



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan *Wind Turbine* Untuk Konversi Daya Listrik Peralatan Kesehatan Pada Kapal Rumah Sakit

Muchammad Rif'an Fahmi¹, Berlian Arswendo Adietya¹, Untung Budiarto¹,

¹Departemen S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: muchrifanfahmi@gmail.com, berlianarswendokapal@gmail.com, untungbudiarto@yahoo.com

Abstrak

Dengan adanya perancangan kapal rumah sakit tipe katamaran untuk pelayaran Papua, disini saya akan mencoba membahas tentang analisa teknis dan ekonomis penggunaan *wind turbine* sebagai konversi daya listrik kapal, sehubungan dengan semakin naiknya harga bahan bakar minyak. 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 15 knot, kecepatan angin 10,16 knot sehingga didapat kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 18,95 knot dengan sudut serang angin terhadap *wind turbine* adalah 180 derajat (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 6,4 m dengan jumlah yang terpasang sebanyak 1 unit. Dengan menggunakan rumus teoritis didapatkan hambatan yang ditimbulkan *wind turbine* sebesar 4kN sehingga mengakibatkan pengurangan kecepatan sebesar 0.62 knot. Dengan total biaya investasi dan operasional awal sebesar Rp 162.562.943, pemasangan *wind turbine* dapat menghemat biaya sebesar Rp 48.091.476 per tahun.

Katakunci: Turbin Angin, Analisa Teknis, Analisa Ekonomis, Kecepatan Angin

1. PENDAHULUAN

Indonesia disebut-sebut sebagai negara kepulauan karena negara ini terdiri dari banyak pulau-pulau yang membentang dari Sabang di ujung barat hingga pulau Merauke di ujung timur. Jumlah total pulau di Indonesia baik yang dihuni maupun tidak jumlahnya lebih dari 17.000 pulau. Negara kepulauan juga berasal dari sebutan lama negeri Indonesia yang bernama Nusantara. Namun tidak semua pulau-pulau tersebut mendapat kehidupan yang layak, contohnya seperti pelayanan kesehatan.

Salah satu faktor kenapa pulau-pulau terpencil tidak terjangkau pelayanan kesehatan karena kurangnya fasilitas kesehatan di daerah itu sendiri dan juga sulit dijangkau karena memang daerahnya terpencil, walaupun disana terdapat dermaga atau kapal penyebrangan akan membutuhkan waktu cukup lama untuk bisa sampai ke tempat yang menyediakan pelayanan kesehatan yang lebih layak.

Dalam perancangan kapal tipe rumah sakit ini pastinya juga dirancang ruangan-ruangan untuk menunjang fungsi dari kapal ini sendiri, selain ruangan-ruangan juga di dalamnya dibutuhkan berbagai peralatan kesehatan yang sesuai dengan kebutuhan sebagai rumah sakit yang layak juga membutuhkan daya listrik, agar peralatan tersebut bisa digunakan dengan semestinya. Kombinasi peralatan kesehatan untuk suatu ruang berbeda-beda, maka diperlukan perhitungan daya listrik yang mendetail.

Penggunaan *wind turbine* pada kapal ini untuk mengurangi pemakaian bahan bakar minyak yang sebelumnya digunakan untuk kebutuhan ruangan-ruangan kesehatan, karena saat ini bahan bakar harganya semakin meningkat. Daya *wind turbine* yang dihasilkan untuk memenuhi beban daya listrik pada kapal.

Konsep kapal dengan *wind turbine* yang

memanfaatkan energi angin memiliki karakteristik khusus dan mempunyai kelebihan serta 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).

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.

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.
- Menentukan batas-batas dari ruangan-ruangan didalam kapal.
- Memilih dan menempatkan peralatan atau perlengkapan.
- Menentukan segala peralatan yang dibutuhkan yang diatur sesuai dengan letaknya.
- Menentukan jalan untuk mencapai ruangan-ruangan didalam kapal.
- Menentukan banyaknya kursi yang digunakan

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:

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

Dimana :

P = daya yang dapat dihasilkan oleh *wind turbine*

A = *swept area wind turbine*

ρ = massa jenis udara

η = efisiensi *wind turbine*

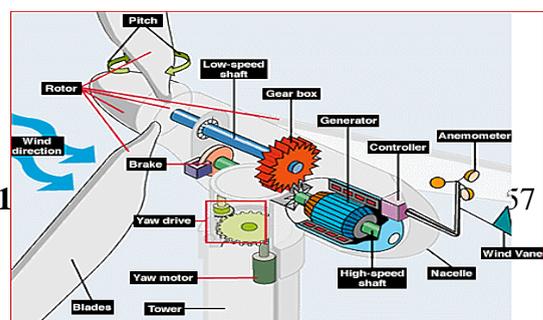
V = kecepatan angin

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.

