



TUGAS AKHIR – ME 141501

ANALISA TEKNO EKONOMI APLIKASI *FLETTNER*  
*ROTOR* PADA KAPAL KONTAINER DWT 4000 TON

ARRIJAL YUDHA PRAWIRA  
NRP. 4211 100 053

Dosen Pembimbing  
Ir. Agoes Santoso, M.Sc.

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017





FINAL PROJECT – ME 141501

ECONOMIC TECHNO ANALYSIS OF ROTOR  
FLETTNER IN CONTAINER CARRIER WITH DWT  
4000

ARRIJAL YUDHA PRAWIRA  
NRP. 4211 100 053

Supervisor  
Ir. Agoes Santoso, M.Sc.

Department of Marine Engineering  
Faculty of Marine Technology  
Institute Technology of Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017



**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISA TEKNO EKONOMI APLIKASI  
FLETTNER ROTOR PADA KAPAL KONTAINER  
4000 DWT**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Marine Manufacturing and Design (MMD)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem  
Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ARRIJAL YUDHA PRAWIRA**

NRP. 4211 100 053

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Agoes Santoso, M.Sc



Surabaya  
Januari, 2017

“halaman ini sengaja dikosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISA TEKNO EKONOMI APLIKASI  
FLETTNER ROTOR PADA KAPAL KONTAINER  
4000 DWT**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Marine Manufacturing and Design (MMD)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem  
Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ARRIJAL YUDHA PRAWIRA**

NRP. 4211 100 053

Disetujui oleh Ketua Departemen Teknik Sistem  
Perkapalan


Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST, MT  
NIP. 1997.0802 2008 01 1007

Surabaya  
Januari, 2017

## **Analisa Tekno Ekonomi Aplikasi *Flettner Rotor* pada Kapal Kontainer dengan DWT 4000**

**Nama Mahasiswa : Arrijal Yudha Prawira**  
**NRP : 4211100053**  
**Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan**  
**Dosen Pembimbing : Ir. Agoes Santoso, M.Sc.**

### **Abstrak**

Flettner rotor merupakan salah satu teknologi lama yang kembali dikembangkan dan digunakan pada abad 21 ini. Teknologi ini sangatlah sederhana, berbentuk silinder panjang, terpasang diatas dek kapal, dan berputar menggunakan motor listrik. Alat ini memanfaatkan tenaga angin dan mengaplikasikan efek magnus untuk menghasilkan gaya dorong. Flettner rotor sangat berpengaruh pada kondisi angin di laut. Oleh karena itu, sebelum melakukan tahap perancangan, dilakukan survey terhadap kondisi angin pada jalur pelayaran yang akan dilalui. Jika memungkinkan untuk digunakan flettner rotor, tahap perancangan dapat dilakukan.

Teknologi ini selain menguntungkan dari sisi ekonomi, juga menguntungkan dari aspek lingkungan. Flettner rotor dapat mengurangi jumlah emisi yang dikeluarkan oleh kapal. Alat ini membantu memperoleh energy yang dibutuhkan oleh kapal yang kemudian nanti bahan bakar yang dikeluarkan oleh kapal juga tereduksi.



“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Dengan berkurangnya penggunaan bahan bakar saat berlayar ini, emisi yang timbul akibat bahan bakar ini juga berkurang, sehingga, teknologi ini bisa dikatakan merupakan teknologi ramah lingkungan yang bisa dijadikan suatu terobosan inovasi lebih canggih lagi kedepannya.

*Kata Kunci : CFD, Emisi, Flettner rotor, Tekno Ekonomi*

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

## **Economic Techno Analysis of Rotor Flettner in Container Carrier with DWT 4000**

**Name** : Arrijal Yudha Prawira  
**NRP** : 4211100053  
**Jurusan** : Marine Engineering  
**Supervisor** : Ir. Agoes Santoso, M.Sc.

### **Abstract**

Rotor flettner is a kind of technology which developed and used in 21st century. This technology is very simple, cylindrical in shape, applied in the upper deck, and rotated by the electrical motor. This technology uses wind energy and applying magnus effect to create propulsion force. Rotor flettner depends on the condition of the sea wind. The designer has to check the weather condition in its route before make a design of rotor flettner.

This kind of technology is not only useful for the economic side, but also, for the environment. Rotor flettner can reduce the emission of a ship. It helps to gain some power to increase in fuel saving.

The emission can be decreased by the increasing of fuel saving. So, this technology is a kind of environmentally friendly technology that can be used for the future innovation.

*Keyword : CFD, Emission, Flettner rotor, Economic Techno*

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

## **Kata Pengantar**

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, taufiq, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir berjudul “Analisa Tekno Ekonomi Aplikasi *Flettner Rotor* pada Kapal Kontainer dengan DWT 4000 Ton”.

Penyelesaian tugas akhir ini bukan hanya semata-mata kerja seorang diri dari penulis, banyak sekali pihak-pihak yang turut membantu kesuksesan penyelesaian tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis ingin berterimakasih dan memberikan apresiasi setinggi tingginya kepada pihak yang turut membantu penyelesaian tugas akhir ini.

Tugas akhir ini saya dedikasikan untuk:

1. Ibu, Alm. Bapak, dan seluruh keluarga yang selalu mendoakan, memberikan dukungan dan selalu menjadi penyemangat bagi penulis untuk terus berjuang.
2. Bapak Ir. Agoes Santoso, M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir dan Bapak Ir. Tony Bambang M, PGD. MMT., selaku dosen wali atas pelajaran baik tentang materi kuliah maupun motivasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Teman-teman serta seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu sehingga tugas akhir bisa terselesaikan dengan lancar.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

## **Daftar Isi**

Kata Pengantar .....	x
Daftar Isi .....	xii
Daftar Gambar.....	xv
Daftar Tabel .....	xv
Daftar Persamaan .....	xvi
BAB 1 .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan .....	4
1.5 Manfaat .....	5
BAB 2 .....	7
TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Flettner Rotor .....	7
2.2 Tekanan Udara Wilayah Surabaya – Balikpapan .....	10
2.3 Konsep Tekno Ekonomi.....	11
2.4 Tekno Ekonomi Kapal .....	14
2.5 Perhitungan Propulsion Force Flettner Rotor dan Power Saving .....	16



2.5.1 Perhitungan Power Contribution Flettner Rotor.....	16
2.5.2 Perhitungan Power Saving .....	17
2.5.3 Perhitungan Propulsion Force .....	17
2.5.4 Perhitungan Tahanan Kapal setelah Dipasang Flettner Rotor .....	18
BAB 3.....	19
METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	21
3.2 Studi Pustaka.....	21
3.3 Tahap Pengumpulan Data .....	21
3.4 Analisa Teknis.....	22
3.5 Analisa Tekno Ekonomi.....	22
3.6 Kesimpulan.....	22
BAB 4.....	23
ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	23
4.1 Karakteristik Kapal .....	23
4.2 Harga Bahan Bakar .....	24
4.3 Karakteristik Flettner Rotor .....	24
4.4 Hasil Simulasi CFD.....	25
4.5 Karakteristik Angin Jalur Pelayaran Surabaya-Balikpapan.....	26

4.6 Perhitungan Tahanan, Thrust Power, Delivered Power, Shaft Power, dan Brake Power Kapal Pemandang	26
4.6.1 Perhitungan Volume Displasmen.....	26
4.6.2 Perhitungan Berat Displasmen .....	27
4.5.3. Luas Permukaan Basah .....	28
4.6.4. Nilai Froud Number .....	28
4.6.5. Nilai Reynold Number .....	29
4.6.6. Tahanan Gesek (Friction Coefficient).....	29
4.6.7. Tahanan Sisa (Coefficient Resitance) .....	30
4.6.8. Tahanan Tambahan .....	34
4.6.9. Tahanan Udara .....	36
4.6.10. Tahanan Kemudi .....	36
4.6.11. Tahanan Total Kapal.....	37
4.6.12 Perhitungan Kebutuhan Power Motor.....	38
4.7 Perhitungan Power Contribution Flettner Rotor .....	45
4.8 Perhitungan Propulsion Force Flettner Rotor .....	46
4.8 Perhitungan Tahanan Kapal dan Daya dengan Penambahan Flettner Rotor.....	46
4.9 Perhitungan Power Saving .....	47
5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran.....	50

DAFTAR PUSTAKA .....	51
----------------------	----

### **Daftar Gambar**

Gambar 1.1 Grafik Perkembangan Penggunaan Bahan Bakar Kapal dari Masa ke Masa .....	
Gambar 1. 2 Grafik Kadar CO2 diatas Permukaan Laut dari Masa ke Masa.....	
Gambar 2. 1 Skema Efek Magnus pada Flettner Rotor.....	
Gambar 2.2 Ilustrasi Aplikasi Flettner Rotor pada Kapal .....	
Gambar 2. 3 Kondisi Arah Angin Pada Musim Hujan ( A ) dan Musim Kemarau ( B ).....	
Gambar 3. 1 Flowchart Metode Penelitian.....	

