

3100098009956

6562

TUGAS AKHIR

NE 1701

**PREDIKSI KARAKTERISTIK STEERING DAN PROPULSI KAPAL
SEBAGAI AKIBAT PEMASANGAN NOSEL (ANNULAR DUCT)
PADA PROPELLER DENGAN PENDEKATAN MATEMATIS**



RSke
623.873
Wal
P-1
1997



Oleh :

SUGENG WALUYO

NRP : 4292.100.034



**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1997**



TUGAS AKHIR NE 1701

Nama : Sugeng waluyo
Nrp. : 4292.100.034
Dosen Pembimbing : Ir. Suryo Widodo Adji, M.Sc
Tanggal Tugas Diberikan : Maret 1997
Tanggal Tugas Diselesaikan : Juli 1997
Judul Tugas Akhir :

Prediksi Karakteristik Steering Dan Propulsi Kapal Sebagai Akibat Pemasangan Nosel (Annular Duct) Pada Propeller Dengan Pendekatan Matematis

Dosen Pembimbing

Ir. Suryo Widodo Adji, M.Sc
NIP. 131 879 390

Mahasiswa

Sugeng Waluyo
NRP. 4292.100.034

Surabaya, April 1997
Ketua Jurusan

Dr. Ir. AA Mastroeri, MEng
NIP. 131 407 591

Dibuat rangkap 4 (empat) untuk :
- Arsip Jurusan TSP
- Dosen Pembimbing
- Mahasiswa ybs
- Koordinator T.A. - TSP

LEMBAR PENGESAHAN

PREDIKSI KARAKTERISTIK STEERING DAN PROPULSI KAPAL SEBAGAI AKIBAT PEMASANGAN NOSEL (ANNULAR DUCT) PADA PROPELLER DENGAN PENDEKATAN MATEMATIS

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk
Meraih Gelar Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya



Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing

Ir. Suryo Widodo Adji, MSc
NIP. 131 879 390

I Dedicate to :

Both of My parrents and All of My Sisters



ABSTRAK

Abstrak

Dalam sistem propulsi kapal beban gaya dorong yang tinggi akan memberikan efisiensi yang rendah demikian sebaliknya beban gaya dorong yang rendah akan memberikan efisiensi yang tinggi, dengan demikian efisiensi sistem propulsi dapat diperbaiki yang berarti peningkatan kualitas propulsif kapal yaitu dengan cara menurunkan beban gaya dorong propeller. Salah satu cara untuk menurunkan beban gaya dorong propeller adalah dengan cara memasang nosel (annular duct) pada propellernya sehingga propeller berada di dalam suatu tabung. Dengan dipasangnya nosel pada propeller akan terjadi peningkatan kecepatan aliran air yang melalui propeller. Karena thrust yang dihasilkan propeller merupakan fungsi dari kecepatan aliran air maka peningkatan kecepatan tersebut akan meningkatkan thrust yang dihasilkan propeller, dalam hal ini nosel yang dipasang adalah nosel type akselerasi (accelerating flow type) karena nosel jenis ini mampu menghasilkan thrust yang positif. Pada akhirnya pemasangan nosel pada propeller tidak hanya memperbaiki karakteristik propulsif saja namun juga akan memperbaiki kualitas manuver kapal khususnya dalam hal steering yaitu dengan meningkatnya rate of turning (laju perputaran kapal) dan heading angle yang berarti bahwa pada saat kapal bermanuver dengan kecepatan dan yaw angle yang sama waktu yang diperlukan akan lebih kecil.



KATA PENGANTAR

Kata Pengantar

Dengan mengucap rasa syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah - Nya kepada kami sehingga kami dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul :

**" Prediksi Karakteristik Steering dan Propulsi Kapal sebagai
Akibat Pemasangan Nosel (Annular Duct) Pada Propeller
Dengan Pendekatan Matematis "**

Tugas akhir ini berbobot 6 SKS disusun sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana (S₁) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya khususnya di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan.

Dengan selesainya tugas akhir ini tak lupa kami ucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada :

1. Bapak Ir. Suryo Widodo Adji, MSc selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan petunjuk selama pengerjaan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. AA. Masroeri, MEng selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK - ITS
3. Bapak Ir. Asianto selaku Dosen Wali yang telah memberikan petunjuk dan koreksi terhadap tugas akhir ini.
4. Seluruh staf pengajar dan karyawan di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan yang telah mendidik dan membantu kami selama studi.
5. Seluruh Staf dan Karyawan PT. Dok dan Perkapalan Surabaya khususnya Bapak Wahyudi dan Bapak Widodo yang telah banyak membantu dalam pengumpulan data-data untuk keperluan tugas akhir.
6. Bapak, Ibu dan Saudara-Saudara saya yang telah banyak memberikan motivasi dan semangat selama studi.

7. Edy Sonya, Gunawan, Agus, Momon, Hary, Khusaini, Affan, Lalu dan teman-teman lainnya di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS khususnya angkatan 92 yang telah membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

Pada akhirnya penulis menyadari bahwa apa yang telah dikerjakan dalam tugas akhir ini kurang sempurna, karena itu penulis mohon saran dan kritik untuk perbaikannya dan semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Juli 1997

penulis



DAFTAR ISI

Daftar Isi

Abstrak	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	vi
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel	ix
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	I - 1
I.2 Permasalahan dan Batasan Masalah	I - 3
I.3 Tujuan dan Manfaat	I - 4
I.4 Metode Penulisan	I - 4
I.5 Sistematika Penulisan	I - 5
BAB II DASAR TEORI	
II.1 Persamaan Bernoulli	II - 1
II.2 Teori Momentum Baling-baling	II - 4
II.3 Teori Elemen	II - 9
II.4 Kecepatan Aliran Air di Dalam Nosel	II - 10
II.5 Fraksi Deduksi Gaya Dorong	II - 12
II.6 Efisiensi Propulsi	II - 15
II.6.1 Propeller Efficiency	II - 16
II.6.2 Hull Efficiency	II - 18
II.6.3 Relative Rotative Efficiency	II - 18
II.7 Open Water Diagram	II - 19
II.8 Persamaan Gerak Kapal	II - 21
II.9 Model Matematis Pengemudian Kapal	II - 25
II.9.1 Turning Motion	II - 26
II.9.2 Turning Response	II - 27
II.9.3 Rudder Nozzle Coefficient	II - 27

BAB III	GAMBARAN UMUM SISTEM PROPULSI NOSEL PROPELLER	
III.1	Geometri Nosel propeller	III - 1
III.2	Aplikasi Nosel Propeller	III - 3
BAB IV	PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA	
IV.1	Data-data Kapal	IV - 1
IV.1.1	Dimensi Kapal	IV - 1
IV.1.2	Dimensi Propeller	IV - 1
IV.1.3	Dimensi Kemudi	IV - 2
IV.2	Karakteristik Propulsi Kapal	IV - 2
IV.2.1	Koefisien Beban Gaya Dorong	IV - 3
IV.2.2	Koefisien Maju Nosel	IV - 4
IV.2.3	Thrust dan Thrust Deduction Factor	IV - 7
IV.2.4	Effisiensi Ideal Sistem	IV - 9
IV.3	Karakteristik Steering Kapal	IV - 10
IV.3.1	Rudder-Nozzle Force Coefficient	IV - 10
IV.3.2	Turning Capacity	IV - 11
IV.3.3	Response Time	IV - 12
IV.3.4	Rate of Turning	IV - 13
IV.3.5	Heading Angle	IV - 14
IV.4	Analisa Karakteristik Kapal	IV - 15
IV.4.1	Analisa Terhadap Karakteristik Propulsi Kapal	IV - 15
IV.4.2	Analisa Terhadap Karakteristik Steering Kapal	IV - 17
BAB V	KESIMPULAN	V - 1
	Daftar Pustaka	
	Lampiran	



DAFTAR GAMBAR

Daftar Gambar

Gambar 2.1	Gambar skema tabung alir	II - 2
Gambar 2.2	Kontraksi arus pacuan baling-baling	II - 6
Gambar 2.3	Diagram kecepatan elemen daun baling-baing	II - 9
Gambar 2.4	Elemen aerofoil nosel	II - 9
Gambar 2.6	Skema arah positif R,T dan F	II - 14
Gambar 2.7	Contoh diagram Kt-Kq-J	II - 21
Gambar 2.8	Sistem koordinat kapal	II - 23
Gambar 2.9	Definisi simbol gerak kapal	II - 26
Gambar 3.1	Profil nosel NACA - 7415 no 19 A	III - 1
Gambar 3.2	Sudut penempatan nosel NACA - 7415 no 19 A	III - 2
Gambar 3.3	Geometri nosel	III - 2
Gambar 3.4	Grafik hubungan antara celah daun propeller dengan dinding dalam nosel	III - 7
Gambar 4.1	Grafik efisiensi beberapa bentuk nosel	IV - 4
Gambar 4.2	Grafik harga t_d dan C_{twd} untuk beberapa bentuk nosel	IV - 5
Gambar 4.3	Grafik efisiensi ideal pada variasi C_T	IV - 17
Gambar 4.4	Grafik hubungan rate of turning vs waktu	IV - 18
Gambar 4.5	Grafik hubungan heading angle vs waktu	IV - 19



DAFTAR TABEL

Daftar Tabel

Tabel 3.1	Ukuran nosel NACA - 7415 no 19 A	III - 1
Tabel 3.2	Perbandingan geometri nosel dengan sudut penempatan $\alpha = 2,5^\circ$	III - 3
Tabel 4.1	Koefisien rasio l/Dd nosel	IV - 5
Tabel 4.2	Rudder - nosel aspek rasio	IV - 11
Tabel 4.3	Hasil perhitungan efisiensi ideal pada beberapa harga C_{T_0}	IV - 16
Tabel 4.4	Hasil perhitungan rate of turning sebagai fungsi waktu	IV - 18
Tabel 4.4	Hasil perhitungan heading angle sebagai fungsi waktu	IV - 19



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

I. 1 Latar Belakang

Dalam perencanaan suatu kapal, karakteristik steering dan propulsi adalah dua hal yang sangat penting dan saling berkaitan, hal ini disebabkan karena kedua hal tersebut berhubungan langsung dengan peralatan sistem propulsi yaitu baling - baling dan kemudi. Karakteristik propulsi (propulsive characteristics) adalah karakteristik kapal yang berhubungan dengan besarnya gaya dorong atau thrust yang dihasilkan oleh perputaran propeller, sedangkan karakteristik steering atau karakteristik pengemudian kapal adalah karakteristik kapal yang berhubungan dengan kemampuan kapal untuk melakukan manuver. Dengan semakin pesatnya perkembangan teknologi khususnya dalam bidang perkapalan, telah dilakukan berbagai penelitian dan percobaan untuk meningkatkan unjuk kerja kapal secara keseluruhan sehingga kapal yang diproduksi sesuai dengan tuntutan jaman. Khusus dalam hal karakteristik propulsi dan steering, telah dilakukan berbagai inovasi untuk meningkatkan kedua karakteristik tersebut, misalnya dengan diciptakannya contra rotating propeller system, grim vane wheel propeller, nosel propeller dan lain - lain. Dari beberapa sistem ini yang paling sering dijumpai adalah sistem nosel propeller, karena sistem ini mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan sistem lain.

Seperti diketahui bahwa beban gaya dorong yang tinggi akan memberikan efisiensi yang rendah, sebaliknya beban gaya dorong yang rendah akan memberikan efisiensi yang tinggi. Dengan demikian maka efisiensi propeller dapat ditingkatkan yang

berarti meningkatkan kualitas propulsi kapal dengan jalan menurunkan beban gaya dorong. Salah satu cara untuk menurunkan beban gaya dorong adalah dengan memasang foil mengelilingi propeller sehingga membentuk satu unit propeller yang diselubungi atau unit propeller dalam tabung. Sistem propeller dalam tabung ini pertama kali dirancang oleh Ludwig Kort pada tahun 1927 sehingga disebut dengan Kort Nozzle atau nosel propeller dan ada juga yang menyebut dengan istilah ducted propeller. Dalam perkembangannya nosel ini tidak hanya untuk menurunkan beban gaya dorong saja namun juga untuk meningkatkan kemampuan manuver kapal, khususnya dalam hal steering.

Dengan adanya nosel, aliran yang melalui tabung akan mengalami percepatan dimana adanya kenaikan percepatan aliran akan menurunkan beban gaya dorong dan menaikkan efisiensi. Umumnya pemasangan nosel ini dilakukan pada kapal-kapal yang memerlukan gaya dorong besar dan kemampuan manuver yang tinggi, misalnya pada kapal tunda namun ada juga kapal - kapal tangki yang memakai nosel propeller, mengingat umumnya kapal tangki mempunyai efisiensi propeller yang rendah, rendahnya efisiensi ini disebabkan karena relatif kecilnya ukuran propeller dan besarnya koefisien beban gaya dorong akibat terbatasnya kedalaman sarat kapal jenis ini.

Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa karakteristik propulsi kapal berhubungan dengan gaya dorong yang dihasilkan oleh propeller, dimana gaya dorong tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain : dimensi propeller, putaran propeller, daya motor induk dan lain-lain, namun dalam Tugas Akhir ini yang akan dibahas adalah karakteristik propulsi kapal yang dipengaruhi oleh pemasangan nosel pada propeller. Pemasangan nosel ini diharapkan akan meningkatkan besarnya gaya dorong

(thrust) propeller tanpa merubah dimensi propeller maupun daya motor induk. Sedangkan dalam hal karakteristik steering, pemasangan nosel diharapkan akan meningkatkan kemampuan manuver kapal.

I. 2 Permasalahan dan Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini permasalahan yang akan diteliti/dianalisa adalah adanya nosel yang dipasang di propeller mengingat karakteristik propulsi dan steering antara kapal yang memakai nosel dan tanpa nosel adalah berbeda sehingga dapat diketahui sejauh mana pengaruh pemasangan nosel terhadap kedua hal diatas. Mengingat banyaknya permasalahan yang berhubungan dengan sistem nosel peropeller maka untuk menyederhanakan pembahasan dalam tugas akhir ini akan diberikan batasan masalah sebagai berikut :

- ⇒ Permasalahan dibatasi pada pengaruh pemakaian nosel terhadap karakteristik propulsi dan steering kapal, dengan demikian perubahan karakteristik selain disebabkan nosel diabaikan.
- ⇒ Tidak membahas masalah stabilitas dan getaran kapal akibat pemasangan nosel.
- ⇒ Karakteristik kapal sebelum memakai nosel telah diketahui.
- ⇒ Tidak membahas masalah kavitasi baik pada propeller maupun nosel.
- ⇒ Tidak membahas tinjauan dari segi ekonomi terhadap pemasangan nosel tersebut.

Asumsi-asumsi lainnya dalam pembahasan khusus akan ditentukan kemudian dalam bab-bab berikutnya.

I.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan : Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pemakaian nosel terhadap karakteristik propulsi dan steering kapal.

Manfaat : Dengan diselesaikannya tugas akhir ini maka akan dapat diketahui kualitas optimum dari pengemudian dan propulsi kapal sehingga nantinya dapat didesain suatu sistem propulsi dengan susunan rudder - nozzle - propeller yang terpadu.

I.4 Metode Penulisan

Dalam penulisan tugas akhir ini metode yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan data-data yang akan digunakan dalam pembahasan permasalahan.
2. Study literatur terhadap buku-buku yang berhubungan dengan nosel propeller untuk menunjang teori-teori yang digunakan dalam pembahasan dan konsultasi terhadap pihak-pihak yang menguasai permasalahan sistem propulsi dengan nosel propeller.
3. Dari data-data yang diperoleh dilakukan pendekatan-pendekatan secara matematis dengan mengacu pada teori-teori yang berlaku sehingga karakteristik propulsi dan steering kapal yang menggunakan nosel propeller dapat diprediksi.
4. Hasil prediksi karakteristik tersebut diatas selanjutnya dibandingkan dengan karakteristik propulsi dan steering kapal yang menggunakan sistem propulsi

tanpa nosel untuk kapal yang sama dan dilakukan analisa-analisa permasalahan yang terjadi, yang selanjutnya sebagai bahan studi kasus (case study).

5. Dari analisa tersebut diatas dapat diketahui seberapa besar pengaruh pemasangan nosel pada propeller sehingga nantinya dapat didesain suatu sistem propulsi dengan konfigurasi rudder - nozzle - propeller yang terpadu.

I. 5 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Berisi latar belakang penulisan, tujuan, batasan masalah metodologi, dan sistematika penulisan.

BAB II. DASAR TEORI

Bab II berisi tentang landasan teori yang akan digunakan untuk memprediksi karakteristik steering dan propulsi kapal dengan pendekatan matematis dan menganalisa hasil perhitungan serta mengambil kesimpulan terhadap hasil analisa.

BAB III. GAMBARAN UMUM SISTEM PROPULSI NOSEL PROPELLER

Dalam bab III ini akan dijelaskan gambaran umum sistem propulsi dengan menggunakan nosel propeller termasuk geometri nosel, jenis nosel yang digunakan dalam tugas akhir ini dan aplikasi sistem nosel propeller sebagai penggerak kapal.

BAB IV. PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA

Bab IV berisi tentang perhitungan-perhitungan untuk memprediksi karakteristik steering dan propulsi kapal berdasarkan teori-teori dalam bab II dan analisa terhadap hasil perhitungan. Dalam bab ini juga akan dicantumkan data-data kapal yang digunakan dalam perhitungan.

BAB V. KESIMPULAN

Bab V merupakan bab terakhir yang berisi tentang kesimpulan terhadap hasil perhitungan dan analisa dalam bab IV.

Daftar Pustaka

Lampiran



BAB II

DASAR TEORI

BAB II

DASAR TEORI

II. 1 Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli adalah persamaan yang menghubungkan tekanan, kecepatan dan elevasi pada fluida melalui sebuah tabung alir dimana persamaan ini dapat diturunkan dengan meninjau aliran tanpa gesekan melalui sebuah tabung alir tersebut seperti pada gambar 2.1. Jika kita lihat pada gambar 2.1, luas A sedemikian kecil sehingga besaran-besaran ρ , V dan p dapat dianggap seragam diseluruh luas penampang tabung alir tersebut. Besaran - besaran ρ , V , p dan A berubah secara berangsur-angsur pada arah aliran s . Tabung alir pada gambar tersebut miring dengan sudut sembarang θ , sehingga perubahan elevasi antara penampang tabung alir yang satu dengan penampang yang lainnya adalah $dz = ds \sin\theta$. Syarat kekekalan massa untuk volume atur adalah :

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\iiint \rho dV \right) + m_{kel} - m_{mas} = 0$$

$$\text{atau } \frac{\partial}{\partial t} dV + dm = 0 \quad (2.1)$$

dimana volume dV diatas adalah :

$$dV \approx (A + 1/2 dA) ds \approx A ds \quad (2.2)$$

maka persamaan (2.1) menghubungkan fluks massa dengan perubahan kerapatan yang diekspresikan sebagai berikut :

$$dm = d(\rho dV) = - \frac{\partial}{\partial t} A ds \quad (2.3)$$

Jika diuliskan persamaan pusa pada arah aliran s adalah :

$$\Sigma F_s = \frac{\partial}{\partial t} \left(\iiint V_s dm \right) + \iint V_s dm \quad (2.4)$$

Suku - suku energi pada persamaan diatas berasal dari tekanan dan gravitasi dimana suku gravitasinya komponen berat pada arah aliran yang negatif.

$$dF_{s, \text{grav}} = - dW \sin \theta \approx - \rho g A ds \sin \theta \approx - \rho g A dz \quad (2.5)$$

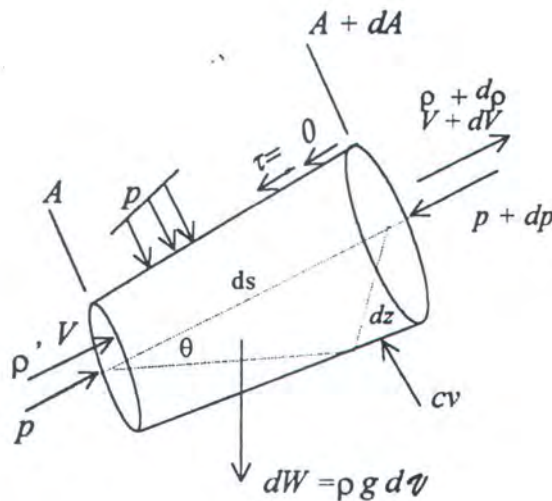
Tekanan pada dinding tabung yang miring mempunyai komponen pada arah aliran yang bekerja tidak pada titik A sendiri, melainkan pada cincin luar tambahan luas dA .