2.3 Komponen Utama WindTurbine

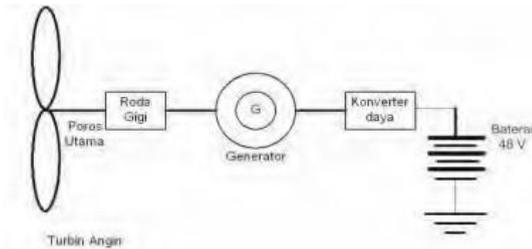
Dalam mengkonversi energi kinetik menjadi energi mekanik suatu *wind turbine* memerlukan beberapa komponen-komponen yang mempunyai fungsi masing-masing. Komponen-komponen tersebut antara lain adalah:

- | | |
|--------------------------|--------------|
| - Sudu | - Rectifier |
| - Rotor | - Regulator |
| - Gearbox | - Tower |
| - Generator | - Brake |
| - Sensordan pengaturarah | - Controller |



Gambar 1. Komponen-komponen *Wind turbine*

2.4 Cara Kerja *Wind turbine*



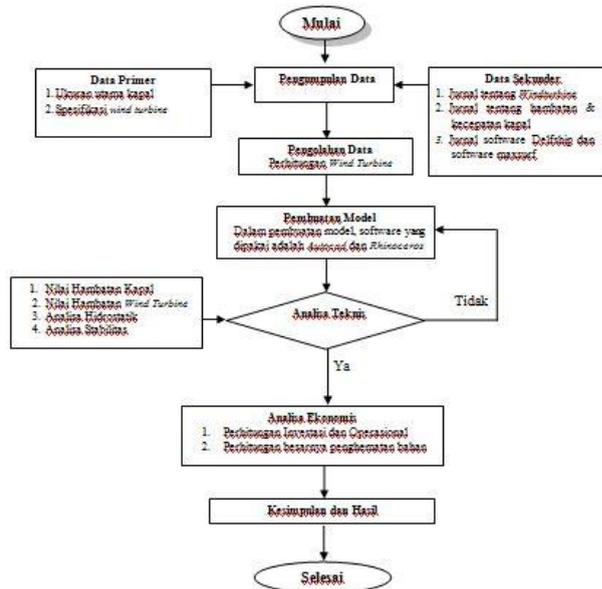
Gambar 2. Skema Kerja *Wind turbine*

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.

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.

Adapun pengerjaan untuk menyelesaikan permasalahan. Hal utama yang perlu dilakukan adalah pengolahan data kecepatan angin yang didapat dari *nesdis.noaa.gov* dan pembuatan model kapal dengan *software rhinoceros* dari *autocad*. Dari data kecepatan angin dan model kapal, maka dapat dilakukan analisa teknis dan ekonomis yang mencakup permasalahan.



Gambar 3. Diagram alir metode penelitian

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Kecepatan Angin

Data kecepatan dan arah angin Papua. Data yang diambil sesuai daerah pelayaran kapal yang dijadikan sebagai acuan. Titik yang diambil adalah Laut Papua bagian barat. Kecepatan tertinggi 20 knot sedangkan terendah 5 knot, maka diambil rata-rata 12,5 knot.

Kecepatan angin rata-rata untuk Laut Papua sebesar 12,5 knot atau sama dengan 6,434 m/s (1 knot = 0,5147 m/s)

4.2. Perhitungan Kecepatan Angin

Berdasarkan data di atas didapatkan kecepatan angin rata-rata sebesar 6,434 m/s. Karena *wind turbine* ini dioperasikan pada kapal, maka selain kecepatan angin, putaran turbin juga dipengaruhi oleh kecepatan servis kapal. Dengan demikian besarnya kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine* merupakan resultan dari kecepatan angin dan kecepatan servis kapal.

$$V = \sqrt{Vk^2 + Va^2}$$

Dimana:

V = kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine*

Vk = kecepatan service kapal maksimal (15 knot)

Va = kecepatan angin (12,5 knot)

Jadi besarnya kecepatan yang bekerja pada *wind turbine* adalah **19,75 knot** atau sama dengan **10,16 m/s**. Dalam perencanaan ini kecepatan service kapal dianggap konstan.