### **Daftar Tabel**

Tabel 4. 1 Data Kapal pembanding ARIFE .....	23
Tabel 4. 2 Hasil Simulasi CFD.....	25
Tabel 4. 3 Harga CA pada displasmen tertentu.....	35
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Tahanan Kapal Tanpa Flettner Rotor .....	38
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Daya tanpa Flettner Rotor ...	44
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Propulsion Force.....	45
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Tahanan Kapal dan Daya Kapal Setelah Dipasang Flettner Rotor .....	

## **Daftar Persamaan**

Persamaan 2. 1 Perhitungan Power Contribution .....	16
Persamaan 2. 2 Perhitungan Power Saving.....	17
Persamaan 2. 3 Perhitungan Propulsion Force.....	18
Persamaan 2. 4 Perhitungan Tahanan Baru .....	18
Persamaan 4. 1 Perhitungan Volume Displasmen .....	26
Persamaan 4. 2 Perhitungan Berat Displasmen .....	27
Persamaan 4. 3 Perhitungan Luas Permukaan Basah ....	28
Persamaan 4. 4 Perhitungan Froud Number .....	28
Persamaan 4. 5 Perhitungan Reynold Number .....	29
Persamaan 4. 6 Perhitungan Tahanan Gesek .....	30
Persamaan 4. 7 Perhitungan Tahanan Sisa.....	31
Persamaan 4. 8 Perhitungan LCB .....	33
Persamaan 4. 9 Perhitungan Koefisien Tahanan Sisa ....	34
Persamaan 4. 10 Perhitungan Tahanan Total Kapal .....	37
Persamaan 4. 11 Perhitungan EHP .....	40
Persamaan 4. 12 Perhitungan DHP .....	40
Persamaan 4. 13 Perhitungan Efisiensi Badan Kapal ....	41
Persamaan 4. 14 Perhitungan Efisiensi Relatif Rotatif ..	42
Persamaan 4. 15 Perhitungan Efisiensi Propulsi.....	42
Persamaan 4. 16 Perhitungan SHP.....	43
Persamaan 4. 17 Perhitungan BHPscr.....	44
Persamaan 4. 18 Perhitungan BHPmcr .....	44

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

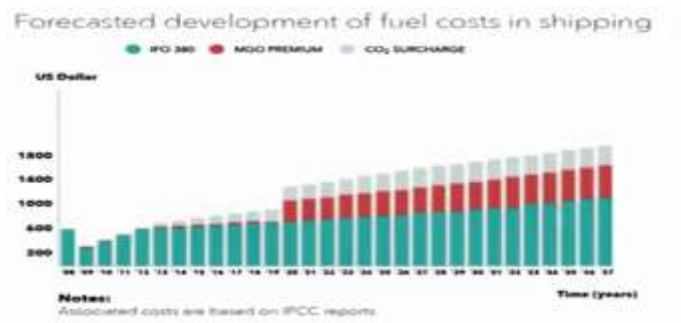


# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan jaman yang lebih modern ini, kebutuhan akan teknologi yang ramah lingkungan merupakan prioritas utama. Hal ini dikarenakan untuk menciptakan lingkungan yang sehat seiring kemajuan teknologi yang pesat. Salah satu teknologi ramah lingkungan yang dibutuhkan adalah teknologi yang diaplikasikan pada kapal. Kita semua mengetahui bahwa energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal sangatlah besar.

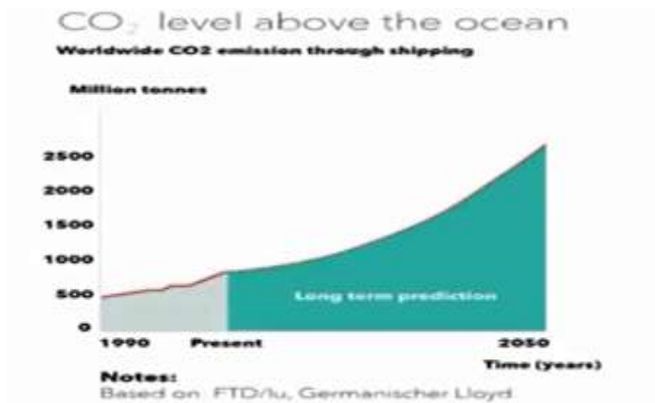


Gambar 1. 1 Grafik Perkembangan Penggunaan Bahan Bakar Kapal dari Masa ke Masa

Sumber :

<https://www.youtube.com/watch?v=3DEENHSEP2A>

Menurut data diatas, penggunaan energi dari bahan bakar kapal semakin membesar dari tahun ke tahun. Sehingga, menimbulkan grafik yang meningkat pada kadar CO<sub>2</sub> di permukaan laut seperti gambar grafik dibawah ini.



Gambar 1. 2 Grafik Kadar CO<sub>2</sub> diatas Permukaan Laut dari Masa ke Masa

Sumber.

<https://www.youtube.com/watch?v=3DEENHSEP2A>



Oleh karena itu, dibutuhkan energi alternatif untuk mengurangi dampak dari energi yang besar itu sendiri. Salah satu nya melalui media angin. *Flettner rotor* merupakan salah satu teknologi yang memanfaatkan angin untuk membantu mencukupi kebutuhan energi penggerak pada kapal. Namun, dalam analisis ekonomi, *flettner rotor* kurang cocok untuk digunakan sebagai sumber energi utama, namun, cukup membantu untuk digunakan sebagai sumber energi alternatif pada kapal.

Penelitian terhadap analisa aplikasi penggunaan *flettner rotor* ini pun sudah pernah dilakukan. Namun, penelitian akan membahas dari sektor yang berbeda, penelitian ini akan melakukan analisa tekno ekonomi terhadap aplikasi *fletter rotor* pada kapal kontainer dengan DWT 4000 Ton

## **1.2 Perumusan Masalah**

Dari uraian di atas maka permasalahan utama yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mengetahui kebutuhan power yang digunakan untuk pengoperasian flettner rotor?
2. Bagaimana analisa tekno ekonomi terhadap power saving pada aplikasi flettner rotor pada kapal kontainer ?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah

1. Dalam tugas akhir ini hanya terbatas menganalisa aspek tekno ekonomi pengaruh pemasangan flettner rotor pada kapal kontainer
2. Dalam tugas akhir ini tidak membahas rancangan flettner rotor

## **1.4 Tujuan**

Tujuan penelitian ini adalah

1. Mengetahui kebutuhan power yang digunakan untuk mengoperasikan flettner rotor

2. Mengetahui analisa tekno ekonomi terhadap power saving pada pemasangan flettner rotor pada kapal

### **1.5 Manfaat**

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini ialah :

1. Dapat mengetahui analisa tekno ekonomi terhadap pemasangan flettner rotor pada kapal kontainer, meliputi, biaya berkurang/bertambah dengan adanya *flettner rotor*, dan biaya seluruh operasional kapal
2. Dapat digunakan referensi oleh pembaca untuk menuliskan penelitian berikutnya

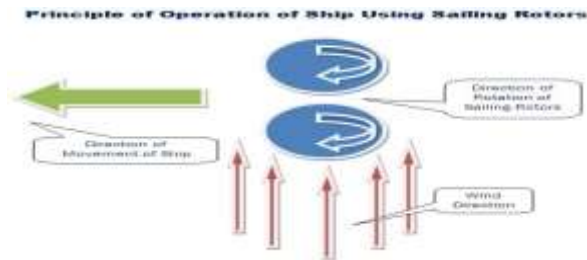
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Flettner Rotor

*Flettner rotor* adalah salah satu jenis *mechanical propulsor* kapal yang memanfaatkan tenaga angin. Alat ini terdiri dari silinder vertical yang besar. Prinsip kerja alat ini memanfaatkan efek magnus, yaitu, angin yang berhembus melewati silinder akan menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan antara angin yang berada searah dengan putaran silinder dan yang berlawanan arah dengan putaran silinder sehingga menimbulkan gaya dorong. Hal ini dijelaskan pada skema gambar berikut :



Gambar 2. 1 Skema Efek Magnus pada Flettner Rotor

Sumber.

