



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Teknis dan Ekonomis Penggunaan *Wind Turbine* Sebagai Alternatif Bahan Bakar Kapal Pembersih Gulma

Ryan Melpin Silaen¹, Berlian Arswendo A¹, Sarjito Jokosisworo¹,

¹)Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia

Email: ryanmelvin11@gmail.com, berlianarswendokapal@gmail.com, sarjitojs@gmail.com

Abstrak

Armada kapal sangat bergantung pada bahan bakar minyak. Perairan Danau Toba yang disebut sebagai salah satu destinasi wisata di kotori dengan adanya eceng gondok, dengan pertumbuhan eceng gondok yang sangat cepat dapat menutupi aliran Danau Toba untuk itu perlu dilakukan tindakan pembersihan. Berangkat dari permasalahan tersebut, tugas akhir ini mencoba menghadirkan kapal pembersih gulma untuk digunakan dalam pembersihan eceng gondok dengan menggunakan *wind turbine* untuk mengurangi pemakaian bahan bakar minyak untuk mensuplai kebutuhan daya conveyor. Tujuan tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan tipe dan ukuran *wind turbine* yang optimum serta memiliki biaya investasi yang rendah dan mendapatkan keuntungan ekonomis. Analisis *wind turbine* yang dilakukan adalah pada kecepatan kapal 8 knot, kecepatan angin 3,03 knot sehingga didapat kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 8,55 knot dengan sudut serang angin terhadap *wind turbine* (angle of attack, α) adalah 180 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 1,8 m dengan jumlah yang terpasang sebanyak 2 unit. Dengan menggunakan rumus teoritis didapatkan hambatan yang ditimbulkan *wind turbine* sebesar 8 kN sehingga mengakibatkan pengurangan kecepatan sebesar 0.406 knot. Dengan total biaya investasi dan operasional awal sebesar Rp 17.836.782 pemasangan *wind turbine* dapat menghemat biaya sebesar Rp 3.801.600 per tahun.

Kata kunci : *Wind Turbine*, Analisa Teknis, Analisa Ekonomis, Energi Terbarukan, Kecepatan Angin

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gulma air seperti eceng gondok adalah salah satu tanaman dengan produktivitas dan laju pertumbuhan yang sangat cepat sehingga sangat mengganggu sektor pariwisata air, untuk itu penting adanya usaha dalam mengatasi masalah tersebut, salah satunya dengan kapal pembersih gulma.

Kapal pembersih gulma merupakan salah satu alat transportasi yang menggunakan bahan bakar minyak. Namun dengan tingginya harga bahan bakar saat ini diharapkan mencari solusi lain pemakaian bahan bakar seperti

menggunakan *wind turbine* untuk mensuplai kebutuhan bahan bakar kapal. Penggunaan *wind turbine* pada kapal dapat mengurangi pemakaian bahan bakar minyak. Daya *wind turbine* yang dihasilkan untuk memenuhi beban bahan bakar pada kapal [1].

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 tetap memiliki kekurangan yang sangat bergantung pada

kondisi arah datangnya angin dan kecepatan angin (m/dtk atau km/jam) [2].

Untuk menentukan kapal layak laut atau tidak dan melihat kondisi kapal, perlu adanya perhitungan stabilitas. Sehingga dapat ditentukan

kapal tersebut aman atau tidak untuk berlayar.

Penempatan *wind turbine* yang baik pada kapal dapat memaksimalkan daya yang dihasilkan oleh *wind turbine*. *Wind turbine* dapat mengurangi pengeluaran bahan bakar minyak dari pemakaian generator kapal serta mengurangi biaya pembelian bahan bakar tersebut.

1.1. Perumusan Masalah

Berdasarkan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang, maka penelitian ini diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendapatkan jenis, ukuran dan jumlah *wind turbine* yang akan di gunakan?
2. Bagaimana mendapatkan desain *wind turbine* yang tepat untuk menyuplai kebutuhan akomodasi kapal?
3. Bagaimana menghitung besarnya pengurangan kecepatan kapal setelah di pasang *wind turbine*?
4. Bagaimana nilai hambatan dan stabilitas setelah penambahan *wind turbine*?

