

# ANALISA PEMASANGAN SISTEM PENGGERAK PADA KAPAL CRANE BARGE DENGAN PROPULSI ELEKTRIK

Farrel Chandra Mukti<sup>1</sup>, Eko Julianto<sup>2</sup>, Abdul Gafur<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 60111

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Perpipaian, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 60111

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 60111

E-mail : [farrelmukti@student.ppns.ac.id](mailto:farrelmukti@student.ppns.ac.id)<sup>1</sup> ; [eko.julianto@ppns.ac.id](mailto:eko.julianto@ppns.ac.id)<sup>2</sup> ; [abdulgafur@ppns.ac.id](mailto:abdulgafur@ppns.ac.id)<sup>3</sup>

---

*Abstract - A Crane barge ship is a ship designed specifically to have a crane on deck. The function of this ship is to unload coal/bulk cargo at the mid-sea, which is to go the middle of the sea this ship must be towed by Tugboat. This research will discuss the analysis of the propulsion system using electric propulsion with azimuth thruster propeller. In this study the calculation is the resistance of the ship, power requirement by the ship, selecting of a propeller, electrical system. The calculation resistance of the ship using maxsurf resistance software, before simulation the model 3D of ship design in maxsurf modeler. Then if the resistance value is determined can be used to calculate the power of electric motor requirement as the primer mover of the ship. Then the result of these calculations can be selected as the propeller. Based on the calculation result, the value of the ship resistance is 1555,95 kW when the ship used 4 azimuth thruster, so the resistance value is 388,987 kN. The power of the electricity needs to supply power to motor electric as the primer mover is 4632 kW. The Selection of propeller used is a product from thrustmaster which has a thrust is 529 kN with a diameter propeller is 2.99 meters.*

*Keyword : electric propulsion, generator set, motor elektrik, ship resistance.*

---

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia perkapalan yang pesat menyebabkan munculnya inovasi – inovasi baru yang dikembangkan. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai efisiensi yang lebih baik daripada sebelumnya. Salah satu inovasi yang muncul di dunia perkapalan adalah penggunaan 4 penggerak kapal dengan *propeller azimuth thruster* sebagai penggerak utama pada kapal *crane barge*. Kapal *crane barge* merupakan kapal tongkang yang dilengkapi dengan sebuah crane yang berada diatas decknya. Kapal jenis ini biasa digunakan untuk memindahkan muatan dari kapal tongkang ke kapal lain, seperti: bulk carrier, cargo maupun container di tengah laut. Hal ini dikarenakan tidak semua kapal yang difungsikan untuk mengangkut barang dapat bersandar dipinggir dermaga, karena dimensi kapal yang besar dan draft yang terlalu tinggi, karena dapat mengakibatkan kapal kandas. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan nomor 93 pasal 3 tahun 2014 yang mengatur tentang “Sarana Bantu dan Prasarana Pemanduan Kapal” dijelaskan bahwa;

a) Panjang kapal 70 (tujuh puluh) meter sampai dengan 150 (seratus lima puluh) meter menggunakan paling sedikit 1 (satu) unit kapal tunda dengan jumlah daya tarik paling rendah 2.000 (dua ribu) DK dan

gaya tarik paling rendah 24 ton *bollard pull*.

b) Panjang kapal 150 (seratus lima puluh) meter sampai dengan 250 (dua ratus lima puluh) meter menggunakan paling sedikit 2 (dua) unit kapal tunda dengan jumlah daya paling rendah 6.000 (enam ribu) DK dan jumlah gaya tarik paling rendah 65 ton *bollard pull*.

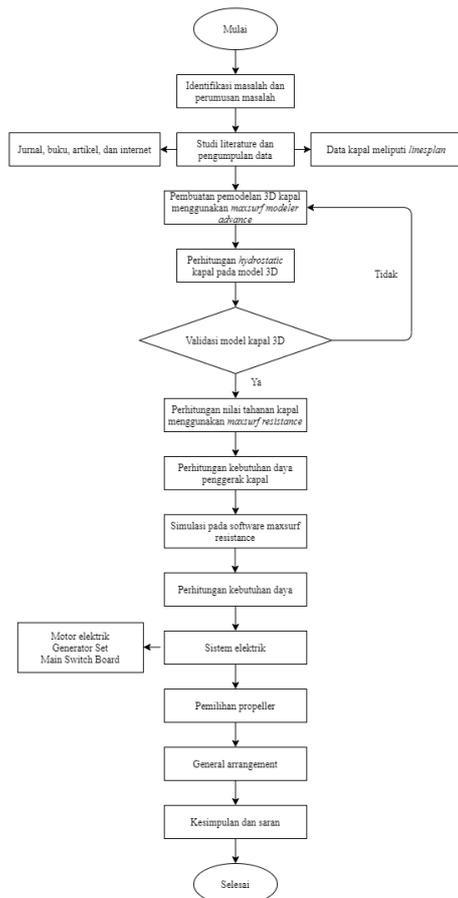
c) Panjang kapal 250 (dua ratus lima puluh) meter ke atas paling sedikit 3 (tiga) unit kapal tunda dengan jumlah daya paling rendah 11.000 (sebelas ribu) DK dan jumlah gaya tarik paling rendah 125 ton *bollard pull*.