<https://www.google.co.id/search?q=magnus+effect+ship>

Pemasangan dari flettner rotor ini harus mempertimbangkan kondisi dan arah angin guna mendapatkan efisiensi yang optimal. Kapal yang menggunakan Fixed Pitch Propeller memiliki keuntungan yang lebih akibat dari pemasangan flettner rotor ini daripada yang menggunakan tipe propeller lain. Pada saat berlayar menggunakan flettner rotor ini, kemudi kapal harus selalu dikontrol agar tetap berada jalur yang lurus



Gambar 2. 2 Ilustrasi Aplikasi Flettner Rotor pada Kapal  
Sumber. Lloyd's Register

Berdasarkan ilustrasi gambar diatas, *flettner rotor* ini dipasang dengan menggunakan sambungan hidrolik dimana posisi rotor dapat ditidurkan ke bawah yang nantinya akan bermanfaat saat berada di pelabuhan.

Manfaat dari aplikasi *flettner rotor* pada kapal ini adalah bisa menghemat penggunaan bahan bakar dengan presentase 10-30% bergantung pada jalur pelayaran yang ditempuh. Penghematan penggunaan bahan bakar ini akan mengurangi kadar emisi seperti CO<sub>2</sub>, Sox, NO<sub>x</sub>, dan emisi lainnya. *Flettner rotor* ini bertindak sebagai energi tambahan kepada sistem propulsi kapal dan bahkan bisa melakukan sampai 100% sebagai sistem propulsi dengan kondisi angin yang optimal. Sehingga, *flettner rotor* ini bisa dijadikan sebagai sistem propulsi yang independen.

Keefektifan dari *flettner rotor* ini bergantung pada :

1. Jalur pelayaran
2. Kecepatan angina
3. Arah angin

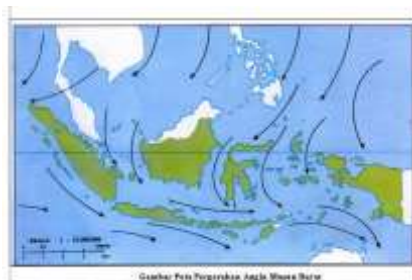
Ada beberapa keuntungan yang didapatkan dari penggunaan *flettner rotor* pada kapal, diantaranya adalah :

1. Tidak memerlukan kru tambahan
2. Sistem yang digunakan berjalan secara otomatis
3. Tidak ada efek buruk yang terjadi pada muatan
4. 10-30% hemat bahan bakar per tahun

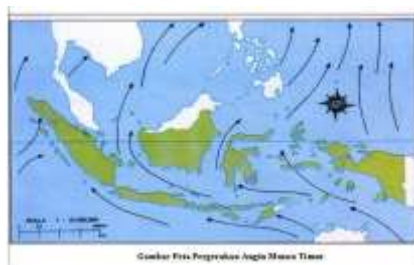
5. Menghasilkan emisi yang lebih rendah daripada kapal konvensional

## 2.2 Tekanan Udara Wilayah Surabaya – Balikpapan

*Flettner rotor* berfungsi optimal apabila terdapat kondisi dan arah angin yang sesuai. Pelayaran yang dilakukan dari Surabaya ke Balikpapan atau sebaliknya bisa mendukung fungsi dari flettner rotor.



(A)



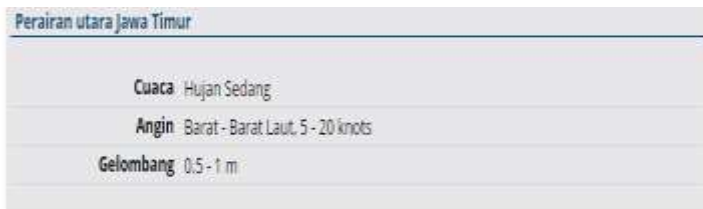
(B)



*Gambar 2. 3 Kondisi Arah Angin Pada Musim Hujan ( A ) dan Musim Kemarau ( B )*

Sumber. [www.maritim.bmkg.go.id](http://www.maritim.bmkg.go.id)

Berdasarkan gambar diatas, kondisi angin yang melintasi wilayah pelayaran Surabaya-Balikpapan mendukung fungsi dari kinerja flettner rotor berdasarkan arah aliran angin dan force yang ditimbulkan oleh gerakan rotor.



Perairan utara Jawa Timur	
Cuaca	Hujan Sedang
Angin	Barat - Barat Laut, 5 - 20 knots
Gelombang	0.5 - 1 m

*Gambar 2. 4 Kondisi Angin Perairan Utara Pulau Jawa*

## **2.3 Konsep Tekno Ekonomi**

Tekno ekonomi memuat tentang bagaimana membuat sebuah keputusan (decision making) dimana dibatasi oleh ragam permasalahan yang berhubungan dengan seorang engineer sehingga menghasilkan pilihan

yang terbaik dari berbagai alternatif pilihan. Keputusan yang diambil berdasarkan suatu proses analisa, teknik dan perhitungan ekonomi.

Engineering (rekayasa) biasa dikatakan profesi/disiplin dimana pengetahuan tentang matematika dan ilmu pengetahuan alam yang diperoleh dengan studi, pengalaman, dan praktik digunakan dengan bijaksana dalam mengembangkan cara-cara untuk penggunaan secara ekonomis bahan-bahan dan sumber alam untuk kepentingan manusia. Dari definisi ini aspek-aspek ekonomi dari engineering dititik beratkan pada aspek-aspek fisik. Jelas, bahwa pada dasarnya ekonomi merupakan bagian dari engineering yang dilaksanakan dengan baik (Giatman, 2006).

Alternatif-alternatif timbul karena adanya keterbatasan dari sumber daya (manusia, material, uang, mesin, kesempatan, dll). Dengan berbagai alternatif yang ada tersebut maka diperlukan sebuah perhitungan untuk mendapatkan pilihan yang terbaik secara ekonomi, baik ketika membandingkan berbagai alternatif rancangan, membuat keputusan investasi modal, mengevaluasi kesempatan finansial dan lain sebagainya.

Analisa tekno ekonomi melibatkan pembuatan keputusan terhadap berbagai penggunaan sumber daya yang terbatas. Konsekuensi terhadap hasil keputusan biasanya berdampak jauh ke masa yang akan datang, yang konsekuensinya itu tidak bisa diketahui secara pasti, merupakan pengambilan keputusan dibawah ketidakpastian.

Sehingga penting mengetahui :

1. Prediksi kondisi masa yang akan datang.
2. Perkembangan teknologi.
3. Sinergi antara proyek-proyek yang didanai.

Karena penerapan kegiatan teknik pada umumnya memerlukan investasi yang relatif besar dan berdampak jangka panjang terhadap aktivitas pengikutnya, penerapan aktivitas tersebut menuntut adanya keputusan-keputusan strategis yang memerlukan pertimbangan-pertimbangan teknik maupun ekonomis yang baik dan rasional. Oleh karena itu, Ilmu Tekno Ekonomi sering juga dianggap sebagai sarana pendukung keputusan (Decision Making Support) (Sukirno, 2004).