1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang diatas, maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan jenis ukuran dan jumlah *wind turbine* yang akan di gunakan.
2. Mendapatkan gambar rencana umum kapal yang sudah di pasang *wind turbine*.
3. Mendapatkan penghematan biaya setelah pemasangan *wind turbine*.
4. Mendapatkan nilai hambatan dan stabilitas setelah penambahan *wind turbine*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Rencana Umum

Rencana umum dari sebuah kapal dapat didefinisikan sebagai perancangan di dalam penentuan atau penandaan dari semua ruangan yang dibutuhkan, ruangan yang dimaksud seperti ruang muat dan ruang kamar mesin dan akomodasi, dalam hal ini disebut superstructure (bangunan atas) disamping itu juga direncanakan penempatan peralatan-peralatan dan letak jalan-

jalan dan beberapa sistem dan perlengkapan lainnya.

Pengerjaan atau pembangunan kapal yang terpenting adalah perencanaan untuk mendapatkan sebuah kapal yang dapat bekerja dengan baik harus diawali dengan perencanaan yang baik pula. Langkah-langkah dalam menggambar Rencana Umum : Menentukan Ruang Utama.

1. Menentukan batas-batas dari ruangan ruangan didalam kapal.
2. Memilih dan menempatkan peralatan atau perlengkapan
3. Menentukan jalan untuk mencapai ruangan-ruangan didalam kapal.
4. Menentukan banyaknya kursi yang digunakan
5. Menentukan segala peralatan yang di butuhkan yang di atur sesuai dengan letaknya.

2.2. Wind Turbine (Turbin Angin)

Turbin angin atau *wind turbine* adalah kincir angin yang digunakan untuk memutar generator listrik dan menghasilkan energi listrik. 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: [3].

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

Dimana :

P = daya yang dapat dihasilkan oleh *wind turbine*

A = *swept area wind turbine*

ρ = massa jenis udara

η = efisiensi *wind turbine*

V = kecepatan angin

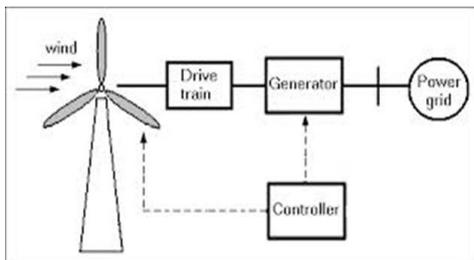
Secara teori, efisiensi maksimum yang bisa dicapai setiap desain turbin angin adalah 59%, artinya energi angin yang bisa diserap hanyalah 59%. Jika faktor-faktor seperti kekuatan dan durabilitas diperhitungkan, maka

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. [3].

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



Gambar 1. Skema Kerja Wind Turbin

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.

3. METODE 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.

Adapun pengerjaan untuk menyelesaikan permasalahan. Hal utama yang perlu dilakukan adalah pengolahan data kecepatan angin yang didapat dari BMKG Balai Wilayah 1 Medan dan

pembuatan model kapal dengan *rhinoceros* dan *autocad*. Dari data kecepatan angin dan model kapal, maka dapat dilakukan analisa teknis dan ekonomis yang mencakup permasalahan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Angin

Data kecepatan dan arah angin Danau Toba diambil sesuai daerah pelayaran kapal yang dijadikan sebagai acuan. Titik yang diambil adalah Danau Toba dengan koordinat *latitude* 2.68751805, *longitude* 98.88171338 (Parapat).

Tabel 1. Data Angin Danau Toba

Year	Month	Danau Toba (Parapat) Average Wind Speed (knots)
2016	April	3.06
2016	Mei	2.90
2016	Juni	3.10
2016	Juli	2.87
2016	Agustus	2.93
2016	September	3.13
2016	Oktober	3.09
2016	November	3.20
2016	Desember	3.03
2017	Januari	2.96
2017	Februari	3.10
2017	Maret	3.00
Average		3.03

4.2. Perhitungan Kecepatan Angin

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 maka didapatkan kecepatan angin yang bekerja pada turbin angin adalah sebesar 8,554 knot atau sama dengan 4.40 m/s.

