

# ANALISA TEKNIS DAN EKONOMIS PEMASANGAN *WIND TURBINE* SEBAGAI PENGHASIL DAYA UNTUK SISTEM PENERANGAN PADA KAPAL TANKER 6500 DWT

Yogia Rivaldhi <sup>1)</sup> Ahmad Nasirudin, S.T., M.Eng. <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS

<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS

## ABSTRAK

Semakin menipisnya ketersediaan sumber energi mengakibatkan harga bahan bakar minyak menjadi tinggi. Kenaikan harga bahan bakar minyak ini berdampak pada dunia perkapalan karena kapal merupakan salah satu alat transportasi yang menggunakan bahan bakar minyak. Berangkat dari permasalahan tersebut, tugas akhir ini mencoba menghadirkan satu solusi untuk mengurangi pemakaian bahan bakar minyak dengan cara memanfaatkan energi angin sebagai penggerak *wind turbine* yang dipasang pada kapal Tanker 6500 DWT untuk mensuplai kebutuhan penerangan. Tujuan tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan tipe dan ukuran *wind turbine* yang optimum serta memiliki biaya investasi yang rendah dari beberapa variasi *wind turbine*. Analisis *wind turbine* yang dilakukan adalah pada kecepatan kapal 12 knot, kecepatan angin 10,5 knot sehingga didapat kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 15,94 knot dengan sudut serang angin terhadap *wind turbine* (*angle of attack*,  $\alpha$ ) adalah  $180^0$  (arah angin berlawanan dengan arah kapal). Dari hasil analisa didapatkan *wind turbine* yang optimum untuk dipasang di kapal adalah tipe sumbu horisontal dengan diameter rotor 4 m dan jumlah yang terpasang sebanyak 10 unit. Dengan menggunakan rumus teoritis didapatkan hambatan yang ditimbulkan *wind turbine* sebesar 0,86 kN sehingga mengakibatkan pengurangan kecepatan kapal sebesar 0,066 knot. Dengan biaya investasi dan operasional sebesar USD 342,205.36 pemasangan *wind turbine* dapat menghemat bahan bakar sebesar USD 192,905.68 per tahun.

## 1. Pendahuluan

Semakin menipisnya ketersediaan akan minyak bumi membuat harga bahan bakar fosil menjadi tinggi. Krisis energi ini dikarenakan beberapa sebab diantaranya semakin berkurangnya sumber daya alam terutama minyak bumi dan makin bertambahnya jumlah sarana industri yang membutuhkan pasokan energi dari sumber daya alam tadi. Dengan naiknya harga bahan bakar akan berdampak pada industri perkapalan karena konsumsi bahan bakar fosil digunakan untuk menggerakkan kapal, untuk penerangan pada kapal, bahkan untuk bongkar muat sekalipun. Selain itu, bahan bakar fosil juga menimbulkan permasalahan lain yaitu pencemaran lingkungan baik pencemaran udara maupun pencemaran air. Dengan adanya permasalahan tersebut banyak negara-negara mulai mencari dan memanfaatkan alternatif sumber energi lain yang ramah lingkungan dan bisa membantu mengurangi ketergantungan akan bahan bakar fosil. Saat ini desain yang digunakan banyak yang memanfaatkan sumber energi alternatif seperti angin dan matahari. Pengembangan sumber

energi alternatif angin sangat cocok digunakan dalam industri perkapalan mengingat di laut energi angin ini sangat besar jumlahnya. Pemanfaatan energi angin bisa dilakukan dengan cara pemasangan layar atau *wind turbine* pada kapal.

Konsep kapal dengan *wind turbine* yang memanfaatkan energi angin memiliki karakteristik khusus dan mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kapal dengan *wind turbine* dapat mengurangi pemakaian bahan bakar dalam hal pemilihan mesin bantu tetapi memiliki kekurangan yaitu sangat bergantung pada kondisi angin seperti arah datangnya angin dan kecepatan angin (m/dtk atau km/jam).

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1. Turbin Angin (*Wind Turbine*)

Turbin angin atau *wind turbine* adalah kincir angin yang digunakan untuk memutar generator listrik dan menghasilkan energi listrik. Prinsip kerja dari turbin angin ini menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang terbarukan yaitu angin. Energi angin bisa ditangkap

dengan dua atau tiga buah bilah sudu yang didesain seperti sayap pesawat terbang. Bilah sudu yang digunakan berfungsi seperti sayap pesawat udara. Ketika angin bertiup melalui bilah tersebut, maka akan timbul udara bertekanan rendah di bagian bawah dari sudu, Tekanan udara yang rendah akan menarik sudu bergerak ke area tersebut. Gaya yang ditimbulkan dinamakan gaya angkat. Besarnya gaya angkat biasanya lebih kuat dari tekanan pada sisi depan bilah, atau yang biasa disebut tarik. Kombinasi antara gaya angkat dan tarik menyebabkan rotor berputar seperti propeler dan memutar generator.. Turbine angin terdiri dari 2 jenis yaitu turbin angin sumbu vertical (TASV) dan turbin angin sumbu horisontal (TASH).

Turbin angin mengambil energi angin dengan menurunkan kecepatannya. Untuk bisa mencapai 100% efisien, maka sebuah turbin angin harus menahan 100% kecepatan angin yang ada, dan rotor harus terbuat dari piringan solid dan tidak berputar sama sekali, yang artinya tidak ada energi kinetik yang akan dikonversi.

