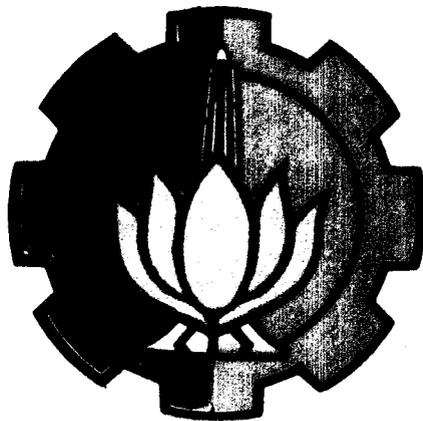


TUGAS AKHIR I

5105/TK/H/92 ✓

TN 1701

**ANALISA DIMENSI SISTEM FOIL
DAN PERENCANAAN NOZZLE
PADA KAPAL JET FOIL**



RSKa
623.820 4
Suy
a-1

1992

Disusun oleh :

I KETUT SUYASA

NRP : 4874200149

**JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
S U R A B A Y A
1992**

TUGAS AKHIR I

TN 1701

ANALISA DIMENSI SISTEM FOIL DAN PERENCANAAN NOZZLE PADA KAPAL JET FOIL

Surabaya, Juli 1992

Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing



(Ir. TONY BAMBANG, Msc.)

NIP. 131 652 209

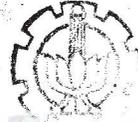
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1992

JANGAN MENCoba MEMBUKTIKAN KEPADA SESEORANG
BAHWA IA SALAH, TETAPI
COBALAH BUKTIKAN KEPADANYA
BAGAIMANA KESALAHAN ITU DAPAT DIHINDARI.

▶ SEBAB YANG MEMBUAT ORANG DIKENAL,
ADALAH PERBUATANNYA, PIKIRANNYA DAN
UCAPAN - UCAPANNYA, HAL ITULAH YANG
SANGAT MENARIK PERHATIAN ORANG, UNTUK
MENGETAHUI KEPERIBADIAN SESEORANG, OLEH
KARENA ITU HENDAKLAH YANG BAIK ITU
SELALU DIBIASAKAN DALAM LAKSANA,
PERKATAAN DAN PIKIRAN.

(Sarasamuccaya - 77)

*Tulisanku ini dengan setulus hatiku
kupersembahkan kepada BAPAK/IBUKU serta BLI PUTU
GEDE SUBAGA beserta keluarga, KAKAK - KAKAKKU
yang kucintai dan kuhormati.*



KATA PENGANTAR

Kami panjatkan puji dan syukur yang tak terhingga kehadirat TUHAN YANG MAHA ESA, karena berkat rahmatNya dan perkenanNya kami dapat menyelesaikan TUGAS AKHIR ini.

Penyusunan TUGAS AKHIR ini merupakan kurikulum pada Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang harus dikerjakan oleh setiap mahasiswa program Strata I (S I), guna mendapatkan gelar sarjana Teknik Permesinan Kapal..

TUGAS AKHIR ini merupakan TUGAS AKHIR I dengan mengambil topik pembahasan " ANALISA DIMENSI SISTEM FOIL DAN PERENCANAAN NOZZLE PADA KAPAL JET FOIL ", Kapal Jet Foil yang dipakai object pembahasan adalah Kapal Jet Foil " *BIMA SAMUDERA I* ", milik PT. PAL INDONESIA (PERSERO).

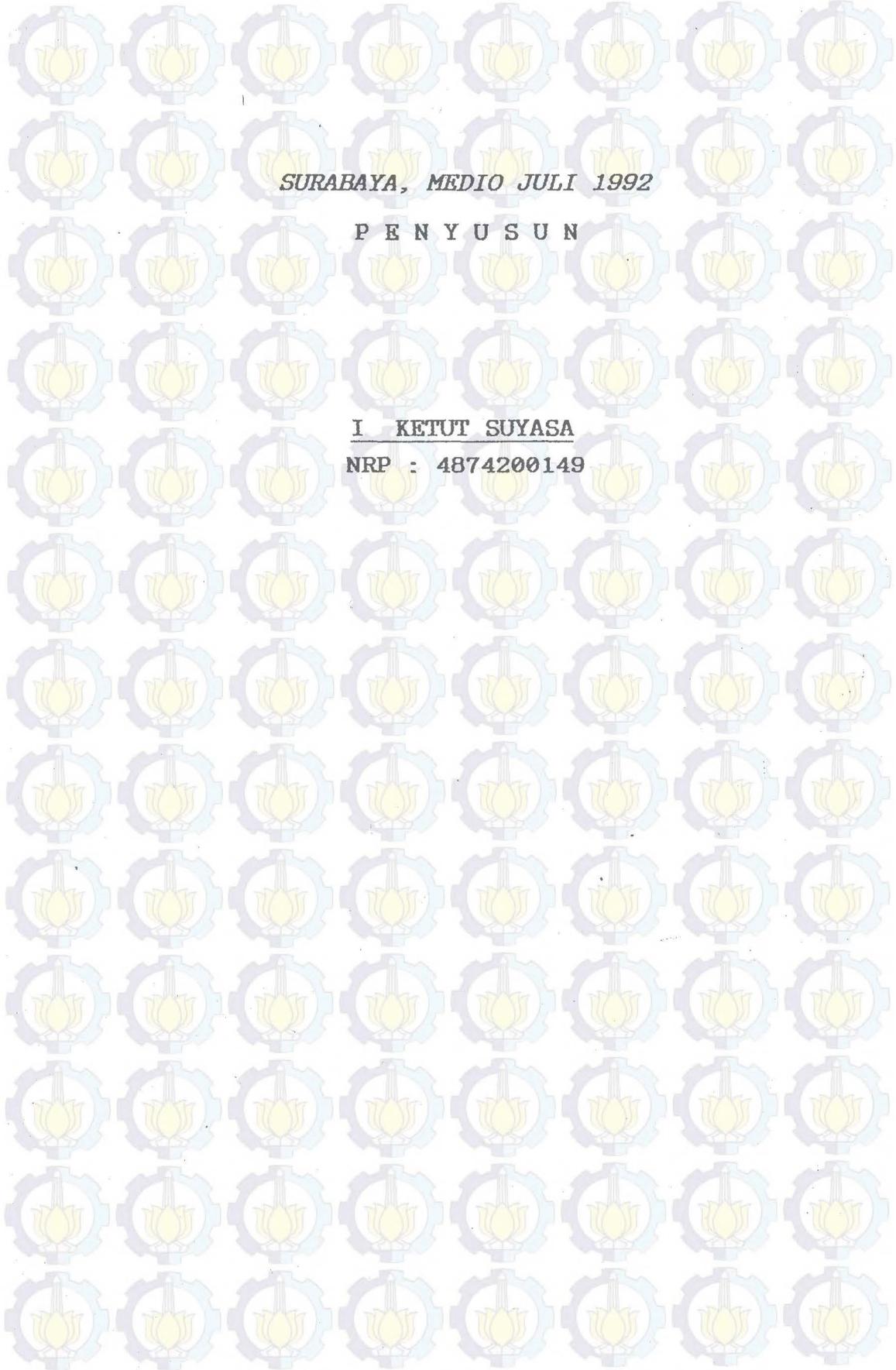
Atas segala bantuannya sehingga terselesainya TUGAS AKHIR I ini, pada kesempatan ini penulis tidak lupa menyampaikan terimakasih dan rasa hormat yang sedalam - dalamnya kepada :

1. Bapak IR. BAMBANG SUPANGKAT, selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal.
2. Bapak IR. TONY BAMBANG, MSc. selaku Dosen Pembimbing.
3. Bapak IR. ALIM WIDODO, selaku Dosen Wali.
4. Bapak KADIKLAT PT. PAL INDONESIA (PERSERO).

5. Bapak WAKADIV KAPAL PERANG PT. PAL INDONESIA (PERSERO).
6. Bapak LETKOL IR. I WAYAN PUNDUH , yang telah memberikan bimbingan dan fasilitas selama penelitian di PT. PAL INDONESIA (PERSERO).
7. Segenap crew Kapal Jet Foil " Bima Samudera I ".
8. Bapak - bapak Dosen dilingkungan FTK-ITS yang telah memberi bimbingan selama study.
9. Segenap Karyawan dilingkungan FTK-ITS yang telah membantu terselesainya TUGAS AKHIR II ini.
10. Rekan - rekan sesama mahasiswa Teknik Permesinan Kapal FTK-ITS.
11. Orang tua beserta keluargaku yang tercinta yang telah memberi dorongan materiil dan moril.
12. Mengenang sahabatku Almarhum Sri Hartono B.
13. Teman - teman lain yang secara langsung telah melancarkan penyusunan TUGAS AKHIR II ini.

Tiada ada gading yang tak retak, demikian pula dalam penyusunan TUGAS AKHIR I ini, kemungkinan masih ada kekurangan, yang mana hal tersebut adalah diluar kemampuan dan kesadaran kami. Oleh karena itu penyusun sangat mengharapkan saran - saran serta kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan TUGAS AKHIR I ini.

Sebagai akhir kata penyusun mohon maaf sebesar - besarnya apabila ada yang kurang berkenan dalam penulisan TUGAS AKHIR I ini.



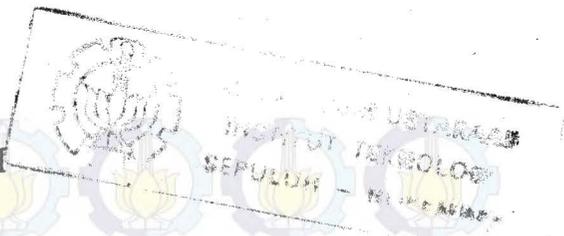
SURABAYA, MEDIO JULI 1992

P E N Y U S U N

I KETUT SUYASA

NRP : 4874200149

DAFTAR ISI



KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR NOTASI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Tujuan penulisan	4
1.3. Batasan dan lingkup permasalahan	4
1.4. Metode penulisan	5
BAB II PESAWAT HYDROFOIL	7
2.1. Tinjauan umum	7
2.2. Tinjauan tiori	8
2.2.1. Prinsip kerja pesawat hydrofoil	8
2.2.2. Gaya - gaya yang bekerja pada Kapal Jet Foil	12
2.3. Konfigurasi hydrofoil	13
2.3.1. Menurut susunan foil	14
2.3.2. Menurut konstruksi foil	16
2.3.3. Menurut distribusi beban	17
BAB III PEMILIHAN SISTEM FOIL	19
3.1. Tinjauan umum	19

3.2. Teori dasar	24
3.3. Komponen yang mempengaruhi gaya angkat dan tahanan	25
3.3.1. Bentuk penampang foil	27
3.3.2. Bentuk permukaan foil	29
3.3.3. Aspect ratio	30
3.3.4. Ratio ketebalan	31
3.3.5. Sudut serang	32
3.4. Perhitungan dimensi foil	34
3.4.1. Perhitungan dimensi foil depan kecepatan maximum foilborne	36
3.4.2. Perhitungan dimensi foil depan kecepatan minimum foilborne	37
3.4.3. Perhitungan dimensi foil belakang kecepatan maximum foilborne	42
3.4.4. Perhitungan dimensi foil belakang kecepatan minimum foilborne	44
3.5. Pemilihan strut	47
3.5.1. Pemilihan strut depan	48
3.5.2. Pemilihan strut belakang	50
3.5.2.1. Pemilihan strut belakang luar	50
3.5.2.2. Pemilihan strut belakang tengah	51
BAB IV PERENCANAAN NOZZLE KAPAL JET FOIL	53

4.1. Tahanan total Kapal Jet Foil	53
4.1.1. Teori dasar perhitungan tahanan Jet foil	56
4.1.2. Tahanan lambung	58
4.1.3. Tahanan pada sistem foil	64
4.1.4. Perhitungan tahanan total Kapal Jet Foil	73
4.2. Kapasitas dan head propulsor	102
4.2.1. Momentum dan impuls pada aliran fluida	103
4.2.2. Head loss pada nozzle	110
4.3. Perhitungan kecepatan pada nozzle jet	113
4.4. Perencanaan nozzle	114
4.4.1. Tinjauan umum	114
4.4.2. Perencanaan nozzle	117
BAB V KESIMPULAN	122

PENUTUP

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

- 2.1. Bentuk aliran yang melewati profile airfoil.
- 2.2. Proses timbulnya gaya angkat pada airfoil.
- 2.3. Gaya - gaya pada jet foil.
- 2.4. Surface piercing foil.
- 2.5. Fully submerged.
- 2.6. Non split.
- 2.7. Split.
- 2.8. konfigurasi hydrofoil.
- 3.1. Bentuk penampang foil.
- 3.2. Bentuk permukaan foil.
- 3.3. Pengaruh aspect ratio terhadap lift dan drag koefisien.
- 3.4. Pengaruh thicness ratio terhadap lift and drag koefisien.
- 3.5. Pengaruh angle of attack terhadap koefisien lift dan drag.
- 3.6. Karakteristik NACA 66 - 210.
- 3.7. Karakteristik NACA 66(215 - 216).
- 3.8. Plain flap.
- 3.9. Karakteristik NACA 64 - 208.
- 3.10 Karakteristik NACA 0012 - 64.
- 4.1. Tahanan bentuk.
- 4.2. Wake turbulen dibelakang plat datar.
- 4.3. Wing of finite span.

4.4. Drag induksi.

4.5. Correction factors for transforming rectangular airfoils from finite to finite aspect ratio.

4.6. Volume atur untuk kasusu umum.

4.7. Volume atur untuk steady flow.

4.8. Head loss pada nozzle.

4.9. Karakteristik foils dan strits.

4.10 Karakteristik pod dan skeg.

DAFTAR NOTASI

A_f	= Luasan frontal.
A_p	= Luasan platform = s . c.
c	= Chord dari foil.
C_D	= Koefisien drag foil.
C_{Di}	= Koefisien drag induksi.
C_{Dtot}	= Koefisien drag total.
D	= Drag sustu bentuk.
D_{ap}	= Tahanan lain - lain pada sistem foil.
D_{aw}	= Tahanan riak gelombang pada sistem foil .
D_f	= Drag pada foil.
D_s	= Drag pada strut.
D_i	= Drag induksi.
D_r	= Drag proper.
F	= Gaya.
F_{\odot}	= Luas penampang melintang tengah kapal .
G	= Gaya berat.
h_L	= Head loss mayor.
h_{Lm}	= Head loss minor.
H_{Lr}	= Head loss total.
K	= Kekasaran permukaan ekivalen.
LWL	= Panjang garis air.
P	= Daya pompa.
Q	= Laju aliran volume.
Re	= Angka reynold.



- Rf = Tahanan bentuk.
- Rr = Tahanan gesek.
- RT = Tahanan total kapal.
- Rt1 = Tahanan total badan kapal.
- Rt2 = Tahanan total sistem foil.
- Rw = Tahanan angin.
- Rz = Tahanan lain - lain.
- P1 = Tekanan di titik 1.
- P2 = Tekanan di titik 2.
- s = Span suatu foil.
- V = Kecepatan.
- Vk = Kecepatan kapal.
- Vrel = Kecepatan relatif kapal terhadap angin.
- z = Posisi ketinggian.
- WSA = Luas permukaan basah.
- α = Sudut serang.
- β = Koefisien Midship.
- δ = Koefisien block.
- φ = Koefisien prismatic memanjang.
- ρ = Density fluida.
- γ = Berat unit fluida.
- ζ_r = Koefisien tahanan gesek.
- ζ_w = Koefisien tahanan angin.
- ε = faktor tahanan bentuk.

B A B I

P E N D A H U L U A N



1.1. LATAR BELAKANG

Berbagai usaha dan percobaan telah ditempuh oleh para ilmuwan yang menggeluti Teknologi Kelautan khususnya pada bidang rekayasa perkapalan dengan segala aspek - aspeknya menuju terciptanya suatu jenis kapal sebagai sarana angkutan air yang mempunyai nilai efisiensi dan daya guna yang relatif tinggi .

Dalam perjalanannya para ilmuwan telah berhasil menciptakan suatu jenis kapal yang boleh dikata hasilnya sangat memuaskan yang merupakan era kebangkitan baru di dunia perkapalan. Ini tiada lain telah terbukti dengan terciptanya/ditemukannya Kapal Jet Foil.

Kapal Jet Foil atau Pesawat Hydrofoil adalah merupakan produk teknologi tinggi yang di dalam rancang bangunnya menggunakan kombinasi dan modifikasi antara teknologi pesawat terbang dan teknologi perkapalan.

Yang menjadikan Kapal Jet Foil lain dari kapal konvensional, adalah terletak dengan dilengkapinya Kapal Jet Foil dengan strut dan foil yang dapat dirubah posisinya sehingga kapal dapat naik dan turun di permukaan air laut. Dengan adanya strut dan foil ini Kapal Jet Foil

mampu berlayar dengan jelajah lambung atau biasa disebut " Hullborne " maupun terbang di atas foilnya " Foilborne " .

Pengoperasian dari strut dan foil ini menggunakan sistem ACS (Automatic Control System). Dengan adanya sistem ini dapat mengatur dan mempertahankan ketinggian kapal di atas permukaan air laut yaitu dengan jalan mengatur gerakan flap - flap pada sistem foil. Flap - flap ini juga dapat mempertahankan stabilitas platform dari kapal. Keuntungan yang utama adalah terciptanya tahanan kapal yang kecil akibat posisi kapal yang dapat mengambang dikarenakan oleh adanya sistem foil tadi.

Dalam masa - masa perkembangannya, pesawat hydrofoil sudah mengalami berbagai perubahan dan pembaharuan. Hal ini terutama ke arah penyempurnaan sistem foil, sehingga terwujudlah berbagai jenis bentuk hydrofoil yang masing - masing jenis mempunyai keuntungan dan kerugian sendiri sendiri terutama erat kaitannya dengan faktor tahanan (Resistance) yang ditimbulkan dan gaya angkat (Lift Force) dari foil untuk beberapa variasi kecepatan. Tahanan ini merupakan masalah pada benda - benda yang bergerak pada media fluida terutama media air laut yang menjadi media umum dari Kapal Jet Foil . Untuk memperkecil tahanan ini di satu pihak dan menambah gaya angkat dipihak yang lain, maka bentuk - bentuk geometri dari sistem foil

harus memenuhi persyaratan hydrodinamika dan aerodinamika.

Persyaratan hydrodinamika dan aerodinamika tidak hanya berlaku pada lambung kapal saja namun juga pada sistem foilnya. Sistem foil inilah yang nantinya memegang peranan penting selama Kapal Jet Foil itu bergerak dengan kecepatan tinggi. Oleh karena itu pemilihan foil dan bagina lainnya dari sistem foil harus menimbulkan tahanan sekecil mungkin di samping fungsi utamanya harus memberikan gaya angkat yang optimal.

Sebagai tenaga penggerak propulsi Kapal Jet Foil digunakan mesin turbin gas dan water jet pump. Jet Foil Propulsion Power diproduksi oleh dua buah turbin gas Allison 501 - K, masing - masing turbin ini dihubungkan dengan poros putaran tinggi (High Speed Shaft) dan reducing gear box ke water jet pump. Pada kondisi Hullborne, water jet pump memompa air masuk lewat " Hullborne Water Intake " yang berada di lambung kapal dan dipompa keluar lewat nozzle di bagian belakang dengan kecepatan tinggi.

Pada kondisi foilborne water jet pump ini memompa air masuk lewat " Foilborne Water Intake " yang terletak pada sistem belakang dan sistem ini menutup dan menyatu dengan saluran water intake pada kondisi hullborne. Kemudian dialirkan/disemprotkan keluar dengan kecepatan tinggi melalui sebuah nozzle yang berfungsi menciptakan perbedaan

momentum akhir dari Kapal Jet Foil. Di sini terlihat bahwa salah satu dari sistem propulsi yaitu nozzle yang merupakan komponen terakhir dari sistem propulsor unit, yang dipakai untuk menaikkan energi kinetis dari aliran fluida. Karena pada prinsipnya gaya dorong pada Kapal Jet Foil dihasilkan oleh perbedaan momentum antara air masuk dan momentum air keluar pada propulsor system unit tersebut.

1.2. TUJUAN PENULISAN

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini yang mengambil judul " Analisa Dimensi Sistem Foil Dan Perencanaan Nozzle Pada Kapal Jet Foil ", adalah untuk tujuan sebagai berikut :

- Mengetahui dan menjabarkan faktor - faktor yang berpengaruh padaperhitungan dan pemilihan dari sistem foil.
- Merencanakan nozzle sebagai komponen terakhir dari sistem propulsion kapal jet foil, sebagai pertimbangan dalam rangka mencari alternatif untuk meningkatkan efektifitas dari propulsor system unit dari Jet Foil.

1.3. BATASAN DAN LINGKUP PERMASALAHAN

Pada hakekatnya pembahasan mengenai Jet Foil bila

permasalahan tidak dibatasi maka pembahasan menjadi kompleks dan panjang seiring dengan kompleksnya disiplin ilmu yang terkait di dalam rekayasa kapal jet foil. Sehubungan dengan itu dan terbatasnya waktu di dalam penyusunan tugas akhir ini, maka permasalahan akan dibatasi dan akan dibahas, dianalisa maupun dihitung adalah sebagai berikut.

- Sistem foil yang dibahas adalah khusus sistem foil Kapal Jet Foil Bima Samudra I.
- Sistem foil tidak dibahas secara mendalam dari segi konstruksi dan uraian mekanisme kerjanya.
- Pembahasan hanya berkisar pada dimensi utama sistem foil dari kapal jet foil.
- Perencanaan nozzle secara umum sesuai dengan aliran fluidanya.
- Dalam pembahasan atau perhitungan keadaan yang ditinjau diasumsikan secara ideal dengan beberapa pengidealisasian.
- Tinjauan analisa dan perhitungan secara ekonomis tidak dibahas.

1.4. METODE PENULISAN

- a. Studi literatur.
- b. Peninjauan lapangan serta data - data lapangan.
- c. Konsultasi dengan para pakar yang telah lama

mengeluti dan berkecimpung di bidang teknologi perkapalan khususnya kapal jet foil, yang dapat membantu terselesainya penyusunan tugas akhir ini.

B A B II

PESAWAT HYDROFOIL

2.1. TINJAUAN UMUM

Untuk kapal konvensional selama ini masalah utama yang dihadapi dan harus ditanggulangi adalah masalah hambatan atau tahanan kapal. Tahanan merupakan fungsi dari kecepatan kapal, maka untuk mencapai kecepatan tinggi tertentu maka tahanan yang harus di atasi juga akan bertambah besar. Pada prinsipnya tahanan yang utama yang menghasilkan tahanan terbesar dari kapal adalah terletak pada luas permukaan kulit lambung kapal yang berada di bawah air atau sering disebut luas permukaan basah (WSA = Wetted Surface Area) . Untuk mengatasi hal ini yang kalau dibiarkan akan mempengaruhi kecepatan kapal akibat pengaruh gesekan dan tekanan air, maka secara rasional pemecahannya adalah memperkecil luas permukaan basah (WSA) dari kapal. Dengan memanfaatkan kemajuan ilmu mekanika fluida yang telah berkembang dengan pesat , maka sebagai alternatif pemecahan untuk mengurangi WSA dari kapal adalah dengan mengangkat kapal itu sendiri dari permukaan air, komponen yang sanggup mengatasi hal itu adalah dengan telah ditemukannya foil yang kalau untuk kendaraan di air lebih dikenal dengan nama hydrofoil. Yang menurut

teori aerodinamika bahwa foil yang berbeda luas permukaan kedua sisinya kalau bergerak melalui media fluida, maka sisi yang luas permukaannya lebih kecil akan mempunyai tekanan yang lebih besar dari sisi dengan luas permukaannya yang lebih besar sehingga menimbulkan gaya angkat (Lift Force). Teori inilah yang diterapkan pada kapal sehingga lahirlah kapal generasi baru yang disebut Kapal Jet Foil atau pesawat hydrofoil. Secara umum kebaikan dari pesawat hydrofoil adalah sebagai berikut :

- Kapal dengan jumlah passengger yang cukup besar, dengan kecepatan tinggi tetapi tahanan yang kecil.
- Kecepatan jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kapal konvensional. Berkisar antara 40 - 50 knots.
- Pada Jet Foil kebaikan akan bertambah dengan kelincahan manuver karena foil dan strut - strut berfungsi sebagai kemudi.

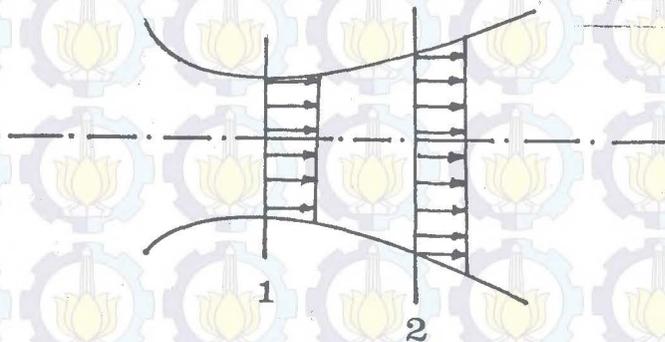
2.3. TINJAUAN TEORI

Pada sub bab ini akan dipaparkan teori ringkas dari Kapal Jet Foil, seperti halnya cara kerja, gaya - gaya yang bekerja pada pesawat hydrofoil.

2.3.1. PRINSIP KERJA PESAWAT HYDROFOIL

Jika suatu fluida tak terkompresi, dialirkan melalui suatu tabung venturi (seperti gambar 2.1) maka

akan timbul perbedaan kecepatan aliran fluida antara posisi 1 dan posisi 2. Perbedaan kecepatan ini timbul akibat laju aliran massa di posisi 1 dan posisi 2 harus tetap sama (persamaan kontinuitas).



MILIK PERPUSTAKAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI
 SEPULUH NOPEMBER

Dari persamaan dasar :

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} \rho \, dV + \int_{CS} \rho \, V \, dA = C^* \quad (1.1)$$

Dimana :

CV = Volume atur (Control Volume).

CS = Permukaan atur (Control Surface).

V = Volume fluida.

Dengan asumsi :

1. Aliran steady.
2. Aliran sama pada tiap bagian.

* REFF . 2 HAL 124.

Maka untuk fluida incompressible :

$$V1 \cdot A1 = V2 \cdot A2.$$

Karena $A1 < A2$, maka $V1 > V2$.

Dari persamaan Bernaulli :

$$\frac{P1}{\gamma} + \frac{V1^2}{2g} + Z1 = \frac{P2}{\gamma} + \frac{V2^2}{2g} + Z2 \quad * \quad (1.2)$$

Dengan asumsi :

1. Aliran steady.
2. Incompressible fluid.
3. Tak ada gesekan.
4. Aliran streamline.
5. $Z1 = Z2$.

Maka didapat :

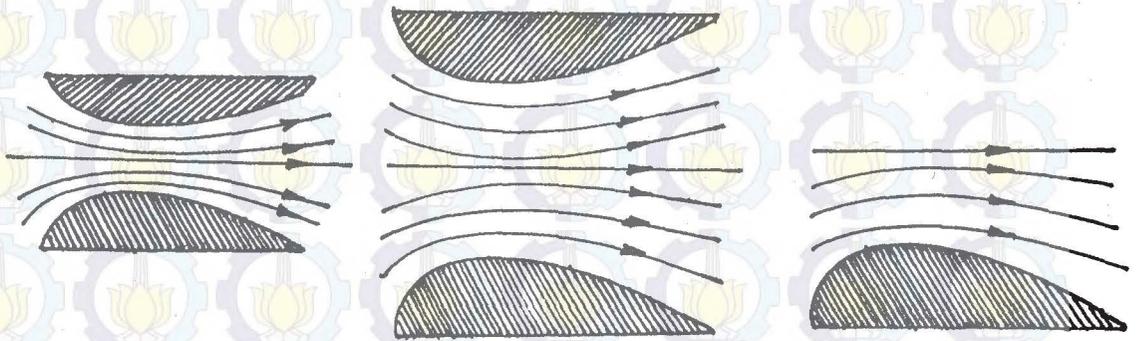
$$\frac{P1}{\gamma} + \frac{V1^2}{2g} = \frac{P2}{\gamma} + \frac{V2^2}{2g}$$

Karena $V1 > V2$ maka $P1 < P2$.

Dengan menggerakkan dinding tabung bagian atas agar menjauh dari dinding bawah, maka akan didapatkan bentuk profil yang mendekati bentuk airfoil.

Dapat dilihat bentuk aliran yang melintasi permukaan tersebut.

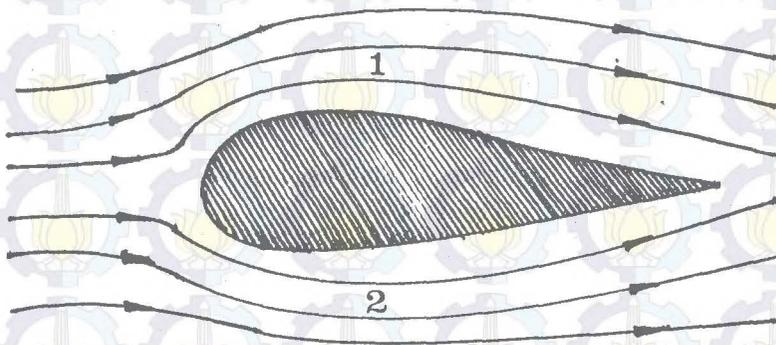
* REFF . 2 HAL 126.



Gambar 2.2

Bentuk aliran yang melewati
profile airfoil

Akibat dari bentuk airfoil yang demikian, maka V_1 akan lebih besar dari V_2 , dan P_1 lebih kecil dari P_2 sehingga menimbulkan gaya angkat pada airfoil tersebut.



Gambar 2.3.

Prose timbulnya gaya angkat
pada aerofoil

2.3.2. GAYA - GAYA YANG BEKERJA PADA KAPAL JET FOIL.

Seandainya Kapal jet Foil dalam keadaan steady mengarungi lautan, maka akan terjadi empat gaya yang bekerja pada kapal tersebut, yaitu :

- Gaya berat (G).
- Gaya angkat (L).
- Gaya tahanan (R).
- Gaya dorong (T).

Pada posisi " Hullborne " yaitu di mana Kapal Jet Foil berlayar dengan jelajah lambung, maka :

- Gaya angkat kapal berbanding lurus dengan volume kapal yang terbenam di air.
- Tahanan yang terjadi sebagian besar timbul pada lambung.
- Gaya dorong dipakai untuk mengatasi tahanan.

Pada posisi " Foilborne " yaitu posisi di mana kapal Jet Foil berlayar terbang dengan menggunakan foil, maka :

- Gaya angkat dihasilkan oleh foil depan dan foil belakang, maka :

$$L = L_1 + L_2.$$

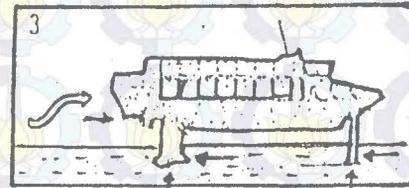
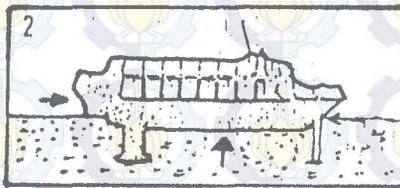
- Tahanan terbesar terjadi pada foil depan dan foil belakang, maka :

$$R = R_1 + R_2.$$

- Gaya dorong selain untuk mengatasi tahanan juga berperanan pada penimbunan gaya angkat.