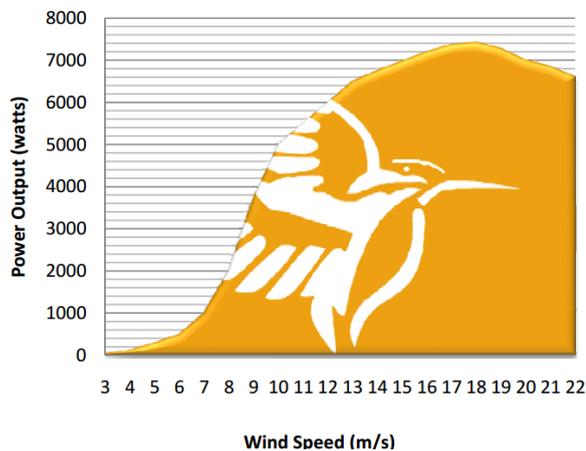
Tabel 1. Data kecepatan *wind turbine* yang bekerja pada kapal

Vk (knot)	Va (knot)	V (knot)	V (m/s)
0.000	12.5	12.5	3.53
1.000	12.5	12.53	6.79
3.000	12.5	12.85	6.96
5.000	12.5	13.46	7.29
7.000	12.5	14.32	7.76
9.000	12.5	15.40	8.34
11.000	12.5	16.65	9.02
13.000	12.5	18.28	9.90
15.000	12.5	19.75	10.16

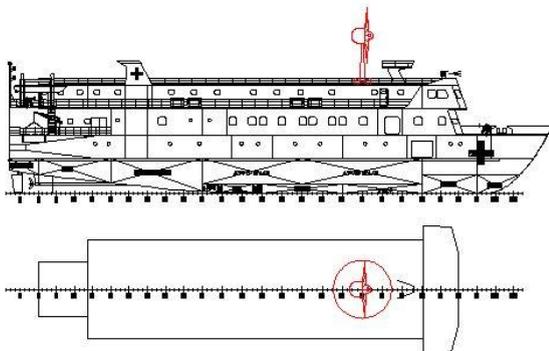
4.3 Spesifikasi Turbin Angin yang Digunakan

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

- *Rated power* : 5 kW @ 10 m/s
- *Peak power* : 7,5 kW
- *Start-up windspeed* : 2,5 m/s
- *Furling windspeed* : 3 – 25 m/s
- *Max speed* : 50 m/s
- *Rotor diameter* : 6,4 m
- *Weight* : 405 kg
- *Category* : Horizontal



Gambar 4. Power Curve *Hummer 5 kW*



Gambar 5. Kapal terpasang *Wind turbine*

4.4 Daya yang dikeluarkan oleh *Wind turbine*

Diketahui kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 18,95 knot atau 9,76 m/s.

Tabel 2. *Annual Power Output Wind turbine*

Kecepatan angin rata-rata (m/s)	Annual Power Output (kW)
	31549
4	4191
5	8472
6	1328
7	18220
8	27330
9	39355
10	46935
10,16	48147,8

Daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* dalam satu tahun pada kecepatan 10,16 m/s sebesar 48147,8 kW. Maka, daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* selama satu hari sebesar 132,65 kW.

Waktu berlayar kapal 4 jam 35menit apabila kecepatan kapal 15 knot. Maka, daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* untuk sekali berlayar sebesar 20,04 kW.

4.5 Perbandingan Daya yang Dihasilkan oleh *Wind turbine* dan Daya Generator

Daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* sebesar 20,04 kW dan kapal menggunakan generator dengan spesifikasi daya sebesar 745,7 kW, sedangkan untuk memenuhi daya peralatan kesehatan sebesar 6,255 kwh. Jadi, *wind turbine* dapat memenuhi sebesar 100 % dari daya peralatan kesehatan.