Besarnya energi angin yang dapat dikonversi menjadi daya dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$P = \frac{1}{2} A \rho \eta v^3 \quad (2.1)$$

Dimana :

P = daya yang dapat dihasilkan oleh *wind turbine*

A = *swept area wind turbine*

$\rho$  = massa jenis udara

$\eta$  = efisiensi *wind turbine*

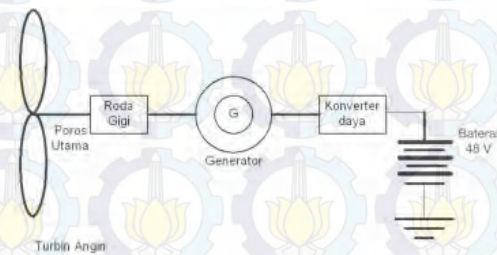
V = kecepatan angin

Secara teori, efisiensi maksimum yang bisa dicapai setiap desain turbin angin adalah 59%, artinya energi angin yang bisa diserap hanyalah 59%. Jika faktor-faktor seperti kekuatan dan durabilitas diperhitungkan, maka efisiensi sebenarnya hanya 35 - 45%, bahkan untuk desain terbaik. Terlebih lagi jika ditambah inefisiensi sistem wind turbine lengkap, termasuk generator, bearing, transmisi daya dan sebagainya, hanya 10-30% energi angin yang bisa dikonversikan ke listrik.

## 2.2. Cara Kerja Wind Turbine

Pembangkit Listrik Tenaga Angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin. Cara kerjanya cukup sederhana, energi angin yang memutar rotor turbin angin, kemudian akan memutar poros turbin angin yang dihubungkan ke

*gearbox* untuk memutar rotor pada generator dibagian belakang turbin angin sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan ini biasanya disimpan kedalam baterai sebelum dapat digunakan.



Gambar 2.1 Skema Sistem Konversi Energi Angin

## 2.3. Komponen Utama Wind Turbine

Dalam mengkonversi energi kinetik menjadi energi mekanik suatu *wind turbine* memerlukan beberapa komponen-komponen yang mempunyai fungsi masing-masing. Komponen-komponen tersebut antara lain adalah:

- Sudu
- Rotor
- Gearbox
- Generator
- Sensor dan pengatur arah
- Baterai
- Rectifier
- Regulator
- Tower
- Brake
- Controller

## 2.4. Penyimpanan Energi Oleh Baterai

Karena keterbatasan ketersediaan akan energi angin (tidak sepanjang hari angin akan selalu tersedia) maka ketersediaan listrik pun tidak menentu. Oleh karena itu digunakan alat penyimpan energi yang berfungsi sebagai *back-up* energi listrik. Ketika beban penggunaan daya listrik meningkat atau ketika kecepatan angin suatu daerah sedang menurun, maka kebutuhan permintaan akan daya listrik tidak dapat terpenuhi. Oleh karena itu kita perlu menyimpan sebagian energi yang dihasilkan ketika terjadi kelebihan daya pada saat turbin angin berputar kencang atau saat penggunaan daya menurun. Penyimpanan energi ini diakomodasi dengan menggunakan alat penyimpan energi. Contoh sederhana yang dapat dijadikan referensi sebagai alat penyimpan energi listrik adalah *accu* mobil. *Accu* mobil memiliki kapasitas penyimpanan energi yang cukup besar. *Accu* 12 volt, 65 Ah dapat dipakai untuk mencatu rumah tangga (kurang lebih) selama 0.5 jam pada daya 780 watt. Kendala dalam menggunakan alat

ini adalah alat ini memerlukan catu daya DC (*Direct Current*) untuk meng-charge/ mengisi energi, sedangkan dari generator dihasilkan catu daya AC (*Alternating Current*). Oleh karena itu diperlukan *rectifier-inverter* untuk mengakomodasi keperluan ini.

#### 2.4.1. Kebutuhan Baterai

Untuk pemenuhan kapasitas

$$n_Q = \frac{Q_{tot}}{Q_{batt}} \quad (2.2)$$

Untuk pemenuhan tegangan

$$n_v = \frac{V_{charger}}{V_{batt}} \quad (2.3)$$

Total kebutuhan baterai

$$n = n_Q \times n_v \quad (2.4)$$

#### 2.4.1. Lama Pengisian

$$t = \frac{Q_{batt} \times V_{batt}}{P_2} \quad (2.5)$$

Dimana

- t = lama pengisian
- $Q_{batt}$  = kapasitas baterai
- $V_{batt}$  = tegangan baterai

### 2.3. Gaya Drag dan Gaya Angkat

#### 2.3.1. Gaya Drag

Pada fluida yang bergerak dengan kecepatan yang sangat kecil, gaya drag pada suatu benda sangat mungkin disebabkan oleh kekentalan fluida tersebut, sesuai dengan kenyataan bahwa pada benda tersebut tidak ada gerakan relatif. Jenis aliran fluida ini dikenal dengan aliran Stokes. Sir George Stokes memperkenalkan efek viskositas dalam suatu bentuk persamaan aliran fluida untuk menentukan gaya drag suatu bola dalam aliran fluida yang sangat lambat. Persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya drag force adalah :

$$F_d = \frac{1}{2} \rho V^2 A C_d \quad (2.6)$$

Dimana

- $F_d$  = drag force
- $\rho$  = kerapatan udara
- V = kecepatan angin
- A = luas penampang

$C_d$  = koefisien drag

#### 2.3.2. Gaya Angkat

Gaya angkat merupakan gejala yang timbul karena adanya lapisan batas tipis yang timbul pada permukaan benda yang dilalui fluida. Timbulnya lapisan batas tipis ini karena adanya fluida yang bergerak dengan kecepatan rendah pada permukaan benda yang diakibatkan oleh dominannya gaya kekentalan.

$$F_L = \frac{1}{2} \rho V^2 A C_L \quad (2.7)$$

Dimana

- $F_L$  = gaya angkat
- $C_L$  = koefisien lift

### 2.4. Momen Bending

Momen bending merupakan suatu gaya yang mengakibatkan terjadinya efek tekuk pada elemen dimana gaya tersebut bekerja. Syarat terjadinya momen bending apabila gaya yang bekerja memotong penampang elemen serta memiliki jarak tertentu dengan tumpuan pada elemen tersebut.



