



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 Energi Pada Kapal Ikan Yang Menggunakan Sistem Pendingin Refrigerated Sea Water

Reingga Surya Bentara¹, Berlian Arswendo adietya¹, Kiryanto¹,

¹Departement Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: reinggasparrow99@gmail.com, Berlianarswendokapal@gmail.com, Kiryantodst@yahoo.com

Abstrak

Semakin menipisnya ketersediaan sumber energi mengakibatkan harga bahan bakar minyak menjadi tinggi. Yang berdampak pada dunia perkapalan, karna merupakan salah satu armada transportasi yang juga menggunakan bahan bakar minyak. Berangkat dari permasalahan tersebut, tugas akhir ini mencoba menghadirkan satu solusi untuk mengurangi pemakaian bahan bakar minyak dengan menggunakan *wind turbine* untuk mensuplai kebutuhan system pendingin pada kapal ikan. 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 9 knot, kecepatan angin 10,159 knot sehingga didapat kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 13,57 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 3,5 m dengan jumlah yang terpasang sebanyak 1 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 156.257.920, pemasangan *wind turbine* dapat menghemat biaya sebesar Rp 104.564.650 per tahun

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

1. PENDAHULUAN

Semakin menipisnya ketersediaan sumber energi mengakibatkan harga bahan bakar minyak menjadi tinggi. Yang berdampak pada dunia perkapalan, karna merupakan salah satu armada transportasi yang juga menggunakan bahan bakar minyak. Berangkat dari permasalahan tersebut, tugas akhir ini mencoba menghadirkan satu solusi untuk mengurangi pemakaian bahan bakar minyak dengan menggunakan *wind turbine* untuk mensuplai kebutuhan system pendingin pada kapal ikan. *wind turbine* pada kapal dapat mengurangi pemakaian bahan bakar minyak. Daya *wind turbine* yang dihasilkan untuk memenuhi beban daya system pendingin kapal ikan.[1]

Konsep kapal dengan *wind turbine* yang

memanfaatkan energi angin memiliki karakteristik khusus 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 di laut.

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 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 segala peralatan yang dibutuhkan yang diatur sesuai dengan letaknya.
4. Menentukan jalan untuk mencapai ruangan-ruangan didalam kapal.
- 5.

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. [4]

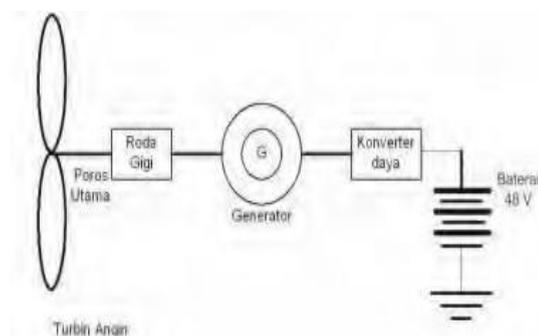
2.3 Komponen Utama Wind Turbine

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 | - Rectifier |
| - Rotor | - Regulator |
| - Gearbox | - Tower |
| - Generator | - Brake |

- Sensordan pengaturarah - Controller
- Baterai

2.4 Cara Kerja Wind Turbine



Gambar 1. 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. METODOLOGIPENELITIAN

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 angina yang didapat dari *nesdis.noaa.gov* dan pembuatan model kapal dengan *software rhinoceros* dari *autocad*.Dari data kecepatan angina dan model kapal, maka dapat dilakukan analisa teknis dan ekonomis yang mencakup permasalahan.

4. ANALISA DANPEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Kecepatan Angin

Data kecepatan angin Semarang.Data yang diambil sesuai daerah pelayaran kapal yang dijadikan sebagai acuan.Titik yang diambil adalah koordinat *latitude -06.467, longitude +110.417* (Semarang).