Oleh karena itu untuk lebih efisiensi kedepannya, kapal *crane barge* direncanakan memasang sistem penggerak sendiri (*self propelled*) dengan sistem propulsi listrik (*electric propulsion*). Penggunaan sistem propulsi elektrik dinilai lebih efisien dari segi tempat atau *space* yang terdapat pada kapal tongkang, karena pada sistem propulsi elektrik ini tidak memerlukan poros atau *shaft* yang meneruskan daya dari main engine. Pada sistem propulsi ini menggunakan generator set sebagai sumber tenaga utama dalam menghasilkan daya listrik yang kemudian akan didistribusikan oleh MSB (*Main Switch Board*) kesetiap komponen yang

memerlukan daya listrik. Untuk penggerak kapal (*propulsor*) dipilih tipe *azimuth thruster*, karena tipe baling-baling satu ini dianggap mampu memberikan efisiensi yang lebih baik. Hal ini dikarenakan pada tipe *propeller* ini dapat berputar 360° sehingga tidak memerlukan daun kemudi lagi, serta keuntungan lain pada baling-baling ini adalah kemampuan manuver dari kapal akan lebih baik daripada penggunaan sistem poros baling-baling.

## 2. METODOLOGI

Metodologi yang dilakukan pada penelitian ini mencakup beberapa hal, diantaranya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 1 Langkah-Langkah Penelitian

### 2.1. Pemodelan 3D Kapal

Pada tahap pemodelan 3D kapal ini menggunakan *software maxsurf modeler advance*. Data ukuran utama kapal dan gambar lines plan dari kapal digunakan sebagai acuan untuk pemodelan 3D sehingga mendekati bentuk dari kapal. Selanjutnya dari model 3D kapal dapat Model 3D kapal yang akan dianalisis dapat dikatakan valid apabila selisih dari nilai *hydrostatic* dengan data kapal tidak melebihi 5% [5]

### 2.2. Tahanan Kapal

Nilai tahanan merupakan hal yang perlu dipertimbangkan pada industri perkapalan. Tahanan atau biasa disebut *resistance*, tahanan kapal merupakan besarnya gaya yang diperlukan oleh kapal untuk dapat bergerak pada kecepatan tertentu. Nilai dari tahanan kapal biasanya dipengaruhi oleh bentuk lambung (*hull*), displacement kapal, principal dimension, angka reynold, koefisien blok, dan lain sebagainya.

Nilai tahanan total (RT) dapat dicari menggunakan perhitungan beberapa metode yang ada, seperti Halvard, Holtrop, dan lain sebagainya. Nilai tahanan ini sangat berpengaruh terhadap pemilihan mesin propulsi kapal, karena hasil dari perhitungan tahanan kapal selanjutnya akan digunakan untuk menghitung nilai kebutuhan daya mesin sebagai penggerak kapal.

Persamaan untuk nilai tahanan total menggunakan metode Holtrop adalah sebagai berikut:

$$RT = R_F(1-k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A$$

Dimana;

$R_F$  = Nilai tahanan gesek

$(1-k_1)$  = Faktor bentuk lambung

$R_{APP}$  = Tahanan *appendages*

$R_W$  = Tahanan gelombang

$R_B$  = Nilai tahanan akibat adanya *bulous bow*

$R_{TR}$  = Nilai tahanan dari *transom stern*

$R_A$  = Tahanan korelasi

Pada penelitian ini, perhitungan nilai tahanan total dari kapal menggunakan bantuan dari *software maxsurf* yang dimana untuk pemodelan 3D menggunakan *software maxsurf modeler* dan untuk perhitungan nilai tahanan menggunakan *software maxsurf resistance*.

### 2.3. Daya Motor

Dalam penentuan daya motor sebagai penggerak utama (*primer mover*) dari kapal, maka perlu diperhatikan nilai dari BHP (*Break Horse Power*) yang dibutuhkan untuk mendorong kapal, baik dalam kondisi SCR (*Service Continous Rating*) maupun dalam kondisi MCR (*Maximum Continous Rating*). Pada kondisi operasional terdapat pertimbangan kondisi dari engine maupun cuaca, maka untuk nilai MCR ditentukan 85%.