Karena Kapal Jet Foil berlayar pada kecepatan konstan konstan maka jumlah vektor semua gaya adalah nol :

$$G = L, \text{ dan } R = T.$$

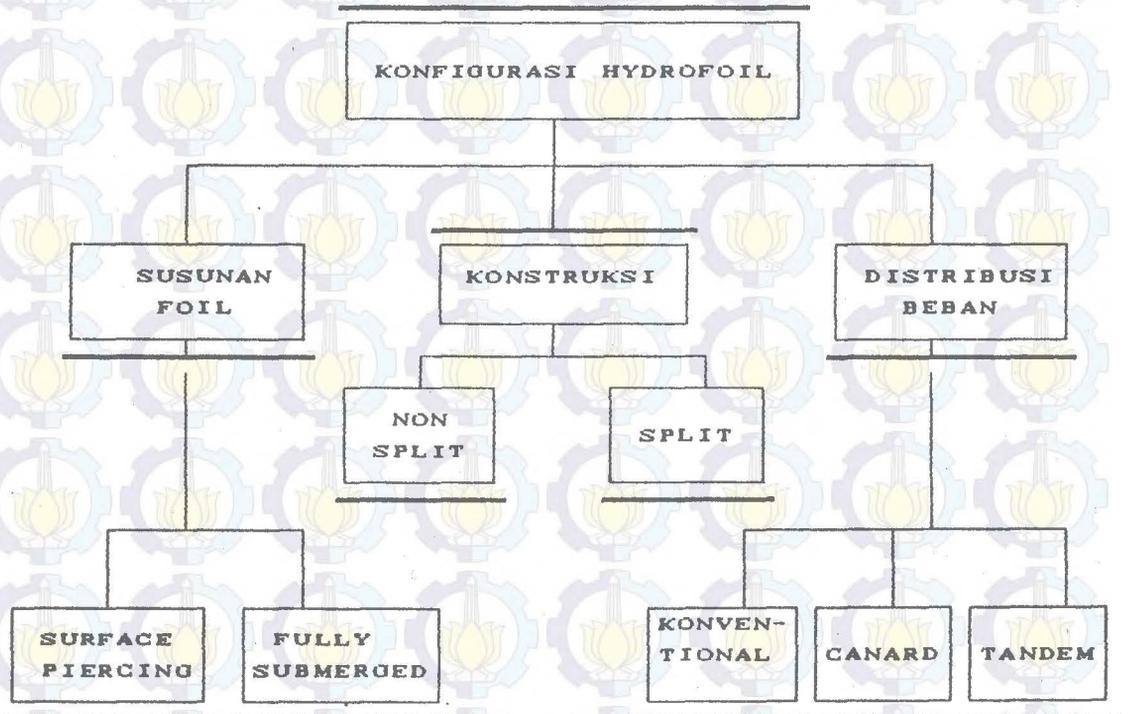


Gambar 2.3

Gaya - gaya pada Jet Foil.

2.4. KONFIGURASI HYDROFOIL

Dalam perkembangannya hingga kini, maka konfigurasi hydrofoil dapat digolongkan berdasarkan susunan foil, konstruksi foil dan distribusi beban dari pesawat hydrofoil tersebut. Hal ini dapat dilihat pada gambar halaman berikut. Skema Konfigurasi Hydrofoil :



Skema 2.1. Konfigurasi Hydrofoil.

2.3.1. MENURUT SUSUNAN FOIL

Konfigurasi hydrofoil menurut susunan foil dapat dibedakan dua jenis hydrofoil yaitu :

- a. Surface piercing foil.
- b. Fully submerged foil.

Surface piercing foil adalah hydrofoil yang berbentuk "V" atau "U" di mana sebagian dari foil terbenam dalam air dan sebagian ada di permukaan air.

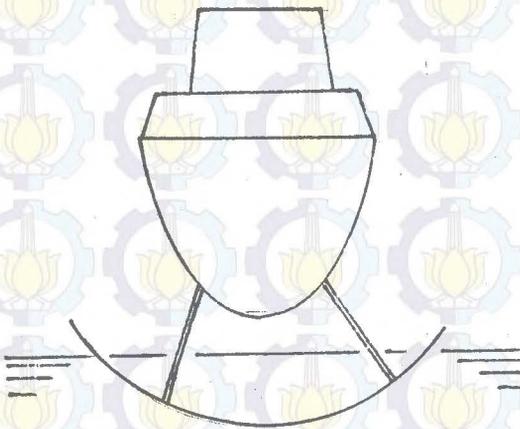
Jenis fully submerged foil adalah hydrofoil dengan seluruh bagian permukaan foil terbenam dalam air dan sebagian lagi ada di permukaan air.

Karakteristik surface piercing foil dibandingkan

dengan fully submerged foil adalah :

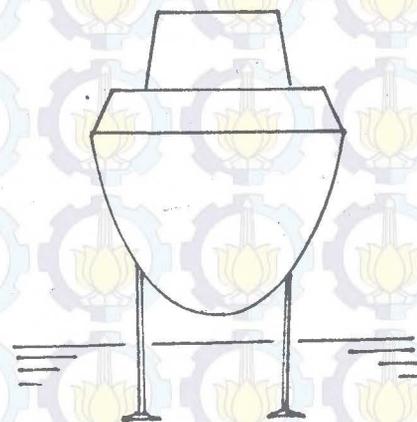
- Luas foil yang terbenam dan sekaligus penghasil gaya angkat dapat berubah - ubah tergantung kecepatan kapal dan gerakan kapal pada gelombang laut.
- Mekanisme lebih sederhana tidak memerlukan flap dan pengendalian khusus.
- Tahanan yang timbul cenderung lebih besar.
- Konstruksi strut lebih kokoh.
- Efisiensi relatif kurang tinggi.

Pada Kapal Jet Foil Bima Samudra I dipakai jenis Fully Submerged Foil, sehingga memungkinkan beroperasi pada laut dengan gelombang yang relatif besar.



Gambar 2.4.

Surface Piercing Foil



Gambar 2.5.

Fully Submerged

2.3.2. MENURUT KONSTRUKSI FOIL.

Ada dua jenis hydrofoil yaitu :

- a. Non Split Hydrofoil.
- b. Split Hydrofoil.

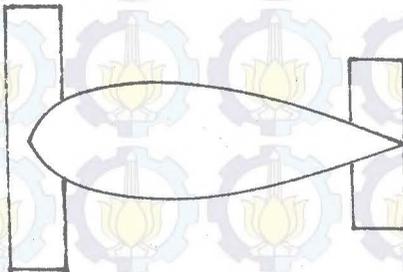
Non Split Hydrofoil adalah hydrofoil dengan konstruksi foil yang menjadi satu antara foil bagian kiri dan foil bagian kanan.

Split Hydrofoil adalah hydrofoil dengan konstruksi foil terpisah antara foil bagian kiri dan foil bagian kanan.

Karakteristik split dibandingkan dengan non split adalah :

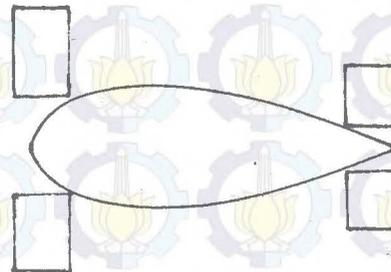
- a. Konstruksi lebih lemah.
- b. Bentangan foil lebih lebar.

Pada Jet Foil Bima Samudra I dipakai jenis non split sehingga konstruksi lebih kuat dan saluran air masuk (Water Intake / Scoop) dapat berfungsi sebagai strut pula.



Gambar 2.6.

Non Split



Gambar 2.7.

Split

2.3.3. MENURUT DISTRIBUSI BEBAN

Berdasarkan distribusi beban ada tiga jenis hydrofoil, yaitu :

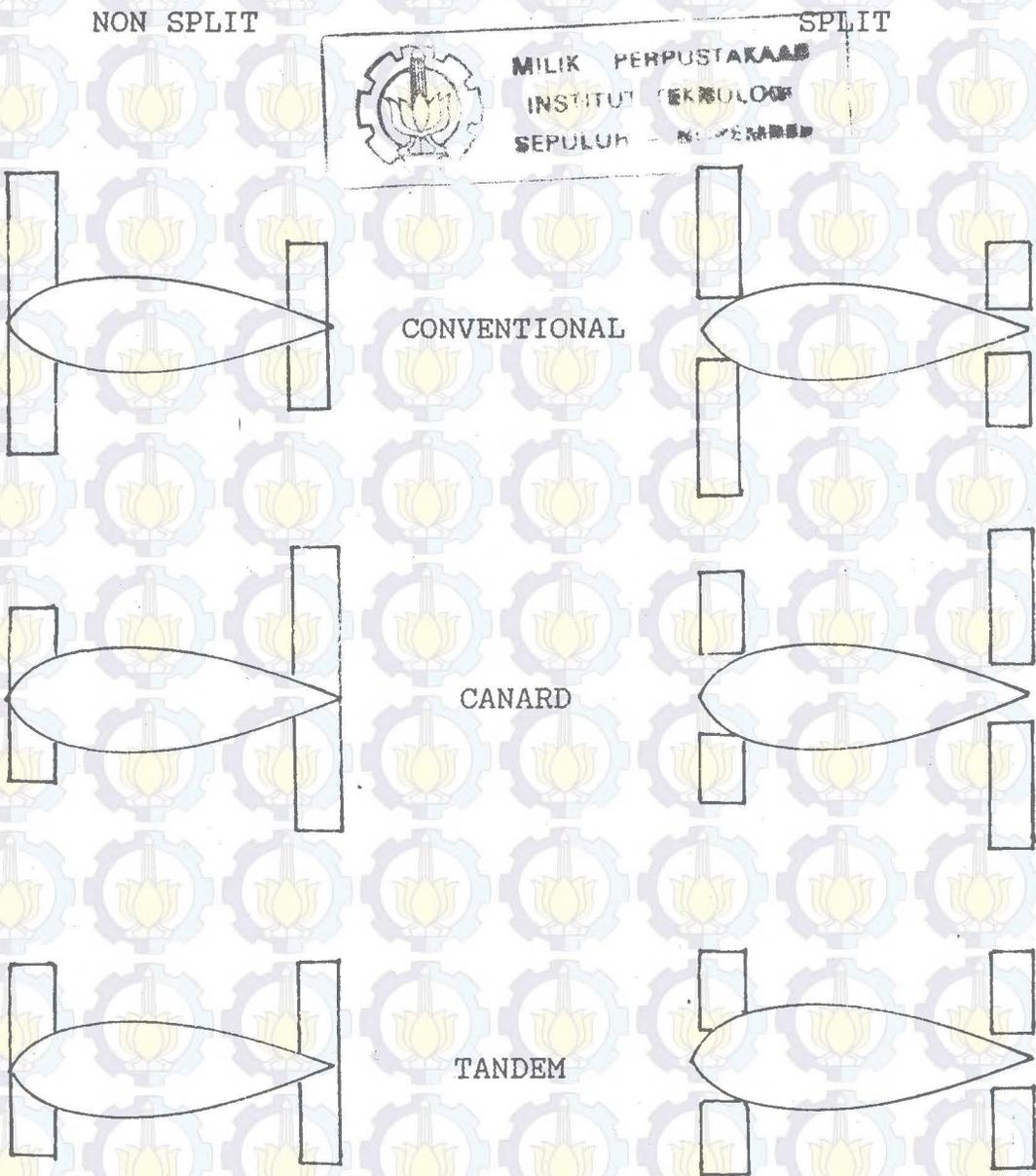
- a. Conventional.
- b. Canard.
- c. Tandem.

Pada konvensional, hydrofoil mempunyai ukuran foil depan lebih besar dibandingkan dengan foil belakang. Sebaliknya pada canard, ukuran foil depan lebih kecil dibandingkan dengan foil belakang. Sedangkan pada tandem, hydrofoil mempunyai ukuran foil depan sama dengan foil belakang.

Karakteristik foil conventional dibandingkan dengan foil canard adalah :

- Gaya angkat terbesar terletak pada foil depan .
- Kemampuan optimumnya tercapai pada kecepatan yang relatif lebih rendah.

Sedangkan karakteristik foil tandem terletak diantara keduanya. Pada Jet Foil Bima Samudra I dipakai jenis canard, karena beban terberat terletak dibagian belakang akibat adanya mesin propulsi di bagian belakang jet foil tersebut



Gambar 2.8.
Konfigurasi Hydrofoil

B A B III

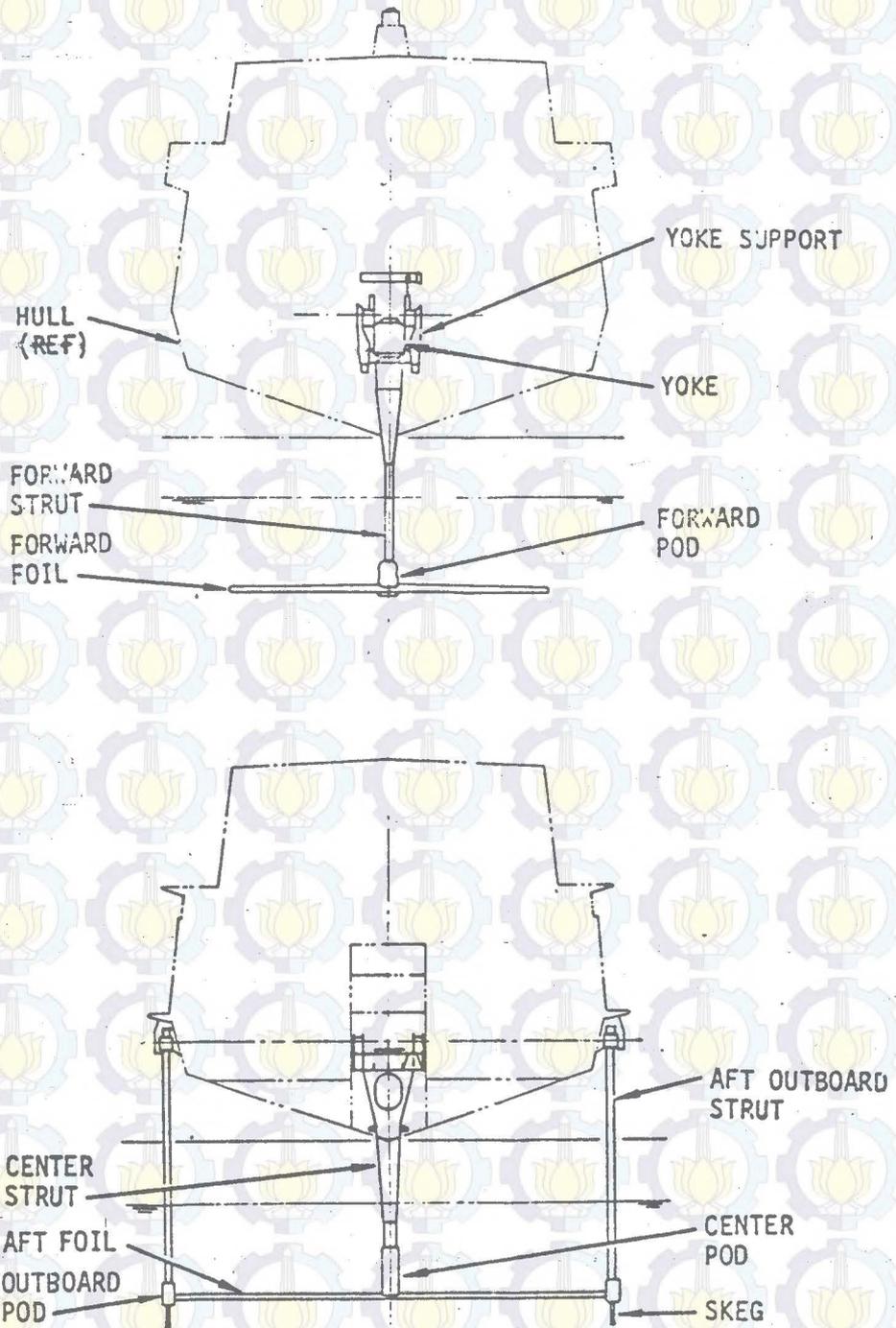
PEMILIHAN SISTEM FOIL

3.1. TINJAUAN UMUM

Sistem foil yang terletak di bagian bawah lambung Jet Foil terbagi dalam dua bagian yaitu sistem foil bagian depan dan sistem foil bagian belakang. Sistem foil bagian depan terdiri dari foil, flap, strut (rudder) dan pod. Sedangkan sistem foil bagian belakang terdiri dari foil, flap, strut, pod skeg dan saluran air masuk (water intake)

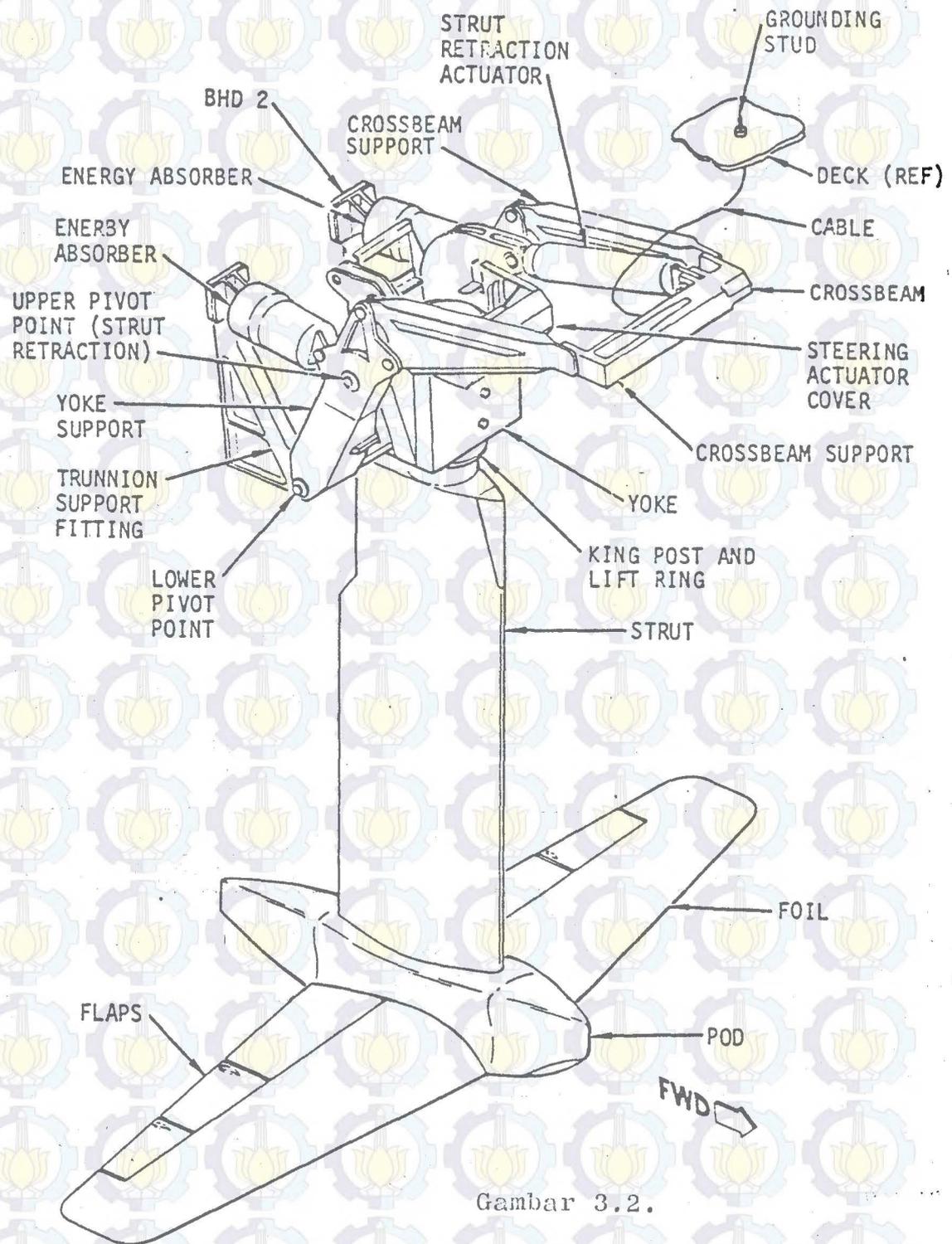
Bagian - bagian foil yang berbentuk profil hidrodinamika yaitu foil dan flap, berfungsi sebagai penghasil gaya angkat. Sedangkan bagian - bagian yang berbentuk profil hidrodinamika yaitu strut berfungsi sebagai kemudi (rudder), bagian - bagian ini akan dijelaskan dan dibahas pada bab ini. Berikut disajikan skema pembagian dari sistem foil :

GAMBAR STRUTS AND FOILS



Gambar 3.1.
Struts dan Foils

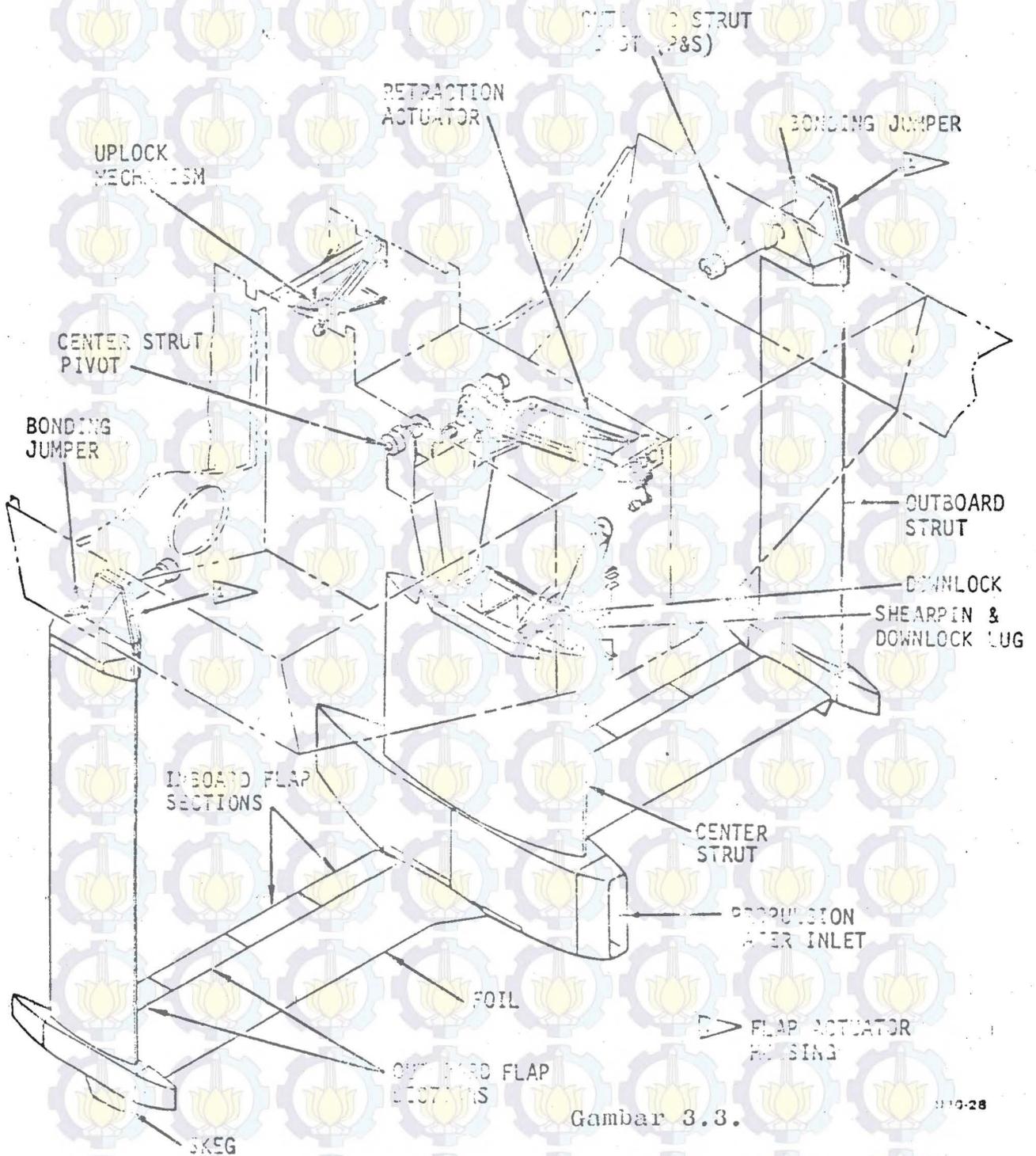
GAMBAR FORWARD STRUT AND FOIL



Gambar 3.2.

Forward strut dan Foil.

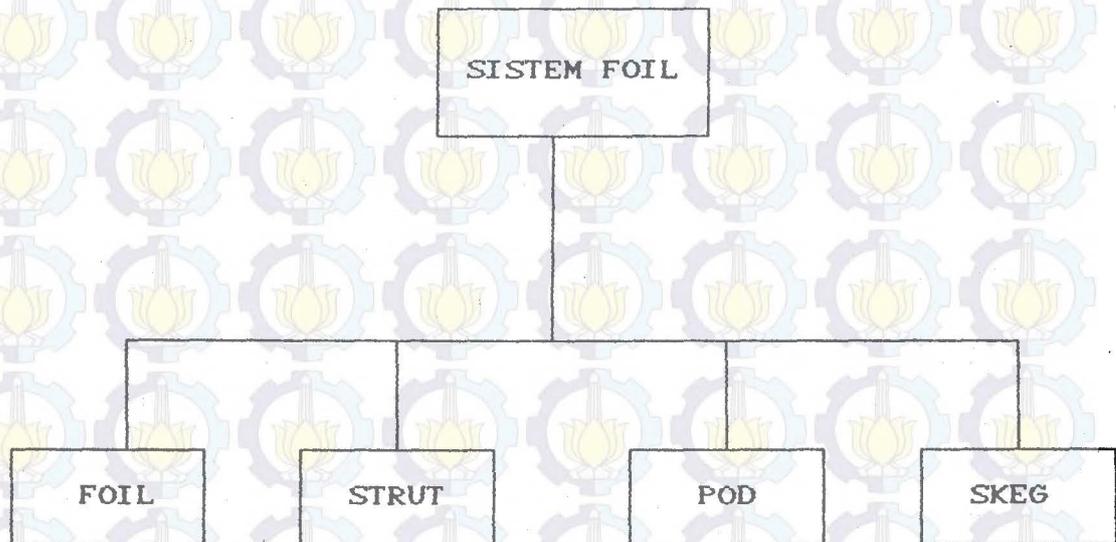
GAMBAR AFT STRUTS AND FOILS



Gambar 3.3.

Aft Struts and Foils.

SKEMA PEMBAGIAN SISTEM FOIL KAPAL JET FOIL



Skema 3.1. Sistem foil.

Sistem foil pada Kapal Jet Foil Bima Samudra I terdiri atas beberapa bagian. Sebagai pengenalan akan dijelaskan bagian - bagian penunjang sistem foil tersebut.

FOIL : Foil berfungsi sebagai penghasil gaya angkat yang dilengkapi dengan 'Flap' untuk mengatur besarnya gaya angkat. Pengaturan flap ini diatur oleh sistem ACS (Automatic Control System) yang mempertahankan ketinggian kapal di atas permukaan laut, dengan sudut angguk (trim) 1° dan sudut oleng (helling) 1° sehingga menghasilkan kenyamanan bagi penumpang.

STRUT : Berfungsi sebagai penyangga foil, baik foil

depan maupun foil belakang. Strut pada foil haluan dapat juga berfungsi sebagai kemudi (rudder), dengan dikordinasi bersama flap - flap oleh ACS.

POD : Berfungsi sebagai tempat bertemunya foil dan strut. Di dalamnya juga terdapat mekanisme - mekanisme penggerak flap yang transmisinya melalui tuas yang diletakan di dalam strut. Pod keberadaannya ditujukan agar luasan transisi ini memenuhi segi hydrodinamika dan aliran yang halus selama foilborne. Dan pod tengah juga berfungsi sebagai saluran masuk air laut untuk propulsi Jet Foil.

SKEG : Fungsinya sebagai stabilisator Jet Foil pada saat Kapal Jet Foil dalam operasi dan posisi foilborne.

3.2. TEORI DASAR

Gaya angkat didefinisikan sebagai komponen dari gaya hydrodinamis resultan yang mempunyai arah normal terhadap aliran fluida. Koefisien gaya angkat (C_l) didefinisikan sebagai :

$$C_l = \frac{L}{1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_p} \quad (3.1)$$

Koefisien gaya angkat suatu hydrofoil merupakan fungsi

dari bilangan Renold dan sudut serang (angle of attack). Sudut serang α adalah sudut antara chord dari foil dengan vektor kecepatan dari aliran fluida . Bilangan Renold Re adalah suatu kriteria yang menentukan keadaan aliran suatu fluida yaitu :

$$Re = \frac{V \cdot L}{\nu} \quad (3.2)$$

Untuk airfoil :

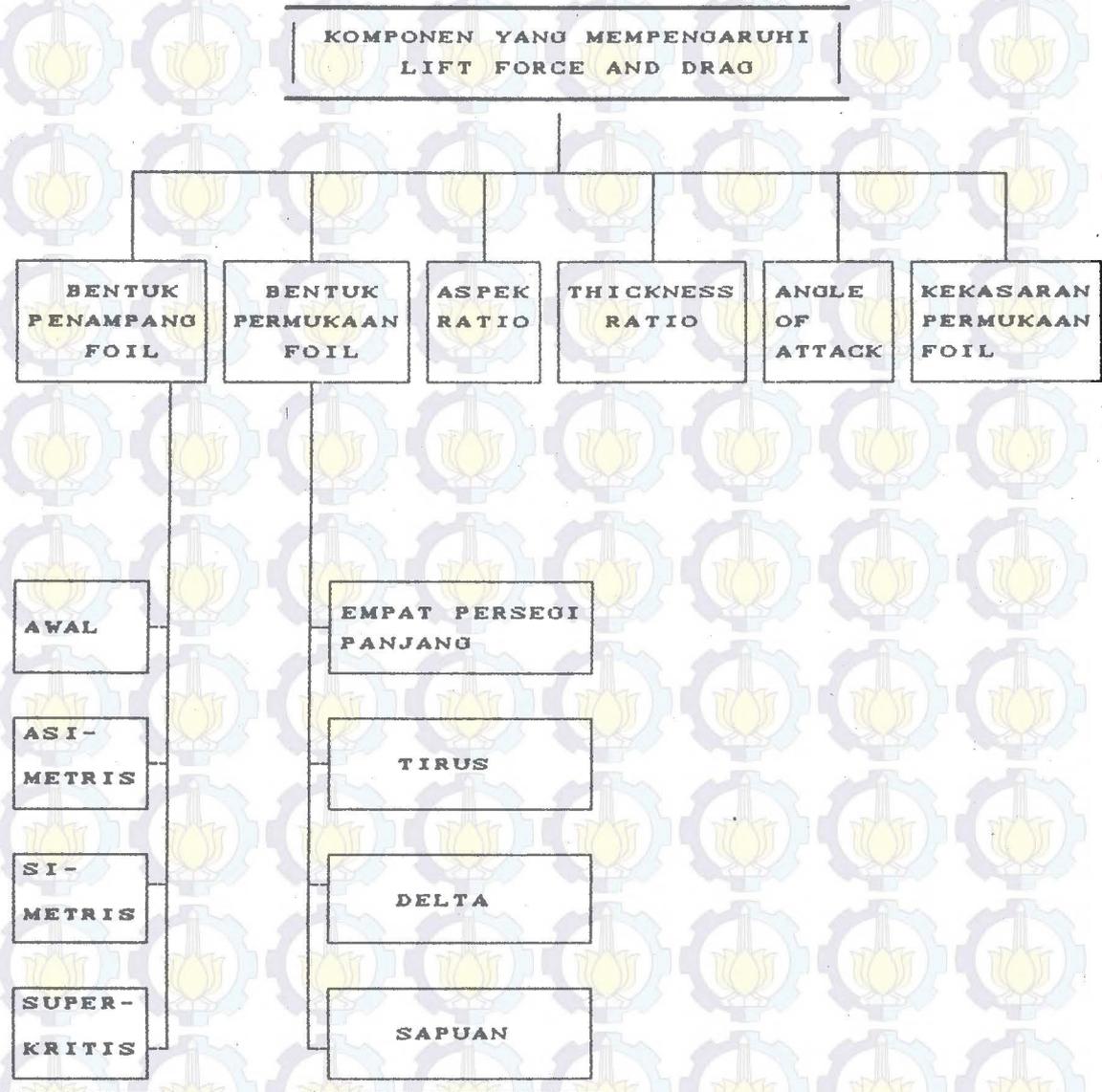
$$Re = \frac{V \cdot c}{\nu}$$

Pada kapal Jet Foil diharapkan bisa terbang di atas foilnya dalam operasinya dapat bertahan lama , maka gaya angkat yang timbul harus besar, sedangkan tahanannya harus kecil. Dengan kata lain perbandingan gaya angkat dan tahanan L/D harus besar. Sifat ini diharapkan terjadi juga pada foil dari jet foil. Sedangkan pada strut, gaya angkat yang terjadi harus nol ($L = 0$) dan tahanannya kecil.

3.3. KOMPONEN YANG MEMPENGARUHI GAYA ANGKAT DAN TAHANAN

Komponen yang mempengaruhi gaya angkat dan tahanan pada sistem foil disajikan dalam bentuk skema di bawah ini ;

SKEMA KOMPONEN YANG MEMPENGARUHI
LIFT FORCE AND DRAG



Skema 3.2. Komponen yang Mempengaruhi
Lift Force dan Drag.