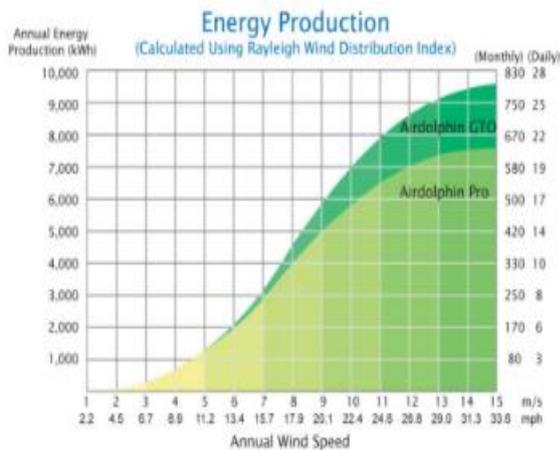
Tabel. 2 Data kecepatan *wind turbine* yang bekerja

V _k (knot)	V _a (knot)	V (knot)	V (ms)
0.000	3.03	3.03	1.50
1.000	3.03	3.190	1.64
2.000	3.03	3.630	1.86
3.000	3.03	4.263	2.19
4.000	3.03	5.018	2.58
5.000	3.03	5.846	3.00
6.000	3.03	6.721	3.45
7.000	3.03	7.627	3.92
8.000	3.03	8.554	4.40

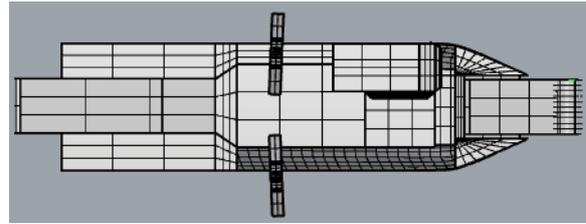
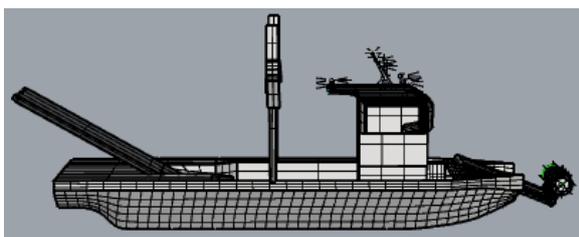
4.3. Spesifikasi *Wind Turbine* yang Digunakan :

Data *wind turbine* yang digunakan pada kapal memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- *Rated power* : 1 kW @ 8 m/s
- *Peak power* : 5 kW
- *Start-up windspeed* : 2,5 m/s
- *Max speed* : 50 m/s
- *Rotor diameter* : 1,8 m
- *Weight* : 17,7 kg
- *Category* : Horisontal



Gambar 2. Power Curve Air Dolphin 1kW



Gambar 3. Kapal Terpasang *Wind Turbine*

4.4. Daya yang Dikeluarkan oleh *Wind Turbine*

Diketahui kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 8,554 knot atau 4,40 m/s

Tabel.3 *Annual Power Output Wind Turbine*

Kecepatan angin rata-rata (m/s)	Angin Power Output (kW)
3	260
4	660
4,4	1194
5	1260
6	2050
7	3170
8	3930

Daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* dalam satu tahun pada kecepatan 4,4 m/s sebesar 1194 kW.

Waktu berlayar kapal 6 jam apabila kecepatan kapal 4,4 m/s Maka, daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* untuk sekali berlayar sebesar 0,81 kW. Untuk 2 *wind turbine* dapat menghasilkan daya sebesar 1,635 kW

4.5. Perbandingan Daya yang Dihasilkan oleh *Wind Turbine* dan Daya Generator

Daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* sebesar 1,635 kW dan daya yang dihasilkan oleh generator yang dipakai kapal sebesar 206 kW. *Wind turbine* dapat memenuhi sebesar 0.80 % dari daya generator kapal.

4.6. Penggunaan Daya *Wind Turbine*

Dengan daya yang di hasilkan *wind turbine* sebesar 1,635 kW , maka dapat memenuhi 100% daya untuk conveyor sebesar 0.465kW

4.7. Berat Total Wind Turbine

Berat total *wind turbine* merupakan penjumlahan dari berat *wind turbine*, sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan di kapal. Berat total ini akan berpengaruh terhadap hambatan dan stabilitas kapal. Setelah adanya penambahan berat ini, maka batasan-batasan tersebut perlu dilakukan analisa ulang.

