prinsip fisika menyatakan bahwa massa adalah kekal (*mass is conserve*), saat diterapkan untuk elemen-tetap dalam Gb. 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:

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

atau

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

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 :

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

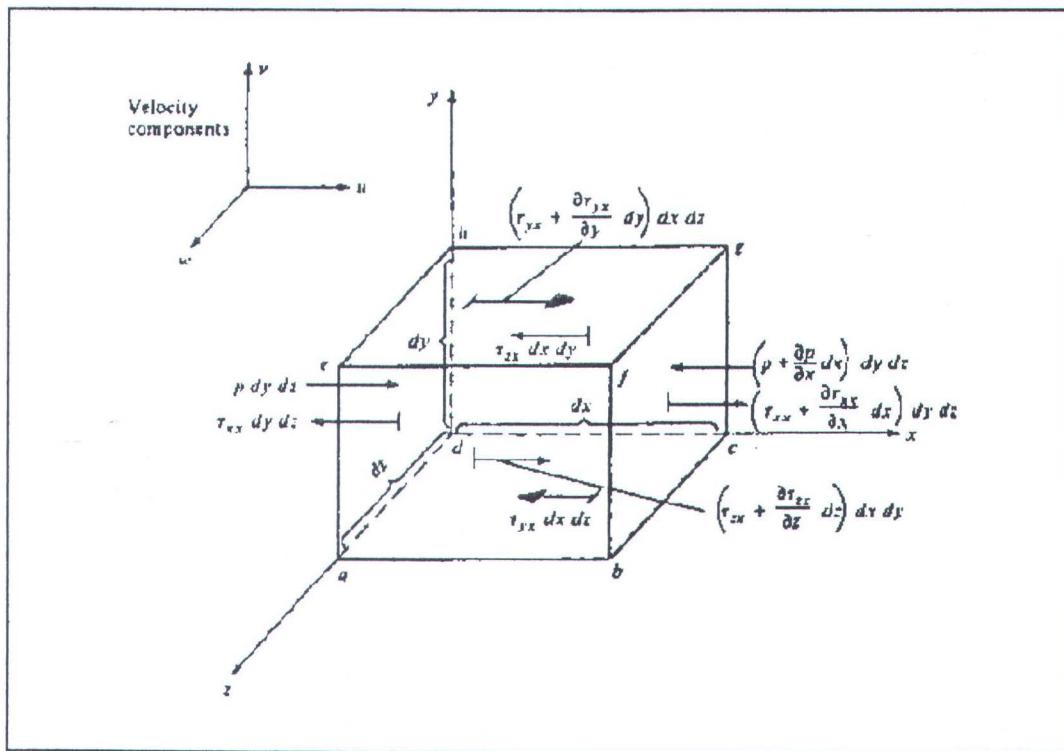
V adalah vektor kecepatan dalam koordinat Cartesian.

$$\mathbf{V} = u\mathbf{i} + v\mathbf{j} + w\mathbf{k}$$

$\nabla \cdot V$ 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.

B. Persamaan Momentum

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



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

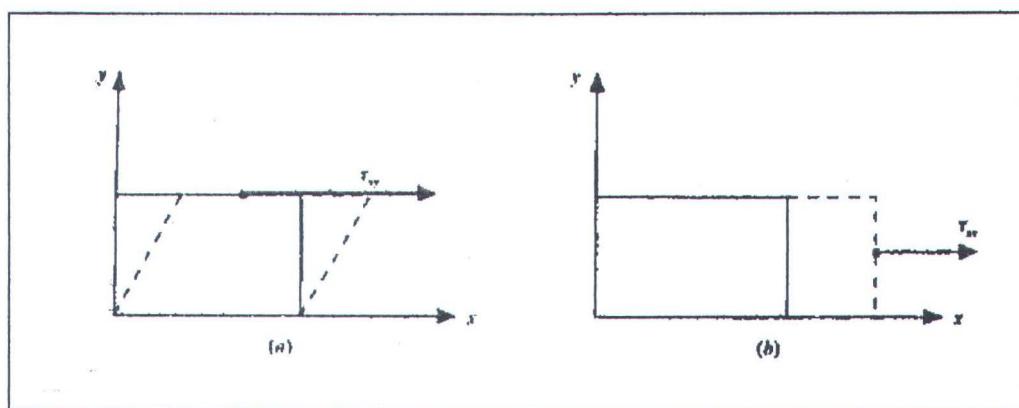
Hukum kedua Newton dalam arah x dapat ditulis sebagai berikut:

$$F_x = m a_x \quad (3.9)$$

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.
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:

$$\text{Gaya badan pada elemen fluida searah sumbu } x = \rho f_x (dx dy dz) \quad (3.10)$$

Tegangan normal dan geser dalam fluida terkait dengan tingkat perubahan (terhadap waktu) dari deformasi elemen fluida, seperti terlihat dalam Gb. 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 Gb. 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, $\tau_{yx} + (\partial \tau_{yx} / \partial y) dy$ 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 Gb. 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 menyebabkan aksi pergeseran pada elemen fluida, yang terjadi pada arah x -negatif.

Arah-arah dari seluruh tegangan *viscous* diperlihatkan dalam Gb. 3.3, termasuk τ_{xx} , bisa disusun dengan cara yang sama. Khusus di permukaan $dchg$, 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 Gb. 3.3, alasan kenapa τ_{xx} berada dalam permukaan $adhe$ adalah sebagai “engsel-kiri” (*left hinges*) pada konvensi yang telah disepakati sebelumnya sebagai arah penambahan kecepatan. Di sini, sesuai konvensi, peningkatan positif dalam u adalah menuju ke arah x -positif. Karenanya, nilai u pada permukaan kiri $adhe$ lebih kecil daripada nilai u pada permukaan itu sendiri. Sebagai hasilnya, aksi *viscous* pada tegangan normal berlaku sebagai suatu “hisapan” pada permukaan $adhe$, yaitu, ada aksi penggeseran ke arah kiri yang ingin memperlambat gerak elemen fluida. Kebalikannya, pada permukaan $bcfg$,

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 $bcfg$ 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:

Gaya permukaan bersih dalam arah x =

$$\begin{aligned} & \left[p - \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) \right] dy dz + \left[\left(\tau_{xx} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} dx \right) - \tau_{xx} \right] dy dz + \\ & + \left[\left(\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy \right) - \tau_{yx} \right] dx dz + \left[\left(\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz \right) - \tau_{zx} \right] dx dy \end{aligned} \quad (3.11)$$

Gaya total dalam arah x , F_x , diberikan oleh penjumlahan persamaan 3.10 dan 3.11, didapatkan :

$$F_x = \left[-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right] dx dy dz + \rho f_x dx dy dz \quad (3.12)$$

Massa elemen fluida yaitu :

$$m = \rho dx dy dz \quad (3.13)$$

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 :

$$a_x = \frac{Du}{Dt} \quad (3.14)$$

Dengan menggabungkan persamaan 3.9, 3.12, 3.13, dan 3.14, maka didapatkan :

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_x \quad (3.15)$$

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

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

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho f_y \quad (3.16)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho f_z \quad (3.17)$$

Persamaan 3.15, 3.16, dan 3.17 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 3.15 sampai 3.17 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 3.15 ditulis dalam bentuk *derivative* dasar :

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho \mathbf{V} \cdot \nabla u \quad (3.18)$$

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

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} - u \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (3.19)$$

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 :

$$\rho \mathbf{V} \cdot \nabla u = \nabla \cdot (\rho u \mathbf{V}) - u \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) \quad (3.20)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 3.19 dan 3.20 ke dalam persamaan 3.18, didapatkan :

$$\begin{aligned} \rho \frac{Du}{Dt} &= \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} - u \frac{\partial \rho}{\partial t} - u \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) + \nabla \cdot (\rho u \mathbf{V}) \\ \rho \frac{Du}{Dt} &= \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} - u \left[\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) \right] + \nabla \cdot (\rho u \mathbf{V}) \end{aligned} \quad (3.21)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 3.8 ke dalam persamaan 3.21, didapatkan :

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u \mathbf{V}) \quad (3.22)$$

Substitusi persamaan 3.22 ke 3.15 menghasilkan :

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u \mathbf{V}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_x \quad (3.23)$$

dengan cara yang sama persamaan 3.16 dan 3.17 menjadi :

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v \mathbf{V}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho f_y \quad (3.24)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho w \mathbf{V}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho f_z \quad (3.25)$$

Persamaan 3.23 sampai 3.25 adalah persamaan Navier-Stokes dalam bentuk *conservation*.

Pada akhir abad 17, Isaac Newton menyatakan bahwa tegangan geser pada fluida adalah proporsional terhadap tingkat regangan (*strain*), yaitu gradien

kecepatan. Beberapa fluida disebut fluida *newtonian* (fluida yang nilai τ -nya tidak proporsional terhadap gradien kecepatan adalah fluida *non-newtonian*, salah contohnya). Dalam kebanyakan praktik aerodinamika, fluida bisa diasumsikan sebagai *newtonian*. Untuk fluida ini, Stokes mendapatkan :

$$\tau_{xx} = \lambda(\nabla \cdot \mathbf{V}) + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \quad (3.26)$$

$$\tau_{yy} = \lambda(\nabla \cdot \mathbf{V}) + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \quad (3.27)$$

$$\tau_{zz} = \lambda(\nabla \cdot \mathbf{V}) + 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \quad (3.28)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left[\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right] \quad (3.29)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left[\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right] \quad (3.30)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left[\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right] \quad (3.31)$$

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 3.26~3.31 ke persamaan 3.23~3.25 didapatkan persamaan lengkap Navier~Stokes sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \nabla \cdot \mathbf{V} + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \rho f_x \end{aligned} \quad (3.32)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u v)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v w)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\lambda \nabla \cdot \mathbf{V} + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] + \rho f_y \end{aligned} \quad (3.33)$$

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

3.3. 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)*.

A. 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 dibuat dengan domain yang sesuai dengan kebutuhan.
3. *Meshing* : Membagai model yang telah dibuat menjadi sejumlah elemen, penentuan tingkat kerapatannya, dan penentuan bentuk elemen serta sifat *meshing*.

B. 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 (domain) model yang telah dibuat.

2. *Flotran Set up*

- a. *Solution options* : - *steady state* atau *transient*
 - *adiabatic* atau *thermal*
 - *laminer* atau *turbulent*
 - *incompressible* atau *compressible*
- b. *Execution control* : penentuan jumlah iterasi dan tingkat kesalahan iterasi.
- c. *Additional out* : hasil tambahan yang ingin diketahui seperti tegangan geser dan koefisien tekanan.
- d. Penentuan sifat-sifat fluida yaitu densitas dan viskositas.
- e. *Flow environment* : penentuan acuan tekanan.

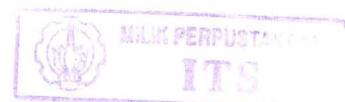
3. *Run Flotran*

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.

C. 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 bias didapatkan sesuai dengan yang diminta pada tahap *solution*.

3.4. 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.

2. Grid Independence

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

3. Verifikasi dengan teori atau data lain

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

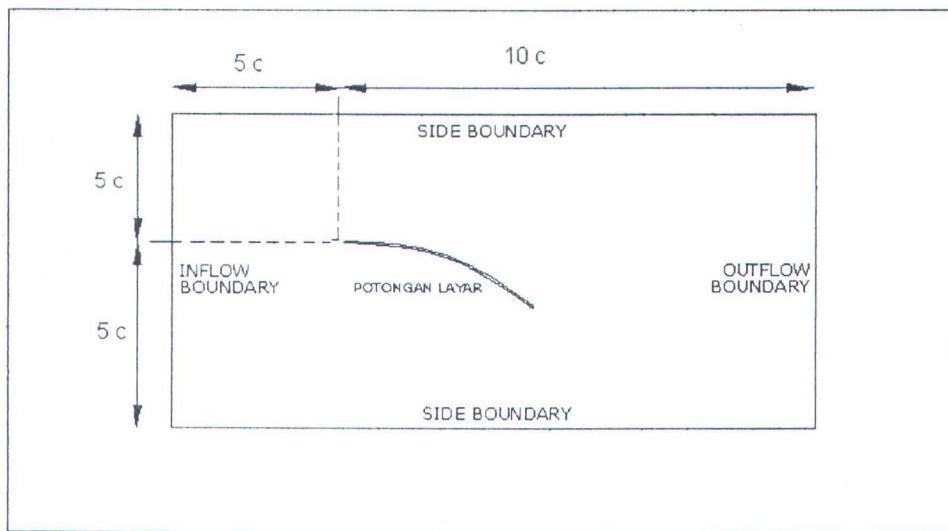
3.5. Pemodelan Layar 2D

Untuk keperluan analisa sistem layar ini digunakan pendekatan dua dimensi untuk layar dan domainnya. Langkah-langkah pembuatan model yaitu:

1. Tahap Preprocessor

- Type element: FLUID 141
- Geometri:

Layar yang dimodelkan mempunyai panjang *chord* (*c*) = 1,363 m, camber sebesar 1/10 dan 1/20, dan dengan asumsi tebal layar 3 mm. Batas fluida (domain) yang dipakai, yaitu panjang 15 kali panjang *chord* dan lebar sebesar 10 kali panjang *chord*, Gb. 3.5.



Gambar 3.5. Pemodelan Layar 2D

- 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 dan side, $Vx = 10 \text{ knot} = 5,15 \text{ m/dt.}$, $Vy = 0 \text{ m/dt.}$
 - Pada batas outflow, tekanan = 0 Pa.
 - Pada permukaan layar $Vx = Vy = 0 \text{ m/dt.}$
- Flotran Set-Up
 - Solution options: Steady state, Adiabatic, Turbulent, Incompressible

$$Re = \frac{\rho Vl}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,23 \times 5,15 \times 1,363}{17,80 \cdot 10^{-6}} = 4,8 \cdot 10^5 = 5 \cdot 10^5$$

Oleh karena angka Reynold sekitar $5 \cdot 10^5$, maka pada ANSYS dipilih aliran turbulen.

- Execution control: $P = 0.001$
- Fluid properties: densitas = AIR-SI
viskositas = AIR-SI
- Flow environment: tekanan = 1 atm
- RUN, model yang sudah di *set* tersebut di *run* untuk mendapatkan hasil (*output* berupa data-data numerik, untuk *cross-wind force*, L , *Drag*, D , dan *Momen*, M).

BAB IV

ANALISA DATA

BAB IV

ANALISA DATA

4.1. Data eksperimen

Data eksperimen diambil dari [Marchaj, 1982] halaman 130 sampai 132, dan halaman 197. Data-data tersebut berupa grafik yang menunjukkan besarnya koefisien *drag* (C_D), koefisien *cross-wind force* (C_L), pada berbagai sudut serang/*angle of incident* (α). Juga grafik koefisien gaya dorong/ *driving force* (C_R), dan koefisien *Heeling force* (C_H), pada tiga kondisi *apparent wind angle* (β), yaitu 30° , 60° , dan 90° . Selain itu ditunjukkan letak titik gaya pada layar *Centre of effort* (C_E) untuk layar dengan *camber* 1/10 dengan berbagai *angle of incident* (α).

Data-data tersebut merupakan data hasil eksperimen untuk layar *rigid untwist* (kaku dan tanpa puntiran) dengan bentuk segi empat dengan Aspek rasio sebesar 5 dan aliran anginnya *uniform*.

Pada halaman 132 [Marchaj, 1982] grafik yang ada diterapkan untuk layar dengan luas 100 ft^2 , *AR* sebesar 5, kecepatan angin 10 knot sehingga diketahui besarnya *driving force* maksimum yang dapat dicapai. Untuk layar dengan *camber* 1/10 didapat *driving force* maksimum sebesar 52 lb, dan untuk layar dengan *camber* 1/20 didapat *driving force* maksimum sebesar 37 lb.

Pada penelitian ini layar yang dimodelkan sesuai dengan data di atas, yaitu luas layar 100 ft^2 , AR 5, *camber* sebesar 1/10 dan 1/20, kecepatan angin 10 knot. Untuk lebih jelasnya data-data tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 4.1. Data eksperimen C_L , C_D , dan C_E dari layar dengan camber 1/10 dengan berbagai variasi angle of incident (α)

α (°)	C_D	C_L	C_E (%c)	C_E (m)
10	0.147	1.335	36.429	0.497
15	0.262	1.54	36.190	0.493
20	0.417	1.255	40.000	0.545
25	0.498	1.212	42.738	0.583
30	0.591	1.168	44.881	0.612

Tabel 4.2. Data eksperimen C_L dan C_D dari layar dengan camber 1/20 dengan berbagai variasi angle of incident (α)

α (°)	C_D	C_L
10	0.108	0.984
12	0.173	1.083
15	0.226	1.071
20	0.349	1.05
30	0.508	0.98

Tabel 4.3. Data eksperimen C_R dan C_H , dari layar dengan camber 1/10 dengan berbagai angle of incident (α) dan apparent wind angle (β)

β (°)	30		60		90	
	α (°)	C_R	C_H	C_R	C_H	C_R
10	0.540	1.230	1.083	0.795	1.335	0.147
15	0.543	1.465	1.203	0.997	1.540	0.262
20	0.266	1.295	0.878	0.989	1.255	0.417
25	0.175	1.299	0.801	1.037	1.212	0.498
30	0.072	1.307	0.716	1.096	1.168	0.591

Tabel 4.4. Data eksperimen C_R dan C_H , dari layar dengan camber 1/20 dengan berbagai angle of incident (α) dan apparent wind angle (β)

β (°)	30		60		90	
α (°)	C_R	C_H	C_R	C_H	C_R	C_H
10	0.398	0.906	0.798	0.586	0.984	0.108
12	0.392	1.024	0.851	0.691	1.083	0.173
15	0.340	1.041	0.815	0.731	1.071	0.226
20	0.223	1.084	0.735	0.827	1.050	0.349
30	0.050	1.103	0.595	0.930	0.980	0.508

4.2. Data geometri model layar

Untuk mendapatkan data desain layar yang telah dimodelkan dalam *Flotran CFD ANSYS 5.4*, maka harus diketahui geometrinya terutama lebar layar / *chord* (c) dan besarnya kelengkungan layar (f).

Dari data yang ada diketahui bahwa luas layar = 100 ft², Aspek ratio = 5, dan besarnya *camber* yaitu 1/10 dan 1/20. Dengan l adalah tinggi layar dan c (*chord*) adalah lebar layar, maka luas layar (S_A) berbentuk segi empat adalah :

$$S_A = l \cdot c = 100 \text{ ft}^2$$

Dari persamaan 2.6 pada bab 2 diketahui bahwa besarnya Aspek rasio (*AR*), adalah :

$$AR = \frac{l^2}{S_A} = 5,$$

maka dapat diketahui tinggi layar (l), sebesar ;

$$\begin{aligned} l &= \sqrt{5 \cdot S_A} \\ &= \sqrt{5 \cdot 100} \end{aligned}$$



$$l = 22,361 \text{ ft}$$

$$= 6.816 \text{ m.}$$

Dengan demikian besarnya *chord* (*c*) atau lebar layar dapat diketahui, yaitu :

$$S_A = l.c$$

$$c = S_A / l$$

$$= 100 / 22.361$$

$$= 4,472 \text{ ft.}$$

$$= 1,363 \text{ m.}$$

Dari persamaan 2.7 diketahui bahwa besarnya camber adalah :

$$\text{Camber} = \frac{f}{c},$$

maka besanya *f* dapat diketahui untuk masing-masing besarnya *camber*

$$f = c \cdot \text{camber}$$

$$\text{Camber} = 1/10, f = 1,363 \cdot 1/10$$

$$= 0.1363 \text{ m.}$$

$$\text{camber} = 1/20, f = 1.363 \cdot 1/20$$

$$= 0.06815 \text{ m.}$$

4.3. Grid Independence

Tujuan dari proses grid independence, yaitu untuk mendapatkan jumlah elemen model layar yang efektif, yaitu data yang dihasilkan mempunyai keakuriasan yang baik, serta jumlah elemen yang efisien, yaitu tidak memakan waktu yang lama dalam proses iterasi dan tidak membutuhkan space hard disk yang sangat besar.

Pengujian dilakukan dengan berbagai variasi jumlah elemen antara lain 3700, 15220, 26900, dan 41780 buah dengan spesifikasi model layar, yaitu camber sebesar 1/10 dan sudut serang, $\alpha = 10^\circ$.

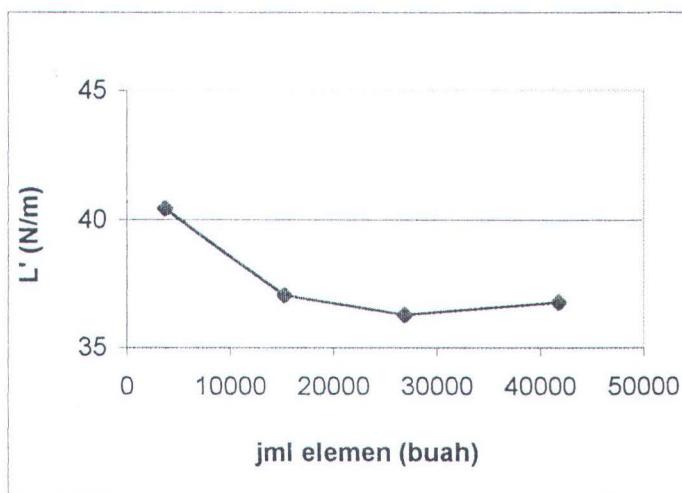
Untuk mengoreksi hasilnya digunakan acuan besarnya *cross-wind force* (L'), Drag (D'), Momen (M'), dan Gaya Normal (N'). Dalam perhitungan L' , M' , D' , dan N' digunakan persamaan 2.12, 2.23, 2.24, dan 2.25, lebih detailnya dijelaskan pada sub bab 4.5 tentang hasil dan analisa *Lift*, *Drag*, dan *Momen*.

Hasil dari pengujian grid independence ditampilkan pada tabel dan grafik-grafik berikut :

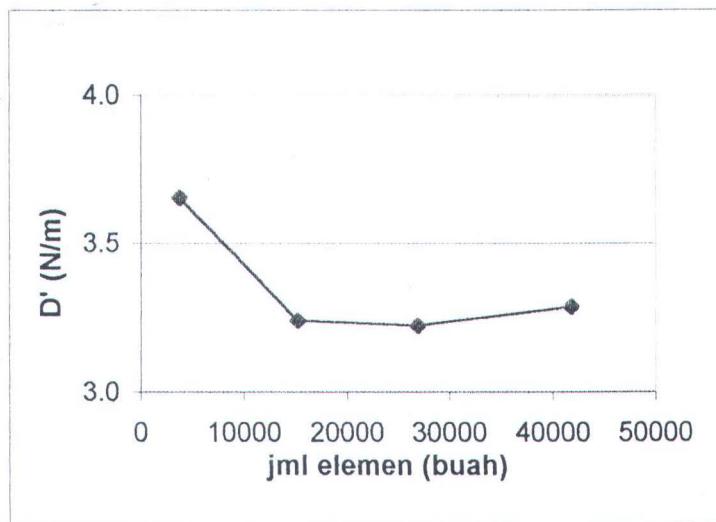
Tabel 4.5. Grid Independence

jml elemen	L'	D'	M'	N'
3700	40.438	3.653	-21.628	40.458
15220	37.040	3.242	-19.679	37.041
26900	36.275	3.226	-19.361	36.284
41780	36.767	3.289	-19.692	36.779

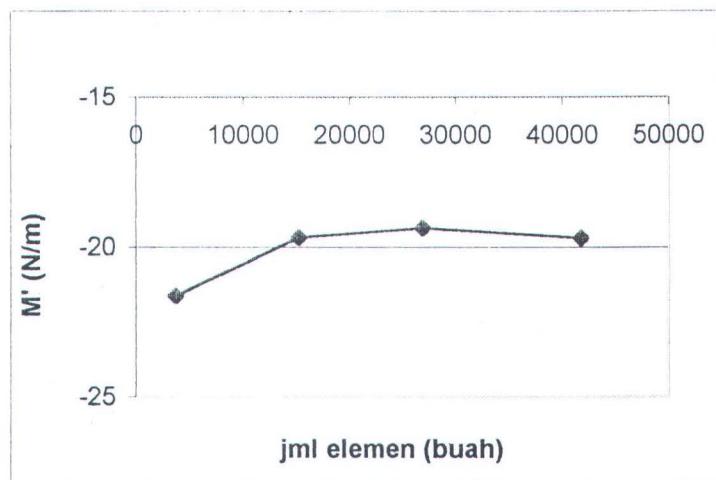
Grafik 4.1. Pengaruh jumlah elemen terhadap L' .



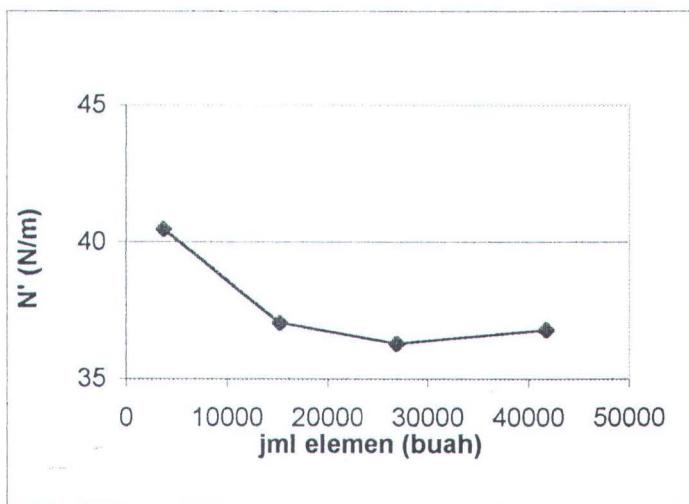
Grafik 4.2. Pengaruh jumlah elemen terhadap D' .



Grafik 4.3. Pengaruh jumlah elemen terhadap M' .



Grafik 4.4. Pengaruh jumlah elemen terhadap N' .



Dari tabel dan grafik-grafik diatas menunjukkan, bahwa elemen dengan jumlah 3700 memiliki perbedaan gaya yang cukup besar dengan elemen yang lain. Hal ini ditandai dengan bentuk grafik yang mempunyai slope cukup besar. Sedangkan jumlah elemen 15220, 26900, dan 41780 mempunyai selisih gaya yang kecil, seperti terlihat pada grafik yang cenderung membentuk garis lurus horizontal. Dengan pertimbangan tersebut, maka jumlah elemen yang dipakai sebanyak 15220 buah.

Sesuai dengan data yang ada jumlah model layar yang diteliti dengan Flotran CFD ANSYS 5.4 sebanyak 10 model, yaitu dua variasi besarnya *camber* dan lima variasi *angle of incident (α)* untuk masing-masing besarnya *camber*. Dengan hasil proses grid independence tersebut, maka untuk kesembilan model yang lain digunakan jumlah elemen sebanyak 15220 buah.

4.4. Data Jumlah Iterasi, dan Waktu Running

Dari hasil *running* dengan *Flotran CFD ANSYS 5.4* yang dilakukan, maka data-data yang nantinya didapatkan yaitu data dimana proses running berhenti dengan tingkat kesalahan 10^{-3} atau iterasi mengalami kestabilan.

Jumlah iterasi dan waktu running disajikan pada Tabel 4.6. Proses ini dilakukan dengan spesifikasi komputer, yaitu Processor Celeron 333 MHz, kapasitas Hard disk 7,5 GB (Giga Byte) dengan space hard disk kosong sebesar lebih kurang 1 GB, dan Memori sebesar 192 MB.

Tabel 4.6. Data Jumlah Iterasi, dan Waktu Running

camber 1/10			camber 1/20		
α	iterasi	waktu	α	iterasi	waktu
10°	351	65 menit	10°	600	97 menit
15°	700	91 menit	12°	700	104 menit
20°	600	92 menit	15°	600	90 menit
25°	600	93 menit	20°	700	114 menit
30°	700	109 menit	30°	800	127 menit

4.5. Hasil dan analisa Cross-wind force, Drag, dan Momen

Dari percobaan didapatkan hasil berupa distribusi tekanan (p) dan distribusi tegangan geser (τ). Pada tabel 1 sampai tabel 10 di lembar lampiran disajikan hasil tekanan dan tegangan geser pada tiap kordinat x dan y . Untuk mendapatkan nilai Cross-wind force, Drag, dan Momen digunakan persamaan (2.23), (2.24), dan (2.25).

$$L' = - \int_{LE}^{TE} (p_l - p_u) dx + \int_{LE}^{TE} (\tau_u + \tau_l) dy$$

$$D' = \int_{LE}^{TE} (p_l - p_u) dy + \int_{LE}^{TE} (\tau_u + \tau_l) dx$$

$$M'_{LE} = \int_{LE}^{TE} (p_u - p_l) x dx + \int_{LE}^{TE} (p_u - p_l) y dy - \int_{LE}^{TE} (\tau_u + \tau_l) x dy + \int_{LE}^{TE} (\tau_u + \tau_l) y dx$$

Untuk layar dengan *camber* 1/10 dan $\alpha = 10^\circ$. Dari data tekanan bagian atas (p_u), tekanan bagian bawah (p_l), tegangan bagian atas (τ_u), dan tegangan bagian bawah (τ_l) pada tabel A.1a dan A.1b pada lembar lampiran A, maka dengan mengintegralkan nilai-nilai tersebut sesuai rumus di bawah yang merupakan penjabaran dari persamaan 2.23 didapatkan :

$$\begin{aligned} L' &= \int_{LE}^{TE} p_l dx - \int_{LE}^{TE} p_u dx + \int_{LE}^{TE} \tau_u dy + \int_{LE}^{TE} \tau_l dy \\ &= 14.288 - (-22.769) + (-22.769) + (-0.012499) \\ &= 37.0403329 \text{ N/m.} \end{aligned}$$

Dari penjabaran persamaan 2.24, didapatkan :

$$\begin{aligned} D' &= \int_{LE}^{TE} p_l dy - \int_{LE}^{TE} p_u dy + \int_{LE}^{TE} \tau_u dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l dx \\ &= (-1.8227) - 1.3088 + 0.058601 + 0.052074 \\ &= 3.242175 \text{ N/m.} \end{aligned}$$

Dari pernjabaran persamaan 2.25, didapatkan :

$$\begin{aligned} M'_{LE} &= \int_{LE}^{TE} p_u x dx - \int_{LE}^{TE} p_l x dx + \int_{LE}^{TE} p_u y dy - \int_{LE}^{TE} p_l y dy - \int_{LE}^{TE} \tau_u x dy - \int_{LE}^{TE} \tau_l x dy + \\ &\quad + \int_{LE}^{TE} \tau_u y dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l y dx \\ &= (-10.866) - 8.4731 + (-0.17465) - 0.18367 - (-0.0060198) - (-0.01492) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + 0.00058268 + (-0.0026427) \\
 & = -19.67853922 \text{ Nm/m.}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka sembilan model yang lain dapat dihitung gaya-gayanya.