Beberapa parameter yang dibutuhkan dalam menghitung kebutuhan daya dari motor sebagai penggerak kapal, adalah sebagai berikut:

a. Perhitungan *wake fraction* (w) untuk *twin screw ship*.

$$w = (2 \times C_b^5 \times (1 - C_b)) + 0.04 \dots(1)$$

b. Perhitungan *trust deduction* (t) untuk *twin screw ship*

$$t = (0.70 \times w) + 0.06 \dots\dots\dots(2)$$

- c. Effisiensi *propeller*,  $\eta_o$   
Nilai effisiensi ini diambil dari nilai effisiensi dari *propeller* yang tidak mengalami kavitasi
- d. Effisiensi relatif rotatif,  $\eta_{rr}$   
Nilai  $\eta_{rr}$  untuk *single screw ship* berkisar 1.0 – 1.1, sedangkan untuk *twin screw ship* besarnya berkisar 0.95 – 1.0. [3]
- e. Effisiensi lambung,  $\eta_H$   
$$\eta_H = (1-t) / (1-w) \dots\dots\dots(3)$$
Dimana  $t$  adalah *thrust deduction friction*, sedangkan  $w$  adalah *wake friction*.
- f. Koefisiensi propulsif (Pc)  
$$Pc = \eta_o \times \eta_{rr} \times \eta_H \dots\dots\dots(4)$$
- g. Daya efektif kapal (EHP)  
Merupakan daya yang dibutuhkan untuk menarik kapal tanpa sistem propulsi dengan kevepatan sebesar  $Vs$  dan tahanan sebesar  $RT$ .  
$$EHP = RT \times Vs \dots\dots\dots(5)$$
- h. Daya dorong propeller (THP)  
$$THP = EHP \times Va \dots\dots\dots(6)$$
- i. Daya tabung poros buritan *propeller* (DHP)  
DHP adalah daya yang diserap oleh *propeller* dari sistem perporosan atau daya yang dihantarkan oleh sistem perporosan ke *propeller* untuk diubah menjadi daya dorong (*thrust*)  
$$DHP = EHP / Pc \dots\dots\dots(7)$$
- j. Daya mesin induk (BHP)  
Untuk mencapai nilai putaran *propeller* yang dirancang maka dibutuhkan suatu *reduction gear*, dengan efisiensi mekanisme sebesar  $\eta_G$ .  
$$BHP_{SCR} = DHP / \eta_G \dots\dots\dots(8)$$
Daya tersebut adalah daya keluaran pada pelayaran normal, dimana 85 - 90% dari daya keluaran saat kondisi *maximum*. Sehingga besarnya daya keluaran pada kondisi *maximum* adalah:  
$$BHP_{MCR} = BHP_{SCR} / engine\ margine \dots\dots(9)$$

**2.4. Sistem Propulsi Elektrik**

Merupakan sistem pada kapal yang menggunakan generator set sebagai mesin utama untuk menghasilkan sumber tenaga, dimana dalam hal ini generator dihubungkan dengan switchboard dan selanjutnya energi atau aliran listrik diteruskan ke transformer, kemudian menuju konverter ke motor elektrik yang menggerakkan baling-baling kapal. Selanjutnya, setelah didapatkan nilai kebutuhan daya yang akan digunakan sebagai penggerak kapal akan dicari spesifikasi dari sistem elektrik yang memiliki beberapa pertimbangan antara lain; tegangan, arus, frekuensi. Sehingga dapat disatukan menjadi satu sistem sebagai penggerak utama dari kapal.

**2.5. Pemilihan Propeller**

*Azimuth thruster propeller* adalah sistem propulsi kapal dimana *propeller* serta sistem *shafting* terletak pada sebuah konstruksi yang menempel pada lambung kapal. Konstruksi tersebut

memeiliki sebuah poros vertikal sehingga dapat melakukan gerak rotasi horizontal, hal ini menjadikan *azimuth thruster* memiliki kelebihan dalam hal manuevering kapal pada saat beroperasi.

Sistem propulsi ini merupakan kombinasi antara penggerak utama dengan sistem *steering* pada kapal, dimana daya dari motor elektrik ditransmisikan ke baling – baling melalui rangkaian *bevel gear*. Diwaktu yang sama posisi dari baling – baling dapat berputar atau mengubah arah dorong untuk mengatur manuever / arah gerak dari kapal. Daya dorong ini dapat di kontrol dengan *controllable pitch propeller* (CPP) dan pada *fixed pitch propeller* (FPP) dengan memvariasikan kecepatan putaran.