## **2.4 Tekno Ekonomi Kapal**

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (2008), ekonomi adalah ilmu mengenai asas-asas produksi, distribusi, dan pemakaian barang-barang serta kekayaan (seperti hal keuangan, perindustrian, dan perdagangan); pemanfaatan uang, tenaga, waktu, dan sebagainya yang berharga; tata kehidupan perekonomian (suatu negara); cakupan urusan keuangan rumah tangga (organisasi, negara).

Pada bentuk perusahaan, perdagangan secara modern dalam bentuk perusahaan yang dilakukan secara besar-besaran dengan ciri seperti harga barang tetap ditentukan menurut perhitungan besarnya modal dan segala pembiayaan untuk produksi, standarisasi barang, peniadaan tindakan tawar-menawar harga, dan penggunaan iklan untuk penawaran kepada khalayak.

Konsep efisiensi ekonomi adalah suatu ukuran jumlah relative dari beberapa input yang digunakan untuk output tertentu. Konsep ekonomi mencakup tiga pengertian, yaitu efisiensi teknis, efisiensi harga, dan efisiensi ekonomi (Kadariah et al, 1976) Fyson (1985), menyatakan bahwa evaluasi tekno-ekonomi merupakan

prosedur paling penting dalam merancang kapal-kapal baru.

Secara umum perlu diperhatikan cara pembangunan konstruksi kapal dalam hal sarana dan prasarana dengan memilih cara/metode yang lebih efisien. Kemampuan konstruksi diartikan sebagai pemakaian ilmu dan pengalaman konstruksi dalam perencanaan, perancangan (desain), operasi lapangan untuk memperoleh objektifitas proyek keseluruhan. Untuk tujuan ini, putusan kemampuan konstruksi diarahkan sebagai berikut :

- 1) Pengurangan jumlah waktu konstruksi, dengan cara menciptakan kondisi memaksimalkan potensi untuk konstruksi secara bersamaan dan mengurangi kerja ulang serta waktu terbuang;
- 2) Pengurangan biaya peralatan konstruksi dengan cara pemakaian peralatan lebih efisien, mengurangi keperluan biaya tinggi;
- 3) Pengurangan biaya material, dengan memperbaiki kualitas desain, material yang lebih murah dan meminisasi sisa material yang tak terpakai.

## 2.5 Perhitungan Propulsion Force Flettner Rotor dan Power Saving

### 2.5.1 Perhitungan Power Contribution Flettner Rotor

$$l = \frac{1}{2} \rho A v_a^2 C_L$$

$$d = \frac{1}{2} \rho A v_a^2 C_D$$

$$P_{l\&d} = (l + d) \cdot V_s$$

$$P_{\text{motor}} = \frac{1}{2} \rho A v_a^3 C_M \alpha$$

$$P_{\text{prop}} = P_{l\&d} - P_{\text{motor}}$$

*Persamaan 2. 1 Perhitungan Power Contribution*

Keterangan :

$l$  : lift force

$d$  : drag force

$\rho$  : densitas udara

$A$  : luas area flettner rotor

$v_a$  : kecepatan angin

$C_L$  : Coefficient Lift

$C_D$  : Coefficient Drag

$C_M$  : Moment Coefficient

$\alpha$  : rasio kecepatan rotor dengan kecepatan angin

$P_{l\&d}$  : kombinasi lift dan drag force

$P_{motor}$  : power yang dibutuhkan motor untuk memutar flettner rotor

$P_{prop}$  : propulsion force

## 2.5.2 Perhitungan Power Saving

Determine % of power saving..

$$\% \text{ power saving} = \frac{(P_{B_{knots}} - P_{B_{new}}) \times 100}{P_{B_{knots}}}$$

*Persamaan 2. 2 Perhitungan Power Saving*

Keterangan :

$P_{B_{knots}}$  : Power yang dibutuhkan kapal tanpa flettner rotor

$P_{B_{new}}$  : Power yang dibutuhkan kapal setelah dipasang flettner rotor

## 2.5.3 Perhitungan Propulsion Force

$$F_p = (L \times \sin \beta + D \times \cos \beta)$$

*Persamaan 2. 3 Perhitungan Propulsion Force*

Keterangan :

F<sub>p</sub> : Propulsion Force

L : Lift force

D : Drag Force

β : Apparent Wind

#### **2.5.4 Perhitungan Tahanan Kapal setelah Dipasang Flettner Rotor**

$$R_{t_{new}} = R_t - F_p$$

*Persamaan 2. 4 Perhitungan Tahanan Baru*

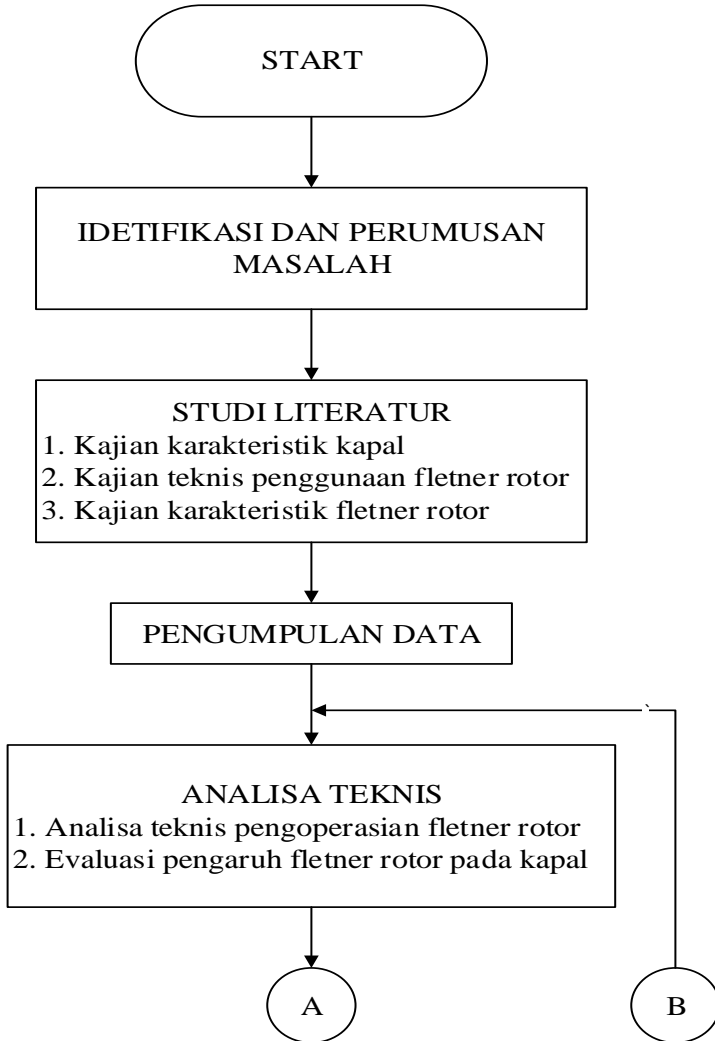
Keterangan :