Gambar 2.2 Cantilevers Beam Pada Silinder Pejal

$$\sigma_b = \frac{M}{W_b} \quad (2.8)$$

Dimana

- $\sigma_b$  = tegangan momen bending
- M = momen bending
- $W_b$  = modulus penampang

### 2.5. Hambatan Kapal

Hambatan kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal. Hambatan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal (Harvald, 1983). Hambatan tersebut nantinya akan diatasi oleh gaya dorong yang dihasilkan oleh putaran propeller, sehingga kapal bergerak dengan kecepatan tertentu. Hambatan total dapat dipandang sebagai suatu yang terdiri dari komponen yang dapat saling dikombinasikan dengan berbagai cara yang berbeda. Hambatan

spesifik kapal sebagai fungsi dari angka Froude Number (Fn). Menurut Holtrop & Mennen hambatan total kapal dibagi menjadi 2 komponen, yaitu :

1. Hambatan Kekentalan (*Viscous Resistance*)
2. Hambatan Gelombang (*Wave Resistance*)

Detail perhitungan kedua komponen hambatan di atas dijabarkan dalam buku *Principle of Naval Architecture Second Revision Vol II – Resistance, Propulsion and Vibration*, Edward V. Lewis, SNAME.

$$R_{tot} = \frac{1}{2} \rho V^2 S_{tot} [C_f(1+k_1) + C_A] + \frac{R_W}{W} \quad (2.9)$$

## 2.6. Propulsi Kapal

Propulsi kapal dihitung untuk menentukan daya mesin induk (*power*) dalam satuan *kilowatt* (kW) atau *horse power* (HP). Secara logika, jika kapal bergerak kearah depan dengan kecepatan *V* maka gaya reaksi akan muncul dari arah yang berlawanan dengan arah gerakanya. Gaya reaksi ini disebut tahanan kapal dengan satuan *kiloNewton*. Untuk dapat bergerak dengan kecepatan *V* maka gaya dorong (*thrust*) perlu dihasilkan. Gaya dorong (*thrust*) ini dihasilkan oleh baling-baling yang berputar karena adanya daya yang disalurkan dari mesin induk ke baling-baling melalui poros. Daya yang disalurkan dari mesin induk ke baling-baling akan semakin mengecil, hal ini dikarenakan adanya *gear box*, *bearing*, dan panjang poros sehingga mengurangi efisiensi daya ke baling-baling. Pada buku “*Ship Resistance and Propulsion*” diberikan persamaan untuk menghitung besarnya efisiensi tersebut. Persamaannya adalah sebagai berikut :

$$\eta_p = \frac{P_E}{P_B} \quad (2.10)$$

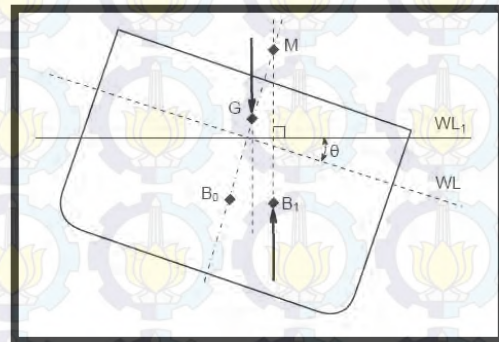
Dimana

- $\eta_p$  = *propulsive efficiency*
- $P_E$  = *effective horse power*
- $P_B$  = *break horse power*

## 2.7. Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semula setelah mengalami senget karena gaya yang bekerja pada kapal. Perhitungan stabilitas digunakan untuk mengetahui kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semula apabila mengalami oleng saat berlayar. Stabilitas kapal sangat dipengaruhi oleh berat dan bentuk kapal. Komponen-komponen yang harus

diperhatikan dalam perhitungan stabilitas adalah titik berat kapal (*G*), titik apung kapal (*B*) dan titik metasenter kapal (*M*).



Gambar 2.3 Komponen-Komponen Stabilitas Kapal

Ada 2 macam perhitungan stabilitas kapal yaitu:

### 2.7.1. Stabilitas Statis

Untuk kapal yang mengalami oleng dengan sudut oleng kecil, titik berat kapal tetap karena *displacement*-nya tetap (tidak berubah). Hanya saja bentuk badan kapal yang tercelup didalam air berubah sehingga terjadi pergeseran letak titik *B*. Dengan demikian pada kapal terdapat dua gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah. Gaya-gaya tersebut menyebabkan kapal mempunyai momen sebesar *P* dikali *h*. Momen ini disebut sebagai momen penegak (*righting moment*). Momen pengembali untuk sudut kecil disebut momen stabilitas awal.

$$S_a = P \times GM_T \sin \theta \quad (2.11)$$

Dimana

- $S_a$  = momen stabilitas statis awal
- $P$  = gaya berat kapal
- $GM_T \sin \theta$  = tinggi metasenter

### 2.7.2. Stabilitas Dinamis

Stabilitas dinamis diartikan sebagai kerja atau usaha yang dibutuhkan untuk mengolengkan kapal.