Layar dengan *camber* 1/10 dan $\alpha = 15^\circ$. Dari data tekanan bagian atas (p_u), tekanan bagian bawah (p_l), tegangan bagian atas (τ_u), dan tegangan bagian bawah (τ_l) pada tabel A.2a dan A.2b pada lembar lampiran, didapatkan :

$$\begin{aligned}
 L' &= \int_{LE}^{TE} p_l \, dx - \int_{LE}^{TE} p_u \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_u \, dy + \int_{LE}^{TE} \tau_l \, dy \\
 &= 14.709 - (-22.941) + (-0.0013642) + (-0.018337) \\
 &= 37.6496908 \text{ N/m.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D' &= \int_{LE}^{TE} p_l \, dy - \int_{LE}^{TE} p_u \, dy + \int_{LE}^{TE} \tau_u \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l \, dx \\
 &= (-3.0624) - 2.9451 + 0.023003 + 0.051365 \\
 &= 6.00744401 \text{ N/m.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M'_{LE} &= \int_{LE}^{TE} p_u x \, dx - \int_{LE}^{TE} p_l x \, dx + \int_{LE}^{TE} p_u y \, dy - \int_{LE}^{TE} p_l y \, dy - \int_{LE}^{TE} \tau_u x \, dy - \int_{LE}^{TE} \tau_l x \, dy + \\
 &\quad + \int_{LE}^{TE} \tau_u y \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l y \, dx \\
 &= (-10.047) - 8.3635 + (-0.47782) - 0.4398 - (-0.0017592) - (-0.019679) + \\
 &\quad + (-0.00019731) + (-0.0064084) \\
 &= -19.3285444 \text{ Nm/m.}
 \end{aligned}$$

Layar dengan *camber* 1/10 dan $\alpha = 20^\circ$. Dari data tekanan bagian atas (p_u), tekanan bagian bawah (p_l), tegangan bagian atas (τ_u), dan tegangan bagian bawah (τ_l) pada tabel A.3a dan A.3b pada lembar lampiran, didapatkan :

$$\begin{aligned} L' &= \int_{LE}^{TE} p_l \, dx - \int_{LE}^{TE} p_u \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_u \, dy + \int_{LE}^{TE} \tau_l \, dy \\ &= 14.791 - (-18.484) + (-0.0020895) + (-0.024766) \\ &= 33.2481445 \text{ N/m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D' &= \int_{LE}^{TE} p_l \, dy - \int_{LE}^{TE} p_u \, dy + \int_{LE}^{TE} \tau_u \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l \, dx \\ &= (-4.2764) - 5.247 + 0.007723 + 0.051572 \\ &= 9.582695 \text{ N/m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M'_{LE} &= \int_{LE}^{TE} p_u x \, dx - \int_{LE}^{TE} p_l x \, dx + \int_{LE}^{TE} p_u y \, dy - \int_{LE}^{TE} p_l y \, dy - \int_{LE}^{TE} \tau_u x \, dy - \int_{LE}^{TE} \tau_l x \, dy + \\ &\quad + \int_{LE}^{TE} \tau_u y \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l y \, dx \\ &= (-9.5908) - 7.959 + (-1.1376) - 0.77165 - (-0.0024707) - (-0.025012) + \\ &\quad + (-0.00093204) + (-0.010364) \\ &= -19.44286334 \text{ Nm/m.} \end{aligned}$$

Layar dengan *camber* 1/10 dan $\alpha = 25^\circ$. Dari data tekanan bagian atas (p_u), tekanan bagian bawah (p_l), tegangan bagian atas (τ_u), dan tegangan bagian bawah (τ_l) pada tabel A.4a dan A.4b pada lembar lampiran, didapatkan :

$$L' = \int_{LE}^{TE} p_l \, dx - \int_{LE}^{TE} p_u \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_u \, dy + \int_{LE}^{TE} \tau_l \, dy$$

$$= 15.195 - (-15.183) + (-0.0024034) + (-0.029438)$$

$$= 30.3461586 \text{ N/m.}$$

$$D' = \int_{LE}^{TE} p_l \, dy - \int_{LE}^{TE} p_u \, dy + \int_{LE}^{TE} \tau_u \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l \, dx$$

$$= (-5.8326) - 6.4448 + 0.0064314 + 0.048509$$

$$= 12.3323404 \text{ N/m.}$$

$$\begin{aligned} M'_{LE} &= \int_{LE}^{TE} p_u x \, dx - \int_{LE}^{TE} p_l x \, dx + \int_{LE}^{TE} p_u y \, dy - \int_{LE}^{TE} p_l y \, dy - \int_{LE}^{TE} \tau_u x \, dy - \int_{LE}^{TE} \tau_l x \, dy + \\ &\quad + \int_{LE}^{TE} \tau_u y \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l y \, dx \end{aligned}$$

$$= (-8.4746) - 7.8579 + (-1.7517) - 1.3106 - (-0.0020846) - (-0.028199) +$$

$$+ (-0.00091754) + (-0.013254)$$

$$= -19.37868794 \text{ Nm/m.}$$

Layar dengan *camber* 1/10 dan $\alpha = 30^\circ$. Dari data tekanan bagian atas (p_u), tekanan bagian bawah (p_l), tegangan bagian atas (τ_u), dan tegangan bagian bawah (τ_l) pada tabel A.5a dan A.5b pada lembar lampiran, didapatkan :

$$L' = \int_{LE}^{TE} p_l \, dx - \int_{LE}^{TE} p_u \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_u \, dy + \int_{LE}^{TE} \tau_l \, dy$$

$$= 15.399 - (-13.703) + (-0.0027726) + (-0.033375)$$

$$= 29.0658524 \text{ N/m.}$$

$$D' = \int_{LE}^{TE} p_l \, dy - \int_{LE}^{TE} p_u \, dy + \int_{LE}^{TE} \tau_u \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l \, dx$$

$$= (-7.5724) - 7.7245 + 0.0052491 + 0.044179$$

$$= 15.3463281 \text{ N/m.}$$

$$\begin{aligned}
M'_{LE} &= \int_{LE}^{TE} p_u x \, dx - \int_{LE}^{TE} p_l x \, dx + \int_{LE}^{TE} p_u y \, dy - \int_{LE}^{TE} p_l y \, dy - \int_{LE}^{TE} \tau_u x \, dy - \int_{LE}^{TE} \tau_l x \, dy + \\
&\quad + \int_{LE}^{TE} \tau_u y \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l y \, dx \\
&= (-7.825) - 7.7075 + (-2.5502) - 2.0552 - (-0.0022072) - (-0.030537) + \\
&\quad + (-0.0010705) + (-0.015389) \\
&= -20.1216153 \text{ Nm/m.}
\end{aligned}$$

Layar dengan *camber* 1/20 dan $\alpha = 10^\circ$. Dari data tekanan bagian atas (p_u), tekanan bagian bawah (p_l), tegangan bagian atas (τ_u), dan tegangan bagian bawah (τ_l) pada tabel A.6a dan A.6b pada lembar lampiran, didapatkan :

$$\begin{aligned}
L' &= \int_{LE}^{TE} p_l \, dx - \int_{LE}^{TE} p_u \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_u \, dy + \int_{LE}^{TE} \tau_l \, dy \\
&= 10.817 - (-16.684) + (-0.0032192) + (-0.013483) \\
&= 27.4842978 \text{ N/m.}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D' &= \int_{LE}^{TE} p_l \, dy - \int_{LE}^{TE} p_u \, dy + \int_{LE}^{TE} \tau_u \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l \, dx \\
&= (-1.4437) - 1.7992 + 0.03091 + 0.065834 \\
&= 3.339644 \text{ N/m.}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M'_{LE} &= \int_{LE}^{TE} p_u x \, dx - \int_{LE}^{TE} p_l x \, dx + \int_{LE}^{TE} p_u y \, dy - \int_{LE}^{TE} p_l y \, dy - \int_{LE}^{TE} \tau_u x \, dy - \int_{LE}^{TE} \tau_l x \, dy + \\
&\quad + \int_{LE}^{TE} \tau_u y \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l y \, dx
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= (-7.4715) - 5.7502 + (-0.16156) - 0.13122 - (-0.0029805) - (-0.013334) + \\
 &\quad + (-0.0011446) + (-0.0059023) \\
 &= -13.5052124 \text{ Nm/m.}
 \end{aligned}$$

Layar dengan *camber* 1/20 dan $\alpha = 12^\circ$. Dari data tekanan bagian atas (p_u), tekanan bagian bawah (p_l), tegangan bagian atas (τ_u), dan tegangan bagian bawah (τ_l) pada tabel A.7a dan A.7b pada lembar lampiran, didapatkan :

$$\begin{aligned}
 L' &= \int_{LE}^{TE} p_l \, dx - \int_{LE}^{TE} p_u \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_u \, dy + \int_{LE}^{TE} \tau_l \, dy \\
 &= 11.01 - (-17.6) + (-0.0012718) + (-0.016141) \\
 &= 28.5925872 \text{ N/m.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D' &= \int_{LE}^{TE} p_l \, dy - \int_{LE}^{TE} p_u \, dy + \int_{LE}^{TE} \tau_u \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l \, dx \\
 &= (-1.8205) - 2.4609 + 0.015609 + 0.065638 \\
 &= 4.362647 \text{ N/m.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M'_{LE} &= \int_{LE}^{TE} p_u x \, dx - \int_{LE}^{TE} p_l x \, dx + \int_{LE}^{TE} p_u y \, dy - \int_{LE}^{TE} p_l y \, dy - \int_{LE}^{TE} \tau_u x \, dy - \int_{LE}^{TE} \tau_l x \, dy + \\
 &\quad + \int_{LE}^{TE} \tau_u y \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l y \, dx \\
 &= (-7.6246) - 5.6825 + (-0.26216) - 0.19003 - (-0.0010437) - (-0.015489) + \\
 &\quad + (-0.00043485) + (-0.0078114) \\
 &= -13.75100355 \text{ Nm/m.}
 \end{aligned}$$

Layar dengan *camber* 1/20 dan $\alpha = 15^\circ$. Dari data tekanan bagian atas (p_u), tekanan bagian bawah (p_l), tegangan bagian atas (τ_u), dan tegangan bagian bawah (τ_l) pada tabel A.8a dan A.8b pada lembar lampiran, didapatkan :

$$\begin{aligned} L' &= \int_{LE}^{TE} p_l \, dx - \int_{LE}^{TE} p_u \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_u \, dy + \int_{LE}^{TE} \tau_l \, dy \\ &= 11.394 - (-16.588) + (-0.00066008) + (-0.020385) \\ &= 27.96095492 \text{ N/m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D' &= \int_{LE}^{TE} p_l \, dy - \int_{LE}^{TE} p_u \, dy + \int_{LE}^{TE} \tau_u \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l \, dx \\ &= (-2.4191) - 3.6124 + 0.0055598 + 0.066122 \\ &= 6.1031818 \text{ N/m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M'_{LE} &= \int_{LE}^{TE} p_u x \, dx - \int_{LE}^{TE} p_l x \, dx + \int_{LE}^{TE} p_u y \, dy - \int_{LE}^{TE} p_l y \, dy - \int_{LE}^{TE} \tau_u x \, dy - \int_{LE}^{TE} \tau_l x \, dy + \\ &\quad + \int_{LE}^{TE} \tau_u y \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l y \, dx \\ &= (-8.2932) - 5.5571 + (-0.52579) - 0.29312 - (-0.00069789) - (-0.018975) + \\ &\quad + (-0.00030899) + (-0.010832) \\ &= -14.6606781 \text{ Nm/m.} \end{aligned}$$

Layar dengan *camber* 1/20 dan $\alpha = 20^\circ$. Dari data tekanan bagian atas (p_u), tekanan bagian bawah (p_l), tegangan bagian atas (τ_u), dan tegangan bagian bawah (τ_l) pada tabel A.9a dan A.9b pada lembar lampiran, didapatkan :

$$L' = \int_{LE}^{TE} p_l \, dx - \int_{LE}^{TE} p_u \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_u \, dy + \int_{LE}^{TE} \tau_l \, dy$$

$$= 11.342 - (-14.216) + (-0.0018277) + (-0.02711)$$

$$= 25.5290623 \text{ N/m.}$$

$$D' = \int_{LE}^{TE} p_l dy - \int_{LE}^{TE} p_u dy + \int_{LE}^{TE} \tau_u dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l dx$$

$$= (-3.3828) - 4.8446 + 0.0059328 + 0.065532$$

$$= 8.2988648 \text{ N/m.}$$

$$M'_{LE} = \int_{LE}^{TE} p_u x dx - \int_{LE}^{TE} p_l x dx + \int_{LE}^{TE} p_u y dy - \int_{LE}^{TE} p_l y dy - \int_{LE}^{TE} \tau_u x dy - \int_{LE}^{TE} \tau_l x dy +$$

$$+ \int_{LE}^{TE} \tau_u y dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l y dx$$

$$= (-8.0561) - 5.1649 + (-1.0213) - 0.51164 - (-0.0014772) - (-0.024187) +$$

$$+ (-0.00086683) + (-0.015534)$$

$$= -14.74467663 \text{ Nm/m.}$$



Layar dengan *camber* 1/20 dan $\alpha = 30^\circ$. Dari data tekanan bagian atas (p_u), tekanan bagian bawah (p_l), tegangan bagian atas (τ_u), dan tegangan bagian bawah (τ_l) pada tabel A.10a dan A.10b pada lembar lampiran, didapatkan :

$$\begin{aligned} L' &= \int_{LE}^{TE} p_l dx - \int_{LE}^{TE} p_u dx + \int_{LE}^{TE} \tau_u dy + \int_{LE}^{TE} \tau_l dy \\ &= 12.495 - (-13.236) + (-0.0027228) + (-0.036589) \\ &= 25.6916882 \text{ N/m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D' &= \int_{LE}^{TE} p_l dy - \int_{LE}^{TE} p_u dy + \int_{LE}^{TE} \tau_u dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l dx \\ &= (-6.3347) - 7.6012 + 0.0051094 + 0.055376 \end{aligned}$$

$$= 13.9963854 \text{ N/m.}$$

$$\begin{aligned}
M'_{LE} &= \int_{LE}^{TE} p_u x \, dx - \int_{LE}^{TE} p_l x \, dx + \int_{LE}^{TE} p_u y \, dy - \int_{LE}^{TE} p_l y \, dy - \int_{LE}^{TE} \tau_u x \, dy - \int_{LE}^{TE} \tau_l x \, dy + \\
&\quad + \int_{LE}^{TE} \tau_u y \, dx + \int_{LE}^{TE} \tau_l y \, dx \\
&= (-7.6161) - 5.4579 + (-2.519) - 1.4926 - (-0.0018286) - (-0.030787) + \\
&\quad + (-0.0012184) + (-0.021863) \\
&= -17.0760658 \text{ Nm/m.}
\end{aligned}$$

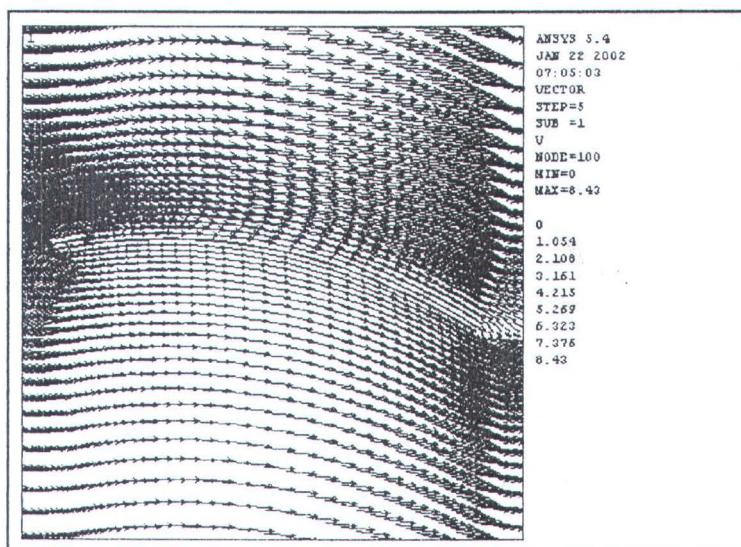
Dari perhitungan di atas dirangkum dalam tabel 4.7.

Tabel 4.7. Data L' , D' , dan M' .

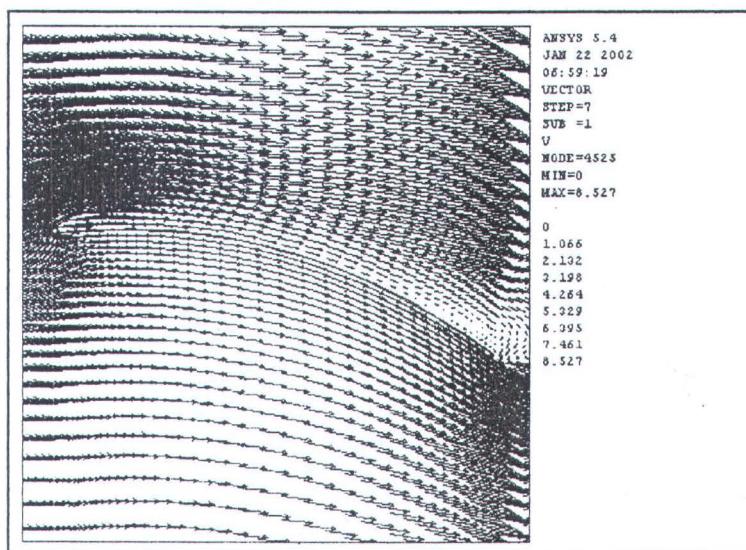
camber 1/10				camber 1/20			
α	L'	D'	M'	α	L'	D'	M'
10°	37.040	3.242	-19.679	10°	27.484	3.340	-13.505
15°	37.650	6.007	-19.329	12°	28.593	4.363	-13.751
20°	33.248	9.583	-19.443	15°	27.961	6.103	-14.661
25°	30.346	12.332	-19.379	20°	25.529	8.299	-14.745
30°	29.066	15.346	-20.122	30°	25.692	13.996	-17.076

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa layar dengan camber 1/10 harga *cross-wind force* (L') mengalami kenaikan sampai sudut 15° , dan setelah itu L' mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya sudut serang (α). Hal itu menunjukkan bahwa kondisi *stall*, dimana layar mengalami *cros-wind force* yang terbesar terjadi pada sudut sekitar 15° . Hal tersebut dapat dijelaskan bahwa pada sudut serang 10° diindikasikan aliran pada layar bagian atas belum mengalami separasi (yang mengakibatkan penurunan besarnya L') dan pada sudut serang 15° aliran mulai terseparasi, namun masih dekat pada ujung belakang layar (*leach*).

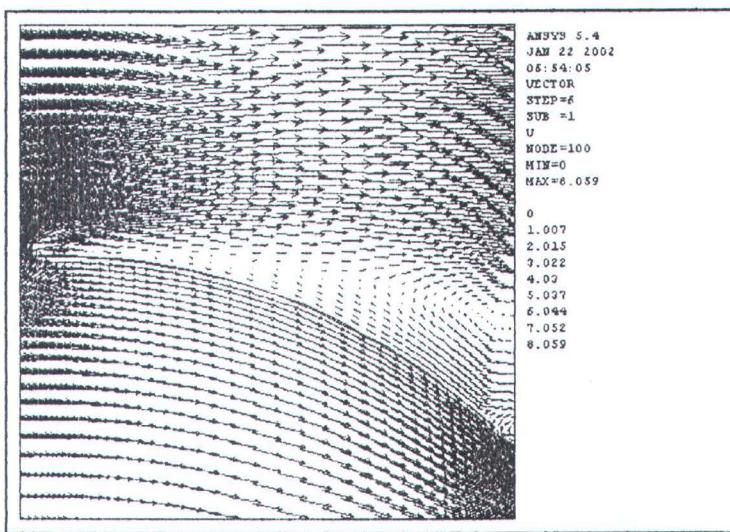
Sedangkan sudut serang 20° separasi aliran diindikasikan terjadi dan semakin bergerak mendekati ujung depan layar (*luff*), sehingga daerah separasi semakin besar. Oleh karena itu cross-wind force mengalami penurunan. Hal ini terbukti dengan visualisasi vektor kecepatan hasil CFD pada gambar di bawah, yaitu vector kecepatan untuk layar dengan camber 1/10, dan sudut serang 10° , 15° , dan 20° .



Gambar 4.1. Vektor kecepatan pada layar dengan camber 1/10, $\alpha = 10^\circ$



Gambar 4.2. Vektor kecepatan pada layar dengan camber 1/10, $\alpha = 15^\circ$



Gambar 4.3. Vektor kecepatan pada layar dengan camber 1/10, $\alpha = 20^\circ$

Pada gambar di atas jelas terlihat bahwa pada sudut serang 10° separasi aliran belum terjadi, dan pada sudut 15° separasi terjadi sangat dekat dengan ujung belakang layar. Sedangkan pada sudut serang 20° terlihat jelas bahwa separasi terjadi dekat dengan ujung depan layar dan mengakibatkan daerah separasi (*wake*) menjadi besar, dan terlihat juga bahwa pada sudut serang 20° terjadi aliran balik (*reversed flow*).

Untuk besarnya *drag*, dari tabel di atas diketahui bahwa *drag* akan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya sudut serang. Hal ini terjadi dikarenakan dengan semakin besarnya sudut serang, maka daerah separasi akan semakin besar yang mengakibatkan drag akan bertambah besar.

Layar dengan camber 1/20 kondisi *stall* terjadi disekitar sudut 12° , dan besarnya drag juga mempunyai kecenderungan yang lebih besar dengan bertambahnya sudut serang. Visualisasi vektor kecepatan untuk variasi camber dan berbagai sudut serang dapat dilihat pada lampiran B.

4.6. Analisa Centre of Effort

Dari besarnya gaya-gaya yang yang telah diketahui, yaitu *cross-wind force* (L'), *drag* (D'), dan *Momen* (M'), maka dapat diketahui pula letak dari pusat total gaya pada layar (*centre of effort*), yang mana pusat gaya tersebut diukur dari ujung depan layar (luff). Dengan menggunakan persamaan (2.12) dan (2.29) :

$$C_E = \frac{-M'_{LE}}{N'}$$

$$N = D \sin \alpha + L \cos \alpha,$$

maka didapatkan letak pusat gayanya (C_E), seperti terangkum dalam tabel 4.8.

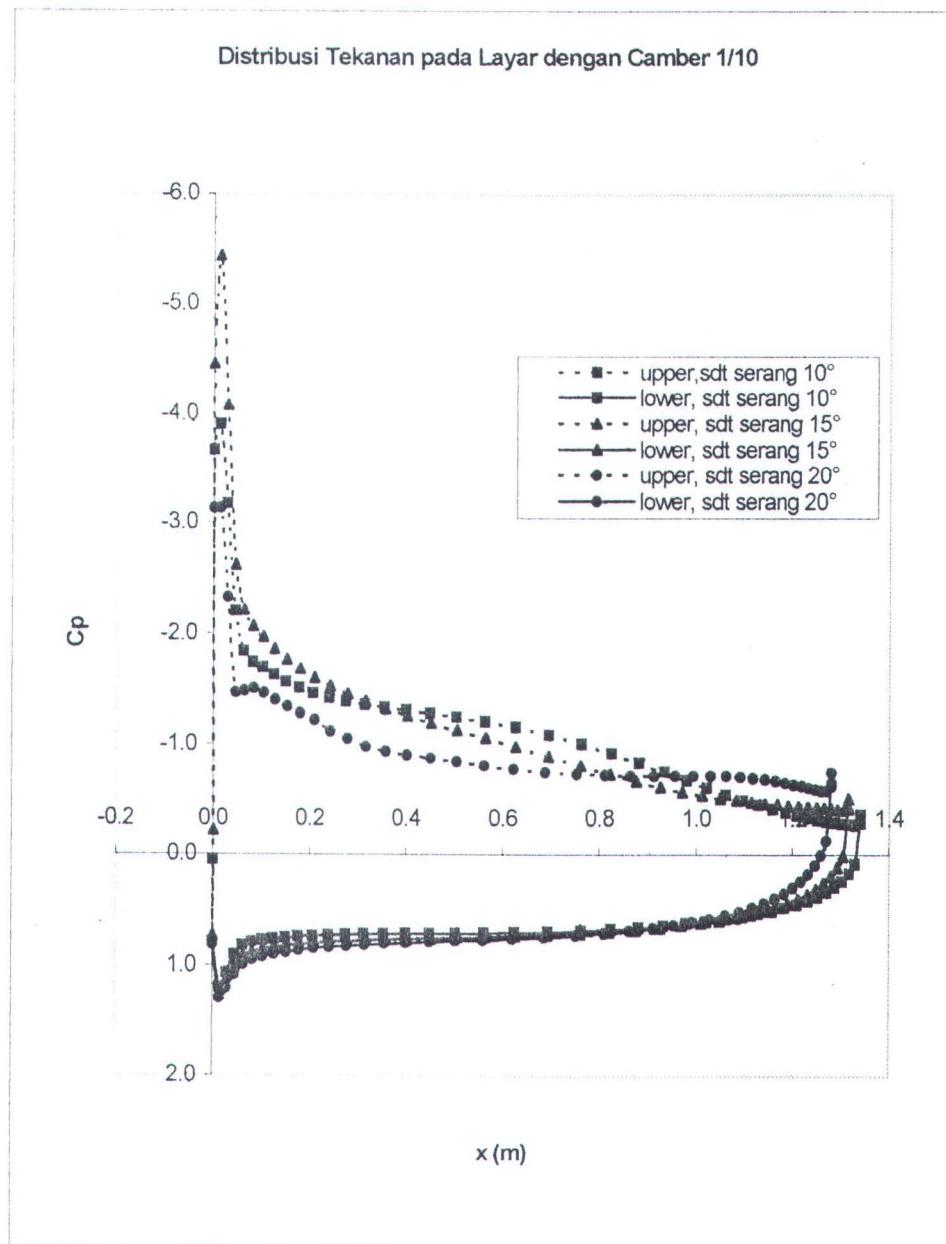
Tabel 4.8. Data M' , N' , dan C_E' .