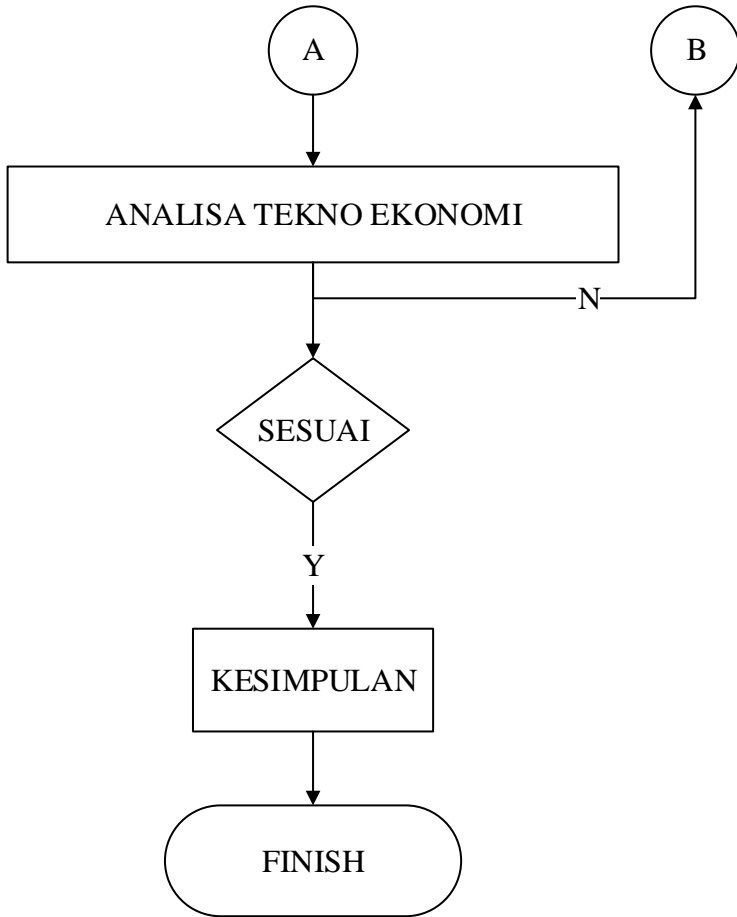
R<sub>t</sub> : Tahanan kapal tanpa flettner rotor

F<sub>p</sub> : Propulsion Force



**BAB 3**  
**METODE PENELITIAN**





*Gambar 3. 1 Flowchart Metode Penelitian*

### **3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah**

Pada langkah identifikasi permasalahan ini dilakukan peninjauan awal untuk mengidentifikasi permasalahan yang terjadi, yaitu melakukan identifikasi biaya secara keseluruhan terhadap aplikasi *flettner rotor*

### **3.2 Studi Pustaka**

Studi kepustakaan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang telah ditentukan sebelumnya.

### **3.3 Tahap Pengumpulan Data**

Dalam proses pengumpulan data dan informasi, data yang diperlukan berupa :

1. Karakteristik kapal
2. Harga bahan bakar HFO
3. Karakteristik flettner rotor
4. Kondisi angin di area pelayaran

### **3.4 Analisa Teknis**

-Evaluasi pengaruh operasional flettner rotor pada kapal

### **3.5 Analisa Tekno Ekonomi**

Analisa tekno ekonomi dilakukan setelah mengetahui karakteristik teknis dari kapal dan flettner rotor

### **3.6 Kesimpulan**

Kesimpulan dari penelitian diambil untuk menyelesaikan permasalahan yang ada serta saran sebagai bahan perbaikan ke depannya.

## BAB 4

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Karakteristik Kapal

Kapal pemanding yang digunakan sebagai acuan untuk pembuatan flettner rotor adalah kapal ARIFE berbendera Panama. Adapun data-data kapal yang telah dihimpun adalah sebagai berikut :

*Tabel 4. 1 Data Kapal pemanding ARIFE*

Tipe Kapal	Container Carrier
Lpp	81,25 m
Lwl	83,69 m
Ldisp	82,47 m
B	15,45 m
H	8,3 m
T	6,45 m
Vs	13 knots
DWT	4103
Power	1690 kW
SFOC	188 g/kwh
RPM	720

Generator	3 AC 555 kVA
Main Engine	Wartsilla Finland of Technology
Jarak Pelayaran	481 nautical miles
Waktu Tempuh	37 jam

#### 4.2 Harga Bahan Bakar

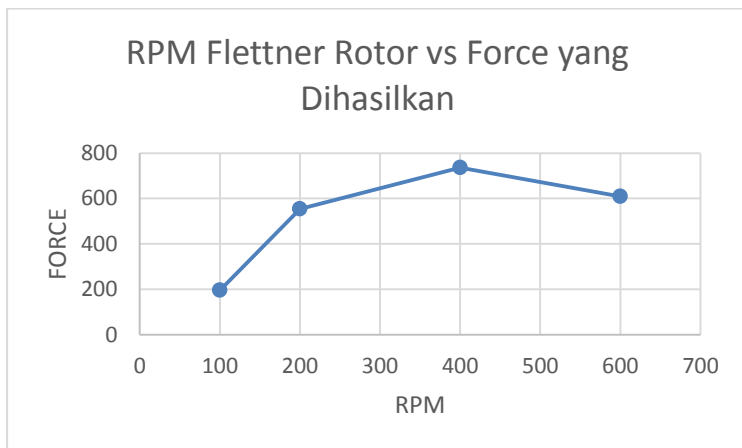
Harga bahan bakar HFO per 29 Oktober 2016 adalah Rp. 8.800,- / liter ( PT. OCEAN Energy )

#### 4.3 Karakteristik Flettner Rotor

h (tinggi) : 18 m

d (diameter) : 3 m

RPM : 400



Gambar 4.1 Grafik RPM Flettner Rotor vs Force yang Dihasilkan

Berdasarkan grafik diatas, semakin tinggi putaran flettner rotor, maka, semakin besar gaya yang dihasilkan. Namun, pada saat putaran mencapai 600 RPM, gaya yang dihasilkan mengalami penurunan.

Besar RPM yang digunakan untuk analisa berdasarkan hasil gaya dorong terbesar yaitu pada saat flettner rotor diputar sebesar 400 RPM dan menghasilkan gaya sebesar 736 N.

#### **4.4 Hasil Simulasi CFD**

Hasil-hasil yang didapat dari simulasi CFD adalah sebagai berikut :

*Tabel 4. 2 Hasil Simulasi CFD*

Lift ( l )	736 N
Drag ( d )	11,776 N
Coefficient Moment ( Cm)	0,335

Berdasarkan tabel diatas, gaya-gaya yang dihasilkan dari simulasi CFD adalah sebagai berikut :

1. Lift adalah sebesar 736 N
2. Drag adalah sebesar 11,776 N
3. Coefficient Moment adalah sebesar 0,335

#### **4.5 Karakteristik Angin Jalur Pelayaran Surabaya-Balikpapan**

Kecepatan angin perairan utara pulau Jawa rata-rata 5-20 knots. Dalam penelitian ini, kecepatan angin yang digunakan untuk analisa adalah sebesar 8 m/s.

#### **4.6 Perhitungan Tahanan, Thrust Power, Delivered Power, Shaft Power, dan Brake Power Kapal Pembanding**

Perhitungan-perhitungan yang perlu dilakukan sebelum memperoleh nilai Brake Power adalah sebagai berikut :

##### **4.6.1 Perhitungan Volume Displamen**

Volume displamen merupakan volume air yang dipindahkan oleh badan kapal. Dimana rumus yang digunakan untuk mencari volume displamen adalah :

$$\nabla (\text{m}^3) = C_b W_l \times L_{WL} \times B \times T$$

*Persamaan 4. 1 Perhitungan Volume Displamen*



Keterangan :

CbWL = Block coefficient dibawah garis air

LWL = Panjang kapal dihitung pada garis air

B = Lebar kapal

T = Tinggi sarat air

#### 4.6.2 Perhitungan Berat Displasmen

Berat displasmen adalah berat volume air yang dipindahkan oleh badan kapal. Jadi berat dari volume air yang dipindahkan merupakan berat dari kapal tersebut. Dimana rumus yang digunakan untuk mencari berat displasmen adalah

:

$$\Delta(\text{Newton}) = CbWL \times LWL \times B \times T \times \rho \text{ air}$$

$$\text{laut} \quad \Delta(\text{Newton}) = \nabla \times \rho \text{ air laut}$$

*Persamaan 4. 2 Perhitungan Berat Displasmen*

Keterangan :

$\nabla(\text{m}^3)$  = Volume displasmen

$\rho \text{ air laut}$  = Masa jenis air laut

### 4.5.3. Luas Permukaan Basah

Dalam buku Tahanan dan Propulsi Kapal (Harvald, 1992), permukaan basah untuk kapal niaga yang normal dapat dihitung dengan memakai rumus berikut ini :

$$S = 1,025L_{pp} (C_b \times B + 1,7T)$$

*Persamaan 4. 3 Perhitungan Luas Permukaan Basah*

### 4.6.4. Nilai Froud Number

Nilai froud number ( $F_n$ ) perlu diketahui untuk mendefinisikan bahwa fungsi linier dari LCB standar adalah  $F_n$  tersebut.  $F_n$  sendiri nanti akan digunakan untuk membaca diagram 5.5.25 pada buku Tahanan dan Propulsi Kapal (Harvald, 1992). Berikut rumusan untuk mencari  $F_n$  :

$$F_n = V/\sqrt{gLwl}$$

*Persamaan 4. 4 Perhitungan Froud Number*

Keterangan :