$$D_a = \Delta_{mld} \times GM_T (1 - \cos \theta) \quad (2.12)$$

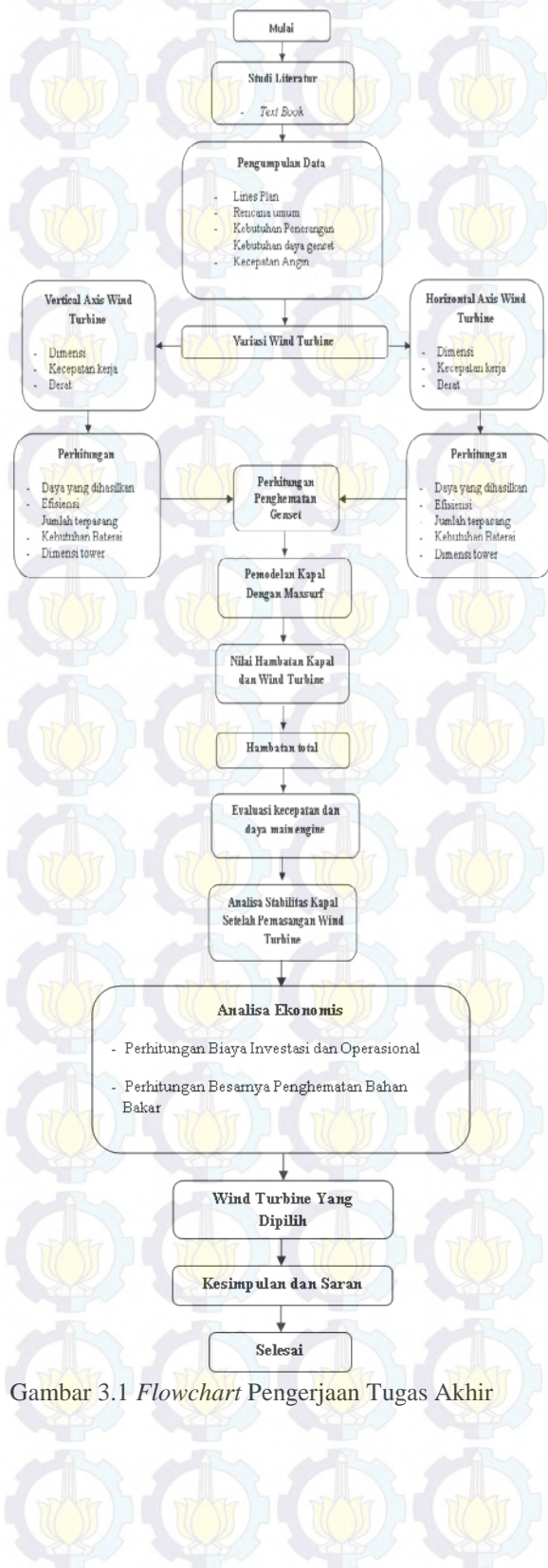
Dimana

- $D_a$  = momen stabilitas dinamis
- $\Delta_{mld}$  = displasemen kapal
- $\theta$  = sudut yang dibentuk garis air sarat (*waterline*) karena oleng (*heel*)

## 3. Metodologi Penelitian

Dalam karya ilmiah yang baik perlu memiliki metodologi yang terperinci dengan sumber

informasi yang sebanyak-banyaknya. Untuk mencapai hasil yang diinginkan, maka dalam pengerjaan Tugas Akhir ini diperlukan kerangka pengerjaan yang tersrtuktur.



Gambar 3.1 Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir

#### 4. Analisa Teknis dan Pembahasan

##### 4.1. Kecepatan Angin Yang Bekerja Pada Wind Turbine

Komponen yang sangat berpengaruh dari kerja *wind turbine* adalah kecepatan angin. Kecepatan angin ini akan menentukan berapa jumlah daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah *wind turbine*. Karena *wind turbine* dipasang di kapal, jadi kecepatan angin yang bekerja pada turbin angin merupakan resultan dari kecepatan kapal dan kecepatan angin. Dengan mengaplikasikan persamaan :

$$V = \sqrt{V_k^2 + V_a^2}$$

maka didapatkan kecepatan angin yang bekerja pada turbin angin adalah sebesar 15,94 knot atau 8,21 m/s.

##### 4.2. Perhitungan Wind Turbine dan Baterai

Dari kecepatan angin yang telah didapatkan, kemudian dicari variasi untuk *wind turbine* sumbu vertikal dan horisontal yang dapat bekerja pada kecepatan angin tersebut. Tujuan dilakukan variasi ini adalah agar didapatkan *wind turbine* yang paling optimum untuk dipasang di kapal. Dari semua variasi *wind turbine* tersebut kemudian dilakukan perhitungan-perhitungan seperti :

- Daya Output Wind Turbine
- Jumlah Wind Turbine Yang Dibutuhkan
- Jumlah Baterai
- Lama Pengisian Baterai
- Diameter Tower Wind Turbine
- Total Berat Pemasangan Wind Turbine

Daya penerangan yang akan disuplai oleh *wind turbine* adalah sebesar 21,2 kW. Dari jumlah daya yang dihasilkan oleh tiap-tiap *wind turbine* nantinya akan disimpan ke dalam baterai terlebih dahulu sebelum digunakan untuk penerangan sebagai antisipasi apabila kecepatan angin menurun atau terjadi kerusakan pada *wind turbine*. Dari jumlah daya yang dihasilkan oleh tiap-tiap *wind turbine* dan jumlah baterai serta kapasitas dan tegangan baterai, maka dapat dihitung lama pengisian dari seluruh baterai yang diperlukan. Dimensi tower juga perlu direncanakan karena tower tersebut akan menerima beban dan gaya-gaya yang diakibatkan oleh *wind turbine*. Pemasangan *wind turbine* ini akan menambah berat dan hambatan kapal, dengan adanya penambahan ini maka perlu dilakukan analisa pengaruhnya terhadap kapal.