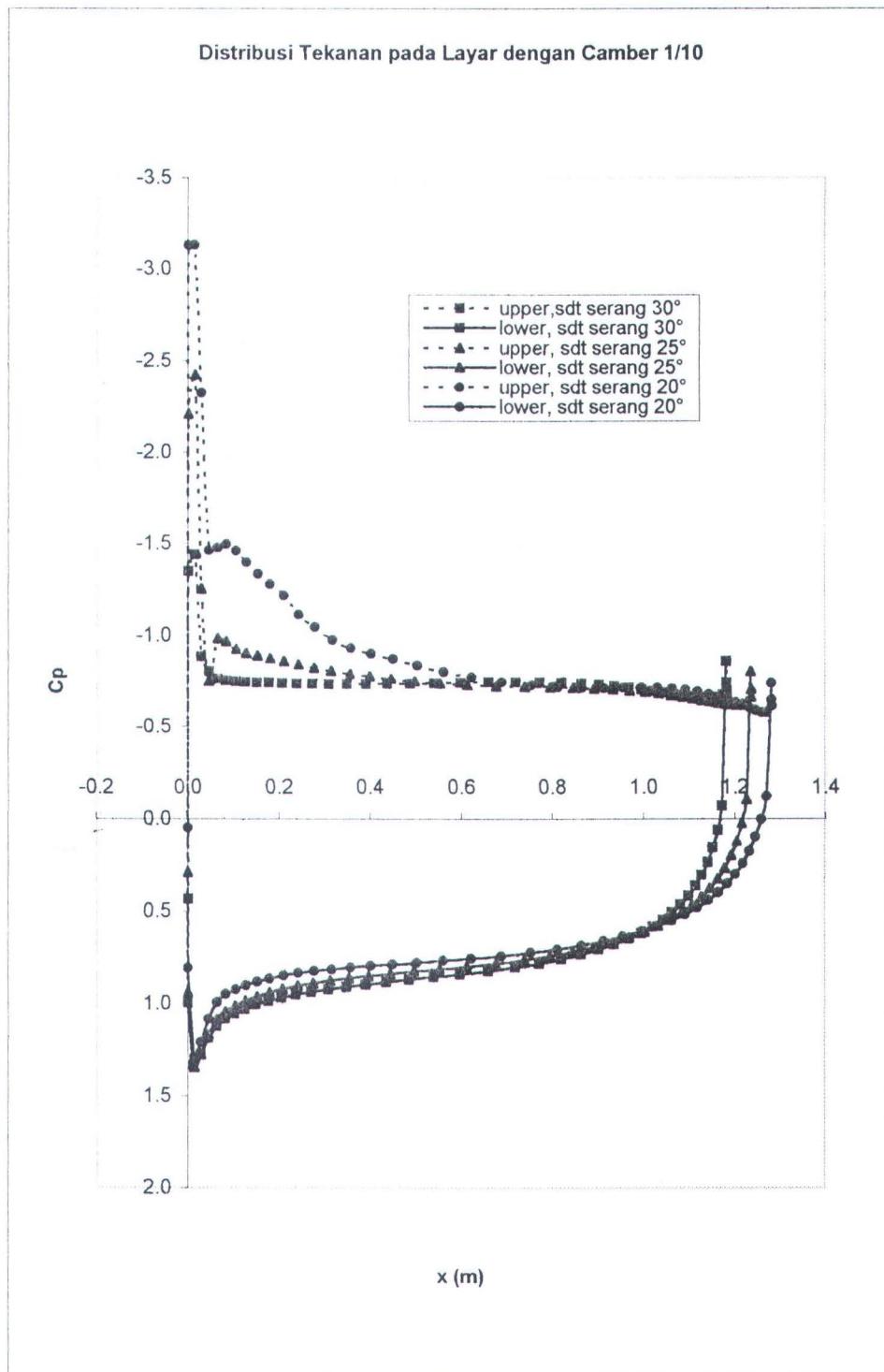
camber 1/10				camber 1/20			
α	M' (Nm/m)	N' (N/m)	C_E' (m)	α	M' (Nm/m)	N' (N/m)	C_E' (m)
10°	-19.679	37.041	0.531	10°	-13.505	27.647	0.488
15°	-19.329	37.922	0.510	12°	-13.751	28.875	0.476
20°	-19.443	34.521	0.563	15°	-14.661	28.588	0.513
25°	-19.379	32.715	0.592	20°	-14.745	26.828	0.550
30°	-20.122	32.845	0.613	30°	-17.076	29.248	0.584

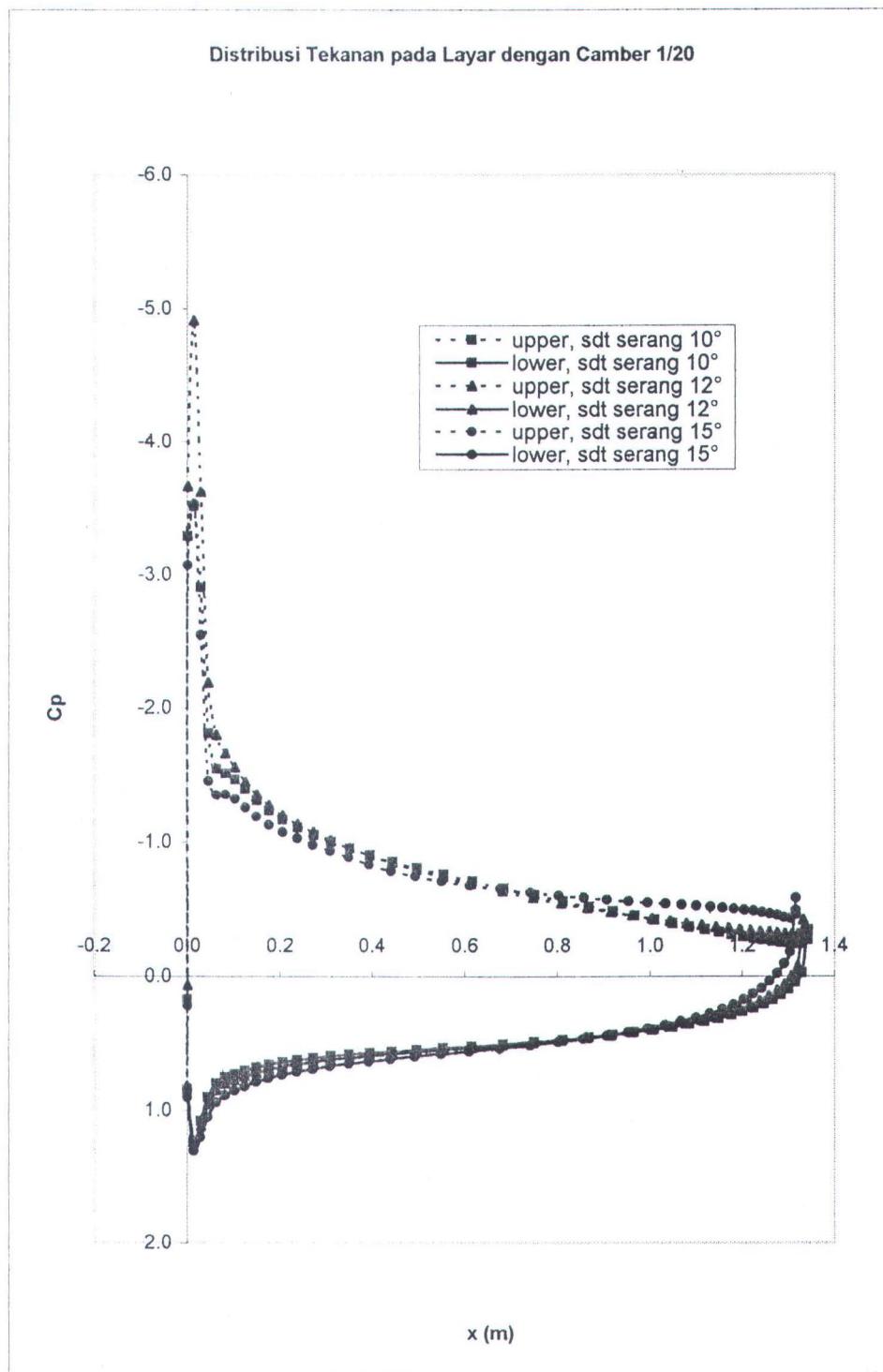
Dari tabel 4.8 menunjukkan bahwa pada sudut serang yang relatif kecil, maka pusat gaya akan bergerak mendekati ujung depan layar sampai saat dimana layar mengalami kondisi *stall* (yaitu pada sudut serang 10° untuk layar dengan camber 1/10, dan sudut serang 12° pada layar dengan camber 1/20). Setelah kondisi stall terjadi menunjukkan bahwa dengan semakin bertambah besarnya sudut serang, maka pusat gaya akan semakin besar yang berarti pusat gaya bergerak menuju tengah layar. Kejadian ini dapat dijelaskan dari grafik distribusi tekanan yang menunjukkan bahwa setelah kondisi *stall* distribusi tekanan negatif

yang tertinggi pada ujung depan layar mengalami penurunan dengan bertambah besarnya sudut serang dan cenderungan untuk membentuk distribusi yang simetris. Distribusi tekanan pada masing-masing kondisi layar dapat dilihat pada grafik 4.5, 4.6, 4.7, dan 4.8.

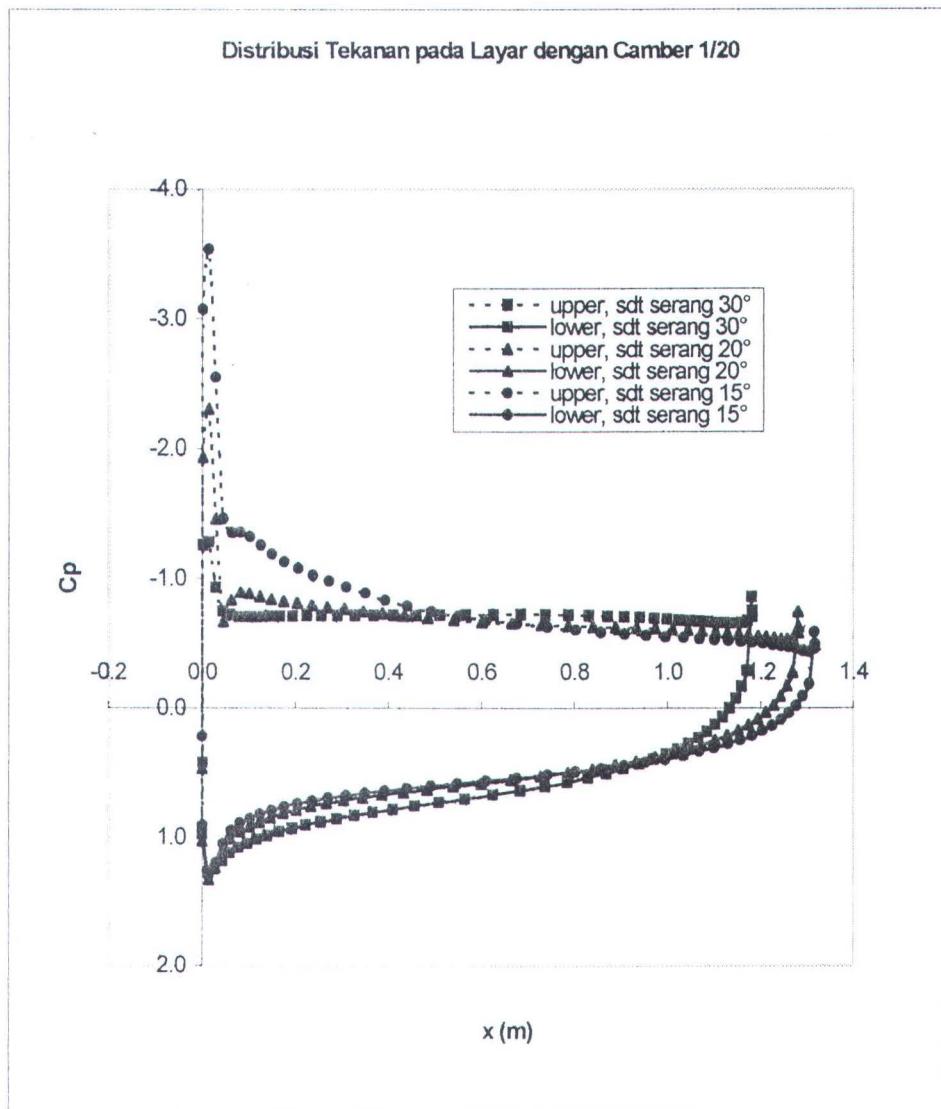
Grafik 4.5 Distribusi tekanan Layar dengan Camber 1/10, $\alpha = 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$.



Grafik 4.6 Distribusi tekanan Layar dengan Camber 1/10, $\alpha = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$.

Grafik 4.7 Distribusi tekanan Layar dengan Camber 1/10, $\alpha = 10^\circ, 12^\circ, 15^\circ$.

Grafik 4.8 Distribusi tekanan Layar dengan Camber 1/10, $\alpha = 15^\circ, 20^\circ, 30^\circ$.



4.7. Analisa Gaya Dorong

Besarnya gaya dorong dapat dinyatakan dalam koefisien gaya dorong, dimana layar yang mempunyai koefisien gaya dorong besar berarti layar tersebut memiliki gaya dorong yang besar pula.

Dengan persamaan (2.26), dan (2.27), maka gaya-gaya aerodinamika dapat dinyatakan dalam koefisien coss-wind force dan koefisien drag.

$$cl = L' / (q_\infty c)$$

$$cd = D' / (q_\infty c)$$

Dari persamaan tersebut di atas didapatkan koefisien cross-wind force dan koefisien drag untuk dua variasi camber dan berbagai macam sudut serang, seperti terangkum dalam Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Data cl , dan cd hasil simulasi CFD

camber 1/10			camber 1/20		
α	cl	cd	α	cl	cd
10°	1.672	0.146	10°	1.240	0.151
15°	1.699	0.271	12°	1.290	0.197
20°	1.500	0.432	15°	1.262	0.275
25°	1.369	0.557	20°	1.152	0.375
30°	1.312	0.693	30°	1.159	0.632

Untuk menunjukkan kecenderungan besarnya gaya dorong dapat dinyatakan dalam koefisien *driving force* C_R dan koefisien *Heeling force* C_H . Sesuai dengan persamaan (2.10) dan (2.11) :

$$C_R = C_L \sin \beta - C_D \cos \beta$$

$$C_H = C_L \cos \beta + C_D \sin \beta$$

Hasil perhitungan C_R , dan C_H terangkum dalam tabel 4.10 dan 4.11.

Tabel 4.10. Data C_R , C_H untuk layar dengan camber 1/10

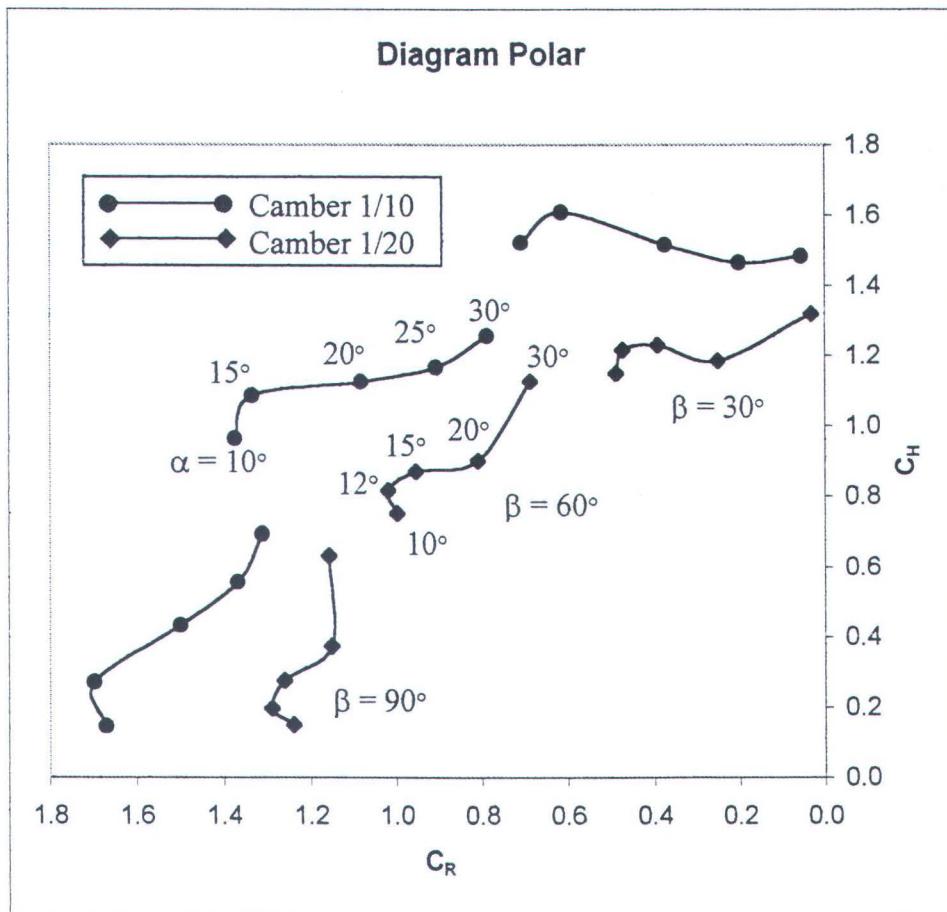
camber 1/10			$\beta = 30^\circ$		$\beta = 60^\circ$		$\beta = 90^\circ$	
α	cl	cd	C_R	C_H	C_R	C_H	C_R	C_H
10°	1.672	0.146	0.709	1.521	1.374	0.962	1.672	0.146
15°	1.699	0.271	0.615	1.607	1.336	1.084	1.699	0.271
20°	1.500	0.432	0.376	1.516	1.083	1.125	1.500	0.432
25°	1.369	0.557	0.203	1.464	0.908	1.167	1.369	0.557
30°	1.312	0.693	0.056	1.482	0.790	1.256	1.312	0.693

Tabel 4.11. Data C_R , C_H untuk layar dengan camber 1/20

camber 1/10			$\beta = 30^\circ$		$\beta = 60^\circ$		$\beta = 90^\circ$	
α	c_l	c_d	C_R	C_H	C_R	C_H	C_R	C_H
10°	1.240	0.151	0.490	1.149	0.999	0.751	1.240	0.151
12°	1.290	0.197	0.475	1.216	1.019	0.816	1.290	0.197
15°	1.262	0.275	0.392	1.230	0.955	0.869	1.262	0.275
20°	1.152	0.375	0.252	1.185	0.810	0.900	1.152	0.375
30°	1.159	0.632	0.033	1.320	0.688	1.127	1.159	0.632

Dari data di atas dapat dibuat Diagram Polar dimana merupakan grafik hubungan antara koefisien gaya dorong dan koefisien gaya *heeling* , seperti terlihat pada grafik dibawah.

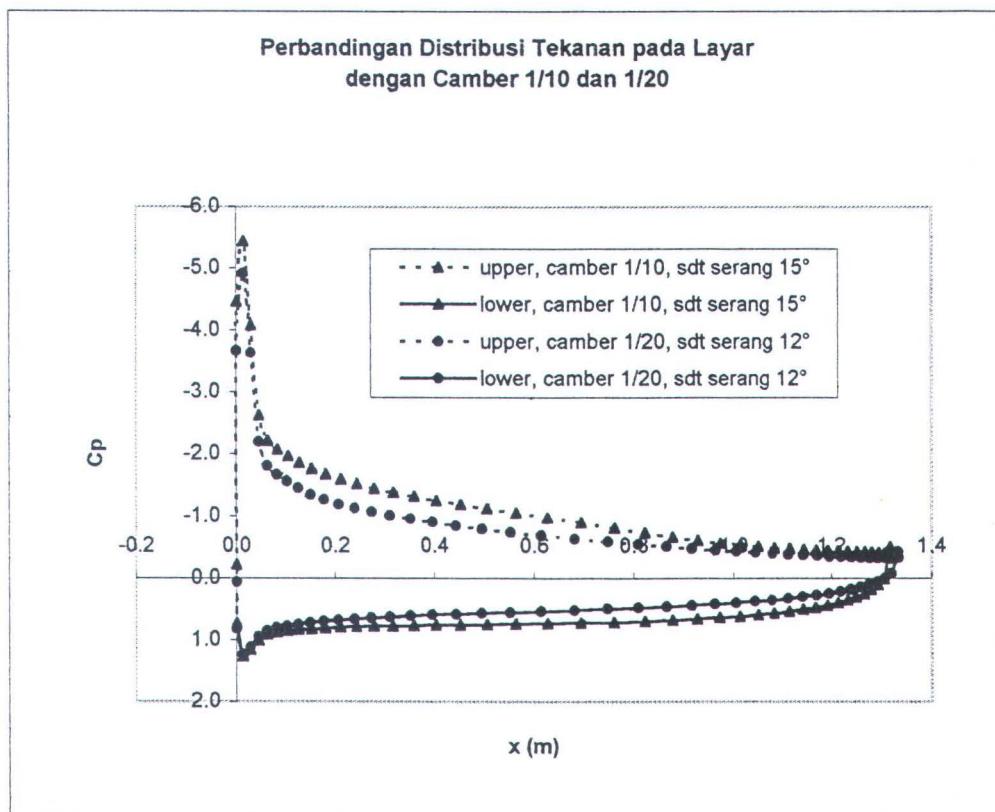
Grafik 4.9 Diagram Polar



Dari diagram di atas dapat diketahui bahwa layar dengan camber 1/10 memiliki gaya dorong yang lebih besar dibanding layar dengan camber 1/20, karena layar dengan camber 1/10 menghasilkan *cross-wind force* yang lebih besar. Besarnya *cross-wind force* yang terjadi pada layar dapat dilihat dari perbandingan distribusi tekanannya. Grafik perbandingan distribusi tekanan pada layar dengan camber 1/10 dan 1/20 dapat dilihat pada Grafik. 4.10.

Grafik 4.10 menunjukkan, bahwa luasan grafik distribusi tekanan layar dengan camber 1/10 lebih besar dibanding luas distribusi tekanan layar dengan camber 1/20, hal ini berarti bahwa layar dengan camber 1/10 memiliki cross-wind force yang lebih besar.

Grafik 4.10. Perbandingan distribusi tekanan layar dengan camber 1/10 dan 1/20



Selain itu dari diagram polar diketahui, bahwa gaya dorong terbesar dicapai pada *apparent wind angle* $\beta = 90^\circ$ dan dengan sudut serang 15° . Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan kapal akan mencapai maksimal, jika kapal berlayar tegak lurus arah angin dan dengan sudut layar terhadap angin sebesar 15° . Gaya dorong akan mengalami penurunan seiring dengan penurunan *apparent wind angle* (β), yang berarti kapal akan mengalami pengurangan kecepatan bila berlayar melawan angin.

4.8. Validasi Hasil

Validasi hasil dinyatakan dengan koreksi kesalahan dan kecenderungan grafik gaya-gaya yang terjadi pada percobaan menggunakan perangkat lunak *Flotran CFD ANSYS 5.4* dengan percobaan *wind tunnel* yang ada.

$$\text{Koreksi} = \frac{(\text{hasil CFD} - \text{hasil Eksperimen})}{\text{hasil Eksperimen}} \times 100\%$$

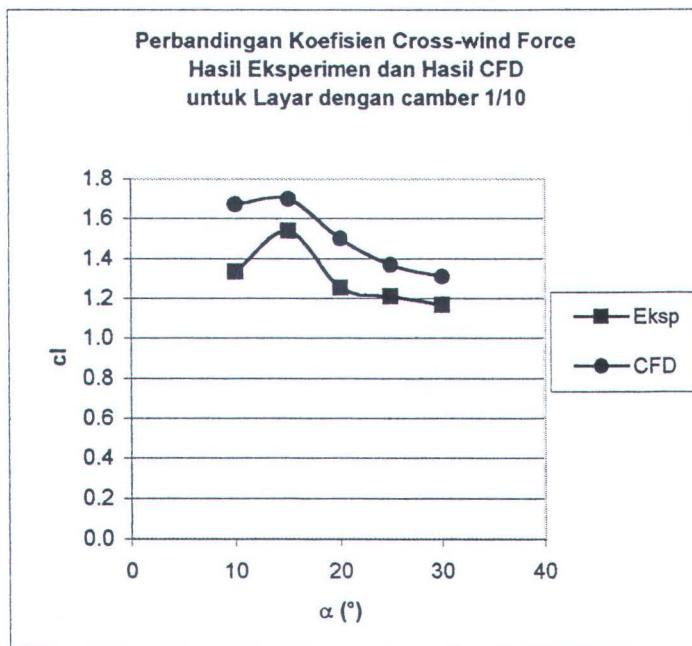
Tabel 4.12. Koreksi c_l , c_d , dan C_E' .

camber 1/10				camber 1/20		
α	c_l	c_d	C_E' (m)	α	c_l	c_d
10°	25.21%	-0.47%	7.00%	10°	26.05%	39.54%
15°	10.33%	3.47%	3.33%	12°	19.14%	13.80%
20°	19.55%	3.70%	3.31%	15°	17.81%	21.87%
25°	12.99%	11.75%	1.69%	20°	9.72%	7.31%
30°	12.30%	17.18%	0.15%	30°	18.31%	24.33%

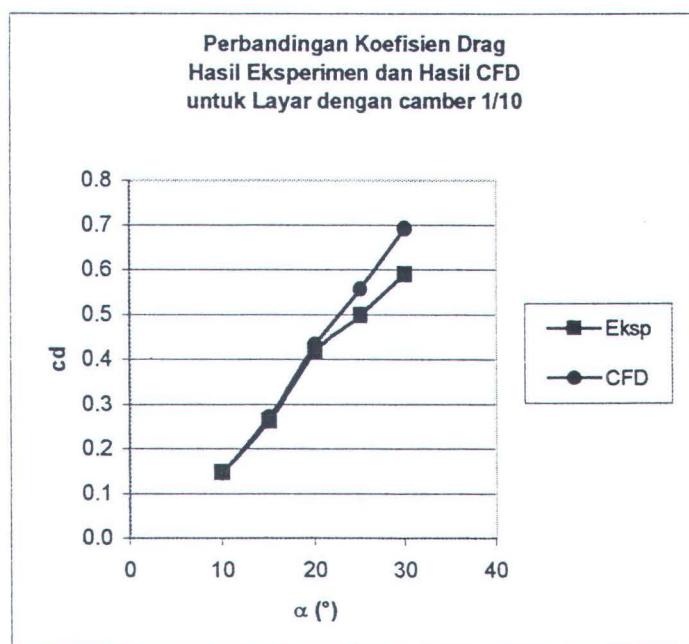
Untuk kecenderungan gaya-gaya yang terjadi disajikan pada grafik-grafik dibawah :



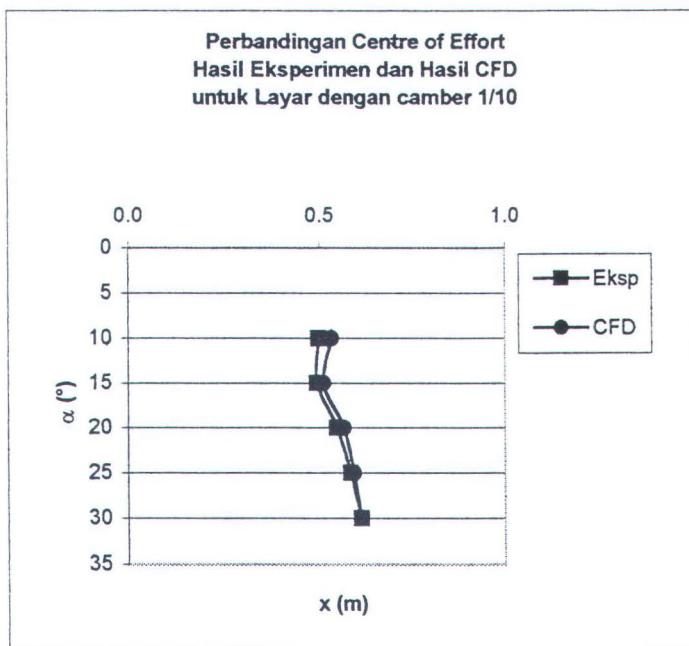
Grafik 4.11 Perbandingan koefisien Cross-wind force hasil eksperimen dan hasil CFD untuk layar dengan camber 1/10



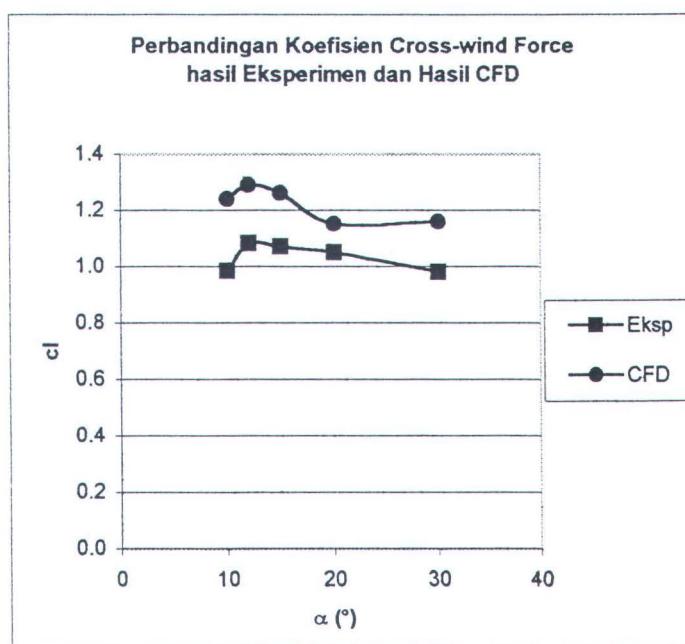
Grafik 4.12 Perbandingan koefisien Drag hasil eksperimen dan hasil CFD
untuk layar dengan camber 1/10



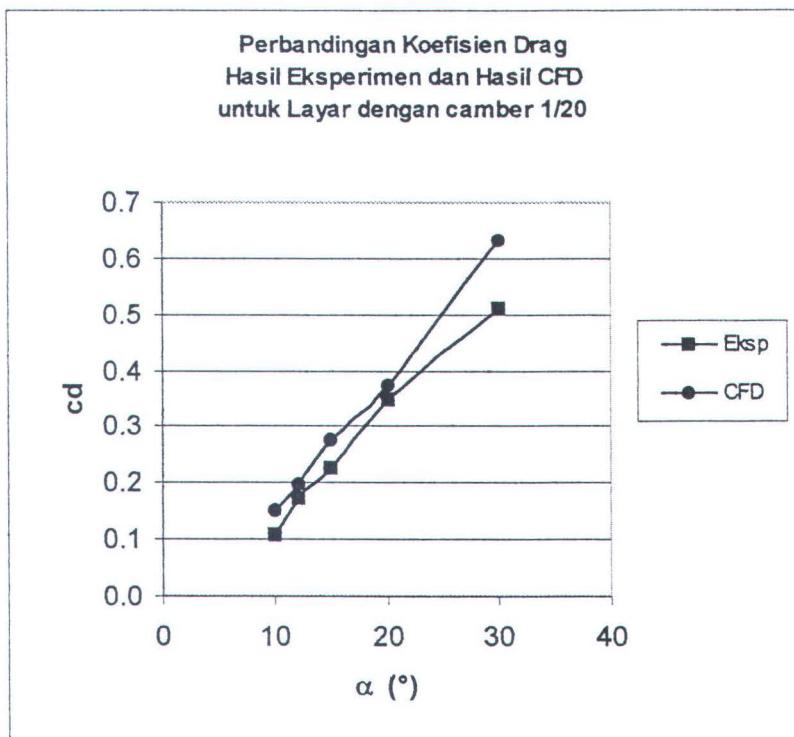
Grafik 4.13 Perbandingan Centre of Effort hasil eksperimen dan hasil CFD untuk layar dengan camber 1/10



Grafik 4.14 Perbandingan koefisien Cross-wind force hasil eksperimen dan hasil CFD untuk layar dengan camber 1/20



Grafik 4.15 Perbandingan koefisien Drag hasil eksperimen dan hasil CFD untuk layar dengan camber 1/20



Koreksi yang didapatkan, yaitu besarnya antara 0,47 % sampai 39,54 %.

Hal ini menunjukkan bahwa terdapat hasil yang cukup baik dan hasil yang tidak begitu baik, namun dari kecenderungan gaya-gaya yang terjadi memiliki kesamaan yang cukup baik, seperti terlihat pada Grafik 4.11 sampai Grafik 4.15.

Prosentase kesalahan yang begitu besar dapat terjadi karena pemodelan layar pada CFD belum maksimal. Pemodelan tersebut dapat berupa penentuan domain, meshing, penentuan jumlah elemen, maupun pendekatan penyelesaian aliran yang digunakan (tiga dimensi atau dua dimensi). Selain itu untuk masing-masing kondisi layar (di sini terdapat 10 model layar) perlu dicari model yang

paling optimal untuk tiap-tiap kondisi layar, artinya bahwa tiap model layar harus melalui proses *Grid Independence*.

Dalam beberapa percobaan desain layar dengan CFD yang pernah dilakukan dipercaya bahwa kesalahan perhitungan antara 10% hingga 20% biasa terjadi [Miyata. H., Lee,Y.W., 1999]. Oleh sebab itu proses optimalisasi dalam mendesain perlu terus dilakukan sehingga didapatkan hasil yang cukup memuaskan.