$V(m/s)$  = Kecepatan dinas kapal

$g(m/s^2)$  = Percepatan gravitasi

#### **4.6.5. Nilai Reynold Number**

Nilai reynold number perlu diketahui, karena akan berfungsi untuk mencari tahanan gesek nantinya. Berikut rumusan untuk mencari Rn :

$$Rn=(V \times Lwl)/Vk$$

*Persamaan 4. 5 Perhitungan Reynold Number*

Keterangan :

Vk = Koefisien viskositas kinematik

#### **4.6.6. Tahanan Gesek (Friction Coefficient)**

Tahanan gesek (CF) adalah suatu tahanan yang disebabkan karena gesekan oleh fluida yang mempunyai viskositas, dan viskositas inilah yang menimbulkan gesekan dengan permukaan kapal. Sebenarnya untuk mencari tahanan gesek terdapat dua cara, yaitu dengan menghitung sesuai dengan rumus, dan dengan melihat gambar 5.5.14 pada buku Tahanan dan Propulsi Kapal (Harvald, 1992) dengan memasukkan nilai kecepatan kapal,

dan juga panjang dari kapal. Tapi dalam rancangan ini, akan menggunakan rumus, dikarenakan lebih teliti. Berikut rumusan untuk mencari tahanan gesek.

$$CF = 0.075 / \left[ \left( \log_{10} Rn \right)^{-2} \right]^2$$

*Persamaan 4. 6 Perhitungan Tahanan Gesek*

#### **4.6.7. Tahanan Sisa (Coefficient Resitance)**

Koefisien tahanan sisa (CR) untuk kapal yang standar dapat diambil dari diagram Gb.5.5.5 - 5.5.13 pada buku Tahanan dan Propulsi Kapal (Harvald, 1992). Sebelum mencari tahanan sisa pada diagram, harus menentukan nilai  $\beta$ , nilai  $\beta$ , dan nilai  $\phi$ . Setelah semua nilai yang diperlukan didapat, pencarian nilai koefisien tahanan sisa dapat dicari pada diagram tersebut.

Karena kapal pada umumnya berbeda dengan standar dengan tingkat keadaan tertentu, lebih besar atau lebih kecil, maka nilai yang tadi sudah didapatkan harus dilakukan koreksi sebagai berikut :

#### **4.6.7.1. B/T**

Karena diagram tersebut dibuat berdasarkan rasio lebar-sarat “  $B/T = 2.5$  ” maka harga CR untuk kapal yang mempunyai rasio lebih besar atau lebih kecil dari 2.5 harus dilakukan pengoreksian. Dalam buku Tahanan dan Propulsi Kapal (Harvald, 1992) rumus koreksinya sebagai berikut:

$$10^3 CR = 10^3 CR(B/T=2.5) + 0.16(B/T - 2,5)$$

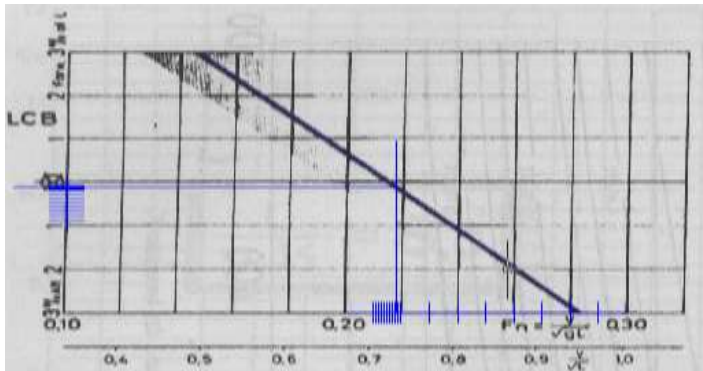
*Persamaan 4. 7 Perhitungan Tahanan Sisa*

#### **4.6.7.2. Penyimpangan LCB**

Letak LCB yang optimum merupakan kuantitas yang masih agak meragukan, dan semua kepustakaan yang ada memberikan pendapat yang berbeda-beda. Sehingga memberikan gambaran yang masih membingungkan. Sebagai upaya untuk mengatasi kerancuan tersebut, maka semua informasi yang ada dikumpulkan dan diringkas

pada LCB standar yang didefinisikan sebagai fungsi linier angka froud ( $F_n$ ). Dari Tugas Rencana Garis diketahui besarnya LCB hasil pembacaan di NSP(e%).

Penentuan LCB standar dalam % dengan acuan grafik LCB standar, menurut Harvald (1992 : 130) adalah :



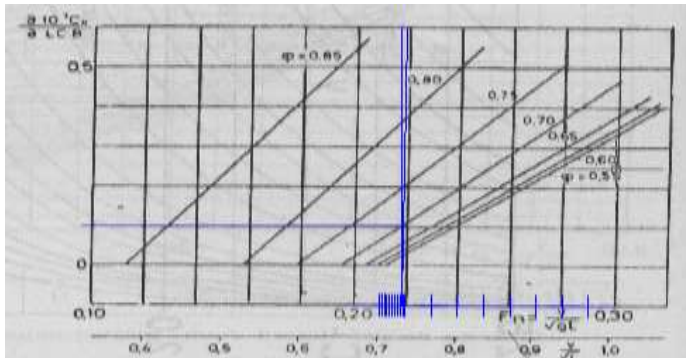
Gambar 4. 1 LCB standar. Letak Longitudinal titik benam yang dipandang terbaik (Harvald, 1992).

Karena letak dari LCB di depan LCB standar maka harus dilakukan koreksi untuk mendapatkan nilai dari  $\Delta$  LCB yang akan digunakan untuk koreksi selanjutnya. Seperti yang tertulis pada buku Tahanan dan Propulsi Kapal (Harvald,

1992) rumus untuk mencari  $\Delta$  LCB sebagai berikut :

$$\Delta \text{ LCB} = \text{LCB} - \text{LCB}_{\text{standar}}$$

*Persamaan 4. 8 Perhitungan LCB*



*Gambar 4. 2 Koreksi koefisien tahanan sisa untuk LCB 1% di depan standar (Harvald, 1992)*

Diagram diatas adalah diagram untuk mencari nilai  $d10^3Cr/dLCB$  , yang nantinya akan digunakan juga untuk koreksi dari tahanan sisa.

Setelah semua data-data yang diperlukan seperti CR,  $\Delta$ LCB, dan,  $d10^3CR/dLCB$  telah didapat, sekarang tinggal memasukkannya pada rumus dibawah ini :

$$10^3CR=10^3CR(\text{standar})+(d10^3CR/dLCB)x|\Delta LCB|$$

*Persamaan 4. 9 Perhitungan Koefisien Tahanan Sisa*

#### **4.6.7.3. Anggota Badan Kapal**

Dalam hal ini yang perlu dikoreksi adalah boss baling-baling, Nilai CR dinaikkan sebesar 3%-5%, dalam perhitungan ini diambil 5%. Untuk anggota badan kapal yang lain seperti daun kemudi, tidak ada koreksi, bentuk standar sudah mencakup daun kemudi.