4.6 Penggunaan Daya *Wind turbine*

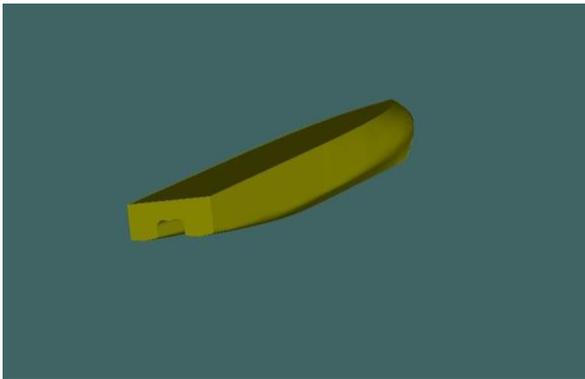
Tabel 3. *Annual Power Output Wind turbine*

Peralatan	Beban Daya (kwh)
Televisi	0,44
AC	2,235
Telepon	0,1
Komputer	0,5
Lampu	1,2
<i>Water Heater</i>	0,7
<i>Syringe Pump</i>	0,54
<i>Infuse Pump</i>	0,54

4.7 Analisa Hambatan

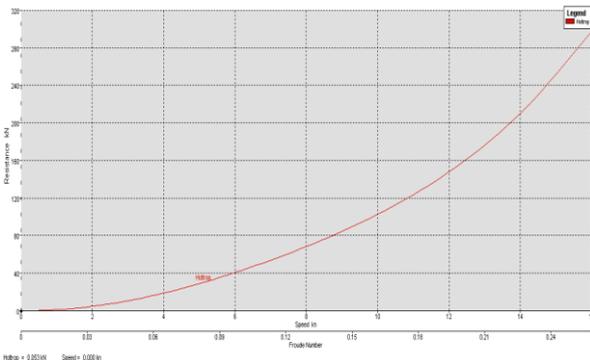
Bertambahnya berat kapal akibat pemasangan *wind turbine* dan komponen- komponennya akan mengakibatkan bertambahnya sarat kapal. Pertambahan sarat ini perlu dicari karena akan mempengaruhi besarnya hambatan kapal. Semakin besar luas permukaan kapal yang tercelup, semakin besar pula hambatan yang ditimbulkan.

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



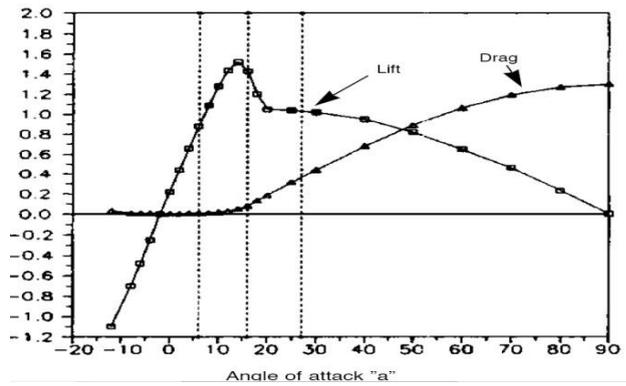
Gambar 6. Model Kapal Pada Rhinoceros

Setelah dilakukan beberapa proses tahapan pada *software* maxsurf hullspeed, didapatkan hambatan pada kecepatan 16 knot adalah sebesar 297,6 kN



Gambar 7. 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 8. Grafik CL, CD dan angle of attack series NACA 63 (Henrik Stiesdal, 1999)

Pendekatan profil NACA 63 ditentukan berdasarkan jurnal “Analisa Teknis dan Ekonomis Penggunaan Wind Turbine pada Kapal Penyebrangan Semarang-Karimunjawa”

Berdasarkan grafik diatas 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*.^[5] Besarnya hambatan dari turbine dapat dihitung dengan persamaan:

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

Dimana :

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

Setelah dilakukan perhitungan hambatan *wind turbine* yang didapat sebesar 4 kN. Besarnya hambatan terjadi saat kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 10,16 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*.

Tabel 4. Total Hambatan setelah dipasang *wind turbine*

Slender Body (kN)	FD (kN)	Total Hambatan Kapal
0	--	--
0,70	1,71	2,41
2,59	1,78	4,37

5,73	1,90	7,63
10,91	2,10	13,01
19,56	2,29	21,85
32,03	2,56	34,59
44,72	2,87	47,59
54,27	3,23	57,50
90,09	3,64	93,73
97,20	4,19	101,39

4.8 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 16 knot.