Pada umumnya *azimuth thruster* memiliki sebuah *kort nozzle*, dimana *kort nozzle* ini merupakan pelindung dari *propeller* yang berupa plat yang berbentuk foil. Fungsi lain dari *kort nozzle* pada *azimuth thruster* adalah untuk meningkatkan dan memusatkan aliran air yang mengalir ke *propeller* sehingga menghasilkan air yang dihisap oleh *propeller*. Dari fungsi tersebut maka kerja dari *propeller* akan lebih maksimal sehingga akan dihasilkan gaya dorong yang maksimal. Selain sebagai pelindung dan memaksimalkan daya dorong, *kort nozzle* pada *azimuth thruster* juga dapat mengurangi kebisingan dan getaran dari *propeller*

**2.6 General Arrangement**

Gambar general arrangement yang didesain meliputi gambar tampak samping kapal dan gambar tampak atas kapal. Selain itu juga gambar dari peletakan setiap komponen propulsi elektrik, diantaranya ; Generator set, *main switch board*, *transformer/trafo*, *frekuensi konverter*, motor elektrik, dan *propeller azimuth thruster*. Setiap komponen yang ditempatkan pada ruang mesin kapal sesuai dengan ukuran yang ada dengan mempertimbangkan jarak untuk melakukan maintenance/perawatan pada setiap komponen kapal

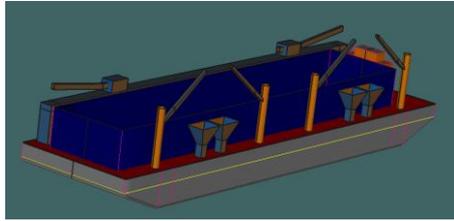
**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam penelitian ini dilakukan dengan studi literature dan pengumpulan data-data terlebih dahulu, lalu kemudian kapal dimodelkan dalam bentuk 3D dengan menggunakan *software maxsurf modeler advance*.

Tabel 1.  
Ukuran Utama Kapal

Diskripsi	Nilai	Satuan
LOA	192	meter
LWL	192	meter
LPP	184	meter
B	50	meter
H	15	meter
T	9,5	meter

Selanjutnya dapat dilakukan pemodelan terhadap kapal menggunakan *software maxsurf modeller* yang selanjutnya akan dapat ditentukan nilai dari tahanan total dari kapal dengan *software maxsurf resistance*.



Gambar 2. Pemodelan 3D Kapal

Setelah pemodelan kapal selesai dilakukan, dari model kapal tersebut dapat diketahui nilai hydrostatic dari kapal. Seperti pada tabel 2.

Tabel 2.  
Nilai *Hydrostatic* Kapal

Parameter	Nilai	Satuan
Displacement	84457	T
Volume Displacement	82396,98	m <sup>3</sup>
Draft Amidship	9,5	m
WL Lenght	192	m
Beam max on WL	50	m
Wetted area	12923,594	m <sup>2</sup>
Max sect. Area	472,18	m <sup>2</sup>
Waterplan area	9563,21	m <sup>2</sup>
Prismatic coeff. (Cp)	0,906	
Block coeff. (Cb)	0,903	
Max sect area coeff. (Cm)	0,998	
Waterplan area coeff. (Cwp)	1	

### 3.1. Perhitungan Tahanan Kapal

Setelah dilakukan pemodelan 3D kapal pada *software maxsurf modeller*, selanjutnya dari model kapal tersebut di inputkan ke *software maxsurf resistance* untuk di *running* sehingga akan mendapatkan nilai tahanan total dari kapal.

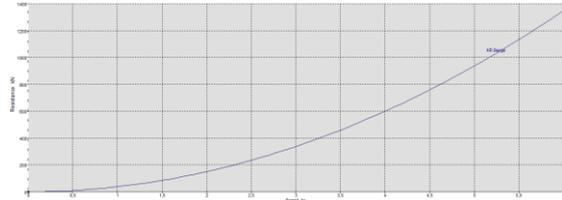
Tabel 3.  
Nilai Tahanan Total Kapal

Kecepatan (Knot)	Froude No	Resistance (kN)
0	0	0
1	0.012	41.4
2	0.025	165.7
3	0.036	338.3
4	0.047	602.1
5	0.059	940.6
6	0.071	1353.0

Dari perhitungan nilai tahanan dari software *maxsurf resistance* didapatkan nilai tahanan sebesar 1353,0 kN. Karena faktor perairan mempengaruhi nilai tahanan pada kapal, maka hasil tersebut dikalikan dengan nilai sea margin untuk

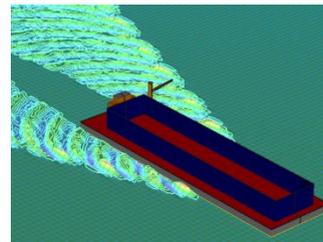
perairan pasifik yaitu sebesar 15-30%, maka nilai tahanan total kapal menjadi, 1555.95 kN

Dari tabel 3 dapat diilustrasikan kedalam grafik perbandingan antara nilai tahanan dengan kecepatan. Berikut grafik yang dihasilkan dari proses simulasi perhitungan nilai tahanan dengan menggunakan *maxsurf resistance*.