Tabel.1 Data Kecepatan Angin

| No | Tahun | Bulan | Kecepatan Angin (Knot) |
|---------|-------|-----------|------------------------|
| 1 | 2016 | Juli | 10,571 |
| 2 | 2016 | Agustus | 11,216 |
| 3 | 2016 | September | 14,120 |
| 4 | 2016 | Oktober | 10,958 |
| 5 | 2016 | November | 11,150 |
| 6 | 2016 | Desember | 9,010 |
| 7 | 2017 | Januari | 9,952 |
| 8 | 2017 | Februari | 10,155 |
| 9 | 2017 | Maret | 9,355 |
| 10 | 2017 | April | 9,287 |
| 11 | 2017 | Mei | 8,216 |
| 12 | 2017 | Juni | 7,920 |
| Average | | | 10,159 |

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 13,57 knot atau sama dengan 6,98 m/s. Pada tabel 2 dapat dilihat perubahan kecepatan turbin yang bekerja pada kapal berdasarkan kecepatan kapal dan kecepatan angin rata-rata yaitu 10,159 knot.

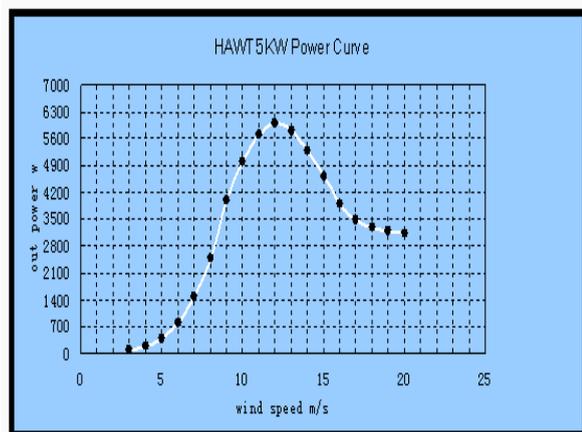
Tabel. 2 Data kecepatan *wind turbine* yang bekerja

| No | Kecepatan kapal (knot) | Kecepatan angin (knot) | Kecapatan turbin (knot) | Kecepatan turbin (m/s) |
|----|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 | 0.000 | 10.159 | 10.159 | 5.23 |
| 2 | 2.000 | 10.159 | 10.354 | 5.32 |
| 3 | 3.000 | 10.159 | 10.592 | 5.45 |
| 4 | 4.000 | 10.159 | 10.917 | 5.61 |
| 5 | 5.000 | 10.159 | 11.322 | 5.83 |
| 6 | 6.000 | 10.159 | 11.798 | 6.07 |
| 7 | 7.000 | 10.159 | 12.336 | 6.34 |
| 8 | 8.000 | 10.159 | 12.930 | 6.65 |
| 9 | 9.000 | 10.159 | 13.572 | 6.98 |

4.3 Spesifikasi Turbin Angin yang Digunakan

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

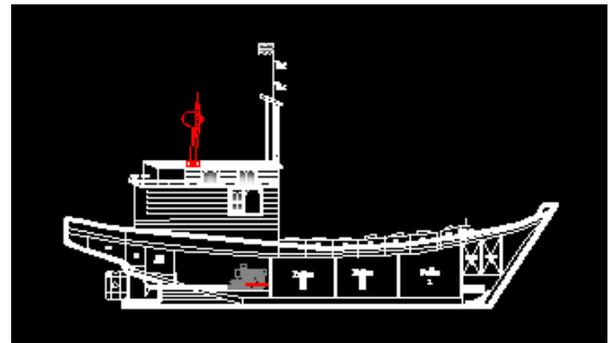
- *Rated power* : 5 kW @ 10 m/s
- *Peak power* : 6,5 kW
- *Start-up windspeed* : 3 m/s
- *Furling windspeed* : 3 – 30 m/s
- *Max speed* : 55 m/s
- *Rotor diameter* : 3,5 m
- *Weight* : 465 kg
- *Category* : Horisontal



Gambar 2. Power Curve *Qiangsheng 5 kW*

4.4 Penempatan Wind Turbine Pada Kapal

Penempatan *wind turbine* pada kapal ini dilakukan melalui beberap peninjauan, Dari peroses peninjauan tersebut di dapatkan penempatan *wind turbine* yang sesuai yaitu diletakkan pada bagian deck paling atas karena pada bagian ini dapat memaksimalkan sistem kerja *wind turbine* dan tidak mengganggu sistem kerja kapal dan abeka kapal.



Gambar 3. Kapal terpasang *Wind Turbine* di atas main deck

4.5 Daya yang Dikeluarkan oleh *Wind Turbine*

Diketahui kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 13,57 knot atau 6.98m/s.