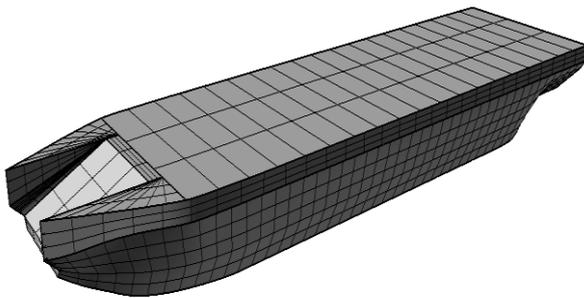
Tabel.4 Berat Wind Turbine

Item	Berat Satuan (kg)	Jumlah	Total Berat (kg)
Wind Turbine	17,7	2	35

4.8. Hambatan Kapal

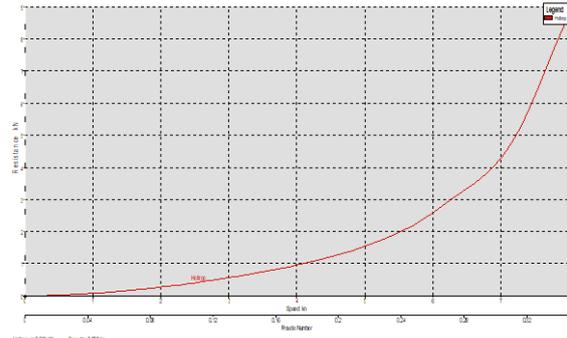
Bertambahnya berat kapal akibat pemasangan *wind turbine* dan komponen-komponennya akan mengakibatkan bertambahnya sarat kapal. Pertambahan sarat ini perlu dicari karena akan mempengaruhi besarnya hambatan kapal. Semakin besar luas permukaan kapal yang tercelup, semakin besar pula hambatan yang ditimbulkan. [4].

Hambatan kapal akan dihitung dengan menggunakan metode Holtrop dengan bantuan software maxsurf hullspeed. Namun terlebih dahulu harus membuat model kapal pada software Rhinoceros



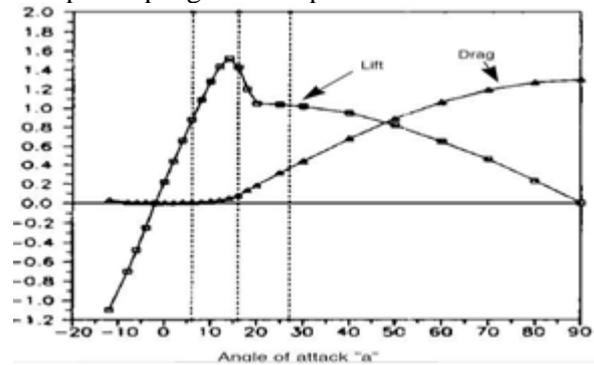
Gambar 4. Model Kapal pada Rhinoceros

Setelah dilakukan beberapa proses tahapan pada *software* maxsurf hullspeed, didapatkan hambatan pada kecepatan 8 knot adalah sebesar 8.8 kN



Gambar 5. Grafik Hambatan Hullspeed

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



Gambar 6. Grafik C_L , C_D dan *angle of attack* series NACA 63.

Berdasarkan grafik di atas harga koefisien drag untuk sudut serang angina 90 adalah 1,3. Harga ini diambil dari profil NACA series 63 berdasarkan catalogue *wind turbine*. Dengan kerapatan udara sebesar 1,3 kg/m³ maka bisa dihitung hambatan dari tiap-tiap *wind turbine*. Besarnya hambatan dari turbine dapat dihitung dengan persamaan [5].

$$F_D = 0,5 \times C_D \times \rho \times V^2 \times (bc) \quad (2)$$

Dimana :

- ρ = massa jenis udara (ton/m³)
- b = panjang blade turbin (m)
- c = panjang chord ($2r (\sin (\alpha/2))$) (m)
- V = kecepatan angin yang bekerja pada Turbin (m/s)
- C_D = koefisien drag

Tabel 5. Total Hambatan Setelah Pemasangan *Wind Turbine*

Speed (knot)	Holtrop Resist (kN)	Holtrop Power (kW)
0	--	--
1	0,1	0,037
2	0,3	0,268
3	0,5	0,847
4	0,9	1,924
5	1,5	3,794
6	2,4	7,307
7	3,7	13,463
8	7,1	29,141

Setelah dilakukan perhitungan hambatan *wind turbine* yang didapat sebesar 8 kN. Besarnya hambatan terjadi saat kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 4,40 m/s.