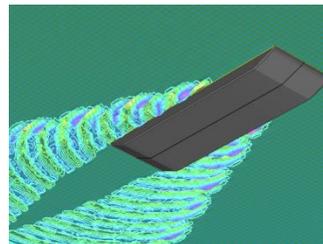


Gambar 3. Grafik Tahanan vs Kecepatan

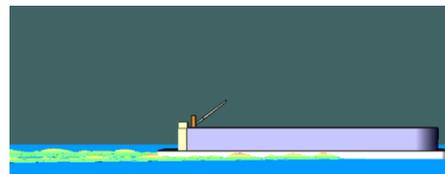
Untuk mengetahui gelombang yang ditimbulkan akibat dari pergerakan kapal pada saat operasional maka dilakukan simulasi. Pada tahap ini akan dapat diketahui apakah gelombang yang dihasilkan oleh kapal pada saat operasional kecepatan 6 knot melebihi dari main deck atau tidak.



Gambar 4. Gelombang yang Dihasilkan (tampak atas)



Gambar 5. Gelombang yang Dihasilkan (tampak bawah)



Gambar 6. Gelombang yang dihasilkan (tampak samping)

### 3.2. Perhitungan Kebutuhan Daya

Berdasarkan nilai tahanan total yang telah diketahui maka selanjutnya dapat dihitung kebutuhan daya motor, karena direncanakan menggunakan 4 motor penggerak maka setiap

motor harus mampu bekerja untuk nilai tahanan 388,78 kN untuk mencapai kecepatan 6 knot.

Tabel 4.  
Nilai Kebutuhan Daya Kapal

Deskripsi	Nilai	Satuan
w	0.1559	
t	0.169	
V <sub>a</sub>	2.60	m/s <sup>2</sup>
η <sub>H</sub>	0.984	
η <sub>rr</sub>	1	
η <sub>o</sub>	0.55	
EHP	1200,6	kW
DHP	2217,80	kW
SHP	2263,06	kW
THP	1219,78	kW
BHP <sub>SCR</sub>	2333,05	kW
BHP <sub>MCR</sub>	2774,77	kW

Dari perhitungan kebutuhan daya penggerak motor, maka didapatkan spesifikasi motor sebagai berikut;

Tabel 5.  
Spesifikasi Motor

Max Power <sub>out</sub> (kW)	:	3000
Power <sub>in</sub> (kW)	:	3092,78
Rpm	:	720
Tegangan (Volt)	:	4100

Berdasarkan nilai P<sub>in</sub> dari motor, maka selanjutnya dapat menentukan spesifikasi dari generator set sebagai sumber tenaga utama kebutuhan listrik bagi motor, berdasarkan losses / nilai efisiensi yang terjadi pada sistem meliputi: *Frequensi Converter, Transformer, Main Switch Board (MSB)*, dan Generator Set. Maka didapatkan nilai kebutuhan daya yang harus dipenuhi oleh generator set.

Tabel 6.  
Kebutuhan Daya Generator Set

Deskripsi	Eff	P (kW)
<i>Frequensi Converter</i>	0.985	3139,88
<i>Transformer</i>	99	3171,60
<i>Main Switch Board (MSB)</i>	0.998	3177,95
Generator Set	0.97	3276,24

Dari nilai diatas untuk kebutuhan generator set dikalikan dengan 115%, hal ini dilakukan sebagai cadangan daya bila terjadi masalah atau gangguan pada generator set. Sehingga tidak mengganggu output daya yang harus dihasilkan. Maka didapatkan spesifikasi dari generator set adalah:

Tabel 7.  
Spesifikasi Generator Set

Merk	:	MAN B&W
Tipe	:	L32/44CR
Max Power <sub>out</sub> (kW)	:	4632
Rpm	:	720
Tegangan (Volt)	:	6600

Koreksi daya *engine* generator set berdasarkan beban dari motor dan komponen yang terdapat pada sistem propulsi elektrik, hal ini dilakukan untuk mengetahui bahwa daya yang dimiliki generator set dapat mensuplai kebutuhan daya untuk motor elektrik. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$eff = \frac{\text{Kebutuhan daya}}{\text{Suplai daya}}$$

$$eff = \frac{3767,67}{4632}$$

$$eff = 0,81 / 81 \%$$

Berdasarkan nilai diatas yang menyatakan bahwa kebutuhan suplai untuk kebutuhan sistem propulsi elektrik adalah 81 % dari kapasitas maksimum dari generator set, yang dimana nilai MCR (*Maximum Continuous Rating*) dari generator set adalah 90%. Maka generator tipe L32/44CR dinilai mampu sebagai sumber suplai untuk kebutuhan daya sistem propulsi elektrik.