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Untuk *Vertical Axis Wind Turbine*

No	Item	Satuan	Vertical Axis Wind Turbine					
			HAWKSFORD	CWE	MUCE	EVERWIND	SAIAM	VT
1	Daya Output	kW	2,093	2,259	2,767	7,497	2,079	1,383
2	Jumlah Wind Turbine	buah	11	10	8	3	11	16
3	Jumlah Baterai	buah	38	38	38	38	38	38
4	Lama Pengisian Baterai	jam	11,17	11,39	11,62	11,43	11,25	11,62
5	Dimensi Tower							
	- Diameter Luar	mm	150	200	200	250	200	150
	- Diameter Dalam	mm	120	160	160	200	160	120
	- Tinggi Tower	mm	9.000	9.000	9.000	9.500	9.000	9.000
6	Total Berat	ton	17,58	26,01	16,54	12,75	17,05	18,49

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Untuk *Horizontal Axis Wind Turbine*

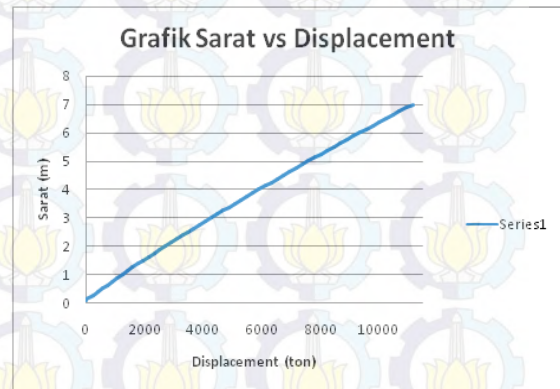
No	Item	Satuan	Horizontal Axis Wind Turbine						
			ISKRA	PROVEN	REDRIVEN	HUAYING	SAIAM 5 kW	NANJING	SAIAM 2 kW
1	Daya Output	kW	2,695	3,210	2,601	2,985	2,767	2,162	1,518
2	Jumlah Wind Turbine	buah	8	7	9	8	8	10	14
3	Jumlah Baterai	buah	38	38	38	38	38	38	38
4	Lama Pengisian Baterai	jam	11,93	11,45	10,99	10,77	11,62	11,90	12,10
5	Dimensi Tower								
	- Diameter Luar	mm	200	200	200	200	200	150	150
	- Diameter Dalam	mm	160	160	160	160	160	120	120
	- Tinggi Tower	mm	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000
6	Total Berat	ton	15,77	16,50	17,75	16,25	16,41	12,63	14,69

### 4.3. Analisa Kapal Setelah Pemasangan *Wind Turbine*

Setelah pemasangan *wind turbine* tentunya akan berpengaruh terhadap kondisi kapal. Penambahan berat dan hambatan kapal akibat adanya *wind turbine* akan berpengaruh terhadap kecepatan kapal dan stabilitas kapal. Bertambahnya hambatan kapal akan mengurangi kecepatan service kapal dan akibatnya diperlukan adanya daya tambahan untuk main engine agar kapal tetap bisa beroperasi pada kecepatan service awal kapal. Sedangkan untuk stabilitas kapal perlu dicek lagi apakah setelah pemasangan *wind turbine* ini, stabilitas kapal masih memenuhi peraturan yang digunakan.

#### 4.3.1. Analisa Hambatan

Bertambahnya berat kapal akibat pemasangan *wind turbine* dan komponen-komponennya akan mengakibatkan bertambahnya sarat kapal. Pertambahan sarat ini perlu dicari karena akan mempengaruhi besarnya hambatan kapal. Semakin besar luas permukaan kapal yang tercelup, semakin besar pula hambatan yang ditimbulkan. Besarnya pertambahan sarat ini bisa dicari berdasarkan kurva hidrostatik dengan mengplotkan variasi sarat dan displasemen kapal.

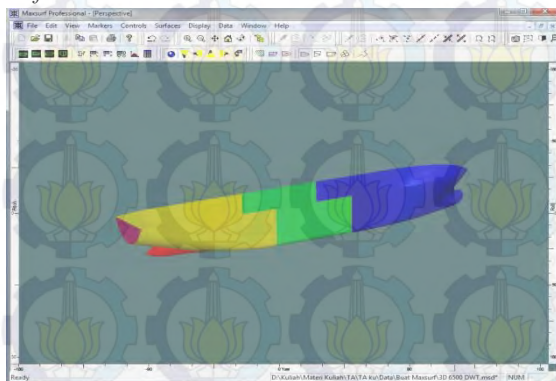


Gambar 4.1 Grafik Sarat Vs Displasemen Kapal

Dari grafik di atas bisa dihitung pertambahan sarat kapal akibat bertambahnya berat kapal dengan cara interpolasi. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa pemasangan *wind turbine* tidak terlalu berpengaruh terhadap penambahan hambatan badan kapal yang tercelup, hal ini dibuktikan dari hasil perhitungan untuk *wind turbine* yang memiliki *massa* paling besar hanya menambah sarat kapal sebesar 0,015 meter atau sekitar 0.24 % dari sarat awal. Jadi perhitungan hambatan kapal mengacu pada sarat awal kapal.

Hambatan kapal dihitung dengan menggunakan metode Holtrop and Mennen dengan bantuan *software* maxsurf hullspeed. Namun terlebih dahulu harus membuat model kapal pada

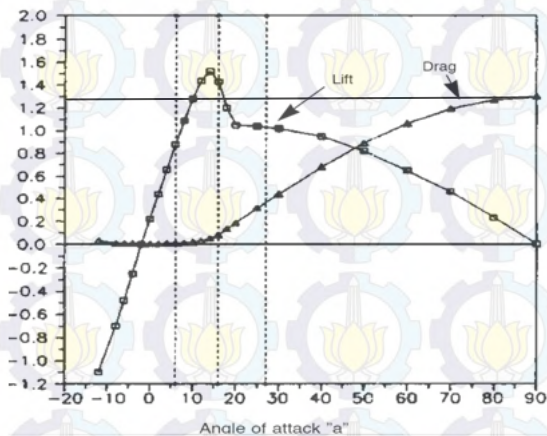
maxsurf pro yang terdiri dari gabungan beberapa *surface*.



Gambar 4.2 Model Kapal Pada Maxsurf

Setelah dilakukan beberapa proses tahapan, didapatkan hambatan kapal pada kecepatan 12 knot adalah sebesar 156 knot sedangkan dengan menggunakan rumus teoritis didapatkan harga hambatan kapal adalah sebesar 158 knot dengan pemberian margin sebesar 10%.