Energi netto tersebut adalah :

$$dF_{s, \text{tek}} \approx 1/2 dp dA - dp (A + dA) \approx - A dp \quad (2.6)$$

Suku - suku integral pada ruas kanan persamaan (2.4) adalah sama dengan :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\iiint V_s dm) \approx (\rho V_s A ds) \approx \frac{\partial}{\partial t} (\rho V) A ds$$



Gambar 2.1. Gambar skema tabung - alir

$$\iiint V_s dm \approx (V + dV) (m + dm) - Vm \approx m dV + V dm \quad (2.7)$$

Pada persamaan (2.7) deferensial ordo kedua diabaikan. Sekarang persamaan (2.4) dapat dihitung sebagai berikut :

$$- A dp - \rho g A dz = \frac{\partial}{\partial t} (\rho V) A ds + m dV + V dm \quad (2.8)$$

jika persamaan derivatif diatas disederhanakan dan diuraikan akan menjadi :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho V) = \rho \frac{\partial}{\partial t} + V \frac{\partial}{\partial t} = \rho \frac{\partial}{\partial t} + V \frac{-dm}{A ds} \quad (2.9)$$

Ruas paling kanan didapat dengan menggunakan persamaan kontinuitas pada persamaan (2.3). Jika persamaan (2.8) dan (2.9) digabungkan akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$-A dp - \rho g A dz = \frac{\partial V}{\partial t} \rho A ds + \rho AV dV \quad (2.10)$$

dan dengan membaginya dengan ρA akan diperoleh persamaan Bernoulli tanpa gesekan non steady sepanjang garis aliran sebagai berikut :

$$\frac{\partial V}{\partial t} ds + \frac{dp}{\rho} + V dV + g dz = 0 \quad (2.11)$$

Persamaan (2.11) berbentuk deferensial dan dapat diintegrasikan antara dua titik sembarang (misalnya antara titik 1 dan 2) pada garis alir tersebut.

$$\int_1^2 \frac{\partial V}{\partial t} ds + \int_1^2 \frac{dp}{\rho} + 1/2 (V_2^2 - V_1^2) + g (z_2 - z_1) = 0 \quad (2.12)$$

Jika diasumsikan bahwa alirannya adalah tunak (steady) dimana $\partial V / \partial t = 0$ dan taktermampatkan (incompressible), maka persamaan (2.12) menjadi :

$$\frac{p_2 - p_1}{\rho} + 1/2 (V_2^2 - V_1^2) + g (z_2 - z_1) = 0$$

$$\text{atau } \frac{p_1}{\rho} + 1/2 V_1^2 + g z_1 = \frac{p_2}{\rho} + 1/2 V_2^2 + g z_2 = \text{konstan} \quad (2.13)$$

Jadi persamaan (2.13) adalah persamaan Bernoulli untuk aliran tunak tanpa gesekan pada aliran taktermampatkan. Pada persamaan tersebut diasumsikan tidak terjadi perpindahan panas atau usaha (usaha poros) ke dalam fluida tersebut. Jika dalam sistem yang diamati terdapat usaha poros maka konstanta pada persamaan (2.13) akan berubah sehingga persamaan Bernoulli akan menjadi sebagai berikut :

$$\frac{p_1}{\rho} + 1/2 V_1^2 + g z_1 = \left(\frac{p_2}{\rho} + 1/2 V_2^2 + g z_2 \right) + W_s + W_f \quad (2.14)$$

$$\text{atau } \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \left(\frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \right) + h_s + h_f \quad (2.15)$$

Dalam persamaan diatas semua suku berdimensi energi persatuan massa sehingga persamaan tersebut disebut juga dengan persamaan energi dimana: W_s adalah usaha poros per satuan massa yang dikerjakan oleh fluida (positif untuk turbin dan negatif untuk pompa) sedangkan W_f adalah rugi -rugi energi per satuan massa karena gesekan antara penampang 1 dan penampang 2. Dalam bentuk lainnya persamaan (2.13) semua suku adalah hulu atau panjang ; yang sebenarnya adalah energi per satuan berat (ft.lbf)/ft.

Pada persamaan (2.15) $h_s = W_s / \rho$ adalah usaha yang dikerjakan oleh fluida sedangkan $h_f = W_f / \rho$ adalah rugi - rugi gesekan antara penampang 1 dan penampang 2.

II. 2 Teori Momentum Baling - Baling

Teori momentum baling-baling menerangkan bahwa gaya dorong yang dihasilkan oleh bekerjanya baling-baling adalah disebabkan oleh perbedaan momentum yang terjadi pada waktu daun baling-baling bergerak di dalam fluida. Teori momentum baling-baling didasarkam pada anggapan bahwa :

1. Baling-baling memberikan percepatan yang seragam pada semua fluida yang melewati diskus baling-baling tersebut. Gaya dorong yang ditimbulkan disalurkan merata pada permukaan diskus baling-baling tersebut.
2. Aliran yang terjadi disekitar baling-baling adalah tanpa gesekan sehingga timbulnya energi thermis diabaikan.
3. Aliran masuk air yang menuju ke baling-baling tidak terbatas.
4. Daerah kerja yang menerima aksi baling-baling berupa kolom bulat dimana garis tengah kolom itu dianggap horisontal. Arus pacuan baling-baling (arus slip) adalah

kolom air itu yang dipercepat dan turbulen, sehingga merupakan aliran keluar baling-baling tersebut. Dalam teori momentum sederhana hanya gerakan aksial saja yang diperhitungkan.

Dalam teori momentum sederhana gerakan fluida dipandang sebagai gerakan relatif terhadap diskus baling-baling dan kecepatan maju baling-baling V_a dinyatakan dengan kecepatan aksial fluida yang berada jauh didepan baling-baling.

Baling-baling akan memberikan kenaikan tekanan sebesar Δp kepada air yang mengalir melalui diskus baling-baling A_0 sebesar :

$$\Delta p = p'_1 - p_1 \quad (2.16)$$

dimana p'_1 = tekanan pada sisi muka daun baling-baling

p_1 = tekanan pada punggung daun baling-baling

Dengan demikian maka akan timbul gaya dari baling-baling pada fluida atau gaya reaksi yang merupakan gaya dorong baling-baling atau thrust (T), dimana :

$$T = \Delta p \cdot A_0 \quad (2.17)$$

Menurut hukum momentum gaya diatas sama dengan perubahan momentum :

$$T = m \cdot 2U_A \quad (2.18)$$

dimana m = massa air yang melalui diskus baling-baling

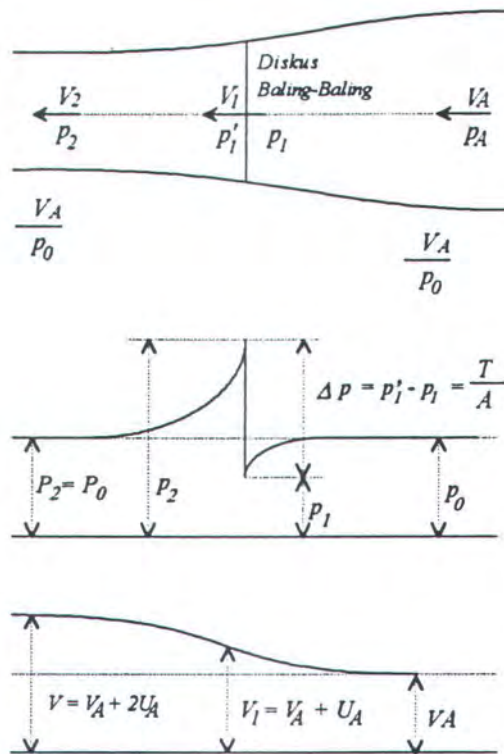
$2U_A$ = perubahan kecepatan aksial yang diberikan

U_A = kecepatan induksi aksial yaitu perubahan komponen kecepatan dalam arah yang sejajar poros karena adanya baling-baling, tetapi tidak termasuk perubahan medan arus ikut akibat interaksi baling-baling badan kapal.

Harga ini positif jika mengikuti arah aliran.

Volume air yang melalui diskus baling-baling ditentukan dengan rumus :

$$m/\rho = A_o.V_1 ; \text{dimana } \rho = \text{massa jenis air.} \quad (2.19)$$



Gambar 2.2 Kontraksi arus pacuan baling-baling ; perubahan kecepatan dan tekanan didalam arus pacuan baling-baling

Besarnya kecepatan V_1 umumnya berbeda dengan kecepatan maju V_A . Dengan memakai persamaan Bernoulli maka hubungan antara V_A , V_1 dan U_A dapat dicari. Tekanan ditempat yang jauh dari baling-baling disebut p_o . Persamaan Bernoulli untuk aliran dibelakang baling-baling adalah :

$$1/2.\rho (V_A + 2U_A)^2 + p_o = 1/2.\rho V_1^2 + p_1' \quad (2.20)$$

Persamaan diatas digabungkan dengan persamaan didepan baling-baling :

$$1/2.\rho V_A^2 + p_o = 1/2.\rho V_1^2 + p_1 \quad (2.21)$$

menghasilkan : $2 \cdot \rho U_A (V_A + U_A) = p'_1 - p_1$

$$= \Delta p = T/Ao$$

$$= \frac{M(2U_A)}{Ao} = \rho V_1 (2U_A) \quad (2.22)$$

atau $V_1 = V_A + U_A \quad (2.23)$

Ini menunjukkan bahwa kenaikan kecepatan dalam arah yang sejajar dengan arah poros baling-baling adalah sebesar setengah dari kenaikan kecepatan seluruhnya.

Kenaikan kecepatan terkait dengan penyusutan jari-jari kolom air. Di depan baling-baling tekanan akan turun ketika kecepatan naik, di diskus baling - baling akan terjadi lonjakan tekanan (*jump pressure*), dan setelah lonjakan ini tekanan tersebut akan turun lagi hingga akhirnya jauh dibelakang baling-baling akan sama lagi dengan tekanan p_o . Kecepatan di dalam arus pacuan baling-baling adalah :

$$V_2 = V_A + 2V_A \quad (2.24)$$

Jika digabungkan dengan persamaan (2.17) dan (2.22) akan didapat:

$$T = \Delta p \cdot Ao = \rho \cdot Ao (V_A + U_A) 2 U_A \quad (2.25)$$

Effisiensi ideal dapat didefinisikan sebagai ;

$$\begin{aligned} \eta_I &= TV_A / TV_1 \\ &= \frac{V_A}{V_A + U_A} \end{aligned} \quad (2.26)$$

dimana TV_A = daya efektif yang disalurkan baling-baling

TV_1 = daya yang disalurkan ke baling-baling

Dilihat dari persamaan (2.26), nampak bahwa baling-baling yang ideal adalah baling-baling yang memberikan percepatan serendah mungkin kepada massa fluida yang sebesar mungkin. Koefisien beban gaya dorong (C_{TH}) didefinisikan sebagai :

$$C_{TH} = \frac{T}{1/2 \cdot \rho \cdot V_A^2 \cdot Ao} \quad (2.27)$$

Jika persamaan (2.25) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.27) dan dengan memperhatikan bahwa :

$$U_A / V_A = -1/2 (\pm) 1/2 \sqrt{1 + C_{TH}} \quad (2.28)$$

maka akan didapat persamaan untuk efisiensi ideal, yaitu :

$$\eta_I = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + C_{TH}}} \quad (2.29)$$

Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa beban gaya dorong yang besar akan memberikan efisiensi yang rendah dan beban gaya dorong yang rendah akan memberikan efisiensi yang tinggi. Koefisien beban gaya dorong akan rendah jika garis tengah baling-baling besar, dengan demikian jika diinginkan baling-baling dengan efisiensi yang tinggi maka garis tengah baling-baling tersebut harus besar pula.

Jika kecepatan singgung U_T merupakan kecepatan induksi baling-baling pada suatu elemen daun yang terletak pada jari-jari r dan mempunyai luas dA_o . Perubahan kecepatan total adalah $2U_T$. Baling-baling dianggap berputar dengan kecepatan sudut (ω) yang seragam. Dengan demikian menurut hukum momentum, gaya singgung dF_T menjadi :

$$dF_T = dm \cdot 2U_T \quad (2.30)$$

$$dm/p = dA_o \cdot V_1 = dA_o (V_A + U_A) \quad (2.31)$$

sehingga efisiensi ideal menjadi :

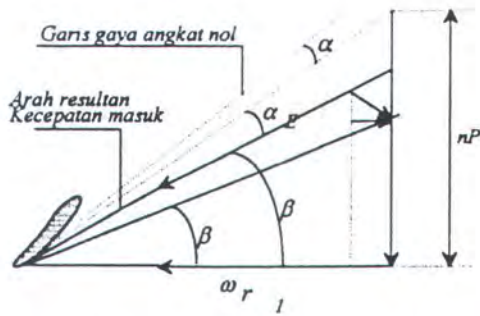
$$\begin{aligned} \eta_I &= \frac{dTV_A}{dF_T \omega r} = \frac{dm \cdot 2U_A \cdot V_A}{dm \cdot 2U_T \cdot \omega r} \\ &= \frac{U_A}{U_T} \frac{V_A}{\omega r} \end{aligned} \quad (2.32)$$

Jika dilihat dari gambar 2.3 nampak bahwa

$$U_A/U_T = \frac{\omega r - U_T}{V_A + U_A} \quad (2.33)$$

Dengan demikian efisiensi ideal untuk baling-baling adalah sebagai berikut :

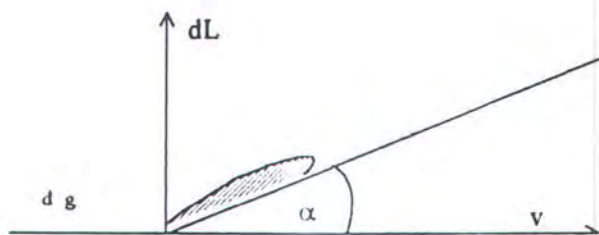
$$\eta_I = \left(\frac{V_A}{V_A + U_A} \right) \left(\frac{\omega r - U_T}{\omega r} \right) \quad (2.34)$$



Gambar 2.3 Diagram kecepatan untuk elemen daun baling-baling dalam pengaruh kecepatan induksi

II.3 Teori Elemen

Teori ini pertama kali dikenalkan oleh Froude dengan percobaan yang memakai pelat datar yang digerakkan di dalam air ke arah muka dengan sudut tertentu yang bervariasi dimana pada harga tersebut dapat diketahui adanya *lift* dan *drag*. Untuk mengetahui besarnya *lift* dan *drag* dari nosel, nosel tersebut dibagi menjadi beberapa elemen. Besarnya gaya-gaya pada tiap elemen tergantung pada kecepatan air relatif (v); yaitu kecepatan partikel air dari arus air yang bergerak melalui elemen nosel dengan sudut α , yang disebut dengan sudut serang (*angle of attack* terhadap elemen nosel) dan juga tergantung pada luas elemen dari nosel yang bersangkutan. Untuk memudahkan memahami persoalan tersebut maka dapat dilihat pada diagram kecepatan seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Elemen aerofoil nosel

Keterangan gambar :

v = kecepatan relatif air

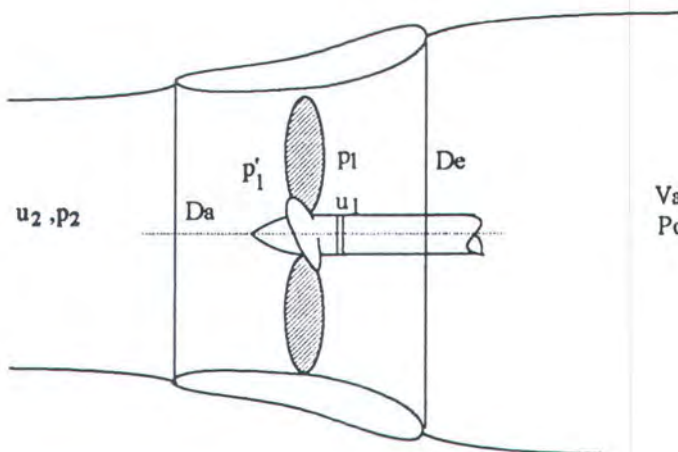
a = angle of attack (sudut aliran air terhadap elemen daun)

dL = gaya angkat (*lifting force*) dengan arah tegak lurus terhadap kecepatan relatif air v .

dg = gaya tahanan (*drag*) yang arahnya searah dengan arah kecepatan relatif air v .

II. 4 Kecepatan Aliran Air di Dalam Nosel

Untuk mengetahui bagaimana model kecepatan aliran yang ada di dalam nosel akan kita perhatikan gambar 2.5 dibawah.



Gambar 2.5 Sistem nosel propeller

Dari gambar diatas, ketika propeler bekerja ada arus air yang melewati piringan daun propeller dan terjadi perbedaan tekanan antara bagian muka dan bagian belakang propeller yang merupakan tambahan tekanan (ΔP).

$$\Delta P = p_1' - p_1 \quad (2.35)$$

Dengan adanya perbedaan tekanan di bagian muka dan belakang propeller seperti pada persamaan diatas dan jika luas piringan propeller adalah A_o (*screw disc area*) maka gaya reaksi yang merupakan gaya dorong atau thrust yang dihasilkan propeller dapat dirumuskan :

$$T = \Delta P \cdot A_o \quad (2.36)$$

Sedangkan menurut hukum momentum dinyatakan bahwa besarnya momentum yang terjadi adalah :

$$\Delta F = \rho \text{ Vol } Ca \quad (2.37)$$

dimana ρ = massa jenis fluida

Vol = volume air yang mengalir sebagai arus yang melewati piringan propeller per satuan waktu.

$$= A_o \cdot u_1$$

Ca = perbedaan kecepatan aksial yang diakibatkan oleh bekerjanya daun propeller di dalam nosel.

Gaya dorong yang merupakan gaya reaksi akan sama dengan perubahan momentum sehingga persamaan (2.36) akan menjadi :

$$T = \rho \text{ Vol} \cdot Ca \quad (2.38)$$

yang mana u_1 = kecepatan partikel air yang melewati piringan propeller.