Hal - hal yang mempengaruhi gaya angkat dan tahanan suatu airfoil antara lain :

1. Bentuk penampang foil.
2. Bentuk permukaan foil.
3. Aspect ratio.
4. Ratio ketebalan.(Thickness Ratio)
5. Sudut serang.(Angle of attack)
6. Kekasaran permukaan foil.

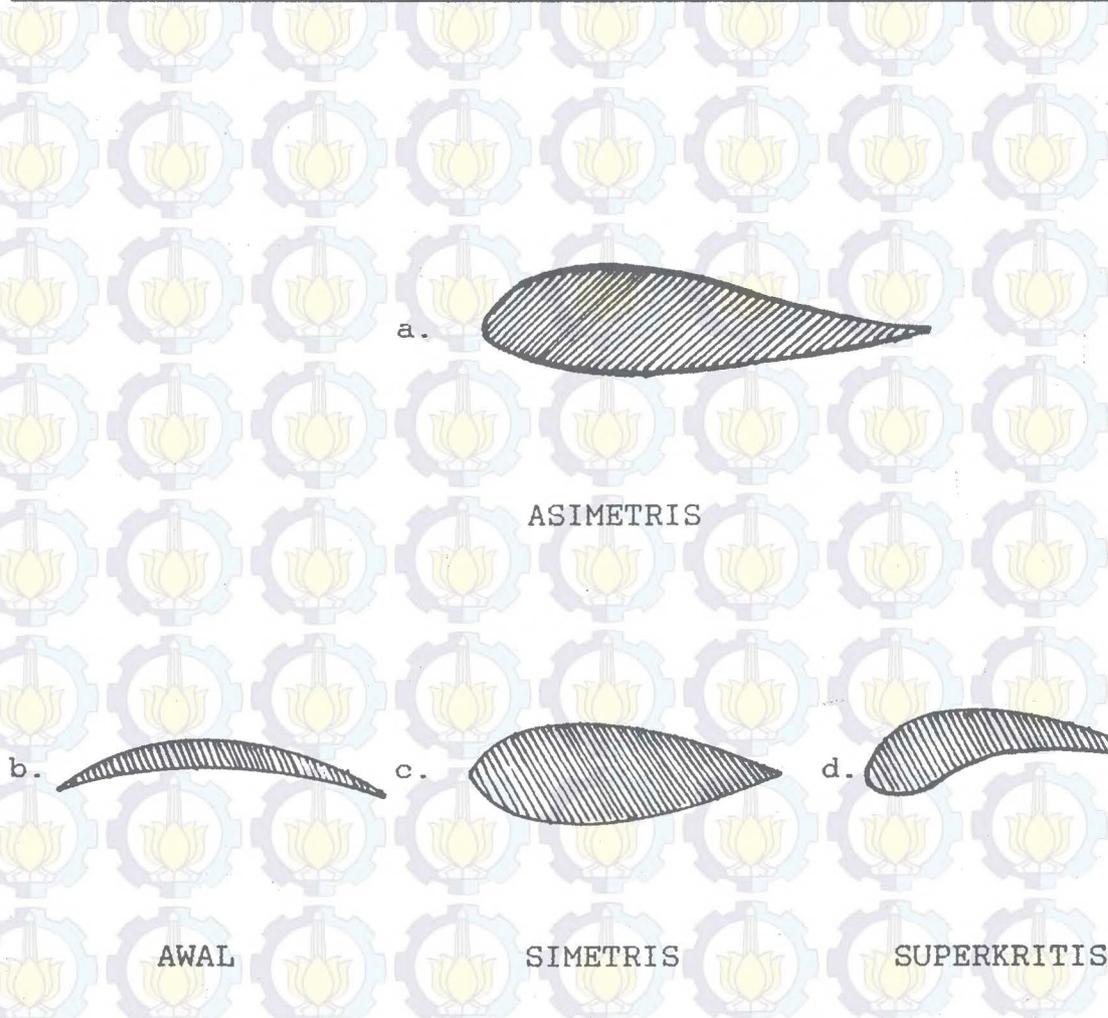
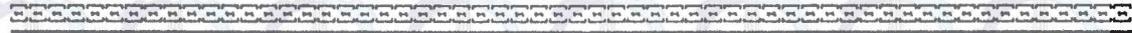
3.3.1. BENTUK PENAMPANG FOIL

Secara garis besarnya ada 4 buah bentuk penampang airfoil yang pernah dikenal, yaitu :

- a. Bentuk awal.
- b. Bentuk asimetris.
- c. Bentuk simetris.
- d. Bentuk superkritis.

Mengenai bentuk asimetris sebenarnya masih terbagi lagi ke dalam bentuk - bentuk tertentu, antara lain jenis glider, subsonic dan supersonic dari urutan ketiganya akan diperoleh karakteristik sebagai berikut :

- Gaya angkat makin kecil.
- Tahanan makin kecil .
- Ratio ketebalan makin kecil.



Gambar 3.1

Bentuk penampang foil.

Yang terlihat pada gambar 3.1.a adalah airfoil dari jenis subsonic.

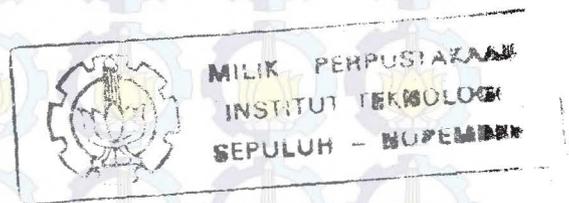
Ketiga bentuk air foil lainnya dapat dilihat pada gambar b, c, dan d bentuk awal sudah jarang dipakai lagi kini, karena tidak cocok untuk kecepatan tinggi, sedangkan airfoil yang simetris mempunyai ciri khas, yaitu

tidak menimbulkan gaya angkat dan menurunkan tahanan dibandingkan dengan bentuk - bentuk airfoil yang konvensional.

3.3.2. BENTUK PERMUKAAN FOIL

Pada dasarnya ada empat buah bentuk permukaan foil yang umum digunakan. Penggunaannya berdasarkan pada fungsinya yang diinginkan pada alat tersebut. Keempat buah bentuk permukaan foil tersebut.

- a. Bentuk empat persegi panjang .
- b. Bentuk tirus.
- c. Bentuk delta.
- d. Bentuk sapuan.



- 1. Empat persegi panjang.
- 2. Tirus.
- 3. Delta
- 4. Sapuan.

gambar 3.2.

Bentuk permukaan foil

Karakteristik dari bentuk - bentuk permukaan foil

ini masih dipengaruhi oleh luasan dari permukaan foil tersebut (berkaitan dengan aspect ratio). Bentuk empat persegi panjang tidak cocok dipakai untuk hydrofoil dengan kecepatan amat tinggi. Sedangkan ketiga bentuk lainnya dapat dipakai untuk pesawat hydrofoil dengan kecepatan tinggi dan diharapkan untuk memperoleh manuver yang lebih baik, bahkan bentuk delta telah dipergunakan untuk pesawat supersonic. Pada bentuk empat persegi panjang akan diperoleh tahanan yang besar, oleh karena itu perlu dibuat kemiringan untuk mengurangnya, namun dengan adanya kemiringan dari airfoil ini, gaya angkatnya pun cenderung menurun.

3.3.3. ASPECT RATIO

Parameter yang dipakai untuk mendefinisikan span yang efektif dari airfoil adalah aspect ratio, didefinisikan sebagai berikut :

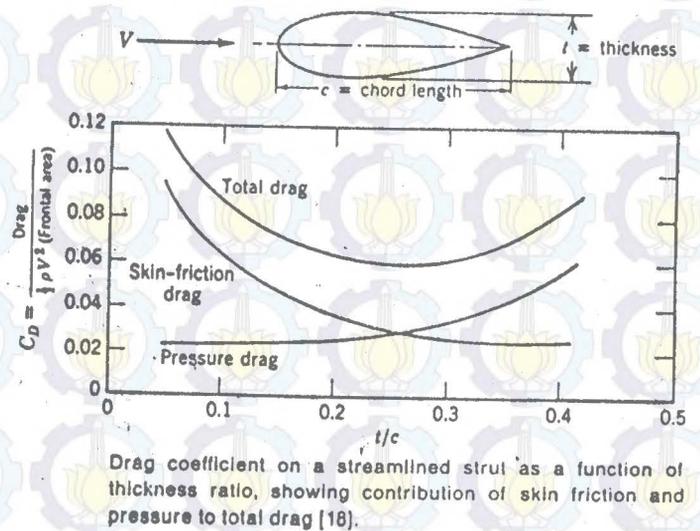
$$ar = \frac{A_p}{C^2} \quad (3.3)$$

Untuk foil berbentuk persegi panjang :

$$ar = \frac{S \cdot C}{C^2} = \frac{S}{C}$$

Dengan aspect ratio yang besar, maka gaya angkat dan tahanan yang timbul akan besar.

berkurang, hingga batas tertentu. Pengaruh ratio ketebalan terhadap gaya angkat dan tahanan dapat dilihat pada gambar di bawah. Dengan demikian pesawat hydrofoil dengan kecepatan tinggi akan menggunakan foil yang tipis.

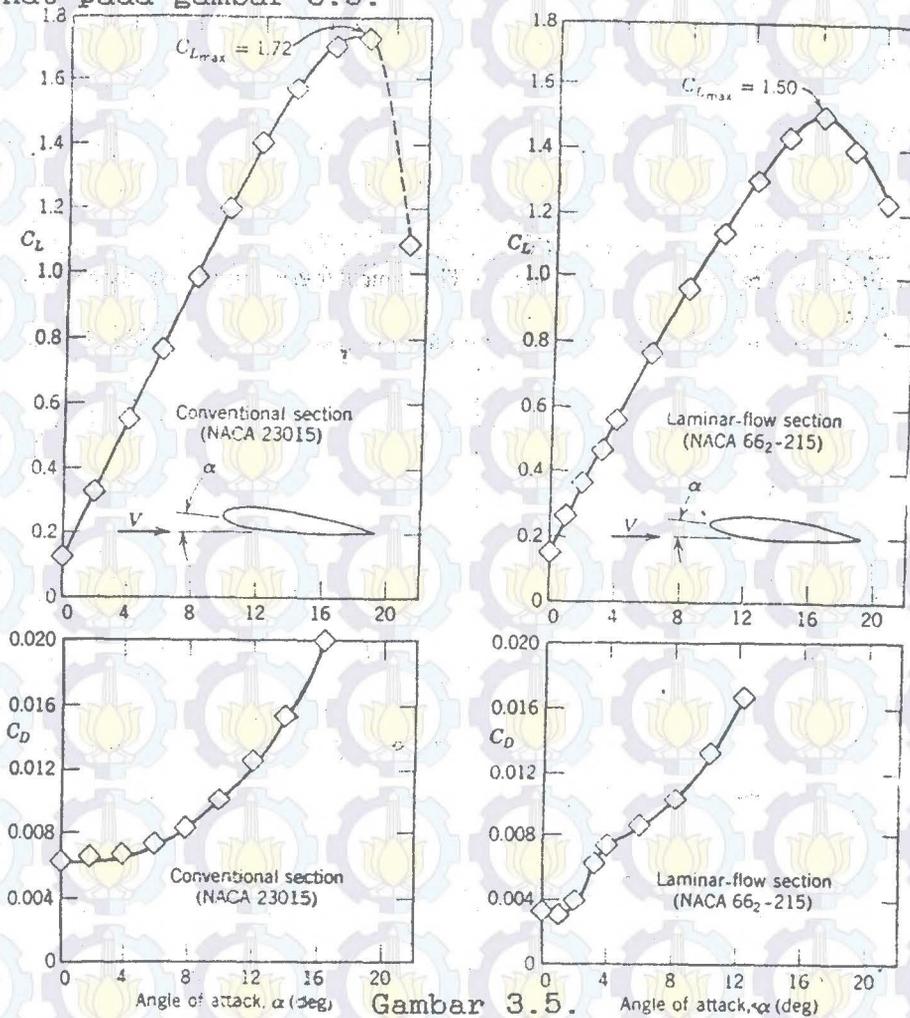


Gambar 3.4.

Pengaruh thickness ratio terhadap lift and drag koefisien

3.3.5. SUDUT SERANG (ANGLE OF ATTACK)

Dengan diperbesarnya sudut serang dari airfoil, maka gaya angkat dan tahanan semakin besar. Jika tahanan terus membesar mengikuti pembesaran sudut serang, maka gaya angkat akan turun pada sudut serang tertentu. Jadi pada gaya angkat akan diperoleh nilai maksimum. hal ini dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5.

Pengaruh angle of attack terhadap koefisien lift dan drag

3.4. PERHITUNGAN DIMENSI FOIL

DATA PERENCANAAN FOIL DAN STRUTS (BOEING COMPANY DATA)

Karak- teristik	Foil Depan	Foil Belakang	Strut Depan	Strut Belakang luar	Strut Belakang Tengah
S (mm)	6,30	8,76	2,62	2,60	2,19
C (mm)	1,07	1,14	1,25	1,14	2,54
t/C(%)	10	8	15	12	15
α (°)	± 2	2	0	0	0

Flap - flap yang ada, baik pada flap - flap foil belakang maupun flap - flap pada foil depan, mempunyai sudut flap (δf) antara -15° hingga $+15^\circ$, tanda negatif menunjukkan gerakan flap ke atas dan sebaliknya tanda positif menunjukkan gerakan flap ke bawah. Flap - flap ini bekerja secara otomatis di bawah pengatur sistem pengendalian otomatis (ACS).

Dari data diketahui :

Δ Jet Foil = 115 long tons.

Jarak foil depan - foil belakang = 60 ft.

Jarak foil depan - titik berat Jet Foil = 42,33 ft.

Jarak foil belakang - titik berat Jet Foil = 17,67 ft.

Jet foil diasumsikan mempunyai dua sayap yaitu sayap depan dan sayap belakang yang mempunyai gaya angkat (Lift

Force) untuk mengangkat keseluruhan berat maksimum dari jet foil. Jet foil pada posisi foilborne diasumsikan sama dengan sebuah batang yang ditumpu kedua ujungnya, maka beban yang diterima oleh masing - masing sayap/foil dapat dicari dengan cara sebagai berikut :

- Beban yang diterima oleh Foil depan.

$$W1 = \frac{17.6 \times 115}{60}$$

$$= 33,87 \text{ long tons.}$$

$$= 337572,60 \text{ N}$$

- Beban yang diterima oleh foil belakang.

$$W1 = \frac{42,33 \times 115}{60}$$

$$= 81,13 \text{ long tons.}$$

$$= 808684,20 \text{ N.}$$

Untuk pemilihan dimensi dari foil, yang utama menjadi pertimbangan adalah gaya angkat (lift force) atau CL yang besar dan tahanan yang sekecil mungkin (CD sekecil mungkin).

3.4.1. PERHITUNGAN DIMENSI FOIL DEPAN KECEPATAN MAXIMUM

FOILBORNE

Foil depan menggunakan foil bentuk penampang foil jenis tirus, alasan pengambilan bentuk ini adalah :

1. Foil depan bersama - sama strut depan berfungsi sebagai kemudi sehingga dibutuhkan suatu bentuk yang mempunyai kemampuan manuver yang lincah.
2. Disebabkan foil depan hanya ditopang oleh sebuah strut depan saja, maka tegangan dan tekanan terbesar terjadi pada pangkal foil depan, sehingga pada bagian tersebut mempunyai luas penampang yang lebih besar daripada luas penampang di ujung foil depan.

□ Daya angkat yang dibangkitkan oleh foil depan.

$$L_1 = W_1 = 337572,60 \text{ N.}$$

Density air laut pada 20°C , $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$

Kinematic viscosity air laut pada 20° ,

$$\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Kecepatan jelajah maksimum:

$$V = 46 \text{ knots.}$$

$$= 46 \frac{\text{nautical mile}}{\text{hour}}$$

$$= 46 \frac{\text{naut ml}}{\text{hour}} \times \frac{\text{km} \times 1000 \text{ m}}{0,54 \text{ naut ml.km}} \times \frac{\text{hour}}{3600 \text{ s}}$$

$$V = 23,68 \text{ m/s.}$$

□ Luas platform foil depan .

$$A_p = S \cdot C.$$

$$= 6,30 \times 1,07.$$

$$= 6,74 \text{ m}^2.$$

□ Dari persamaan : (3.1)

$$C_L = \frac{L}{1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_p}$$

$$= \frac{337572,60}{1/2 \cdot 1025 \cdot (23,68)^2 \cdot 6,74}$$

$$= 0,174.$$

□ Dari persamaan : (3.2)

$$Re = \frac{V \cdot C}{\nu}$$

$$= \frac{23,68 \cdot 1,07}{1,05 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 2,41 \cdot 10^7.$$

Dapat diasumsikan bahwa sudut serang yang relatif kecil (sekitar $-4^\circ < \alpha \leq +4^\circ$) akan diperoleh C_L dan C_D tidak jauh berbeda untuk $6 \times 10^7 < Re \leq 3 \times 10^7$ oleh karena itu dipakai data $Re = 9 \times 10^6$ untuk nilai Re yang masih dalam batas - batas nilai di depan.

3.4.2. PERHITUNGAN DIMENSI FOIL DEPAN UNTUK KECEPATAN

MINIMUM FOILBORNE

$$V = 42 \text{ knots} \longrightarrow 21,62 \text{ m/s.}$$

$$C_L = \frac{L}{1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_p}$$

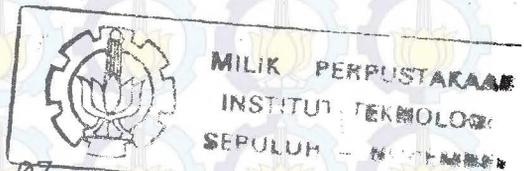
$$= \frac{337572,60}{1/2 \cdot 1025 \cdot (21,62)^2 \cdot 6,74}$$

$$= 0,21.$$

$$Re = \frac{V \cdot c}{\nu}$$

$$= \frac{21,62 \cdot 1,07}{1,05 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 2,2 \cdot 10^7.$$



Dengan berdasarkan :

$$t/c = 10\%$$

$$CL = 0,174 \text{ pada } \alpha = \pm 2^\circ \text{ (} Re = 2,41 \times 10^7 \text{)}.$$

$$CL = 0,210 \text{ pada } \alpha = \pm 2^\circ \text{ (} Re = 2,20 \times 10^7 \text{)}.$$

CD sekecil mungkin pada $0,174 \leq CL \leq 0,21$.

Maka foil depan menggunakan profil NACA 66 - 210.

dengan :

$$\alpha = 0,8^\circ \longrightarrow 1,5^\circ.$$

$$CL = 0,2 \text{ dan } CD = 0,0031.$$

Tahanan yang kecil diperoleh pada $0,1 \leq CL \leq 0,3$.

Keterangan untuk NACA 66 - 210.

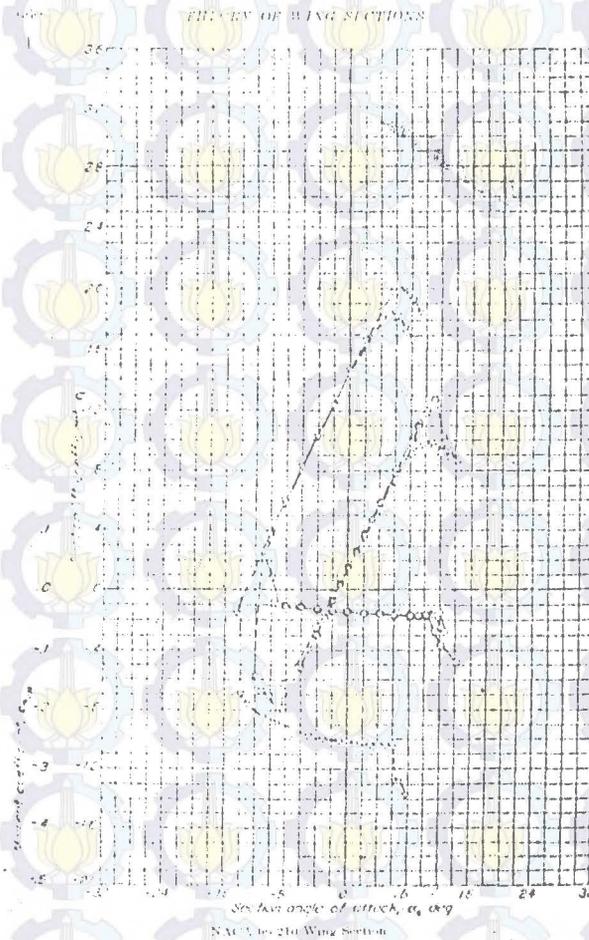
NACA : National Advisory Committee For
Aeronautics.

Angka 6 (I) : Nomor seri.

Angka 6 (II) : Posisi tekanan minimum pada chord ke arah belakang dari sisi masuk.

Angka 2 : Koefisien gaya angkat design dalam persepuluhan.

Angka 10 : Ketebalan airfoil dalam persen chord.



Gambar 3.6.

Karakteristik NACA 66- 210

Pada saat proses take off (tinggal landas) dari jet foil kembali ke posisi horizontal dan gaya angkat dari sistem foil berfungsi secara mandiri. Hal ini terjadi pada

$$V = 27 \text{ knots} = 13,9 \text{ m/s.}$$

$$CL = \frac{L}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot Ap.}$$

$$= \frac{337572,60}{\frac{1}{2} \cdot 1025 \cdot (13,9)^2 \cdot 6,74}$$

$$= 0,51.$$

$$Re = \frac{V \cdot C}{\nu}$$

$$= \frac{13,9 \cdot 1,07}{1,05 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 1,42 \cdot 10^7.$$

Oleh karena foil yang ada tidak bisa bergerak maka untuk mendapatkan $CL = 0,51$ dipakai peralatan pembantu yaitu flap . Di sini dipakai jenis plain flap yang dengan mekanisme sederhana dapat bergerak, ke atas dan ke bawah.

Untuk memahami efek flap terhadap CL dan D dipakai karakteristik aerodinamika dari NACA 66 (215) - 216. Jika dipakai $0,20C$ plain flap berada pada $\delta f = -15^\circ$, diperoleh :

$$CL = 0,3.$$

$$CD = 0,0183.$$

Sedang pada $\delta f = +15^\circ$ diperoleh :

$$C_L = 0,75.$$

$$C_D = 0,021.$$

Jadi dengan flap ini C_L dapat bergerak antara 0,3 hingga 0,75 dengan demikian maka C_L untuk kecepatan pesawat 27 knots masih masuk dalam data - data batas di atas..

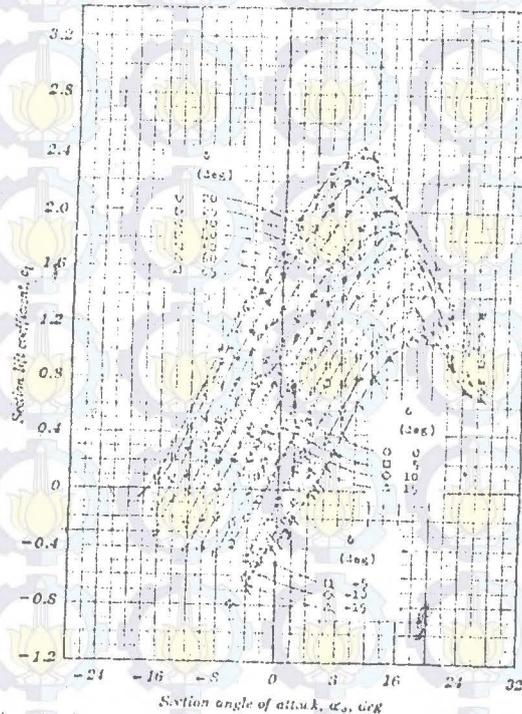
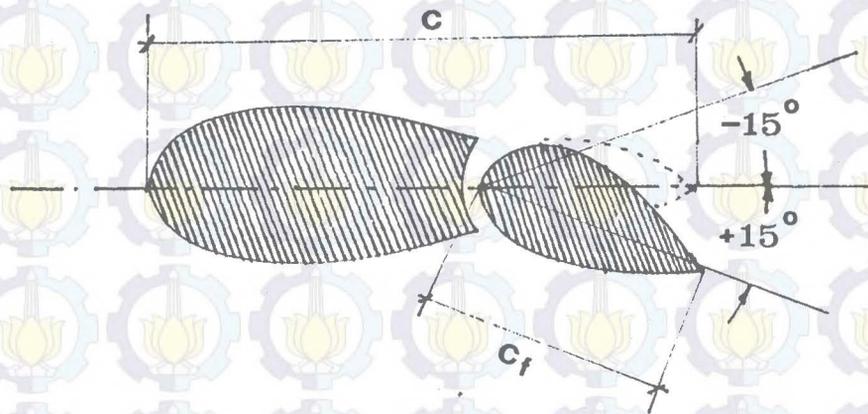


Fig. 16. Aerodynamic characteristics of the NACA 66(215)-216 airfoil section with 0.20 scaled flap flap.

Gambar 3.7.

Karakteristik NACA 66(215 - 216)



Gambar 3.8.

Plain flap

3.4.3. PERHITUNGAN DIMENSI FOIL BELAKANG KECEPATAN MAXIMUM FOILBORNE

Foil belakang menggunakan penampang foil jenis empat persegi panjang. Alasan pengambilan bentuk ini adalah :

1. Foil belakang menanggung beban terbesar.
2. foil belakang ditunjang oleh tiga buah strut, sehingga bentuk yang merata demikian lebih memungkinkan dipakai dan beban yang ada terbagi diantara ketiga buah strut tersebut.

- Daya angkat yang dibangkitkan oleh foil belakang.

$$L_1 = W_1 = 808684,20 \text{ N.}$$

Density air laut pada 20°C , $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$

Kinematic viscosity air laut pada 20° ,

$$\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$$

Kecepatan jelajah maksimum:

$$V = 46 \text{ knots.}$$

$$= 46 \frac{\text{nautical mile}}{\text{hour}}$$

$$= 46 \frac{\text{naut ml}}{\text{hour}} \times \frac{\text{km} \times 1000 \text{ m}}{0,54 \text{ naut ml.km}} \times \frac{\text{hour}}{3600 \text{ .s}}$$

$$V = 23,68 \text{ m/s.}$$

- Luas platform foil depan *belakang*

$$A_p = S \cdot C.$$

$$= 8,76 \times 1,14.$$

$$= 9,99 \text{ m}^2.$$

- Dari persamaan : (3.1)

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_p.}$$

$$= \frac{808684,20}{\frac{1}{2} \cdot 1025 \cdot (23,68)^2 \cdot 9,99.}$$

$$= 0,28.$$

- Dari persamaan : (3.2)

$$Re = \frac{V \cdot C}{\nu}$$

$$= \frac{23,68 \cdot 1,14}{1,05 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 2,57 \cdot 10^7.$$

Dapat diasumsikan bahwa sudut serang yang relatif kecil (sekitar $-4^\circ < \alpha \leq +4^\circ$) akan diperoleh C_L dan C_D tidak jauh berbeda untuk $6 \times 10^7 < Re \leq 3 \times 10^7$ oleh

karena itu dipakai data $Re = 9 \times 10^6$ untuk nilai Re yang masih dalam batas - batas nilai di depan.

3.4.4. PERHITUNGAN DIMENSI FOIL BELAKANG KECEPATAN MINIMUM FOILBORNE

$$V = 42 \text{ knots} \longrightarrow 21,62 \text{ m/s.}$$

$$CL = \frac{L}{1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot Ap.}$$

$$= \frac{808684,20}{1/2 \cdot 1025 \cdot (21,62)^2 \cdot 9,99.}$$

$$= 0,34.$$

$$V \cdot C$$

$$Re = \frac{21,62 \cdot 1,14.}{1,05 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 2,35 \cdot 10^7.$$

Dengan berdasarkan :

$$t/c = 10\%$$

$$CL = 0,174 \text{ pada } \alpha = \pm 2^\circ \text{ (} Re = 2,57 \times 10^7 \text{).}$$

$$CL = 0,210 \text{ pada } \alpha = \pm 2^\circ \text{ (} Re = 2,35 \times 10^7 \text{).}$$

CD sekecil mungkin pada $0,28 \leq CL \leq 0,34$.

Maka foil ~~depan~~ menggunakan profil NACA 64 - 208.

dengan :

$$\alpha = 0,8^\circ \longrightarrow 1,5^\circ.$$

$$CL = 0,3 \text{ dan } CD = 0,0045.$$

Tahanan yang kecil diperoleh pada $0,1 \leq CL \leq 0,3$.

Keterangan untuk NACA 64 - 208.

NACA : National Advisory Committee For Aeronautics.

Angka 6 : Nomor seri.

Angka 4 : Posisi tekanan minimum pada chord ke arah belakang dari sisi masuk.

Angka 2 : Koefisien gaya angkat design dalam persepuluhan.

Angka 08 : Ketebalan airfoil dalam persen chord.

Pada saat proses take off (tinggal landas) dari jet foil kembali ke posisi horizontal dan gaya angkat dari sistem foil berfungsi secara mandiri. Hal ini terjadi pada

$$V = 27 \text{ knots} = 13,9 \text{ m/s.}$$

$$\begin{aligned} CL &= \frac{L}{1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot Ap.} \\ &= \frac{808684,20}{1/2 \cdot 1025 \cdot (13,9)^2 \cdot 9,99.} \\ &= 0,82. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Re &= \frac{V \cdot c}{1,05 \cdot 10^{-6}} \\ &= \frac{13,9 \cdot 1,14.}{1,05 \cdot 10^{-6}} \\ &= 1,51 \cdot 10^7. \end{aligned}$$

Oleh karena foil yang ada tidak bisa bergerak maka untuk mendapatkan $CL = 0,28$ dipakai peralatan pembantu

yaitu flap . Di sini dipakai jenis plain flap yang dengan mekanisme sederhana dapat bergerak, ke atas dan ke bawah.

Untuk memahami efek flap terhadap CL dan CD dipakai karakteristik aerodinamika dari NACA 66 (215) - 216.

Jika dipakai 0,20C plain flap berada pada $\delta f = -15^\circ$, diperoleh :

$$CL = 0,3$$

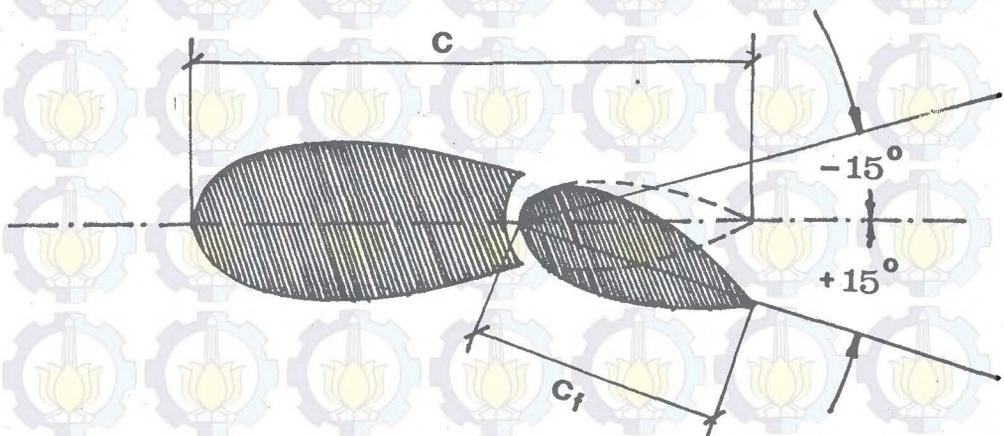
$$CD = 0,0183.$$

Sedang pada $\delta f = +15^\circ$ diperoleh :

$$CL = 0,75.$$

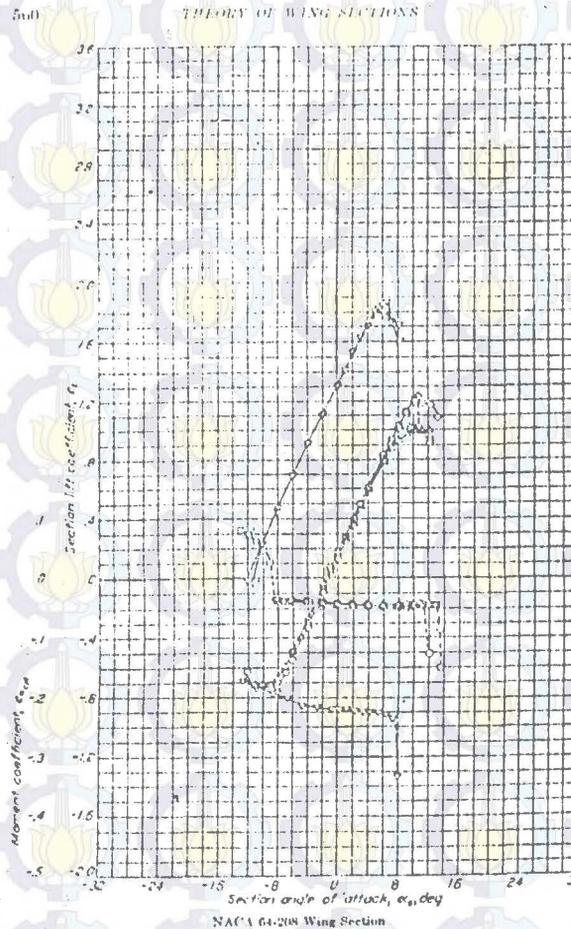
$$CD = 0,021$$

Jadi dengan flap ini CL dapat bergerak antara 0,3 hingga 0,75 dengan demikian maka CL untuk kecepatan pesawat 27 knots masih masuk dalam data - data batas di atas..