Tabel.3 *Annual Power Output Wind Turbine*

| No | Kecepatan angin rata-rata (m/s) | Annual Power Output (kW) |
|----|---------------------------------|--------------------------|
| 1 | 3 | 1549 |
| 2 | 4 | 4191 |
| 3 | 5 | 8472 |
| 4 | 6 | 13328 |
| 5 | 6.98 | 18122.16 |
| 6 | 7 | 18220 |
| 7 | 8 | 27330 |
| 8 | 9 | 39355 |
| 9 | 10 | 46935 |

Daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* dalam satu tahun pada kecepatan 6,98 m/s sebesar 18122,16 kW. Maka, daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* selama satu hari sebesar 49,65kW.

Waktu berlayar kapal 4 hari apabila kecepatan kapal 9 knot. Maka, daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* untuk sekali berlayar sebesar 198,72kw / jam selama 4 hari.

4.6 Perbandingan Daya yang Dihasilkan oleh *Wind Turbine* dan Daya Generator

Daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* sebesar 198,72 kW dan daya yang dihasilkan oleh generator yang dipakai kapal sebesar 111,9 kW. *Wind turbine* dapat memenuhi sebesar 100 % dari daya generator kapal.

4.7 Penggunaan Daya *Wind Turbine*

Daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* dapat memenuhi beban daya system pendingin kapal sebesar 1.987kW.

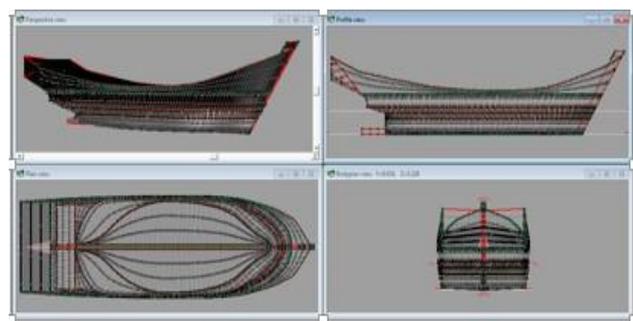
Tabel.4 Annual Power Output Wind Turbine

| No | Peralatan | Beban daya |
|----|---------------|------------|
| 1 | Pendingin RSW | 1.987 |

4.8 Analisa Hambatan

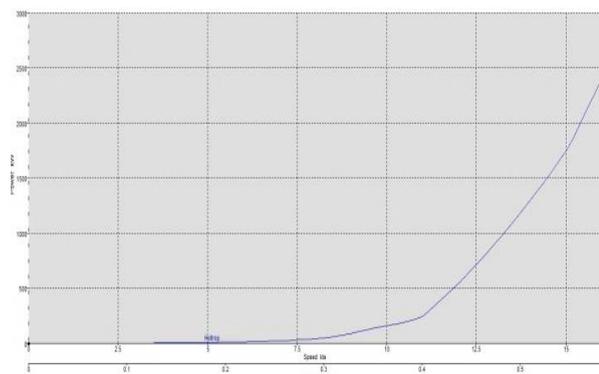
Bertambahnya berat kapal akibat pemasangan *wind turbine* dan komponen-komponennya akan mengakibatkan bertambahnya sarat kapal. Pertambahan sarat ini perlu dicari karena akan mempengaruhi besarnya hambatan kapal. Semakin besar luas permukaan kapal yang tercelup, semakin besar pula hambatan yang ditimbulkan.[5]

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



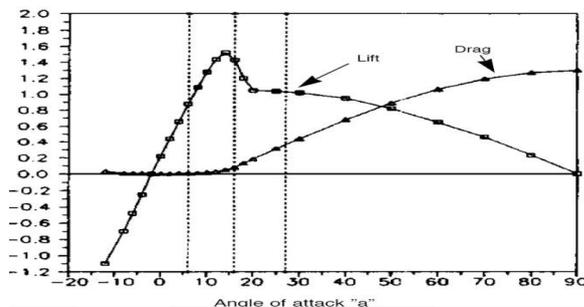
Gambar 4. Pemodelan KMN.Putra Usaha Barokah03 menggunakan Delfship

Setelah dilakukan beberapa proses tahapan pada software maxsurf hullspeed, didapatkan hambatan pada kecepatan 9 knot adalah sebesar 291,82 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

Pendekatan profil NACA 63 ditentukan berdasarkan jurnal “Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Wind Turbine Dan Solar Cell Pada Kapal Perikanan” dan “Analisa Teknis Dan Ekonomis Pemasangan Wind Turbine Sebagai Penghasil Daya Untuk Sistem Pendingin ikan Pada Kapal ikan 110 GT”.