Dalam hal ini $u_1 \neq Va$ (*speed of advanced*)

Hubungan antara u_1 , Va dan Ca dapat dicari dengan menggunakan persamaan Bernoulli yang telah dikembangkan dengan cara sebagai berikut :

$$\rho/2 \cdot (Va + Ca)^2 + p_o = \rho/2 \cdot u_1^2 + p_1' \quad (2.39)$$

untuk belakang piringan propeller , dan

$$\rho/2 \cdot V\alpha^2 + p_0 = \rho/2 \cdot u_1^2 + p_1 \quad (2.40)$$

untuk sisi muka propeller.

Jika kedua persamaan diatas disubstitusikan akan didapat persamaan baru sebagai berikut:

$$\rho/2 (V\alpha^2 + 2Va \cdot Ca + Ca^2) - \rho/2 \cdot V\alpha^2 = p_1' - p_1 \quad (2.41a)$$

$$\rho/2 \cdot Ca (2Va + Ca) = \Delta P \quad (2.41b)$$

Dari persamaan (3.36) dan (3.38) didapatkan :

$$\Delta P = \frac{T}{A_0} = \frac{\rho \cdot V \cdot Ca}{A_0} \quad (2.42)$$

Sesuai dengan persamaan (2.39) ; $u_1 = V / A_0$, maka persamaan (2.42) dan (2.41b)

jika disubstitusikan akan menjadi :

$$\rho/2 \cdot Ca (2Va + Ca) = \rho \cdot u_1 \cdot Ca \quad (2.43a)$$

$$1/2 (2Va + Ca) = u_1 \quad (2.43b)$$

$$Va + 1/2Ca = u_1 \quad (2.43c)$$

Karena Ca merupakan perbedaan kecepatan aksial akibat rotasi propeller, maka kecepatan aksial u_2 yang beara dibelakang propeller adalah :

$$u_2 = Va + Ca \quad (2.44)$$

II. 5 Fraksi Deduksi Gaya Dorong

Jika sebuah kapal berlayar atau sebuah model ditarik dengan kecepatan v maka pada kapal / model tersebut bekerja gaya dorong (*trush*) yang besarnya T untuk melawan tahanan yang dialami kapal / model sebesar R_t , dimana besarnya gaya dorong T harus lebih besar dari pada tahanan R_t . Perbedaan besarnya gaya dorong dengan tahanan

kapal/model atau $(T - R_t)$ disebut penambahan (augment), dan fraksi penambahan tahanan tersebut adalah :

$$a = \frac{T - R_t}{R_t} \quad \text{atau} \quad T = (1 + a) R_t \quad (2.45)$$

Tetapi dalam praktek penambahan dalam R_t umumnya dipandang sebagai pengurangan atau deduksi dalam gaya dorong T yang ada pada baling - baling itu, dengan menganggap bahwa hanya dengan gaya dorong total sebesar T terdapat tahanan sebesar R_t yang harus diatasi. Kehilangan atau pengurangan gaya dorong $T - R_t$ dinyatakan dalam fraksi gaya dorong T dan disebut dengan *thrust deduction factor* (t).

$$t = \frac{T - R_t}{T} \quad (2.46)$$

atau $R_t = (1 - t) T$.

Dengan memakai koefisien gaya dorong baling - baling :

$$K_t = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (2.47)$$

dan koefisien K_r untuk kapal yang bergerak bebas didefinisikan sebagai :

$$K_r = \frac{R_t}{\rho n^2 D^4} \quad (2.48)$$

dan $K_r = \frac{R_t + F}{\rho n^2 D^4}$ untuk kondisi beban lebih maka ;

$$t = \frac{K_t - K_r}{K_t} \quad (2.49)$$

dimana F = gaya tarik tali penarik

ρ = massa jenis air

n = putaran propeller

D = garis tengah baling - baling

Arah F , T dan R dipilih menurut gambar 2.6. Dengan beberapa uraian diatas maka T (gaya dorong kapal) dapat ditentukan dengan mudah, yaitu dengan cara menyisipkan kurva K_r ke dalam diagram baling - baling.

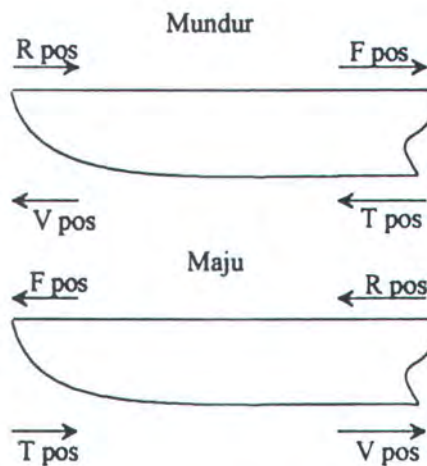
Adanya perbedaan antara gaya dorong (T) dengan tahanan kapal Rt tersebut sebagian disebabkan karena baling - baling mempercepat aliran air ke buritan kapal, sehingga menyebabkan naiknya tahanan gesek dan sebagian lagi karena kenyataan baling - baling itu bekerja di dalam medan kecepatan potensial buritan. Selain itu, sistem gelombang buritan kapal mungkin, dalam hal tertentu dipengaruhi oleh baling - baling dan hal ini menyebabkan berubahnya tahanan gelombang. Karena itu dalam mempelajari fraksi deduksi gaya dorong (t) akan lebih mudah jika T tersebut dipisahkan ke dalam tiga kelompok, sebagai berikut :

$$t = tp + tf + tw \quad (2.50)$$

dimana tp = fraksi deduksi gaya dorong potensial

tf = fraksi deduksi gaya dorong gesekan

tw = fraksi deduksi gaya dorong gelombang.



Gambar 2.6 Skema arah positif R , T dan F

Secara umum tahanan kapal (Rt) dan gaya dorong (T) tidak mungkin dapat diukur pada kecepatan yang tepat sama. Karena itu harus digambarkan kontur untuk R dan T ,

selanjutnya dari diagram ini fraksi deduksi gaya dorong dapat dihitung dengan memakai persamaan :

$$t = \frac{T-R}{T} = 1 - \frac{R}{T} \quad (2.51)$$

Prosedur diatas dipakai untuk kapal berbaling-baling tunggal dan untuk kapal berbaling-baling ganda jika baling - balingnya diatur simetris terhadap bidang paruh kapal dan selain itu jika kapalnya simetris. Jika tidak demikian atau jika kapalnya mempunyai tiga buah baling-baling atau lebih maka fraksi deduksi gaya dorong untuk masing-masing baling-baling tidak akan dapat ditentukan sendiri-sendiri. Hanya harga rata-ratanya saja yang dapat diperkirakan melalui percobaan model.

II. 6 Efisiensi Propulsi

Efisiensi propulsi atau disebut juga dengan istilah *propulsive coefficient* (P_c) didefinisikan sebagai ukuran untuk menilai efisiensi atau unjuk kerja sistem propulsi kapal yang dinyatakan dengan perbandingan antara daya efektif (EHP) dengan daya poros (DHP), atau :

$$P_c = EHP / DHP \quad (2.52)$$

dimana EHP = Effective horse power atau disebut juga sebagai daya yang diperlukan untuk menarik kapal yang mempunyai tahanan sebesar R_t (KN) dengan kecepatan V_s m/s.

$$EHP = R_t \cdot V_s$$

DHP = Shaft horse power atau propeller power yaitu daya yang diberikan ke propeller melalui porosnya ditempat dimana propeller dipasang untuk

menggerakkan kapal pada kecepatan V_s m/s. Jadi daya ini merupakan daya kuda yang diukur pada poros propeller dimana ia berada dan besarnya sama dengan daya mesin induk kapal yang memutar propeller dikurangi kerugian-kerugian pada *shafting arrangement* - nya

$$DHP = 2\pi Q.n$$

Q = Torsi pada poros dimana propeller berada (KN.m)

n = Putaran propeller (rps)

Dengan demikian efisiensi propulsi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_c = \frac{R. V_s}{2\pi. Qn} \quad (2.53)$$

Dari data yang ada biasanya besarnya efisiensi propulsi tidak sama dengan efisiensi propeller hal ini disebabkan karena adanya pengaruh interaksi antara propeller dengan badan kapal.

II. 6. 1 Propeller Efficiency

Propeller efficiency (η_p) merupakan ukuran baik buruknya propeller ditinjau dari segi kemampuannya dalam menghasilkan gaya dorong (*thrust*) dan didefinisikan sebagai perbandingan antara daya dorong kapal (*THP*) dengan *DHP*, atau :

$$\eta_p = THP / DHP \quad (2.54)$$

sedangkan besarnya *THP* (thrust horse power) yang dinyatakan dengan rumus :

$$THP = T. Va / 75$$

dimana T = Gaya dorong yang dihasilkan propeller (KN)

V_a = Speed of advanced atau kecepatan maju propeller yaitu kecepatan relatif partikel air yang melewati piringan propeller (m/s)

dengan demikian maka efisiensi propeller adalah :

$$\eta_p = \frac{T \cdot V_a}{2\pi \cdot Qn} \quad (2.55)$$

Adapun besarnya V_a selalu lebih kecil jika dibandingkan dengan kecepatan kapal V_s , hal ini disebabkan karena :

- ♦ Melebarnya stream line atau arus air dibagian belakang kapal.
- ♦ Adanya gesekan sepanjang badan kapal.
- ♦ Adanya sistem gelombang yang terbentuk oleh gerakan kapal.

Selisih antara kecepatan kapal dengan kecepatan maju ($V_s - V_a$) merupakan kecepatan maju absolut yang disebut dengan "*wake velocity*" atau kecepatan gelombang (V_w), atau $V_w = V_s - V_a$. Sedangkan *wake friction* (w) adalah ratio antara kecepatan gelombang dengan kecepatan kapal, yang dinyatakan dengan rumus :

$$\begin{aligned} w &= V_w / V_s \\ &= \frac{V_s - V_a}{V_s} = 1 - \frac{V_a}{V_s} \end{aligned}$$

Jadi $\frac{V_a}{V_s} = (1 - w)$.

Dengan demikian dapatlah dirumuskan bahwa kecepatan maju kapal adalah :

$$V_a = (1 - w) V_s \quad (2.56)$$

Rumus diatas disebut juga dengan rumus Taylor dengan *wake friction* yang berbeda untuk kapal berpropeler tunggal dan berpropeler ganda.

Wake friction untuk kapal berpropeler tunggal :

$$w = -0,05 + 0,5 \delta \quad (2.57)$$

Wake friction untuk kapal berpropeler ganda :

$$w = -0,20 + 0,55 \delta \quad (2.58)$$

dimana δ = koefisien blok kapal

Ketika propeller berputar dengan kecepatan n rpm maka propeller tersebut akan bergerak maju relatif terhadap air dengan kecepatan V_a yang akan menghasilkan gaya dorong T dimana gaya dorong tersebut haruslah lebih besar dari pada tahanan kapal (Rt) sehingga kapal dapat bergerak dengan kecepatan V_s .

II. 6. 2 Hull Efficiency

Hull efficiency (η_h) merupakan harga perbandingan antara daya efektif terhadap daya dorong, atau :

$$\begin{aligned}\eta_h &= \frac{EHP}{THP} = \frac{R \cdot V_s}{T \cdot V_a} \\ &= \frac{T(1-t) \cdot V_s}{T(1-w) \cdot V_s} \\ \eta_h &= \frac{1-t}{1-w} \end{aligned} \quad (2.59)$$

II. 6. 3 Relative Rotative Efficiency

Diatas sudah dijelaskan mengenai propeller efficiency dimana sebenarnya efisiensi ini ada dua macam, yaitu :

- ♦ Efisiensi propeller pada kondisi terbuka (*open water condition*) yaitu efisiensi propeller yang diukur pada percobaan di tangki percobaan dengan menggunakan model tanpa dipasangkan diburitan kapal.
- ♦ Efisiensi propeller pada kondisi dibelakang kapal (*behind the ship condition*).

Sebagai ukuran perbandingan dipakailah harga perbandingan kedua harga tersebut yang dikenal dengan nama : *relative rotatof efficiency* = η_r .

$$\begin{aligned}\eta_r &= \frac{P_{\text{behind the ship condition}}}{P_{\text{open water condition}}} \\ &= \frac{T \cdot Va / (2\pi \cdot Qn)}{T_o \cdot Va / (2\pi \cdot Q_o \cdot n)} = \frac{T/Q}{T_o/Q_o}\end{aligned}\quad (2.60)$$

dimana T dan Q masing - masing adalah besarnya thrust dan torsi pada kondisi dibelakang kapal sedangkan T_o dan Q_o adalah thrust dan torsi pada kondisi *open water*.

Dengan memakai definisi-definisi diatas, jika kembali ke persamaan (2.52) maka dapat diperoleh persamaan untuk menghitung efisiensi propulsi, yaitu :

$$\begin{aligned}P_c &= \frac{R \cdot Vs}{2\pi \cdot Qn} \\ &= \frac{R \cdot Vs}{T \cdot Va} \times \frac{T_o \cdot Va}{2\pi \cdot Q_o \cdot n} \times \frac{T/Q}{T_o/Q_o} \\ &= \eta_p \times \eta_h \times \eta_r\end{aligned}\quad (2.61)$$

dimana η_p = propeller efficiency

η_h = hull efficiency

η_r = relative rotatof efficiency

II. 7 "Open Water " Diagram

Untuk memperkirakan kemampuan kerja baling-baling dapat dilakukan dengan melalui uji model, dimana pada uji ini karakteristik baling-baling harus ditentukan sedemikian rupa sehingga karakteristik tersebut dapat dipakai sebagai dasar untuk merancang baling-baling untuk kapal baru. Pada uji ini besarnya harga-harga thrust, torsi, rps dan speed of advance (Va) diukur dan dicatat untuk setiap kali jalan pada range kecepatan dan rps yang telah ditentukan. Harga-harga hasil pengukuran kemudian

dimasukkan ke dalam konstanta non dimensional K_t , K_q dan J , untuk selanjutnya dibuatkan diagram yang dikenal dengan "Open Water Diagram" atau K_t - K_q - J diagram yang mana karena harga-harga tersebut merupakan harga spesifik yang tidak berdimensi dan sesuai dengan hukum kesamaan Newton akan dapat dianggap sebagai harga-harga dari baling-baling yang sebenarnya.

Harga-harga K_t , K_q dan J diatas ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$K_t = \frac{T}{\rho \cdot D^4 \cdot n^2} \quad (2.62)$$

$$K_q = \frac{Q}{\rho \cdot D^5 \cdot n^2} \quad (2.63)$$

$$J = \frac{Va}{n \cdot D} \quad (2.64)$$

dimana K_t = Koefisien thrust (spesifik thrust)

K_q = Koefisien torsi (Spesific Torsi)

J = Koefisien maju (edvance coefficient) atau angka maju baling-baling.

Pada diagram ini J dipakai sebagai absis dan efisiensi baling-baling (η_p) sekaligus diplotkan bersama-sama dengan harga K_t , K_q dan J . Koefisien lain yang dapat ditunjukkan dalam diagram tersebut adalah efisiensi baling-baling di air terbuka, yaitu:

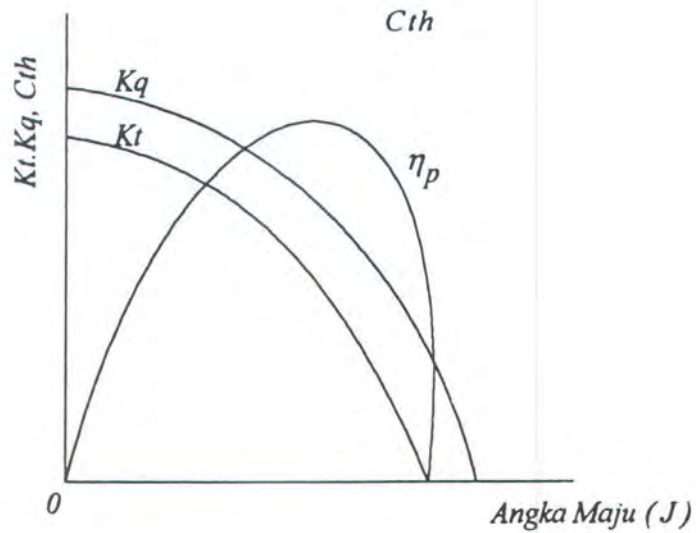
$$\eta_p = \frac{K_t}{K_q} \frac{J}{2\pi} \quad (2.65)$$

Untuk kelengkapan diagram tersebut biasanya pada absis juga diberikan skala harga nominal slip Sn . Harga nominal slip ini adalah harga dengan mengambil harga nominal pitch (pitch dari face daun baling-baling) dan harga speed of edvance (Va) sebagaimana halnya dengan real slip Sw .

$$Sn = 1 - \frac{Va}{n \cdot H} = 1 - \frac{Va}{n \cdot D} \cdot \frac{D}{H} = 1 - \frac{J}{H/D} \quad (2.66)$$

Untuk harga H/D tertentu, maka dari persamaan diatas dapatlah dihitung harga minimal slip Sn untuk setiap J pada sumbu absis dari diagram K_t - K_q - J . Untuk memberikan

gambaran terhadap diagram K_t - K_q - J dibawah ini diberikan salah satu contoh diagram tersebut.



Gambar 2.7 Diagram K_t - K_q - J

II. 8 Persamaan Gerak Kapal

Dalam persamaan gerak ini, yang akan ditinjau adalah persamaan gerak kapal yang diturunkan secara hidrodinamis dengan mempertimbangkan bahwa kapal bergerak di air tenang dengan frekuensi gerak yang relatif rendah. Pertimbangan ini diambil untuk menyederhanakan masalah mengingat banyaknya permasalahan yang timbul pada kapal saat bergerak (bermanuver). Untuk menggambarkan gerak kapal secara sederhana akan digunakan sistem koordinat seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8.

Pada gambar tersebut o - xyz adalah sistem koordinat tetap dengan titik asal pada pusat gravitasi. Jika u dan v adalah komponen kecepatan dalam arah sumbu x dan y sedangkan r adalah laju perputaran kapal (*rate of turn*) disekitar sumbu z , maka menurut hukum Newton adalah :

$$m(u - vr) = X \quad (2.67)$$

$$m(v + ur) = Y \quad (2.68)$$

$$I_{zz}r = N \quad (2.69)$$

dimana X = gaya luar dalam arah sumbu x

Y = gaya luar dalam arah sumbu y

N = moment disekitar sumbu z

Dalam persamaan diatas X, Y dan N terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut :

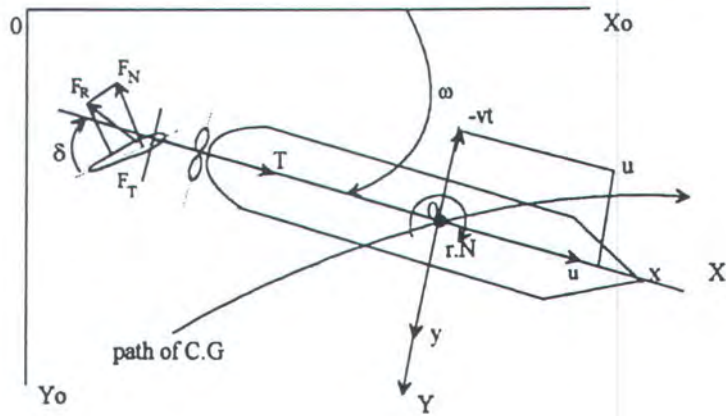
- Gaya - gaya aerodinamis yang terjadi pada bagian kapal diatas garis air
- Gaya - gaya hidrodinamis yang bekerja pada badan kapal dibawah permukaan air
- Gaya - gaya lain yang terjadi, misalnya gaya tarik pada tug boats.