#### **4.6.8. Tahanan Tambahan**

Meskipun sebelumnya telah terdapat koreksi CF, tapi koreksi tersebut belum termasuk dalam koreksi kekasaran permukaan kapal. Karena mengingat bahwa permukaan kapal tidak semulus dengan permukaan model. Koefisien penambahan tahanan untuk korelasi model kapal umumnya ditentukan dengan berbagai macam bentuk koreksi, ada yang menetapkan langsung dengan harga CA = 4, dan ada juga yang tergantung dari



panjang kapal yang dirancang. Kali ini buku Tahanan dan Propulsi Kapal (Harvald, 1992) menganjurkan untuk mengoreksi dengan mengacu dari displasmen kapal yang dirancang, karena beberapa pihak berpendapat bahwa koreksi yang dirancang sesuai acuan displasmen kapal lebih sesuai. Berikut dibawah ini nilai CA yang diberikan sesuai dengan acuan dari displasmen kapal :

*Tabel 4. 3 Harga CA pada displasmen tertentu*

No	a	b
	Displasmen	Ca
1	1000	0,0004
2	5214,533558	Ca
3	10000	0

Sumber. Harvald, 1992

Berhubung nilai dari displasmen kapal yang dirancang kali ini berada pada antara 1.000 t – 10.000 t, maka harus dilakukan interpolasi. Sehingga nanti akan didapatkan nilai CA yang tepat.

#### **4.6.9. Tahanan Udara**

Besarnya tahanan udara umumnya tidak terlalu penting, dan upaya yang harus dilakukan untuk mendapatkan hasil perhitungan yang tepat mungkin tidak memadai dengan pentingnya pengaruh udara tersebut. Menurut buku Tahanan dan Propulsi Kapal (Harvald, 1992), jika data mengenai angin dalam perancangan tidak diketahui maka disarankan untuk koreksi tahanan udara sebagai berikut :

$$CAA = 0.00007$$

#### **4.6.10. Tahanan Kemudi**

Untuk nilai tahanan kemudi tidak ada rumus khusus untuk mencarinya, dalam buku Tahanan dan Propulsi Kapal (Harvald, 1992) diberikan nilai sebagai berikut :

$$CAS = 0.00004$$

Tetapi sebenarnya nilai tahanan kemudi bisa diabaikan pada kapal yang stabil dalam kondisi

yang wajar. Memang terlihat koreksi diatas nilainya sangat kecil, karena memang dalam perancangan awal, koreksi ini umumnya sudah tercakup dalam tahanan tambahan.

#### **4.6.11. Tahanan Total Kapal**

Untuk menghitung tahanan total kapal, maka harus dijumlahkan dulu semua koefisien-koefisien yang tadi sudah dicari dan juga sudah didapatkan. Untuk nilai Koefisien total adalah sebagai berikut :

$$CT = CF + CR + CA + CAS + CAA$$

Setelah nilai koefisien total didapatkan, maka selanjutnya bisa dihitung nilai dari tahanan total kapal sebagai berikut :

$$RT = CT (1/2 \rho V^2 S)$$

$$RT \text{ dinas} = (1+15\%) \times RT$$

*Persamaan 4. 10 Perhitungan Tahanan Total Kapal*

Dibawah ini adalah hasil dan detail perhitungan yang telah dikerjakan sesuai dengan tahapan-tahapan yang ada :

*Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Tahanan Kapal Tanpa Flettner Rotor*

Koefisien Tahanan Gesek ( $C_f$ )	0,000802
Koefisien Tahanan Sisa ( $C_r$ )	0,00212
Koefisien Tahanan Tambahan ( $C_a$ )	0,000213
Koefisien Tahanan Kemudi ( $C_{as}$ )	0,00004
Koefisien Tahanan Udara ( $C_{aa}$ )	0,00007
Tahanan Total Kapal ( $R_t$ dinas )	110,24 kN

#### **4.6.12 Perhitungan Kebutuhan Power Motor**

Dalam mendesain suatu kapal, hal yang sangat perlu diperhatikan adalah ketika memilih Main engine. Dalam pemilihan main engine harus diketahui dahulu sebelumnya berapa daya yang diperlukan, jangan sampai ketika sudah memilih main engine ternyata kebutuhan daya diperlukan

tidak sesuai dengan daya dari main engine tersebut, sehingga mengalami kerugian. Karena daya main engine yang dihasilkan nanti tidak sepenuhnya akan digunakan sebagai penghasil thrust, pasti nantinya akan ada hambatan-hambatan sehingga daya main engine berkurang. Oleh karena itu, dalam bab ini dilakukan perhitungan kebutuhan engine yang harus dikeluarkan dari awal (BHP) dan apakah nantinya keluarannya (EHP) bisa digunakan untuk menjalankan kapal sesuai dengan VS nya. Dalam perhitungan ini, menggunakan 2 buku acuan yaitu Tahanan dan Propulsi Kapal (Harvald, 1992) dan Principles of Naval Architecture (Lewis, 1988).

#### **4.6.12.1 Menghitung Daya Efektif Kapal (EHP)**

Daya Efektif Kapal atau EHP adalah daya yang diperlukan untuk menggerakkan kapal di air atau untuk menarik kapal pada kecepatan  $V$ . Menurut buku Tahanan dan Propulsi Kapal (Harvald, 1992), rumus untuk menghitung daya efektif adalah sebagai berikut :

$$EHP = RT \text{ dinas} \times V_s$$

*Persamaan 4. 11 Perhitungan EHP*

#### **4.6.12.2 Menghitung Daya Pada Tabung Poros Buritan Baling-Baling (DHP)**

DHP adalah daya yang diserap oleh propeller dari sistem perporosan atau daya yang dihantarkan oleh sistem perporosan ke propeller untuk diubah menjadi daya dorong (thrust). Dalam mencari DHP, ada beberapa langkah atau tahapan yang harus dikerjakan, berikut dibawah ini adalah tahapan yang harus diketahui terlebih dahulu sebelum akhirnya menghitung besar daya pada tabung poros buritan baling-baling :

$$DHP = EHP / \eta_D$$

$$\eta_D = \eta_H \times \eta_R \times \eta_o$$

*Persamaan 4. 12 Perhitungan DHP*

Karena nilai dari  $\eta_D$  belum diketahui, maka terlebih dahulu harus dicari nilainya yang terdiri dari  $\eta_H$ ,  $\eta_R$ , dan  $\eta_o$ .

#### **4.6.12.2.1 Efisiensi Badan Kapal ( $\eta_H$ )**

Dalam buku Tahanan dan Propulsi Kapal (Harvald, 1992) diberikan rumus untuk mencari nilai efisiensi badan kapal sebagai berikut :

$$\eta_H = (1-t)/(1-w)$$

*Persamaan 4. 13 Perhitungan Efisiensi Badan Kapal*

Keterangan :

t = fraksi deduksi gaya dorong

w = fraksi arus ikut

#### **4.6.12.2.2 Efisiensi Relatif Rotatif ( $\eta_R$ )**

Nilai  $\eta_R$  pada buku Principles of Naval Architecture (Lewis, 1988) untuk kapal dengan propeller tipe single screw berkisar 1.0 – 1.1 pada perancangan propeller dan tabung poros propeller ini diambil nilai :

$$\eta_R = 1.05$$

*Persamaan 4. 14 Perhitungan Efisiensi Relatif Rotatif*

#### **4.6.12.2.3 Efisiensi Propulsi ( $\eta_o$ )**

Adalah efisiensi baling-baling untuk baling-baling dalam keadaan berada di air terbuka (open water). Nilainya antara 40%-70%, dan dalam perhitungan kali ini diambil :

$$\eta_o = 55\%$$

*Persamaan 4. 15 Perhitungan Efisiensi Propulsi*

Setelah nilai dari  $P_c$  diketahui dengan mengalikan nilai dari  $\eta_H$ ,  $\eta_R$ , dan  $\eta_o$  maka nilai DHP sudah bisa dicari dengan persamaan 2-17.

#### **4.6.12.3 Menghitung Daya Pada Poros Baling-Baling (SHP)**

Dalam buku Principles of Naval Architecture (Lewis, 1988) perhitungan SHP untuk kapal yang kamar mesinnya terletak dibagian belakang akan mengalami losses sebesar 2%, sedangkan pada kapal yang kamar mesinnya pada daerah midship kapal mengalami losses sebesar 3%. Pada



perencanaan ini, kamar mesin terletak dibagian belakang, sehingga :

$$SHP = DHP / \eta s \eta d$$

*Persamaan 4. 16 Perhitungan SHP*

#### **4.6.12.4 Menghitung Daya Penggerak Utama Yang Diperlukan (BHP)**

BHP adalah daya yang dihasilkan oleh main engine, yang aman dalam perhitungan kali ini BHP akan dibedakan menjadi 2, yaitu BHPscr dan BHPmcr. Perbedaan ini dikarenakan saat kapal beroperasi tidak sepenuhnya selalu menggunakan daya maksimum dari main engine tersebut.