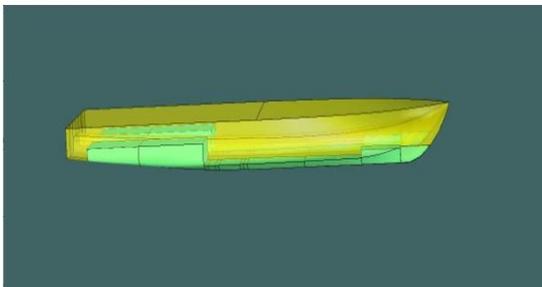
Tabel 4. Evaluasi Kecepatan dan Daya Main Engine

Kecepatan awal (knot)	Kecepatan baru (m/s)	Kecepatan baru (knot)	Selisih kecepatan kapal	Persentase penurunan kecepatan
0	-	-	-	-
1,5	0,22	0,44	1,06	70,95
30,92	1,78	1,22	40,73	
4,5	1,74	3,38	1,12	24,90
6	2,59	5,03	0,97	16,14
7,5	3,46	6,71	0,79	10,48
9	4,29	8,33	0,67	7,40
10,5	5,08	9,87	0,63	6,03
12	5,83	11,33	0,67	5,62
13,5	6,68	12,98	0,52	3,88
15	7,40	14,38	0,62	4,13

4.9 Analisa Stabilitas Kapal

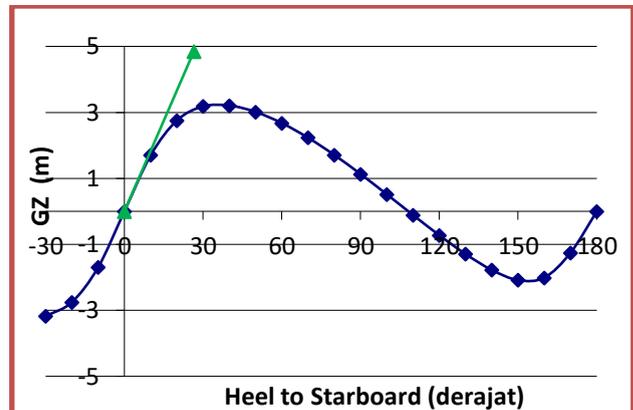
Pemasangan *wind turbine* akan menambah berat kapal, bertambahnya berat kapal ini tentunya akan merubah posisi titik berat kapal sehingga perlu dilakukan analisa ulang mengenai stabilitas kapal. Stabilitas kapal dianalisa dengan bantuan maxsurf hydromax. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut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

1. Permodelan Tanki



Gambar 9. Permodelan Tanki Pada Maxsurf

2. Pemasukan Kondisi Pembebanan Adapun kondisi pembebanan tersebut adalah kapal kondisi muatan penuh dengan BBM, air tawar tinggal 100%, kondisi kapal muatan penuh dengan BBM, air tawar tinggal 75%, kondisi kapal muatan penuh dengan BBM air tawar 50%.
3. Penentuan Kriteria Stabilitas Kriteria stabilitas yang digunakan adalah peraturan IMO Anex 749.



Gambar 10. Kurva Stabilitas Kapal dengan *Wind turbine* muatan penuh, bbm 50%, air tawar 50%

Tabel 5. Hasil Analisa Stabilitas Kapal

No	Kriteria	Kondisi		
		1	2	3
1	Area 0 to 30	49,73	55,96	61,74
		2	7	6
2	Area 0 to 40	74,82	84,71	93,93
		7	2	9
3	Area 30 to 40	25,09	28,74	32,18
		5	5	3
4	Max GZ at 30 or greater	2,519	2,885	3,231
		Angle of maximum GZ	34,9	34,9
6	Initial GMt	9,843	10,01	10,55
		8	9	
STATUS		Pass	Pass	Pass

4.10 Biaya 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 6. Biaya pembelian *wind turbine* dan baterai

Barang	Harga Satuan (USD)	Jumlah	Total Harga (USD)
<i>Wind turbine</i>	11.393	1	11.393
Total			11.393

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. Yang termasuk dalam biaya ini adalah pembelian kabel, *transformer*, dan lain-lain. Berdasarkan persamaan yang diberikan pada *report "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:

$Electrical\ Connection\ Cost = machine\ rating \times electrical\ connection\ cost\ factor\ (USD)$

$Electrical\ Connection\ Cost\ Factor = (3,49E-06 \times machine\ rating^2) - (0,221 \times machine\ rating) + 109,7\ (USD/kW)$

Dimana :
 $machine\ rating = power\ output\ wind\ turbine(kW)$

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai factor biaya penyambungan listrik sebesar 108,60USD/kW dan dipakatkan biaya penyambungan listrik sebesar 542,96 USD dengan *power output wind turbine* sebesar 5 kW.