Dari ketiga macam gaya diatas yang akan dibahas dalam persamaan gerak berikut adalah gaya-gaya hidrodinamis pada bagian bawah permukaan air dimana gaya-gaya hidrodinamis saat kapal bermanuver terdiri dari tiga komponen berikut :

- Gaya hidrodinamis pada lambung (main hull)
- Gaya hidrodinamis pada propeller
- Gaya hidrodinamis pada kemudi (rudder)

MMG yaitu sebuah lembaga dibawah JTTC (*Japan Towing Tank Commite*) yang membawahi bidang *menoeveribility* (kemampuan manuver kapal) telah mengeluarkan suatu bentuk model matematis yang menggambarkan gerakan menuver kapal. Dalam model matematis yang diusulkan MMG tersebut, persamaan gerak harus didasarkan pada karakteristik badan kapal (*main hull*), propeller dan kemudi (*rudder*) secara terpisah

dalam keadaan *open water* dan interaksi hidrodinamis antara main hull, propeller dan rudder dipertimbangkan sebagai gaya-gaya hidrodinamis tambahan.



Gambar 2.8 Sistem koordinat kapal

dimana gaya longitudinal (X') dirumuskan secara nondimensional sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 X' &= \frac{X}{1/2 \cdot \rho L^2 \cdot U^2} \\
 &= X' u \cdot u' + (X'vr - Yv') v'r' + Xv'u \cdot v'^2 + X'_{rr} r'^2 + X' (u) + (1 - t) T' (Up/nD) \\
 &\quad + X'_{Ro} - F_N \sin \delta
 \end{aligned}
 \tag{2.70}$$

dimana - Xu' = penambahan massa akibat gerakan *surge* kapal

- Yv' = penambahan massa akibat gerakan *sway* kapal

Xvv' , Xvr' dan Xrr' adalah penambahan koefisien tahanan akibat gerakan lateral kapal.

T' = gaya dorong propeller sebagai fungsi up/nD

$$= \rho \cdot n^2 D^4 K_T / (1/2 \rho L^2 U^2)$$

D = diameter propeller

n = putaran propeller

up = kecepatan masuk relatif dalam arah aksial terhadap propeller

t = fraksi deduksi gaya dorong

- $X'(u)$ = tahanan badan kapal saat bergerak maju

- X'_{Ro} = tahanan kemudi saat bergerak maju

F'_N = gaya normal kemudi

Kecepatan masuk aksial up dalam persamaan (2.70) termasuk pengaruh gerakan manuver yang dirumuskan sebagai berikut :

$$up = u [1 - w + \tau (v' + Cp v' v' + xp'r')^2] \quad (2.71)$$

dimana $1 - w$ menunjukkan pengaruh gelombang dalam gerakan maju dan suku - suku lain dalam persamaan diatas adalah variasi kecepatan aksial lain karena pengaruh gerakan manuver. xp' menunjukkan posisi peropeller dalam koordinat x sedangkan τ dan Cp adalah koefisien empirik yang ditentukan melalui percobaan.

Harga "sway force", Y dan "yaw moment", N ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$Y' = \frac{Y}{1/2 \cdot \rho \cdot L^2 U^2} \\ = Y'_v v' + Y'_r r' + Y'_v v' + (Y'_r + X'_u u') r' + Y'_{NL} - (1 + a_H) F'_N \cos \delta \quad (2.72)$$

$$N' = \frac{N}{1/2 \cdot \rho \cdot L^3 U^2} \\ = N'_v v' + N'_r r' + N'_v v' + N'_r r' + N'_{NL} - (x'_R - a_H x'_h) F'_N \cos \delta \quad (2.73)$$

Dalam persamaan (2.72) dan (2.73), empat suku pertama merupakan gaya-gaya hidrodinamis linier yang bekerja pada badan kapal kosong yang merupakan fungsi dari percepatan dan kecepatan. Y'_{NL} dan N'_{NL} adalah *sway force* dan *yaw moment* non linier hidrodinamis. Sedangkan suku terakhir merupakan gaya lateral dan *turning moment* kapal akibat berputarnya kemudi.

II. 9 Model Matematis Pengemudian Kapal

Persamaan ini didasari oleh persamaan momen dipusat gravitasi sebuah kapal saat bergerak / bermanuver di air, dimana persamaan momen tersebut adalah :

$$I \cdot r + N_r r = N_\delta \delta \quad (2.74)$$

dimana I = momen inersia massa karena pengaruh gaya-gaya hidrodinamis

r = laju pembelokan (rate of turn)

$N_\delta \delta$ = momen akibat gaya-gaya lateral pada kemudi dan nosel

$N_r r$ = momen-momen lain yang terjadi

momen pada kemudi dan nosel dapat ditulis dengan :

$$N_\delta \delta = C_1 \alpha R - C_2 \beta \quad (2.75)$$

dimana αR = sudut serang (angle of attack) kemudi

$$\beta = -\alpha D \quad (2.76a)$$

dimana αD = sudut serang nosel dan δ = sudut kemudi

dari gambar 2.9 didapat bahwa $\delta = \alpha r + \beta$ (2.76b)

sedangkan sudut serang kemudi atau kemudi-nosel sebanding dengan laju pembelokan (rate of turn), $\beta = C_3 r$

Koefisien C_3 tergantung dari jarak Xp yaitu titik potong antara garis pusat kapal (*center line*) dengan garis radius pembelokan (*radius of turn*).

$$C_3 = Xp / U \quad (2.76c)$$

dimana jarak $Xp = 0,75 L$ (L = panjang kapal)

Jika persamaan (2.76a), (2.76b) dan (2.76c) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.74) didapat :

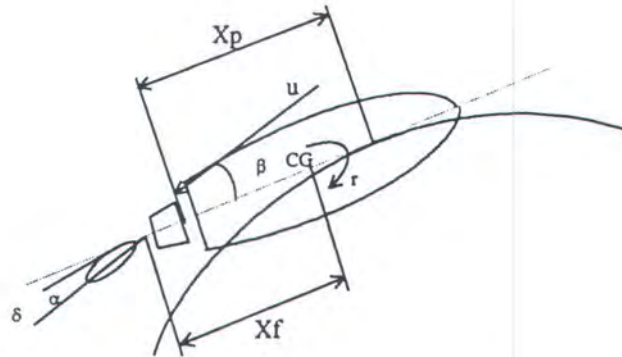
$$\left(\frac{I}{N_r + (C_1 + C_2)C_3} \right) r + r = \left(\frac{C_1}{N_r + (C_1 + C_2)C_3} \right) \delta \quad (2.77)$$

Persamaan diatas analog dengan persamaan Nomoto :

$$T \cdot r + r = K \cdot \delta \quad (2.78)$$

dimana $T = \left(\frac{I}{N_r + (C_1 + C_2)C_3} \right)$ (2.79a)

$$K = \left(\frac{C_1}{N_r + (C_1 + C_2)C_3} \right) \quad (2.79b)$$



Gambar 2.9 Definisi simbol gerak kapal

II. 9. 1 Turning Motion

Turning Motion yang merupakan quantitas manuver kapal dapat digambarkan kedalam dua macam besaran sebagai berikut :

- Respons time (T)
- Turning capacity (K)

Respon time (T) merupakan suatu konstanta yang berhubungan dengan waktu yang diperlukan kapal untuk mencapai keadaan pengemudian yang stabil dan dinyatakan dengan persamaan (2.79a) sedangkan *Turning capacity* (K) adalah konstanta yang berhubungan dengan pengemudian kapal per derajat sudut kemudi, hal ini berkaitan dengan turning diameter dan dinyatakan dengan persamaan (2.79a). Baik K maupun T merupakan konstanta nondimensional

II. 9. 2 Turning Respon

Jika kemudi digerakkan dari sudut 0° ke sudut tetap tertentu sebesar $\delta\theta$ derajat maka penyelesaian persamaan (2.78) akan menghasilkan *turning respon* sebagai fungsi waktu yang diekspresikan dengan persamaan berikut :

$$r = K. \delta\theta (1 - e^{-t/T}) \quad (2.80)$$

dimana K = Turning capacity

T = Respons time

$\delta\theta$ = sudut kemudi

Persamaan diatas jika diintegalkan terhadap waktu akan menghasilkan *yaw angle* (ψ) sebagai fungsi waktu, yaitu :

$$\psi = K. \delta\theta (t - T) + K. \delta\theta T. e^{-t/T} \quad (2.81)$$

Setelah beberapa saat, misalnya $t \geq 3T$ maka :

$$K. \delta\theta (t - T) \gg K. \delta\theta T. e^{-t/T}$$

dan $\psi = K. \delta\theta (t - T)$

II. 9. 3 Rudder - Nozzle Coefficient

Rudder - nozzle coefficient (C_r, C_n) dapat diturunkan dari persamaan moment pada rudder dan nosel :

$$N\delta.\delta = CL_{TOT} \rho 2.V\alpha^2(DJ_l + bc).xf \quad (2.82a)$$

$$CL_{TOT} = a_o (\alpha_R + a_1 \beta) - b_o (\beta - b_1 \alpha_R) \quad (2.82b)$$

dimana l = panjang nosel

Dd = diameter nosel

b = tinggi kemudi

c = lebar kemudi

xf = jarak dari rudder - nozzle ke pusat gravitasi kapal

Va = kecepatan maju kapal

a_o, b_o = koefisien yang diperoleh dari grafik

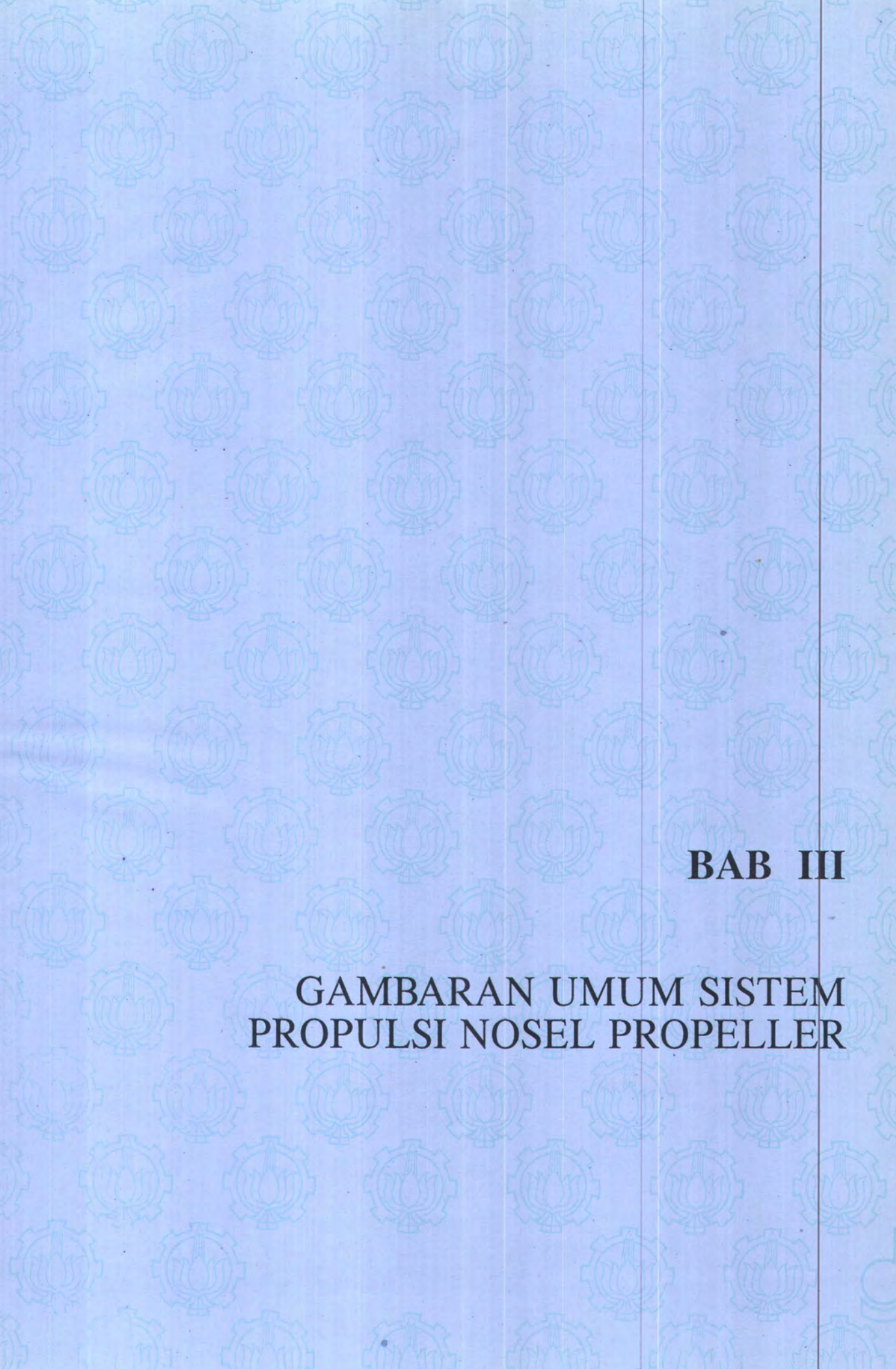
a_1, b_1 = koefisien rudder - nosel aspek ratio

Jika persamaan (2.82b) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.82a) maka persamaan tersebut sama dengan persamaan (2.75) dimana koefisien C_1 dan C_2 berturut turut adalah sebagai berikut :

$$C_1 = xf. \rho/2.Va^2 (l.D + b.c) (a_o + b_o.b_1). N_R \quad (2.83a)$$

$$C_2 = xf. \rho/2.Va^2 (l.D + b.c) (b_o - a_o.a_1). N_D \quad (2.83b)$$





BAB III

**GAMBARAN UMUM SISTEM
PROPULSI NOSEL PROPELLER**

BAB III

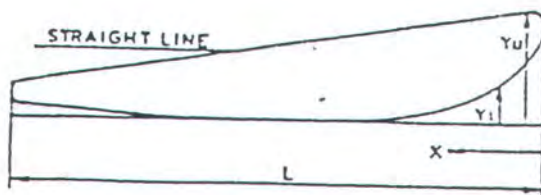
GAMBARAN UMUM SISTEM PROPULSI

NOSEL PROPELLER



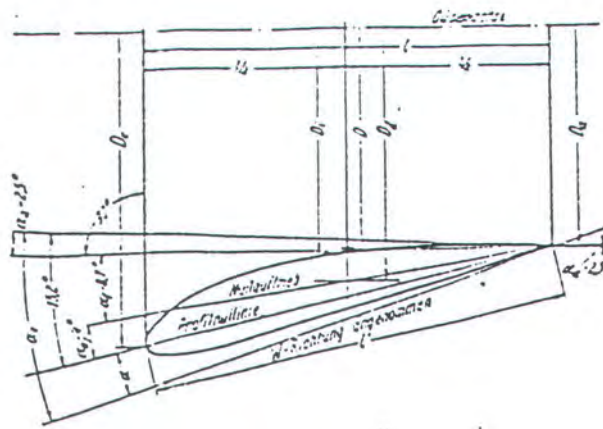
III. 1 Geometri Nosel Propeller

Bentuk nosel propeller adalah seperti tabung dengan diameter sisi keluar yang lebih kecil dari pada diameter sisi masuk. Nosel propeller ada beberapa bentuk profil namun dalam tugas akhir ini yang akan digunakan adalah nosel propeller dengan profil *NACA - 7415 no 19 A*, karena untuk nosel type percepatan, profil ini yang paling sering digunakan. Gambar 3.1 menunjukkan profil nosel *NACA - 7415 no 19 A* beserta tabel ukurannya.



PERCENTAGES OF LENGTH		
100X/L	100Yi/L	100Yu/L
0	18.25	18.25
1.25	14.66	20.72
2.5	12.80	21.07
5	10.07	20.80
7.5	8.00	
10	6.34	
15	3.87	
20	2.17	
25	1.10	
30	0.48	
40	STRAIGHT	STRAIGHT
50	LINE	LINE
60		
70	0.29	
80	0.82	
90	1.45	
95	1.86	
100	2.36	6.36

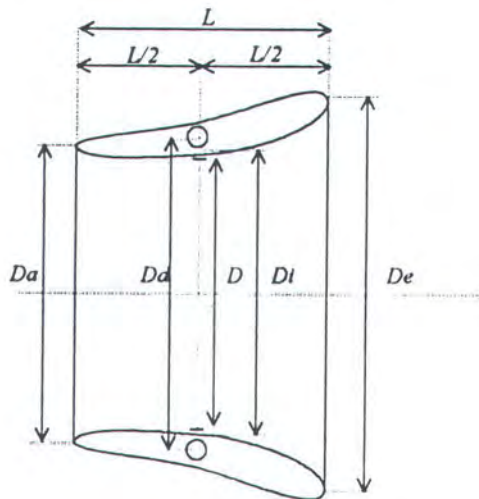
Gambar 3.1 Profil nosel NACA - 7415 no 19 A



Gambar 3.2 Sudut penempatan nosel 19 A.

Sudut penempatan nosel dapat ditentukan dengan cara menarik garis horisontal dari ujung profil melewati titik perpotongan permukaan profil dengan garis diameter pusat D_d . Pada umumnya sudut penempatan nosel (α_a) adalah $2,5^\circ$. Gambar 3.2 menunjukkan adanya detail sudut penempatan yang lain, yaitu pada $\alpha_o = 4^\circ$ dan $\alpha_f = 8,7^\circ$.

Sedangkan geometri nosel secara umum ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Geometri nosel

	$l/D = 0,50$	$l/D = 0,65$	$l/D = 0,8$
Da / Dd	0,9235	0,9005	0,8776
De / Dd	1,1488	1,1935	1,2382
Di / Dd	0,6323	0,9000	0,8770
D / Dd	0,9140	0,8910	0,8682

Tabel 3.2. Perbandingan geometri dengan sudut penempatan $\alpha_a = 2,5^\circ$

III. 2 Aplikasi Nosel Propeler

Nosel propeller, atau yang sering disebut dengan istilah ducted propeller pertama kali di rancang pada tahun 1927 oleh Ludwig Kort, sehingga ada yang menyebut sistem ini dengan nama Kort Nozzle, dimana pada sistem propulsi ini terdiri dari kombinasi antara annular airfoil dan impeller (propeller) dan dengan perencanaan nosel yang tepat, akan memperbaiki cara kerja propeller. Berbeda dengan sistem propulsi konvensional, pada sistem nosel propeller, gaya aksial yang bekerja pada propeller tidak sama dengan net thrust atau thrust horse power dari sistem. Gaya yang berkerja pada nosel tergambar pada bentuk nosel dan kondisi operasinya. Demikian juga dengan perubahan kecepatan pada "propeller plane" dapat lebih kecil atau lebih besar tergantung dari bentuk nosel. Pemasangan nosel ini tergantung pada bentuk belakang badan kapal, pada kapal - kapal yang mempunyai sepatu atau telapak linggi (sole piece), nosel tersebut umumnya dipasang pada sepatu lingginya. Sisi atas nosel dihubungkan pada badan belakang kapal dengan perantaraan leher nosel (nozzle throat). Kedua pelat sisi leher nosel dihubungkan dengan pelat kulit kapal. Secara umum untuk mendapatkan nosel yang optimal bentuk buritan kapal disesuaikan dengan bentuk nosel dan cara pemasangan nosel yang paling disukai adalah agak miring ke depan.