### 3.3. Spesifikasi Komponen

Pada tahap ini, akan dilakukan pemilihan komponen propulsi elektrik berdasarkan nilai daya dari generator dan motor. Komponen pada sistem propulsi elektrik meliputi :

#### 1. Main Switch Board

Penentuan spesifikasi dari Main Switch Board adalah sebagai berikut:

- Kapasitas Busbar.

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \text{Cos}\phi \times \eta}$$

$$I_n = \frac{4632 \times 1000}{\sqrt{3} \times 6600 \times 0,9 \times 0,9}$$

$$I_n = 500,24 \text{ A}$$

Sehingga besarnya batangan busbar harus mempunyai kemampuan hantar arus sebesar :

$$I_{\text{busbar}} = 150\% \times 500,24 = 750,36 \text{ A}$$

- Faktor Keamanan.

Untuk estimasi/perkiraan dari arus hubungan singkat (*switch current*) pada *switchboard*. Menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Generator set} = \frac{P_r}{(\sqrt{3} \times U_r \times \text{xd}'' \times \text{Cos}\phi)}$$

Dimana:

$$P_r = \text{Power generator (kW)}$$

$$U_r = \text{Tegangan (V)}$$

$x_d''$  = Reaktansi substansi (14%)

$\text{Cos}\phi$  = Power factor (0,9)

$$\frac{4632}{(\sqrt{3} \times 6600 \times 14\% \times 0,9)} = 3,22 \text{ kA}$$

$$\text{Motor elektrik} = \frac{6 \times P_r}{(\sqrt{3} \times U_r \times x_d'' \times \text{Cos}\phi)}$$

Dimana:

$P_r$  = Power motor (kW)

$U_r$  = Tegangan (V)

$x_d''$  = Reaktansi substansi (14%)

$\text{Cos}\phi$  = Power factor (0,85)

$$\frac{6 \times 3092,78}{(\sqrt{3} \times 4100 \times 14\% \times 0,85)} = 21,98 \text{ kA}$$

## 2. Transformer

Trafo/transformer yang digunakan pada sistem propulsi elektrik ini merupakan trafo *step down*, dimana trafo ini berfungsi untuk menurunkan tegangan. Berdasarkan fungsi dari trafo maka dapat dihitung perbandingan antara arus *input* dan *output* dengan rumus berikut :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

$$\frac{6600}{4160} = \frac{I_s}{500,24}$$

$$I_s = \frac{6600 \times 500,24}{4160}$$

$$I_s = 793 \text{ A}$$

Maka dapat diketahui nilai arus yang keluar dari trafo setelah diturunkan tegangannya adalah 793 A. Sedangkan untuk nilai kapasitas dari trafo dapat dihitung sebagai berikut :

$$S = \frac{P}{\text{Cos}\phi}$$

$$S = \frac{4632}{0,8}$$

$$S = 5790 \text{ kVA}$$

Didapatkan nilai kapasitas yang harus dimiliki oleh trafo adalah sebesar 5790 kVA

## 3. Perhitungan Luas Penampang Kabel

- Kabel Generator Set

Pada tahap ini, ukuran penampang kabel dari generator ke transformer dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$I = (P \times 1000) / (\sqrt{3} \times V \times \text{Cos}\phi \times \text{efisiensi})$$

$$I = (4632 \times 1000) / (\sqrt{3} \times 6600 \times 0,9 \times 0,9)$$

$$I = 500,24 \text{ A}$$

Berdasarkan nilai arus yang didapat, maka perhitungan penampang kabel untuk arus AC adalah  $500,24 / 3 = 166,75 \text{ A}$ . Berdasarkan tabel kemampuan hantar arus (KHA) dari standard JIS, didapatkan ukuran penampang kabel adalah 60 mm<sup>2</sup>, dimana ukuran penampang kabel

tersebut mampu menghantarkan arus sebesar 205 A.