Gambar 3.8.

Plain Flap



Gambar 3.9.

Karakteristik NACA 64 - 208

3.4. PEMILIHAN STRUT

Strut yang berfungsi sebagai penyanggah harus kuat dan tidak menimbulkan gaya angkat dalam operasinya. Disebabkan strut mempunyai sudut serang 0° dan $L = 0$, maka digunakan bentuk penampang airfoil jenis simetris,

sedangkan tahanan diharapkan sekecil mungkin.

Dari data perencanaan, terlihat bahawa strut - strut yang ada mempunyai $C \geq 1,14$ m, sehingga Re - nya mempunyai nilai lebih besar dari 10^7 , baik untuk $V = 46$ knots maupun untuk $V = 42$ knots, oleh karena itu di dalam pemilihan strut ini dipergunakan asumsi seperti pemilihan plain flap.

3.4.1. PEMILIHAN STRUT DEPAN

Dengan berdasarkan pada :

Bentuk profil simetris.

$t/c = 15\%$.

CD sekecil mungkin.

Maka strut depan menggunakan profil NACA 0015. Strut depan ini juga disebut rudder karena fungsinya sebagai kemudi. Sudut serang maksimum yang dapat dibentuk oleh rudder ini adalah -7° dan 7° , sedangkan yang biasa dipakai dalam prakteknya berkisar antara -2° hingga 2° .

Oleh karena karakteristik aerodinamika dari NACA 0015 tidak tersedia dalam referensi yang ada, maka karakteristik aerodinamikanya dicari secara pendekatan dengan ekstrapolasi dari data - data karakteristik aerodinamika NACA 0006, NACA 0009 dan NACA 0012. Hal ini dapat dilihat pada tabel

Tabel 3.1. Karakteristik Aerodinamika dari Beberapa NACA Seri 00

Jenis profil (NACA)	Angle Of Attack					
	$\alpha = -2^\circ$		$\alpha = 0$		$\alpha = +2^\circ$	
	CL	CD	CL	CD	CL	CD
0006	-0,24	0,0058	0	0,0052	0,19	0,0056
0009	-0,22	0,0059	0	0,0056	0,20	0,0058
0012	-0,20	0,0060	0	0,0059	0,21	0,0060

Untuk NACA 0015 (Ekstrapolasi)

$\alpha = -2^\circ$, diperoleh CL = -0,18 dan CD = 0,0061

$\alpha = 0$, diperoleh CL = 0 dan CD = 0,0063

$\alpha = +2^\circ$, diperoleh CL = 0,22 dan CD = 0,0062

Keterangan untuk NACA 0015 :

NACA : National Advisory Committee For Aeronautics.

Angka 0 (I) : Nilai camber maksimum dalam persen chord.

Angka 0 (II) : jarak dari sisi masuk ke lokasi camber maksimum dalam persepulahan chord.

Angka 15 : Ketebalan airfoil dalam persen chord.

3.4.2. PEMILIHAN STRUT BELAKANG

Strut belakang pada Jet Foil ada dua jenis yaitu :

- a. Strut Belakang luar.
- b. Strut Belakang tengah.

Untuk strut belakang luar ada dua buah, yaitu port strut dan staa**t**bord strut di mana masing - masing mempunyai karakteristik dan dimensi yang sama.

3.4.2.1. PEMILIHAN STRUT BELAKANG LUAR

Dengan berdasarkan pada :

Bentuk profil simetris.

$t/c = 12 \%$.

$CD =$ Sekecil mungkin.

Maka strut belakang luar menggunakan profil 0012-64

Gambar 3.9.dengan :

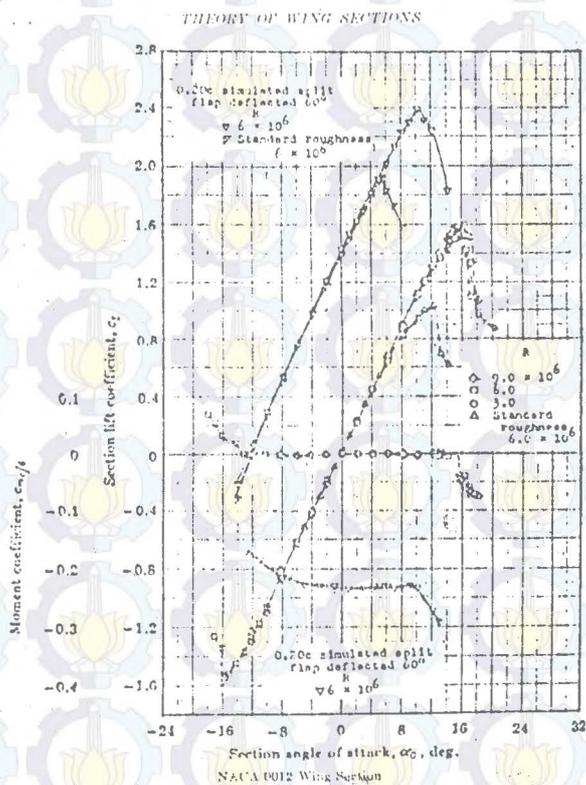
$CL = 0$.

$CD = 0,0056$.

Angka 64 pada NACA 0012 - 64 mengindikasikan NACA 0012 yang telah dimodifikasikan. Angka 6 adalah besar radius relatif dari sisi masuk, sedangkan angka 4 menunjukkan posisi dari ketebalan dalam persepuluhan chord.



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER



Gambar 3.9.

Karakteristik NACA 0012 - 64

3.4.2.2. PEMILIHAN STRUT BELAKANG TENGAH

Dengan berdasarkan pada :

Bentuk profil simetris.

$t/c = 12 \%$.

C_D = Sekecil mungkin.

Maka strut belakang tengah menggunakan profil NACA 0015 (lihat sub BAB), dengan :

C_L = 0.

C_D = 0,0063.

B A B IV

PERENCANAAN NOZZLE KAPAL JET FOIL

Dalam perencanaan nozzle komponen - komponen yang mempengaruhi dimensi dan karakteristik dari nozzle ditampilkan dalam skema di bawah ini :

Skema 4.1. Komponen Perc. Nozzle.



4.1. TAHANAN TOTAL KAPAL JET FOIL

TINJAUAN UMUM

Benda yang bergerak dalam cairan, maka semua permukaan benda terpengaruh oleh cairan. Terjadi gaya - gaya yang bekerja (berpengaruh) pada semua penjurur, gaya - gaya ini adalah gaya - gaya tekanan, gaya normal, gaya geser yang kesemuanya terbagi - bagi pada permukaan benda.

Gaya - gaya hidrodinamika merupakan vektor gaya R

dan vektor momen M, di mana besarnya sebagai berikut:

$$\vec{R} = \int_S \vec{P}_n \cdot ds \quad *$$

$$\vec{M} = \int_S (\vec{r} \times \vec{P}_n) \cdot ds \quad (4.1.2)$$



Di mana :

P_n = Vektor tegangan pada permukaan benda, pada pada titik yang tertentu di permukaan benda S yang terletak antara tekanan normal P dan tegangan geser τ .

\vec{r} = Jari - jari vektor dari titik tertentu pada permukaan benda dalam sistem koordinat (pusat pengaruh gaya)

Vektor gaya R dan vektor momen M dapat terdiri dari bentuk jumlah proyeksi pada sistem koordinat (x,y,z) . Arah sumbu x diambil searah dengan gerakan kapal, sumbu z ke atas dan sumbu y ke samping. Gerakan kapal terletak pada bidang horizontal di mana terdapat sumbu y, maka dapat ditulis sebagaiberikut :

$$\vec{R} = \vec{R}_x + \vec{R}_y + \vec{R}_z \quad * * \quad (4.1.3)$$

$$\vec{M} = \vec{M}_x + \vec{M}_y + \vec{M}_z \quad (4.1.4)$$

*. REFF 1 HAL 19

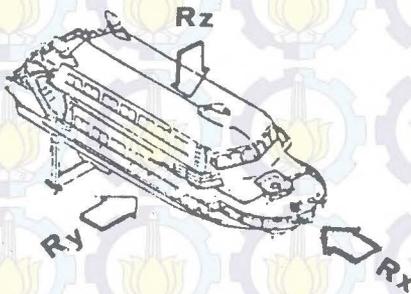
* *. REFF 1 HAL 20

Di mana :

i, j, k adalah orde (satuan vektor) pada arah tiap -
tiap sumbu. Proyeksi R pada sumbu $x \longrightarrow Rx$ disebut
tahanan total pada gerakan kapal yang arahnya berlawanan
dengan arah gerakan kapal.

R_y = Disebut tahanan samping.

R_z = Disebut gaya angkat ke atas.



R_y timbul karena draft kapal.

R_z mungkin ke arah ke atas mungkin ke bawah.

Proyeksi momen utama (M) pada sumbu x, y, z adalah
 M_x, M_y, M_z . Kita misalkan kapal bergerak beraturan dalam
cairan dengan kecepatan V_0 dalam arah sumbu x . Kita bagi
permukaan basah S menjadi luasan elementer ds , maka pada
 ds ini akan bekerja gaya - gaya yang disebabkan oleh
cairan yang terdiri dari tegangan gesek elementer ds dan
gaya normal (gaya tekanan) $p \cdot ds$, maka akan kita peroleh
proyeksi - proyeksi dari gaya - gaya tersebut sebagai gaya
- gaya hidrodinamika :

$$R_x = \int_S [\tau_o \cos (\tau_o, x) + P \cdot \cos (P, x)] \cdot ds \quad (4.1.5)$$

$$R_y = \int_S [\tau_o \cos (\tau_o, y) + P \cdot \cos (P, y)] \cdot ds \quad (4.1.6)$$

$$R_z = \int_S [\tau_o \cos (\tau_o, z) + P \cdot \cos (P, z)] \cdot ds \quad (4.1.7)$$

Untuk gerakan benda pada cairan ideal, tegangan geser $\tau_o = 0$.

4.1.1. TEORI DASAR PERHITUNGAN TAHANAN JET FOIL

Telah kita ketahui bentuk umum proyeksi vektor utama R , gaya dari cairan yang bekerja pada kapal. Maka sekarang kita lihat proyeksi vektor gaya R pada sumbu x , di mana sumbu x searah dengan gerakan kapal dan misalkan kapal bergerak beraturan dengan kecepatan V_0 , maka proyeksi tersebut :

$$R_x = \int_S [\tau_o \cos (\tau_o, x) + P \cdot \cos (P, x)] \cdot ds \quad (4.1.8)$$

Merupakan gaya tahanan yang bekerja pada kapal.

Untuk pembicaraan selanjutnya R_x kita ganti dengan R saja. τ_o tegangan yang menyinggung suatu titik yang diketahui pada permukaan basah kapal. Maka tahanan kapal dapat dituliskan dalam dua komponen sebagaiberikut:

$$R_T = R_f + R_p \quad (4.1.9)$$

Di mana :

$$R_f = \int_s \tau_o \cos(\tau_o, x) \cdot ds. \quad (4.1.10)$$

$$R_p = \int_s P \cdot \cos(P, x) \cdot ds. \quad (4.1.11)$$

R_f = Tahanan gesekan. (friction Resistance).

R_p = Tahanan tekanan (pressure Resistance).

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

Tahanan gelombang kapal timbul karena gerakan kapal dan permukaan cairan .

$$\text{Tahanan penuh } R = R_f + R_{vis} + R_w.$$

Di mana : R_f dan R_e berhubungan dengan kekentalan cairan sehingga $R_f + R_e = R_{vis}$ (disebut tahanan kekentalan) .

Pada gerakan kapal dalam kecepatan yang tetap dalam udara atau dalam cairan misalnya kapal selam, maka tahanan penuh yang bekerja pada kapal tersebut hanya tahanan yang disebabkan oleh kekentalan . Untuk bagian kapal yang di atas permukaan air diperhitungkan juga tahanan yang disebabkan oleh angin yang biasa dinyatakan dengan huruf R_w , di mana tahanan ini bisa terdiri juga dari dua bagian yaitu : yaitu tahanan gesekan dan tahanan bentuk.

Rumus umum tahanan kapal pada gerakan kapal yang beraturan

$$R = \frac{\zeta \cdot \rho \cdot S \cdot V \theta^2}{2}$$

Di mana :

ζ = Koefisien tahanan tanpa dimensi yaitu tahanan hidrodinamika kapal.

S = Luas permukaan basah kapal (Wetted Surface Area).

V_0 = Kecepatan gerakan kapal .

Koefisien tahanan untuk kapal adalah fungsi dari bilangan Reynold dan bilangan Froude.

Di mana :

Bilangan Reynold :

$$Re = \frac{V_0 \cdot L}{\nu} , L = \text{Panjang kapal.}$$

Bilangan Froude :

$$Fn = \frac{V_0}{\sqrt{g \cdot l}}$$

Karena Jet Foil merupakan kapal khusus, maka metode - metode perhitungan tahanan yang ada sebagian besar menggunakan model, dengan demikian sudah barang tentu untuk kapal Jet Foil kurang akurat. Oleh karena itu tahanan pada lambung dihitung seperti pembagian perhitungan di bawah ini.

4.1.2. TAHANAN PADA LAMBUNG

Pada kapal Jet Foil pada saat Hullborne atau pada kondisi jelajah lambung maka, tahanan yang terjadi dapat digolongkan sebagaiberikut :

1. Tahanan gesek.

2. Tahanan bentuk.

3. Tahanan angin.

4.1.2.1. TAHANAN GESEK (FRICTION RESISTANCE)

Tahanan ini diakibatkan oleh gesekan antara permukaan badan kapal dengan air laut. Akibat dari adanya bekas - bekas sambungan las, kerusakan pengecatan badan kapal, korosi dan akibat lainnya pada kapal yang menimbulkan kekasaran pada permukaan badan kapal. Besarnya tahanan ini dapat dirumuskan :

$$R_f = \frac{\zeta f \cdot \rho \cdot V^2 \cdot WSA}{2}$$

Dimana :

R_f = Friction resistance.

ζf = Koefisien tahanan gesek (non dimensi) yang besarnya dipengaruhi oleh perbandingan antara kekasaran permukaan ekuivalen dibanding panjang kapal (K/LWL), dan Reynold number (Re). Besarnya K menurut jenis kapal dapat dilihat pada tabel .

V = Kecepatan kapal (m/s).

ρ = Specific weight dari air ($kg \cdot s^2/m^4$).

Untuk air laut 104,8

untuk air tawar 102,0

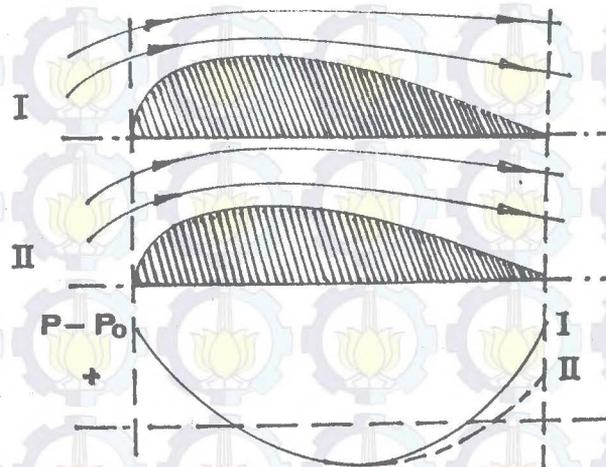
WSA = Wetted Surface Area (luas permukaan basah) kapal (m^2). WSA merupakan fungsi dari

panjang kapal (L), lebar kapal (B), dan sarat kapal (T), juga CB .

4.1.2.2. TAHANAN BENTUK (Re)

Tahanan bentuk kapal timbul karena cairan mempunyai kekentalan dan karena perbedaan tekanan pada permukaan. Pada gambar 5.1. perbedaan tekanan $P_d = P - P_o$, untuk benda streamline tanpa batas aliran pada cara ideal.

(Gambar I) dan cairan yang mempunyai kekentalan (Gambar II) . Pada gambar tampak bahwa tekanan pada bagian belakang menjadi lebih kecil pada cairan yang mempunyai kekentalan , maka dari itu pada cairan yang sebenarnya proyeksi gaya tekanan pada arah aliran tidak akan menjadi nol. Dan kekasaran ini kita sebut tekanan benda tersebut.



Gambar 4.1.

Tahanan bentuk.

Tahanan dihitung dengan menggunakan pertolongan grafik percobaan model Taylor.

Rumus umum tahanan bentuk adalah

$$Re = \epsilon \cdot D.$$

Dimana :

Re = Tahanan bentuk dari badan kapal.

ϵ = Faktor tahanan bentuk.

D = Displacement kapal.

Faktor - faktor yang mempengaruhi besarnya tahanan bentuk adalah, Froude number

$$Fn = \frac{V_0}{\sqrt{g \cdot l}}, \text{ atau dalam bentuk lain diekspresikan}$$

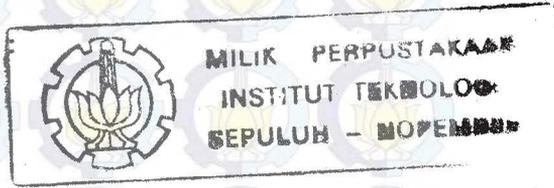
$$\text{sebagai : } Fn = \frac{V_0}{\sqrt{g \sqrt[3]{D}}}$$

Faktor lain yang berpengaruh adalah bentuk dari badan kapal itu sendiri $\frac{L}{\sqrt[3]{D}}$ atau D / L^3

4.1.2.3. TAHANAN ANGIN (WIND RESISTANCE)

Tahanan angin atau wind resistance pada gerakan kapal (R_w), timbul dari tahanan pada bangunan atas kapal meliputi tabung - tabung udara, tiang mast, kran - kran, cerobong asap dan juga karena kekentalan udara.

Sebagian dari tahanan ini bekerja pada bagian atas kapal. Untuk mengatasi hal ini diusahakan sedemikian hingga bentuk dari bangunan atas mempunyai bentuk yang streamline.



Untuk menghitung besarnya R_w , didapatkan dari hasil akhir percobaan model bangunan atas kapal dalam aerodinamik tabung dengan bilangan Reynold yang cukup besar.

Rumus empiris tahanan angin pada gerakan kapal ditentukan sebagaiberikut :

$$R_w = \frac{\zeta_w \cdot \rho \cdot V_{rel}^2 \cdot F_0}{2} \quad (4.1.12)$$

Dimana :

R_w = Tahanan angin kapal.

ρ = Density udara (kg/m^3).

V_{rel} = Kecepatan relatif kapal terhadap angin (m/s)
 $V_{kapal} + V_{angin}$.

ζ_w = Koefisien tahanan angin (non dimensi)
 besarnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.*

* . REFF 1. HAL 54

Tabel 4.1. Koefisien tahanan angin.

TYPE KAPAL	ζ_w
Tanker	0,8 - 1,3
Cargo dan penumpang	0,7 - 1,2
Kapal cepat	0,4 - 0,6
Leiner	0,7 - 1,0
Kapal penumpang sungai	
a. Bentuk bangunan atas biasa	0,8 - 0,9
b. Bangunan atas streamline	0,4 - 0,5

Batas tertinggi koefisien ζ_w tergantung dari kapal dengan bangunan atasnya dan macam - macam bentuk bangunan atasnya.

Besar dan arah vektor kecepatan V_a dihitung dari kecepatan gerakan kapal dan kecepatan angin. Bila kecepatan angin V_b ; yang arahnya dengan arah gerakan kapal membuat sudut, maka kecepatan V_a dapat dituliskan sebagaiberikut :

$$V_a = \sqrt{V_o^2 + V_b^2 + 2V_o \cdot V_b \cdot \cos\alpha}$$

Di mana :

V_o = Kecepatan absolut gerakan kapal.

bila sudut $\alpha = 0$, berarti arah angin searah 100% dengan arah gerakan kapal, dan bila $\alpha = 180^\circ$ berarti angin bertentangan dengan gerakan kapal maka dapat ditulis.

$$R_w = \frac{(\rho \cdot (V_a \pm V_b)^2 \cdot F_s)}{2}$$

Tanda + untuk $\alpha = 0$, tanda - untuk $\alpha = 180^\circ$.

4.1.2.4. TAHANAN LAIN - LAIN

Tahanan ini diambil untuk mengatasi penyimpangan - penyimpangan pada perhitungan, dan juga untuk faktor penambah bila dalam keadaan riil terjadi hal - hal yang tidak ideal (misalnya cuaca buruk , dll).

Besarnya tahanan ini berkisar antara 8% sampai 14% dari tahanan lambung.

4.1.3. TAHANAN PADA SISTEM FOIL

Sistem foil terdiri atas beberapa komponen penunjang yaitu foilnya sendiri, strut yang berfungsi sebagai penunjang foil dan sebagai kemudi, di mana di dalamnya juga terdapat alat - alat mekanisme penggerak flap yang berupa tuas - tuas.

Sama halnya tahanan pada lambung, maka tahanan pada sistem foil ini terdiri dari banyak komponen.

Tahanan total yang bekerja pada sistem foil adalah :

$$D = D_p + D_i + D_w$$

Di mana :

D_p = Tahanan profil.

D_i = Tahanan induksi.

D_w = Tahanan gelombang.

D_p terdiri dari :

1. Tahanan gesek (D_f)
2. Tahanan bentuk (D_e).

Tahanan induksi (D_i). Terjadi karena pengaruh dari bentuk dan dimensi dari foil.

Sedangkan tahanan gelombang timbul disekitar pergerakan sayap.

4.1.3.1. TAHANAN PADA FOIL (DF)

Tahanan atau drag pada profil benda - benda tiga dimensi umumnya terdiri atas jumlah drag gesekan dan drag tekanan. Drag gesekan disebabkan oleh gaya gesek dari fluida yang mempunyai kekentalan terhadap profil benda tiga dimensi itu. Drag tekanan disebabkan oleh adanya arus eddy disaat Boundary layer yang terpisah menjadi terpusar pada aliran kembali, yang kondisi ini umumnya berlanjut untuk arah tertentu ke hilir sampai arus eddy itu lenyap oleh gesekan kekentalan (daerah tersebut disebut wake turbulen daripada benda).

Oleh karena arus eddy tersebut tidak dapat merubah energi kinetis rotasi mereka ke suatu pertambahan tekanan, seperti yang ditekankan oleh teori fluida ideal, maka tekanan di dalam wake tersebut tetap sama atau hampir sama dengan tekanan di titik perpisahan. Karena tekanan ini

selalu lebih kecil daripada tekanan di titik stagnasi depan, timbul suatu perbedaan tekanan bersih (net pressure difference) yang cenderung untuk menggerakkan benda bersama - sama fluida, dan gaya ini disebut drag tekanan . Sehingga drag pada benda - benda tiga dimensi adalah :

$$D = D_{\text{gesek}} + D_{\text{tekan}}.$$

Pada benda - benda yang sangat streamline seperti foil kapal terbang atau badan kapal selam , drag gesekan merupakan bagian terbesar dan bisa diestimasi dengan metode - metode mengenai boundary layer. Biasanya kita hanya tertuju pada drag total pada benda itu yang diekspresikan dengan persamaan :

$$D = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot A \cdot C_D}{2}$$

Di mana :

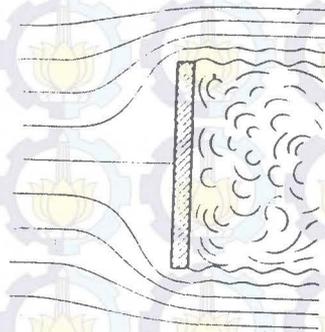
D = Drag suatu benda.

ρ = Density dari fluida yang mengalir melaluinya.

C_d = Koefisien drag (non dimensi).

V = Kecepatan relatif benda terhadap fluida.

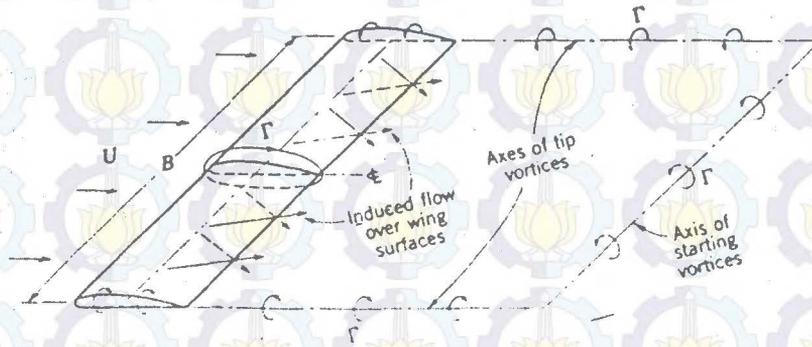
A = Luasan patform, atau pada kasus lifting vane adalah merupakan produk dari span dan chord.



Gambar 4.2.

Wake turbulen dibelakang plat datar.

Jika foil atau daun pengangkat mempunyai panjang terbatas di dalam suatu fluida bebas, di sana terdapat kondisi - kondisi ujung yang mempengaruhi baik lift maupun drag. Karena tekanan pada sisi bawah foil lebih besar dari tekanan sisi atas, fluida akan lari mengitari ujung - ujung foil dan di sana akan timbul suatu aliran yang mengarah keluar dari pusat?tengah menuju ke ujung - ujung (sepanjang sisi bawah/bottom) dan aliran yang mengarah ke dalam dari ujung - ujung menuju ke pusat/tengah dan sepanjang top/sisi bawah, lihat gambnar.

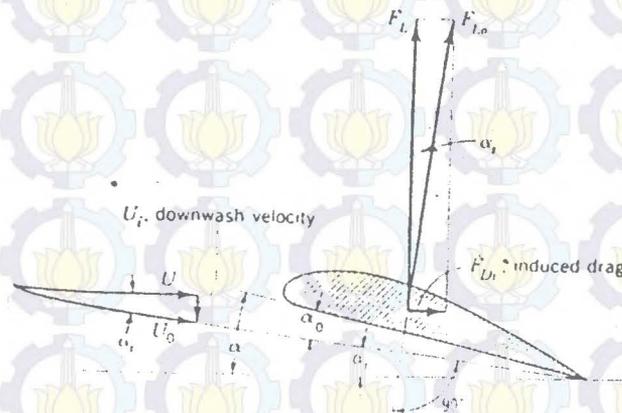


Gambar 4.3.

Wing of finite span

Jejak tertutup yang terdiri dari wing terbatas tip vortices dan starting vortices (gambar 4.3.) mewakili suatu cincin vortex - vortex besar di dalam mand ada kecepatan, yang dinamakan kecepatan down wash tersebut merubah arah aliran di pinggir foil dari U ke U_0 sehingga menurunkan sudut insiden efektif dari α ke α_0 . Pengurangan sudut insiden efektif $\alpha_i = \alpha - \alpha_0$ sama dengan arc tangen (U_i/u), seperti yang terlihat pada gambar (4.4.....) wing tersebut dianalisa dengan berdasarkan suatu foil dengan panjang tak terbatas yang diletakkan pada suatu aliran dengan kecepatan uniform U_0 , pada sudut insiden α_0 ,. Gaya angkat (lift force) FLO yang diproduksi sirkulasi sekitar foil tak terbatas tersebut harus normal terhadap U

dan suatu komponen paralel terhadap U yang disebut "Induce drag" (drag induksi) D_i .



Gambar 4.4.

Drag induksi

Untuk menyeragamkan dengan bentuk persamaan kita yang lain, kita mewakili induce drag (drag induksi) tersebut dalam bentuk standart:

$$D_i = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot A \cdot C_{Di}}{2} \quad *$$
(4.1.13)

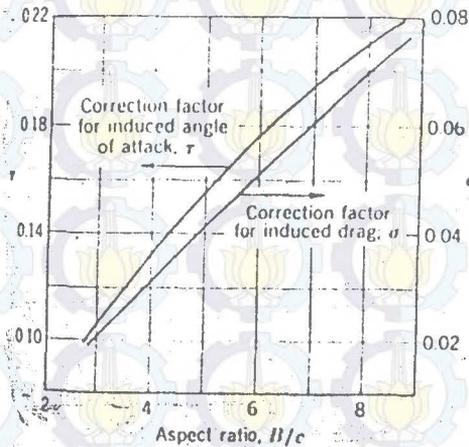
Besarnya C_{Di} dipengaruhi oleh koefisien lift (C_l) yang harganya tergantung pada sudut insiden dan bentuk airfoil. Dari perhitungan secara matematis akan didapatkan

*. REFF 3. HAL 327.

hubungan antara C_{di} dan C_l sebagaiberikut:

$$C_{Di} = \frac{C_l^2}{[\pi (B/C)]} (1 + \alpha) \quad (4.1.14)$$

Di mana B adalah span dari aerofoil, sedangkan C adalah panjang chord rata - rata. B/C biasa disebut dengan aspek ratio. Faktor α adalah faktor koreksi yang bisa dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.5.

Correction factors for transforming rectangular airfoils from finite to finite aspect ratio

Drag total pada foil dengan span terbatas adalah jumlah dari drag profil yang terdiri dari drag gesekan dan drag tekanan) dan drag induksi yang telah dijelaskan di atas sehingga dapat diekspresikan persamaan

sebagaiberikut :

$$D_f = D_{pf} + D_i.$$

Dari persamaan (I) dan persamaan (II), kita bagi masing - masing dengan $1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A$, akan memberikan koefisien drag total pada suatu foil dengan span terbatas :

$$CD \text{ total} = CD + CD_i = CD + \frac{C_l^2}{[\pi (B/C)]} (1 + \sigma)^*$$

Sehingga persamaan drag pada suatu foil dapat dituliskan sebagaiberikut :

$$D_f = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot A \cdot CD \text{ total}}{2}$$

4.1.3.2. TAHANAN PADA STRUT (DS)

Seperti pada foil lainnya tahanan pada strut adalah :

$$DS = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot A_p \cdot CD}{2}$$

Di mana :

ρ = Density dari fluida yang mengalir.

A_p = Luasan platform (span dan chord).

V = Kecepatan dari fluida.

CD = Koefisien drag.

*. REFF 3. HAL : 328

4.1.3.3. TAHANAN PADA POD (D_{Π})

Salah satu dari komponen drag adalah drag tekanan oleh karena drag tekanan sulit dihitung secara teori, maka dipakai tahanan total keduanya yang disebut tahanan 'PROPER' (D_{Π}) jadi :

$$D_{\Pi} = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot A_f \cdot C_{D\Pi}}{2} \quad (4.1.15)$$

Dimana :

ρ = Density dari fluida yang mengalir.

A_f = Luasan frontal.

V = Kecepatan dari fluida.

$C_{D\Pi}$ = Koefisien tahanan proper.

4.1.3.4. TAHANAN RIAK GELOMBANG

Adalah tahanan yang terjadi akibat adanya riak gelombang yang mengenai strut di atas permukaan air. Hal ini terjadi pada waktu keadaan foilborne.

$D_{aw} = 2$ s/d 3 % dari tahanan total sistem foil.

4.1.3.5. TAHANAN LAIN - LAIN (D_{ap})

Sebagai koreksi penyimpangan bentuk dan ukuran diambil $D_{aw} = 1$ s/d 3% dari total tahanan sistem foil.

4.1.4. PERHITUNGAN TAHANAN JET FOIL

Seperti kita ketahui bersama - sama bahwa gaya dorong pada kapal sangat dipengaruhi oleh gaya tahanan. Hal ini disebabkan tahanan kapal sangat dipengaruhi oleh besarnya kecepatan kapal, medium yang dilalui kapal dan posisi dari kapal Jet Foil apakah Hullborne atau Foilborne maka perlu diketahui dahulu beberapa parameter kecepatan dan posisinya.