Dasar kerja nosel propeller mirip dengan dasar kerja pompa sentrifugal (pompa impeller). Dinding dalam nosel akan menurunkan kekuatan pusaran arus ikut pada ujung daun dan bahkan akan dapat menghilangkan sama sekali pusaran tersebut jika celah antara antara ujung daun baling-baling dengan dinding bagian dalam nosel sangat kecil, karena itu untuk mendapatkan efisiensi yang setinggi-tingginya maka celah tersebut harus dibuat sekecil mungkin.

Ditinjau dari bentuk aliran yang terjadi pada nosel, sebenarnya tipe nosel propeller ada dua yaitu tipe percepatan aliran dan tipe perlambatan aliran. Dimana pada tipe percepatan aliran, aliran didalam nosel akan mengalami percepatan sehingga akan menurunkan beban gaya dorong dan meningkatkan efisiensi propeller namun resiko kavitasi lebih tinggi sedangkan pada tipe perlambatan aliran, aliran air didalam nosel akan mengalami perlambatan dan hal ini akan menyebabkan bertambahnya beban gaya dorong namun pada tipe ini sifat kavitasi lebih baik. Yang paling banyak digunakan adalah tipe percepatan aliran seperti yang telah dijelaskan diatas.

Menurut penelitian, nosel propeller tersebut sesuai untuk digunakan pada kapal - kapal tipe sebagai berikut :

- ♦ Baling - baling dengan beban gaya dorong yang tinggi atau harga slip yang tinggi, misalnya pada kapal tunda
- ♦ Pada kapal - kapal dimana karena adanya keterbatasan kedalaman laut maka sarat air pada kapal terbatas, demikian juga dengan besarnya diameter propeller, misalnya pada kapal tangker yang besar.

Keuntungan dari penggunaan nosel propeller sebagai alat propulsi jika dibandingkan dengan free propeller (non-ducted propeller) adalah sebagai berikut :

- ♦ Tip vortek dapat dibatasi dan diperkecil, sehingga dapat menaikkan harga efisiensi propeller pada kondisi dibelakang kapal (behind the ship) atau dengan kata lain propulsive characteristic dari propeller dapat diperbaiki.
- ♦ Dengan propeller tertentu dan besar tenaga penggerak yang sama maka akan dapat menambah gaya dorong atau besarnya bollard pull pada kapal tunda.
- ♦ Pada koefisien beban thrust (high thrust - loading coefficients) yang tinggi akan diperoleh efisiensi yang lebih tinggi, untuk tugs boat efisiensi dapat naik sampai sekitar 20 % sedangkan bollard pull naik sampai 30 % atau lebih.
- ♦ Pada pelayaran samudra penurunan efisiensi pada nosel propeller lebih rendah dari pada non-ducted propeller.

Dewasa ini juga telah dibuktikan bahwa nosel propeller juga sesuai untuk digunakan pada kapal - kapal berukuran besar dengan kecepatan rendah misalnya pada kapal - kapal tangker. Hal tersebut dibuktikan dengan penelitian-penelitian pada kapal - kapal ukuran sangat besar yang memakai nosel propeller dapat memperkecil besarnya tenaga mesin penggerak dengan demikian dapat menghemat pemakaian bahan bakar. Dan dengan pemakaian nosel propeller ini juga, untuk ukuran daya yang sama dapat memakai diameter propeller yang lebih kecil pada putaran propeller yang tinggi. Ini merupakan keuntungan lain dari pada nosel propeller.

Dengan ukuran diameter yang relatif lebih kecil akan sangat sesuai untuk kapal - kapal yang memiliki keterbatasan sarat air dan dengan putaran propeller yang lebih tinggi maka motor induk dapat langsung memutar baling-baling tanpa memakai gigi reduksi yang harganya sangat mahal, walaupun memakai dimensi *gear box* akan relatif lebih kecil sehingga dapat menghemat pemanfaatan ruang kamar mesin dan mengurangi biaya

investasi. Dari penyelidikan-penyelidikan yang telah dilakukan juga diketahui bahwa getaran yang bersumber dari propeller dapat dikurangi.

Beberapa kapal tangker yang telah menggunakan nosel propeller dan memberikan hasil yang baik adalah sebagai berikut :

- ♦ Kapal tangker "*Kronolan*" 131.000 DWT.

Dengan dipasangnya nosel pada propellernya maka dengan kecepatan yang sama, daya motor induk yang diperlukan dapat lebih rendah 5 - 10 %

- ♦ Kapal tangker "*Golan Nichu*" 215.000 DWT.

Pada kapal ini dengan menggunakan nosel propeller ternyata kecepatannya bertambah 0,35 knot pada daya motor (BHP) yang sama dengan getaran yang dihasilkan lebih kecil dan tercatat pula bahwa manoeuvrability kapal juga lebih baik.

Hal lain yang perlu diketahui adalah bahwa dengan memakai nosel maka bekerjanya baling - baling kapal yang menyerupai pompa aksial (axial pump) dapat memberikan hasil yang lebih baik dari pada tanpa nosel, karenanya dengan celah/clearance yang tepat antara ujung daun propeller dengan dinding dalam nosel maka tip vortex dapat berkurang sehingga kerugian energi dapat dikurangi.

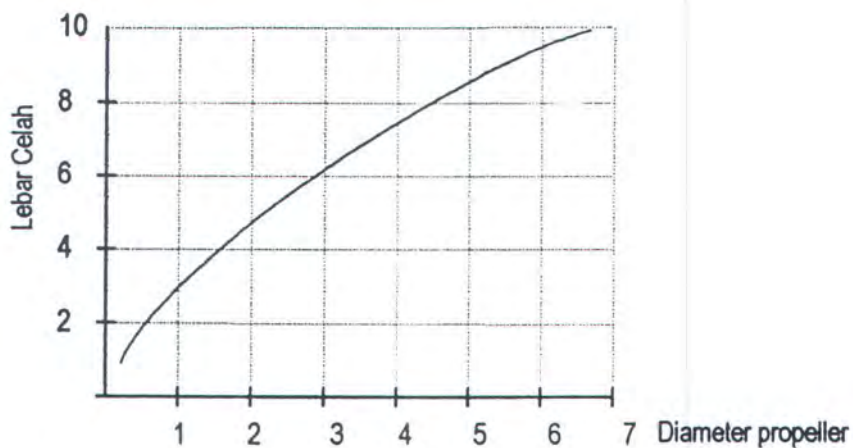
Untuk keperluan perencanaan, NSMB telah mengadakan percobaan open water test secara sistematis pada beberapa tipe nosel yang dikombinasikan dengan baling - baling tipe B 4-55. Hasil percobaan tersebut dituangkan dalam diagram $Kt_{total} - Kq - J$ dan diagram $Kt_{nosel} - J$ dimana $Kt_{total} = Kt_{propeller} + Kt_{nosel}$.

Pada diagram tersebut propeller dan nosel dianggap sebagai satu kesatuan sistem.

Persoalan yang timbul dalam perencanaan untuk tipe nosel lainnya dapat dipecahkan

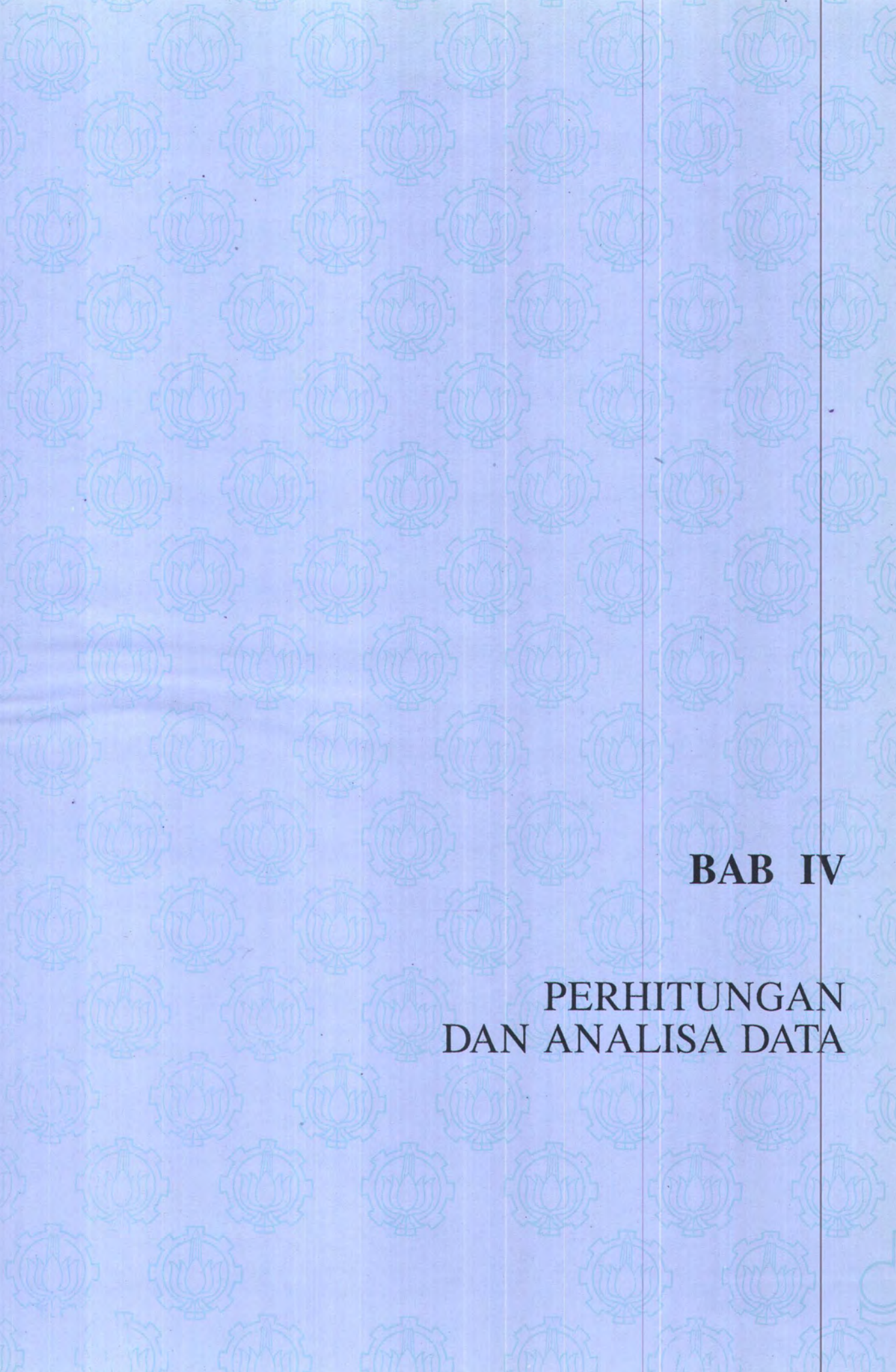
dengan menggunakan diagram-diagram tersebut sesuai dengan cara untuk memecahkan persoalan perencanaan propeller dengan memakai screw series diagram biasa.

Ukuran celah/clereance antara ujung daun propeller dengan dinding dalam nosel sangat erat kaitannya dengan efisiensi propeller bersama noselnya. Disarankan agar besarnya celah tersebut kurang lebih 0,001 diameter propeller. Dengan begitu kerugian akibat adanya celah dapat dibuat seminimal mungkin. Semakin lebar ukuran celah, efisiensi propeller bersama noselnya akan semakin menurun. Sedangkan untuk menghindari fenomena kavitasi maka daun dibuat berbentuk lebar pada ujungnya (Blade tip lebar). Sebagai gambaran untuk ukuran celah dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Grafik hubungan antara celah (clereance) ujung daun propeller dengan dinding dalam nosel





BAB IV

**PERHITUNGAN
DAN ANALISA DATA**

BAB IV

PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA

IV.1 Data - Data Kapal

IV.1.1 Dimensi Kapal

Type	: Supporting Vessel for Aid to Navigation
L_{wl}	: 43.00 m
L_{pp}	: 37.00 m
B (moulded)	: 9.00 m
H (moulded)	: 3.70 m
T (Draft)	: 3.00 m
Vs	: 11 knot
Classification BKI + A 100 1, + 5 m	

DL^o

1,0723

IV.1.2 Dimensi Propeller

Diameter	: 1700 mm
P / D	: 0.7900
Pitch	: 1345 mm
Rotation	: 359 Rpm
Dev. Area	: 1.1349 m ²
Dev. Area RAtio	: 0.55
Max. Blade Width Ratio	: 0.2659
Max. Blade Tichness Ratio	: 0.1265
Rake Angle	: 12°
Material	: Ni - Al - Bronze
l - t	: 0.85

IV.1.3 Dimensi Kemudi

Rudder Area (Fore)	: 0.510 m ²
Rudder Area (Aft)	: 1.423 m ²
Total Rudder Area (A)	: 1.923 m ²
Ballance Ratio (Af/A)	: 0.264
2A/Lpp.Ao	: 1/28.7
Maximum Helm Angle (q)	: 35°
Breadth (c)	: 1.25 m / 1.00 m
Thickness of Rudder (t)	: 0.25 m / 0.18 m
Rudder Height (h)	: 1.718 m
Thickness - Breadth Ratio (t/c)	: 0.2 / 0.18

IV. 2 Karakteristik Propulsi Kapal

Telah disebutkan dalam bab-bab sebelumnya bahwa gaya aksial (*axial force*) yang dihasilkan oleh sistem propulsi dengan kombinasi nosel - propeller atau *ducted propeller* sistem akan berbeda dengan gaya aksial yang dihasilkan oleh sistem propulsi konvensional (*non ducted propeller*). Gaya aksial yang dihasilkan sistem propulsi nosel propeler dapat berharga negatif atau positif yang mana hal ini tergantung pada bentuk nosel dan kondisi operasi. Untuk nosel tipe akselerasi atau *accelerating flow type* gaya aksial yang dihasilkan akan positif yang berarti bahwa dengan penambahan nosel pada propeller akan terjadi peningkatan gaya dorong karena terjadi percepatan aliran air yang melalui propeller sedangkan pada nosel tipe perlambatan atau *deccelerating flow type* gaya aksial yang dihasilkan akan negatif karena adanya perlambatan aliran air yang melalui propeller.

IV.2.1 Koefisien Beban Gaya Dorong (C_T)

Untuk menentukan koefisien beban gaya dorong atau thrust loading coefficient sistem propulsi dengan nosel propeller terlebih dulu harus diketahui koefisien beban gaya dorong tanpa nosel (C_T) dimana koefisien beban gaya dorong tanpa nosel merupakan fungsi dari thrust dan kecepatan maju dan dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$C_T = \frac{T}{\rho/2 \cdot Va^2 \cdot A_o} \quad (4.1)$$

dalam persamaan diatas T adalah thrust tanpa nosel yang besarnya $74539,22 \text{ N}$, sedangkan Va adalah kecepatan maju yang dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$Va =$ kecepatan maju kapal

$$= Vs (1 - w)$$

$$= 11 (1 - 016)$$

$$= 9,14 \text{ knot} = 4,754 \text{ m/s}$$

$A_o =$ luas piringan baling-baling

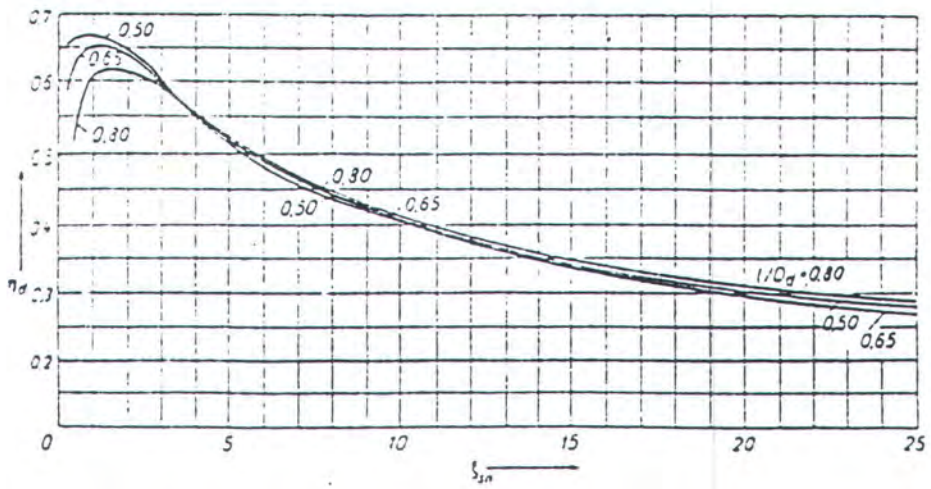
$$= 2,26865 \text{ m}^2$$

dengan demikian koefisien beban gaya dorong tanpa nosel adalah

$$C_T = \frac{74539,22/2}{\rho/2 \cdot 4,754^2 \cdot 2,26865}$$
$$= 1,42$$

Sedangkan untuk koefisien beban gaya dorong dengan sistem nosel propeller atau C_{T0} berharga (2 - 3) % lebih kecil dari harga C_T . Dalam hal ini diambil 2,5% , sehingga :

$$C_{T0} = (1 - 0,025) C_T \quad (4.2)$$
$$= (1 - 0,025) 1,42$$
$$= 1,3845$$



Gambar 4.1 Grafik efisiensi beberapa bentuk nosel

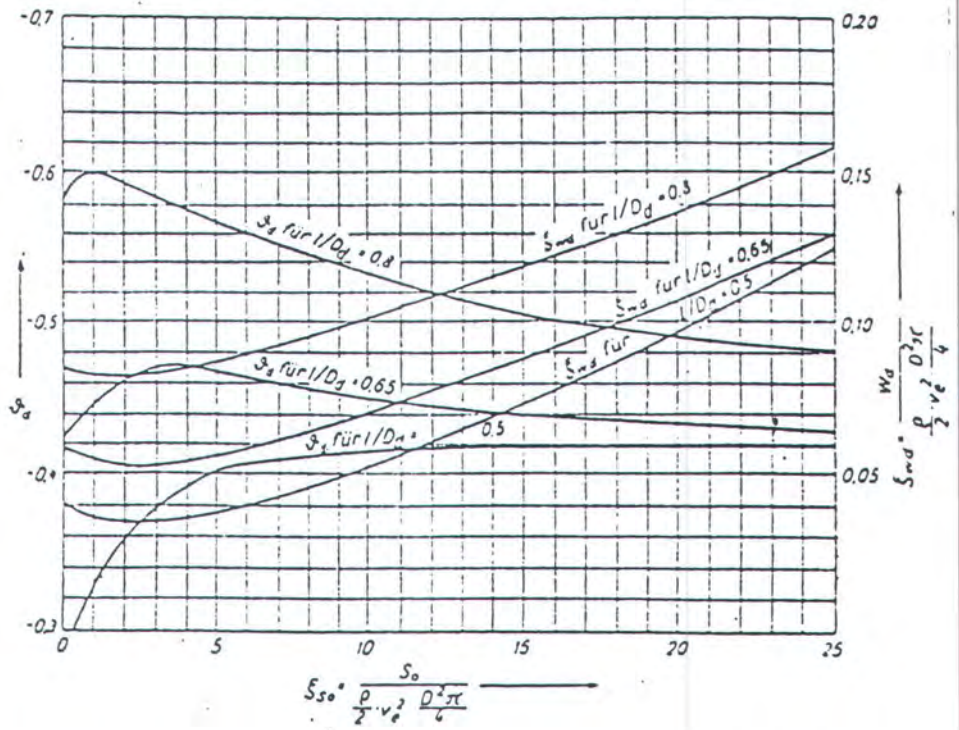
Dari harga C_{T0} diatas dapat ditentukan besarnya fraksi deduksi gaya dorong nosel (t_d) dan koefisien beban gaya dorong nosel (C_{Twd}) dengan menggunakan grafik pada gambar 4.2. dimana kedua besaran tersebut berturut-turut adalah : $t_d = -0,345$ dan $C_{Twd} = 0,035$. Pada gambar 4.2 t_d dinotasikan dengan v_d dan selalu berharga negatif sedangkan C_{Twd} dengan simbol ζ_{so} .