- Kabel Motor Elektrik

Berdasarkan perhitungan pada nilai arus output dari trafo menuju motor yang bernilai 805,26 A, maka perhitungan penampang kabel untuk arus AC adalah  $805,26 / 3 = 268,42 \text{ A}$ . Berdasarkan tabel kemampuan hantar arus (KHA) dari standard JIS, didapatkan ukuran penampang kabel adalah 100 mm<sup>2</sup>, dimana ukuran penampang kabel tersebut mampu menghantarkan arus sebesar 285 A.

## 3.4. Penentuan Propeller

Dari tabel 3 didapatkan nilai tahanan total kapal untuk bergerak dengan kecepatan 6 knot adalah sebesar 1353,0 kN. Pada tabel 5 yang menentukan spesifikasi dari motor dengan  $P_{out}$  max 3000 kW dengan kecepatan putaran 720 rpm.

Tipe *propeller* yang akan digunakan adalah *azimuth thruster*, dimana *azimuth thruster* merupakan suatu produk jadi dari *propeller* yang mana setiap perusahaan dari *azimuth thruster* memiliki spesifikasi yang berbeda-beda untuk setiap kebutuhan daya. Pada perhitungan sebelumnya didapatkan. Dari produk THRUSTMATER didapatkan spesifikasi untuk setiap *azimuth thruster* masing-masing akan didapatkan daya sebesar 3000 kW. Jumlah ini telah sesuai dengan pemilihan motor elektrik pada tahap sebelumnya. Detail spesifikasi dari *azimuth thruster* yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 8.

Spesifikasi *Propeller Azimuth Thruster*

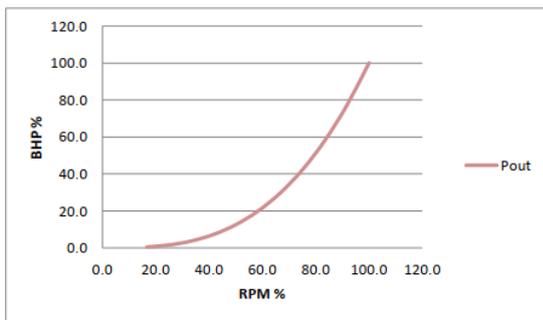
Model	:	TH4000ML
Daya Motor	:	3000 kW
Rpm Motor	:	720 Rpm
Diameter	:	2,99 meter
Rpm Propeller	:	194 Rpm
Thrust	:	529 kN

*Frequency converter* pada sistem propulsi elektrik ini berfungsi untuk mengubah frekuensi ke input motor yang kemudian akan berpengaruh terhadap putaran dan daya yang dihasilkan oleh motor, perhitungan putaran motor dapat dihitung sehingga mendapatkan nilai seperti pada tabel 9.

Tabel 9.  
Nilai *Output Daya Motor*

f (Hz)	n (Rpm)	Rpm Motor (%)	P <sub>in</sub> (W)	P <sub>in</sub> (kW)	Eff Motor	BHP (kW)	BHP (%)
10	120	16,7	14318,44	14,32	0,97	13,9	0,5
15	180	25,0	48324,74	48,32	0,97	46,9	1,6
20	240	33,3	114547,54	114,55	0,97	111,1	3,7
25	300	41,7	223725,66	223,73	0,97	217,0	7,2
30	360	50,0	386597,94	386,60	0,97	375,0	12,5
35	420	58,3	613903,21	613,90	0,97	595,5	19,8
40	480	66,7	916380,30	916,38	0,97	888,9	29,6
45	540	75,0	1304768,04	1304,77	0,97	1265,6	42,2
50	600	83,3	1789805,27	1789,81	0,97	1736,1	57,9
55	660	91,7	2382230,81	2382,23	0,97	2310,8	77,0
60	720	100,0	3092783,51	3092,78	0,97	3000,0	100,0

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa nilai kecepatan putaran motor dan daya output motor berbanding lurus dengan nilai frekuensi.

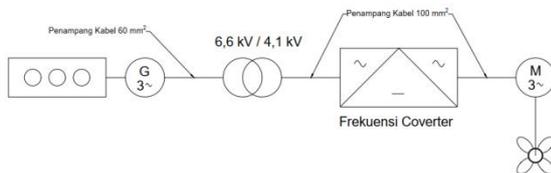


Gambar 7 Kurva Nilai *Output Daya Motor*

Gambar diatas menunjukkan daya yang keluar dari motor elektrik akibat pengaturan nilai frekuensi input berbeda pada setiap putaran motor.