Pada perhitungan dari tahanan Jet Foil diambil pada kecepatan - kecepatan terpenting . Kecepatan - kecepatan yang dianggap terpenting adalah :

1. Pada posisi hullborne, strut and foil extended/jelajah lambung dengan strut dan foil diturunkan, yaitu dengan kecepatan 10 knot.
2. Pada posisi Foilborne yaitu pada kecepatan, maximum sehingga kapal berlayar " terbang " dengan kecepatan 46 knot.

DATA - DATA MENGENAI KAPAL JET FOIL BIMA SAMUDRA I.

Nama kapal	: Bima Samudra I
Jenis	: Passenger Vessel.
Panjang	
- Foil ke bawah	: 27,4 m.
- Foil terangkat	: 30,78 m.
Panjang garis air (LWL)	: 23,8 m.

SISTEM FOIL DAN PERENCANAAN NOZZLE PADA KAPAL JET FOIL 74

Lebar (B)	: 8,97 m.
Draft (T)	
- Foil ke bawah	: 5,3 m.
- Foil terangkat	: 1,37 m.
Kecepatan (V _k)	
- Hullborne	: 7 s/d 10 knots.
- Foilborne (Ekonomis)	: 42 s/d 43 knots.
(Maksimum)	: 46 knots.
Berat kapal (Penuh)	: 115 long tons.
(Kosong)	: 85 long tons.
Mesin	: 2 x Allison 501 - K Turbin Gas 4250 HP.
Water Jet Pump	: 2 x Rocketdyne PJ-20.91228 Lt/min
Listrik	: 2 x Perkin Diesel 6354 Turbocharge .440 VAC/60Hz/3phase /62,5 KVA.
Jarak jelajah (Foilborne)	: 650 mile.
δ	: 0,38
β	: 0,56

KARAKTERISTIK FOIL DAN STRUT (Tabel 4.2)

KARAK- TERISTIK	FOIL DEPAN	FOIL BELAKANG	STRUT DEPAN	STRUT BELAKANG LUAR (I)	STRUT BELAKANG TENGAH
S	6,30	8,76	2,62	2,60	2,19
C	1,07	1,14	1,25	1,14	1,14
t	1,07	0,091	0,188	0,137	0,381
CL	0,2	0,3	0	0	0
CD	0,0031	0,0045	0,0063	0,0056	0,0063
AP 10	6,74	9,986	3,275	2,964	5,563
AP 46	6,74	9,986	2,138	1,927	3,251

KARAKTERISTIK POD DAN SKEG. (Tabel 4.3)

KARAK- TERISTIK	POD DEPAN	POD BELAKANG LUAR	POD BELAKANG TENGAH	SKEG SATU
Ω	1,4	0,997	9,59	0,219
AF	0,232	0,126	0,406	KECIL
Lt	2,56	2,57	3,60	0,5

4.1.4.1. TAHANAN PADA POSISI HULLBORNE

Tahanan pada posisi Hullborne di sini, diambil pada kecepatan kapal sebesar 10 knots . Tahanan yang terjadi pada pada posisi dan kecepatan ini adalah :

A. TAHANAN LAMBUNG

a. Tahanan Gesek (Friction Resistance R_f).

Tahanan ini disebabkan gesekan karena kekasaran permukaan badan kapal dan kekentalan yang dimiliki oleh air laut.

$$\Delta = LWL \times B \times T \times \delta$$

$$= 23,8 \times 8,97 \times 1,37 \times 0,38.$$

$$\varphi = \delta / \beta.$$

$$= 0,38 / 0,56$$

$$= 0,68.$$

$$WSA = LWL^2 \sqrt{6,888 \frac{\Delta}{LWL^3} + 0,00135 \varphi - 0,00961}$$

$$WSA = 23,8^2 \sqrt{6,888 \frac{112,5}{(23,8)^3} + 0,00135 \cdot 0,68 - 0,00961}$$

$$= 137,44 \text{ m}^2.$$

Reynold number Re :

$$Re = \frac{Vk \cdot LWL}{\nu}$$

Data :

$$Vk = 10 \text{ knot} = 5,148 \text{ m/s.}$$

$$LWL = 23,8 \text{ m.}$$

$$\nu = 1,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = \frac{5,148 \cdot 23,8}{1,01 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 1,213 \cdot 10^8.$$

Untuk mendapatkan besarnya koefisien tahanan gesekan diperlukan perbandingan kekasaran permukaan ekuivalen (K) dibandingkan dengan panjang (LWL).

Untuk kapal ukuran sedang $K = 1,5 \cdot 10^{-4}$ m.
sehingga : $K/LWL = 1,5 \cdot 10^{-4} / 23,8 = 6,3 \times 10^{-6}$ dari grafik

2. didapatkan $\zeta f = 3,8 \cdot 10^{-3}$.

Jadi tahanan gesek (Rf).

$$R_f = \frac{\zeta f \cdot \rho \cdot V^2 \cdot WSA}{2}$$

$$R_f = \frac{0,0038 \cdot 104,8 \cdot 5,148^2 \cdot 137,44}{2}$$

$$= 725,28 \text{ kgf.}$$

$$= 725,28 \times 9,81.$$

$$= 7114,99 \text{ N.}$$

b. Tahanan Bentuk (Re).

Untuk mendapatkan tahanan bentuk harus diketahui parameter - parameter yang merupakan perbandingan antara

$$\frac{L}{\sqrt[3]{D}} \text{ dan Froude number } F_n = \frac{V}{\sqrt{g \sqrt[3]{D}}}$$

$$D = \text{Displacement} = \Delta \times \rho$$

$$= 112,15 \times 1,025$$

$$= 115 \text{ Ton.}$$

$$\frac{L}{\sqrt[3]{D}} = \frac{23,8}{\sqrt[3]{115}}$$

$$= 4,89.$$

$$F_n = \frac{5,148}{\sqrt{9,81 \sqrt[3]{115}}}$$

$$F_n = 0,75.$$

Dengan harga $\frac{L}{\sqrt[3]{D}} = 4,89$ dan $F_n = 0,75$, dari

grafik 1. didapatkan faktor tahanan bentuk (ϵ).

Hasil pembacaan grafik didapatkan:

$\frac{L}{\sqrt[3]{D}}$	ϵ	$\frac{L}{\sqrt[3]{D}}$	ϵ	$\frac{L}{\sqrt[3]{D}}$	ϵ
6,0	$\epsilon = 3,7$	4,89	Ekstrapolasi	4,8	$\epsilon = 2,325$
6,4	$\epsilon = 2,7$			4,0	$\epsilon = 1,075$
4,89					$\epsilon = 5,1$

Maka tahanan bentuk Re menjadi :

$$\begin{aligned} Re &= \epsilon \times D \\ &= 5,1 \times 115. \\ &= 586,565 \text{ kgf.} \\ &= 586,565 \cdot 9,81. \\ &= 5753,56 \text{ N} \end{aligned}$$

c. Tahanan Angin (R_w).

Badan kapal juga akan mengalami tahanan angin yang perhitungannya sebagaiberikut :

Tahanan angin mempunyai rumus :

$$R_w = \frac{\zeta w \cdot \rho \cdot V_{rel}^2 \cdot F_{\infty}}{2}$$

Di mana :

$$V_{rel} = V_k + V_{angin}$$

$$= 5,148 + 5,4$$

$$= 10,5480 \text{ m/s.}$$

$$\rho = \text{Density udara}$$

$$= 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$F_{\phi} = 44,80 \text{ m}^2 \text{ (posisi hullborne).}$$

$$\zeta_w = \text{untuk kapal penumpang} = 0,8.$$

Sehingga tahanan angin R_w :

$$0,8 \cdot 1,225 \cdot 10,548^2 \cdot 44,80$$

$$R_w = \frac{\quad}{2}$$

$$= 2442,386 \text{ N.}$$

d. Tahanan Lain - Lain (R_z).

Persamaan untuk tahanan lain - lain :

$$R_z = 8 \text{ s/d } 14\% \text{ dari tahanan total lambung, diambil } 12\%.$$

maka :

$$R_z = 0,12 (R_f + R_e + R_w)$$

$$= 0,12 (7114,99 + 5753,56 + 2442,386)$$

$$= 1837,31 \text{ N.}$$

e. Jumlah Tahanan Total Pada Lambung.

Jumlah tahanan total pada lambung adalah penjumlahan dari komponen - komponen tahanan di atas.

$$R_{t1} = R_f + R_e + R_w + R_z$$

$$= 7114,99 + 5753,56 + 2442,386 + 1837,31$$

$$= 17178,25 \text{ N}$$

Ini adalah tahanan pada lambung saja, untuk selanjutnya perlu dicari tahanan pada sistem foil.

B. TAHANAN PADA SISTEM FOIL

Tahanan sistem foil ini terbagi atas beberapa komponen yaitu tahanan pada foil - foil (D_f), tahanan pada strut (D_s), tahanan pada pod (P_π) dan beberapa koreksi tahanan. Tahanan pada foil dan tahanan pada strut dikelompokkan ke dalam tahanan profil (D_{pf}) karena bentuknya sama - sama bentuk aerofoil.

a. Tahanan Profil (D_{pf}).

1. Tahanan foil depan.

$$D_f = \frac{\rho \cdot V_k^2 \cdot A_p \cdot CD \text{ total.}}{2}$$

Di mana :

$$A_p = 6,74 \text{ m}^2.$$

$$CD = 0,0031$$

$$V_k = 5,148 \text{ m/s}$$

Untuk menghitung Drag induksi, diasumsikan pada posisi ini C_l sama dengan C_l pada keadaan Hullborne dengan kecepatan maksimal di mana $C_l = 0,2$.

Koefisien drag induksi (C_{di}) adalah :

$$C_{Di} = \frac{C_l^2}{[\pi (S/C)]} (1 + \sigma)$$

Di mana :

$$S/C = \text{Aspect ratio} = 0,30/1,07$$

$$= 5,89.$$

σ = faktor koreksi untuk drag induksi dari tabel ... untuk S/C = 5,89 didapat $\sigma = 0,048$

Maka koefisien drag induksi :

$$CDi = \frac{2^2}{[\pi (6,30/1,07)^2]} (1 + 0,048)$$

$$= 2,3 \cdot 10^{-3}.$$

$$CD_{tot} = CD + CDi.$$

$$= 0,0031 + 2,3 \cdot 10^{-3}.$$

$$= 0,0054.$$

Maka tahanan foil depan :

$$Df = \frac{\rho \cdot V_k^2 \cdot A_p \cdot CD_{total}}{2}$$

$$= \frac{1025 \cdot (5,148)^2 \cdot 6,74 \cdot 0,0054}{2}$$

$$= 494,34 \text{ N.}$$

2. Tahanan foil belakang.

Di mana :

$$A_p = 9,986 \text{ m}^2.$$

$$CD = 0,0045$$

$$V_k = 5,148 \text{ m/s}$$

Dengan asumsi C_l sama dengan C_l pada keadaan Hullborne dengan kecepatan maksimal di mana $C_l = 0,3$.

Koefisien drag induksi (CDi) adalah :

$$CDi = \frac{C_l^2}{[\pi (S/C)]} (1 + \sigma)$$

Di mana :

$$S/C = \text{Aspect ratio} = 8,76/1,14.$$

$$= 7,68.$$

α = faktor koreksi untuk drag induksi dari tabel ... untuk $S/C = 7,68$ didapat $\alpha = 0,065$.

Maka koefisien drag induksi :

$$CD_i = \frac{2^2}{[\pi (8,76/1,14)]^2} (1 + 0,065)$$

$$= 0,0149.$$

$$CD_{tot} = CD + CD_i.$$

$$= 0,0045 + 4 \cdot 10^{-3}$$

$$= 0,0085.$$

Maka tahanan foil belakang.

$$D_f = \frac{\rho \cdot V_k^2 \cdot A_p \cdot CD_{total}}{2}$$

$$= \frac{1025 \cdot (5,148)^2 \cdot 9,986 \cdot 0,0085}{2}$$

$$= 1152,87 \text{ N.}$$

3. Tahanan Strut Depan.

Pada prinsipnya perhitungan tahanan pada strut sama dengan perhitungan tahanan pada foil, tetapi karena strut tidak mempunyai gaya angkat, maka $CL = 0$ dan $CD_{total} = CD$

Untuk strut depan dari data didapat :

$$A_p = S \cdot C = 2,62 \times 1,25 = 3,275 \text{ m}^2.$$

$$CD = 0,0063.$$

Maka drag pada strut depan.

$$DS = \frac{\rho \cdot V_k^2 \cdot A_p \cdot CD}{2}$$

$$= \frac{1025 \cdot 5,148^2 \cdot 3,275 \cdot 0,0063}{2}$$

$$= 280,24 \text{ N.}$$

4. Tahanan Strut Belakang Tengah.

$$A_p = S \cdot C = 2,19 \times 2,54 = 5,563 \text{ m}^2.$$

$$CD = 0,0063.$$

Maka drag pada strut belakang tengah.

$$DS = \frac{\rho \cdot V_k^2 \cdot A_p \cdot CD}{2}$$

$$= \frac{1025 \cdot 5,148^2 \cdot 5,563 \cdot 0,0063}{2}$$

$$= 476,01 \text{ N.}$$

5. Tahanan Strut Belakang Luar (2 buah).

$$A_p = S \cdot C = 2,60 \times 1,14 = 2,964 \text{ m}^2.$$

$$CD = 0,0056.$$

Maka drag pada strut depan.

$$DS = \frac{\rho \cdot V_k^2 \cdot A_p \cdot CD}{2}$$

$$= \frac{1025 \cdot 5,148^2 \cdot 2,964 \cdot 0,0056}{2}$$

$$= 225,445 \text{ N.}$$

Untuk dua buah strut di dapat .

$$DS = 2 \times 225,445$$

$$= 450,89 \text{ N.}$$

Hasil perhitungan drag di atas bila ditabelkan akan didapatkan hasil.

JENIS	Dpf (N)
FOIL DEPAN	494,34
FOIL BELAKANG	1152,87
STRUT DEPAN	280,24
STRUT BELAKANG LUAR (2)	450,89
STRUT BELAKANG TENGAH	476,01
JUMLAH	2854,35

b. Tahanan Pada Pod (D_p).

Darg di sini terdiri dari drag gesek dan drag tekanan, tetapi drag gesekan yang paling berperan. Tahanan tekanan sulit dihitung secara teoritis, maka dihitung langsung tahanan total keduanya berdasarkan eksperimen yang sudah ada. Tahanan ini disebut tahanan 'proper'. Dari tabel didapatkan koefisien drag proper CD_p , dengan mengasumsikan semua pod sebagai badan pesawat terbang (Fuselage), kecuali pod belakang tengah diasumsikan sebagai bentuk nacelle sehingga didapatkan CD_p .

1. Tahanan Pada Pod Depan.

Dari data diketahui :

$$A_f = 0,232 \text{ m}^2.$$

$C_{D\pi}$ = Untuk pesawat kecil, dengan cockpit tertutup
 = 0,09 s/d 0,130 diambil 0,11.

Sehingga dari persamaan didapatkan :

$$D\pi = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot A_f \cdot C_{D\pi}}{2}$$

$$D\pi = \frac{1025 \cdot 5,148^2 \cdot 0,232 \cdot 0,11}{2}$$

$$= 346,62 \text{ N.}$$

2. Tahanan Pada Pod Belakang Luar.

Dari data diketahui :

$$A_f = 0,126 \text{ m}^2.$$

$C_{D\pi}$ = Untuk pesawat kecil, dengan cockpit tertutup
 = 0,09 s/d 0,130 diambil 0,11.

Sehingga dari persamaan didapatkan :

$$D\pi = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot A_f \cdot C_{D\pi}}{2}$$

$$D\pi = \frac{1025 \cdot 5,148^2 \cdot 0,126 \cdot 0,11}{2}$$

$$= 188,25 \text{ N.}$$

Untuk dua buah pod sejenis.

$$D\pi = 2 \times 188,25$$

$$= 376,5 \text{ N.}$$

3. Tahanan Pada Pod Belakang Tengah.

Dari data diketahui :

$$A_f = 0,406 \text{ m}^2.$$

$$CD_{\pi} = \text{Untuk Nacelle yang cukup besar} = 0,120.$$

Sehingga dari persamaan didapatkan :

$$D_{\pi} = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot A_f \cdot CD_{\pi}}{2}$$

$$D_{\pi} = \frac{1025 \cdot 5,148^2 \cdot 0,406 \cdot 0,11}{2}$$

$$= 661,72 \text{ N.}$$

Sehingga tahanan total pada pod adalah jumlah dari hasil - hasil di atas :

JENIS	D _π (N)
DRAG POD DEPAN	346,62
DRAG POD BELAKANG LUAR (2)	376,50
DRAG POD BELAKANG TENGAH	661,73
JUMLAH (N)	1384,85

c. Tahanan Pada Skeg.

Di sini dapat dikatakan hanya ada tahanan gesek karena bentuknya berupa plat tipis.

Dari data diketahui :

$$\Omega = 0,219 \text{ (sebuah) .}$$

Untuk dua buah :

$$2 \times 0,219.$$

$$= 0,438 \text{ m}^2.$$

$$L_t = 0,50 \text{ m.}$$

$$Re = \frac{V_k \cdot Lt.}{\nu}$$

$$= \frac{5,148 \cdot 0,50}{1,01 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 2,45 \cdot 10^6$$

$$K/Lt = 1,5 \cdot 10^{-4} / 0,50$$

$$= 3,00 \cdot 10^{-4}$$

Dari tabel untuk $Re = 2,45 \cdot 10^6$ dan $K/Lt = 3,00 \cdot 10^{-4}$
 $\zeta f = 0,0058$.

$$DIs = \frac{1025 \cdot 5,148^2 \cdot 0,438 \cdot 0,0058}{2}$$

$$= 34,00 \text{ N.}$$

C. TAHANAN LAIN - LAIN

Tahanan lain - lain pada sistem foil ini diambil sebagai koreksi adanya penyimpangan bentuk maupun ukuran.

$Dap = 1 \text{ s/d } 3\%$ dari tahanan total sistem foil, diambil 2% .

Maka didapatkan Dap .

$$Dap = 0,02 (Dpf + DI + DIs)$$

$$= 0,02 (2854,35 + 1384,85 + 34)$$

$$= 85,464 \text{ N.}$$

D. TAHANAN TOTAL SISTEM FOIL (CRT2)

Tahanan total sistem foil adalah penjumlahan dari

tahanan komponen - komponen dari sistem foil .

$$\begin{aligned}Rt2 &= D_{pf} + D_I + D_{Is} + D_{ap}. \\ &= 2854,35 + 1384,85 + 34 + 85,464 \\ &= 4358,664 \text{ N.}\end{aligned}$$

E. TAHANAN TOTAL JET FOIL (RT)

$$\begin{aligned}RT &= Rt1 + Rt2. \\ &= 17178,25 + 4358,664. \\ &= 21536,914 \text{ N.}\end{aligned}$$

Jadi tahanan total Jet Foil pada posisi Hullborne dengan kecepatan 10 knots adalah :

$$RT = 21536,914 \text{ N}$$

4.1.4.2. TAHANAN PADA POSISI FOILBORNE

Yang dimaksud di sini adalah tahanan pada posisi Foilborne dengan kecepatan maksimum sebesar 46 knot. Yang mana pada kecepatan ini, Kapal Jet Foil berlayar dalam posisi terbang mengambang di atas foilnya. Seperti perhitungan tahanan sebelumnya, pada posisi ini juga terjadi tahanan pada lambung dan sistem foil.

A. TAHANAN LAMBUNG KAPAL (RT1)

Tahanan lambung pada posisi Foilborne yang terjadi

hanyalah tahanan angin dan tahanan lain - lain saja . Hal ini dikarenakan lambung kapal Jet Foil sudah terangkat dari air laut , sehingga tahanan gesek dan tahanan bentuk tidak ada.

a. Tahanan Angin.

Tahanan angin mempunyai rumus :

$$R_w = \frac{\zeta_w \cdot \rho \cdot V_{rel}^2 \cdot F_{\phi}}{2}$$

Di mana :

$$V_{rel} = V_k + V_{angin}$$

$$= 23,68 + 5,4$$

$$= 29,08 \text{ m/s.}$$

$$\rho = \text{Density udara}$$

$$= 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$F_{\phi} = 52,0 \text{ m}^2 \text{ (posisi foilborne).}$$

$$\zeta_w = \text{untuk kapal penumpang} = 0,8.$$

Sehingga tahanan angin R_w :

$$R_w = \frac{0,8 \cdot 1,225 \cdot 29,08^2 \cdot 52,0}{2}$$

$$= 21547,07 \text{ N.}$$

b. Tahanan Lain - Lain (R_z).

Persamaan untuk tahanan lain - lain :

$$R_z = 8 \text{ s/d } 14\% \text{ dari tahanan total lambung, diambil } 12\%.$$

maka :

$$R_z = 0,12 \cdot R_w .$$

$$= 0,12 \cdot 21547,07 \text{ N}$$

$$= 2585,65 \text{ N.}$$

c. Jumlah Tahanan Total Pada Lambung.

Jumlah tahanan total pada lambung adalah penjumlahan dari komponen - komponen tahanan di atas.

$$R_{t1} = R_w + R_z.$$

$$= 21547,07 + 2585,65.$$

$$= 24132,72 \text{ N.}$$

Ini adalah tahanan pada lambung saja, untuk selanjutnya perlu dicari tahanan pada sistem foil.

B. TAHANAN PADA SISTEM FOIL (R_{t2})

Tahanan sistem foil ini terbagi atas beberapa komponen yaitu tahanan pada foil - foil (D_f), tahanan pada strut (D_s), tahanan pada pod (P_r) dan beberapa koreksi tahanan. Tahanan pada foil dan tahanan pada strut dikelompokkan ke dalam tahanan profil (D_{pf}) karena bentuknya sama - sama bentuk aerofoil.

a. Tahanan Profil (D_{pf}).

1. Tahanan foil depan.

$$D_f = \frac{\rho \cdot V_k^2 \cdot A_p \cdot CD \text{ total.}}{2}$$

Dimana :

$$A_p = 6,74 \text{ m}^2.$$

$$CD = 0,0031$$

$$V_k = 23,68 \text{ m/s}$$

Untuk menghitung Drag induksi, diasumsikan pada posisi ini C_l sama dengan C_l pada keadaan Hullborne dengan kecepatan maksimal di mana $C_l = 0,2$.

Koefisien drag induksi (C_{Di}) adalah :

$$C_{Di} = \frac{C_l^2}{[\pi (S/C)]} (1 + \sigma)$$

Di mana :

$$S/C = \text{Aspect ratio} = 6,30/1,07 \\ = 5,89.$$

σ = faktor koreksi untuk drag induksi dari tabel ... untuk $S/C = 5,89$ didapat $\sigma = 0,048$

Maka koefisien drag induksi :

$$C_{Di} = \frac{2^2}{[\pi (6,30/1,07)]} (1 + 0,048) \\ = 2,3 \cdot 10^{-3}.$$

$$C_{Dtot} = C_D + C_{Di} \\ = 0,0031 + 2,3 \cdot 10^{-3} \\ = 0,0054.$$

Maka tahanan foil depan :

$$D_f = \frac{\rho \cdot V_k^2 \cdot A_p \cdot C_D \text{ total.}}{2} \\ = \frac{1025 \cdot (23,68)^2 \cdot 6,74 \cdot 0,0054}{2} \\ = 10459,5 \text{ N.}$$

2. Tahanan foil belakang.

Dimana :

$$A_p = 9,986 \text{ m}^2.$$

$$C_D = 0,0045$$

$$V_k = 23,68 \text{ m/s}$$

Dengan asumsi C_l sama dengan C_l pada keadaan Hullborne dengan kecepatan maksimal di mana $C_l = 0,3$.

Koefisien drag induksi (C_{Di}) adalah :

$$C_{Di} = \frac{C_l^2}{[\pi (S/C)]} (1 + \sigma)$$

Di mana :

$$S/C = \text{Aspect ratio} = 8,76/1,14.$$

$$= 7,68.$$

σ = faktor koreksi untuk drag induksi dari

tabel ... untuk $S/C = 7,68$ didapat $\sigma = 0,065$

Maka koefisien drag induksi :

$$C_{Di} = \frac{2^2}{[\pi (8,76/1,14)]} (1 + 0,065)$$

$$= 0,0149.$$

$$C_{Dtot} = C_D + C_{Di}.$$

$$= 0,0045 + 4 \cdot 10^{-3}.$$

$$= 0,0085.$$

Maka tahanan foil belakang.

$$D_f = \frac{\rho \cdot V_k^2 \cdot A_p \cdot C_D \text{ total.}}{2}$$

$$= \frac{1025 \cdot (23,68)^2 \cdot 9,986 \cdot 0,0085}{2}$$

$$= 24393,14 \text{ N.}$$

3. Tahanan Strut Depan.

Untuk mengetahui tahanan pada strut pada posisi foilborne harus diketahui dahulu luasan strut yang berada di dalam air laut. Sebab pada keadaan foilborne terjadi pengurangan luasan platform karena Jet Foil terangkat.

Untuk foil depan dari data diketahui :

$$A_p = (2,62 - 0,91) \times 1,25$$

$$= 2,138 \text{ m}^2.$$

$$C_D = 0,0063.$$

Maka drag pada strut depan.

$$D_S = \frac{\rho \cdot V_k^2 \cdot A_p \cdot C_D}{2}$$

$$= \frac{1025 \cdot 23,68^2 \cdot 2,138 \cdot 0,0063}{2}$$

$$= 3870,84 \text{ N.}$$

4. Tahanan Strut Belakang Tengah.

$$A_p = (2,19 - 0,91) \times 2,54$$

$$= 3,251 \text{ m}^2.$$

$$C_D = 0,0063.$$

Maka drag pada strut belakang tengah.

$$D_S = \frac{\rho \cdot V_k^2 \cdot A_p \cdot C_D}{2}$$

$$= \frac{1025 \cdot 23,68^2 \cdot 3,251 \cdot 0,0063}{2}$$

$$= 5885,93 \text{ N.}$$

5. Tahanan Strut Belakang Luar (2 buah).

1. Tahanan Pada Strut Depan .

Luas platform di sini adalah luasan platform pada saat hullborne dikurangi luasan platform pada saat foilborne.

$$\begin{aligned} A_p &= A_p \text{ Hullborne} - A_p \text{ Foilborne.} \\ &= 3,275 - 2,138. \\ &= 1,137 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

Maka drag strut depan akibat udara.

$$D_{pf \text{ ud}} = \frac{\rho \cdot V_{rel}^2 \cdot A_p \cdot C_D}{2}$$

Di mana :

$$\begin{aligned} V_{rel} &= 23,68 + 5,4 \\ &= 29,08 \text{ m/s.} \end{aligned}$$

$$C_D = 0,0063.$$

$$\begin{aligned} D_{pf \text{ ud}} &= \frac{1,225 \cdot 29,08^2 \cdot 1,137 \cdot 0,0063}{2} \\ &= 3,71 \text{ N.} \end{aligned}$$

2. Tahanan Pada Strut Belakang Luar.

Dari data diketahui :

$$\begin{aligned} A_p &= A_p \text{ Hullborne} - A_p \text{ Foilborne.} \\ &= 2,964 - 1,927. \\ &= 1,037 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

$$C_D = 0,0056.$$

Maka drag strut depan akibat udara.

$$D_{pf \text{ ud}} = \frac{\rho \cdot V_{rel}^2 \cdot A_p \cdot C_D}{2}$$

$$D_{pf \text{ ud}} = \frac{1,225 \cdot 29,08^2 \cdot 1,037 \cdot 0,0056}{2}$$

$$= 3,01 \text{ N.}$$

Untuk dua buah strut kanan dan kiri.

$$D_{pf \text{ ud}} = 2 \times 3,01.$$

$$= 6,02 \text{ N.}$$

3. Tahanan Strut Belakang Tengah.

Dari data diketahui :

$$A_p = A_p \text{ Hullborne} - A_p \text{ Foilborne.}$$

$$= 5,563 - 3,251.$$

$$= 2,312 \text{ m}^2.$$

$$C_D = 0,0063.$$

Maka drag strut depan akrobat udara.

$$D_{pf \text{ ud}} = \frac{\rho \cdot V_{rel}^2 \cdot A_p \cdot C_D}{2}$$

$$D_{pf \text{ ud}} = \frac{1,225 \cdot 29,08^2 \cdot 2,312 \cdot 0,0063}{2}$$

$$= 7,54 \text{ N.}$$

Dari Perhitungan di atas dapat ditabelkan :

PROFIL	Dpf ud (N)
STRUT DEPAN	3,71
STRUT BELAKANG LUAR (2)	6,02
STRUT BELAKANG TENGAH	7,54
JUMLAH	17,27

c. Drag Pada Pod (DI).

Untuk pod depan diasumsikan berbentuk fuselage (Badan pesawat terbang dengan ujung tertutup) dari tabel .

$$A_f = 0,232 \text{ m}^2.$$

$$C_{D\pi} = \text{Untuk pesawat kecil, dengan cockpit tertutup} \\ = 0,09 \text{ s/d } 0,130 \text{ diambil } 0,11.$$

Sehingga dari persamaan didapatkan :

$$D_I = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot A_f \cdot C_{D\pi}}{2} \\ D_I = \frac{1025 \cdot 23,68^2 \cdot 0,232 \cdot 0,11}{2} \\ = 7333,95 \text{ N.}$$

2. Tahanan Pada Pod Belakang Luar (2 buah).

Dari data diketahui :

$$A_f = 2 \times 0,126 \text{ m}^2.$$

$$C_{D\pi} = \text{Untuk pesawat kecil, dengan cockpit tertutup} \\ = 0,09 \text{ s/d } 0,130 \text{ diambil } 0,11.$$

Sehingga dari persamaan didapatkan :

$$D\pi = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot Af \cdot CD\pi}{2}$$

$$D\pi = \frac{1025 \cdot 23,68^2 \cdot 0,252 \cdot 0,11}{2}$$

$$= 7966,19 \text{ N.}$$

3. Tahanan Pada Pod Belakang Tengah.

Dari data diketahui :

$$Af = 0,406 \text{ m}^2.$$

$CD\pi$ = Untuk Nacelle yang cukup besar = 0,120.

Sehingga dari persamaan didapatkan :

$$D\pi = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot Af \cdot CD\pi}{2}$$

$$D\pi = \frac{1025 \cdot 23,68^2 \cdot 0,406 \cdot 0,11}{2}$$

$$= 14001,2 \text{ N.}$$

Sehingga tahanan total pada pod adalah jumlah dari hasil - hasil di atas :

JENIS	D π (N)
DRAG POD DEPAN	7333,95
DRAG POD BELAKANG LUAR (2)	7966,19
DRAG POD BELAKANG TENGAH	14001,20
JUMLAH (N)	29301,34

d. Tahanan Pada Skeg.

Di sini dapat dikatakan hanya ada tahanan gesek karena bentuknya berupa plat tipis.

Dari data diketahui :

$$\Omega = 0,219 \text{ (sebuah).}$$

Untuk dua buah :

$$2 \times 0,219.$$

$$= 0,438 \text{ m}^2.$$

$$L_t = 0,50 \text{ m.}$$

$$Re = \frac{V_k \cdot L_t}{v}$$

$$= \frac{23,68 \cdot 0,50}{1,01 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 1,17 \cdot 10^7.$$

$$K/L_t = 1,5 \cdot 10^{-4} / 0,50.$$

$$= 3,00 \cdot 10^{-4}.$$

Dari tabel untuk $Re = 1,17 \cdot 10^7$ dan $K/L_t = 3,00 \cdot 10^{-4}$

$$C_f = 0,057$$

$$D_{ts} = \frac{1025 \cdot 23,68^2 \cdot 0,438 \cdot 0,057}{2}$$

$$= 7174,74 \text{ N.}$$

C. TAHANAN RIAK GELOMBANG (Daw)

Tahanan ini adalah tahanan dari riak gelombang yang mengenai strut dari sistem foil pada saat foilborne.

Daw = 2 s/d% dari tahanan total sistem foil diambil

sebesar 3% dari Rt2.

$$Daw = 0,03 \cdot Rt2.$$

D. TAHANAN LAIN - LAIN (Dap)

Ini adalah koreksi dari penyimpangan bentuk maupun ukuran dari sistem foil.