IV.2.2 Koefisien Maju Nosel

Dengan adanya penambahan nosel pada propeller maka besarnya kecepatan maju kapal akan berubah dimana besarnya perubahan tersebut tergantung pada harga *wake fraction* nosel w_d .

Wake fraction nosel (w_d) dapat dirumuskan dengan formula berikut :

$$w_d = t_d \left(1 + \frac{\theta_i}{2} \cdot \frac{2-t_d}{1-t_d} \right) \cdot C \quad (4.3)$$



Gambar 4.2 Grafik harga t_d dan $C_{tw,d}$ untuk beberapa bentuk nosel

dimana θ_i = perbandingan penambahan kecepatan dan dapat dihitung dengan rumus pendekatan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \theta_i &= -1 + \sqrt{1 + 0,89 \frac{C_{TO}}{1 - t_d}} & (4.4) \\ &= -1 + \sqrt{1 + 0,89 \frac{1,3845}{1 - (-0,34)}} \\ &= 0,38 \end{aligned}$$

sedangkan C adalah koefisien ratio l/D_d nosel.

Tabel 4.1 Koefisien rasio l/D_d

l/D_d	0,50	0,65	0,80
C	0,835	0,901	0,941

Dengan harga - harga diatas w_d dapat dihitung.

$$w_d = -0,34 \left(1 + \frac{0,38}{2} \frac{2-(-0,34)}{1-(-0,34)} \right) \cdot 0,835$$
$$= -0,378.$$

Dengan demikian koefisien maju kapal dengan nosel adalah :

$$V_d = Va (1 - w_d) \quad (4.5)$$
$$= 4,754 (1 - (-0.378))$$
$$= 5,512 \text{ m/s}$$

Selanjutnya dapat dihitung besarnya kecepatan air pada bidang propeller (U_1) dan kecepatan air dibelakang propeller (U_2),

$$U_1 = \frac{(1 + \tau \cdot C_{to})^{0.5} + 1 - 2\tau}{2\tau} V_d \quad (4.6)$$

$$U_2 = [(1 + C_{to})^{0.5} - 1] V_d \quad (4.7)$$

dimana t = loading fraction dari nosel

$$= \frac{1}{(1 - t_d)} \quad (4.8)$$
$$= \frac{1}{(1 - (-0,34))} = 0,75$$

sehingga U_1 dan U_2 berturut - turut adalah :

$$U_1 = \frac{(1 + 0,75 \cdot 1,3845)^{0.5} + 1 - 2 \cdot (0,75)}{2(0,75)} \cdot 5,512$$
$$= 3,409 \text{ m/s}$$

$$U_2 = [(1 + 1,3845)^{0.5} - 1] 5,512$$
$$= 2,3566 \text{ m/s}$$

Dari harga-harga besaran diatas selanjutnya dapat dihitung kecepatan aksial rata-rata pada bidang propeller (V_p) yaitu :

$$V_p = \frac{V_d + U_1}{U_1}$$
$$= \frac{5,512 + 3,409}{3,409}$$
$$= 2,617 \text{ m/s}$$

IV.2.3 Thrust dan Thrust Deduction Factor

Yang dimaksud dengan thrust deduction factor dalam sub bab ini adalah thrust deduction factor setelah pemasangan nosel pada propeller yang mana besarnya tentu saja berbeda dengan thrust deduction factor tanpa nosel. Thrust deduction factor (t_s') sistem propulsi dengan nosel propeller dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$t_s' = t \cdot \tau \sqrt{\frac{1 + C_{to}}{1 + \tau \cdot C_{to}}} \quad (4.9)$$

dimana t adalah thrust deduction factor tanpa nosel = 0,1607.

$$\begin{aligned} &= 0,1607 \cdot 0,75 \sqrt{\frac{1 + 1,3845}{1 + 0,75(1,3845)}} \\ &= 0,130 \end{aligned}$$

Sedangkan thrust yang dihasilkan oleh sistem nosel - propeller merupakan fungsi dari kecepatan maju (V_a), kecepatan air pada bidang propeller (U_1) dan kecepatan air dibelakang propeller (U_2). Dalam hal ini thrust yang dihasilkan sistem nosel - propeller dibedakan menjadi dua macam yaitu thrust total (T_T) yang merupakan jumlah thrust yang dihasilkan baik oleh nosel maupun propeller dan thrust yang dihasilkan oleh propeller (T_p) itu sendiri dimana keduanya dirumuskan dengan persamaan dibawah ini :

$$T_T = \rho [V_a + U_1] \pi/4 \cdot D^2 \cdot U_2 \quad (4.10)$$

$$T_p = \rho [V_a + 1/2 U_{12}] \pi/4 \cdot D^2 \cdot U_2 \quad (4.11)$$

dimana ρ = density air laut

U_1 = kecepatan air pada bidang propeller

U_2 = kecepatan air dibelakang propeller

V_a = kecepatan maju

dengan demikian besarnya thrust total (T_T) maupun thrust propeller (T_p) masing - masing adalah :

$$T_T = 1025 [5,512 + 3,409] \pi^4 (1,7)^2 \cdot 2,3655$$

$$= 49071,33 \text{ N}$$

$$T_p = 1025 [5,512 + 1/2 (2,3655)] \pi^4 (1,7)^2 \cdot 2,3655$$

$$= 36823,88 \text{ N}$$

Penambahan nosel pada propeller juga akan mengakibatkan *drag* atau tahanan (R_d) dimana besarnya tahanan tersebut adalah :

$$R_d = C_{Twd} \rho / 2 \cdot V_d^2 \cdot A_o$$

$$= 0,035 \cdot (1025/2) \cdot 5,512^2 \cdot 2,26865$$

$$= 1236,37 \text{ N}$$

Sedangkan peningkatan thrust yang dihasilkan oleh sistem nosel - propeller yang merupakan thrust total dikurangi dengan tahanan nosel adalah sebagai berikut :

$$T_{net} = T_T - R_d \quad (4.12)$$

$$= 49071,33 - 1236,37$$

$$= 47834,96 \text{ N}$$

Dengan demikian jika *net thrust* diatas kita bandingkan dengan thrust awal (*thrust tanpa nosel*) maka kenaikan thrust yang terjadi adalah sebesar :

$$\Delta T = T_{net} - T_{open \ propeller}$$

$$= 47834,96 - 37269,61$$

$$= 10565,35 \text{ N}$$

Jika kenaikan diatas diprosentasikan terhadap thrust awal tanpa nosel maka kenaikan thrust yang terjadi adalah :

$$\%T = \left(\frac{\Delta T}{T_{open \ propeller}} \right) \times 100 \%$$

$$= 28,3 \%$$

IV.2.4 Effisiensi Ideal Sistem

Effisiensi ideal sistem propulsi merupakan fungsi dari koefisien beban gaya dorong dan thrust ratio yang mana effisiensi ideal sistem tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}\eta_i &= \frac{2}{1 + \sqrt{1 + \tau \cdot C_{to}}} && (4.13) \\ &= \frac{2}{1 + \sqrt{1 + 0,75(1,3845)}} \\ &= 81,38 \%\end{aligned}$$

Jika effisiensi ideal tanpa nosel adalah sebesar 78,26 % berarti kenaikan effisiensi ideal yang terjadi adalah :

$$\begin{aligned}\Delta\eta_i &= \eta_{i_d} - \eta_{i_{op}} \\ &= 0,8138 - 0,7826 \\ &= 0,0312 \%\end{aligned}$$

atau jika diprosentasikan terhadap effisiensi awal adalah :

$$= (\Delta\eta_i / \eta_{i_{op}}) \times 100 \% = 3,98 \%$$

Dari perhitungan - perhitungan di atas dapat diprediksi bahwa jika sistem propulsi pada kapal tersebut dipasang dengan nosel pada propellernya akan terjadi kenaikan thrust sebesar 28,3 % dari thrust tanpa nosel sedangkan effisiensi ideal terjadi kenaikan sebesar 3,98 % dari effisiensi ideal tanpa nosel.

IV. 3 Karakteristik Steering Kapal

Dalam sub bab ini karakteristik steering yang akan dibahas adalah pengaruh pemasangan nosel terhadap sifat pengemudian kapal, dalam hal ini adalah besarnya *rate of turning* (r) dan *yaw angle* (Ψ) setelah waktu tertentu yang mana untuk menghitung kedua besaran tersebut sebelumnya akan dihitung dulu *moment rudder - nozzle coefficient* (C_1 dan C_2), *turning capacity* (K) dan *response time* (T).

IV.3 1 Rudder - Nozzle Force Coefficient

Rudder - nozzle force coefficient yang terdiri dari C_1 dan C_2 merupakan suatu konstanta yang besarnya sangat tergantung pada karakteristik dari rudder dan nosel yang mana masing-masing dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$C_1 = x_f \cdot \rho / 2 V_d^2 [ID + bc] [a_o + b_o b_l] N_R \quad (4.13)$$

$$C_2 = x_f \cdot \rho / 2 V_d^2 [ID + bc] [b_o - a_o a_l] N_D \quad (4.14)$$

dimana

x_f = jarak dari pusat gravitasi kapal (C_g) terhadap tengah-tengah antara rudder-nozzle yang besarnya $16,78 \text{ m}$

a_l ; b_l adalah koefisien rudder - nozzle aspek rasio yang diperoleh dari percobaan seperti tercantum pada tabel 4.2 dimana untuk nosel dengan dimensi $l/D = 0,5$, $a_l = 0,80$; $b_l = 0,0935$.

a_o ; b_o adalah koefisien yang dalam hal ini diperoleh dari grafik (*lihat lampiran*) dan masing-masing setelah diinterpolasi adalah $a_o = 0,015$ dan $b_o = 0,032$

l = panjang nosel (0,85 m)

D = diameter nosel (1,72 m)

b = tinggi kemudi (1,728 m)

c = lebar kemudi (1,125 m)

N_R dan N_D adalah jumlah kemudi dan nosel yang mana masing - masing = 2 buah.

Tabel 4.2 Koefisien rudder - nosel aspek rasio

Rudder aspect ratio $b/c = 1.52$ $b/D = 1.00$	Nozzle aspect ratio l/D	a_i	b_i
$2a/D = 0.1183$	0.40	0.73	0.0945
	0.50	0.80	0.0935
	0.60	0.86	0.0905
$2a/D = 1.00$	0.5	0.85	0.02

Dengan memasukkan harga - harga diatas didapatkan C_1 dan C_2 berturut - turut adalah :

$$C_1 = 16,78 \cdot 1025 / 2.5 \cdot 512^2 [0,85 \cdot 1,72 + 1,728 \cdot 1,125] [0,015 + 0,032 \cdot 0,0935] \cdot 2$$
$$= 63862,896$$

$$C_2 = 16,78 \cdot 1025 / 2.5 \cdot 512^2 [0,85 \cdot 1,72 + 1,728 \cdot 1,125] [0,032 - 0,015 \cdot 0,8] \cdot 2$$
$$= 26418,96$$

IV.3.2 Turning Capacity

Turning capacity untuk kapal dengan konfigurasi rudder-nosel yang baru dapat dihitung jika turning capacity untuk kapal lain yang sejenis telah diketahui. Jika turning capacity untuk kapal yang baru adalah :

$$K' = \frac{C'_1}{N'_r + (C'_1 + C'_2)C'_3} \quad (4.15)$$

sedangkan N_r dan C_3 diasumsikan tidak tergantung pada konfigurasi rudder - nosel, atau:

$$N_r' = N_r \quad (4.16)$$

$$C_3' = C_3 \quad (4.17)$$

dimana $C_3 = Xp / V_d$; $Xp = 0,75 \times \text{panjang kapal}$

maka jika persamaan 4.15 dan 2.79b disubstitusikan ke dalam persamaan 4.16 akan diperoleh persamaan untuk menghitung turning capacity kapal dengan konfigurasi rudder-nosel yang baru, dimana hasil substitusi tersebut adalah :

$$K' = K \left(\frac{C'_1}{C_1 + K [C'_3 (C'_1 + C'_2) - C_3 (C_1 + C_2)]} \right) \quad (4.18)$$

Koefisien C_1 dan C_2 untuk kapal yang telah diketahui turning capacity-nya juga telah diketahui dimana masing-masing adalah 687,54 dan 736,04 dan $K = 0,138$ sedangkan C_3 adalah :

$$\begin{aligned} C_3 &= 0,75 \cdot 40 / 5,512 \\ &= 5,03 \end{aligned}$$

maka turning capacity untuk kapal yang baru adalah :

$$\begin{aligned} K' &= 0,138 \left(\frac{63862,896}{687,54 + 0,138 [5,03 (63862,896 + 35418,96) - 5,03 (687,54 + 736,04)]} \right) \\ &= 0,142 \end{aligned}$$

IV.3.3 Response Time

Response time untuk kapal yang baru dapat dihitung sama seperti turning capacity yaitu jika salah satu dari turning capacity atau response time untuk kapal yang

digunakan sebagai pembanding telah diketahui, dalam hal ini yang telah diketahui adalah turning capacity-nya. Untuk menghitung response time digunakan persamaan berikut :

$$T' = \left(\frac{I' \cdot C'_1}{C_1 + K [C'_3 (C'_1 + C'_2) - C_3 (C_1 + C_2)]} \right) \quad (4.19)$$

dimana $I' = 750965,8$

dengan demikian T' untuk kapal yang baru adalah :

$$T' = \left(\frac{750965,8 \cdot 63862,896}{687,54 + 0,138 [5,03 (63862,896 + 26418,96) - 5,03 (687,54 + 736,04)]} \right)$$

$$= 1,66$$

IV.3.4 Rate of Turning

Rate of turning adalah laju perubahan derajat perputaran kapal per satuan waktu (r) yang dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$r = K \cdot \delta \theta (1 - e^{-t/T}) \quad (4.20)$$

dimana $\delta \theta$ = sudut kemudi

t = waktu

jika dimasukkan harga $K = 0,142$; $T = 1,66$ dan sudut kemudi maksimal adalah 35° , maka laju pengemudian kapal (*rate of turning*) setelah dicapai sudut kemudi maksimal sebesar 35° dapat dimodelkan secara matematis sebagai fungsi waktu, yaitu :

$$r = 0,142 \cdot 35 (1 - e^{-t/1,66})$$

Rate of turning ini berubah - ubah terhadap waktu dimana jika kita ambil salah satu contoh, misalnya $t = 10$ detik dimana pada waktu tersebut kemudi telah berputar $20,65^\circ$ maka *rate of turning* pada saat 10 detik setelah kemudi diputar adalah :

$$r = 0,142.35(1 - e^{-1.66})$$

$$= 2,925 \text{ } ^\circ/\text{s}$$

Untuk waktu yang berbeda besarnya *rate of turning* juga berubah dimana hasil perhitungan *rate of turning* untuk beberapa perubahan waktu dalam satuan *deg/s* ditunjukkan dalam tabel 4.3

IV.3.5 Heading Angle

Jika persamaan 4.20 diintegalkan maka akan menghasilkan persamaan baru yaitu :

$$\psi = K. \delta_o (t - T) + K. \delta_o T. e^{-1/T} \quad (2.21)$$

Persamaan diatas adalah persamaan untuk heading angle sebagai fungsi waktu :

Setelah beberapa waktu tertentu, misalnya $t \geq 3T$ maka :

$$K. \delta_o (t - T) \gg K. \delta_o T. e^{-1/T}$$

dan $\psi = K. \delta_o (t - T)$

Jika harga - harga K, T dimasukkan ke dalam persamaan 2.21 maka setelah waktu tertentu kapal akan berputar sebesar ψ derajat.

Sebagai perhitungan awal misalnya kita ambil contoh heading angle setelah kemudi berputar 20 detik dimana posisi kemudi adalah 35° maka heading angle pada saat tersebut adalah sebesar :

$$\psi = 0,142.35(20 - 1,66) + 0,142.35.1,66. e^{-20/1,66}$$

$$= 91.15 \text{ derajat}$$

Heading engle untuk waktu lainnya ditunjukkan pada tabel 4.4.

IV.4 Analisa Karakteristik Kapal

IV.4.1 Analisa Terhadap Karakteristik Propulsi Kapal

Telah dijelaskan dalam bab - bab sebelumnya bahwa karakteristik propulsi kapal yang dibahas dalam analisa ini adalah efek dari pemasangan nosel terhadap besarnya thrust yang dihasilkan propeller pada putaran dan diameter propeller yang sama serta kenaikan efisiensi ideal sistem propulsi.

Dalam perhitungan pada bab IV.2.3 terjadi kenaikan thrust sebesar $10,56533 \text{ KN}$ atau $28,3 \%$ lebih besar dari pada thrust pada sistem propulsi tanpa nosel. Kenaikan thrust diatas terjadi karena dengan penambahan nosel luas diameter diskus baling - baling menjadi lebih kecil yang mana hal ini mengakibatkan kenaikan tekanan air didiskus tersebut. Dengan kenaikan tekanan ini kecepatan air yang mengalir akan bertambah. Karena thrust merupakan fungsi dari kecepatan air yang melalui diskus baling -baling dan berbanding lurus atau $T = f(v_a, u_p, u_2)$ k dimana k adalah konstanta yang merupakan luas diameter propeller maka thrust yang dihasilkan akan mengalami peningkatan. Namun demikian peningkatan kecepatan aliran air akan menyebabkan turunnya tekanan pada daerah tersebut dimana dengan penurunan tekanan ini akan menimbulkan resiko kavitasi yang lebih besar baik pada propeller maupun nosel. Untuk menghindari resiko kavitasi tersebut salah satu cara yang dilakukan adalah dengan mengoptimalkan dimensi nosel terutama panjang, diameter dan bentuk penampang longitudinalnya.

Sedangkan kenaikan efisiensi ideal disebabkan karena penurunan beban gaya dorong propeller (C_p) karena efisiensi ideal berbanding terbalik dengan koefisien beban gaya dorong. Penurunan beban gaya dorong tersebut disebabkan karena adanya kenaikan thrust yang dihasilkan oleh propeller sementara gaya dorong yang diperlukan untuk

menggerakkan kapal dengan kecepatan V_s tetap. Untuk selanjutnya dari persamaan - persamaan pada sub bab IV.2 dapat dibuat suatu grafik yang menghubungkan antara koefisien beban gaya dorong (C_T) dengan efisiensi ideal untuk rasio thrust tertentu yaitu sebesar 0,75. Rasio thrust (τ) didefinisikan sebagai perbandingan antara thrust propeller dengan thrust total. Untuk propeller tanpa nosel rasio thrust sama dengan 1 ($\tau = 1$) sedangkan sistem propulsi dengan nosel propeller rasio thrust kurang dari 1 ($\tau < 1$).

Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada koefisien beban gaya dorong yang sama efisiensi ideal sistem propulsi pada kapal dengan nosel propeller lebih tinggi dari pada efisiensi ideal kapal tanpa nosel. Dan dengan semakin besarnya beban gaya dorong propeller maka efisiensi ideal sistem propulsi semakin tinggi.