BAB V

KESIMPULAN

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari desain yang dilakukan dengan perangkat lunak Flotran CFD ANSYS 5.4 melalui pendekatan aliran dua dimensi untuk layar kaku tanpa puntiran (*rigid, untwisted*), berbentuk segi empat dengan aspek rasio 5, serta besar camber 1/10 dan 1/20, dan dengan berbagai variasi sudut serang menunjukkan bahwa :

1. Layar dengan camber sebesar 1/10 mempunyai gaya dorong yang lebih besar dibandingkan dengan layar dengan camber 1/20.
2. Gaya dorong relatif akan mengalami penurunan dengan bertambahnya sudut serang (*angle of incident, α*).
3. Dengan tiga variasi *apparent wind angle* (β), yaitu 30° , 60° , dan 90° menunjukkan kecenderungan semakin bertambahnya gaya dorong seiring dengan bertambahnya *apparent wind angle*.

5.2. Saran

Dalam penelitian yang dilakukan menunjukkan kecenderungan grafik gaya gay yang cukup baik, namun dari koreksi besarnya gaya terdapat kesalahan yang cukup besar. Oleh karena itu dalam penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan proses *Grid Independence* untuk tiap model layar. Hal ini berarti bahwa proses penentuan domain, meshing, dan penentuan jumlah elemen perlu dilakukan untuk tiap model.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya perlu kiranya untuk dapat dilakukan desain layar menyangkut pengaruh aspek rasio terhadap gaya dorong, karena merupakan faktor yang cukup besar berpengaruh terhadap gaya dorong dan yang paling memungkinkan dilakukan untuk penerapannya. Selain itu cukup menarik kiranya layar yang didesain berupa layar yang fleksibel dengan berbagai bentuk (misalnya segi tiga). Untuk mendapatkan hasil yang cukup real dalam mendesain layar disarankan dianalisa dalam dengan pendekatan tiga dimensi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson Jr., J.D., *Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications*, McGraw-Hill, Singapore, 1995.
- Anderson Jr., J.D., *Fundamentals of Aerodynamics*, McGraw-Hill, Singapore, 1984.
- Kohnke, P., *ANSYS Theory Reference Release 5.4.*, SAS IP, Inc., Philadelphia, 1998.
- Kuethe, A.M., Chow, C.Y., *Foundations of Aerodynamics, Bases of Aerodynamics Design, fourth edition*, John Wiley and Sons, 1986.
- Marchaj, C.A., *Aero-Hydrodynamics of Sailing*, Granada Publishing, 1979.
- Marchaj, C.A., *Sailing Theory and Practice*, Dood Mead Company, New York, 1982.
- Miyata, H., and Lee, Y.W., *Application of CFD Simulation to Design of Sails*, Journal of Marine Science and Technology, 4 : 163-172, 1999.
- Shevell, R.S., *Fundamentals of Flight, Second edition*, Prentice-Hall, Inc., USA, 1989.

LAMPIRAN A

Tabel A.1.a. Data Cp_u , p_u , dan τ_u layar dengan camber 1/10 dan $\alpha = 10^\circ$

Bagian atas (upper) layar dengan camber 1/10, $\alpha = 10^\circ$						
Point	Node	X	Y	Cp_u	p_u	τ_u
1	10874	0.000	0.000	0.787	12.840	0.111
2	15464	0.000	0.001	0.048	1.039	0.141
3	52	0.001	0.003	-3.662	-58.245	0.120
4	2692	0.014	0.006	-3.902	-62.091	0.121
5	2693	0.029	0.009	-3.174	-50.448	0.092
6	2694	0.045	0.012	-2.202	-34.911	0.067
7	2695	0.063	0.015	-1.841	-29.152	0.056
8	2696	0.082	0.018	-1.740	-27.534	0.053
9	2697	0.103	0.022	-1.687	-26.694	0.052
10	2698	0.126	0.025	-1.626	-25.717	0.050
11	2699	0.151	0.028	-1.562	-24.695	0.049
12	2700	0.178	0.032	-1.506	-23.792	0.049
13	2701	0.208	0.035	-1.459	-23.045	0.050
14	2702	0.240	0.038	-1.420	-22.425	0.051
15	2703	0.275	0.041	-1.387	-21.895	0.053
16	2704	0.314	0.043	-1.358	-21.429	0.055
17	2705	0.356	0.044	-1.331	-21.003	0.057
18	2706	0.401	0.045	-1.305	-20.590	0.058
19	2707	0.451	0.044	-1.278	-20.154	0.059
20	2708	0.505	0.041	-1.247	-19.649	0.060
21	2709	0.563	0.037	-1.207	-19.015	0.059
22	2710	0.627	0.029	-1.155	-18.191	0.058
23	2711	0.695	0.019	-1.087	-17.102	0.055
24	2712	0.764	0.005	-1.005	-15.796	0.051
25	2713	0.826	-0.010	-0.919	-14.412	0.046
26	2714	0.882	-0.025	-0.832	-13.028	0.041
27	2715	0.934	-0.042	-0.749	-11.705	0.036
28	2716	0.981	-0.058	-0.673	-10.479	0.031
29	2717	1.023	-0.074	-0.604	-9.376	0.027
30	2718	1.062	-0.089	-0.543	-8.413	0.023
31	2719	1.097	-0.104	-0.491	-7.581	0.019
32	2720	1.130	-0.119	-0.447	-6.869	0.016
33	2721	1.159	-0.133	-0.409	-6.265	0.013
34	2722	1.186	-0.146	-0.377	-5.760	0.011
35	2723	1.210	-0.158	-0.351	-5.341	0.009
36	2724	1.232	-0.170	-0.330	-4.996	0.007
37	2725	1.253	-0.181	-0.312	-4.715	0.006
38	2726	1.271	-0.191	-0.298	-4.488	0.005
39	2727	1.288	-0.201	-0.286	-4.307	0.004
40	2728	1.304	-0.210	-0.278	-4.166	0.004
41	2729	1.318	-0.219	-0.271	-4.063	0.003
42	2730	1.331	-0.226	-0.268	-4.011	0.003
43	2642	1.343	-0.234	-0.281	-4.223	0.004
44	7764	1.343	-0.235	-0.303	-4.574	0.004
45	7704	1.342	-0.237	-0.360	-5.481	0.100

Tabel A.1.b. Data Cp_l , p_l , dan τ_l layar dengan camber 1/10 dan $\alpha = 10^\circ$

Bagian bawah (lower) layar dengan camber 1/10, $\alpha = 10^\circ$						
Point	Node	X	Y	Cp_l	p_l	τ_l
1	10874	0.000	0.000	0.787	12.840	0.111
2	10875	0.014	0.003	1.198	19.411	0.011
3	10876	0.028	0.006	1.066	17.304	0.017
4	10877	0.045	0.009	0.906	14.756	0.023
5	10878	0.062	0.012	0.816	13.314	0.026
6	10879	0.082	0.015	0.785	12.818	0.028
7	10880	0.103	0.019	0.772	12.611	0.029
8	10881	0.125	0.022	0.760	12.413	0.030
9	10882	0.150	0.025	0.748	12.217	0.031
10	10883	0.178	0.029	0.738	12.056	0.031
11	10884	0.207	0.032	0.730	11.937	0.032
12	10885	0.240	0.035	0.725	11.849	0.032
13	10886	0.275	0.038	0.721	11.784	0.032
14	10887	0.313	0.040	0.717	11.735	0.032
15	10888	0.355	0.041	0.715	11.697	0.032
16	10889	0.401	0.042	0.713	11.665	0.032
17	10890	0.450	0.041	0.711	11.634	0.032
18	10891	0.504	0.038	0.709	11.598	0.032
19	10892	0.563	0.034	0.706	11.548	0.032
20	10893	0.626	0.027	0.701	11.476	0.032
21	10894	0.695	0.016	0.694	11.358	0.033
22	10895	0.763	0.002	0.684	11.195	0.034
23	10896	0.825	-0.013	0.671	10.997	0.035
24	10897	0.882	-0.028	0.656	10.760	0.036
25	10898	0.933	-0.044	0.640	10.494	0.038
26	10899	0.980	-0.061	0.622	10.205	0.040
27	10900	1.023	-0.077	0.602	9.893	0.041
28	10901	1.062	-0.092	0.581	9.558	0.043
29	10902	1.097	-0.107	0.559	9.199	0.045
30	10903	1.129	-0.122	0.535	8.813	0.048
31	10904	1.159	-0.136	0.509	8.399	0.050
32	10905	1.185	-0.149	0.481	7.953	0.053
33	10906	1.210	-0.161	0.451	7.470	0.056
34	10907	1.232	-0.173	0.417	6.941	0.059
35	10908	1.252	-0.184	0.381	6.360	0.062
36	10909	1.271	-0.194	0.340	5.711	0.066
37	10910	1.288	-0.204	0.294	4.967	0.071
38	10911	1.303	-0.213	0.239	4.088	0.078
39	10912	1.317	-0.222	0.171	2.998	0.087
40	10913	1.330	-0.229	0.082	1.588	0.099
41	7704	1.342	-0.237	-0.360	-5.481	0.100

Tabel A.2.a. Data C_p_u , p_u , dan τ_u layar dengan camber 1/10 dan $\alpha = 15^\circ$

Bagian atas (upper) layar dengan camber 1/10, $\alpha = 15^\circ$						
Point	Node	X	Y	C_p_u	p_u	τ_u
1	10874	0.000	0.000	0.728	11.901	0.133
2	15464	0.000	0.001	-0.218	-3.222	0.166
3	52	0.001	0.003	-4.459	-70.992	0.153
4	2692	0.015	0.004	-5.436	-86.610	0.106
5	2693	0.030	0.006	-4.072	-64.814	0.068
6	2694	0.046	0.008	-2.623	-41.652	0.045
7	2695	0.064	0.009	-2.212	-35.075	0.039
8	2696	0.083	0.011	-2.067	-32.768	0.034
9	2697	0.105	0.013	-1.968	-31.189	0.032
10	2698	0.128	0.014	-1.864	-29.525	0.028
11	2699	0.153	0.015	-1.765	-27.942	0.025
12	2700	0.180	0.016	-1.677	-26.539	0.022
13	2701	0.210	0.017	-1.598	-25.271	0.021
14	2702	0.242	0.017	-1.523	-24.075	0.021
15	2703	0.278	0.016	-1.453	-22.947	0.022
16	2704	0.316	0.015	-1.386	-21.879	0.023
17	2705	0.358	0.013	-1.322	-20.857	0.024
18	2706	0.403	0.009	-1.259	-19.855	0.024
19	2707	0.453	0.004	-1.196	-18.840	0.024
20	2708	0.506	-0.003	-1.129	-17.775	0.024
21	2709	0.564	-0.013	-1.057	-16.626	0.023
22	2710	0.627	-0.025	-0.979	-15.378	0.021
23	2711	0.694	-0.042	-0.893	-14.010	0.018
24	2712	0.761	-0.061	-0.807	-12.633	0.014
25	2713	0.822	-0.082	-0.730	-11.397	0.011
26	2714	0.877	-0.102	-0.664	-10.347	0.008
27	2715	0.927	-0.123	-0.611	-9.498	0.006
28	2716	0.972	-0.143	-0.569	-8.823	0.004
29	2717	1.013	-0.163	-0.535	-8.292	0.002
30	2718	1.050	-0.182	-0.510	-7.881	0.001
31	2719	1.084	-0.200	-0.490	-7.563	0.001
32	2720	1.115	-0.217	-0.474	-7.318	0.000
33	2721	1.143	-0.233	-0.462	-7.124	0.000
34	2722	1.169	-0.249	-0.453	-6.975	0.000
35	2723	1.192	-0.263	-0.446	-6.866	0.000
36	2724	1.213	-0.277	-0.441	-6.776	0.000
37	2725	1.232	-0.290	-0.435	-6.682	0.001
38	2726	1.250	-0.302	-0.428	-6.581	0.001
39	2727	1.266	-0.313	-0.422	-6.472	0.001
40	2728	1.281	-0.323	-0.414	-6.352	0.000
41	2729	1.294	-0.333	-0.406	-6.226	0.000
42	2730	1.306	-0.342	-0.402	-6.155	0.000
43	2642	1.317	-0.350	-0.410	-6.291	0.000
44	7764	1.317	-0.351	-0.433	-6.656	0.005
45	7704	1.317	-0.353	-0.507	-7.836	0.117



Tabel A.2.b. Data (C_p , p_l , dan τ_l) layar dengan camber 1/10 dan $\alpha = 15^\circ$

Bagian bawah (lower) layar dengan camber 1/10, $\alpha = 15^\circ$						
Point	Node	X	Y	C_{p_l}	p_l	τ_l
1	10874	0.000	0.000	0.728	11.901	0.133
2	10875	0.014	0.002	1.267	20.511	0.003
3	10876	0.029	0.003	1.158	18.763	0.010
4	10877	0.045	0.005	1.012	16.431	0.016
5	10878	0.063	0.007	0.917	14.920	0.020
6	10879	0.083	0.008	0.877	14.284	0.022
7	10880	0.104	0.010	0.858	13.968	0.024
8	10881	0.127	0.011	0.840	13.688	0.025
9	10882	0.152	0.012	0.823	13.416	0.026
10	10883	0.179	0.013	0.808	13.180	0.027
11	10884	0.209	0.014	0.796	12.989	0.028
12	10885	0.242	0.014	0.786	12.832	0.029
13	10886	0.277	0.014	0.778	12.701	0.029
14	10887	0.315	0.012	0.771	12.589	0.030
15	10888	0.357	0.010	0.765	12.491	0.030
16	10889	0.403	0.006	0.759	12.401	0.030
17	10890	0.452	0.001	0.754	12.314	0.031
18	10891	0.505	-0.006	0.748	12.223	0.031
19	10892	0.563	-0.015	0.742	12.120	0.032
20	10893	0.626	-0.028	0.734	11.995	0.032
21	10894	0.694	-0.045	0.723	11.824	0.033
22	10895	0.760	-0.064	0.710	11.610	0.035
23	10896	0.821	-0.084	0.695	11.366	0.036
24	10897	0.876	-0.105	0.677	11.084	0.038
25	10898	0.926	-0.126	0.658	10.774	0.040
26	10899	0.971	-0.146	0.637	10.438	0.042
27	10900	1.012	-0.165	0.614	10.078	0.044
28	10901	1.050	-0.184	0.590	9.692	0.046
29	10902	1.083	-0.203	0.564	9.277	0.049
30	10903	1.114	-0.220	0.536	8.833	0.051
31	10904	1.142	-0.236	0.506	8.356	0.054
32	10905	1.168	-0.252	0.474	7.840	0.057
33	10906	1.191	-0.266	0.439	7.280	0.061
34	10907	1.212	-0.280	0.401	6.666	0.065
35	10908	1.231	-0.293	0.358	5.987	0.069
36	10909	1.249	-0.304	0.310	5.226	0.074
37	10910	1.265	-0.316	0.256	4.356	0.080
38	10911	1.280	-0.326	0.192	3.326	0.088
39	10912	1.293	-0.336	0.113	2.063	0.099
40	10913	1.305	-0.344	0.009	0.415	0.114
41	7704	1.317	-0.353	-0.507	-7.836	0.117

Tabel A.3.a. Data C_p_u , p_u , dan τ_u layar dengan camber 1/10 dan $\alpha = 20^\circ$

Bagian atas (upper) layar dengan camber 1/10, $\alpha = 20^\circ$						
Point	Node	X	Y	C_p_u	p_u	τ_u
1	10874	0.000	0.000	0.807	13.253	0.113
2	15464	0.001	0.001	0.049	1.135	0.141
3	52	0.001	0.003	-3.129	-49.653	0.071
4	2692	0.015	0.003	-3.135	-49.735	0.060
5	2693	0.030	0.004	-2.326	-36.815	0.044
6	2694	0.047	0.004	-1.464	-23.045	0.032
7	2695	0.064	0.004	-1.479	-23.276	0.014
8	2696	0.084	0.004	-1.499	-23.595	0.009
9	2697	0.105	0.003	-1.463	-23.022	0.005
10	2698	0.128	0.003	-1.400	-22.022	0.003
11	2699	0.154	0.002	-1.337	-21.001	0.001
12	2700	0.181	0.000	-1.281	-20.109	0.000
13	2701	0.211	-0.002	-1.219	-19.124	0.004
14	2702	0.243	-0.004	-1.116	-17.471	0.002
15	2703	0.278	-0.008	-1.046	-16.354	0.000
16	2704	0.316	-0.012	-0.977	-15.262	0.000
17	2705	0.358	-0.018	-0.934	-14.561	0.000
18	2706	0.403	-0.026	-0.902	-14.062	0.001
19	2707	0.451	-0.035	-0.876	-13.635	0.002
20	2708	0.504	-0.047	-0.841	-13.082	0.002
21	2709	0.561	-0.062	-0.804	-12.496	0.003
22	2710	0.622	-0.080	-0.773	-11.997	0.003
23	2711	0.688	-0.102	-0.747	-11.576	0.003
24	2712	0.753	-0.127	-0.729	-11.291	0.004
25	2713	0.812	-0.153	-0.719	-11.127	0.004
26	2714	0.864	-0.178	-0.714	-11.061	0.005
27	2715	0.912	-0.203	-0.714	-11.054	0.005
28	2716	0.956	-0.227	-0.715	-11.072	0.006
29	2717	0.995	-0.250	-0.716	-11.085	0.007
30	2718	1.030	-0.272	-0.715	-11.067	0.008
31	2719	1.063	-0.293	-0.711	-11.004	0.009
32	2720	1.092	-0.313	-0.704	-10.890	0.009
33	2721	1.118	-0.332	-0.694	-10.728	0.009
34	2722	1.142	-0.350	-0.681	-10.527	0.009
35	2723	1.164	-0.366	-0.667	-10.296	0.008
36	2724	1.184	-0.382	-0.651	-10.046	0.007
37	2725	1.202	-0.396	-0.635	-9.792	0.006
38	2726	1.219	-0.409	-0.620	-9.545	0.005
39	2727	1.234	-0.422	-0.605	-9.311	0.004
40	2728	1.248	-0.433	-0.591	-9.092	0.003
41	2729	1.260	-0.444	-0.580	-8.916	0.001
42	2730	1.271	-0.454	-0.581	-8.923	0.000
43	2642	1.282	-0.463	-0.617	-9.509	0.000
44	7764	1.281	-0.465	-0.650	-10.030	0.005
45	7704	1.281	-0.466	-0.740	-11.469	0.139

Tabel A.3.b. Data C_p , p_l , dan τ_l layar dengan camber 1/10 dan $\alpha = 20^\circ$

Bagian bawah (lower) layar dengan camber 1/10, $\alpha = 20^\circ$						
Point	Node	X	Y	C_{p_l}	p_l	τ_l
1	10874	0.000	0.000	0.807	13.253	0.113
2	10875	0.014	0.000	1.288	20.941	0.002
3	10876	0.029	0.001	1.209	19.671	0.008
4	10877	0.046	0.001	1.082	17.643	0.013
5	10878	0.063	0.001	0.991	16.201	0.017
6	10879	0.083	0.001	0.947	15.494	0.020
7	10880	0.104	0.001	0.923	15.100	0.021
8	10881	0.127	0.000	0.901	14.760	0.023
9	10882	0.153	-0.001	0.881	14.437	0.024
10	10883	0.180	-0.002	0.863	14.153	0.025
11	10884	0.210	-0.004	0.848	13.911	0.026
12	10885	0.242	-0.007	0.835	13.703	0.027
13	10886	0.277	-0.011	0.824	13.521	0.028
14	10887	0.315	-0.015	0.814	13.358	0.029
15	10888	0.357	-0.021	0.804	13.208	0.029
16	10889	0.402	-0.029	0.795	13.067	0.030
17	10890	0.450	-0.038	0.787	12.928	0.030
18	10891	0.503	-0.050	0.778	12.784	0.031
19	10892	0.560	-0.064	0.768	12.627	0.032
20	10893	0.621	-0.083	0.756	12.446	0.033
21	10894	0.687	-0.105	0.742	12.215	0.034
22	10895	0.752	-0.130	0.725	11.941	0.036
23	10896	0.810	-0.156	0.706	11.637	0.038
24	10897	0.863	-0.181	0.684	11.295	0.040
25	10898	0.911	-0.206	0.661	10.922	0.042
26	10899	0.955	-0.230	0.636	10.520	0.044
27	10900	0.994	-0.253	0.609	10.089	0.047
28	10901	1.029	-0.275	0.580	9.626	0.050
29	10902	1.062	-0.296	0.549	9.130	0.053
30	10903	1.091	-0.316	0.516	8.597	0.056
31	10904	1.117	-0.335	0.480	8.023	0.060
32	10905	1.141	-0.352	0.441	7.402	0.063
33	10906	1.163	-0.369	0.399	6.725	0.068
34	10907	1.183	-0.384	0.352	5.982	0.073
35	10908	1.201	-0.399	0.300	5.157	0.078
36	10909	1.218	-0.412	0.242	4.231	0.084
37	10910	1.233	-0.425	0.176	3.168	0.092
38	10911	1.247	-0.436	0.097	1.913	0.102
39	10912	1.259	-0.447	0.002	0.390	0.116
40	10913	1.270	-0.457	-0.123	-1.616	0.135
41	7704	1.281	-0.466	-0.740	-11.469	0.139

Tabel A.4.a. Data C_p_u , p_u , dan τ_u layar dengan camber 1/10 dan $\alpha = 25^\circ$

Bagian atas (upper) layar dengan camber 1/10, $\alpha = 25^\circ$						
Point	Node	X	Y	C_p_u	p_u	τ_u
1	10874	0.000	0.000	0.940	15.285	0.092
2	15464	0.001	0.001	0.289	4.881	0.113
3	52	0.001	0.003	-2.209	-35.038	0.035
4	2692	0.015	0.002	-2.425	-38.492	0.016
5	2693	0.030	0.001	-1.256	-19.809	0.027
6	2694	0.047	0.000	-0.751	-11.734	0.017
7	2695	0.065	-0.002	-0.986	-15.485	0.006
8	2696	0.084	-0.004	-0.968	-15.209	0.002
9	2697	0.105	-0.006	-0.928	-14.560	0.000
10	2698	0.128	-0.008	-0.906	-14.209	0.001
11	2699	0.153	-0.012	-0.891	-13.972	0.002
12	2700	0.180	-0.015	-0.878	-13.766	0.003
13	2701	0.210	-0.020	-0.861	-13.500	0.004
14	2702	0.242	-0.025	-0.844	-13.220	0.005
15	2703	0.276	-0.032	-0.827	-12.946	0.005
16	2704	0.314	-0.040	-0.809	-12.670	0.005
17	2705	0.355	-0.049	-0.793	-12.409	0.005
18	2706	0.399	-0.061	-0.778	-12.167	0.005
19	2707	0.447	-0.074	-0.764	-11.945	0.005
20	2708	0.498	-0.091	-0.752	-11.746	0.005
21	2709	0.553	-0.110	-0.741	-11.571	0.005
22	2710	0.613	-0.134	-0.732	-11.424	0.005
23	2711	0.677	-0.162	-0.725	-11.317	0.005
24	2712	0.739	-0.192	-0.721	-11.250	0.005
25	2713	0.795	-0.223	-0.718	-11.204	0.005
26	2714	0.846	-0.253	-0.715	-11.159	0.005
27	2715	0.891	-0.282	-0.711	-11.101	0.006
28	2716	0.932	-0.310	-0.706	-11.023	0.006
29	2717	0.969	-0.336	-0.700	-10.923	0.006
30	2718	1.003	-0.361	-0.693	-10.804	0.006
31	2719	1.033	-0.385	-0.684	-10.669	0.005
32	2720	1.060	-0.407	-0.675	-10.524	0.005
33	2721	1.085	-0.428	-0.666	-10.375	0.004
34	2722	1.108	-0.448	-0.657	-10.228	0.004
35	2723	1.128	-0.466	-0.648	-10.088	0.003
36	2724	1.146	-0.483	-0.640	-9.961	0.002
37	2725	1.163	-0.499	-0.633	-9.851	0.002
38	2726	1.179	-0.514	-0.628	-9.764	0.001
39	2727	1.192	-0.528	-0.624	-9.703	0.001
40	2728	1.205	-0.540	-0.622	-9.679	0.000
41	2729	1.217	-0.552	-0.626	-9.737	0.000
42	2730	1.227	-0.563	-0.638	-9.928	0.001
43	2642	1.237	-0.573	-0.666	-10.384	0.003
44	7764	1.236	-0.575	-0.708	-11.049	0.005
45	7704	1.235	-0.576	-0.808	-12.642	0.144

Tabel A.4.b. Data Cp_l , p_l , dan τ_l layar dengan camber 1/10 dan $\alpha = 25^\circ$

Bagian bawah (lower) layar dengan camber 1/10, $\alpha = 25^\circ$						
Point	Node	X	Y	Cp_l	p_l	τ_l
1	10874	0.000	0.000	0.940	15.285	0.092
2	10875	0.014	-0.001	1.343	21.725	0.002
3	10876	0.029	-0.002	1.275	20.634	0.007
4	10877	0.045	-0.003	1.167	18.915	0.012
5	10878	0.063	-0.005	1.086	17.615	0.015
6	10879	0.083	-0.006	1.039	16.874	0.017
7	10880	0.104	-0.009	1.010	16.398	0.019
8	10881	0.127	-0.011	0.984	15.987	0.021
9	10882	0.152	-0.014	0.960	15.604	0.022
10	10883	0.179	-0.018	0.938	15.262	0.023
11	10884	0.208	-0.023	0.920	14.963	0.024
12	10885	0.240	-0.028	0.903	14.700	0.025
13	10886	0.275	-0.035	0.888	14.463	0.026
14	10887	0.313	-0.043	0.875	14.247	0.027
15	10888	0.354	-0.052	0.862	14.046	0.027
16	10889	0.398	-0.064	0.850	13.855	0.028
17	10890	0.445	-0.077	0.839	13.667	0.029
18	10891	0.497	-0.093	0.827	13.477	0.030
19	10892	0.552	-0.113	0.814	13.275	0.031
20	10893	0.612	-0.136	0.800	13.051	0.032
21	10894	0.675	-0.164	0.783	12.780	0.033
22	10895	0.738	-0.195	0.764	12.470	0.035
23	10896	0.794	-0.226	0.743	12.137	0.037
24	10897	0.844	-0.256	0.720	11.770	0.040
25	10898	0.890	-0.284	0.695	11.373	0.042
26	10899	0.931	-0.312	0.669	10.951	0.045
27	10900	0.968	-0.339	0.640	10.500	0.047
28	10901	1.002	-0.364	0.610	10.020	0.050
29	10902	1.032	-0.388	0.578	9.507	0.054
30	10903	1.059	-0.410	0.544	8.958	0.057
31	10904	1.084	-0.431	0.507	8.369	0.061
32	10905	1.106	-0.451	0.467	7.733	0.065
33	10906	1.127	-0.469	0.424	7.043	0.070
34	10907	1.145	-0.486	0.377	6.287	0.075
35	10908	1.162	-0.502	0.324	5.450	0.080
36	10909	1.177	-0.517	0.265	4.507	0.087
37	10910	1.191	-0.530	0.198	3.428	0.095
38	10911	1.204	-0.543	0.118	2.159	0.106
39	10912	1.215	-0.555	0.024	0.644	0.122
40	10913	1.226	-0.566	-0.105	-1.413	0.142
41	7704	1.235	-0.576	-0.808	-12.642	0.144

Tabel A.5.a. Data C_p_u , p_u , dan τ_u layar dengan camber 1/10 dan $\alpha = 30^\circ$

Bagian atas (upper) layar dengan camber 1/10, $\alpha = 30^\circ$						
Point	Node	X	Y	C_p_u	p_u	τ_u
1	10874	0.000	0.000	0.995	16.165	0.073
2	15464	0.001	0.001	0.433	7.193	0.087
3	52	0.002	0.003	-1.351	-21.317	0.019
4	2692	0.015	0.001	-1.442	-22.771	0.022
5	2693	0.030	-0.002	-0.887	-13.899	0.007
6	2694	0.046	-0.004	-0.807	-12.621	0.001
7	2695	0.064	-0.007	-0.766	-11.967	0.006
8	2696	0.083	-0.011	-0.755	-11.802	0.004
9	2697	0.104	-0.015	-0.749	-11.691	0.003
10	2698	0.127	-0.020	-0.745	-11.640	0.003
11	2699	0.152	-0.025	-0.744	-11.619	0.003
12	2700	0.178	-0.031	-0.742	-11.594	0.003
13	2701	0.207	-0.038	-0.741	-11.564	0.003
14	2702	0.239	-0.046	-0.739	-11.535	0.003
15	2703	0.273	-0.056	-0.737	-11.510	0.003
16	2704	0.309	-0.067	-0.736	-11.494	0.003
17	2705	0.349	-0.080	-0.736	-11.486	0.003
18	2706	0.392	-0.095	-0.736	-11.487	0.004
19	2707	0.438	-0.113	-0.736	-11.496	0.004
20	2708	0.488	-0.134	-0.738	-11.515	0.004
21	2709	0.542	-0.158	-0.739	-11.545	0.004
22	2710	0.599	-0.187	-0.742	-11.585	0.004
23	2711	0.660	-0.220	-0.745	-11.628	0.005
24	2712	0.719	-0.256	-0.746	-11.655	0.005
25	2713	0.773	-0.291	-0.746	-11.649	0.006
26	2714	0.820	-0.326	-0.743	-11.605	0.006
27	2715	0.863	-0.358	-0.738	-11.527	0.006
28	2716	0.902	-0.390	-0.732	-11.420	0.006
29	2717	0.936	-0.419	-0.724	-11.292	0.006
30	2718	0.968	-0.447	-0.715	-11.152	0.006
31	2719	0.996	-0.473	-0.706	-11.005	0.005
32	2720	1.021	-0.498	-0.697	-10.861	0.004
33	2721	1.044	-0.521	-0.688	-10.723	0.004
34	2722	1.064	-0.543	-0.680	-10.596	0.003
35	2723	1.083	-0.563	-0.673	-10.485	0.002
36	2724	1.100	-0.581	-0.667	-10.391	0.002
37	2725	1.115	-0.599	-0.663	-10.319	0.001
38	2726	1.129	-0.615	-0.660	-10.269	0.001
39	2727	1.142	-0.630	-0.658	-10.246	0.000
40	2728	1.153	-0.643	-0.659	-10.263	0.000
41	2729	1.164	-0.656	-0.664	-10.348	0.000
42	2730	1.173	-0.668	-0.676	-10.531	0.001
43	2642	1.182	-0.679	-0.700	-10.920	0.003
44	7764	1.181	-0.680	-0.743	-11.601	0.006
45	7704	1.180	-0.682	-0.861	-13.487	0.152