Dap = 1 s/d 3% dari tahanan total sistem foil diatas, diambil sebesar 2%.

maka :

$$\begin{aligned} Dap &= 0,02 (Dpf + Dpf\ ud + D\pi + D\pi s + 0,03 Rt2). \\ &= 0,02 (50811,77 + 17,27 + 29301,34 + 7174,74 + \\ &\quad 0,03Rt2). \\ &= 1746,10 + 0,0006 Rt2. \end{aligned}$$

E. TAHANAN TOTAL SISTEM FOIL (RT2)

$$\begin{aligned} Rt2 &= Dpf + Dpf\ ud + D\pi + D\pi s + 0,0306Rt2. \\ &= 50811,77 + 17,27 + 29301,34 + 7174,74 + \\ &\quad 1746,10 + 0,0306Rt2. \\ Rt2 &= 89051,22 + 0,0306Rt2 \\ Rt2 &= 91862,203 N. \end{aligned}$$

**F. TAHANAN TOTAL JET FOIL DENGAN KECEPATAN 46 KNOT
PADA KEADAAN FOILBORNE**

$$RT = Rt1 + Rt2.$$

$$= 24132,72 + 91862,203.$$

$$RT = 115994,923 \text{ N.}$$

4.2. KAPASITAS DAN HEAD PROPULSOR

TEORI DASAR

Pada aliran fluida dengan kekentalan pada suatu saluran, salah satu efek dari gesekan adalah perubahan dari energi dalam (internal energy) pada fluida tersebut. Sehingga akan terjadi perbedaan energi mekanik pada fluida tersebut. Dan persamaannya dapat diekspresikan sebagai berikut :

$$\frac{\rho_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 = \frac{\rho_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 = H_{lt}^*$$

H_{lt} di sini biasa disebut dengan head loss, yang mempunyai dimensi energi per unit massa.

Total head loss H_{lt} adalah penjumlahan dari seluruh head loss yang ada pada sistem saluran tersebut . Pada dasarnya total head loss H_{lt} dapat dibagi dalam dua kelompok, Mayor loss dan Minor loss. Mayor loss H_L adalah merupakan penjumlahan dari efek gesekan pada aliran 'fully developed' di dalam pipa dengan luas penampang konstan. Sedangkan minor loss H_{lm} adalah losses yang disebabkan aliran melalui jalan masuk (Entrance) dan lain - lain.

*. REFF 9 HAL 91.

$$\Sigma \vec{F} = d(m \cdot \vec{V})/dt. \quad (4.2.1)$$

Jadi jumlah gaya - gaya luar suatu benda sama dengan rate perubahan momentum benda tersebut. F dan V mewakili vektor - vektor oleh karena itu perubahan momentum mempunyai arah sama dengan arah gaya. Persamaan (4.2.1) dapat juga diekspresikan sebagai $\Sigma \vec{F}/dt = d(m \cdot \vec{V})$, yaitu impuls sama dengan perubahan momentum, dan karena itu dipergunakan istilah prinsip impuls momentum.

Selanjutnya persamaan (4.2.1) dapat juga diekspresikan pada suatu benda yang ditentukan oleh masa fluida yang terisi pada saat t di dalam volume atur pada gambar (4.1). Massa fluida ini disebut sistem fluida. Volume atur tersebut diam pada posisinya, tidak bergerak dan tidak berubah bentuk maupun ukurannya.

Pada saat $(t + \Delta)$ masa fluida tersebut yaitu sistem fluida telah bergerak ke suatu posisi baru yang ditunjukkan oleh luasan diarsir pada gambar (4.10).

Beberapa istilah dan pengertiannya :

$(m \cdot V)t$ = Momentum pada saat dari sistem fluida(bersatu dengavolume atur pada saat t)

$(m \cdot V)t+\Delta$ = Momentum pada saat $(t + \Delta t)$ dari sistem (fluid bersatu dengan luasan diarsir pada $t + \Delta t$).

$(m' \cdot V')t$ = Momentum massa fluida yang terisi di dalam volume atur pada saat t .

$(m' \cdot V')_{t+\Delta t}$ = Momentum massa fluida yang terisi di dalam volume atur pada saat $t + \Delta t$.

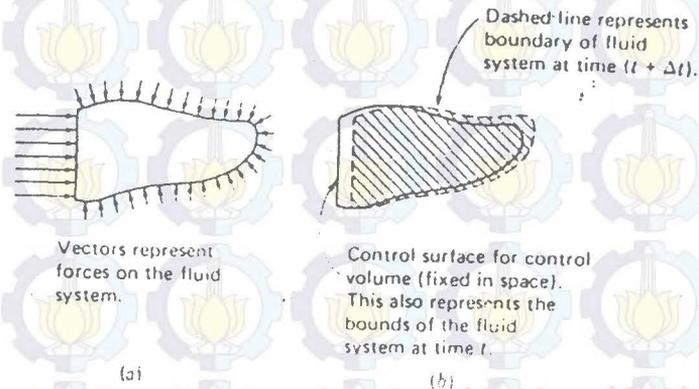
$\Delta(m \cdot V)_{out}$ = Momentum massa fluida yang meninggalkan volume atur selama interval waktu Δt .

$\Delta(m \cdot V)_{in}$ = Momentum massa fluida yang masuk volume atur selama interval waktu Δt .

Pada saat momentum sistem fluida sama dengan momentum massa fluida yang terisi di dalam volume atur pada saat t karena massa fluida yang sama terlibat pada kedua kasus tersebut, jadi :

$$(m \cdot V)_t = (m' \cdot V')_t \quad (4.2.2)$$

Pada saat $(T + \Delta t)$ momentum sistem fluida sama dengan momentum massa fluida di dalam volume atur pada saat $(t + \Delta t)$ ditambah momentum massa fluida yang mengalir keluar dari volume atur selama interval waktu Δt dikurangi momentum massa fluida yang telah mengalir masuk ke dalam volume atur selama interval waktu t .



Gambar. 4.10

Volume atur untuk kasus - kasus umum

a. Massa fluida mendapat gaya - gaya.

b. Lokasi sistem fluida pada saat t dan $t + \Delta t$ (garis tegas dan putus-putus).

Jadi:

$$(m \cdot V)_{t+\Delta t} = (m' \cdot V')_{t+\Delta t} + \Delta(m \cdot V)_{out} - \Delta(m \cdot V)_{in}$$

Perubahan momentum sistem fluida adalah :

$$\Delta(m \cdot V) = (m \cdot V)_{t + \Delta t} - (m \cdot V)_t \quad (4.2.3)$$

Dengan mengekspresikan kedua persamaan sebelumnya ke

dalam persamaan (6.3), didapat:

$$\Delta(m \cdot V) = (m' \cdot V')_{t+\Delta t} - (m' \cdot V')_t + \Delta(m \cdot V)_{out} - \Delta(m \cdot V)_{in}$$

Dengan menggunakan persamaan (4.2.1) membaginya dengan Δt mengaturnya kembali, dan memperhatikan kembali bahwa limit $\Delta(m \cdot V)/\Delta t = d(m \cdot V)/dt$, pada saat

$\Delta t \rightarrow 0$, di dapat :

$$\Sigma \vec{F} = \lim_{t \rightarrow 0} \Delta(m \cdot \vec{V})/\Delta t. = d(m \cdot \vec{V})/dt.$$

$$= \frac{[d(m \cdot \vec{V})_{out} - d(m \cdot \vec{V})_{in}] + [(m \cdot \vec{V})_{t+\Delta} - (m \cdot \vec{V})_{in}]}{dt}$$

Persamaan di atas menyatakan bahwa gaya yang bekerja pada fluida sama dengan rate perubahan momentum massa fluida yang adalah sama dengan jumlah term pada sebelah kanan persamaan tersebut.

Term pertama pada sebelah kanan persamaan mewakili rate bersih aliran keluar momentum yang menembus permukaan - permukaan atur, sedangkan term kedua mewakili rate akumulasi momentum di dalam volume atur, persamaan(4.2.4) dapat digunakan untuk aliran compressible atau incompressible nyata atau ideal, dan tetap atau tak tetap.

Pada kasus aliran tetap, term terakhir dari persamaan sama dengan nol, dan persamaannya :

$$\frac{[d(m \cdot \vec{V})_{out} - d(m \cdot \vec{V})_{in}]}{dt} = \frac{[d(m \cdot \vec{V})_{out} - d(m \cdot \vec{V})_{in}]}{dt}$$

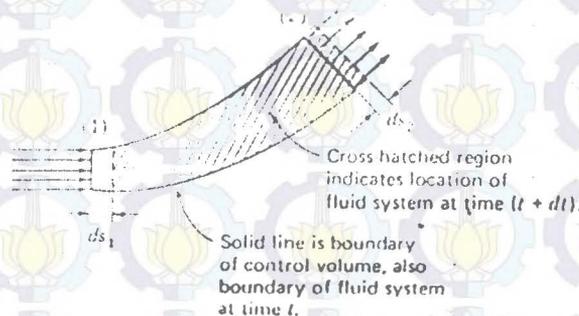
$$\Sigma \vec{F} = 0 \quad (4.2.5)$$

Jadi untuk aliran tetap, gaya pada suatu fluida sama dengan rate bersih aliran momentum keluar yang menembus permukaan atur.

Karena persamaan (4.2.1) sampai(4.2.5) adalah

persamaan - persamaan vektor, maka persamaan - persamaan tersebut dapat juga diekspresikan sebagai persamaan - persamaan skalar, dalam bentuk gaya - gaya dan kecepatan - kecepatan dalam arah x, y dan z .

Penting untuk memilih suatu volume atur sedemikian sehingga permukaannya atur adalah normal terhadap kecepatan, di mana permukaan atur itu memotong aliran. Sekarang ditinjau situasi seperti pada gambar 4.2 di mana suatu kecepatan konstan menembus permukaan atur. Pada gambar tersebut terlihat sistem fluida yang ditinjau terisi antara penampang 1 dan penampang 2, pada saat t .



gambar 4.11,

Volume atur untuk steady flow

Sistem fluida ini bergerak ke suatu posisi baru selama interval pendek ini (dt) di asumsikan fluida



SISTEM FOIL DAN PERENCANAAN NOZZLE PADA KAPAL JET FOIL, 109

bergerak sepanjang jarak pendek ds_1 pada penampang satu dan ds_2 pada penampang 2. Juga ini dibatasi hanya untuk aliran tetap sehingga persamaan terpakai. Momentum yang menembus permukaan atur pada penampang 1 selama interval dt adalah $(\rho_1 \cdot A_1 \cdot ds_1) V_1$ sedangkan yang menembus permukaan 2 adalah $(\rho_2 \cdot A_2 \cdot ds_2) V_2$. Dengan mensubstitusikan ekspresi - ekspresi ini ke dalam persamaan (4.2.5) dan memperhatikan bahwa permukaan atur memotong kecepatan pada sudut - sudut kanan sehingga $V = ds/dt$ dan $Q = A \cdot V$, di dapatkan untuk aliran tetap sepanjang suatu tabung aliran :

$$\Sigma \vec{F} = \rho_2 \cdot Q_2 \cdot \vec{V}_2 - \rho_1 \cdot Q_1 \cdot \vec{V}_1 \quad (4.2.6)$$

Dari hukum kontinuitas, untuk aliran tetap :

$$\rho Q = \rho_1 \cdot Q_1 = \rho_2 \cdot Q_2.$$

Jadi kita dapat tulis :

$$\begin{aligned} \Sigma \vec{F} &= \rho \cdot Q (\vec{V}_2 - \vec{V}_1) \\ &= \rho \cdot Q (\Delta \vec{V}). \end{aligned} \quad (4.2.7)$$

Di mana arah $\Sigma \vec{F}$ akan sama dengan arah $\Delta \vec{V}$. $\Sigma \vec{F}$ mewakili jumlah vektor seluruh gaya yang bekerja, pada massa fluida termasuk gaya gravitasi, gaya geser (shear), dan gaya tekan termasuk gaya - gaya yang diberikan fluida di sekitar massa fluida yang ditinjau dan juga gaya - gaya tekan yang diberikan oleh batas - batas/ dinding padat dalam kontaknya dengan massa fluida.

Karena persamaan (4.2.7) adalah vektor maka dapat diekspresikan oleh skalar sebagai berikut:

$$\Sigma \vec{F}_x = \rho_2 \cdot Q_2 \cdot V_{2x} - \rho_1 \cdot Q_1 \cdot V_{1x} = \rho \cdot Q(\Delta V_x) \quad (4.2.8)$$

$$\Sigma \vec{F}_y = \rho_2 \cdot Q_2 \cdot V_{2y} - \rho_1 \cdot Q_1 \cdot V_{1y} = \rho \cdot Q(\Delta V_y) \quad (4.2.9)$$

$$\Sigma \vec{F}_z = \rho_2 \cdot Q_2 \cdot V_{2z} - \rho_1 \cdot Q_1 \cdot V_{1z} = \rho \cdot Q(\Delta V_z) \quad (4.2.10)$$

Kegunaan dari prinsip impuls momentum yang penting adalah bahwa kita tidak perlu memperhatikan detail mengenai apa yang terjadi di dalam aliran, tetapi hanya perlu memperhatikan kondisi - kondisi pada penampang - penampang ujung volume atur yang ditinjau.

4.2.2. HEAD LOSS PADA NOZZLE

Head loss pada nozzle termasuk dalam katagori head loss minor, seperti juga halnya aliran yang melalui sistem pipa, mungkin akan melewati beberapa macam sambungan, belokan, perubahan luas penampang jalan masuk atau keluar.

Secara umum, besarnya head loss minor dapat ditulis sebagaiberikut :

$$h_{lm} = K \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

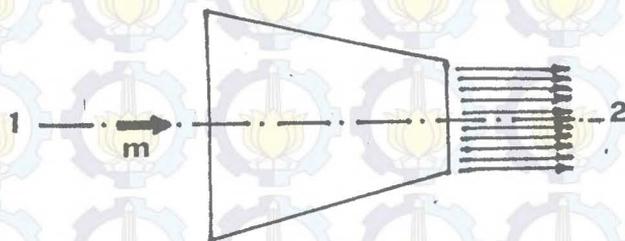
Di mana koefisien loss K, ditentukan berdasarkan eksperimen untuk tiap - tiap situasi. Head los minor dapat juga ditulis sebagaiberikut :

$$H_{lm} = f \frac{L_e}{D} \times \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Di mana L_e adalah panjang ekuivalen bila bentuknya

disamakan dengan pipa lurus.

Untuk nozzle maka headlossnya dicari dengan berdasarkan persamaan energi antara titik z dan titik z pada gambar di bawah :



gambar 4.11.

Head loss pada nozzle

Persamaan energi ideal :

$$Z_1 + \frac{\rho_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{\rho_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g}$$

Dari persamaan kontinuitas.

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

$$V_1 = \frac{A_2}{A_1} V_2, \text{ sehingga dapat dituliskan}$$

$$Z_2 + \frac{\rho_2}{\gamma} + \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \frac{V_2^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{\rho_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} *$$

Sehingga :

$$V2(\text{ideal}) = \frac{1}{\sqrt{1 - (A1/A2)^2}} \sqrt{2g \left[\left(z1 + \frac{P1}{\gamma} \right) - \left(z2 + \frac{P2}{\gamma} \right) \right]}$$

Persamaan energi riil :

$$z1 + \frac{P1}{\gamma} + \frac{V2^2}{2 \cdot g} - \text{hlm} = z2 + \frac{P2}{\gamma} + \frac{V2^2}{2 \cdot g}$$

Sehingga :

$$V2(\text{riil}) = \frac{1}{\sqrt{1 - (A1/A2)^2}} \sqrt{2g \left[\left(z1 + \frac{P1}{\gamma} \right) - \left(z2 + \frac{P2}{\gamma} \right) - \text{hlm} \right]}$$

Jika $V_{riil} = cv \cdot V_{ideal}$ maka head loss untuk nozzle adalah

$$\text{Hlm} = \left[\frac{1}{cv^2} \right] \left[1 - \left(\frac{A2}{A1} \right)^2 \right] \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

* REFF. 2 HAL 416.

4.3. PERHITUNGAN KECEPATAN PADA NOZZLE JET

Dari perhitungan di atas diperoleh tahanan total pada saat foilborne yaitu sebesar 115994,923 N (pada $V_k = 46 \text{ knots} = 23,68 \text{ m/s}$).

Oleh karena gaya dorong sama dengan tahanan total di atas dan dihasilkan oleh dua buah pompa, maka gaya dorong untuk satu pompa adalah.

$$T = \frac{115994,923}{2} \text{ N} = 57997,46 \text{ N.}$$

Jika saluran air masuk diasumsikan sebagai suatu tabung borda, maka diperoleh $cv = 0,74$.^{*} Sehingga kecepatan air masuk ke saluran air masuk.

$$\begin{aligned} V_1 &= cv \cdot V_k \\ &= 0,74 \cdot 23,68 \\ &= 17,52 \text{ m/s.} \end{aligned}$$

Sedangkan saluran inlet mempunyai luas penampang.

$$\begin{aligned} A_1 &= 0,216 \times 0,838 \\ &= 0,181 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

Maka laju aliran volume untuk dua buah propulsor

$$\begin{aligned} Q \text{ total} &= V_1 \cdot A_1 \\ &= 17,52 \cdot 0,181 \\ &= 3,15 \text{ m}^3/\text{s.} \end{aligned}$$

Jadi laju aliran volume untuk satu pompa adalah :

* REFF. 2 HAL 415

$$\begin{aligned} Q &= \frac{Q \text{ total}}{2} \\ &= \frac{3,15}{2} \\ &= 1,58 \text{ m}^3/\text{s}. \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan momentum, maka kecepatan jet :

$$\Sigma \vec{F} = \rho \cdot Q(\vec{V}_2 - \vec{V}_1) \longrightarrow \Sigma \vec{F} = \Sigma \vec{T}$$

$$V_2 = \frac{T}{\rho \cdot Q} + V_1.$$

$$= \frac{57997,46}{(1025 \cdot 1,58)} + 17,52$$

$$= \underline{53,33 \text{ m/s.}}$$

V_2 adalah kecepatan yang diperlukan fluida keluar Nozzle agar dapat mendorong kapal atau agar dapat menghasilkan gaya thrust sehingga kapal dapat berlayar dengan kecepatan yang diinginkan.

4.4. PERENCANAAN NOZZLE

TINJAUAN UMUM

Nozzle pada kapal jet foil dimasukkan ke dalam katagori propulsor unit.

Propulsor adalah peralatan produksi yang menghasilkan gaya dorong pada suatu pesawat. Pada Kapal kapal dengan unjuk kerja yang tinggi, biasanya ada tiga jenis propulsor yang umum dipakai yaitu :

- Pompa jet air, yaitu propulsor yang berupa pompa dengan nozzle.
- Propeller air yaitu propulsor yang berupa baling - baling di air.
- Propeller udara, yaitu propulsor yang berupa baling - baling di udara.

Pesawat hydrofil menggunakan propulsor berupa pompa jet air . Sedangkan untuk propulsion power diproduksi oleh dua buah turbin gas Allison 501 - K, masing - masing turbin ini dihubungkan dengan poros putaran tinggi (High Speed Shaft) dan reducing gear box ke poros pompa water jet pump.

Pada kondisi foilborne water jet pump ini memompa masuk air lewat foilborne intake dan memompa kembali keluar lewat nozzle di bagian belakang kapal. Perbedaan momentum ini yang menyebabkan kapal bergerak maju ke depan. Pada kondisi hullborne, air masuk lewat water intake yang berada di lambung kapal . Dan pada saat foilborne saluran air masuk pada saat hullborne akan menyatu dengan saluran pada saat foilborne.

Nozzle dilengkapi dengan Reverser dan deflector yang berfungsi juga untuk manuver pada saat hullborne.

Beberapa keuntungan dan kerugian penggunaan pompa jet air dibandingkan dengan penggunaan propeller air, dapat dibandingkan seperti di bawah ini.

Keuntungan - keuntungan pompa jet air adalah :

- Memungkinkan eliminasi terhadap peralatan luar yang berada di bawah air.
- Memungkinkan penggunaan transmisi yang lebih ringan.
- Lokasi penempatan propulsor lebih bebas.
- menghasilkan gaya dorong yang relatif lebih besar.
- Getaran yang terjadi relatif lebih kecil.

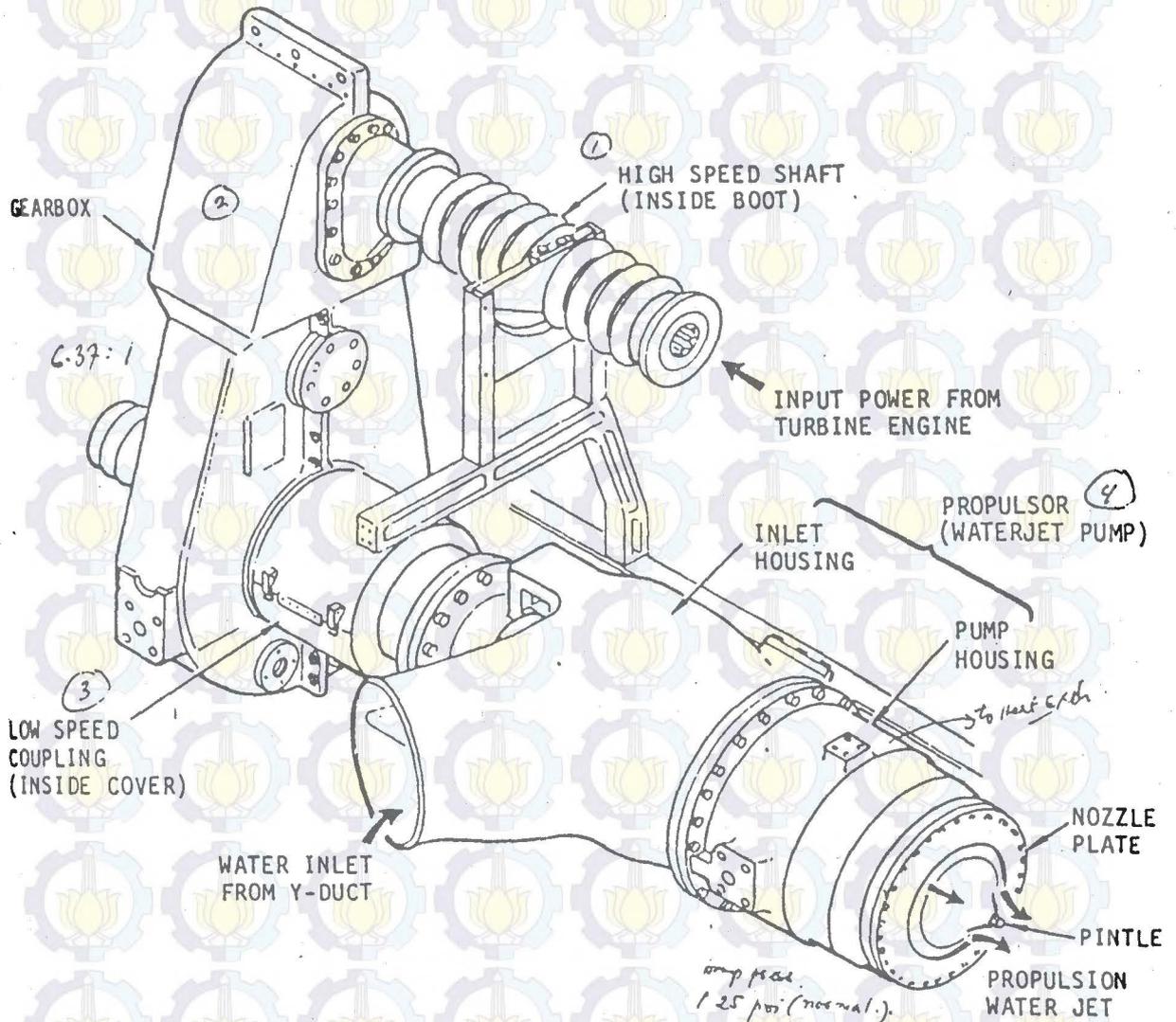
Sedangkan kerugian - kerugian pompa jet air adalah :

- Berat total pompa lebih besar.
- Umumnya efisiensi pompa lebih kecil.
- Kemungkinan terjadi kavitasi pada daerah inlet, dari sistem dapat mempengaruhi unjuk kerja pompa jet air.
- Inspeksi, perbaikan, atau pembersihan terhadap benda - benda asing lebih sulit dilaksanakan.
- Memerlukan saluran air masuk atau scoop.
- Harga pompa lebih mahal.

Terlihat bahwa penggunaan pompa jet air sebagai propulsor selain membawa banyak keuntungan juga membawa kerugian yang tak dapat dihindari, namun untuk tujuan - tujuan tertentu kerugian - kerugian tersebut diabaikan seperti kebutuhan beroperasi dengan sarat yang dangkal, juga untuk kebutuhan akan daya yang tinggi, ataupun untuk beroperasi dengan kecepatan yang tinggi.

4.4.2. PERENCANAAN NOZZLE.

Gambar 4.12
Nozzle Kapal Jet Foil .



DATA PERENCANAAN NOZZLE

Dari perhitungan di depan didapatkan :

1. $Q = 1,58 \text{ m}^3/\text{s}.$

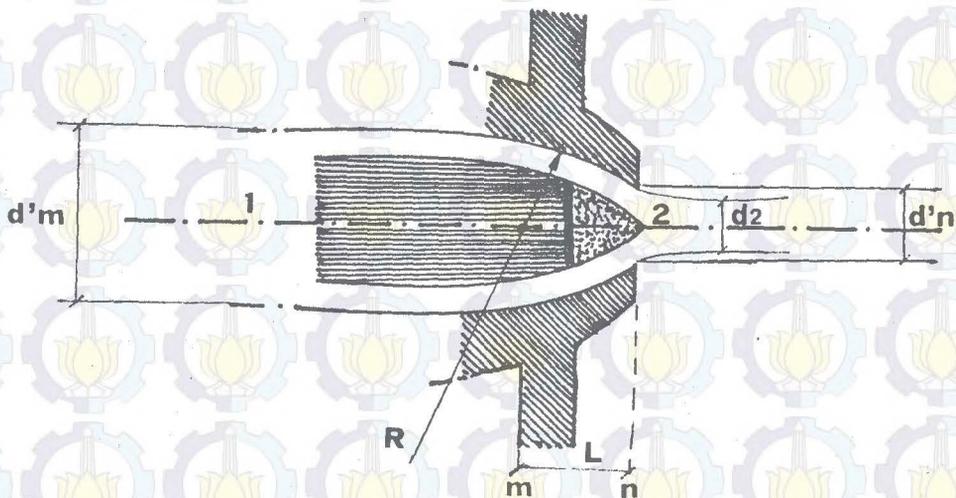
2. $V_2 = 53,33 \text{ m/s}.$

3. $1 - \left(\frac{A_2}{A_m} \right)^2 = 0,90.$



Gambar 4.12.

Nozzle Unit



Berdasarkan data diatas maka luas penampang Jet.

$A_2 = Q/V_2.$

$A_2 = 1,58/53,33$

$= 0,02963 \text{ m}.$

Jadi diameter Jet (ϕ) = $\sqrt{\frac{4 \cdot A_2}{\pi}} = 0,194 \text{ m}.$

Nozzle yang dipakai termasuk jenis fire nozzle, oleh karena itu $cc = 0,84.$ *

*. REFF 3 HAL 411

Nilai cc diatas adala untuk nozzle tanpa pintle. Dengan demikian luas penampang leher nozzle tanpa pintle.

$$\begin{aligned} A_n &= A_2/cc \\ &= 0,02963/0,84 \\ &= 0,035 \text{ m.} \end{aligned}$$

Jika diameter pintle (d_p) pada leher nozzle diasumsikan sama dengan 0,12 m, maka luas penampang leher nozzle dengan pintle,

$$\begin{aligned} A_n' &= A_n + \frac{\pi}{4} d_p^2 \\ &= 0,035 + \frac{\pi}{4} \cdot 0,12^2 \\ &= 0,046 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

Jadi diameter leher nozzle dengan pintle ($d'n$) = 0,24 m. oleh karena $1 - \left(\frac{A_2}{A_m}\right)^2 = 0,90$, sedangkan $A_2 = 0,0296 \text{ m}^2$.

maka luas penampang nozzle inlet tanpa pintle.

$$A_m = 0,093 \text{ m}^2.$$

Jika diameter nozzle inlet dengan pintle ($d'm$) pada nozzle inlet diasumsikan sama dengan 0,20 m, maka luas penampang nozzle inlet dengan pintle.

$$\begin{aligned} A_m' &= A_m + \frac{\pi}{4} d_p^2 \\ &= 0,093 + \frac{\pi}{4} (0,20)^2 \\ &= 0,124 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

Jadi diameter nozzle inlet dengan pintle ($d'm$) = 0,397 m.

Sedangkan panjang nozzle, berdasarkan ISA (International

SISTEM FOIL DAN PERENCANAAN NOZZLE PADA KAPAL JET FOIL, 120

Standart Association) nozzle, adalah :

$$\begin{aligned}L &= 0,304 \cdot d^2 \\ &= 0,304 \cdot 0,194 \\ &= 0,059 \text{ m.}\end{aligned}$$

Dan jari - jari kelengkungan sisi dalam nozzle.

$$\begin{aligned}R &= 11/2 \cdot d' \text{ m.} \\ &= 11/2 \cdot 0,397 \\ &= 0,60 \text{ m.}\end{aligned}$$

Untuk mencari tekanan pada inlet nozzle dapat digunakan Rumus Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + z_2$$

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + g \cdot z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + g \cdot z_2.$$

Asumsi :

1. Steady flow.
2. Incompressible flow.
3. Frictionless flow.
4. Flow sepanjang streamline.
5. Uniform flow.
6. $Z_1 = Z_2$.

maka:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2}$$

$$P1 = Patm + \frac{\rho}{2} (V2^2 - V1^2).$$

$$P1 - Patm = \frac{\rho}{2} (V2^2 - V1^2).$$

$$P1(gage) = \frac{\rho}{2} (V2^2 - V1^2).$$

$$P1(gage) = \frac{1025}{2} [(53,33)^2 - (17,52)^2]$$

$$P1(gage) = 1300283,48 = 1,3 \cdot 10^6 \text{ kg/m}^2.$$

$P1(gage)$ ini adalah tekanan yang harus dihasilkan oleh satu pompa jet air.

BAB V

KESIMPULAN

Dasar pemilihan foil type NACA disebabkan Kapal Jet Foil adalah merupakan kapal generasi baru dengan menggunakan teknologi kombinasi dan modifikasi dari Teknologi Perkapalan dan Teknologi Pesawat Terbang yang mana karakteristiknya sesuai dengan kapal jet foil dengan karakteristik :

- Kecepatan tinggi/stabilitas tinggi diharapkan foil mempunyai koefisien lift yang baik dengan koefisien drag yang sekecil mungkin.

Faktor - faktor yang berpengaruh didalam pemilihan sistem foil untuk mendapatkan koefisien lift yang baik dan harga koefisien drag yang sekecil mungkin adalah :

- Re (Reynolds number).

Reynolds number sangat menentukan dalam hal pemilihan sistem foil. Karena harga - harga seperti C_l dan C_d sangat ditentukan oleh Re tersebut. Bilangan Re pada sistem foil disesuaikan dengan harga Re yang ada di NACA atau dimasukkan dalam batas yang masih diijinkan oleh NACA.

- Aspect Ratio.

Dengan menetapkan harga aspect ratio maka kita

dapat membandingkan karakteristik dari berbagai foil dalam rangka mencari karakteristik foil yang paling optimum.

□ Thickness Ratio.

Berguna untuk mendapatkan bentuk foil yang ideal dalam artian mempunyai harga C_d yang sekecil mungkin dan C_l yang sebesar mungkin.

□ Angle of attack.

▶ Lift force dapat diperbesar dengan memperbesar harga C_l . Harga C_l pada foil ini dapat ditingkatkan dengan memperbesar angle of attack yaitu dengan mempergunakan flap sampai batas tertentu. Disamping itu Lift Force dapat juga diperbesar dengan memperbesar luasan sayapnya (A_p) dan menambah kecepatan kapal.

▶ Bila angle of attack diperbesar maka C_l akan besar pula sampai batas tertentu pada harga maximum dari C_l , bila angle of attack diperbesar lagi maka C_l akan mulai menurun.

Sesuai dengan C_l tadi C_d juga akan mengikuti perubahan angle of attack.