Tabel 7. Biaya *electrical connection*

Biaya Penyambungan Listrik (USD)	Jumlah <i>Wind turbine</i>	Jumlah Biaya Penyambungan (USD)
542,96	1	542,96

Biaya instalasi *wind turbine* yang akan dihitung disini merupakan biaya instalasi baterai, tower, komponen pendukung *wind turbine*, dan komponen *electrical* lainnya. Berdasarkan *report "Wind turbine Desain Cost and Scaling Model"* persamaan yang digunakan untuk besarnya biaya instalasi *wind turbine* adalah persamaan:

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

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan biaya instalasi sebesar 340,33 USD

Tabel 8. Biaya instalasi *wind turbine*

Biaya Instalasi (USD)	Jumlah <i>Wind turbine</i>	Jumlah Biaya Instalasi (USD)
340,33	1	340,33

Selama *wind turbine* beroperasi, terdapat 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*".

Tabel 9. Biaya O&M Untuk *Wind turbine*

Daya (kW)	Jumlah Turbin	Besarnya Biaya Perbaikan (USD)	Biaya O&M per tahun (USD)
5	1	20/kW	200

Tabel 10. Biaya Replacement Untuk *Wind turbine*

Daya (kW)	Jumlah Turbin	Besarnya Biaya Replacement (USD)	Biaya Penggantian per Tahun (USD)
5	1	5,35/kW	53,5

Tabel 11. Biaya Total Investasi

Keterangan	Biaya (USD)	Biaya (Rupiah)
Biaya Pembelian	11.393	150.865.923
Biaya Electrical Connection	542,975	7.190.072
Biaya Instalasi	340,33	4.506.648
Total Biaya	12.276,35	162.562.943

Jadi, biaya investasi total *wind turbine* yang dipasang dikapal sebesar Rp 399.285.864

4.11. Biaya Operasional Genset Pada Kapal

Biaya operasional genset yang digunakan pada kapal dengan daya genset sebesar 392 kW dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$Pemakaian\ Bahan\ Bakar = Daya\ Genset \times Waktu \times k$

Dimana :

$$\text{Daya Genset} = 160 \text{ Kw} \times 2 = 320 \text{ kW}$$

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

$$\text{Waktu} = 1 \text{ hari} = 4,35 \text{ jam}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Pemakaian Bahan Bakar} &= (160 \times 4,35 \times 0,2) \times 2 \\ &= 278,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pengeluaran} &= 278,4 \times 8800 \\ &= 2449920 \end{aligned}$$

Tabel 12. Penghematan Kapal tanpa *Wind turbine*

Item	Satuan	Biaya Operasional Genset
Daya Genset	kW	320
Pemakaian Bahan Bakar	L/Hari	278,4
Pengeluaran	Rp/Hari	2.449.920

4.12. Biaya Operasional Genset dengan *Wind turbine* pada Kapal

Biaya penghematan menggunakan *wind turbine* dengan daya sebesar 10 kW dan kecepatan yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 9,76 m/s mendapatkan daya pengeluaran sebesar 27,04 kW:

$$\begin{aligned} \text{Pemakaian Bahan Bakar} &= \\ &\text{Daya } \textit{Wind turbine} \times \text{Waktu} \times k \\ &(7) \end{aligned}$$

Dimana :

$$\text{Daya } \textit{Wind turbine} = 20,04 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya genset dengan } \textit{Wind turbine} &= 320 - 20,04 \\ &= 299,96 \text{ kW} \end{aligned}$$

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

$$k = 0,2$$

$$\text{Waktu} = 1 \text{ hari} = 4,35 \text{ jam}$$

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

Tabel 13. Penghematan Kapal dengan *Wind turbine*

Item	Satuan	Biaya Operasional Genset dengan <i>Wind turbine</i>
Daya Genset	kW	299,96
Pemakaian Bahan Bakar	L/Hari	261
Genset dengan <i>Wind turbine</i>	Rp/Hari	2.296.800

4.13. Analisa Kelayakan Investasi dan Perhitungan BEP (*Break Even Point*)

Analisa kelayakan ini digunakan untuk mengetahui apakah investasi akan mengalami keuntungan dalam beberapa tahun kedepan.

Analisa dilakukan dengan membandingkan biaya investasi dan operasional *wind turbine* per tahunnya dengan biaya penghematan bahan bakar per tahunnya.