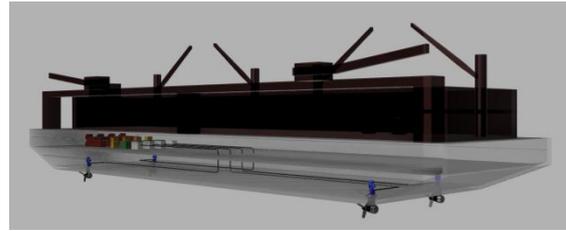
### 3.5 Skema Instalasi Propulsi Elektrik

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, untuk instalasi sistem propulsi serta spesifikasi dari komponen-komponen yang ada, dapat dilihat pada skema gambar instalasi propulsi elektrik dibawah ini :



Gambar 8.  
*Single Line Diagram.*

Gambar 8 menunjukkan alur distribusi daya yang ada pada sistem propulsi elektrik. Dimana generator set sebagai sumber daya utama untuk mensuplai kebutuhan daya listrik dari motor elektrik.



Gambar 9.  
*Skema Distribusi Daya 3D*

### 3.6 General Arrangement.

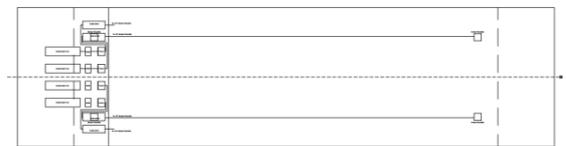
Gambar general arrangement yang telah didesain meliputi gambar tampak samping kapal dan gambar tampak atas kapal. selain itu juga gambar dari peletakan setiap komponen propulsi elektrik, diantaranya ; Generator set, main switch board, *transformer*/trafo, frekuensi konverter, motor elektrik, dan *propeller azimuth thruster*.

Sebelum menentukan letak dari tiap komponen propulsi elektrik, terlebih dahulu menghitung sekat kamar mesin. Perhitungan ruang kamar mesin dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

Minimum = 0,20 x L – jarak sekat tubrukan FP

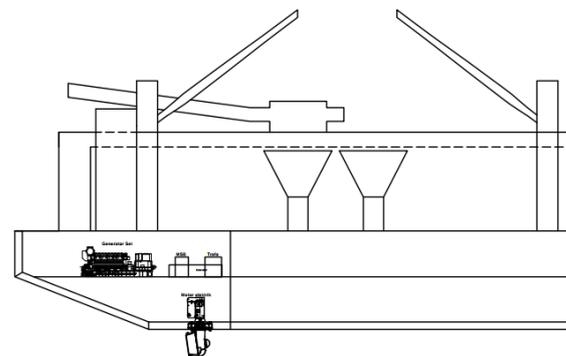
Maksimum = 0,22 x L - jarak sekat tubrukan FP

Maka jarak kamar mesin disesuaikan dengan kebutuhan permesinan. Direncanakan panjang kamar mesin adalah 32 meter.



Gambar 9.  
*General Arrangement Tampak Atas*

Dari gambar dapat diamati dan dilihat peletakan dari komponen-komponen, dimana letak dari konverter berada satu garis lurus dengan motor untuk meminimalisir lekukan pada saat pemasangan kabel.



Gambar 10.  
*General Arrangement Tampak Samping*

Dari gambar diatas dapat diketahui pandangan samping dari lambung kapal yang telah

direncanakan pada bagian AP. Beberapa komponen juga telah dapat dilihat pada gambar diatas tersebut.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan perhitungan yang telah ditentukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain;

1. Dari hasil simulasi *software maxsurf resistance* untuk perhitungan nilai tahanan kapal, dengan kecepatan 6 knot maka didapatkan nilai tahanan sebesar 1353 kN.
2. Kebutuhan daya penggerak kapal untuk dapat bergerak dengan kecepatan 6 knot, adalah sebesar 2774,77 kW.
3. Putaran motor berbanding lurus dengan daya yang dikeluarkan, dimana didapatkan spesifikasi motor sebesar 3000 kW dengan putaran 720 rpm

#### 5. PUSTAKA

- [1] Adji W, Suryo. [2005]. *Engine Propeller Matching* Adji W, Suryo. [2005].
- [2] Adnanes, A. K. [2003] '*Maritime electrical installations and diesel electric propulsion*', ABB AS Marine.
- [3] B&W, MAN. *Diesel-electric Drives Diesel-electric Propulsion Plants A brief guideline how to engineer a diesel-electric propulsion system*
- [4] Carlton, J. (2018). *Marine Propellers and Propulsion 4th Edition. In Marine Propellers and Propulsion.*
- [5] Djatmiko, E. B. (2013). Perancangan Propeler Self-Propelled Barge. *Jurnal Teknik ITS*, 2(1)
- [6] Lewis E.V, [1988]. *Principles of Naval Architecture, second revision, Society of Naval Architects and Marine Engineers.*
- [7] Win, T., Sabai, N., & Maung, H. N. (2008). *Analysis of variable frequency three phase induction motor drive. World academy of science, Engineering and technology*, 18, 647-650