##### **4.6.12.4.1 BHPscr**

BHPscr adalah daya dari penggerak utama yang nantinya akan digunakan untuk menjalankan kapal pada  $V_s$ . Dalam hal ini diperkirakan rpm yang dimiliki oleh mesin yang nantinya akan dipilih adalah lebih 240 rpm, maka diperlukan

gearbox, sehingga jika terdapat gearbox nilai dari SHP dibagi dengan besar efisiensi dari gearbox tersebut, dalam hal ini diperkirakan  $\eta_G = 0,98$  sehingga didapatkan rumusan dari BHPscr sebagai berikut :

$$\text{BHPscr} = \text{SHP} / \eta_G$$

*Persamaan 4. 17 Perhitungan BHPscr*

#### **4.6.12.4.2 BHPmcr**

Dalam buku Tahanan dan propulsi Kapal (Harvald, 1992) dijelaskan daya keluaran pada kondisi maksimum dari motor induk, menggunakan engine margin sebesar 15%-20%. Pada perhitungan kali ini BHPscr diambil = 85%, jadi :

$$\text{BHPmcr} = \text{BHPscr} / 0.85$$

*Persamaan 4. 18 Perhitungan BHPmcr*

*Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Daya tanpa Flettner Rotor*

EHP	737,51 kW
DHP	1257,79 kW
SHP	925,1 kW
BHP	1257,79 kW

Berdasarkan perhitungan-perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh Brake Power sebesar 1257,79 kW. Nilai ini adalah nilai BHPS<sub>cr</sub> sebelum dipasang flettner rotor. Sehingga, power yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal adalah sebesar 1257,79 kW.

#### **4.7 Perhitungan Power Contribution Flettner Rotor**

Berdasarkan data-data yang telah diperoleh dan menggunakan persamaan 2.1, maka didapatkan perhitungan-perhitungan sebagai berikut :

*Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Power Contribution*

$p_{l\&d}$	5002,621 watt
$p_{motor}$	825,286 watt

$P_{prop}$	4177,336 watt
------------	---------------

1. Kombinasi power dari lift dan drag adalah sebesar 5002,621 watt
2. Power yang dibutuhkan untuk memutar flettner rotor sebesar 400 RPM adalah 825,286 watt
3. Power contribution yang dihasilkan adalah sebesar 4177,336 watt

#### **4.8 Perhitungan Propulsion Force Flettner Rotor**

Berdasarkan persamaan 2.3, perhitungan propulsion force dari flettner rotor didapatkan sebesar :

$$F_p = 643,278 \text{ N}$$

#### **4.8 Perhitungan Tahanan Kapal dan Daya dengan Penambahan Flettner Rotor**

Dari perhitungan-perhitungan yang telah dilakukan, akan diperoleh kebutuhan power kapal yang baru setelah dipasang flettner rotor, dibawah ini adalah hasil-hasil yang diperoleh setelah dilakukan perhitungan.

*Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Tahanan Kapal dan Daya Kapal Setelah Dipasang Flettner Rotor*

Tahanan Total Kapal ( Rt Dinas )	106,06 kN
EHP	709,54 kW
DHP	1210,09 kW
SHP	890,02 kW
BHP	1210,094 kW

#### **4.9 Perhitungan Power Saving**

Setelah di dapatkan nilai BHP yang baru, dilakukan perhitungan power saving seperti persamaan 2.2, maka, diperoleh power saving sebesar 0,038%. Dengan power saving sekecil ini, menutup kemungkinan untuk dilakukan pemasangan flettner rotor pada kapal kontainer 4000 DWT dengan jalur pelayaran Surabaya-Balikpapan.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pembahasan pada laporan ini yang telah mengacu pada data-data dan referensi yang relevan, maka, dapat ditarik kesimpulan untuk hasil studi yang telah dilaksanakan ini adalah sebagai berikut :

1. Power yang dibutuhkan untuk memutar flettner rotor dengan kecepatan 400 RPM adalah sebesar 825,286 watt
2. Power Contribution yang dihasilkan adalah sebesar 4177,336 watt
3. Semakin besar putaran flettner rotor, maka, semakin besar pula gaya dorong yang dihasilkan. Namun, setelah mencapai 600 RPM, gaya yang dihasilkan mengalami penurunan.
4. Menurut hasil perhitungan analisa tekno ekonomi terhadap power saving yang telah dilakukan pada jalur pelayaran Surabaya-Balikpapan, Rotor Flettner kurang memberikan kontribusi terhadap penghematan bahan bakar sebagai energi alternatif karena hanya memberikan efektifitas sebesar 0,038%.

## **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil pembahasan dan kesimpulan yang telah didapatkan mengenai analisa tekno ekonomi flettner rotor pada kapal kontainer dengan jalur pelayaran Surabaya-Balikpapan, masih diperlukan beberapa tindakan lanjutan guna tercapainya efektifitas penggunaan flettner rotor, diantaranya :

1. Jalur pelayaran diperpanjang. Disarankan mengambil sample pelayaran internasional
2. Menambah jumlah rotor dan dilakukan analisa lebih lanjut terhadap variasi jumlah rotor.



## DAFTAR PUSTAKA

- Craft, T. J. 2012. “Back to The Future : Flettner-Thom Rotors for Maritime Propulsion ?” in: Proceedings of 7th Internat. Symposium on Turbulence Heat & Mass Transfer; 24 Sep 2012-27 Sep 2012; p. 1053-1056.
- Guo-ping, Z. 2009. “Research & Design of Offshore Stand-by Vessel With Electric Propulsion”. Ship building of China.
- Harun, Hamran. 2011. “Wind Assisted Propulsion for Fuel Saving”. Disertasi Teknik Kimia Universitas teknologi Malaysia, Malaysia.
- Ilhami, O, P., 2015 “Analisa Aplikasi Flettner Rotor Pada Offshore Support Vessel Panjang 56 Meter Dengan Metode CFD”. Tugas Akhir Sistem Perkapalan ITS, Surabaya
- Iskandar, B., dkk. 2010. “Tekno Ekonomi Pembuatan Perahu Fiberglass Di Desa Cikhuripan Kecamatan Ciselok, Sukabumi”. Tugas Akhir Fakultas Perikanan dan Kelautan, IPB Bogor.

Kecepatan Angin Pulau Jawa diunduh dari [www.maritim.bmkg.go.id](http://www.maritim.bmkg.go.id) Pada 21 desember pukul 19.20

Rizzo, F. 1925. “The Flettner Rotor Ship in The Light of The Kutta-Joukowski Theory and of Experimental Results”. Naca; p. 9-20.

Sv. Aa, Harvald. 1992. “Tahanan dan Propulsi Kapal” Airlangga University Press, Surabaya.

The Mega Ships of Tomorrow May Be Driven by Technology From the Past. Diunduh dari [www.gizmodo.com](http://www.gizmodo.com) Pada 3 desember pukul 15.30

Traut, M., dkk. 2014. “Propulsive power contribution of a kite and a Flettner rotor on selected shipping routes”. Applied Energy. 113:362–372

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Pasuruan pada tanggal 3 Mei 1993 dan merupakan putra terakhir dari tiga bersaudara. Sampai saat ini penulis telah menjalani pendidikan formal di SDN Pekuncen Pasuruan, SMPN 6 Malang, SMAN 3 Malang dan saat ini sedang menempuh pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan. Pada saat penulis menjalani pendidikan tinggi di ITS, Semenjak tahun ketiga, penulis aktif di dalam Laboratorium RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, and Safety) dan tahun kelima di Laboratorium MMD (Marine Machinery and Design).

Arrijal Yudha Prawira  
*miyudho@gmail.com*