Tabel A.5.b. Data (p_l , p_i , dan τ_l) layar dengan camber 1/10 dan $\alpha = 30^\circ$

Bagian bawah (lower) layar dengan camber 1/10, $\alpha = 30^\circ$						
Point	Node	X	Y	C _{p_l}	p _l	τ_l
1	10874	0.000	0.000	0.995	16.165	0.073
2	10875	0.014	-0.002	1.331	21.536	0.001
3	10876	0.029	-0.004	1.276	20.659	0.005
4	10877	0.045	-0.007	1.189	19.267	0.009
5	10878	0.063	-0.010	1.122	18.207	0.012
6	10879	0.082	-0.014	1.082	17.555	0.014
7	10880	0.103	-0.018	1.053	17.103	0.016
8	10881	0.125	-0.022	1.029	16.709	0.017
9	10882	0.150	-0.027	1.006	16.344	0.019
10	10883	0.177	-0.034	0.985	16.017	0.020
11	10884	0.206	-0.041	0.967	15.726	0.021
12	10885	0.237	-0.049	0.951	15.463	0.022
13	10886	0.271	-0.059	0.936	15.223	0.023
14	10887	0.308	-0.070	0.922	15.000	0.024
15	10888	0.348	-0.083	0.909	14.789	0.025
16	10889	0.391	-0.098	0.896	14.586	0.026
17	10890	0.437	-0.116	0.883	14.386	0.027
18	10891	0.487	-0.136	0.871	14.181	0.028
19	10892	0.540	-0.161	0.857	13.965	0.029
20	10893	0.597	-0.189	0.842	13.727	0.030
21	10894	0.658	-0.223	0.824	13.442	0.032
22	10895	0.718	-0.259	0.804	13.122	0.034
23	10896	0.771	-0.294	0.783	12.783	0.036
24	10897	0.819	-0.328	0.760	12.412	0.039
25	10898	0.862	-0.361	0.735	12.013	0.041
26	10899	0.900	-0.392	0.708	11.589	0.044
27	10900	0.935	-0.422	0.680	11.138	0.047
28	10901	0.966	-0.450	0.650	10.658	0.050
29	10902	0.994	-0.476	0.618	10.145	0.054
30	10903	1.019	-0.501	0.584	9.596	0.058
31	10904	1.042	-0.524	0.547	9.006	0.062
32	10905	1.063	-0.545	0.507	8.370	0.066
33	10906	1.082	-0.565	0.464	7.680	0.071
34	10907	1.098	-0.584	0.416	6.923	0.076
35	10908	1.114	-0.601	0.364	6.083	0.082
36	10909	1.128	-0.617	0.304	5.136	0.090
37	10910	1.140	-0.632	0.236	4.047	0.099
38	10911	1.152	-0.646	0.156	2.767	0.111
39	10912	1.162	-0.659	0.062	1.265	0.129
40	10913	1.172	-0.671	-0.072	-0.875	0.152
41	7704	1.180	-0.682	-0.861	-13.487	0.152

Tabel A.6.a. Data C_p_u , p_u , dan τ_u layar dengan camber 1/20 dan $\alpha = 10^\circ$

Bagian atas (upper) layar dengan camber 1/20, $\alpha = 10^\circ$						
Point	Node	X	Y	C_p_u	p_u	τ_u
1	10874	0.000	0.000	0.845	13.630	0.099
2	15464	0.000	0.001	0.171	2.873	0.127
3	52	0.001	0.003	-3.292	-52.475	0.096
4	2692	0.014	0.003	-3.518	-56.091	0.136
5	2693	0.029	0.003	-2.903	-46.256	0.094
6	2694	0.045	0.004	-1.812	-28.829	0.069
7	2695	0.063	0.004	-1.553	-24.685	0.051
8	2696	0.082	0.004	-1.517	-24.107	0.046
9	2697	0.103	0.004	-1.473	-23.410	0.040
10	2698	0.126	0.004	-1.396	-22.167	0.034
11	2699	0.150	0.003	-1.309	-20.786	0.030
12	2700	0.177	0.003	-1.232	-19.546	0.027
13	2701	0.206	0.002	-1.165	-18.485	0.026
14	2702	0.238	0.000	-1.106	-17.547	0.025
15	2703	0.273	-0.001	-1.052	-16.682	0.024
16	2704	0.310	-0.004	-1.001	-15.861	0.024
17	2705	0.351	-0.006	-0.951	-15.065	0.024
18	2706	0.396	-0.010	-0.902	-14.287	0.024
19	2707	0.444	-0.015	-0.855	-13.524	0.024
20	2708	0.497	-0.021	-0.807	-12.769	0.024
21	2709	0.554	-0.028	-0.760	-12.004	0.023
22	2710	0.616	-0.037	-0.710	-11.213	0.023
23	2711	0.684	-0.048	-0.658	-10.385	0.022
24	2712	0.751	-0.061	-0.608	-9.584	0.021
25	2713	0.812	-0.074	-0.563	-8.861	0.019
26	2714	0.868	-0.086	-0.522	-8.202	0.018
27	2715	0.920	-0.099	-0.484	-7.603	0.017
28	2716	0.967	-0.111	-0.450	-7.062	0.015
29	2717	1.010	-0.123	-0.420	-6.578	0.014
30	2718	1.049	-0.134	-0.393	-6.146	0.013
31	2719	1.086	-0.145	-0.369	-5.762	0.012
32	2720	1.119	-0.155	-0.348	-5.420	0.011
33	2721	1.149	-0.165	-0.329	-5.118	0.010
34	2722	1.177	-0.174	-0.312	-4.851	0.009
35	2723	1.202	-0.182	-0.297	-4.616	0.008
36	2724	1.226	-0.190	-0.284	-4.410	0.008
37	2725	1.247	-0.198	-0.273	-4.231	0.007
38	2726	1.267	-0.205	-0.263	-4.077	0.007
39	2727	1.285	-0.212	-0.255	-3.947	0.006
40	2728	1.301	-0.218	-0.249	-3.842	0.006
41	2729	1.316	-0.223	-0.244	-3.769	0.006
42	2730	1.330	-0.229	-0.243	-3.746	0.007
43	2642	1.343	-0.234	-0.275	-4.260	0.007
44	7764	1.343	-0.235	-0.301	-4.678	0.003
45	7704	1.342	-0.237	-0.344	-5.367	0.095

Tabel A.6.b. Data Cp_l , p_l , dan τ_l layar dengan camber 1/20 dan $\alpha = 10^\circ$

Bagian bawah (lower) layar dengan camber 1/20, $\alpha = 10^\circ$						
Point	Node	X	Y	Cp_l	p_l	τ_l
1	10874	0.000	0.000	0.845	13.630	0.099
2	10875	0.014	0.000	1.225	19.713	0.009
3	10876	0.029	0.001	1.076	17.331	0.017
4	10877	0.045	0.001	0.905	14.597	0.024
5	10878	0.062	0.001	0.801	12.938	0.029
6	10879	0.081	0.001	0.756	12.221	0.031
7	10880	0.102	0.001	0.731	11.808	0.033
8	10881	0.125	0.001	0.706	11.417	0.035
9	10882	0.150	0.000	0.682	11.032	0.037
10	10883	0.177	0.000	0.660	10.687	0.038
11	10884	0.206	-0.001	0.642	10.388	0.039
12	10885	0.238	-0.003	0.625	10.125	0.040
13	10886	0.272	-0.004	0.610	9.889	0.041
14	10887	0.310	-0.006	0.597	9.673	0.041
15	10888	0.351	-0.009	0.584	9.471	0.042
16	10889	0.395	-0.013	0.572	9.278	0.043
17	10890	0.444	-0.018	0.560	9.090	0.043
18	10891	0.496	-0.024	0.549	8.899	0.044
19	10892	0.554	-0.031	0.536	8.699	0.045
20	10893	0.616	-0.040	0.522	8.482	0.046
21	10894	0.683	-0.051	0.507	8.231	0.047
22	10895	0.750	-0.064	0.490	7.964	0.048
23	10896	0.811	-0.076	0.473	7.697	0.049
24	10897	0.868	-0.089	0.456	7.420	0.050
25	10898	0.919	-0.102	0.438	7.131	0.051
26	10899	0.966	-0.114	0.419	6.831	0.053
27	10900	1.009	-0.125	0.400	6.520	0.054
28	10901	1.049	-0.137	0.379	6.198	0.056
29	10902	1.085	-0.148	0.358	5.862	0.058
30	10903	1.118	-0.158	0.337	5.511	0.059
31	10904	1.148	-0.167	0.313	5.143	0.061
32	10905	1.176	-0.177	0.289	4.755	0.063
33	10906	1.202	-0.185	0.263	4.343	0.065
34	10907	1.225	-0.193	0.236	3.904	0.068
35	10908	1.246	-0.201	0.206	3.430	0.070
36	10909	1.266	-0.208	0.174	2.908	0.073
37	10910	1.284	-0.215	0.137	2.321	0.077
38	10911	1.301	-0.221	0.094	1.638	0.081
39	10912	1.316	-0.226	0.041	0.785	0.086
40	10913	1.330	-0.232	-0.027	-0.304	0.094
41	7704	1.342	-0.237	-0.344	-5.367	0.095

Tabel A.7.a. Data $C_p u$, p_u , dan τ_u layar dengan camber 1/20 dan $\alpha = 12^\circ$

Bagian atas (upper) layar dengan camber 1/20, $\alpha = 12^\circ$						
Point	Node	X	Y	$C_p u$	p_u	τ_u
1	10874	0.000	0.000	0.820	13.270	0.107
2	15464	0.000	0.001	0.063	1.176	0.137
3	52	0.001	0.003	-3.667	-58.432	0.136
4	2692	0.014	0.003	-4.911	-78.316	0.097
5	2693	0.029	0.002	-3.624	-57.750	0.078
6	2694	0.045	0.002	-2.192	-34.862	0.046
7	2695	0.063	0.002	-1.805	-28.669	0.040
8	2696	0.082	0.001	-1.665	-26.439	0.035
9	2697	0.103	0.000	-1.565	-24.842	0.033
10	2698	0.126	-0.001	-1.455	-23.091	0.028
11	2699	0.150	-0.002	-1.354	-21.473	0.022
12	2700	0.177	-0.004	-1.270	-20.131	0.018
13	2701	0.206	-0.006	-1.199	-18.992	0.014
14	2702	0.238	-0.008	-1.134	-17.956	0.012
15	2703	0.273	-0.011	-1.072	-16.971	0.011
16	2704	0.310	-0.014	-1.013	-16.022	0.011
17	2705	0.351	-0.019	-0.956	-15.114	0.011
18	2706	0.395	-0.024	-0.902	-14.243	0.011
19	2707	0.444	-0.030	-0.849	-13.396	0.010
20	2708	0.496	-0.038	-0.796	-12.558	0.010
21	2709	0.553	-0.047	-0.744	-11.718	0.009
22	2710	0.614	-0.059	-0.691	-10.873	0.009
23	2711	0.681	-0.072	-0.638	-10.021	0.008
24	2712	0.748	-0.087	-0.588	-9.235	0.007
25	2713	0.809	-0.102	-0.547	-8.567	0.006
26	2714	0.865	-0.116	-0.511	-7.996	0.005
27	2715	0.916	-0.131	-0.480	-7.509	0.004
28	2716	0.962	-0.144	-0.454	-7.092	0.004
29	2717	1.005	-0.158	-0.432	-6.735	0.003
30	2718	1.044	-0.170	-0.413	-6.428	0.003
31	2719	1.080	-0.182	-0.396	-6.164	0.002
32	2720	1.113	-0.194	-0.382	-5.938	0.002
33	2721	1.143	-0.205	-0.370	-5.742	0.002
34	2722	1.170	-0.215	-0.359	-5.573	0.001
35	2723	1.195	-0.224	-0.350	-5.426	0.001
36	2724	1.218	-0.233	-0.342	-5.299	0.001
37	2725	1.239	-0.241	-0.335	-5.188	0.001
38	2726	1.259	-0.249	-0.329	-5.091	0.001
39	2727	1.276	-0.256	-0.324	-5.007	0.001
40	2728	1.293	-0.263	-0.319	-4.934	0.001
41	2729	1.308	-0.269	-0.315	-4.871	0.001
42	2730	1.321	-0.275	-0.314	-4.845	0.002
43	2642	1.334	-0.280	-0.332	-5.143	0.002
44	7764	1.334	-0.282	-0.360	-5.584	0.003
45	7704	1.333	-0.283	-0.421	-6.559	0.102

Tabel A.7.b. Data Cp_l , p_l , dan τ_l layar dengan camber 1/20 dan $\alpha = 12^\circ$

Bagian bawah (lower) layar dengan camber 1/20, $\alpha = 12^\circ$						
Point	Node	X	Y	Cp_l	p_l	τ_l
1	10874	0.000	0.000	0.820	13.270	0.107
2	10875	0.014	0.000	1.239	19.964	0.007
3	10876	0.029	0.000	1.115	17.981	0.014
4	10877	0.045	-0.001	0.954	15.410	0.021
5	10878	0.062	-0.001	0.850	13.755	0.025
6	10879	0.081	-0.002	0.803	12.993	0.028
7	10880	0.102	-0.003	0.774	12.538	0.031
8	10881	0.125	-0.004	0.747	12.108	0.033
9	10882	0.150	-0.005	0.721	11.685	0.034
10	10883	0.176	-0.007	0.697	11.300	0.036
11	10884	0.206	-0.008	0.676	10.963	0.037
12	10885	0.237	-0.011	0.657	10.664	0.038
13	10886	0.272	-0.014	0.640	10.392	0.039
14	10887	0.309	-0.017	0.624	10.140	0.040
15	10888	0.350	-0.022	0.609	9.903	0.041
16	10889	0.395	-0.027	0.595	9.676	0.042
17	10890	0.443	-0.033	0.581	9.452	0.043
18	10891	0.495	-0.041	0.567	9.225	0.044
19	10892	0.552	-0.050	0.552	8.989	0.044
20	10893	0.614	-0.062	0.536	8.734	0.045
21	10894	0.681	-0.075	0.518	8.443	0.047
22	10895	0.747	-0.090	0.499	8.135	0.048
23	10896	0.808	-0.105	0.480	7.831	0.049
24	10897	0.864	-0.119	0.460	7.517	0.051
25	10898	0.915	-0.134	0.440	7.193	0.052
26	10899	0.962	-0.147	0.419	6.857	0.054
27	10900	1.004	-0.161	0.397	6.511	0.056
28	10901	1.043	-0.173	0.375	6.151	0.057
29	10902	1.079	-0.185	0.351	5.777	0.059
30	10903	1.112	-0.197	0.327	5.386	0.061
31	10904	1.142	-0.207	0.301	4.976	0.063
32	10905	1.169	-0.218	0.274	4.543	0.066
33	10906	1.195	-0.227	0.245	4.084	0.068
34	10907	1.218	-0.236	0.214	3.593	0.071
35	10908	1.239	-0.244	0.181	3.063	0.074
36	10909	1.258	-0.252	0.145	2.480	0.077
37	10910	1.276	-0.259	0.104	1.824	0.081
38	10911	1.292	-0.266	0.056	1.062	0.085
39	10912	1.307	-0.272	-0.003	0.117	0.092
40	10913	1.321	-0.278	-0.078	-1.086	0.101
41	7704	1.333	-0.283	-0.421	-6.559	0.102

Tabel A.8.a. Data C_p_u , p_u , dan τ_u layar dengan camber 1/20 dan $\alpha = 15^\circ$

Bagian atas (upper) layar dengan camber 1/20, $\alpha = 15^\circ$						
Point	Node	X	Y	C_p_u	p_u	τ_u
1	10874	0.000	0.000	0.904	14.707	0.101
2	15464	0.000	0.001	0.216	3.714	0.128
3	52	0.001	0.003	-3.074	-48.863	0.055
4	2692	0.014	0.002	-3.535	-56.227	0.069
5	2693	0.029	0.001	-2.551	-40.500	0.056
6	2694	0.045	0.000	-1.461	-23.092	0.027
7	2695	0.063	-0.002	-1.352	-21.351	0.018
8	2696	0.082	-0.003	-1.356	-21.405	0.014
9	2697	0.103	-0.005	-1.319	-20.822	0.011
10	2698	0.125	-0.007	-1.254	-19.787	0.008
11	2699	0.150	-0.010	-1.187	-18.712	0.005
12	2700	0.177	-0.013	-1.128	-17.765	0.003
13	2701	0.206	-0.016	-1.076	-16.930	0.001
14	2702	0.237	-0.020	-1.027	-16.153	0.000
15	2703	0.272	-0.025	-0.980	-15.400	0.000
16	2704	0.309	-0.031	-0.934	-14.660	0.000
17	2705	0.349	-0.037	-0.888	-13.924	0.000
18	2706	0.394	-0.045	-0.834	-13.064	0.001
19	2707	0.441	-0.054	-0.785	-12.283	0.000
20	2708	0.493	-0.064	-0.746	-11.670	0.000
21	2709	0.550	-0.076	-0.710	-11.090	0.000
22	2710	0.611	-0.091	-0.680	-10.616	0.001
23	2711	0.677	-0.108	-0.653	-10.183	0.001
24	2712	0.742	-0.126	-0.625	-9.735	0.001
25	2713	0.803	-0.144	-0.604	-9.389	0.001
26	2714	0.857	-0.162	-0.586	-9.112	0.002
27	2715	0.908	-0.178	-0.572	-8.879	0.002
28	2716	0.953	-0.195	-0.560	-8.693	0.002
29	2717	0.995	-0.210	-0.550	-8.531	0.002
30	2718	1.034	-0.225	-0.541	-8.391	0.002
31	2719	1.069	-0.239	-0.534	-8.268	0.003
32	2720	1.101	-0.252	-0.526	-8.155	0.003
33	2721	1.130	-0.264	-0.519	-8.043	0.003
34	2722	1.157	-0.276	-0.512	-7.929	0.003
35	2723	1.182	-0.286	-0.505	-7.810	0.003
36	2724	1.204	-0.296	-0.497	-7.681	0.003
37	2725	1.225	-0.306	-0.488	-7.540	0.003
38	2726	1.244	-0.315	-0.478	-7.387	0.003
39	2727	1.261	-0.323	-0.468	-7.215	0.002
40	2728	1.277	-0.330	-0.455	-7.011	0.002
41	2729	1.292	-0.337	-0.441	-6.792	0.001
42	2730	1.305	-0.344	-0.434	-6.671	0.000
43	2642	1.317	-0.350	-0.459	-7.077	0.000
44	7764	1.317	-0.351	-0.493	-7.615	0.004
45	7704	1.317	-0.353	-0.583	-9.061	0.115

Tabel A.8.b. Data (C_{pI} , p_I , dan τ_I) layar dengan camber 1/20 dan $\alpha = 15^\circ$

Bagian bawah (lower) layar dengan camber 1/20, $\alpha = 15^\circ$						
Point	Node	X	Y	C_{pI}	p_I	τ_I
1	10874	0.000	0.000	0.904	14.707	0.101
2	10875	0.014	-0.001	1.305	21.115	0.005
3	10876	0.028	-0.002	1.198	19.394	0.012
4	10877	0.045	-0.003	1.046	16.979	0.019
5	10878	0.062	-0.005	0.942	15.316	0.023
6	10879	0.081	-0.006	0.889	14.458	0.026
7	10880	0.102	-0.008	0.854	13.906	0.028
8	10881	0.125	-0.010	0.822	13.392	0.030
9	10882	0.149	-0.013	0.791	12.894	0.032
10	10883	0.176	-0.016	0.762	12.439	0.034
11	10884	0.205	-0.019	0.737	12.033	0.035
12	10885	0.237	-0.023	0.714	11.667	0.037
13	10886	0.271	-0.028	0.693	11.330	0.038
14	10887	0.308	-0.033	0.673	11.014	0.039
15	10888	0.349	-0.040	0.654	10.714	0.040
16	10889	0.393	-0.048	0.636	10.424	0.041
17	10890	0.441	-0.056	0.618	10.136	0.042
18	10891	0.492	-0.067	0.600	9.846	0.043
19	10892	0.549	-0.079	0.581	9.543	0.044
20	10893	0.610	-0.094	0.561	9.220	0.046
21	10894	0.676	-0.111	0.538	8.857	0.047
22	10895	0.742	-0.129	0.514	8.477	0.049
23	10896	0.802	-0.147	0.491	8.104	0.050
24	10897	0.857	-0.164	0.467	7.722	0.052
25	10898	0.907	-0.181	0.442	7.329	0.054
26	10899	0.953	-0.198	0.417	6.924	0.056
27	10900	0.995	-0.213	0.391	6.507	0.058
28	10901	1.033	-0.228	0.364	6.074	0.060
29	10902	1.068	-0.242	0.336	5.623	0.062
30	10903	1.100	-0.255	0.306	5.152	0.065
31	10904	1.130	-0.267	0.275	4.656	0.067
32	10905	1.156	-0.278	0.242	4.133	0.070
33	10906	1.181	-0.289	0.208	3.577	0.073
34	10907	1.204	-0.299	0.170	2.982	0.076
35	10908	1.224	-0.309	0.130	2.339	0.080
36	10909	1.243	-0.318	0.086	1.630	0.084
37	10910	1.260	-0.326	0.036	0.832	0.088
38	10911	1.276	-0.333	-0.022	-0.093	0.094
39	10912	1.291	-0.340	-0.093	-1.232	0.102
40	10913	1.304	-0.347	-0.183	-2.671	0.113
41	7704	1.317	-0.353	-0.583	-9.061	0.115

Tabel A.9.a. Data C_p_u , p_u , dan τ_u layar dengan camber 1/20 dan $\alpha = 20^\circ$

Bagian atas (upper) layar dengan camber 1/20, $\alpha = 20^\circ$						
Point	Node	X	Y	C_p_u	p_u	τ_u
1	10874	0.000	0.000	1.024	16.597	0.081
2	15464	0.001	0.001	0.465	7.670	0.101
3	52	0.001	0.003	-1.934	-30.665	0.031
4	2692	0.015	0.001	-2.301	-36.534	0.023
5	2693	0.029	-0.002	-1.460	-23.100	0.030
6	2694	0.045	-0.004	-0.667	-10.422	0.007
7	2695	0.063	-0.007	-0.830	-13.035	0.006
8	2696	0.081	-0.010	-0.892	-14.030	0.001
9	2697	0.102	-0.014	-0.884	-13.893	0.000
10	2698	0.124	-0.018	-0.859	-13.500	0.001
11	2699	0.148	-0.023	-0.838	-13.154	0.002
12	2700	0.175	-0.028	-0.823	-12.914	0.002
13	2701	0.203	-0.034	-0.808	-12.683	0.003
14	2702	0.235	-0.041	-0.793	-12.433	0.003
15	2703	0.268	-0.049	-0.778	-12.195	0.004
16	2704	0.305	-0.057	-0.763	-11.953	0.004
17	2705	0.345	-0.067	-0.747	-11.705	0.005
18	2706	0.388	-0.079	-0.731	-11.447	0.005
19	2707	0.435	-0.092	-0.714	-11.173	0.005
20	2708	0.486	-0.107	-0.697	-10.898	0.005
21	2709	0.541	-0.124	-0.680	-10.632	0.005
22	2710	0.600	-0.144	-0.665	-10.388	0.005
23	2711	0.665	-0.166	-0.651	-10.175	0.004
24	2712	0.729	-0.190	-0.641	-10.009	0.004
25	2713	0.787	-0.213	-0.633	-9.885	0.004
26	2714	0.840	-0.236	-0.627	-9.785	0.004
27	2715	0.889	-0.257	-0.621	-9.697	0.005
28	2716	0.933	-0.277	-0.616	-9.612	0.005
29	2717	0.973	-0.296	-0.611	-9.525	0.005
30	2718	1.010	-0.314	-0.605	-9.433	0.005
31	2719	1.044	-0.331	-0.599	-9.332	0.005
32	2720	1.075	-0.347	-0.592	-9.224	0.004
33	2721	1.103	-0.362	-0.584	-9.108	0.004
34	2722	1.129	-0.375	-0.577	-8.985	0.004
35	2723	1.152	-0.388	-0.569	-8.858	0.003
36	2724	1.174	-0.400	-0.561	-8.731	0.003
37	2725	1.194	-0.411	-0.553	-8.606	0.002
38	2726	1.212	-0.422	-0.546	-8.486	0.002
39	2727	1.228	-0.431	-0.538	-8.371	0.001
40	2728	1.244	-0.440	-0.532	-8.264	0.001
41	2729	1.257	-0.449	-0.528	-8.203	0.000
42	2730	1.270	-0.456	-0.536	-8.340	0.000
43	2642	1.282	-0.463	-0.578	-9.009	0.001
44	7764	1.281	-0.465	-0.627	-9.785	0.005
45	7704	1.281	-0.466	-0.742	-11.618	0.127

Tabel A.9.b. Data Cp_l , p_l , dan τ_l layar dengan camber 1/20 dan $\alpha = 20^\circ$

Bagian bawah (lower) layar dengan camber 1/20, $\alpha = 20^\circ$						
Point	Node	X	Y	Cp_l	p_l	τ_l
1	10874	0.000	0.000	1.024	16.597	0.081
2	10875	0.013	-0.002	1.336	21.580	0.005
3	10876	0.028	-0.004	1.232	19.924	0.011
4	10877	0.044	-0.007	1.100	17.808	0.017
5	10878	0.061	-0.010	1.006	16.311	0.021
6	10879	0.080	-0.013	0.952	15.453	0.024
7	10880	0.101	-0.017	0.914	14.844	0.026
8	10881	0.123	-0.021	0.879	14.283	0.028
9	10882	0.147	-0.026	0.846	13.748	0.030
10	10883	0.174	-0.031	0.815	13.257	0.032
11	10884	0.202	-0.037	0.787	12.810	0.033
12	10885	0.234	-0.044	0.761	12.399	0.035
13	10886	0.267	-0.051	0.737	12.015	0.036
14	10887	0.304	-0.060	0.714	11.650	0.037
15	10888	0.344	-0.070	0.692	11.298	0.039
16	10889	0.387	-0.082	0.671	10.954	0.040
17	10890	0.434	-0.095	0.649	10.611	0.041
18	10891	0.485	-0.110	0.628	10.261	0.043
19	10892	0.540	-0.127	0.605	9.897	0.044
20	10893	0.599	-0.146	0.580	9.507	0.046
21	10894	0.664	-0.169	0.553	9.073	0.048
22	10895	0.728	-0.193	0.525	8.621	0.050
23	10896	0.786	-0.216	0.497	8.179	0.052
24	10897	0.839	-0.238	0.469	7.731	0.054
25	10898	0.888	-0.260	0.441	7.273	0.056
26	10899	0.932	-0.280	0.411	6.802	0.059
27	10900	0.972	-0.299	0.381	6.318	0.061
28	10901	1.009	-0.317	0.350	5.818	0.063
29	10902	1.043	-0.334	0.317	5.298	0.066
30	10903	1.074	-0.350	0.283	4.755	0.069
31	10904	1.102	-0.364	0.247	4.186	0.072
32	10905	1.128	-0.378	0.210	3.586	0.075
33	10906	1.151	-0.391	0.170	2.948	0.079
34	10907	1.173	-0.403	0.127	2.267	0.082
35	10908	1.193	-0.414	0.081	1.530	0.086
36	10909	1.211	-0.425	0.031	0.720	0.091
37	10910	1.227	-0.434	-0.026	-0.190	0.097
38	10911	1.242	-0.443	-0.092	-1.244	0.104
39	10912	1.256	-0.451	-0.173	-2.528	0.113
40	10913	1.269	-0.459	-0.274	-4.151	0.125
41	7704	1.281	-0.466	-0.742	-11.618	0.127



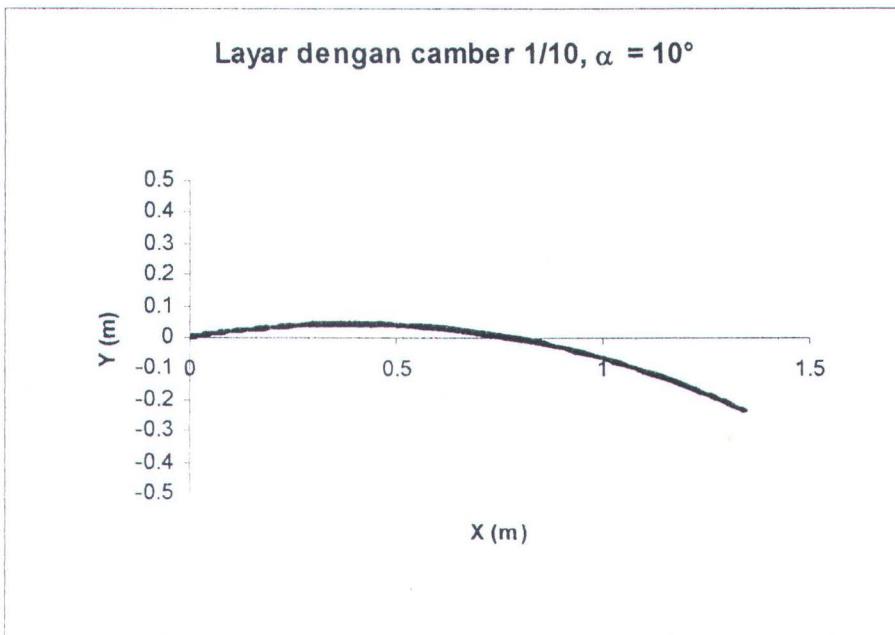
Tabel A.10.a. Data C_p_u , p_u , dan τ_u layar dengan camber 1/20 dan $\alpha = 30^\circ$