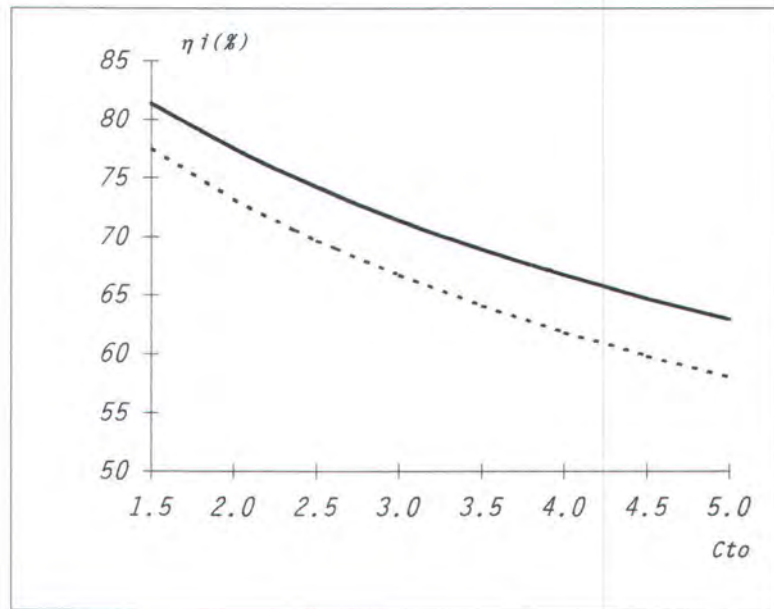
Tabel 4.3 Hasil perhitungan efisiensi ideal pada beberapa harga C_T

C_T	τ	td	C_{twd}	η_i	η_i'
1.5	0.75	-0.345	0.0352	0.8137	0.7749
2.0	0.75	-0.358	0.0355	0.7749	0.7321
2.5	0.75	-0.370	0.0355	0.7420	0.6967
3.0	0.75	-0.380	0.0355	0.7136	0.6667
3.5	0.75	-0.387	0.0425	0.6887	0.6408
4.0	0.75	-0.390	0.0490	0.6667	0.6186
4.5	0.75	-0.399	0.0495	0.6469	0.5979
5.0	0.75	-0.401	0.0510	0.6290	0.5780

Keterangan :

η_i = efisiensi ideal kapal dengan nosel propeler

η_i' = efisiensi ideal kapal tanpa nosel propeler



Keterangan :

- = efisiensi ideal kapal dengan nosel propeler
 = efisiensi ideal kapal tanpa nosel propeler

Gambar 4.3 Grafik efisiensi ideal pada beberapa harga C_{To}

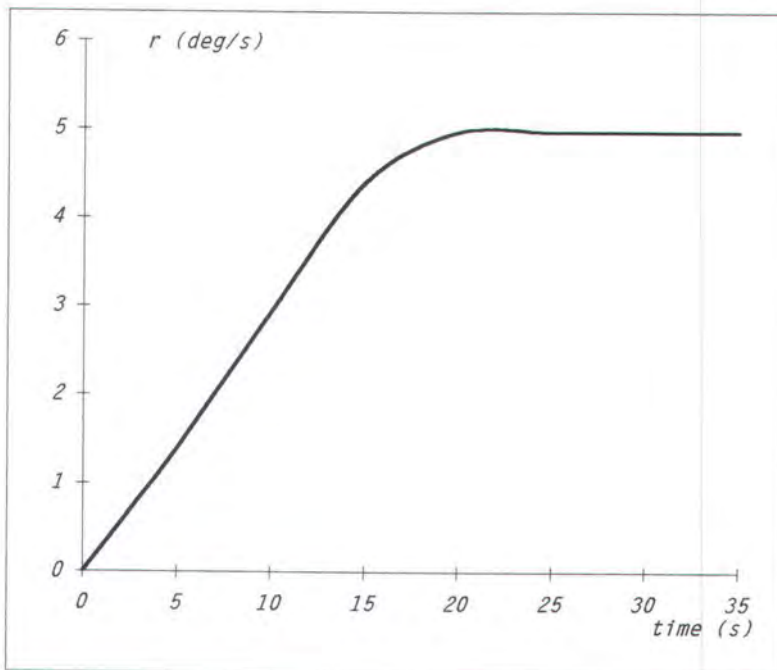
IV.4.2 Analisa Terhadap Karakteristik Steering Kapal

Karakteristik steering kapal yang akan diprediksi untuk dianalisa dalam sub bab ini adalah dampak pemasangan nosel terhadap *rate of turning* dan *heading angle*. Dari beberapa perhitungan di sub bab IV.3 dapat dilihat beberapa harga *rate of turning* dan *heading angle* untuk waktu tertentu. Untuk *heading angle* hasil perhitungan pada sub bab IV.3.5 jika dibandingkan dengan hasil sea trial akan lebih besar hal ini disebabkan karena dengan pemakaian nosel besarnya gaya (*force*) pada rudder - nozzle akan lebih besar sehingga rudder - nozzle force coefficient (C_1 dan C_2) akan naik.. Hasil perhitungan

rate of turning dan heading angle untuk waktu tertentu masing - masing terlihat pada tabel 4.4 dan tabel 4.5 sedangkan grafiknya nampak pada gambar 4.4 dan gambar 4.5

Tabel 4.3 Hasil perhitungan rate of turning sebagai fungsi waktu

time (second)	δ_o (deg)	K	T	r (deg/s)
0	0	0,142	1,66	0
5	10,32	0,142	1,66	1,3934
10	20,65	0,142	1,66	2,9252
15	30,97	0,142	1,66	4,3972
20	35	0,142	1,66	4,9699
25	35	0,142	1,66	4,9700
30	36	0,142	1,66	4,9700
35	35	0,142	1,66	4,9700



Gambar 4.4 Grafik hubungan rate of turning vs time

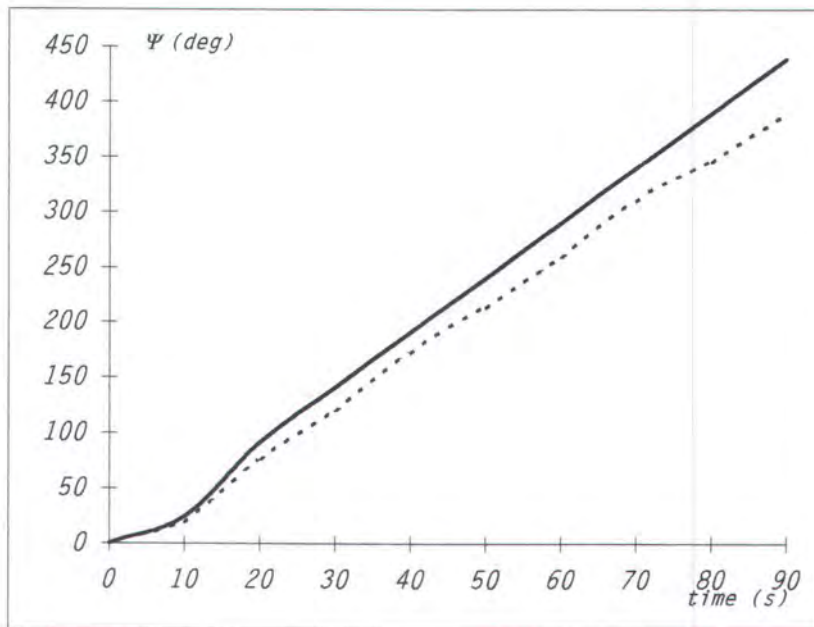
Tabel 4.5 Hasil perhitungan heading angle sebagai fungsi waktu

time (second)	δ_0 (deg)	K	T	Ψ (deg)	Ψ' (deg)
0	0	0,142	1,66	0	0
10	20,65	0,142	1,66	24,01	19
20	35	0,142	1,66	91,15	75
30	35	0,142	1,66	140,85	119
40	35	0,142	1,66	190,55	172
50	35	0,142	1,66	240,25	213
60	35	0,142	1,66	289,95	258
70	35	0,142	1,66	339,65	310
80	35	0,142	1,66	389,35	345
90	35	0,142	1,66	439,05	387

Keterangan :

Ψ = heading angle kapal dengan nosel propeler

Ψ' = heading angle kapal tanpa nosel propeler



Keterangan :

———— = heading angle kapal dengan nosel propeler

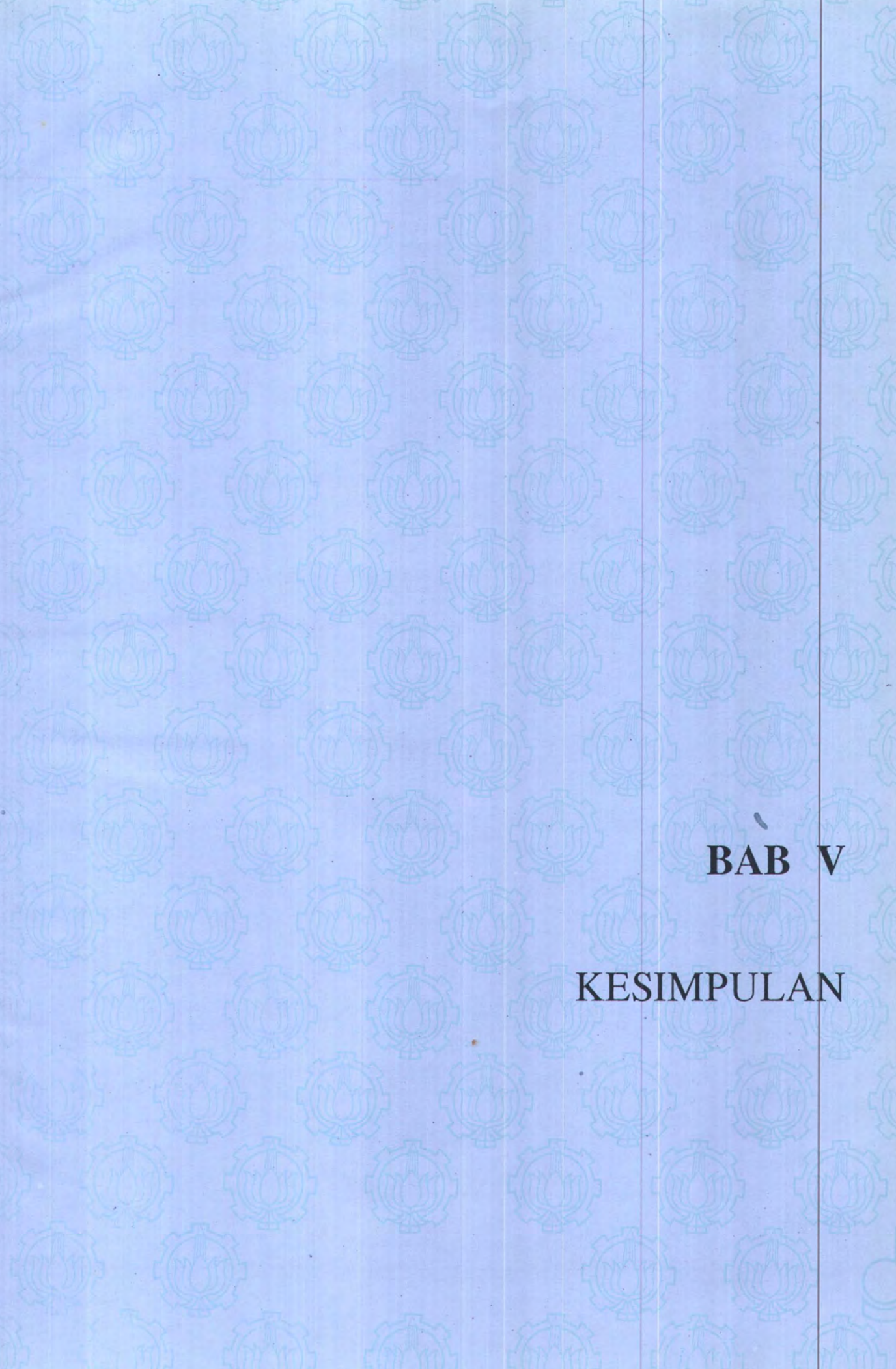
..... = heading angle kapal tanpa nosel propeler

Gambar 4.5 Grafik hubungan heading angle vs time

Pada gambar 4.4 dapat dilihat laju perputaran kapal (*rate of turning*) pada saat beberapa detik setelah kemudi diputar, misalnya 4 detik setelah kemudi diputar laju perputaran kapal adalah *1,0675 derajat per detik*, setelah 6 detik *1,7120 derajat per detik* ; demikian seterusnya. sampai dicapai keadaan dimana *rate of turning* adalah konstan.

Sedangkan pada gambar 4.5 nampak bahwa grafik heading angle untuk kapal dengan nosel propeller lebih tinggi dari pada heading angle kapal tanpa nosel hal ini berarti bahwa pada waktu yang sama kapal dengan nosel propeller telah mencapai sudut haluan yang lebih besar jika dibandingkan dengan kapal tanpa nosel. Hal ini terjadi karena pada sistem propulsi dengan konfigurasi rudder - nosel - propeller mempunyai *rudder - nozzle force* yang lebih besar.





BAB V

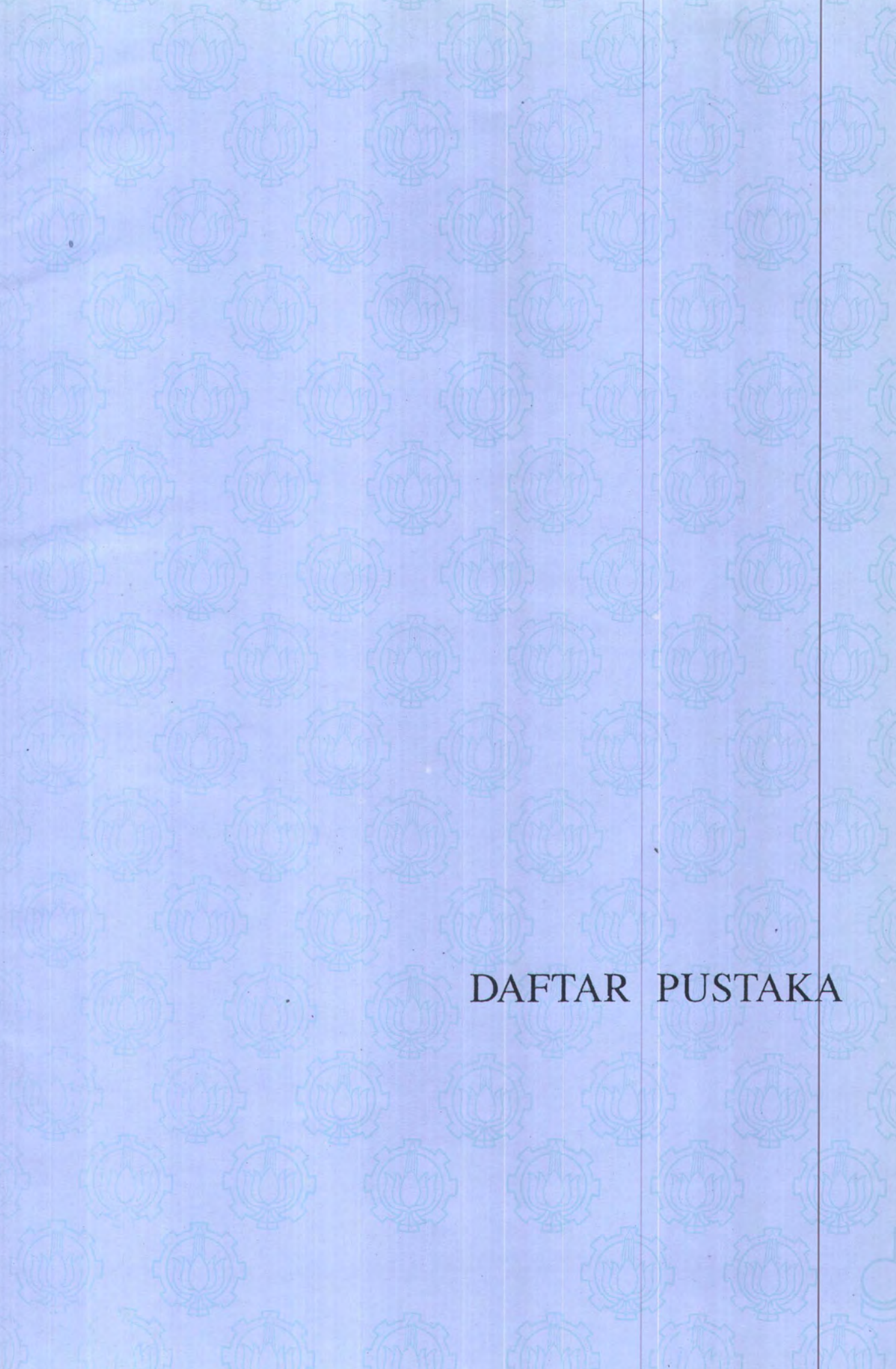
KESIMPULAN

BAB V

KESIMPULAN

Dari perhitungan-perhitungan dan analisa yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemasangan nosel pada propeller menyebabkan penyempitan luas diskus aliran air dibelakang propeller dimana dengan adanya penyempitan luas diskus tersebut kecepatan aliran air akan bertambah dan mampu meningkatkan thrust sebesar $10,56535 KN$ atau $28,3 \%$ lebih tinggi dari pada thrust tanpa nosel.
2. Kenaikkan thrust diatas menyebabkan turunnya koefisien beban gaya dorong. Dengan berkurangnya koefisien beban gaya dorong, efisiensi ideal sistem akan naik sebesar $3,12 \%$ atau $3,98 \%$ lebih tinggi dari pada efisiensi ideal tanpa nosel.
3. Dampak pemakaian sistem proplusi nosel-propeller terhadap sifat pengemudian kapal adalah meningkatnya rate of turning dan heading angle kapal tersebut yang berarti bahwa dengan waktu putar dan sudut kemudi yang sama kapal akan mampu berputar lebih cepat jika dibandingkan dengan kapal yang menggunakan unit propulsi konvensional (tanpa nosel).