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 $1,3 \text{ kg/m}^3$ maka bisa dihitung hambatan dari tiap-tiap *wind turbine*. Besarnya hambatan dari *wind turbine* dapat dihitung dengan persamaan.[3]

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

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 *wind turbin* (m/s)
- C_D = koefisien drag

Setelah dilakukan perhitungan hambatan *wind turbine* yang didapat sebesar 8 kN. Besarnya hambatan terjadi saat kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 9,76 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*. [6]

Tabel.6 Total Hambatan setelah dipasang *wind turbine*

| No | Kecepatan kapal (knot) | Ortmerssent Resist (kN) | FD (kN) | Total Hambatan Kapal |
|----|------------------------|-------------------------|---------|----------------------|
| 1 | 1,8 | 0,29 | 0,08 | 0,37 |
| 2 | 2,7 | 1,27 | 0,1 | 1,37 |
| 3 | 3,6 | 3,51 | 0,3 | 3,81 |
| 4 | 4,5 | 6,15 | 0,5 | 6,65 |
| 5 | 5,4 | 9,39 | 0,7 | 10,09 |
| 6 | 6,3 | 15,7 | 1 | 16,70 |
| 7 | 7,2 | 22,59 | 1,3 | 23,89 |
| 8 | 8,1 | 33,71 | 1,6 | 35,31 |
| 9 | 9 | 28,05 | 2 | 30,50 |

4.10 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 9 knot.

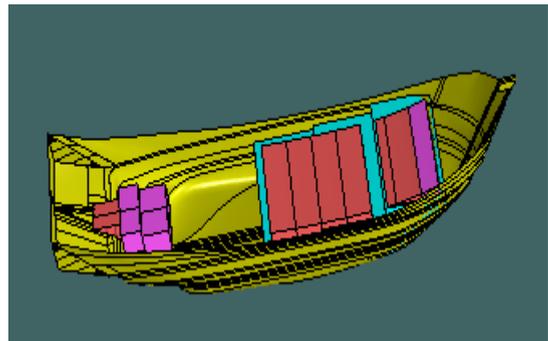
Tabel.7 Evaluasi Kecepatan dan Daya Main Engine

| No | Kecepatan awal (knot) | Fd (kN) | Penambahan Daya (kW) |
|----|-----------------------|---------|----------------------|
| 1 | 1,8 | 0,08 | 2,879606099 |
| 2 | 2,7 | 0,1 | 4,320965693 |
| 3 | 3,6 | 0,3 | 5,762325286 |
| 4 | 4,5 | 0,5 | 7,203684879 |
| 5 | 5,4 | 0,7 | 8,645044473 |
| 6 | 6,3 | 1 | 10,08640407 |
| 7 | 7,2 | 1,3 | 11,52776366 |
| 8 | 8,1 | 1,6 | 12,70444727 |
| 9 | 9 | 2 | 14,41048285 |

4.11 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

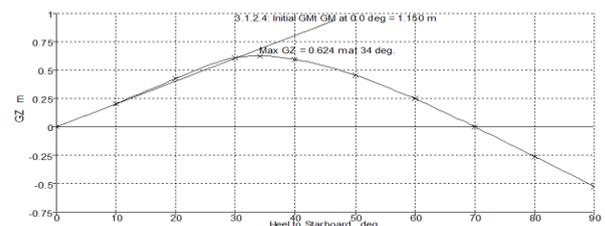


Gambar 7. Permodelan Tanki Pada Maxsurf

2. Pemasukan Kondisi Pembebanan Adapun kondisi pembebanan tersebut adalah kapal kondisi muatan penuh dengan BBM, air tawar tinggal 75%, kondisi kapal muatan penuh dengan BBM, air tawar tinggal 50%, kondisi kapal muatan penuh dengan BBM air tawar 25%.

3. Penentuan Kriteria Stabilitas

Kriteria stabilitas yang digunakan adalah peraturan IMO Anex 749.