Bagian atas (upper) layar dengan camber 1/20, $\alpha = 30^\circ$						
Point	Node	X	Y	C_p_u	p_u	τ_u
1	10874	0.000	0.000	0.970	15.733	0.070
2	15464	0.001	0.001	0.420	6.947	0.083
3	52	0.002	0.003	-1.254	-19.802	0.008
4	2692	0.014	-0.002	-1.278	-20.182	0.018
5	2693	0.028	-0.007	-0.929	-14.613	0.012
6	2694	0.044	-0.012	-0.745	-11.676	0.014
7	2695	0.060	-0.018	-0.717	-11.216	0.008
8	2696	0.078	-0.024	-0.706	-11.046	0.005
9	2697	0.098	-0.032	-0.704	-11.015	0.003
10	2698	0.119	-0.040	-0.705	-11.027	0.003
11	2699	0.142	-0.048	-0.707	-11.057	0.003
12	2700	0.167	-0.058	-0.709	-11.087	0.003
13	2701	0.194	-0.069	-0.710	-11.110	0.003
14	2702	0.224	-0.081	-0.711	-11.127	0.003
15	2703	0.256	-0.094	-0.712	-11.140	0.003
16	2704	0.291	-0.109	-0.712	-11.149	0.003
17	2705	0.328	-0.126	-0.713	-11.157	0.003
18	2706	0.369	-0.145	-0.713	-11.163	0.003
19	2707	0.412	-0.166	-0.714	-11.172	0.004
20	2708	0.460	-0.189	-0.715	-11.186	0.004
21	2709	0.511	-0.216	-0.716	-11.207	0.004
22	2710	0.566	-0.246	-0.718	-11.234	0.004
23	2711	0.626	-0.279	-0.719	-11.260	0.005
24	2712	0.685	-0.314	-0.720	-11.273	0.005
25	2713	0.738	-0.347	-0.720	-11.263	0.005
26	2714	0.786	-0.378	-0.717	-11.229	0.006
27	2715	0.830	-0.407	-0.714	-11.173	0.006
28	2716	0.871	-0.435	-0.709	-11.098	0.006
29	2717	0.907	-0.461	-0.704	-11.009	0.005
30	2718	0.940	-0.485	-0.698	-10.910	0.005
31	2719	0.971	-0.507	-0.691	-10.807	0.004
32	2720	0.998	-0.528	-0.685	-10.702	0.004
33	2721	1.023	-0.548	-0.678	-10.601	0.003
34	2722	1.046	-0.566	-0.672	-10.507	0.003
35	2723	1.067	-0.582	-0.667	-10.421	0.002
36	2724	1.087	-0.598	-0.662	-10.348	0.002
37	2725	1.104	-0.612	-0.659	-10.288	0.001
38	2726	1.120	-0.626	-0.656	-10.245	0.001
39	2727	1.135	-0.638	-0.654	-10.221	0.000
40	2728	1.148	-0.650	-0.655	-10.227	0.000
41	2729	1.160	-0.660	-0.660	-10.304	0.000
42	2730	1.172	-0.670	-0.672	-10.498	0.001
43	2642	1.182	-0.679	-0.706	-11.040	0.003
44	7764	1.181	-0.680	-0.752	-11.776	0.004
45	7704	1.180	-0.682	-0.855	-13.420	0.147

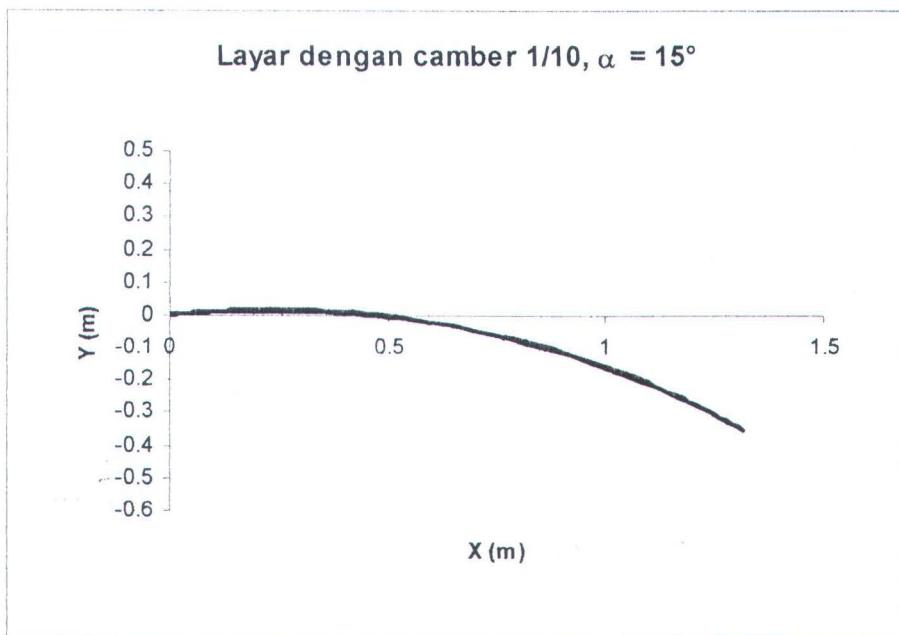
Tabel A.10.b. Data Cp_l , p_l , dan τ_l layar dengan camber 1/20 dan $\alpha = 30^\circ$

Bagian bawah (lower) layar dengan camber 1/20, $\alpha = 30^\circ$						
Point	Node	X	Y	Cp_l	p_l	τ_l
1	10874	0.000	0.000	0.970	15.733	0.070
2	10875	0.013	-0.004	1.276	20.621	0.000
3	10876	0.027	-0.009	1.252	20.238	0.003
4	10877	0.042	-0.015	1.181	19.107	0.007
5	10878	0.059	-0.020	1.121	18.143	0.010
6	10879	0.077	-0.027	1.077	17.447	0.012
7	10880	0.096	-0.034	1.043	16.906	0.015
8	10881	0.118	-0.042	1.013	16.416	0.017
9	10882	0.141	-0.051	0.983	15.947	0.019
10	10883	0.166	-0.061	0.955	15.501	0.021
11	10884	0.193	-0.072	0.929	15.078	0.023
12	10885	0.222	-0.084	0.903	14.672	0.025
13	10886	0.254	-0.097	0.879	14.279	0.027
14	10887	0.289	-0.112	0.855	13.894	0.028
15	10888	0.326	-0.129	0.831	13.513	0.030
16	10889	0.367	-0.148	0.807	13.130	0.032
17	10890	0.411	-0.169	0.782	12.739	0.034
18	10891	0.458	-0.192	0.757	12.334	0.036
19	10892	0.510	-0.218	0.730	11.906	0.038
20	10893	0.565	-0.248	0.701	11.445	0.040
21	10894	0.624	-0.282	0.669	10.929	0.043
22	10895	0.683	-0.316	0.636	10.394	0.046
23	10896	0.736	-0.349	0.603	9.873	0.049
24	10897	0.785	-0.381	0.570	9.349	0.052
25	10898	0.829	-0.410	0.537	8.817	0.055
26	10899	0.869	-0.437	0.503	8.273	0.058
27	10900	0.906	-0.463	0.468	7.715	0.061
28	10901	0.939	-0.487	0.432	7.140	0.064
29	10902	0.969	-0.510	0.395	6.543	0.067
30	10903	0.997	-0.531	0.356	5.921	0.071
31	10904	1.022	-0.550	0.315	5.269	0.075
32	10905	1.045	-0.568	0.272	4.581	0.079
33	10906	1.066	-0.585	0.226	3.851	0.083
34	10907	1.085	-0.601	0.177	3.069	0.088
35	10908	1.103	-0.615	0.124	2.222	0.093
36	10909	1.119	-0.628	0.066	1.292	0.099
37	10910	1.133	-0.641	0.001	0.245	0.106
38	10911	1.147	-0.652	-0.075	-0.968	0.115
39	10912	1.159	-0.663	-0.166	-2.414	0.128
40	10913	1.170	-0.673	-0.284	-4.300	0.144
41	7704	1.180	-0.682	-0.855	-13.420	0.147

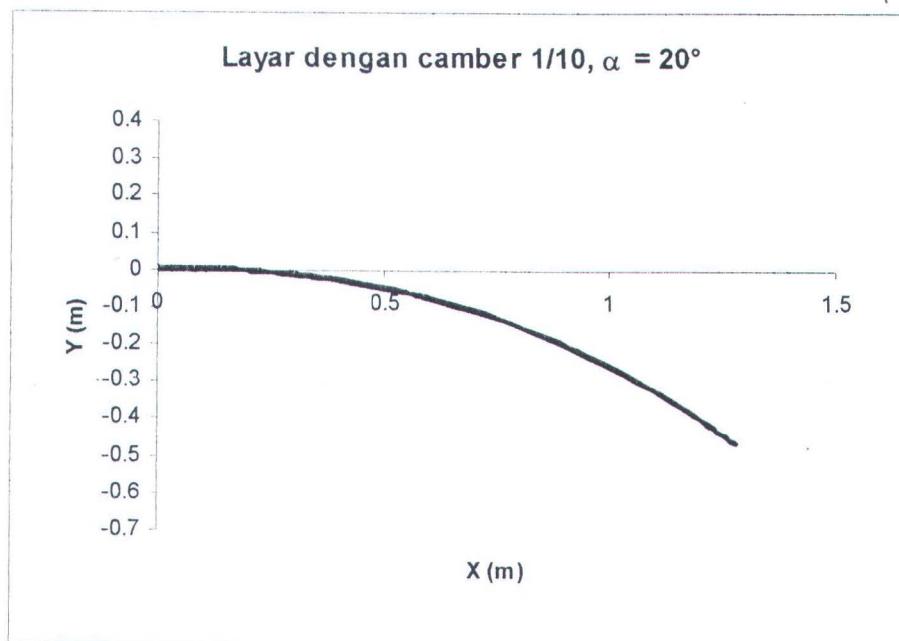
Grafik A.1.a. Geometri layar dengan camber 1/10, dan $\alpha = 10^\circ$



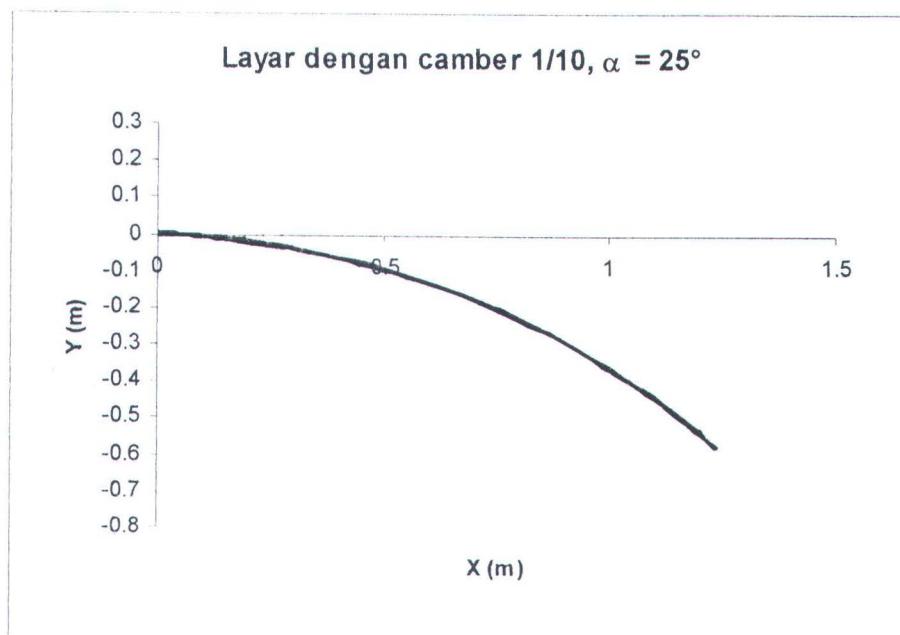
Grafik A.1.b. Geometri layar dengan camber 1/10, dan $\alpha = 15^\circ$



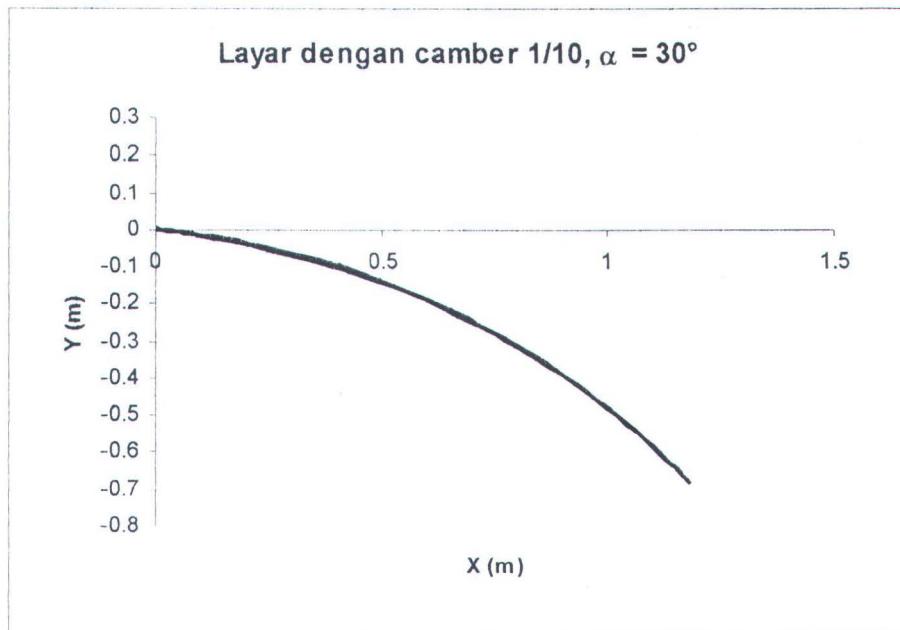
Grafik A.1.c. Geometri layar dengan camber 1/10, dan $\alpha = 20^\circ$



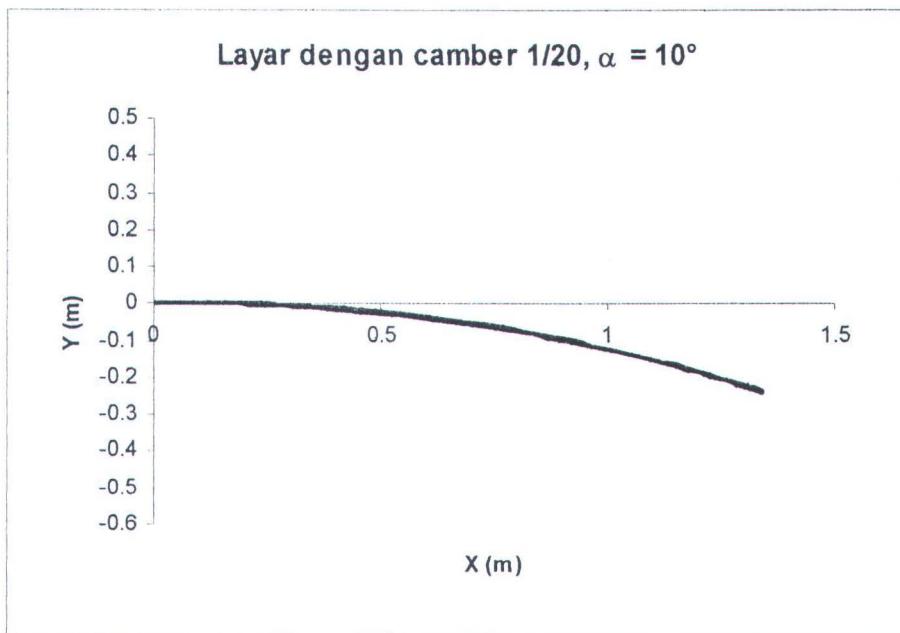
Grafik A.1.d. Geometri layar dengan camber 1/10, dan $\alpha = 25^\circ$



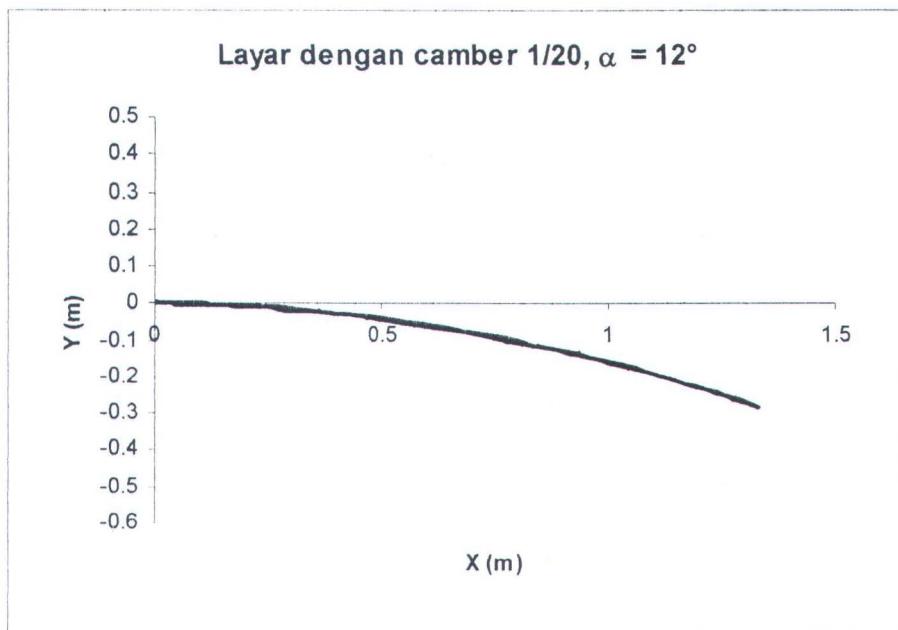
Grafik A.1.e. Geometri layar dengan camber 1/10, dan $\alpha = 30^\circ$



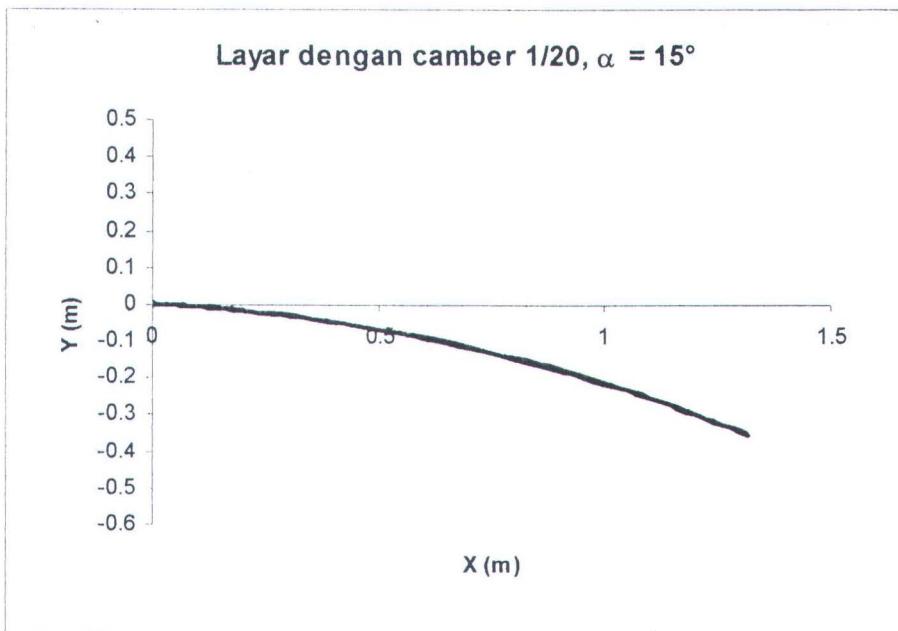
Grafik A.2.a. Geometri layar dengan camber 1/20, dan $\alpha = 10^\circ$



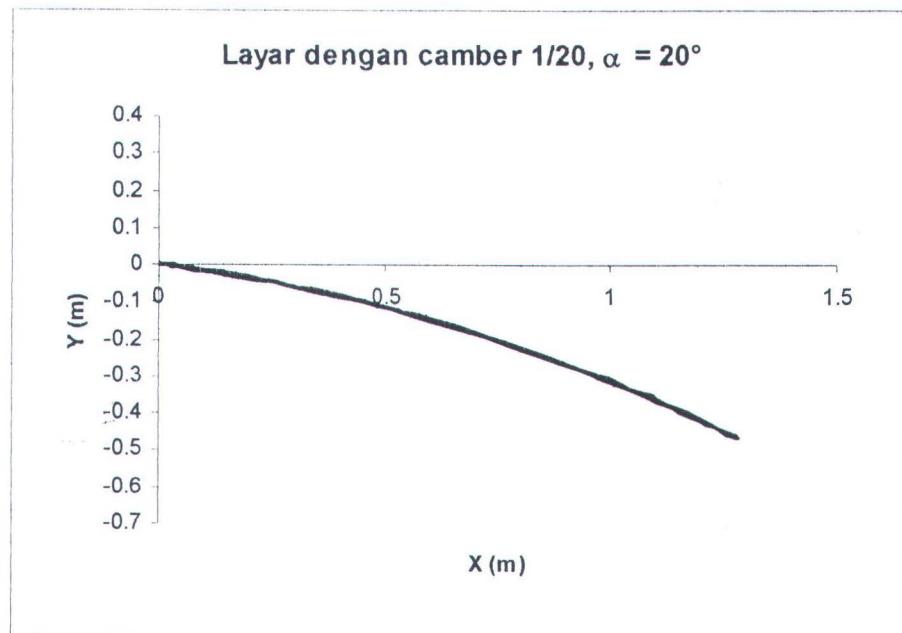
Grafik A.2.b. Geometri layar dengan camber 1/20, dan $\alpha = 12^\circ$



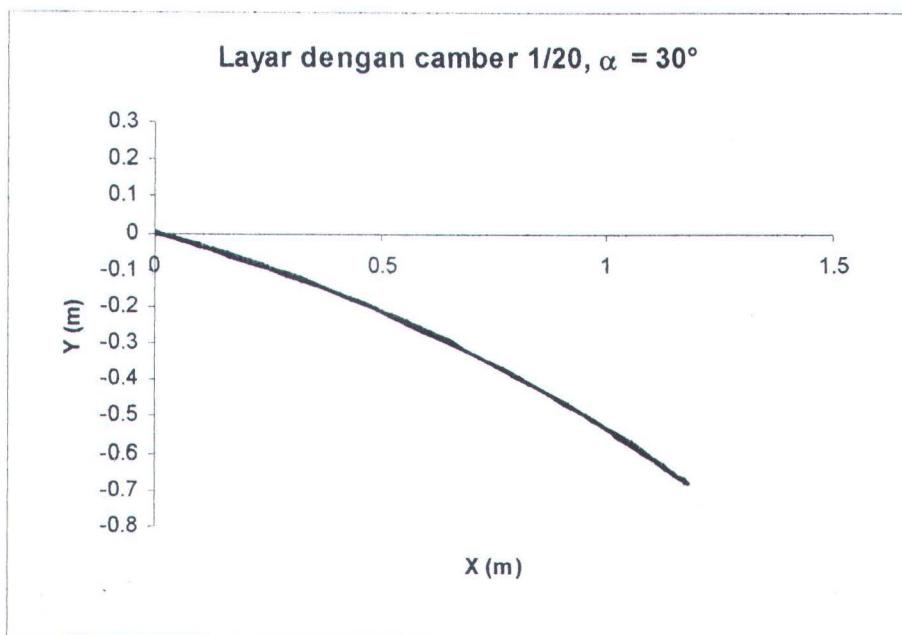
Grafik A.2.c. Geometri layar dengan camber 1/20, dan $\alpha = 15^\circ$



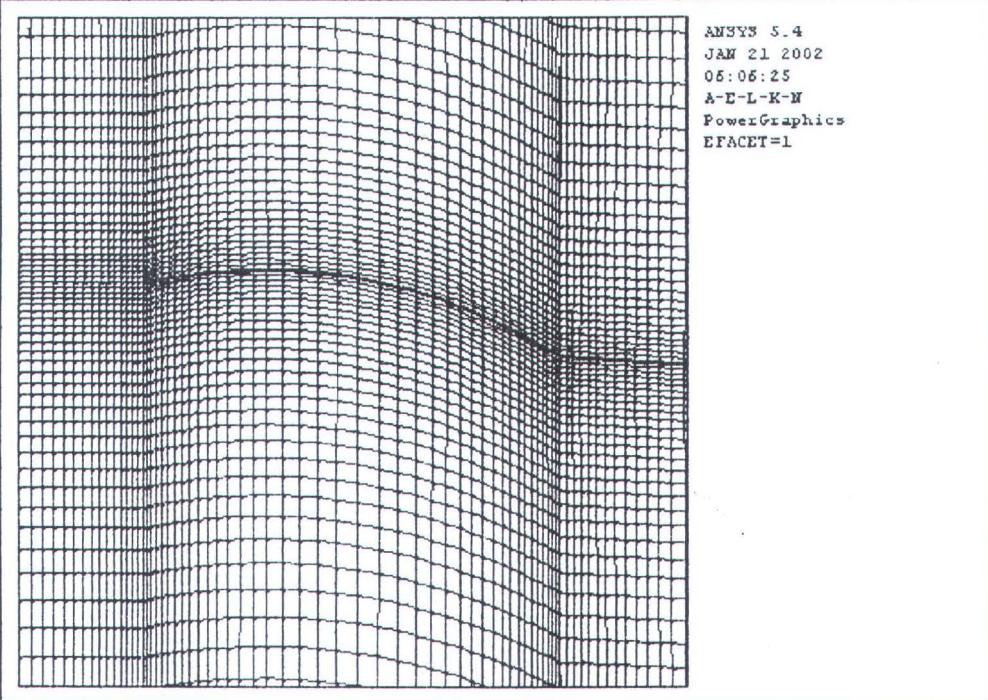
Grafik A.2.d. Geometri layar dengan camber 1/20, dan $\alpha = 20^\circ$



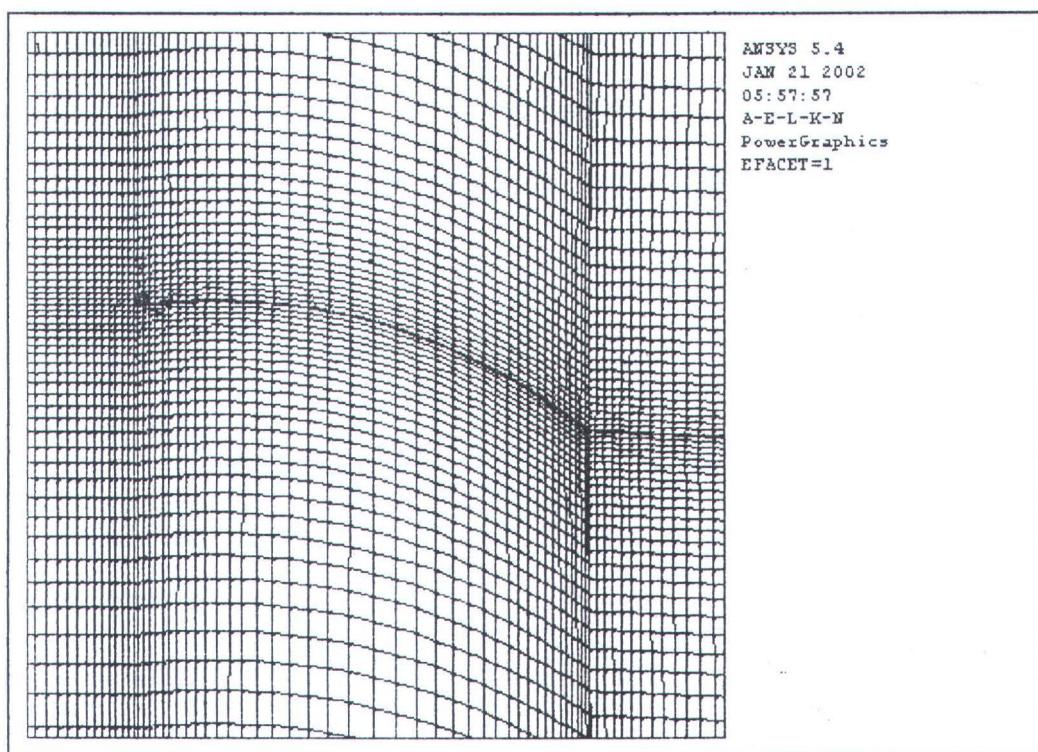
Grafik A.2.e. Geometri layar dengan camber 1/20, dan $\alpha = 30^\circ$