Setelah dilakukan penjumlahan antara 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*, 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 [6].

4.9. 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 8 knot.

Tabel 6. Evaluasi Kecepatan dan Daya Main Engine

Kecepatan Awal (knot)	Fd (kN)	Penambahan Daya(kW)
0	--	--
1	0,05	0,15
2	0,1	0,4
3	0,1	0,7
4	0,1	1,1
5	0,2	1,7
6	0,2	2,8
7	0,3	4,6
8	0,4	9,2

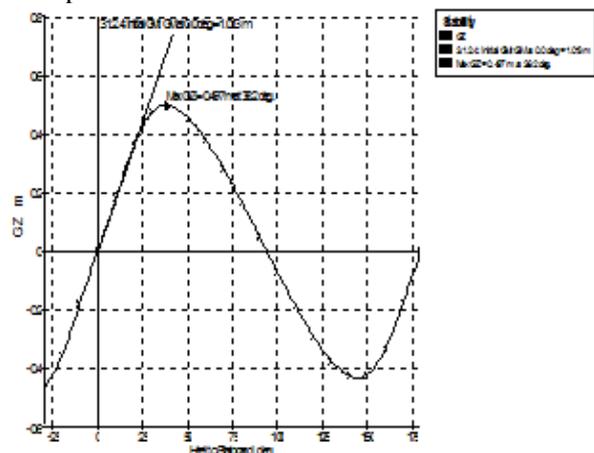
4.10. Analisa Stabilitas Kapal

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. Pemasukan Kondisi Pembebanan Adapun kondisi pembebanan tersebut adalah kapal kondisi muatan penuh dengan BBM, air tawar tinggal 100 %, kondisi kapal muatan dengan BBM 90% , air tawar tinggal 85 % , kondisi kapal muatan BBM 75% air tawar 65% , kondisi kapal BBM 100% air tawar tinggal 100%

2. Penentuan Kriteria Stabilitas

Kriteria stabilitas yang digunakan adalah peraturan IMO Anex 749



Gambar 7. Kurva Stabilitas Kapal dengan *Wind Turbine* muatan penuh, bbm 100%, air tawar 100%

Tabel 7. Hasil Analisa Stabilitas Kapal

No	Kriteria	Kondisi			
		I	II	III	IV
1	Area 0 to 30	12,581	6,189	5,678	7,824
2	Area 0 to 40	21,716	10,695	9,593	12,732
3	Area 30 to 40	9,134	4,512	3,915	4,908
4	Max GZ or greater	1,004	0,459	0,397	0,497
5	Angle of Maximum GZ	47,3	36,4	34,5	1,013
6	Initial GMt	1,582	0,736	0,675	1,013
STATUS		Pass	Pass	Pass	Pass

4.11. Jumlah Investasi Wind Turbine

Biaya investasi ini meliputi biaya pembelian *wind turbine*, biaya electrical connection, biaya instalasi *wind turbine*, biaya operasional dan maintenance, biaya replacement.

Tabel 8. Rincian biaya *wind turbine* Air Dolphin

Barang	Harga Satuan (USD)	Jumlah	Total Harga (USD)
<i>Wind Turbine</i> Includes :			
-Wind Generator			
-3 in 1 Hybrid Controller	411.45	2	822.9
-Inverter			
-Tower			
TOTAL			822.9

Biaya *electrical connection* adalah biaya yang dibutuhkan untuk pengadaan alat-alat yang berfungsi untuk menyambungkan sistem dari *wind turbine* ke baterai dan dari baterai ke ke lampu penerangan[7]. Yang termasuk dalam biaya ini adalah pembelian kabel, *transformer*, dll. Berdasarkan persamaan yang diberikan pada jurnal “*Wind Turbine Design Cost and Scaling Model*” besarnya biaya *electrical connection* bergantung pada power yang dihasilkan oleh *wind turbine*. Persamaan yang diberikan adalah sebagai berikut:

$$\text{Electrical Connection Cost} = \text{machine rating} \times \text{electrical connection cost factor}$$

(USD)

Sedangkan

Electrical Connection Cost Factor =

$$3,49E-06 \times \text{machine rating}^2 - 0,221 \times \text{machine rating} + 109,7 \text{ (USD/kW)} \quad (4)$$