Kapal berlayar 7 hari dalam 1 minggu, dalam 1 tahun kapal berlayar selama 336 hari.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah:

Tabel 14. Biaya Investasi dan Keuntungan Pasif

Biaya tetap atau biaya investasi (Rp)	162.562.943
Biaya operasional genset tanpa <i>wind turbine</i> (Rp)	823.173.120
Biaya operasional genset dengan <i>wind turbine</i> (Rp)	771.724.800
Selisih biaya operasional (Rp)	51.448.320
Biaya O&M <i>wind turbine</i> per tahun (Rp)	2.648.398
Biaya <i>Replacement wind turbine</i> per tahun (Rp)	708.446
Keuntungan pasif per tahun (Rp)	48.091.476
Keuntungan pasif sekali berlayar (Rp)	143.129

$$BEP = \frac{\text{Biaya Total Investasi}}{\text{Keuntungan Pasif}}$$

$$BEP = \frac{\text{Rp } 162.562.943}{\text{Rp } 48.091.476}$$

$$BEP = 3,38 \text{ tahun}$$

Artinya, untuk mendapatkan keuntungan kapal harus berlayar selama 3,38 tahun. Setelah itu akan mendapatkan profit sebesar Rp 143.129 per

harinya saat berlayar. *Windturbine* 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 rumah sakit tipe katamaran 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 1 buah dengan merk Hummer 5kW yang memiliki diameter blade 6,4 m, swept area 32,1536 m², start up speed 2,5 m/s², rated wind speed 10 m/s², power 5000 watt dan massa 405 kg.
2. Penempatan 1 *wind turbine* pada kapal rumah sakit tipe katamaran ditempatkan pada navigation deck di daerah station 72, pada ketinggian 12 meter dan tepat berada di center line.
3. Kebutuhan daya listrik untuk setiap ruangan kesehatan yaitu 6,255 kwh. Terjadi penurunan kecepatan service kapal sebesar 4,13 % dari kecepatan awal 15 knot menjadi 14,38 knot.
4. Biaya Investasi *wind turbine* sebesar Rp. 162.562.943 maka titik balik dari biaya investasi untuk pemakaian *wind turbine* selama 3,38 tahun.
5. Penggunaan *wind turbine* dapat menghemat pemakaian bahan bakar generator sebesar Rp. 143.129 perhari atau Rp. 48.091.476 per tahun.
6. Hasil perhitungan stabilitas setelah pemasangan *wind turbine* adalah nilai GZ maksimum 3,231 meter pada kondisi III, nilai MG terbesar 10,559 meter pada kondisi III, dan sudut maksimum GZ 34.9 pada kondisi III

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. Perlu adanya perhitungan kekuatan struktur pada *navigation deck*, karena adanya penambahan beban oleh *wind turbine*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bockmann, Eirik. 2011. *Wind Turbine Propulsion of Ship*. Norwegian University of Science and Technology. Norway.
- [2] Chairul Rizaldy. 2015. *Studi Pwrancangan Kapal Rumah Sakit Tipe Katamaran untuk Memenuhi Kebutuhan Pelayanan Kesehatan Wilayah Pesisir Di Provinsi Papua Barat dan Papua*. Skripsi Sarjana Pada FT UNDIP Semarang: Diterbitkan Tahun 2015.
- [3] 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.
- [4] Hanif Fadillah Budiman Akbar, Mohamad. 2016. *Analisa Teknis dan Ekonomis Penggunaan Wind Turbine pada Kapal Penyebrangan Semarang-Karimunjawa*. Skripsi Sarjana Pada FT UNDIP Semarang: Diterbitkan Tahun 2016.
- [5] Harvald. Sv. Aa.,1992. *Resistance and Propulsion of Ship*. Department of Ocean Engineering and John Willey & Sons Inc, New York.
- [6] 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.
- [7] Lysen, E. H., Agustus 1982.*Introduction to Wind Energy*. CWD Amersfoort The Netherlands.
- [8] Molland, A.F. 2008. *A Guide to Ship Design, Construction and Operation, The Maritime Engineering Reference Book*. Butterworth-Heinemann, Elsevier.
- [9] Park, Jack., 1981. *The Wind Power Book*. Cheshire Books, Palo Alto California.
- [10] Strong, Simon James., 2008. *Design of a Small Wind Turbine*. University of Southern Queensland, Australia.
- [11] United Kingdom Parliamentary Office of Science and Technology. *Postnote on Carbon Footprint of Electricity Generation*. November 2006.