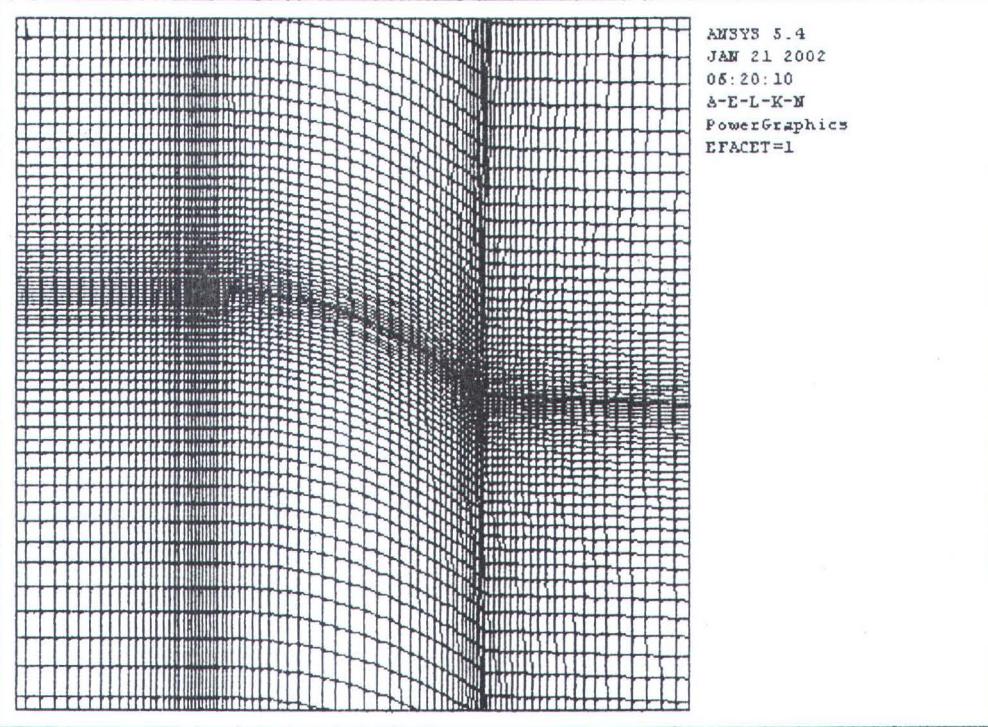
LAMPIRAN B



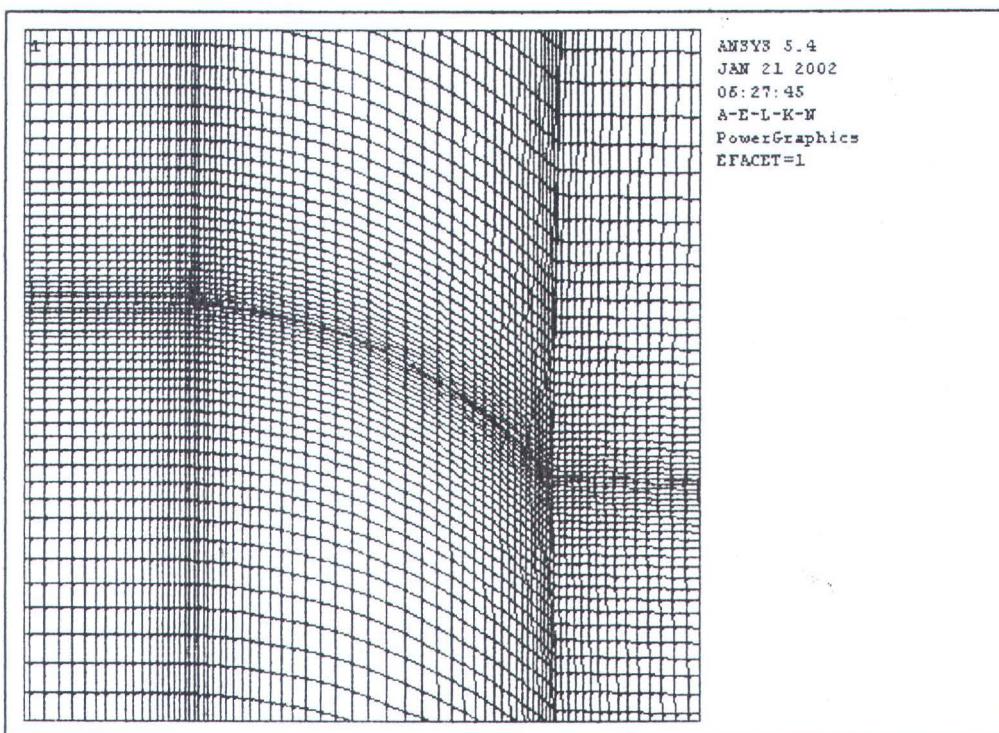
Gambar B.1. Meshing dari layar dengan camber 1/10 dan α 10°



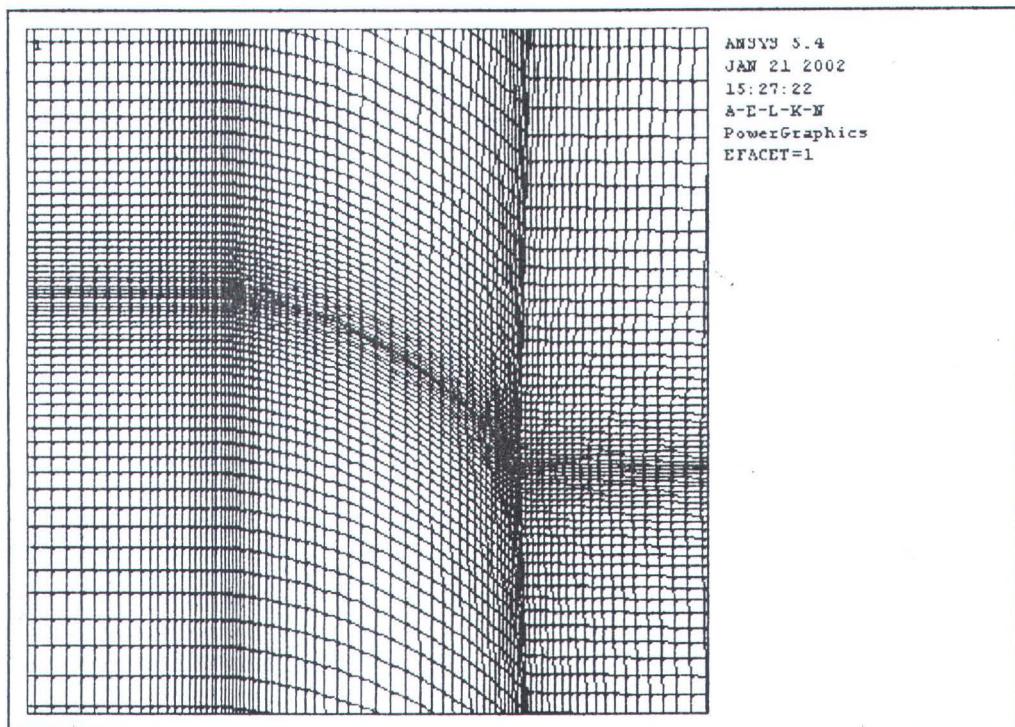
Gambar B.2. Meshing dari layar dengan camber 1/10 dan α 15°



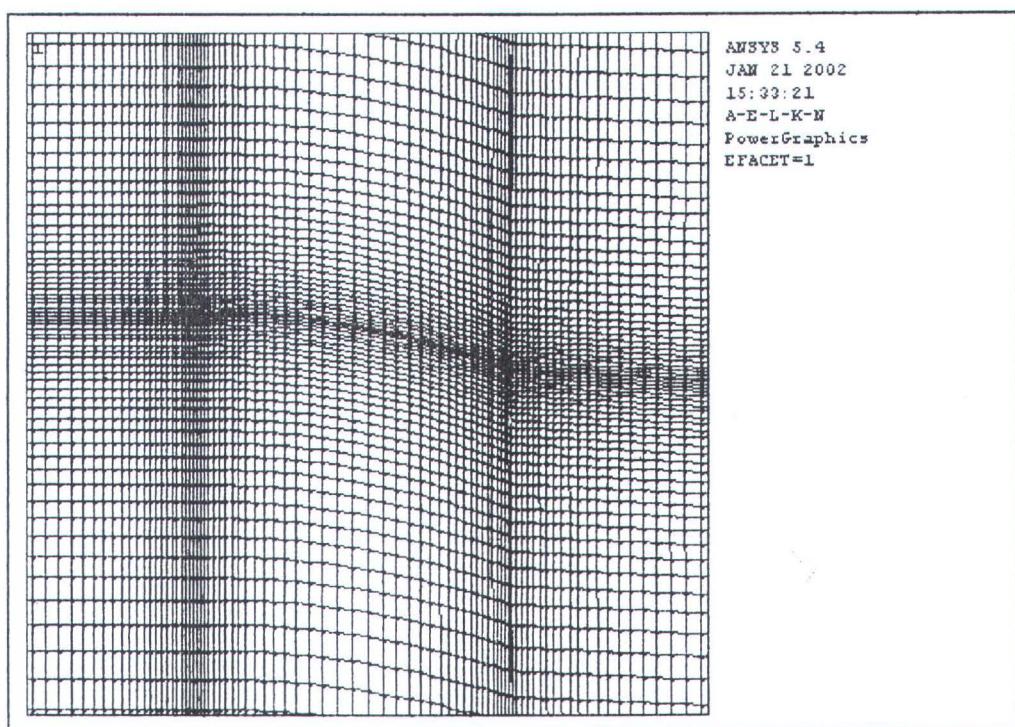
Gambar B.3. Meshing dari layar dengan camber 1/10 dan α 20°



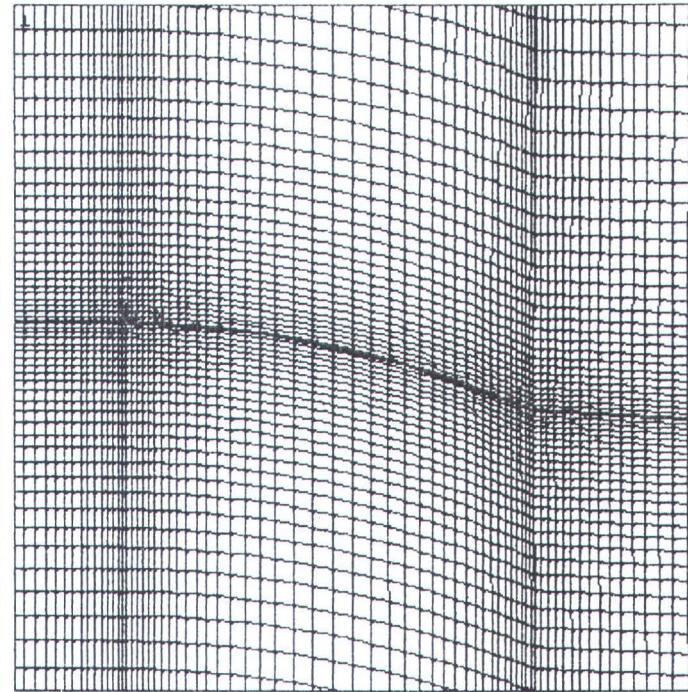
Gambar B.4. Meshing dari layar dengan camber 1/10 dan α 25°



Gambar B.5. Meshing dari layar dengan camber 1/10 dan α 30°

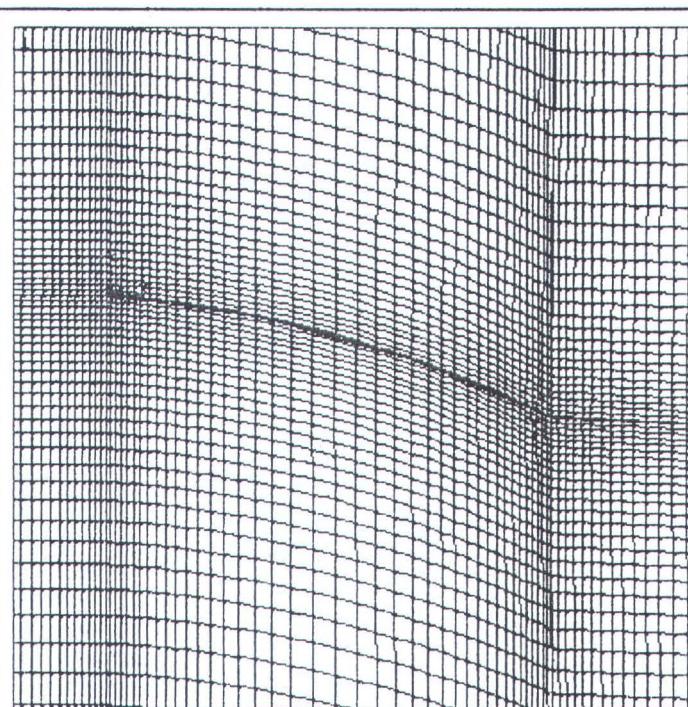


Gambar B.6. Meshing dari layar dengan camber 1/20 dan α 10°



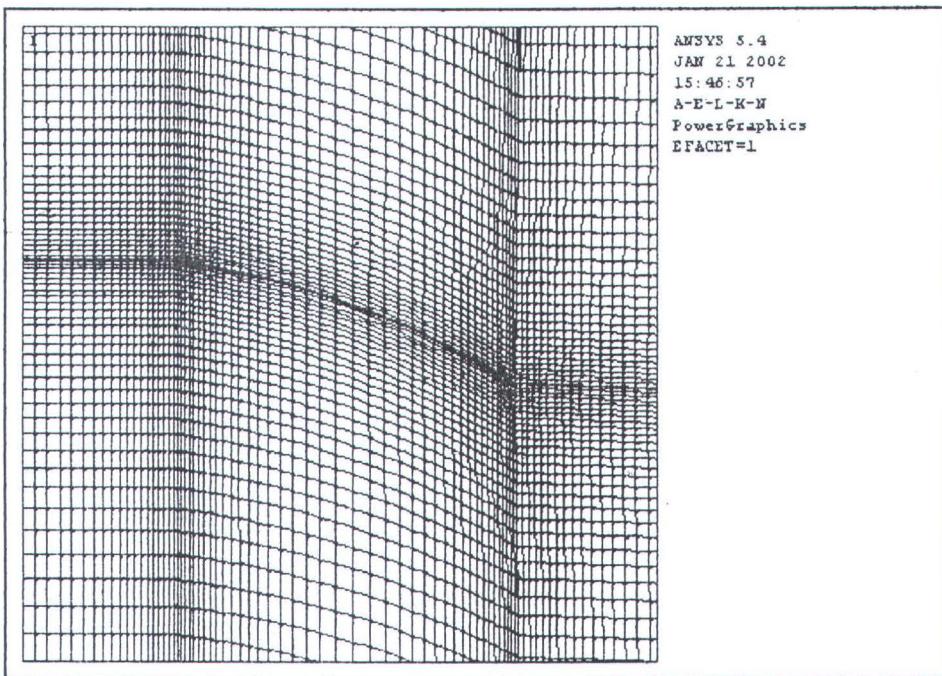
ANSYS 5.4
JAN 21 2002
15:39:33
A-E-L-K-N
PowerGraphics
EFACET=1

Gambar B.7. Meshing dari layar dengan camber 1/20 dan $\alpha = 12^\circ$

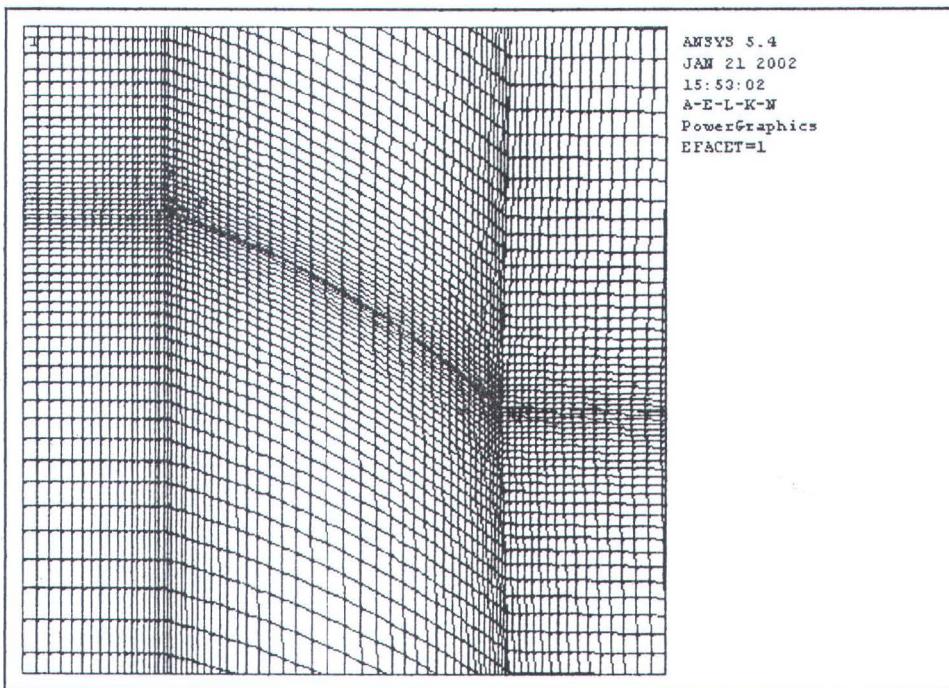


ANSYS 5.4
JAN 21 2002
15:43:15
A-E-L-K-N
PowerGraphics
EFACET=1

Gambar B.8. Meshing dari layar dengan camber 1/20 dan $\alpha = 15^\circ$

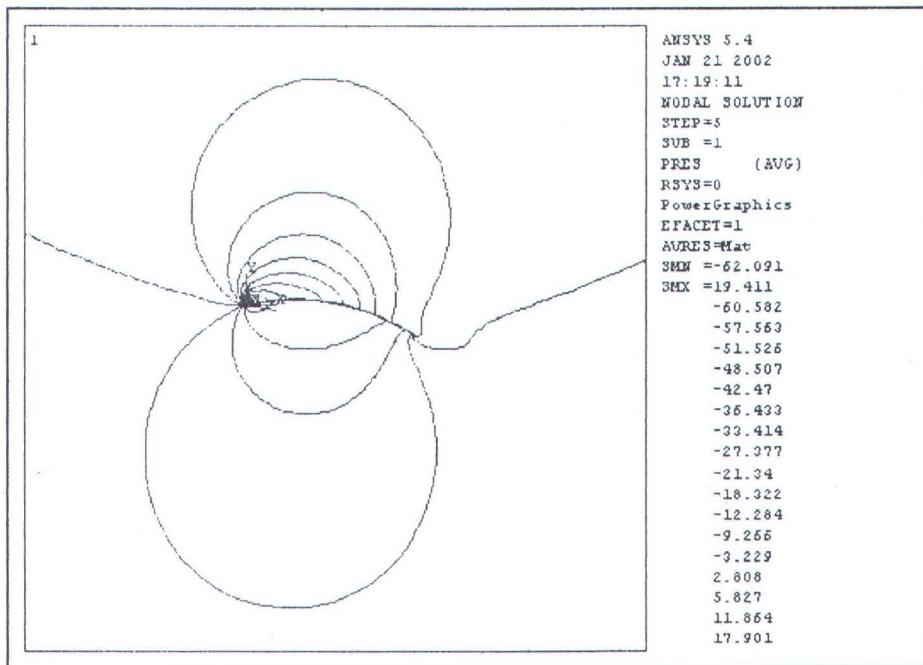


Gambar B.9. Meshing dari layar dengan camber 1/20 dan α 20°

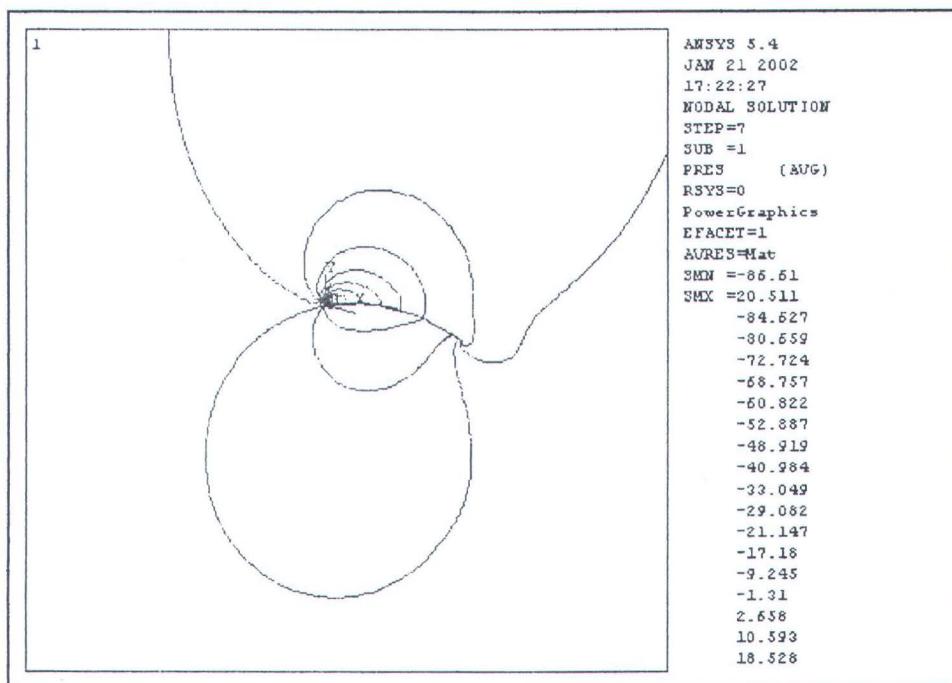


Gambar B.10. Meshing dari layar dengan camber 1/20 dan α 30°

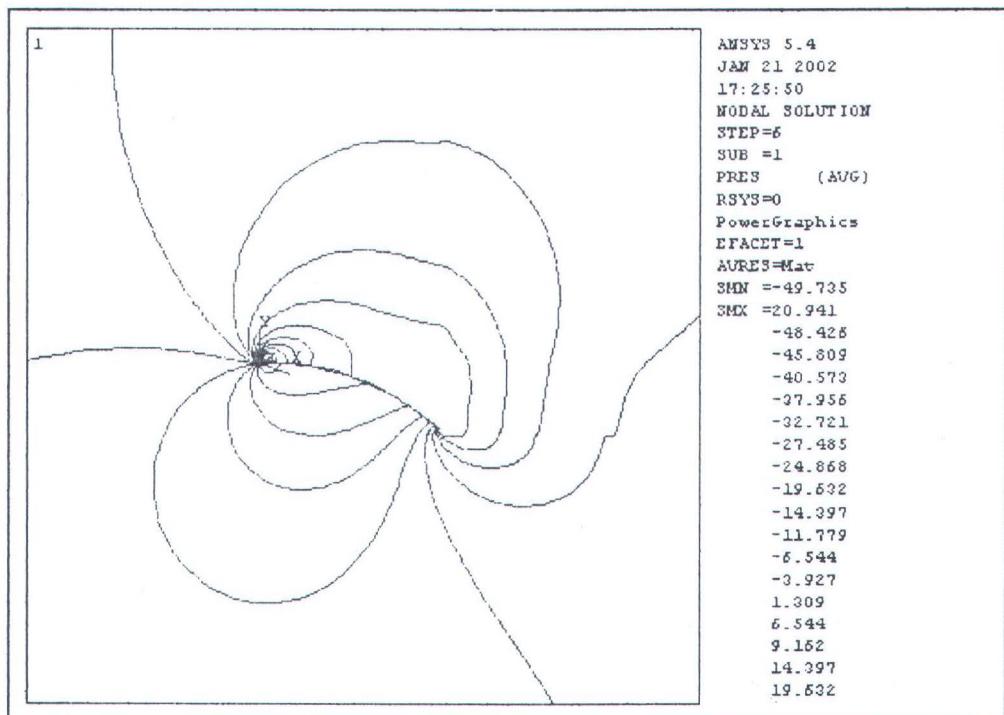
MILIK PERPUSTAKAAN
ITS



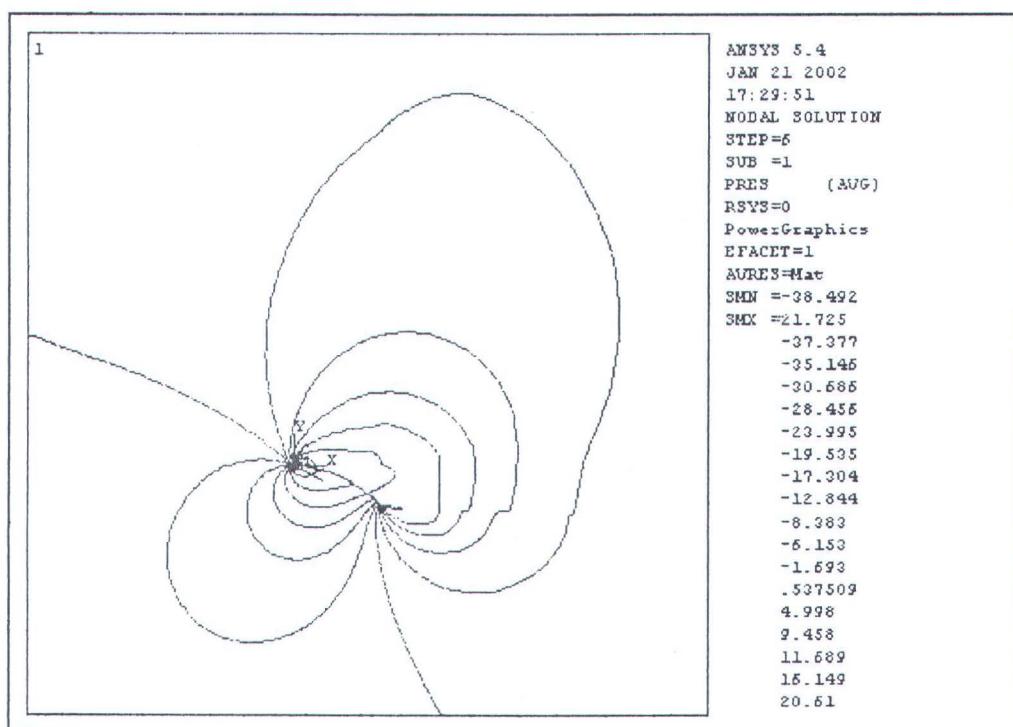
Gambar B.11. Contour Tekanan dari layar dengan camber 1/10 dan α 10°



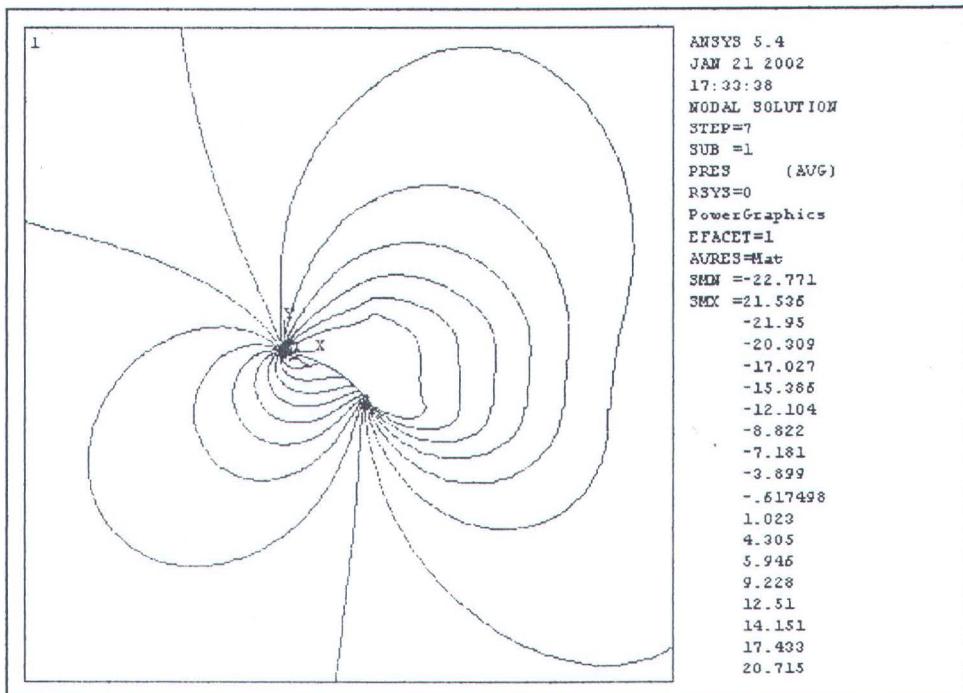
Gambar B.12. Contour Tekanan dari layar dengan camber 1/10 dan α 15°



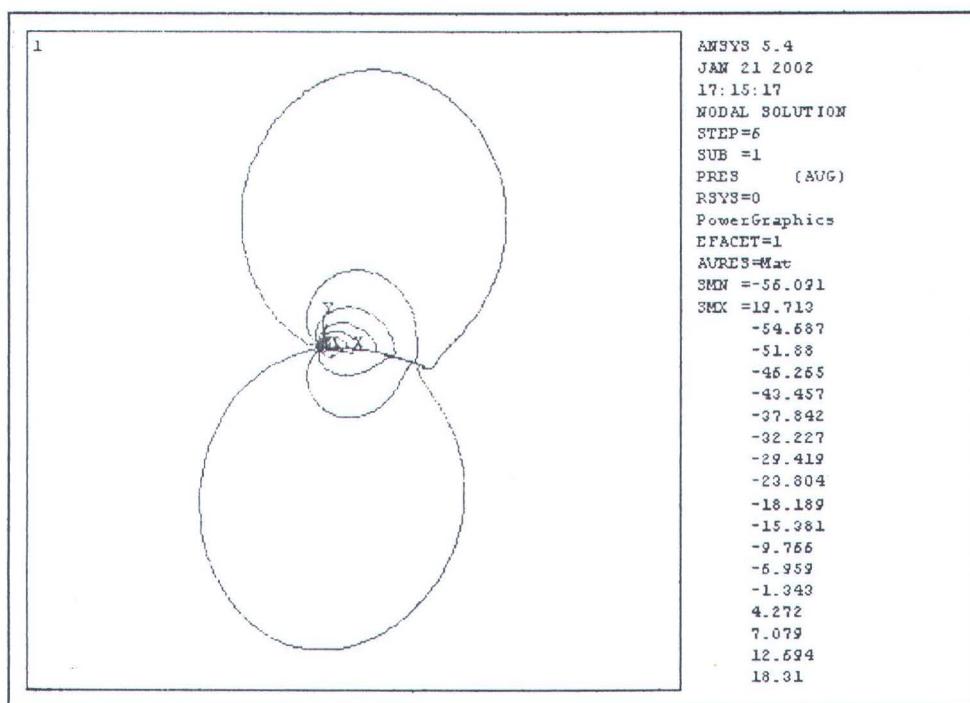
Gambar B.13. Contour Tekanan dari layar dengan camber 1/10 dan $\alpha = 20^\circ$



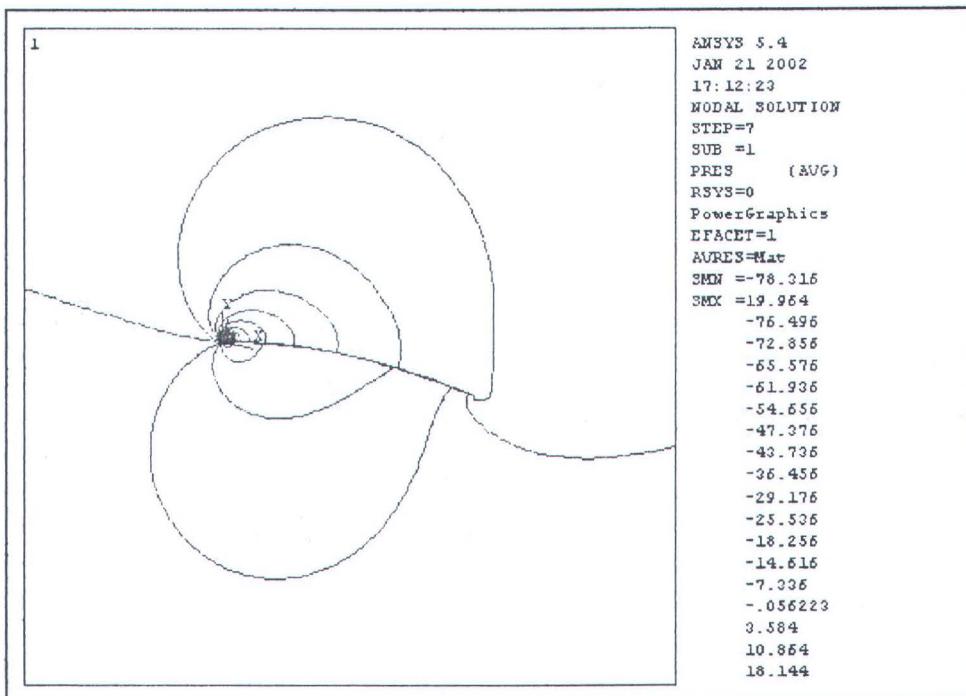
Gambar B.14. Contour Tekanan dari layar dengan camber 1/10 dan $\alpha = 25^\circ$