Gambar 8. Kurva Stabilitas Kapal dengan *Wind Turbine* muatan penuh, bbm 97%, air tawar 97%

Tabel.8 Hasil Analisa Stabilitas Kapal

| No | Kriteria | Kondisi | | | |
|----|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | I | II | III | IV |
| 1 | Area 0 to 30 | 18.984 | 15.243 | 11.586 | 10.058 |
| 2 | Area 0 to 40 | 32.309 | 26.385 | 19.455 | 16.279 |
| 3 | Area 30 to 40 | 13.325 | 11.142 | 7.869 | 6.221 |
| 4 | GZ pada 30 atau lebih | 1.422 | 1.189 | 0.823 | 0.649 |
| 5 | Sudut GZ Maksimum | 46.0 | 45.0 | 42.0 | 42.0 |
| 6 | Nilai Awal GMt | 2.408 | 2.087 | 1.545 | 1.433 |
| 7 | Nilai Awal GMt Untuk kapal >= 24m | 2.408 | 2.087 | 1.545 | 1.433 |
| | Status | pass | Pass | pass | pass |

4.12 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.9 Biaya pembelian *wind turbine*

| 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:[8]

$$\text{Electrical Connection Cost} = \text{machine rating} \times \text{electrical connection cost factor (USD)} \quad (3)$$

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

Dimana :

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

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

Tabel.10 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:

$$\text{Biaya instalasi} = 1,965 \times (\text{hub height} \times \text{rotor diameter})^{1,1736} \text{ (USD)} \quad (7)$$

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan biaya instalasi sebesar 83,88 USD

Tabel.11 Biaya instalasi *wind turbine*

| Biaya Instalasi (USD) | Jumlah <i>Wind Turbine</i> | Jumlah Biaya Instalasi (USD) |
|-----------------------|----------------------------|------------------------------|
| 83.88 | 1 | 83,88 |

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*".[9]

Tabel.12 Biaya O&M Untuk *Wind Turbine*

| Daya (kW) | Jumlah Turbin | Besarnya Biaya Perbaikan (USD) | Biaya O&M per tahun (USD) |
|-----------|---------------|--------------------------------|---------------------------|
| 5 | 1 | 40/kW | 200 |

Tabel.13 Biaya *Replacement* Untuk *Wind Turbine*

| Daya (kW) | Jumlah Turbin | Besarnya Biaya Replacement (USD) | Biaya Penggantian per Tahun (USD) |
|-----------|---------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 5 | 1 | 10,7/kW | 53.5 |

Tabel.14 Biaya Total Investasi

| No | Keterangan | Biaya (USD) | Biaya (Rupiah) |
|----|-----------------------------|-------------|----------------|
| 1 | Biaya Pembelian | 11.393 | 148.109.000 |
| 2 | Biaya Electrical Connection | 542,96 | 7.058.480 |
| 3 | Biaya O&M | 200 | 2.600.000 |
| 4 | Biaya <i>Replacement</i> | 53,5 | 695.500 |
| 5 | Biaya Instalasi | 83,88 | 1.090.440 |
| | Total Biaya | 12273,34 | 159.553.420 |

Jadi, biaya investasi total *wind turbine* yang dipasang dikapal sebesar Rp 156.257.920

4.13 Biaya Operasional Genset Pada Kapal

Biaya operasional genset yang digunakan pada kapal dengan daya genset sebesar 12 kW dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

Pemakaian Bahan Bakar =

$$\text{Daya Genset} \times \text{Waktu} \times k \quad (6)$$

Dimana :

Daya Genset = 111,9 Kw

k = ketetapan (0,08 – 0,20) k = 0,12

Waktu = 4hari = 96jam

Harga bahan bakar per liter = Rp 7.500

Tabel.15 Penghematan Kapal dengan *wind Turbine*

| No | Item | Satuan | Biaya Operasional Genset |
|----|-----------------------|---------|--------------------------|
| 1 | Daya Genset | kW | 111.9 |
| 2 | Pemakaian Bahan Bakar | L/Hari | 1289.088 |
| 3 | Pengeluaran | Rp/Hari | 9.668.160 |

4.14 Biaya Operasional Genset dengan *Wind turbine* pada Kapal

Biaya penghematan menggunakan *wind turbine* dengan daya sebesar 5 kW dan kecepatan yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 6,98 m/s

Pemakaian Bahan Bakar =

$$\text{Daya wind turbine} \times \text{Waktu} \times k \quad (7)$$

Dimana :