Hambatan dari *wind turbine* dihitung berdasarkan besarnya kecepatan angin, luas penampang *wind turbine* dengan koefisien drag dari penampang dan kerapatan udara.



Gambar 4.3 Grafik  $C_L$ ,  $C_D$  dan *angle of attack* series NACA 63 (Henrik Stiesdal, 1999)

Berdasarkan grafik di atas harga koefisien drag untuk sudut serang angin  $90^0$  adalah 1,3. Harga ini diambil dari profil NACA series 63 berdasarkan *catalogue wind turbine*. Dengan kerapatan udara sebesar  $1,3 \text{ kg/m}^3$  maka bisa dihitung hambatan dari tiap-tiap *wind turbine*.

Setelah itu dilakukan penjumlahan anatra hambatan *wind turbine* dengan hambatan kapal sehingga didapatkan hambatan total. Hambatan total inilah yang akan digunakan untuk menghitung besarnya pengurangan kecepatan kapal setelah pemasangan *wind turbine*.

Tabel 4.3 Rekapitulasi Perhitungan Hambatan Untuk VAWT

Buatan	Hambatan Kapal (kN)	Hambatan Wind Turbine (kN)	Total Hambatan (kN)
HAWKSFORD	156	3,606	159,606
CENTURY WIND ENERGY	156	6,163	162,163
MUCE	156	3,607	159,607
EVERWIND	156	3,263	159,263
SAIAM	156	13,437	169,437
VT	156	5,094	161,094

Tabel 4.4 Rekapitulasi Perhitungan Hambatan Untuk HAWT

Buatan	Hambatan Kapal (kN)	Hambatan Wind Turbine (kN)	Total Hambatan (kN)
ISKRA	156	1,180	157,180
PROVEN WT	156	1,078	157,078
REDRIVEN	156	1,158	157,158
HUAYING	156	1,333	157,333
SAIAM	156	1,115	157,115
NANJING	156	0,862	156,862
SAIAM	156	1,002	157,002

### 4.3.2. Evaluasi Pengurangan Kecepatan Kapal

Dengan adanya *wind turbine* akan mengurangi kecepatan kapal akibat hambatan yang ditimbulkan oleh *wind turbine*. Pengurangan kecepatan ini perlu dihitung karena apabila pengurangannya besar maka perlu adanya daya tambahan untuk *main engine* agar kapal bisa tetap beroperasi pada kecepatan service awal.

Tabel 4.5 Evaluasi Kecepatan dan Daya Main Engine Untuk VAWT

Buatan	Pengurangan Kecepatan (knot)	Penambahan Daya (kW)
HAWKSFORD	0,271	63,799
CENTURY WIND ENERGY	0,456	109,042
MUCE	0,271	63,820
EVERWIND	0,246	57,733
SAIAM	0,952	237,734
VT	0,379	90,122

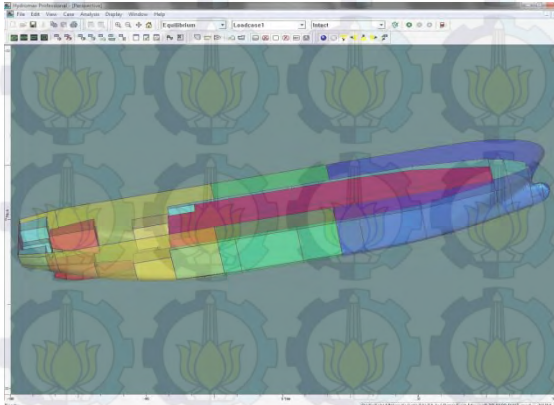
Tabel 4.6 Evaluasi Kecepatan dan Daya Main Engine Untuk HAWT

Buatan	Pengurangan Kecepatan (knot)	Penambahan Daya (kW)
ISKRA	0,090	20,869
PROVEN WT	0,082	19,066
REDRIVEN	0,088	20,492
HUAYING	0,102	23,581
SAIAM	0,085	19,724
NANJING	0,066	15,254
SAIAM	0,077	17,732

### 4.3.3. Analisa Stabilitas Kapal

Pemasangan *wind turbine* akan menambah berat kapal, bertambahnya berat kapal ini tentunya akan merubah posisi titik berat kapal sehingga perlu dilakukan analisa ulang mengenai stabilitas kapal. Stabilitas kapal dianalisa dengan bantuan maxsurf hydromax. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

#### 1. Pemodelan Tanki



Gambar 4.4 Pemodelan Tanki Pada Maxsurf Hydromax

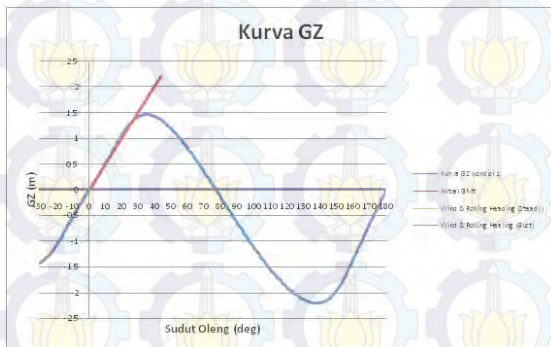
#### 2. Pemasukan Kondisi Pembebanan

Adapun kondisi pembebanan tersebut adalah kapal kondisi berangkat dengan muatan dan consumable penuh, kapal kondisi sampai ditujuan dengan muatan penuh dan consumable tersisa 10%, kapal kondisi keberangkatan dengan muatan kosong consumable penuh, kapal kondisi sampai dengan muatan kosong dan consumable tersisa 10% dan kapal pada saat kondisi kosong.

#### 3. Penentuan Kriteria Stabilitas

Kriteria stabilitas yang digunakan adalah peraturan IMO Annex 749.