DAFTAR PUSTAKA

Daftar Pustaka

1. **Dr. Ir. M. WC. Oosterveld** : " *Wake Adapted Ducted Propeller*", Publication no.345, Natherlands Ship Model Basin, Wageningen - Natherlands.
2. **Frank M. White** : " *Mekanika Zat Alir* " , Erlangga, Jakarta, 1986.
3. **H. Scheecluth** : " *Ship Design For Efficiency and Economy* ", Butterworths and Co Ltd, first edition, 1987.
4. **Masatako Fujiono** : " *Lecture On Ship Maneuverability - Prediction of Maneuverability Performance* " , University of Tokyo, Sept - 1985.
5. **Masataka Fujiono** : " *Maneuverability In Restricted Water State Of The Art* " , The Preparation Of This Paper Was Supprted By a Grant From The Nation Science Foundation (Grant GK 43878X), Departement of Naval Architecture And Marine Engineering, The University Of Michigan Ann Arbor, Michigan 48109, No. 184 August 1976.
6. **Proceedings** : " *Marsim And ICSM 90*", The Siciaty of Naval Architects of Japan, Japan Shipbuilding Industry Foundation, Tokyo, June 4 - 7 1990.
7. **Sv. Aa. Harvald** : " *Tahanan dan Propulsi Kapal* " , Airlangga University Press, 1992



LAMPIRAN

Nozzle no.	L/D	S/L	f/L	α_1 (degr.)	Profile
18	0.50	0.15	0.09	10.2	NACA 94
19	0.50	0.15	0.07	10.2	NACA 74
20	0.50	0.15	0.05	10.2	NACA 54

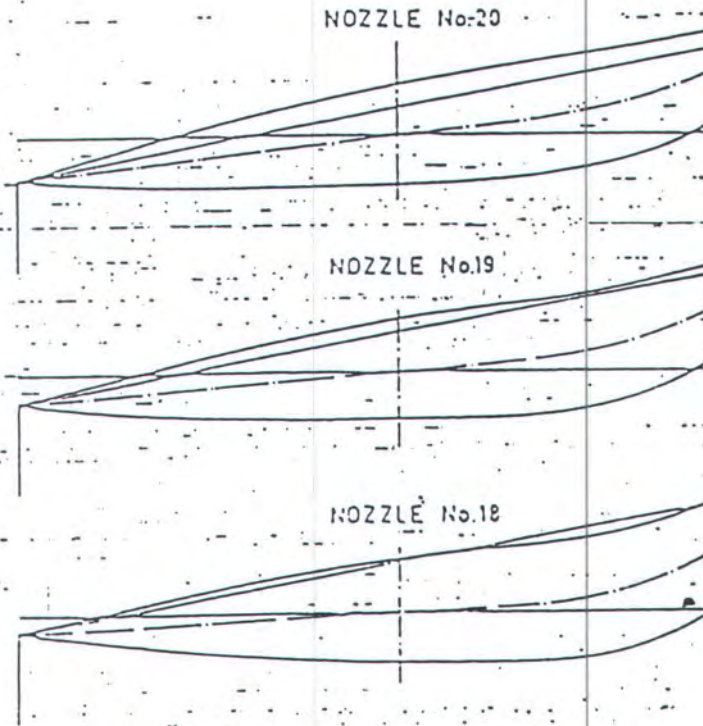


FIG. 17. Profiles of nozzles nos. 18, 19 and 20.

Lampiran 2 : Diagram open water test propeller Ka - 4.55 dengan nosel no. 19 A

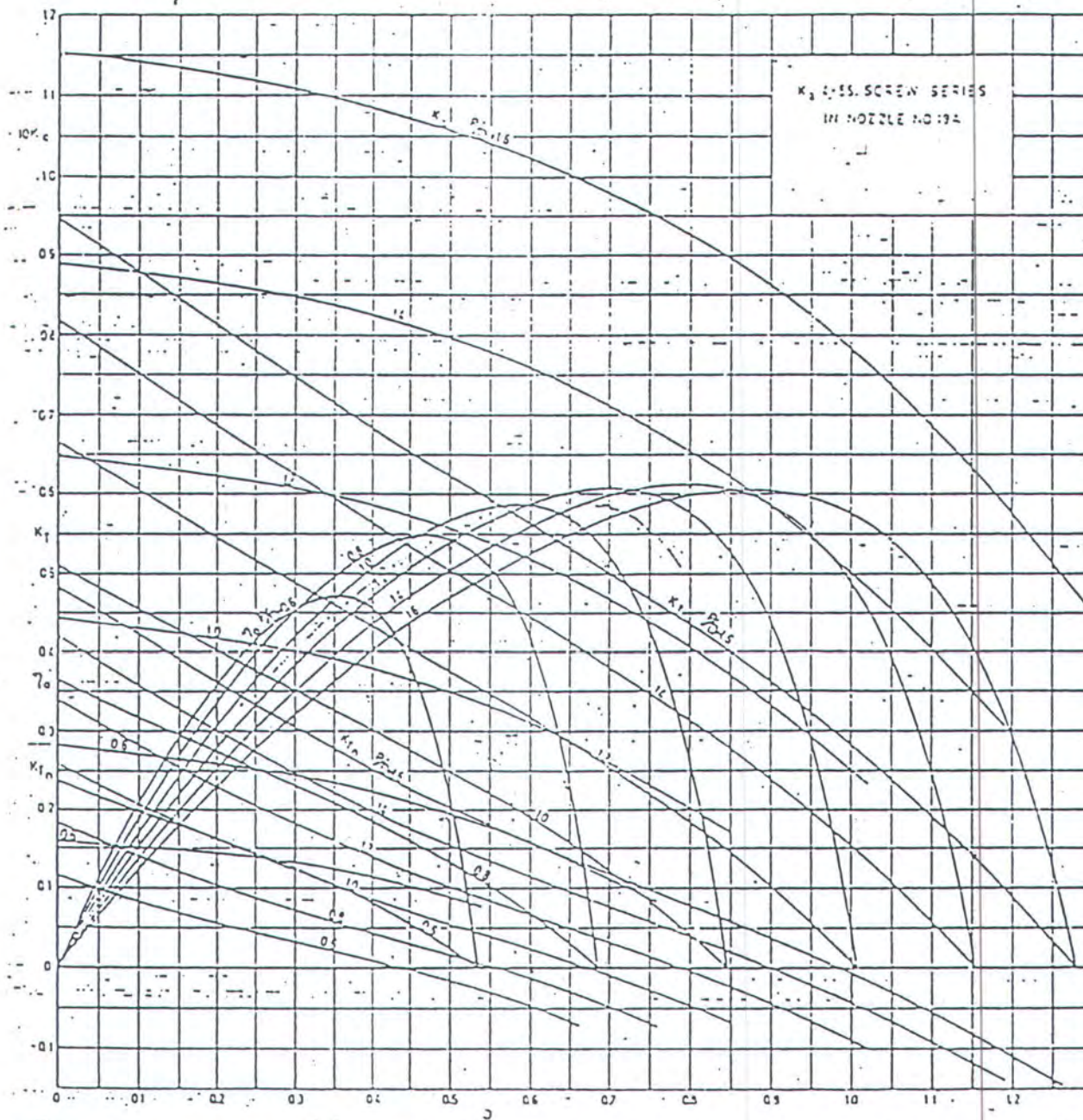


FIG. 22. Open-water test results of Ka 4-55 screw series with nozzle no. 19A.

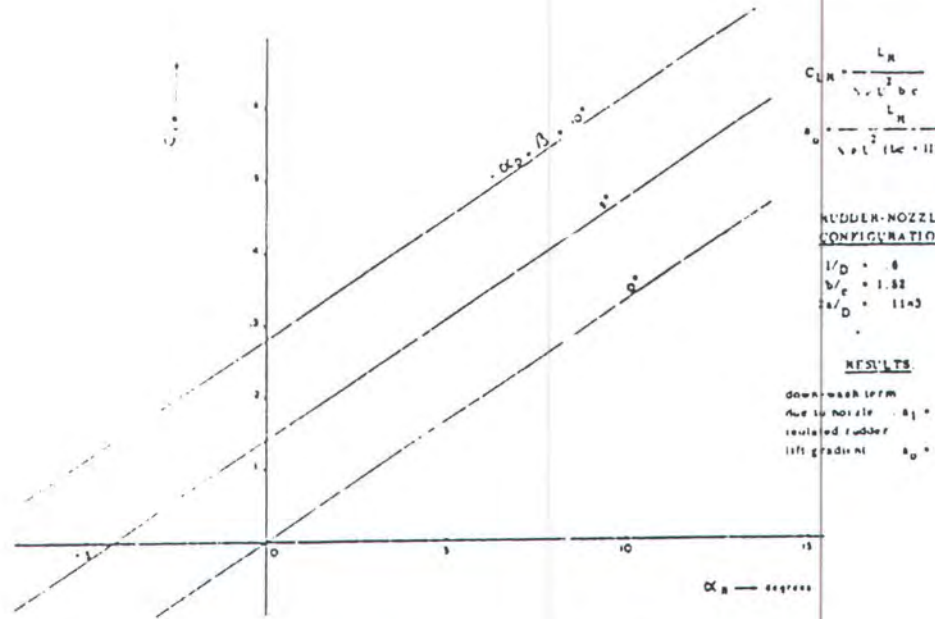


Figure 5. Influence of nozzle on rudder lift characteristics.

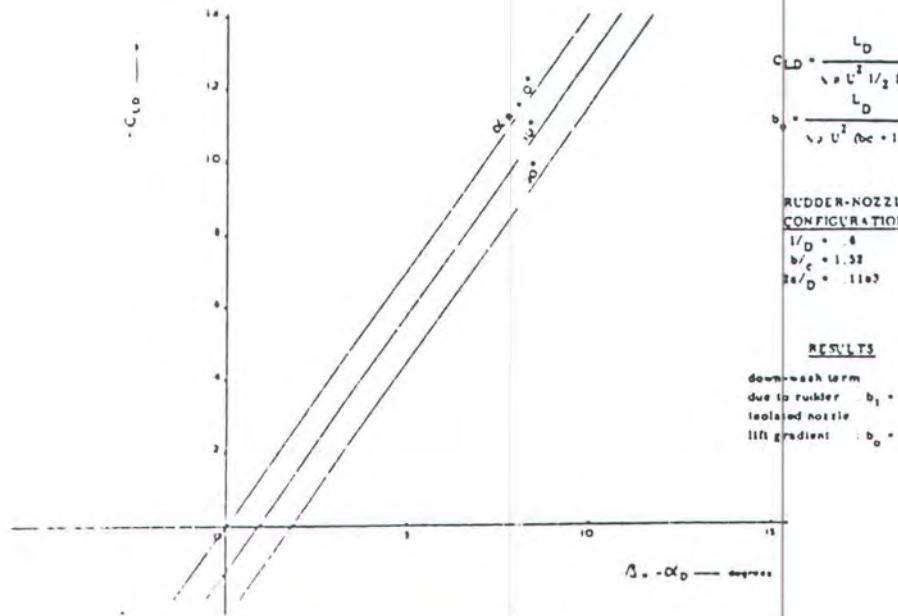


Figure 6. Influence of rudder on nozzle lift characteristics.

Lampiran 4 : Tabel hasil pengujian propeller Ka 4.55 dengan nosel no. 19 A

PROPPELLER		Ka 4-55		NOZZLE 19A
n	T	C _T	C _M	C _D
0	0	-.375000	-.043100	-.034700
	1	-.203050	0.0	-.018588
	2	-.010304	0.0	0.0
	3	-2.744930	-.443741	0.0
	4	0.0	-.244628	-.195582
	5	0.0	0.0	-.317452
6	0.0	-.067548	0.0	-.093732
1	0	2.630070	.244461	-.158951
	1	-.192301	-.378464	-.048433
	2	-.411743	1.116520	0.0
	3	4.319840	-.731933	-.024157
	4	-.341290	0.0	0.0
	5	0.0	0.0	-.123374
6	0.0	-.099165	0.0	
2	0	-3.031670	0.0	-.212253
	1	0.0	-.146170	0.0
	2	0.0	-.917516	0.0
	3	-2.007860	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	
3	0	2.436970	.663184	-.154133
	1	0.0	.174941	0.0
	2	0.0	.102331	0.0
	3	-.391304	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	
4	0	-.394962	0.0	0.0
	1	0.0	0.0	.030740
	2	0.0	0.0	.073587
	3	0.0	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	
5	0	0.0	0.0	-.031826
	1	.013742	0.0	-.014568
	2	0.0	0.0	-.109363
	3	0.0	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	.043862
	5	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	
6	0	.043782	-.068181	.007947
	1	0.0	0.0	0.0
	2	0.0	0.0	.038275
	3	0.0	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	-.031971
	5	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	.000700	
0	7	0.0	-.044319	-.022210



PT. DOK DAN PERKAPALAN SURABAYA
(PERSERO)

LAPORAN HASIL PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU
TEST RECORD FOR NEW SHIPBUILDING

PROYEK
Project:

NO. PEMBANGUNAN: N562.
Building No.

HAL:
Page

DARI:
From

PERCOBAAN GERAK MELINGKAR
Turning Circle Test

TANGGAL PERCOBAAN <i>Date of test</i>	30 NOV 86	TEMPERATUR <i>Temperature</i>	UDARA <i>Air</i>	34°	(C)
TEMPAT PERCOBAAN <i>Place of test</i>	Laut Jawa		AIR LAUT <i>Sea Water</i>	31°	(C)
KEDALAMAN LAUT <i>Depth of Sea</i>	22 m		DEPAN <i>fore</i>	1.5	(M)
JARAK PENGUKURAN <i>Measuring Space</i>		SARAT <i>Draft</i>	TENGAH <i>Middle</i>	2.22	(M)
ARAH ANGIN <i>Wind Direction</i>			BELAKANG <i>After</i>	2.94	(M)
KECEPATAN ANGIN <i>Wind Speed</i>	6.0 Knot	PERBEDAAN SARAT <i>Trim</i>		1.44	(M)
KEADAAN LAUT <i>Sea Condition</i>	Terang	DISPLACEMENT <i>Displacement</i>		448.50	(T)
CUACA <i>Weather</i>	Berawan	KEITENGGELAMAN PROPELLER <i>Propeller Imersion</i>		117	(%)

PERCOBAAN GERAK MELINGKAR <i>Turning Circle Test</i>	KE KIRI <i>To Port</i>	KE KANAN <i>To Starbord</i>
PUTARAN KETENTUAN (RPM) <i>Definite Rotation</i>	1350	1350
PUTARAN KENYATAAN (RPM) <i>Actual Rotation</i>	1300	1300
SUDUT KEMUDI (DEGRE) <i>Rudder Angle</i>	35°	35°
WAKTU KAPAL MELINGKAR (DET) <i>Time of the Turning Ship</i>	81'60"	85'48"
DIAMETER GERAK MELINGKAR (M) <i>Turning Circle Diameter</i>		
SUDUT KEMIRINGAN KAPAL MAX. (°) <i>Ship Helling Max.</i>	6	4
WAKTU KEMUDI BERPUTAR (DET) <i>Time of The Turning Rudder</i>	17.02	16.95



PT. DOK DAN PERKAPALAN SURABAYA
(PERSERO)

LAPORAN HASIL PEMERIKSAAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU

PROYEK
Project:

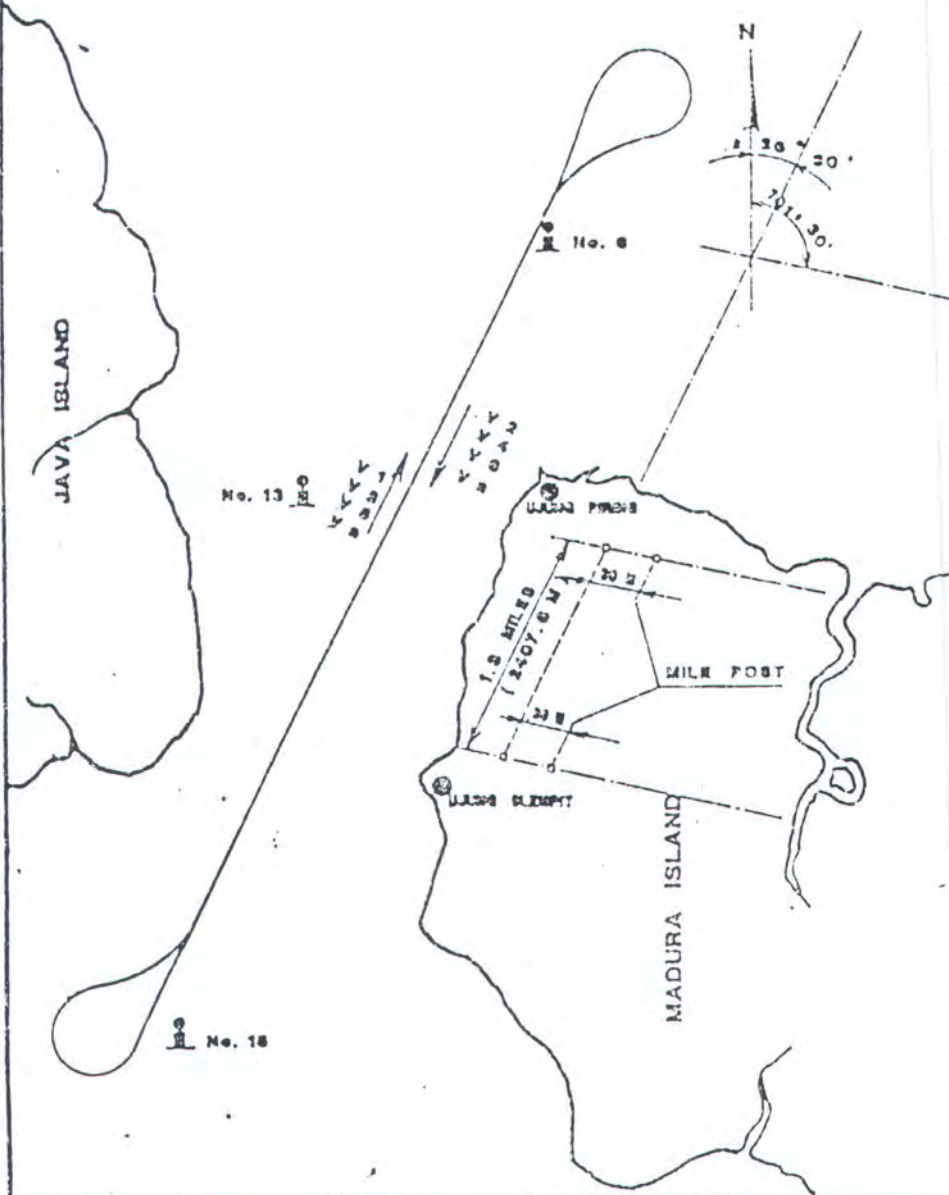
TEST RECORD FOR NEW SHIPBUILDING

NO. PEMBANGUNAN: N562
Building No.

HAL: Page

DARI: From

PERCOBAAN KECEATAN *Progressive Speed Trial*



ONE DOUBLE RUNS



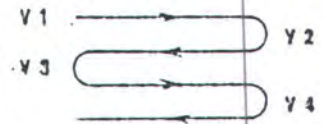
$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

THREE RUNS



$$V_m = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{4}$$

TWO DOUBLE RUNS



$$V_m = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}{8}$$

GENERAL OBJECTIONS (IF ANY)



PT. LOK DAN PERKAPALAN SURABAYA
(PERSERO)

LAYANAN HUBUNG PEMERINTAHAN
UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU
TEST RECORD FOR NEW SHIP BUILDING

PROYEK
Project:

NO. PEMBANGUNAN: 1562
Building No.

HELM
Page

KAPAL
Ship

TURNING CIRCLE TEST
LINGKAR KANAN (S)

E	F	G	H	E	F	G	H
WAKTU KETENTUAN (men - det)	HALUAN KAPAL	PERUBAHAN HALUAN	RPM KENYATAAN (rpm)	WAKTU KETENTUAN (men - det)	HALUAN KAPAL	PERUBAHAN HALUAN	RPM KENYATAAN (rpm)
0 - 0	205	0	1350	4 - 0			
0 - 10	224	19	1300	4 - 10			
0 - 20	280	75	1300	4 - 20			
0 - 30	324	119	1300	4 - 30			
0 - 40	17	172	1300	4 - 40			
0 - 50	58	213	1300	4 - 50			
1 - 0	103	258	1300	5 - 0			
1 - 10	155	310	1300	5 - 10			
1 - 20	190	345	1300	5 - 20			
1 - 30	232	27	1300	5 - 30			
1 - 40				5 - 40			
1 - 50				5 - 50			
2 - 0				6 - 0			
2 - 10				6 - 10			
2 - 20				6 - 20			
2 - 30				6 - 30			
2 - 40				6 - 40			
2 - 50				6 - 50			
3 - 0				7 - 0			
3 - 10				7 - 10			
3 - 20				7 - 20			
3 - 30				7 - 30			
3 - 40				7 - 40			
3 - 50				7 - 50			