Dimana :

$$\text{Machine rating} = \text{power output wind turbine (kW)}$$

Biaya instalasi *wind turbine* yang akan di hitung di sini merupakan biaya instalasi baterai, tower dan pendukung *wind turbine* dan komponen electrical lainnya. Berdasarkan *report “Wind Turbine Desain Cost and Scaling”* Model persamaan yang di gunakan untuk besarnya biaya instalasi *wind turbine* adalah persamaan [8].

$$\text{Biaya instalasi} = 1,965 \times (\text{hub height} \times \text{rotor diameter})^{1,1736} \text{ (USD)}$$

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan biaya instalasi sebesar 17,66 USD

Karena jumlah *wind turbine* sebanyak 2, maka total biaya instalasinya adalah

$$\text{Total Biaya instalasi} = \text{USD } 8.83 \times 2$$

$$\text{Total Biaya instalasi} = \text{USD } 17,66$$

Tabel 9. Total biaya instalasi *horizontal axis wind turbine*

Buatan	Tinggi Hub (m)	Biaya Instalasi (USD)	Total Biaya Instalasi (USD)
Air Dolphin 1kW	2	8.83	17,66

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 Scaling Model*”. Maka, didapatkan besarnya biaya *Operational & Maintenance* untuk *wind turbine* [8].

Tabel 10. Biaya *O&M* untuk *wind turbine*

Daya (kW)	Jumlah Turbin	Besarnya Biaya Replacement (USD)	Biaya Penggantian per Tahun (USD)
1	2	10 kW	20

Tabel 11. Biaya investasi untuk *wind turbine*

Keterangan	Biaya (USD)	Biaya (Rupiah)
Biaya Pembelian	1102.9	14.686.216
Biaya Electrical Connection	218.99	2.914.872
Biaya Instalasi	17.66	234.000
Total Biaya	1339.55	17.836.782

Jadi biaya investasi total *wind turbine* yang di pasang di kapal sebesar Rp. 17.836.782

4.12. Biaya Pengeluaran Bahan Bakar Tanpa *Wind Turbine*

Perhitungan pemakaian bahan bakar per jam di hitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Pemakaian Bahan Bakar} = \text{Daya Genset} \times \text{Waktu} \times k \quad (6)$$

Dimana :

$$\text{Daya Genset} = 206 \text{ Kw} \times k = \text{ketetapan} (0,08 - 0,20) \quad k = 0,2$$

$$\text{Waktu} = 1 \text{ hari} = 6 \text{ jam} \quad \text{Harga bahan bakar per liter} = \text{Rp } 8.800$$

Tabel 12. Biaya operasional kapal dengan *wind turbine*

Item	Satuan	Biaya Operasional Genset
Daya Genset	kW	206
Pemakaian Bahan Bakar	L/Hari	618
Pengeluaran	Rp/Hari	5.438.400

4.13. Biaya Operasional Genset dengan *Wind Turbine* pada Kapal

$$\text{Pemakaian Bahan Bakar} = \text{Daya } \textit{Wind turbine} \times \text{Waktu} \times k$$

$$\text{Dimana Daya } \textit{wind turbine} = 0.81 \text{ kW} \times 2 = 1,62$$

$$\text{Daya genset dengan Windturbine} = 206 \text{ kW}$$

$$k = \text{ketetapan} (0,08 - 0,20) \quad k = 0,2$$

$$\text{Waktu} = 1 \text{ hari} = 6 \text{ jam}$$

$$\text{Harga bahan bakar per liter} = \text{Rp } 8.800$$

Tabel 13 Biaya operasional kapal dengan *wind turbine*

Item	Satuan	Biaya Operasional Genset dengan <i>Windturbine</i>
Daya Genset	kW	205.19
Pemakaian	L/Hari	615

Bahan Bakar Genset dengan *Windturbine*

Rp/Hari

5.412.000

Analisa *Break Even Point* (BEP) adalah suatu teknik analisa untuk mempelajari hubungan antara Biaya Tetap, Biaya Variabel, Keuntungan dan Volume aktivitas. Sering pula disebut "*Cost - Profit - Volume analysis (C.P.V. analysis)*". Tujuan dari analisis break even point yaitu untuk mengetahui pada volume penjualan atau produksi berapakah suatu perusahaan akan mencapailaba tertentu Pengertian Analisis Break Even Poin (Titik Impas). Adapun persamaan untuk menghitung BEP sebagai berikut:

$$\text{BEP} = \frac{\text{Biaya Tetap}}{\text{Keuntungan Pasif}} = 4,691$$

Analisa *break even point* dapat berdasarkan lama operasi aktif kapal selama 1 tahun. Sekali melaut kapal membutuhkan waktu 6 jam , selama seminggu kapal berlayar selama 3 hari. Jadi, lama operasional kapal selama 1 tahun dapat dihitung dengan cara:

$$1 \text{ tahun} = 48 \text{ minggu}$$

$$\text{Kapal belayar dalam 1 minggu sebanyak 3 hari} \\ 3 \text{ hari} \times 48 \text{ minggu} = 144 \text{ hari}$$

Jadi, dalam 1 tahun kapal berlayar selama 144 hari.

Biaya Genset tanpa *wind turbine* untuk 144 hari adalah Rp 783.129.600

Biaya Genset dengan *wind turbine* untuk 144 hari adalah Rp 779.328.000

Tabel 14. Biaya Investasi dan Keuntungan Pasif

Biaya Tetap atau Biaya Investasi	Keuntungan pasif (Rp)
17.836.782	3.801.600

Artinya, untuk mendapatkan keuntungan kapal harus belayar selama 4,691 tahun. Setelah itu akan mendapatkan profit sebesar Rp 26.400 per harinya saat berlayar. *wind turbine* dapat digunakan selama 10 tahun sampai 15 tahun. Maka, penggunaan *windturbine* pada kapal dapat dikatakan layak.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada kapal Pembersih Gulma ini diperoleh beberapa kesimpulan:

1. Dari hasil analisa jenis dan ukuran *wind turbine*, didapatkan *wind turbine* yang optimum untuk dipasang di kapal adalah *wind turbine* sumbu horisontal berjumlah 2 buah dengan merk Air Dolphin 1kW yang memiliki diameter blade 1,8 m, start up speed 2,5 m/s², rated wind speed 8 m/s², power 3930 watt dan massa 35 kg.
2. Penempatan 2 *wind turbine* pada kapal pembersih gulma ditempatkan pada navigation deck di daerah station 14 dan station 16, pada ketinggian 2,051 meter dan tepat berada -2,371 & 2,371 meter dari center line.
3. Penggunaan *wind turbine* dapat menghemat pemakaian bahan bakar generator sebesar Rp.26.400 perhari atau Rp 3.801.600 per tahun.
4. Hasil perhitungan stabilitas setelah pemasangan *wind turbine* adalah nilai GZ maksimum 1,004 meter pada kondisi I, nilai MG terbesar 1,582 meter pada kondisi I, dan sudut maksimum GZ 47,3 pada kondisi I.

5.2 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 variasi sudut serang angin terhadap *wind turbine* guna mengetahui pengaruhnya terhadap olah gerak kapal.
3. Penelitian ini hanya membahas mengenai pemanfaatan energi angin dengan daya yang sudah ditentukan yaitu 1 kW untuk conveyor pada kapal. Perlu adanya survey kapal secara langsung sehingga dapat mengetahui data spesifik besar daya yang dibutuhkan kapal untuk bahan bakar kapal pembersih gulma.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lysen, E.H, Agustus 1982, "Introduction to Wind Energy", CWD Amersfoot The Netherlands.
- [2] Harvald. Sv. Aa.,1992, "Resistance and Propulsion of Ship", Department of Ocean Engineering and John Willey & Sons Inc, New York.
- [3] Park, Jack, 1981, "The Wind Power Book", Cheshire Books, Palo Alto California.
- [4] 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.
- [5] Molland, A.F. 208, A Guide to Ship Design, Construction and Operation, The Maritime Engineering Reference Book, Butterworth-Heinemann, Elsevier.
- [6] Sitorus, Boris De Palma. 2015. *Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Wind Turbine Dan Solar Cell Pada Kapal Perikanan*. Skripsi Sarjana Pada FT UNDIP Semarang: Diterbitkan Tahun 2015.
- [7] United Kingdom Parliamentary Office of Science and Technology. *Postnote on Carbon Footprint of Electricity Generation*. November 2006.
- [8] Fingersh, L., Hand, M., and Laxson, A., December 2006, "Wind Turbine Design Cost and Scaling Model", Technical Report NREL/TP-500-40566, National Renewable Energy Laboratory, Colorado.