Setelah semua tahapan dilakukan kemudian dilakukan *running* dan akan didapatkan hasil berupa kurva stabilitas. Dimana dari kurva stabilitas ini bisa dilihat apakah kapal tersebut masih memenuhi persyaratan IMO.



Gambar 4.5 Kurva Stabilitas Kapal Pemasangan *Wind Turbine* Nanjing Kondisi Muatan Penuh.

### 5. Analisa Ekonomis dan Pembahasan

Adapun komponen-komponen yang dihitung antara lain :

#### 5.1. Biaya Investasi

Perhitungan biaya investasi *wind turbine* meliputi beberapa biaya yaitu : biaya pembelian *wind turbine* beserta komponen pendukungnya (termasuk tower), biaya pembelian baterai, biaya jasa pengiriman barang, biaya *electrical connection*, dan biaya instalasi. Untuk perhitungan biaya instalasi dan *electrical connection* mengacu pada “Wind Turbine Design Cost and Scalling Model”. Karena setelah pemasangan *wind turbine* dilakukan pergantian generator, maka biaya pembelian, pengiriman dan pemasangan generator juga masuk kedalam biaya investasi.

#### 5.2. Biaya Operasional dan Maintenance

Selama *wind turbine* beroperasi, terdapat biaya-biaya yang harus dikeluarkan untuk menjaga kinerja dari *wind turbine*. Biaya tersebut adalah biaya *maintenance* dan biaya *replacement*. Besarnya biaya *maintenance* untuk *wind turbine* di bawah 50 kW adalah USD 40 per kW tiap tahunnya sedangkan biaya *replacement*-nya adalah USD 10.7 per kW tiap tahunnya. Angka ini berdasarkan jurnal “Wind Turbine Design Cost and Scalling Model”.

#### 5.3. Biaya Penghematan Bahan Bakar

Biaya penghematan bahan bakar ini dihitung berdasarkan selisih SFC genset lama dengan genset baru setelah adanya *wind turbine*. Dengan mengasumsikan harga bahan bakar adalah USD 877.36 per tonnya maka didapatkan penghematan bahan bakar per tahunnya adalah sebesar USD 192,905.68

#### 5.4. Analisa Kelayakan Investasi

Analisa kelayakan ini digunakan untuk mengetahui apakah investasi akan mengalami keuntungan dalam beberapa tahun kedepan. Analisa ini dilakukan dengan membandingkan biaya investasi dan operasional *wind turbine* per tahunnya dengan biaya penghematan bahan bakar per tahunnya. Dengan mengambil lama operasi 15 tahun (umur rata-rata *wind turbine*) maka didapatkan bahwa pemasangan *wind turbine* ini layak untuk dilakukan karena bisa memberikan keuntungan. Selain itu juga bisa dihitung pada tahun ke berapa investasi ini akan mengalami keuntungan berdasarkan Break Event Point (BEP).



Tabel 4.7 Analisa Kelayakan Pemasangan *Vertical Axis Wind Turbine* di Kapal

No	Item	Satuan	Vertical Axis Wind Turbine					
			HAWKSFORD	CWE	MUCE	EVERWIND	SAIAM	VT
1	Biaya Investasi + Operasional Wind Turbine							
	- Biaya Investasi + Operasional Wind Turbine	USD	473.906,48	458.710,57	386.895,16	388.843,24	416.576,96	379.647,60
	- Biaya Investasi + Operasional Wind Turbine	USD/year	31.593,77	30.580,70	25.793,01	25.922,88	27.771,80	25.309,84
2	Penghematan Bahan Bakar							
	- Penghematan Bahan Bakar	USD/day	552,74					
	- Penghematan Bahan Bakar	USD/year	192.905,68					
ANALISA KELAYAKAN			Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Tabel 4.8 Analisa Kelayakan Pemasangan *Horizontal Axis Wind Turbine* di Kapal

No	Item	Satuan	Horizontal Axis Wind Turbine						
			ISKRA	PROVEN	REDRIVEN	HUAYING	SAIAM 5 kW	NANJING	SAIAM 2 kW
1	Biaya Investasi + Operasional Wind Turbine								
	- Biaya Investasi + Operasional Wind Turbine	USD	561.211,32	586.712,57	578.914,78	466.525,06	432.211,20	342.205,36	361.796,38
	- Biaya Investasi + Operasional Wind Turbine	USD/year	37.414,09	39.114,17	38.594,32	31.101,67	28.814,08	22.813,69	24.119,76
2	Penghematan Bahan Bakar								
	- Penghematan Bahan Bakar	USD/day	552,74						
	- Penghematan Bahan Bakar	USD/year	192.905,68						
ANALISA KELAYAKAN			Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	

## 6. Kesimpulan dan Saran

### 6.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Dari hasil analisa variasi jenis dan ukuran *wind turbine*, didapatkan *wind turbine* yang optimum untuk dipasang di kapal adalah *wind turbine* sumbu horisontal dengan spesifikasi teknis sebagai berikut :