Dalam perencanaan Nozzle harus diperhatikan komponen

- komponen yang diperlukan di dalam perencanaan nozzle agar tercapai kecepatan yang direncanakan, komponen itu adalah besarnya tahanan total dari Kapal Jet Foil pada

kondisi foilborne kecepatan maximum, kapasitas dari propulsor yang dengan persamaan momentum akan didapatkan kecepatan nozzle jet foil . Dari kecepatan pada nozzle jet foil inilah akhirnya direncanakan dimensi dari Nozzle dan pelengkap lainnya seperti pintle nozzle. Perencanaan nozzle ini direncanakan pada kecepatan maximum dari kapal jet foil.

Dengan demikian didalam maintenance dan pengukuran flow area dari nozzle bisa dilakukan dengan cepat dan tepat karena perhitungan secara teoritis memungkinkan hal itu di analisa. Sebagai segi positifnya perencanaan nozzle dengan sistem diatas adalah dalam hal pengaturan kedudukan pintle nozzle untuk mendapatkan flow area nozzle yang sesuai kebutuhan agar kecepatan maximum tercapai akan menjadi lebih mudah dan efisien.

P E N U T U P

Demikianlah penulisan TUGAS AKHIR I ini yang telah kami susun dan selesaikan semaksimal kemampuan yang ada pada diri kami serta pengetahuan yang kami punyai ditambah dengan keterbatasan waktu yang ada.

Manusia tidak luput dari kesalahan dan kekurangan telitian demikian keyakinan penulis, oleh karena itu sangatlah besar kemungkinannya dalam perhitungan - perhitungan yang telah dilakukan kemungkinan mengalami kesalahan atau kekeliruan dalam perhitungannya, yang semuanya itu adalah diluar kesengajaan dan kesadaran penulis, namun yang prinsipil kita bisa memahami apa yang termaktub didalam kekeliruan itu (Tidak fatal).

Harapan penulis apa yang telah penulis susun ini dapat bermanfaat bagi pembaca yang berkecimpung dalam science and tehcnology , dan sebagai sumbangsih kami menambah kasanah ilmu pengetahuan walau hanya setetes air dalam samudera ilmu pengetahuan.

Dengan apa yang telah penulis susun di atas, penulis mohon maaf yang sebesar - besarnya kepada semua pihak apabila ada sesuatu hal yang tidak berkenan sehubungan dengan tulisan dan proses penyusunan TUGAS AKHIR I ini.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa Selalu Memberkati Kita Semua

Amin 3x "

DAFTAR PUSTAKA

1. Digul Siswanto, MSc. "Diktat Teori Tahanan kapal I".
Teknik Perkapalan FTK - ITS.
2. Fox R and Mc Donald Alan, "Introduction to Fluid
Mechanics". John Willey and Sons inc, New York, Third
Edition.
3. Robert L. Daugherty, Joseph B. Franzini PhD, E John
Finnemore PhD, "Fluid Mechanics With Engineering
Applications," Mc Graw Hill book Company, New York.
4. Henschke W, "Schiffbau Technisches Handbuch Band I .
5. Maurice L Albertson James R Barton, and Daryl B Simons
"Fluid Mechanics For Engineers". Prentice Hall USA 1960.
6. Mallikan, Clark B, PhD, "Aerodynamics of the
Airplane". John Willey and Sons, New York.
7. Orianto MSc, Pratikto MSc PhD, "Mekanika Fluida". Teknik
Permesinan Kapal FTK-ITS Surabaya 1984.
8. Arnold M, Kuethe, Chuen Yen Chow, "Foundations of
Aerodynamics Bases of Aerodynamics Design". John Willey
and Sons, fourth Edition, New York.
9. Ira H. Abbott, albert E. Von Doenhoff, "Teori of Wing
Section ". Dover Publications, inc New York.
- 10 Todd FH, "Resistance and Propulsion ". FT Perkapalan
ITS Surabaya.
- 11 The Boeing Company, "Boeing Jet Foil Maintenance
Manual".

Tabel 1
Grafik faktor tahanan bentuk

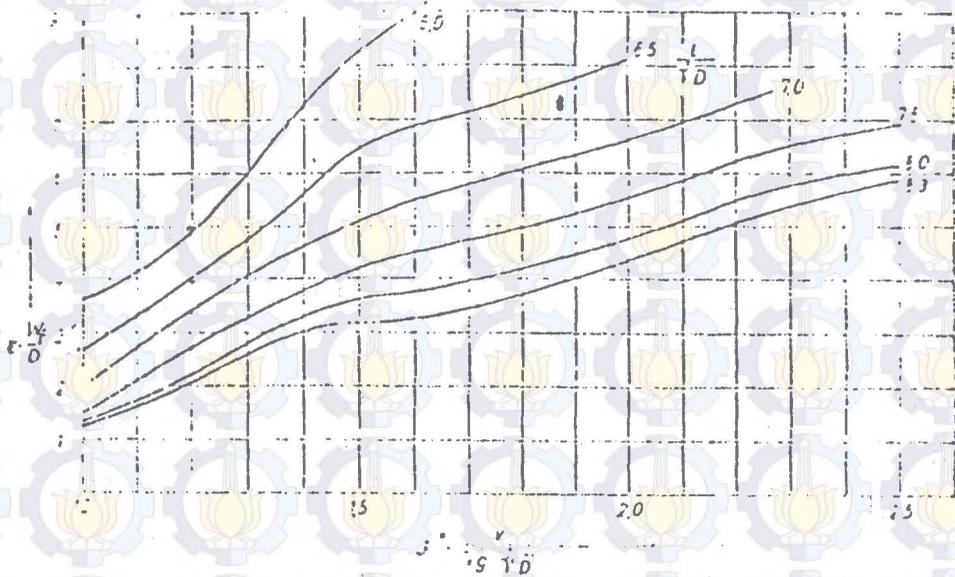


Bild 2.6 Formwiderstand für kleine Schnellboote (nach B&W)

Tabel 2.
Grafik koefisien tahanan bentuk.

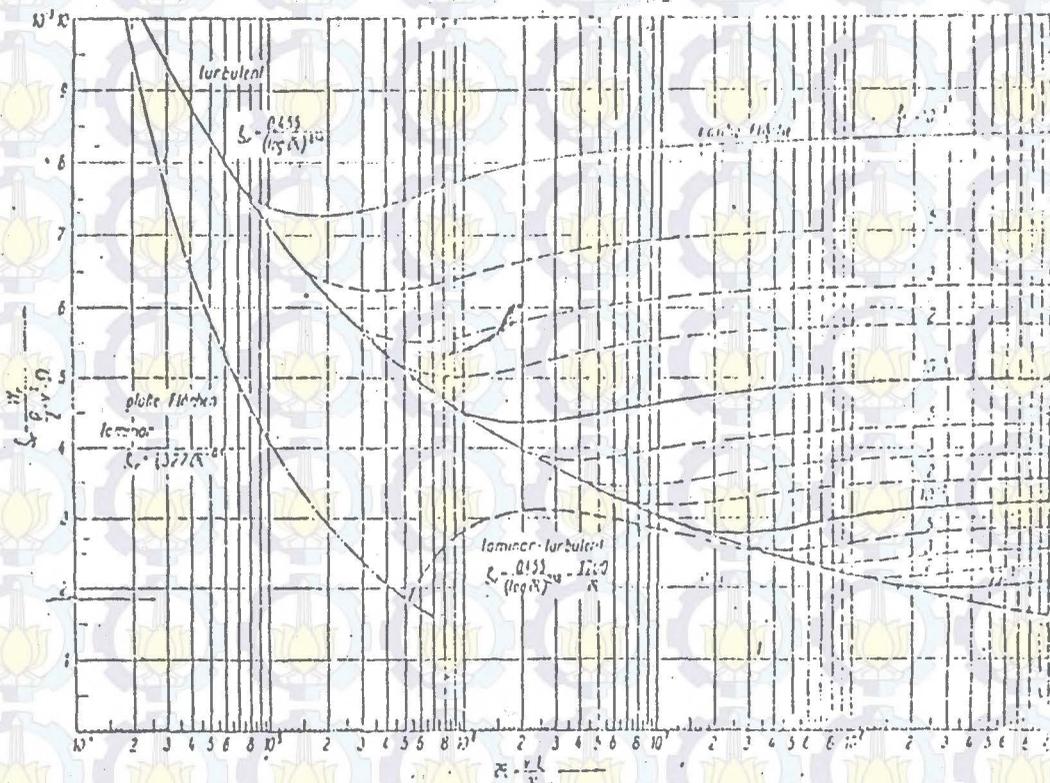


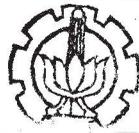
Bild 2.1 Reibungswiderstandskoeffizient in Abhängigkeit von Re (nach Schiffbau-Lehrbuch 1911 S. 1)

Die Kurve für $Re = 10^5$ stellt die Grenzkurve für alle Schiffe dar; unterhalb derselben sind die Werte für alle

Tabel 3.

Proper drag coefficient of major airplane component.

Element	Description	C_{DTC}
fuselage	Dirigible hull, circular section, tested alone	0,072
	Large transports or bombers, no nose engine or turrets	0,070 to 0,105
	Small plane, including nose engine, closed cockpit	0,090 to 0,130
Nacelle	Leading edge nacelles, small airplane, relative large nacelle	0,250
	leading edge nacelles, small airplane, relative small nacelle.	0,120

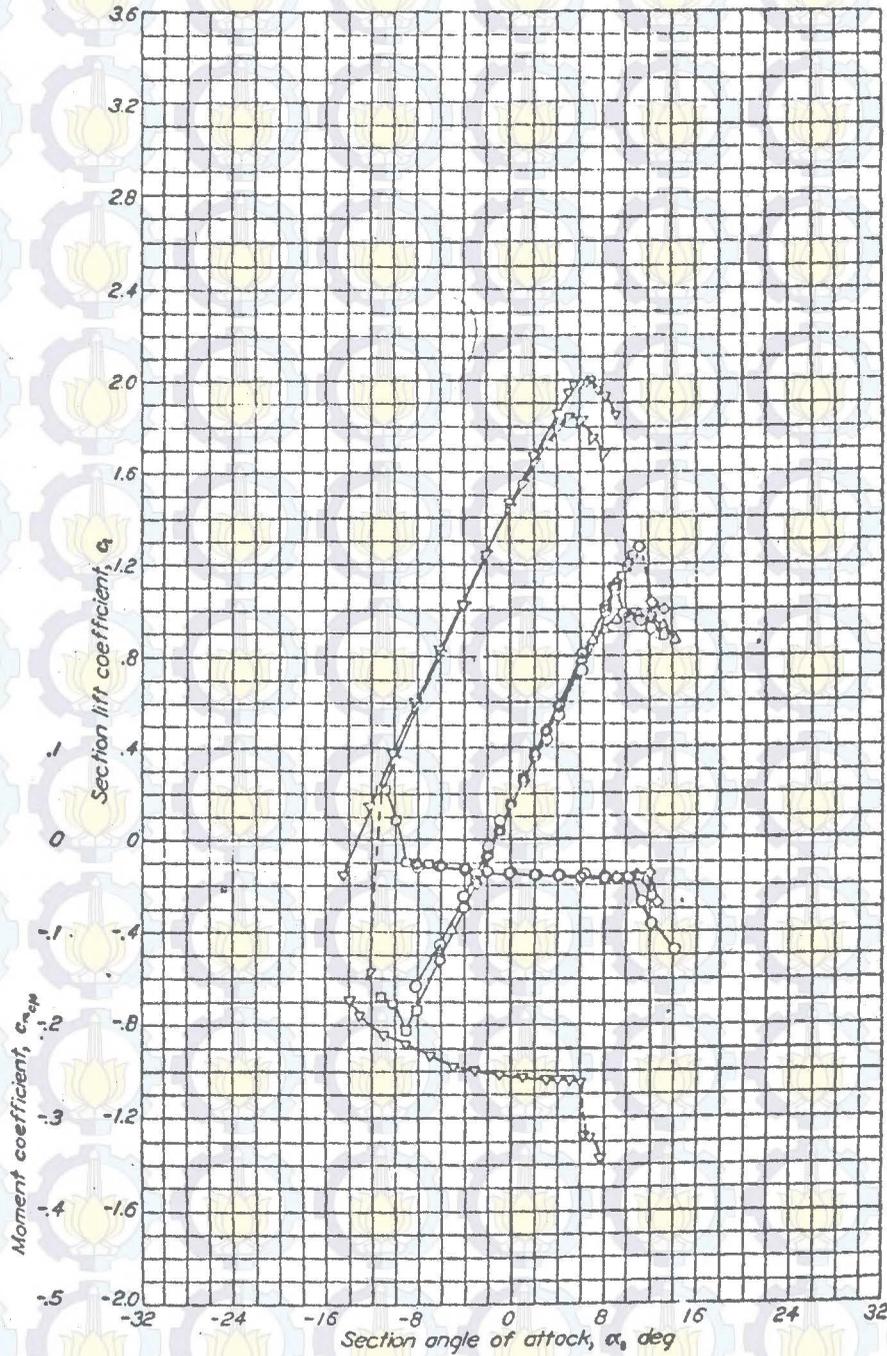


Tabel. 5.

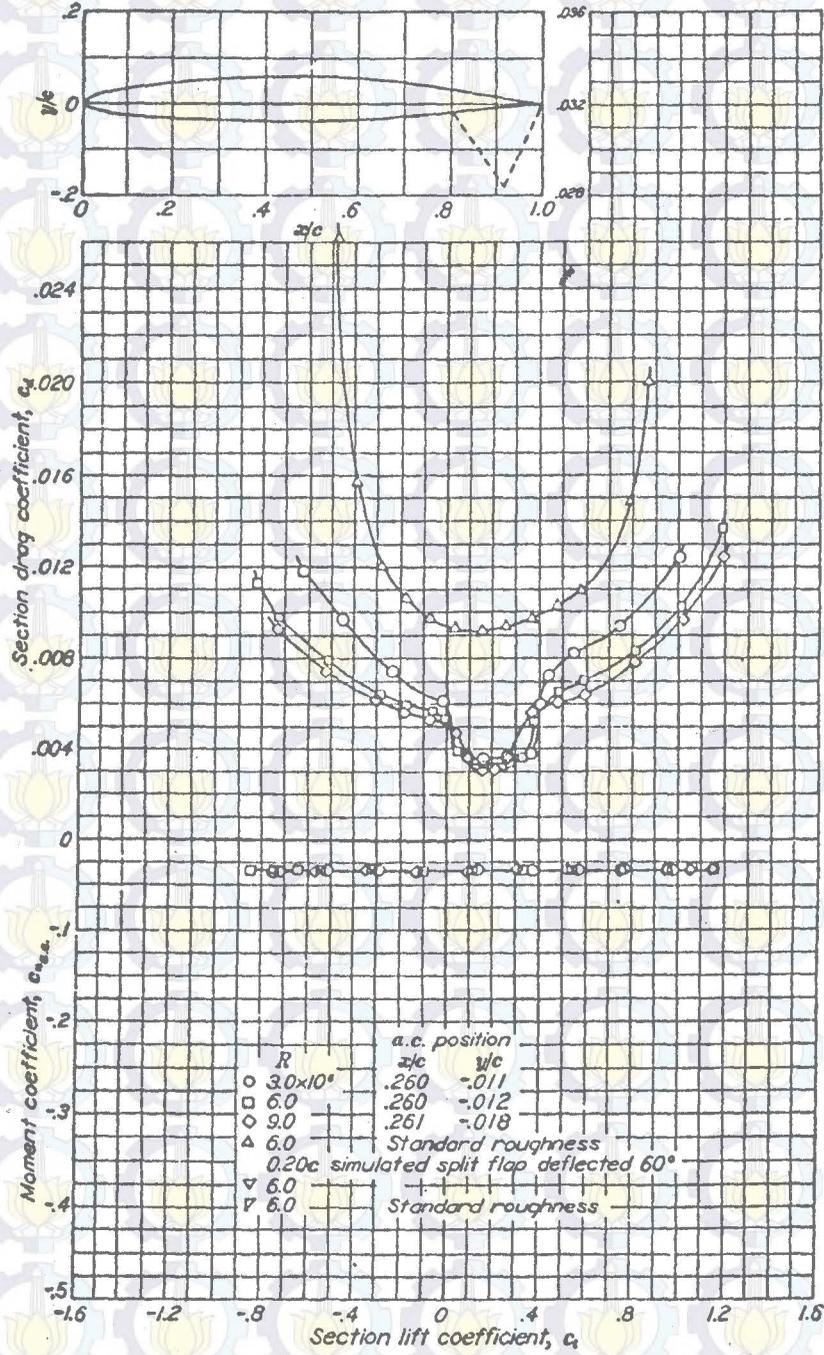
Karakteristik NACA 66 - 210.

660

THEORY OF WING SECTIONS



NACA 66-210 Wing Section



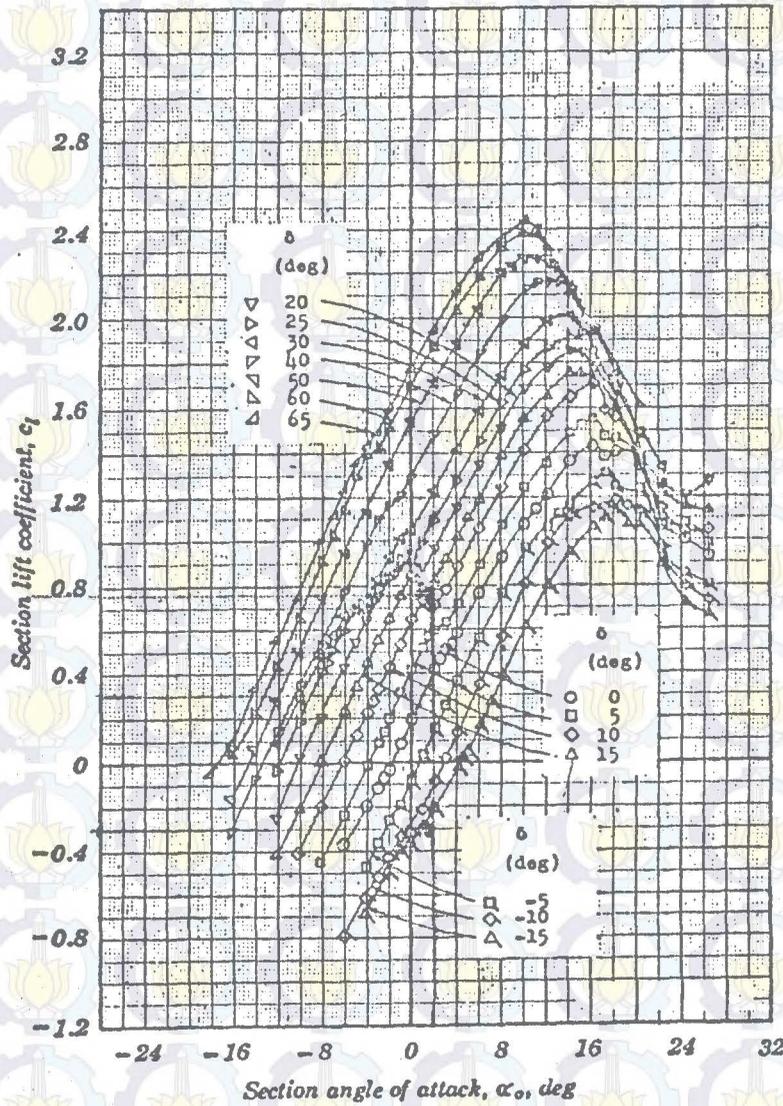


FIG. 100. Aerodynamic characteristics of the NACA 66(215)-216 airfoil section with 0.20c scaled plain flap.

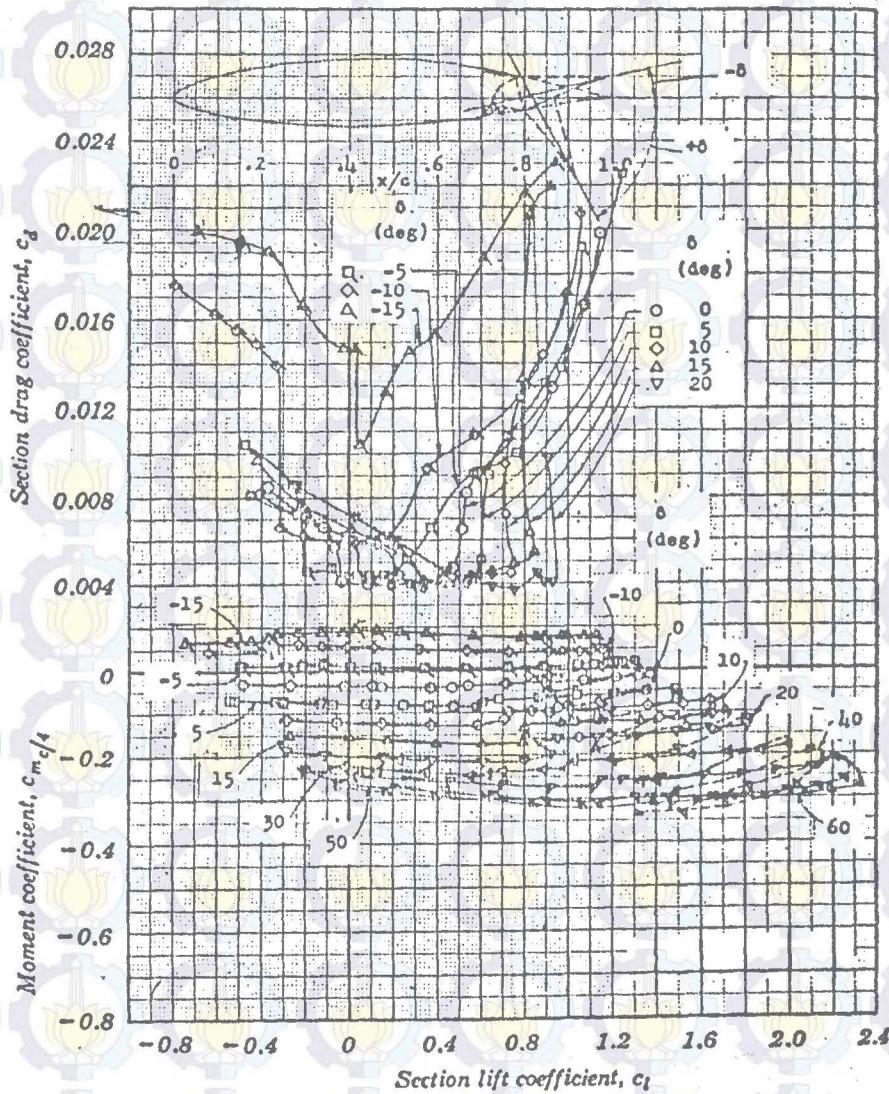


FIG. 100. (Concluded)

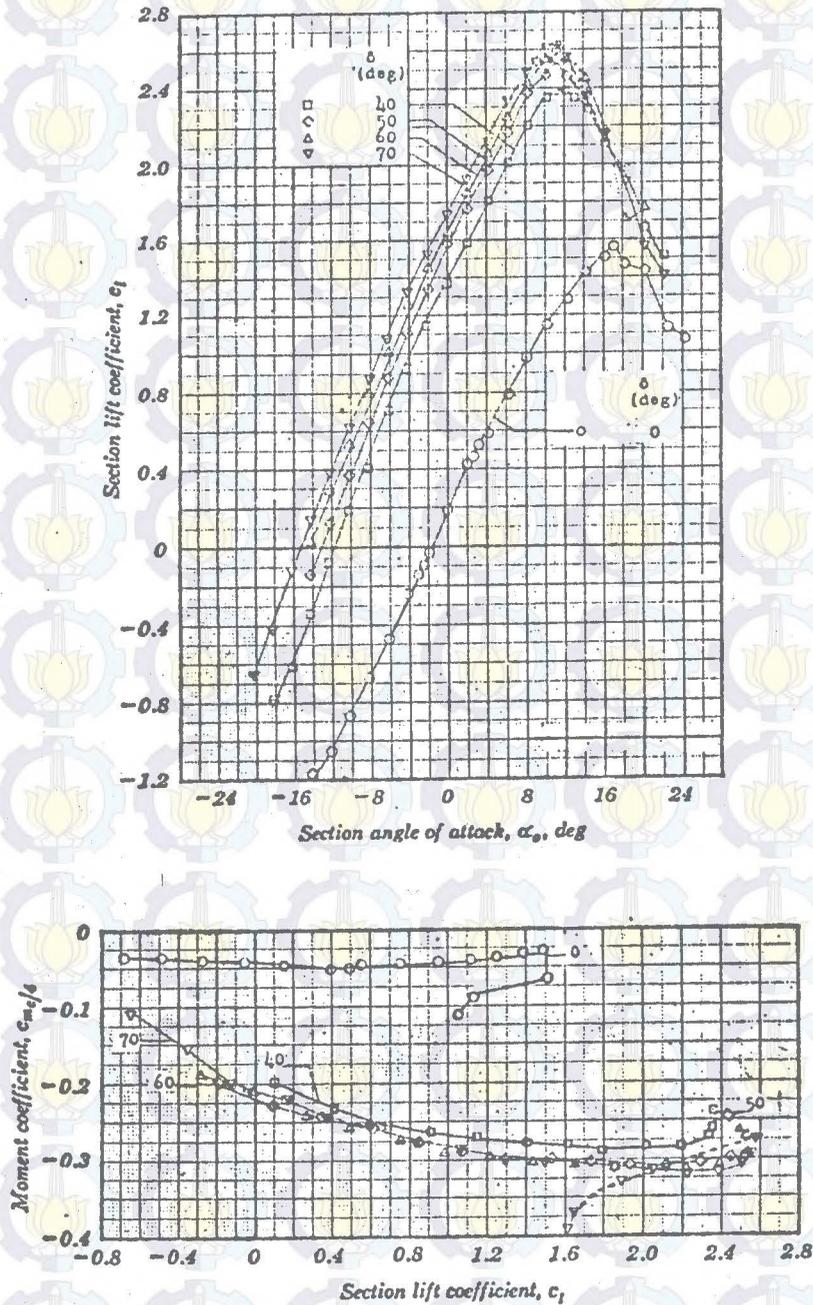


FIG. 103. Lift and moment characteristics of the NACA 66(215)-216 airfoil section with 0.20c split flap. $R, 6 \times 10^6$.

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SERANG - NOPEMBER

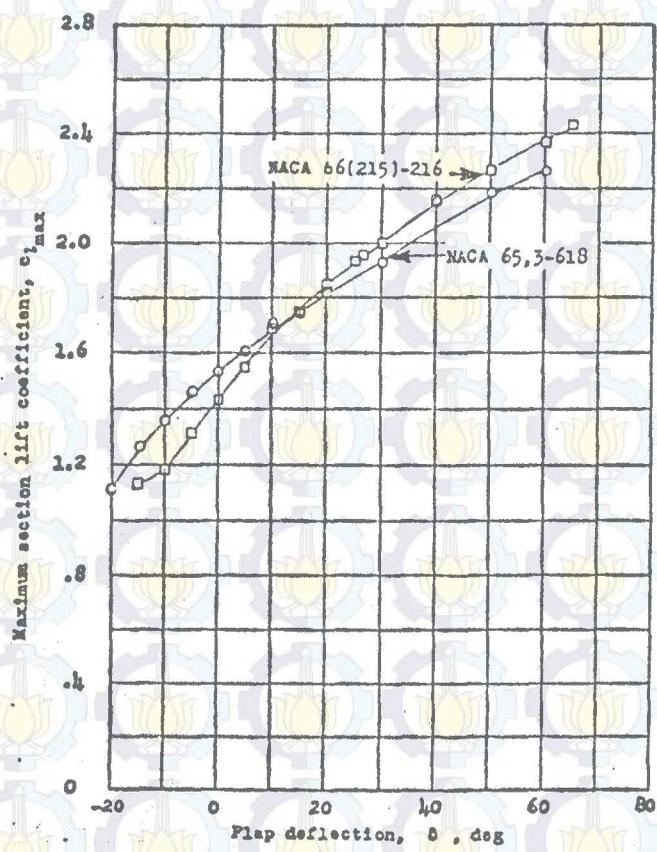


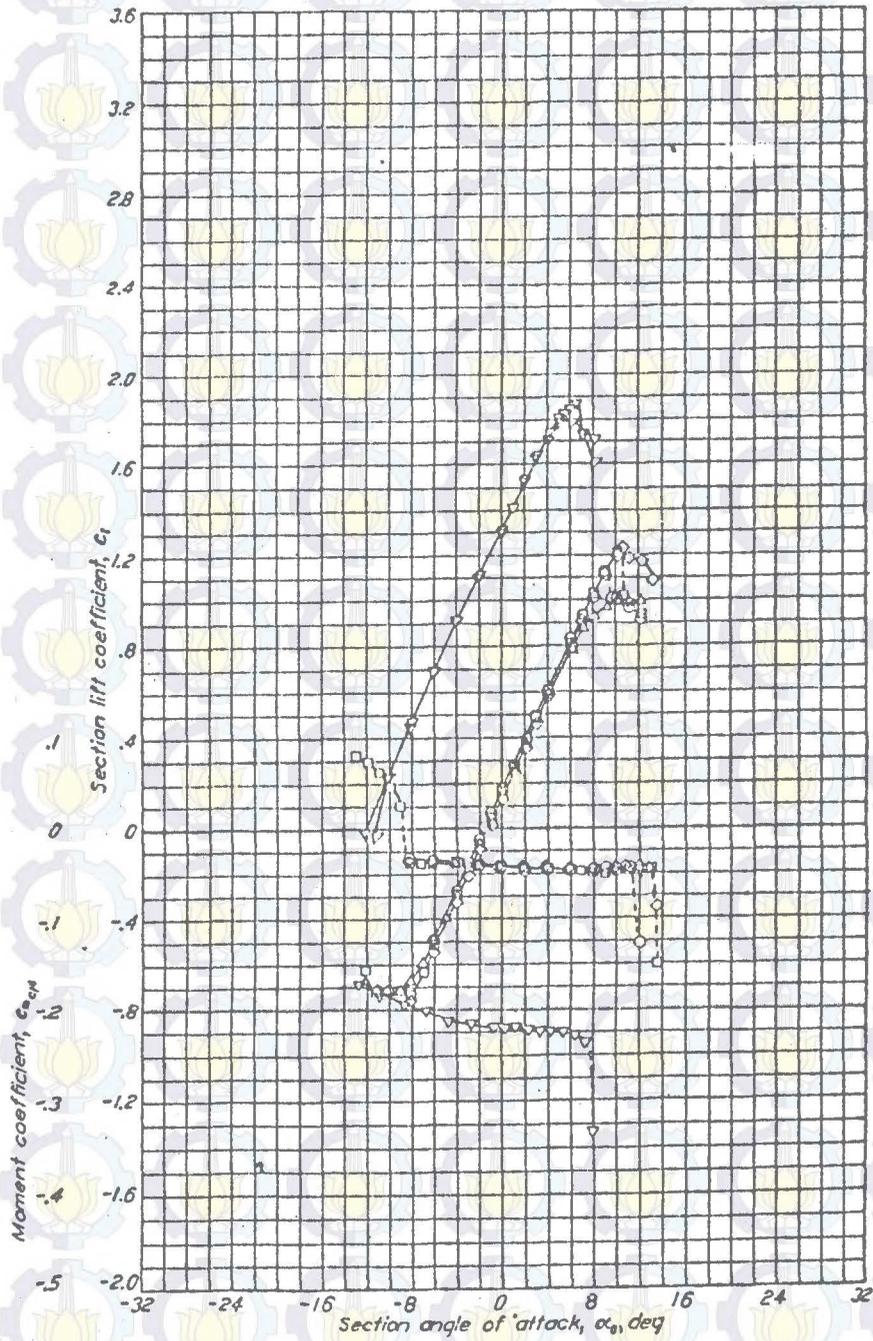
FIG. 101. Maximum lift coefficients for the NACA 65,3-618 and NACA 66(215)-216 airfoils fitted with 0.20-airfoil-chord plain flaps. $R, 8 \times 10^5$.

Table 7.