Daya *Wind turbine* = 49,65kw

Daya genset dengan *Wind turbine* = 62.25kW

k = ketetapan (0,08 – 0,20)

k = 0,12

Waktu = 4 hari = 96 jam

Harga bahan bakar per liter = Rp 7.500

Tabel.16 Penghematan Kapal Pada *Wind Turbine*

| No | Item | Satuan | Biaya Operasional Genset pada <i>Windturbine</i> |
|----|---------------------------------------|---------|--|
| 1 | Daya Genset dengan <i>wind turbin</i> | kW | 62.25 |
| 2 | Pemakaian Bahan Bakar | L/Hari | 717.12 |
| 3 | Genset dengan <i>Wind</i> | Rp/Hari | 5.378.400 |

turbine

4.15 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 4 hari dalam 1 kali berlayar dalam 1 tahun kapal berlayar sebanyak 91,25 kali berlayar, Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah:

Tabel.17 Biaya Investasi dan Keuntungan Pasif

| Biaya tetap atau biaya investasi (Rp) | 156.257.920 |
|--|---------------|
| Biaya operasional genset tanpa <i>wind turbine</i> (Rp) | 220.554.900 |
| Biaya operasional genset dengan <i>wind turbine</i> (Rp) | 122.694.750 |
| Selisih biaya operasional (Rp) | 107.860.150 |
| Biaya O&M <i>wind turbine</i> per tahun (Rp) | 2.600.000 |
| Biaya <i>Replacement wind turbine</i> per tahun (Rp) | 695.500 |
| Keuntungan pasif per tahun (Rp) | 104.564.650 |
| Keuntungan pasif sekali berlayar (Rp) | 1.145.913,973 |

$$BEP = \frac{\text{Biaya Total Investasi}}{\text{Keuntungan Pasif}} \quad (8)$$

$$BEP = \frac{\text{Rp } 159.553.420}{\text{Rp } 104.564.650}$$

$$BEP = 1,525\text{tahun}$$

Artinya, untuk mendapatkan keuntungan kapal harus belayar selama 1.525 tahun. Setelah itu akan mendapat profit sebesar Rp 1.145.913,973 setiap sekali berlayar.

Wind turbine dapat digunakan selama 10 tahun sampai 15 tahun. Maka penggunaan *wind turbine* pada kapal dapat dikatakan layak.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada

kapal ikan 110 GT 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 Qiangsheng 5 kW yang memiliki diameter blade 3,5 m, start up speed 3m/s², rated wind speed 10 m/s², power 5000 watt dan massa 465 kg.
2. Penempatan *wind turbine* pada kapal ikan 110 GT ditempatkan pada atas navigation deck, pada ketinggian 7,985 meter..
3. Terjadi penurunan kecepatan service kapal sebesar 8.04 % dari kecepatan awal 9 knot menjadi 8.275 knot.
4. Biaya Investasi *wind turbine* sebesar Rp. 156.257.920 maka titik balik dari biaya investasi untuk pemakaian *wind turbine* selama 1,525 tahun.
5. Penggunaan *wind turbine* dapat menghemat pemakaian bahan bakar generator sebesar Rp. 1.145.913,973 untuk satu kali berlayar atau Rp 104.564.650 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. Penelitian ini hanya membahas mengenai pemanfaatan energi angin dengan daya yang sudah ditentukan yaitu 5 kW untuk system pendingin pada kapal. Perlu adanya survey kapal secara langsung sehingga dapat mengetahui data spesifik besar daya yang dibutuhkan kapal untuk system pendingin kapal ikan.

4. 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] 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
- [3] Lysen, E. H., Agustus 1982, "Introduction to Wind Energy", CWD Amersfoort The Netherlands.
- [4] Park, Jack., 1981, "The Wind Power Book", Cheshire Books, Palo Alto California.
- [5] Strong, Simon James., 2008, Dissertation "Design of a Small Wind Turbine", University of Southern Queensland, Australia
- [6] Molland, A.F. 208, A Guide to Ship Design, Construction and Operation, The Maritime Engineering Reference Book, Butterworth-Heinemann, Elsevier.
- [7] Harvald. Sv. Aa., 1992, "Resistance and Propulsion of Ship", Department of Ocean Engineering and John Willey & Sons Inc, New York.
- [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.
- [9] 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