Tabel 6.1 Spesifikasi Teknis *Wind Turbine* Yang Dipilih

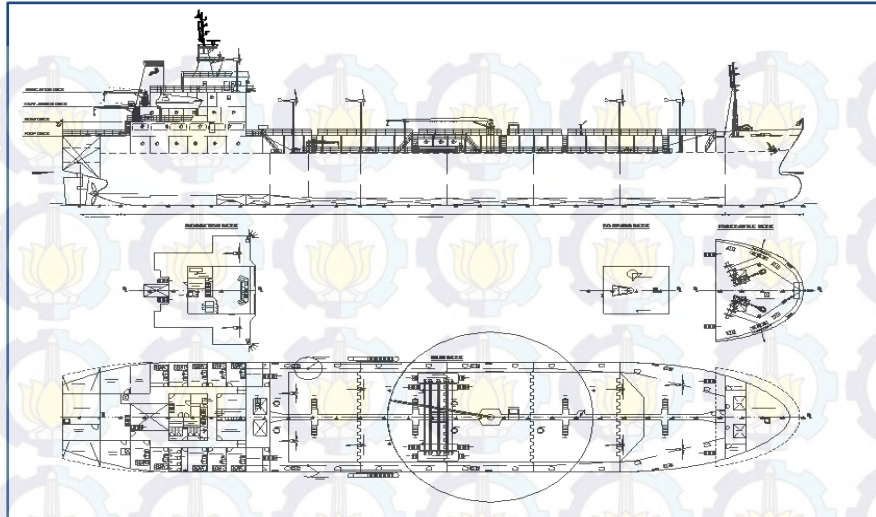
Type	HAWT
Produsen	NANJING
Model	LS-2kW
Diameter Blade	4 m
Swept Area	12,56 m <sup>2</sup>
Start Up Wind Speed	3 m/s
Rated Wind Speed	8 m/s
Power	2000 watt
Massa	100 kg

Jumlah *wind turbine* yang dibutuhkan untuk mensuplai kebutuhan penerangan di kapal dengan spesifikasi *wind turbine* seperti pada **tabel 6.1** adalah sebanyak 10 buah.

2. Tower *wind turbine* terbuat dari baja SS400 berbentuk tabung berongga dengan diameter luar 150 mm dan diameter dalam 120 mm.
3. Setelah adanya *wind turbine* daya untuk penerangan sebesar 21,2 kW tidak lagi disuplai oleh generator sehingga dalam perencanaannya

bisa menggunakan generator dengan daya yang lebih kecil dari sebelumnya. Generator baru yang digunakan berjumlah 3 buah dengan *power* tiap-tiap generator sebesar 354 kW dari yang sebelumnya menggunakan 3 buah genset dengan *power* masing-masing genset sebesar 360 kW.

4. Apabila kapal ini tetap menggunakan daya mesin dari perencanaan awal, maka kecepatan *service* kapal menjadi 11,9 knot. Dengan kecepatan *service* awal kapal sebesar 12 knot maka didapatkan pengurangan kecepatan kapal sebesar 0,066 knot atau 0,55% dari kecepatan awal.
5. Besarnya daya tambahan yang diperlukan *main engine* agar kapal tetap beroperasi pada kecepatan *service* awal kapal sebesar 12 knot adalah sebesar 15,2 kW atau 20,7 HP. Karena pengurangan kecepatan kapal tidak terlalu signifikan, maka tidak perlu dilakukan penggantian *main engine*.
6. Biaya investasi dan operasional pemasangan *wind turbine* dengan lama operasi 15 tahun sebesar USD 325,157.56 sehingga biaya investasi dan operasional pemasangan *wind turbine* per tahunnya sebesar USD 21,677.17
7. Dengan adanya *wind turbine* dapat menghemat pemakaian bahan bakar generator sebesar USD 552.74 per hari atau USD 192,905.68 per tahun.



Gambar 6.1 Pemasangan *Wind Turbine* Nanjing di Kapal

## 6.2. Saran

1. Untuk mendapatkan hasil perhitungan yang lebih akurat mengenai analisa daya yang dihasilkan dan hambatan dari *wind turbine*, perlu dilakukan pemodelan *wind turbine* dengan menggunakan CFD.
2. Perlu dilakukan survey kondisi kapal secara langsung sehingga dapat diketahui berapa jumlah *wind turbine* yang dapat terpasang di kapal dan kecepatan rata-rata yang bekerja pada *wind turbine* pada saat kapal beroperasi.
3. Perlu dilakukan variasi sudut serang angin terhadap *wind turbine* guna mengetahui pengaruhnya terhadap olah gerak kapal.
4. Penelitian ini hanya membahas mengenai pemanfaatan energi angin untuk menggantikan lampu penerangan pada kapal Tanker 6500 DWT. Agar lebih jelas dan praktis perlu dilakukan penelitian yang menggantikan seluruh kebutuhan listrik kapal dengan energi angin, dengan demikian secara ekonomis penggantian ini akan dapat lebih signifikan pengaruhnya dibandingkan dengan sistem sebelumnya.

## Daftar Pustaka

Bockman, Eirik dan Steen, Sverre. June 2011. "Wind Turbine Propulsion of Ship", Second International on Marine Propulsor.

Data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Perak I, Surabaya.

Fingers. L. Hand M, and Laxson A, "Wind Turbine Design Cost and Scaling Model", Cole

Boulevard, Golden, Colorado, December 2006.

Ganda Akbar, 2009, Tugas Akhir "Studi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Laut Untuk Memenuhi Kebutuhan Penerangan Jembatan Suramadu", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Gere, James M., and Timoshenko, Stephen P., "Mekanika Bahan Jilid 1 Edisi Keempat", Erlangga, 2000, Jakarta.

Harvald. Sv.Aa., 1992, "Resistance and Propulsion of Ship", Departement of Ocean Engineering and John wiley & sons Inc, New york.

Jacobs,G.J., 2008, "Small Wind Turbine System for Battery Charge".

Lewis, E.V.(Editor), 1988, "Principle of Naval Architecture, Volume II. – Resistance, Propulsion and Vibration", The Society of Naval Architecture and Marine Engineers, Jersey City.

Lysen, E. H., Agustus 1982, "Introduction to Wind Energy", CWD Amersfoort The Netherlands.

Park, Jack., 1981, "The Wind Power Book", Cheshire Books, Palo Alto California.

Strong, Simon James., 2008, Dissertation "Design of a Small Wind Turbine", University of Southern Queensland, Australia.

Walford, Christopher A., March 2006, "Understanding and Minimizing Wind Turbine Operation and Maintenance Cost", Sandia National Laboratory, California.