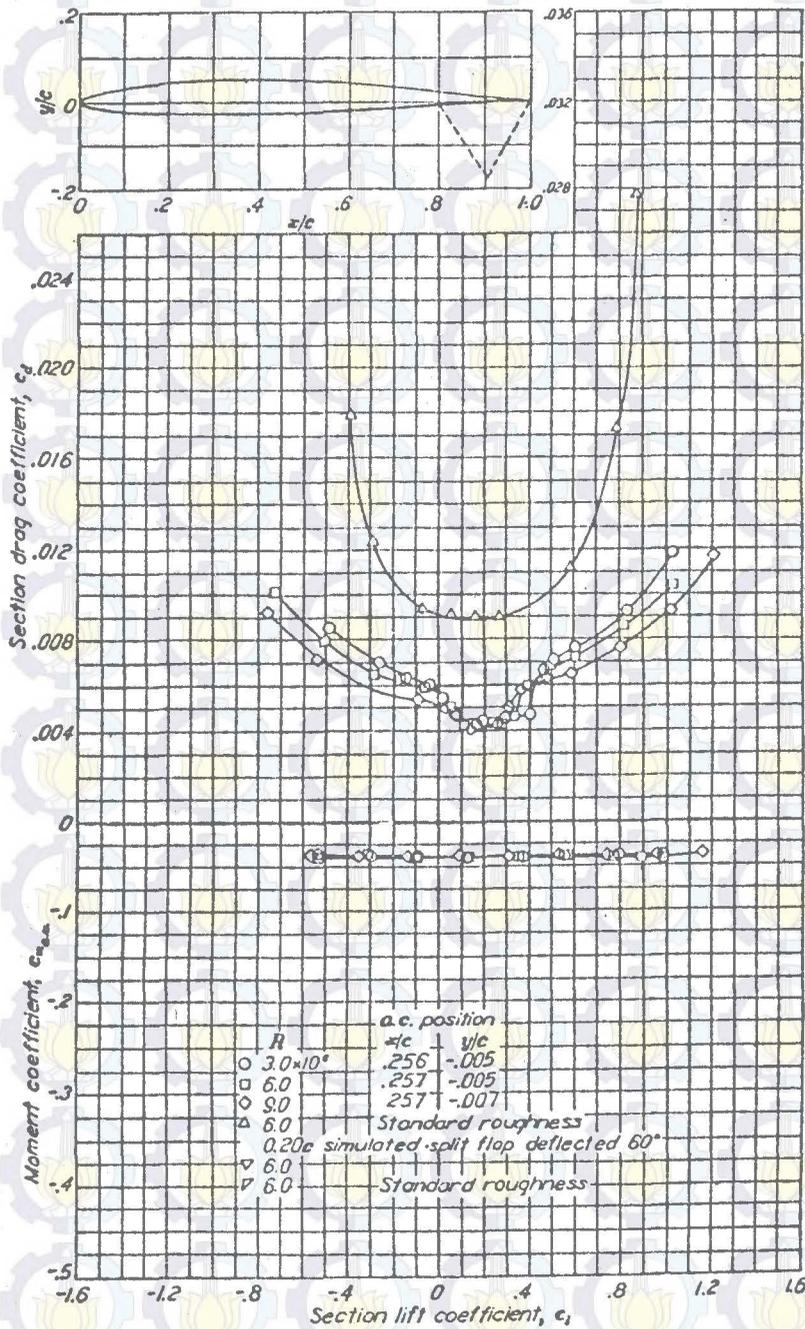
Karakteristik NACA 64 - 208.

560

THEORY OF WING SECTIONS



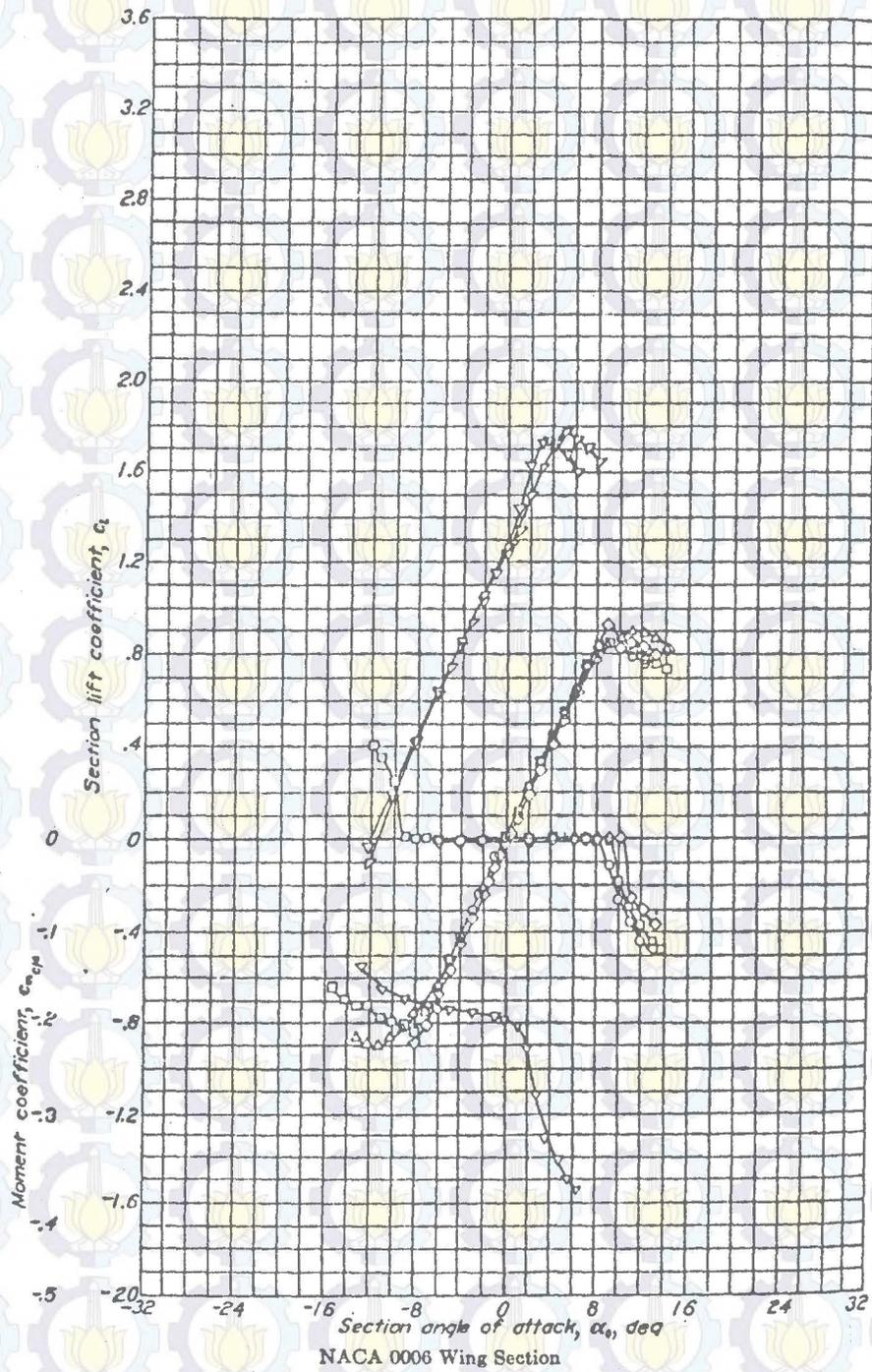
NACA 64-208 Wing Section



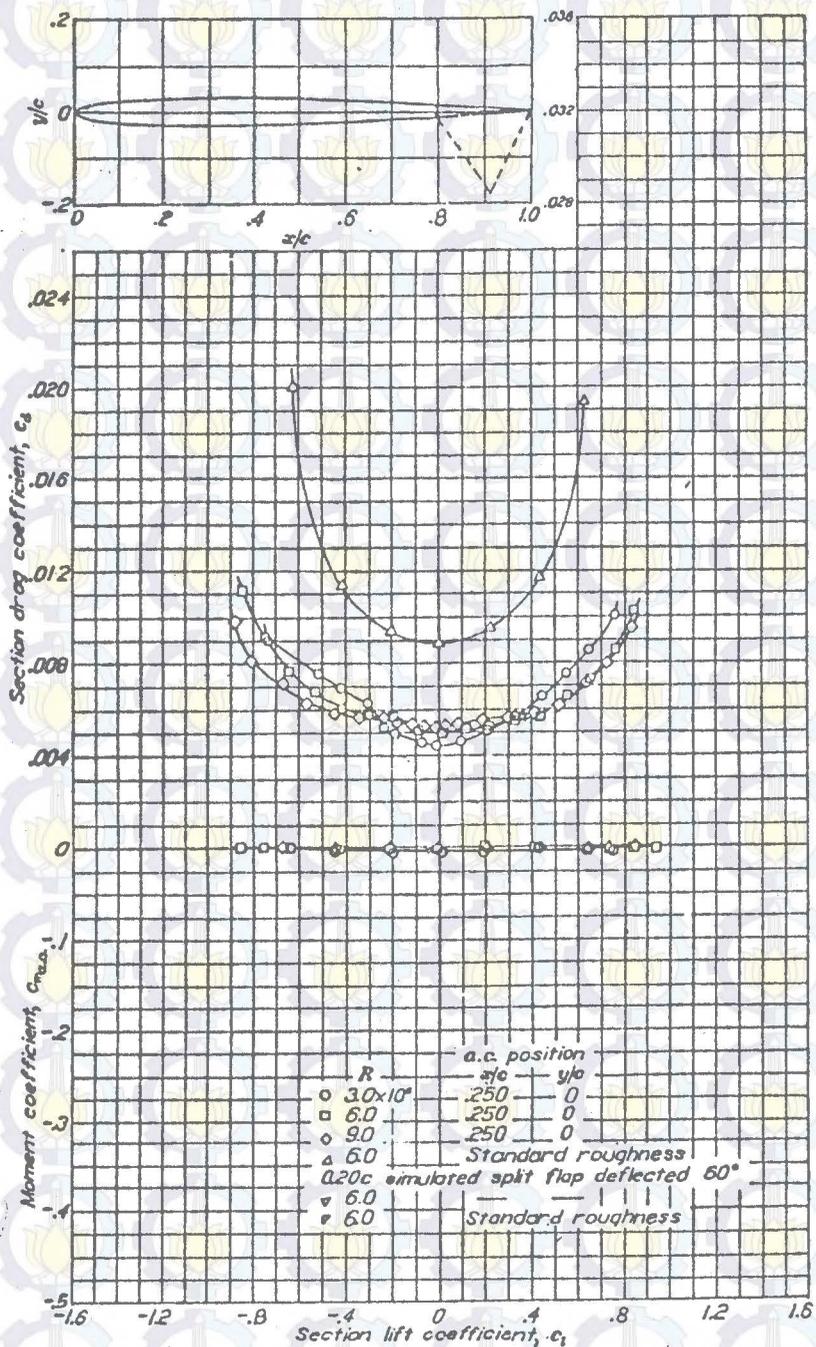
NACA 64-208 Wing Section (Continued)

Tabel 8.
Karakteristi NACA 0006.

THEORY OF WING SECTIONS



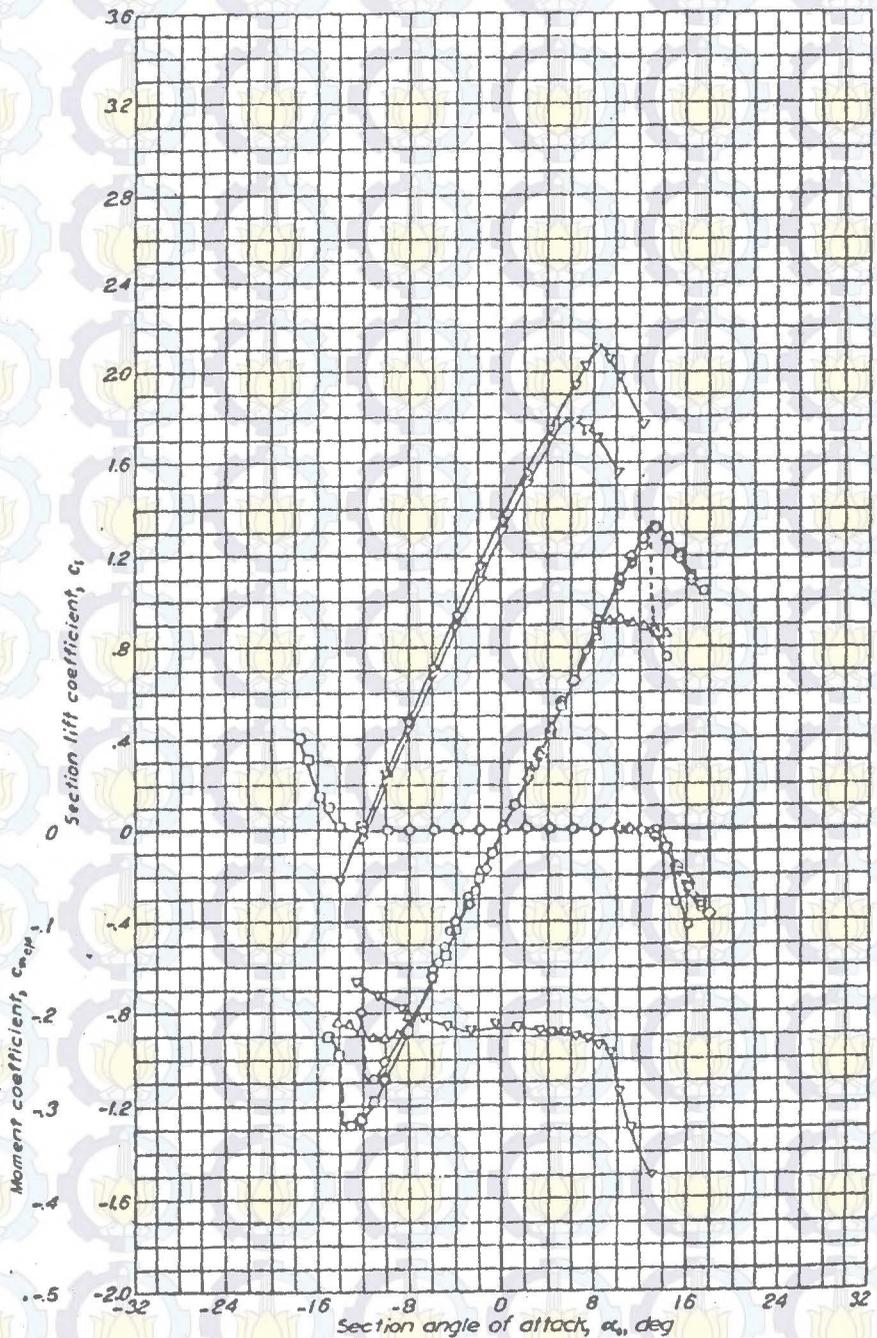
APPENDIX IV



NACA 0006 Wing Section (Continued)

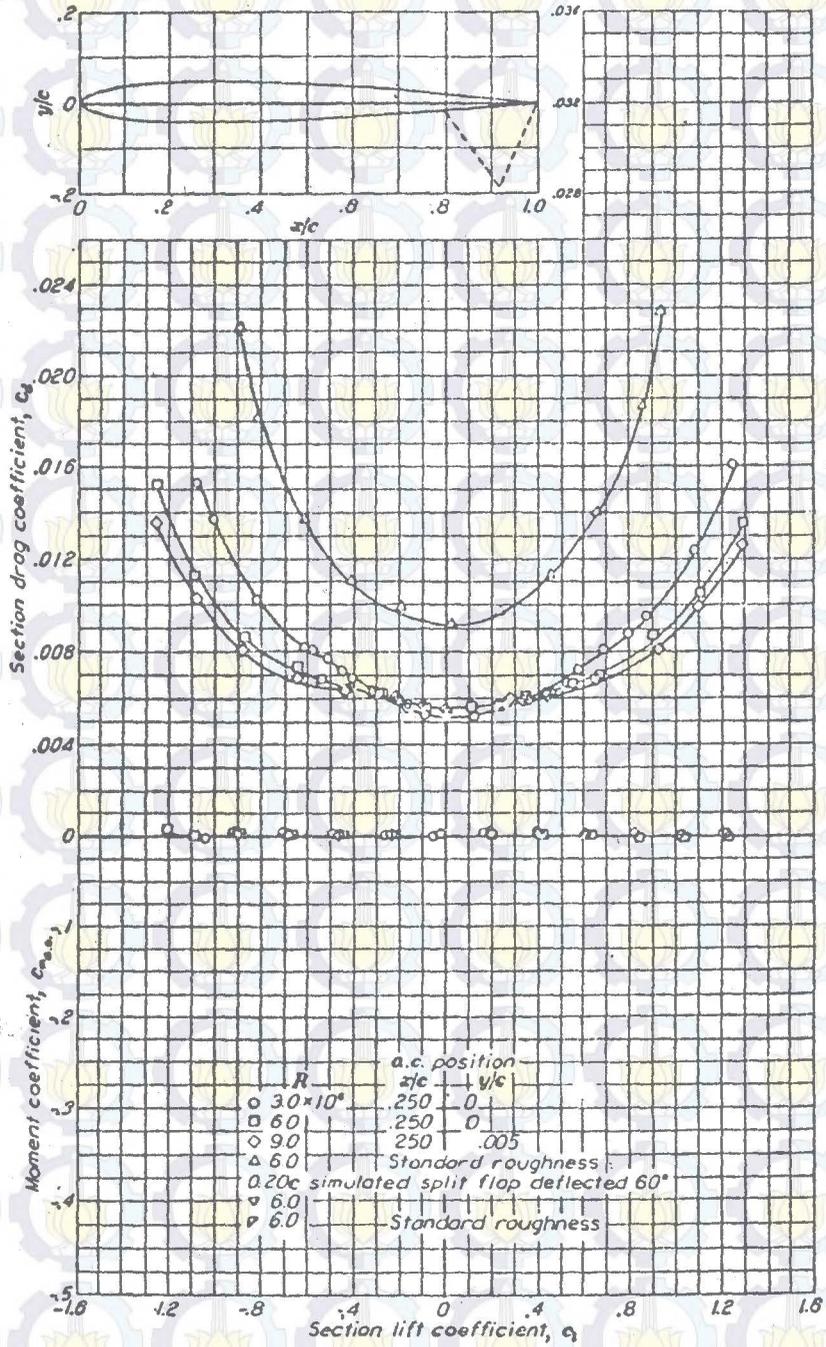
Tabel 9.
 Karakteristik NACA 0009.

THEORY OF WING SECTIONS



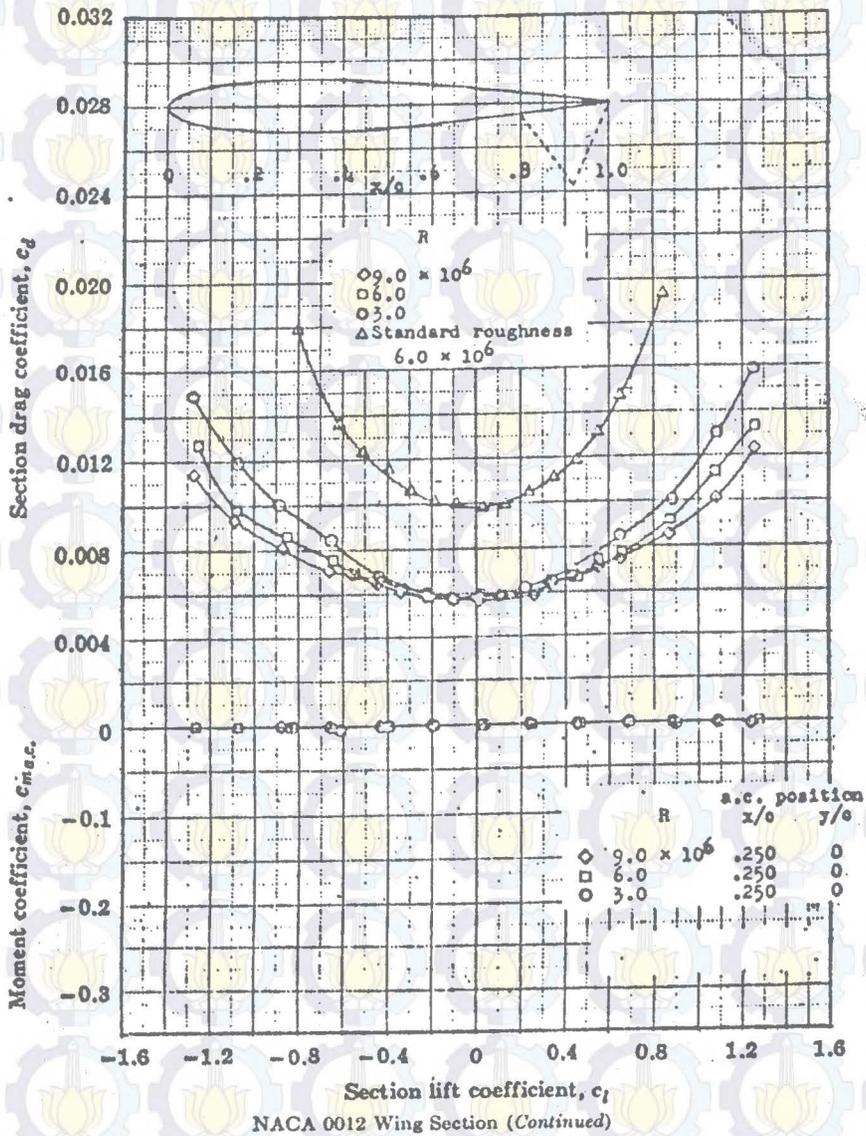
NACA 0009 Wing Section

APPENDIX IV

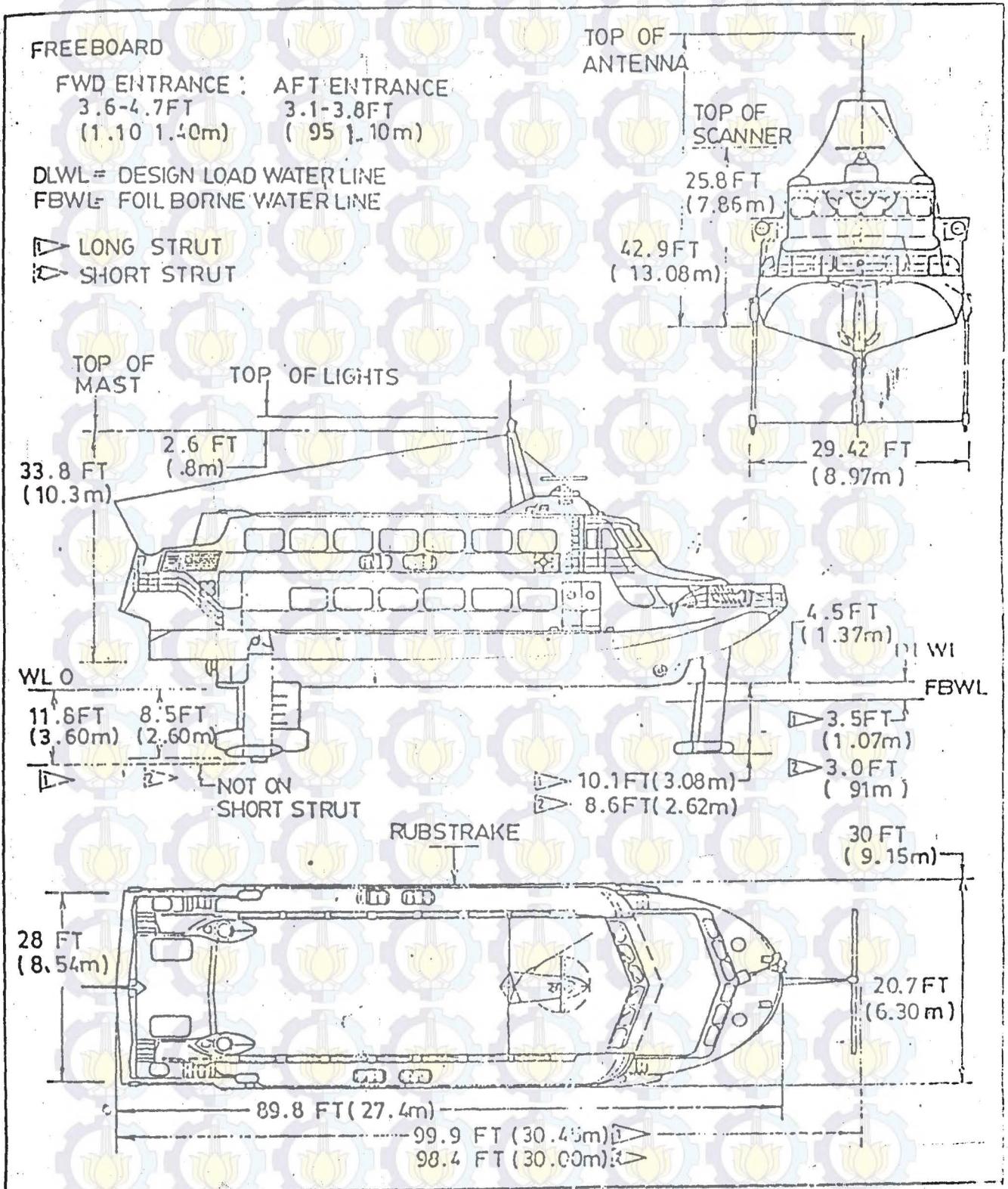


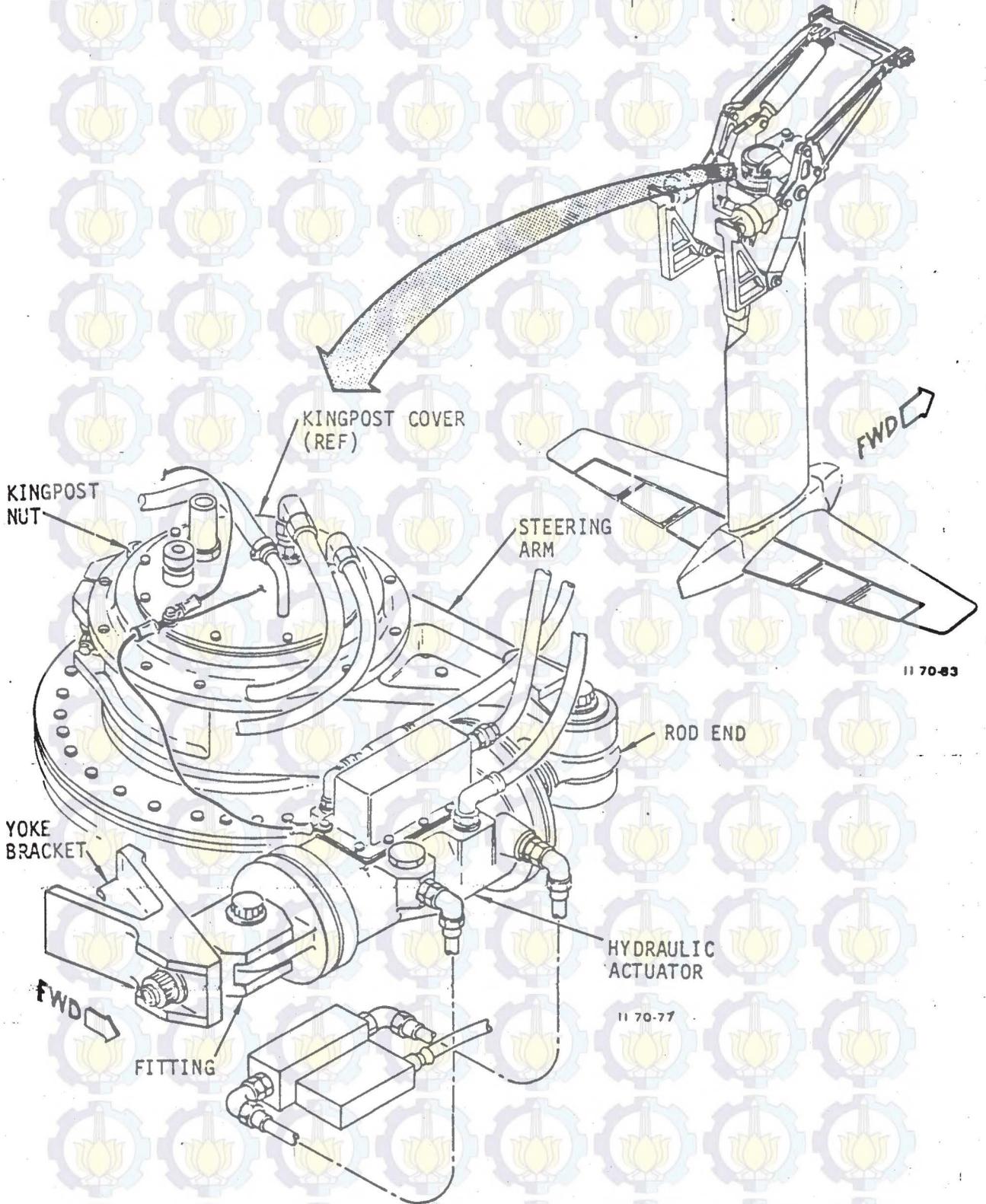
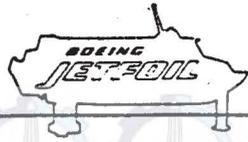
NACA 0009 Wing Section (Continued)

APPENDIX IV

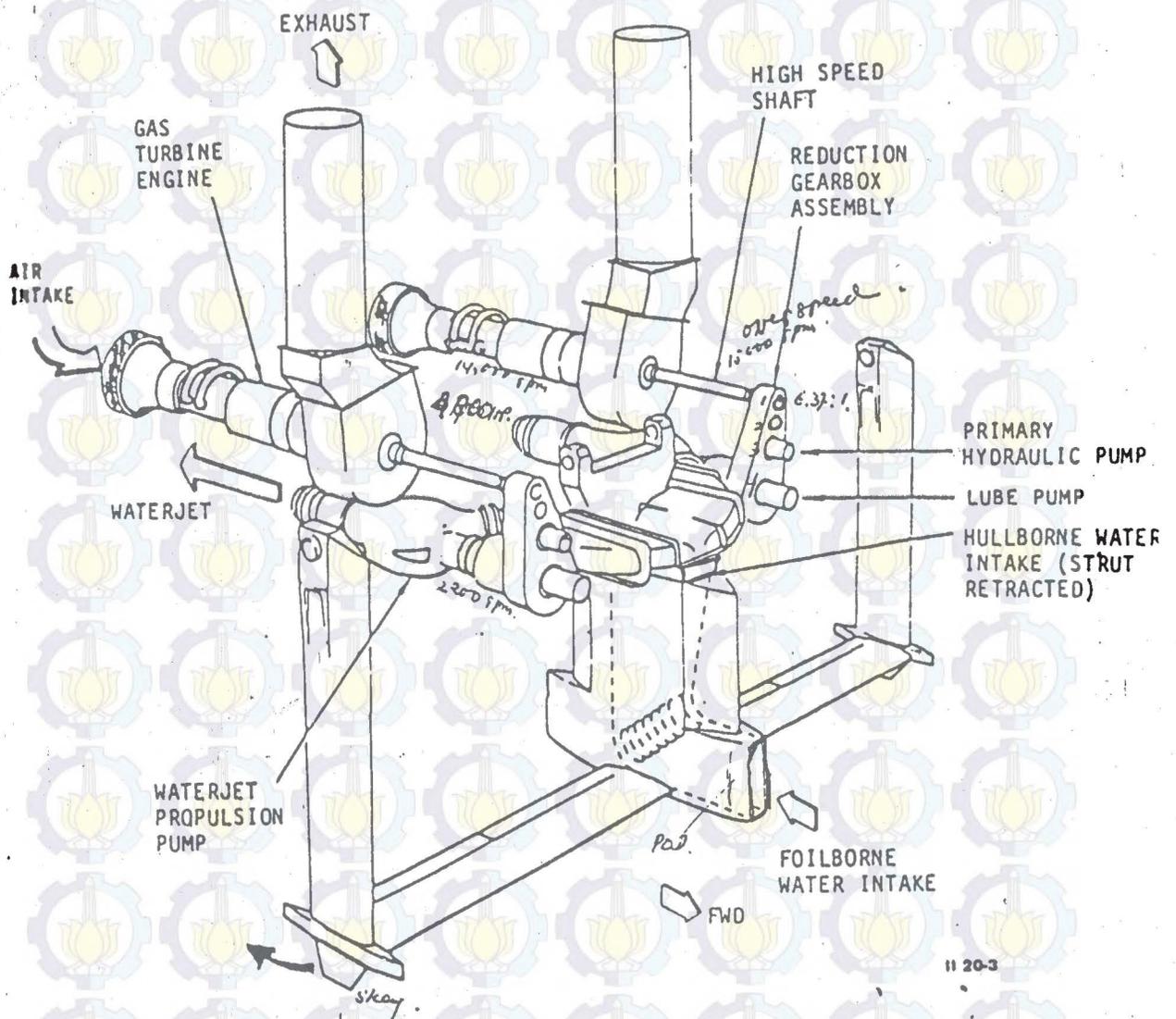


PRINCIPAL DIMENSION





Strut Steering Actuator and Linkage
Figure 2



Propulsion System Arrangement
Figure 1