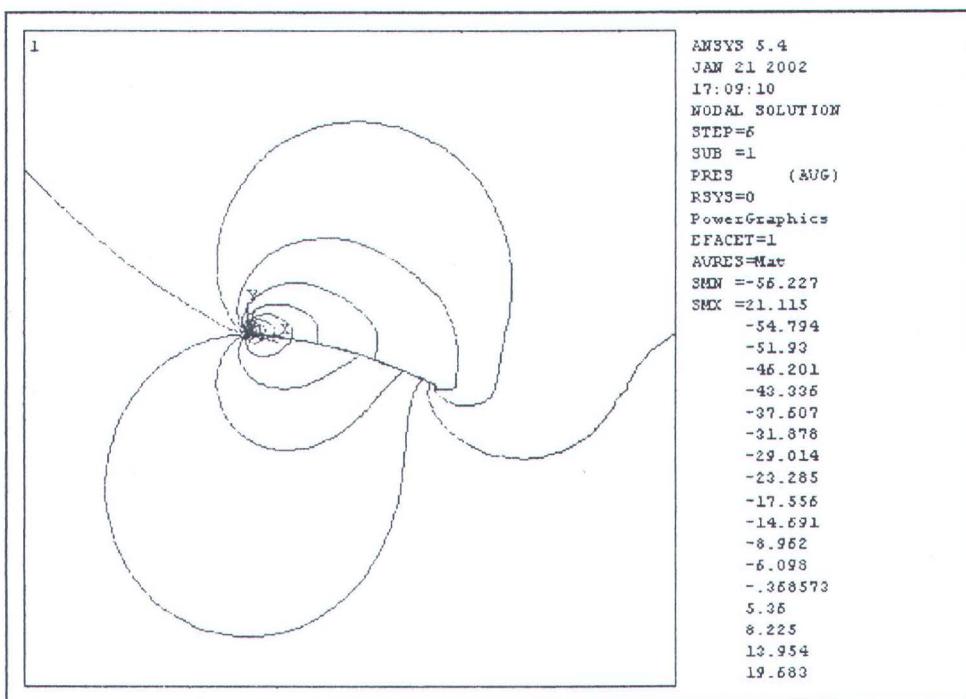
Gambar B.15. Contour Tekanan dari layar dengan camber 1/10 dan α 30°



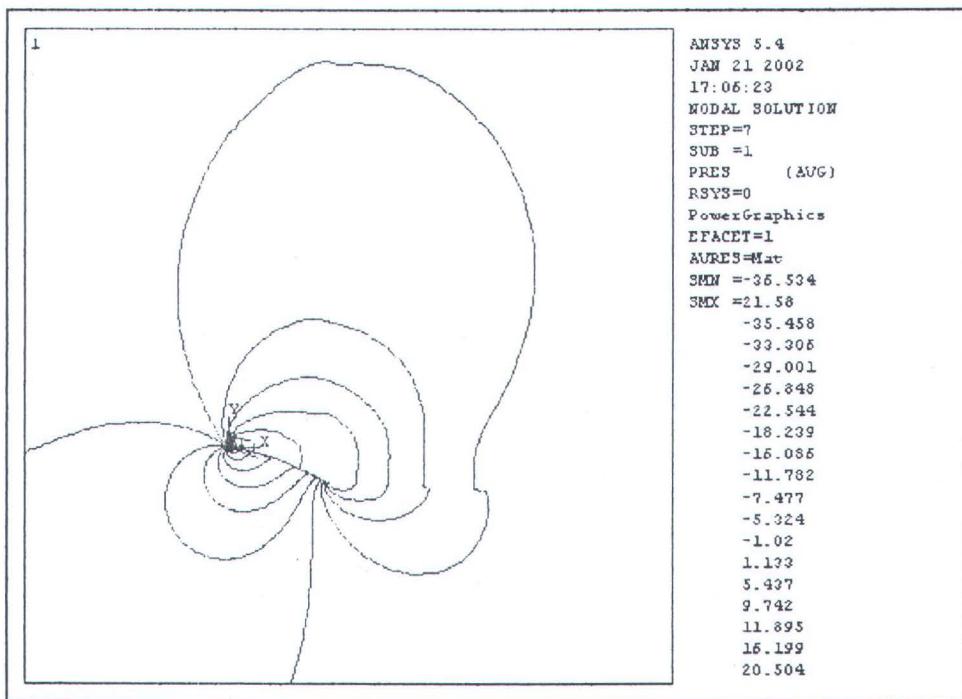
Gambar B.16. Contour Tekanan dari layar dengan camber 1/20 dan α 10°



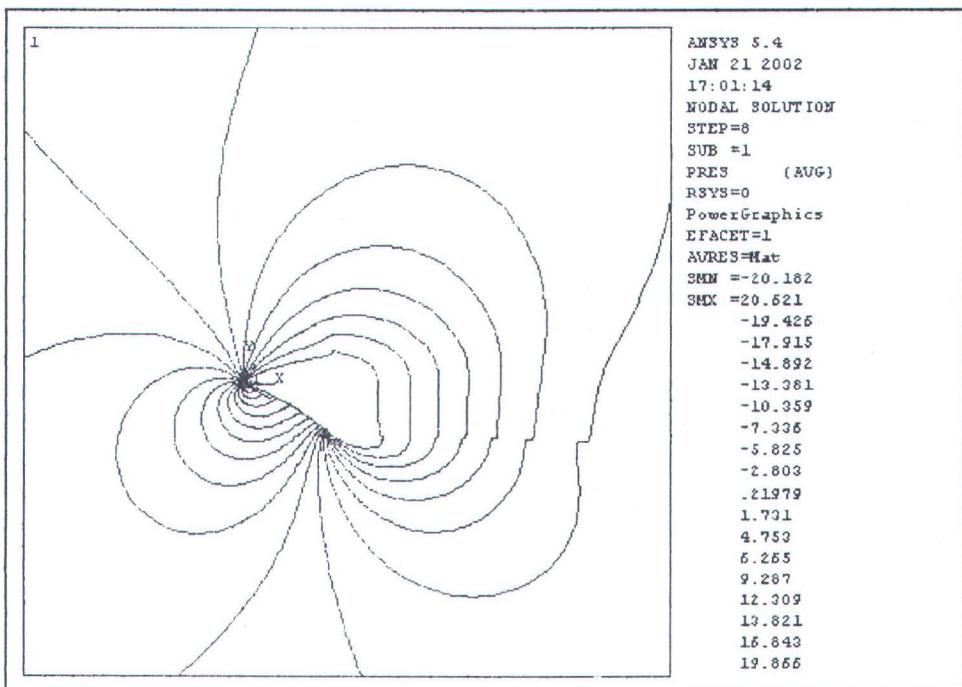
Gambar B.17. Contour Tekanan dari layar dengan camber 1/20 dan α 12°



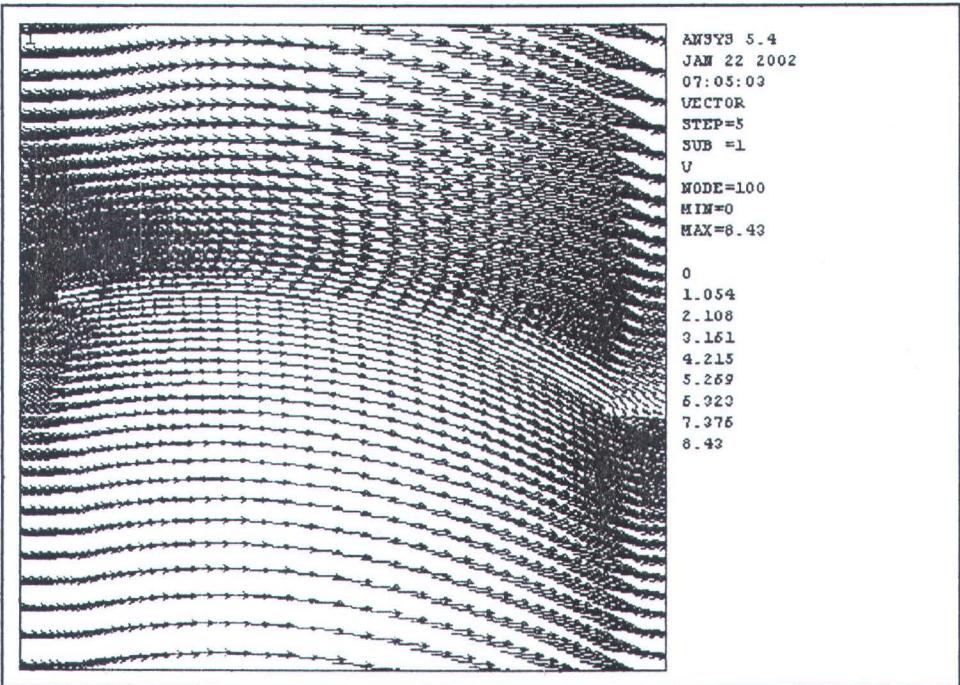
Gambar B.18. Contour Tekanan dari layar dengan camber 1/20 dan α 15°



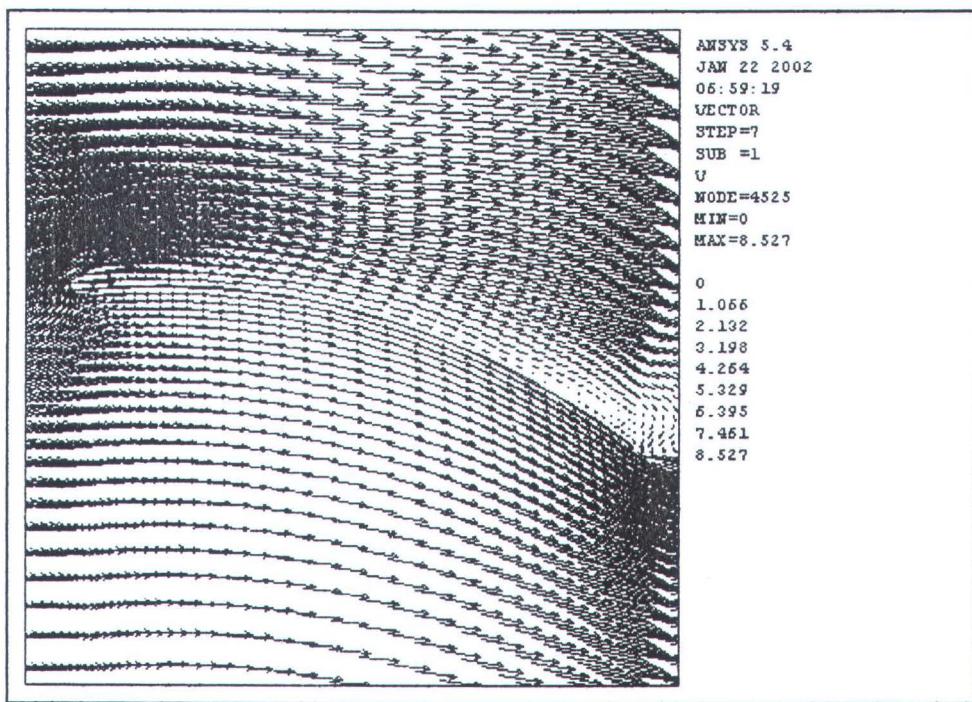
Gambar B.19. Contour Tekanan dari layar dengan camber 1/20 dan $\alpha = 20^\circ$



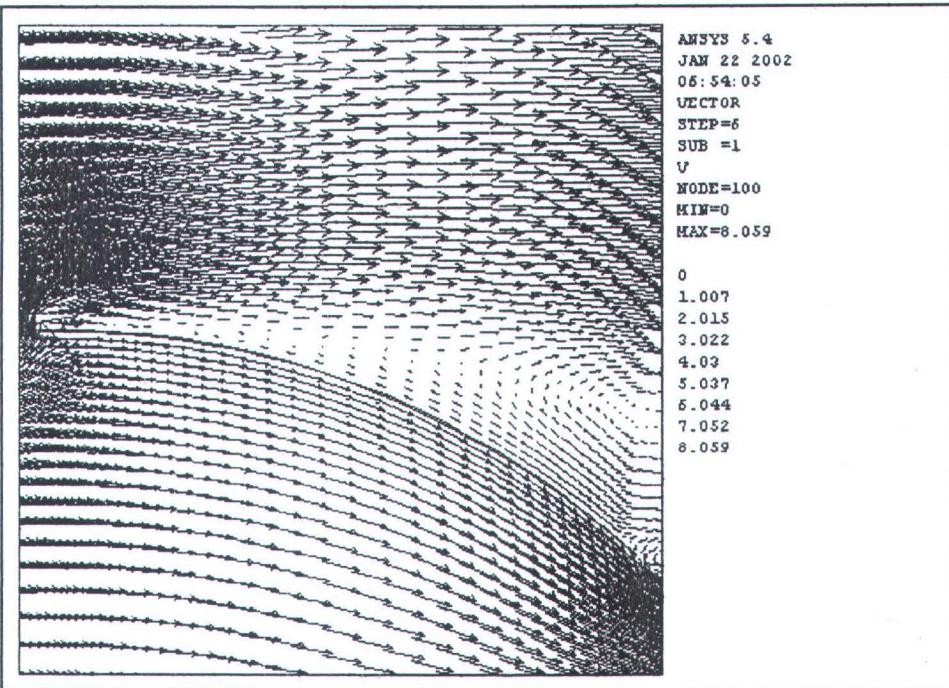
Gambar B.20. Contour Tekanan dari layar dengan camber 1/20 dan $\alpha = 30^\circ$



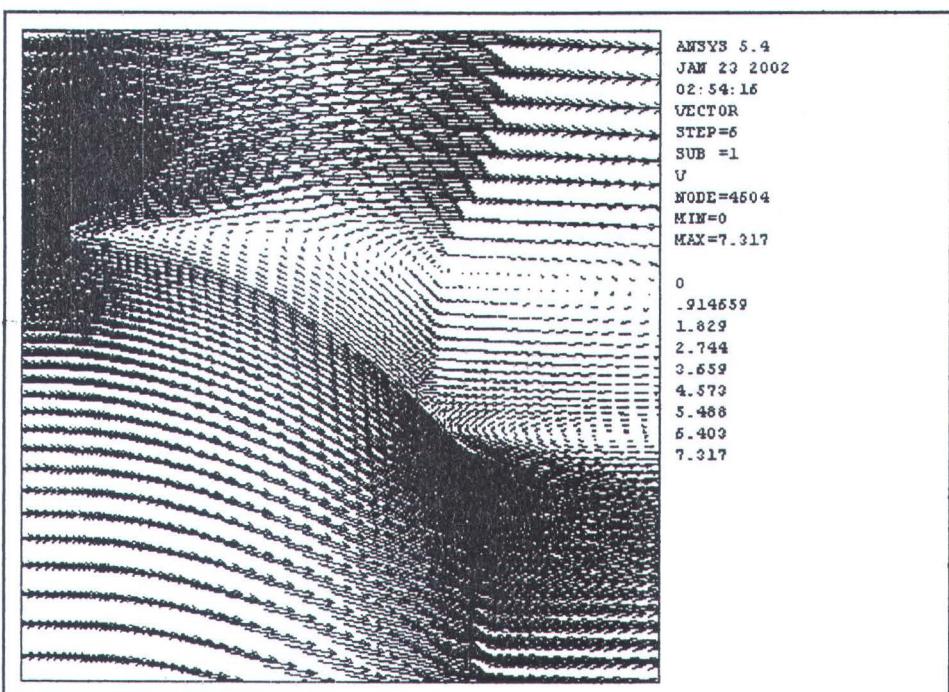
Gambar B.21. Vektor Kecepatan pada layar dengan camber 1/10 dan $\alpha = 10^\circ$



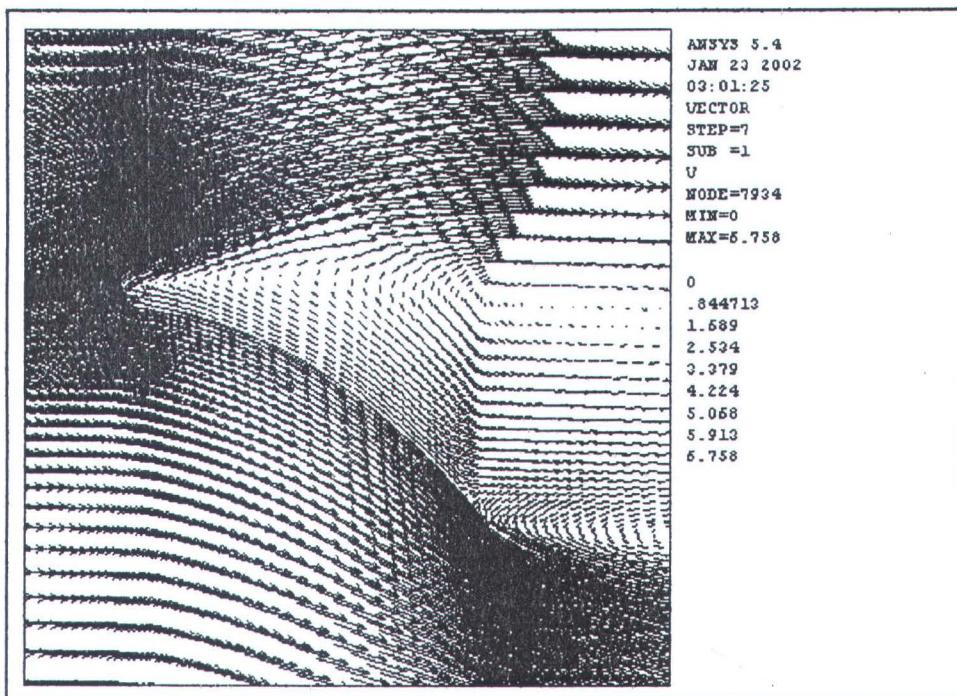
Gambar B.22. Vektor Kecepatan pada layar dengan camber 1/10 dan $\alpha = 15^\circ$



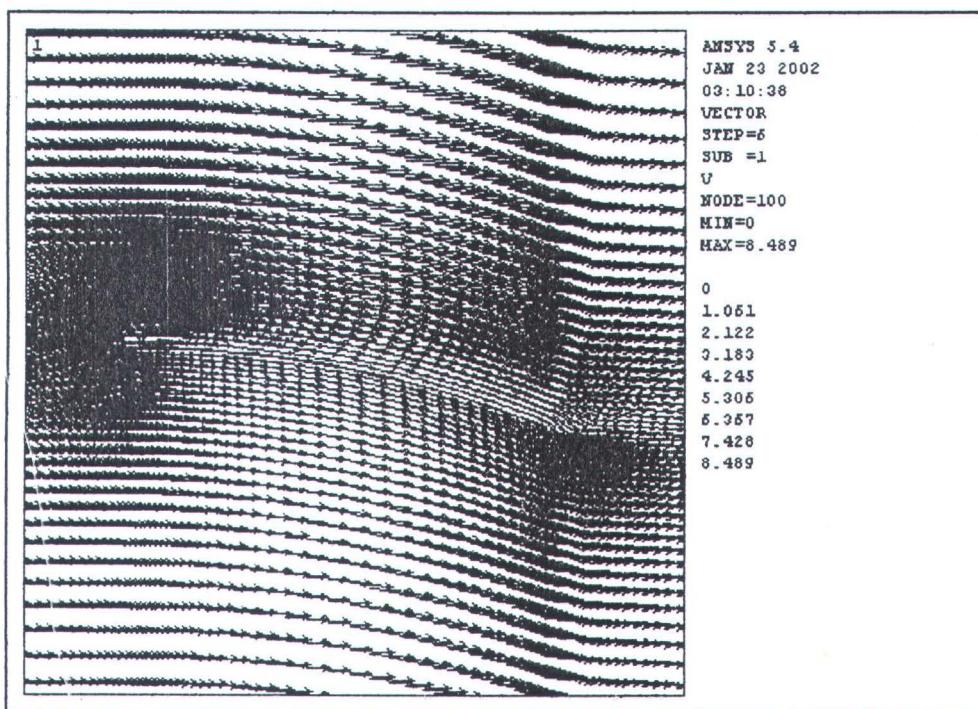
Gambar B.23. Vektor Kecepatan pada layar dengan camber 1/10 dan α 20°



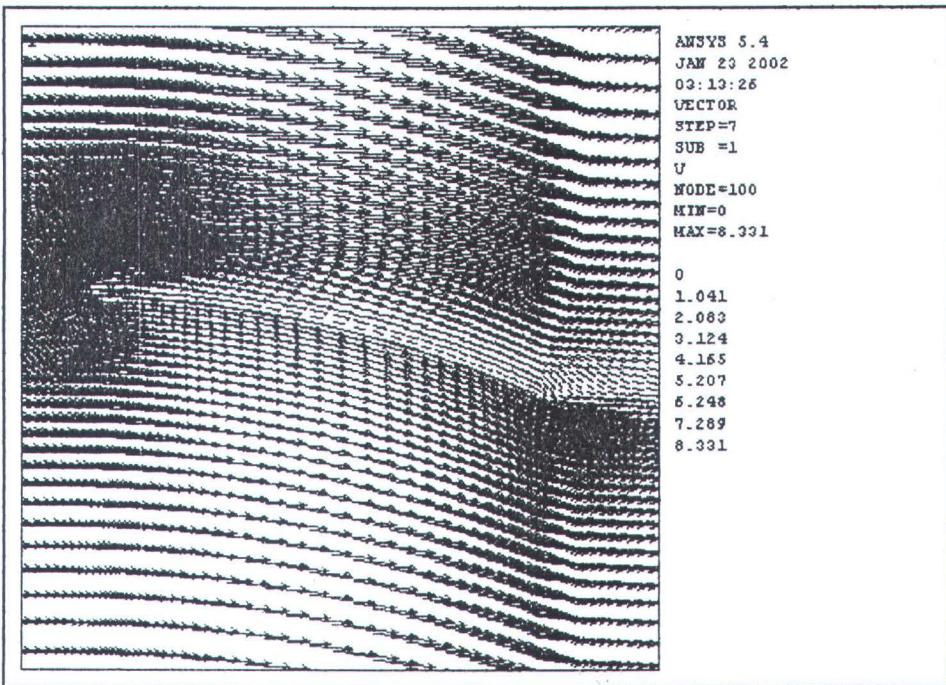
Gambar B.24. Vektor Kecepatan pada layar dengan camber 1/10 dan α 25°



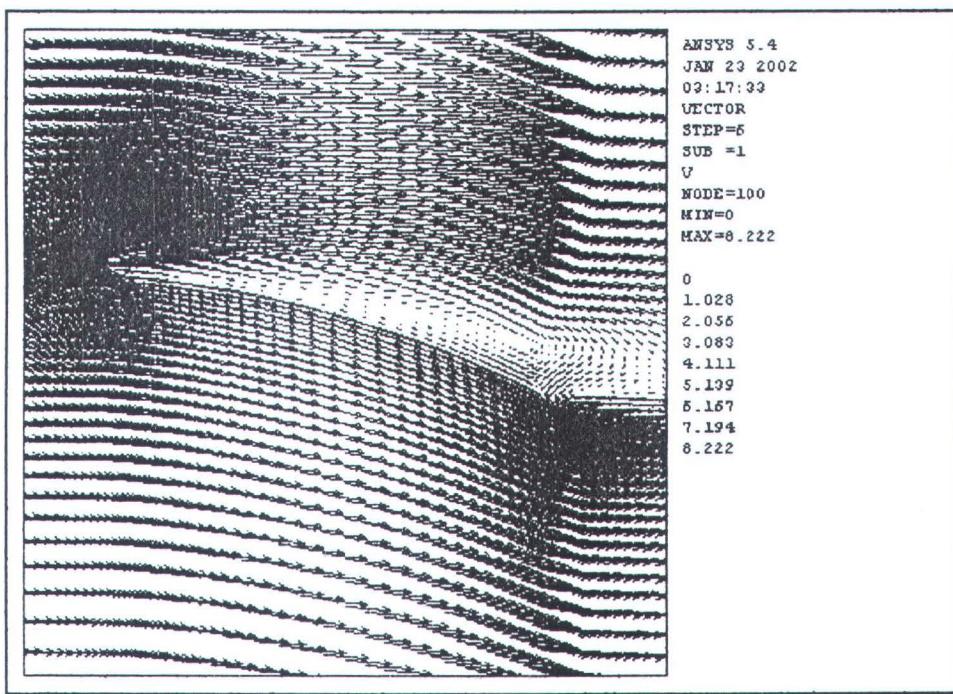
Gambar B.25. Vektor Kecepatan pada layar dengan camber 1/10 dan α 30°



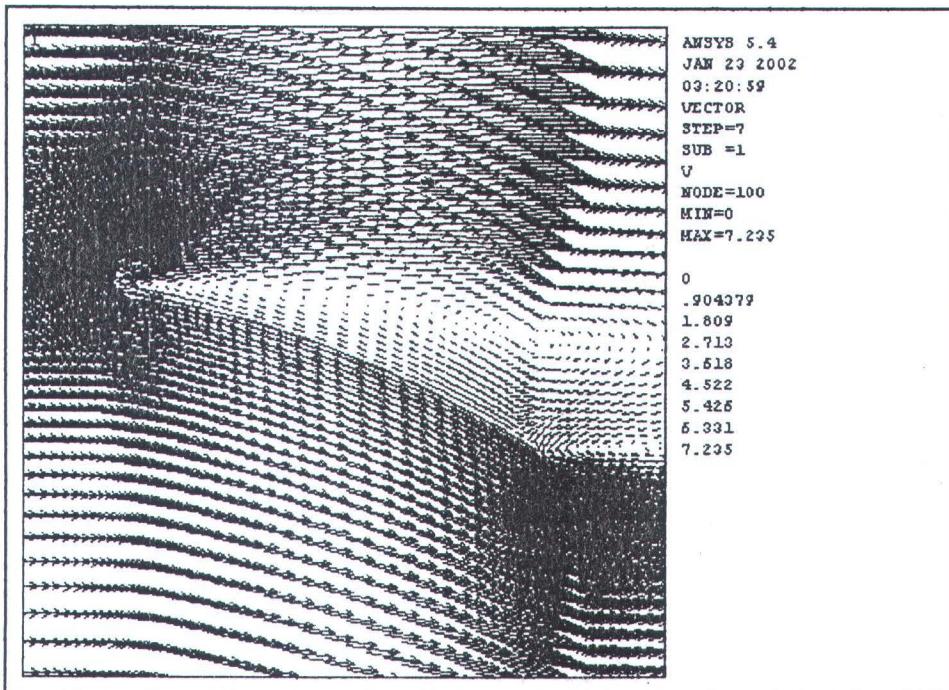
Gambar B.26. Vektor Kecepatan pada layar dengan camber 1/20 dan α 10°



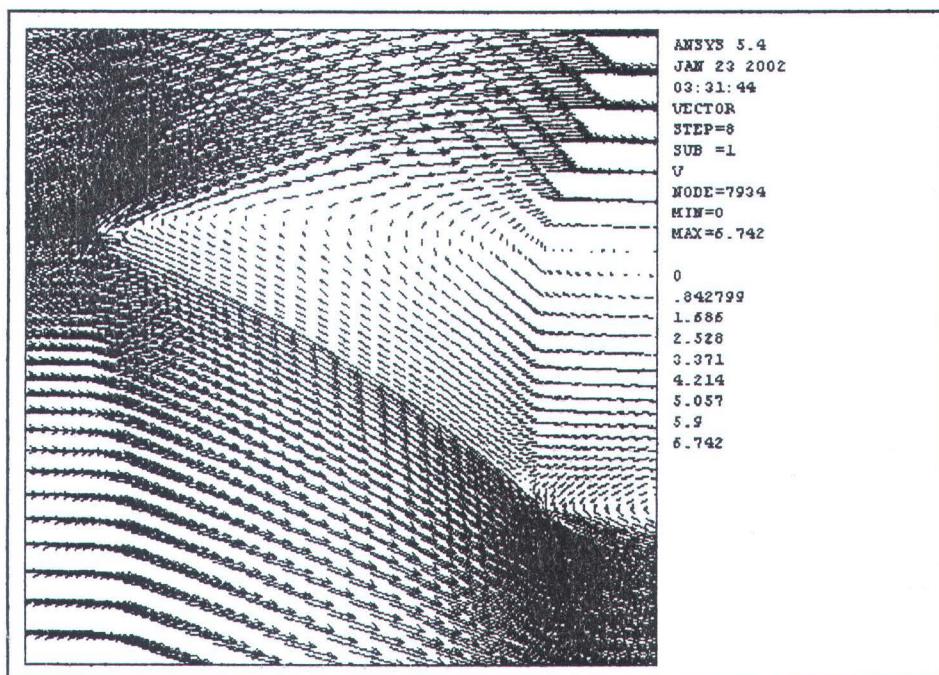
Gambar B.27. Vektor Kecepatan pada layar dengan camber 1/20 dan α 12°



Gambar B.28. Vektor Kecepatan pada layar dengan camber 1/20 dan α 15°



Gambar B.29. Vektor Kecepatan pada layar dengan camber 1/20 dan $\alpha = 20^\circ$



Gambar B.30. Vektor Kecepatan pada layar dengan camber 1/20 dan $\alpha = 30^\circ$