

BAB - II

PERENCANAAN PERHITUNGAN MESIN INDUK , MESIN BANTU DAN UKURAN BALING-BALING

II Motor Induk / Penggerak Kapal

2.1 . Data Kapal

• Type Kapal	: Tanker Oil Ship	
• Loa	: 149,21	m
• Lwl	: 142,8	m
• Lpp	: 140,0	m
• Lebar (B)	: 24,60	m
• Tinggi (H)	: 11,8	m
• Draft (T)	: 7,015	m
• Coeficient Blok (C _b)	: 0,809	
• Kecepatan (V _s)	: 13	Knots
• Dwt	: 15.521	Ton
• Klasifikasi	: BKI	
• Bendera	: Indonesia	
• Jarak Pelayaran	: 14.100	mil
• Daerah Operasi	: Ocean Going	

2.2 . Koefisien – koefisien Kapal

- **Displacement (Δ)**

$$\begin{aligned}\Delta &= L_{pp} \times B \times T \times \gamma \\ &= 140 \times 24,6 \times 7,015 \times 1,025 \\ &= 24.763,65 \text{ ton}\end{aligned}$$

- **Midship Area Coefficient (C_m)**

$$\begin{aligned}C_m &= 0,9 + 0,1 \times \sqrt{C_b} \\ &= 0,9 + 0,1 \times \sqrt{0,809} = 0,989\end{aligned}$$

- **Luas Midship (A_m)**

$$\begin{aligned} A_m &= B \times T \times C_m \\ &= 24,6 \times 7,015 \times 0,989 \\ &= 170,67 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- **Coefficient of Water Line**

$$\begin{aligned} C_w &= (0,70 \times C_b) + 0,30 \\ &= (0,70 \times 0,989) + 0,30 \\ &= 0,992 \end{aligned}$$

- **Luas Garis Air (A_{wl})**

$$\begin{aligned} A_{wl} &= L_{wl} \times B \times C_w \\ &= 142,8 \times 24,6 \times 0,992 \\ &= 3,484,776 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- **Coefficient Prismatic (C_p)**

$$\begin{aligned} C_p &= C_b / C_m \\ &= 0,809 / 0,989 \\ &= 0,817 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- **Luas Bidang Permukaan Basah Kapal (S)**

$$S = 1,025 \times L_{pp} (C_b L_{pp} \times B + 1,7 T)$$

(Berdasarkan Referensi No 1, hal; 133)

Dimana :

$$\begin{aligned} C_b L_{pp} &= C_b \times L_{oa} / L_{pp} \\ &= 0,809 \times (149,21 / 140) \\ &= 0,862 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 1,025 \times 140 (0,862 \times 24,6 + 1,7 \times 7,015) \\ &= 4.754,255 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Luas Bidang Permukaan Basah (S_1) Sepanjang L_{wl} :

$$\begin{aligned} S_1 &= 1,025 \times 142,8 (0,862 \times 24,6 + 1,7 \times 7,015) \\ &= 4.849,34 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga Ratio S / S_1

$$\begin{aligned} &= 4.754,255 / 4.849,34 \\ &= 0,98 \end{aligned}$$

- **L Displacement**

$$\begin{aligned} L \text{ displ} &= \frac{Lwl + Lpp}{2} \\ &= \frac{142,8 + 140}{2} \\ &= 141,4 \text{ m} \end{aligned}$$

- **Volume Displacement (V displ)**

$$V \text{ disp} = L \times B \times T \times d$$

Dimana :

$$d = dwl$$

$$\begin{aligned} dwl &= \frac{Lpp}{Lwl} \times Cb \\ &= 0,793 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V \text{ displ} &= 140 \times 24,6 \times 7,015 \times 0,793 \\ &= 19.158,61 \end{aligned}$$

- **Coefficient Prismatic Displacement (Q displ)**

$$\begin{aligned} Q \text{ displ} &= \frac{Lpp}{L \text{ displ}} \times Cp \\ &= \frac{140}{141,4} \times 0,817 \\ &= 0,808 \end{aligned}$$

- **Perbandingan Lebar dan sarat Kapal**

$$\begin{aligned} B / T &= 24,6 / 7,015 \\ &= 3,507 \end{aligned}$$

- **Ratio antara Am dan S₁**

$$\begin{aligned} Am / S_1 &= 170,67 / 4.849,34 \\ &= 0,035 \end{aligned}$$

2.3. Perhitungan Tahanan Kapal dan Mesin Induk

Kapal yang berlayar diibaratkan seperti sebuah benda yang bergerak melalui media air dan udara, ini berarti bahwa benda itu akan mengalami gaya hambat / tahanan (*Resistance Force*) dari media yang dilaluinya.

Tahanan – tahanan yang dialami sebuah kapal yang bergerak melalui air dan udara dapat diuraikan atas

- Tahanan Gelombang (*Wave Making Resistance*)
- Tahanan Gesek (*Frictional Resistance*)
- Tahanan Bentuk (*Eddy Making Resistance*)
- Tahanan Udara (*Air Resistance*)

Untuk menghitung besarnya tahanan – tahanan kapal tersebut dapat digunakan berbagai cara dengan percobaan memakai model Towing Tank atau dengan cara pendekatan. Cara pendekatan adalah cara perhitungan dengan menggunakan rumus -- rumus pendekatan (Ref. No 1, hal; 96)

Tahanan – tahanan lain yang mempengaruhi adalah :

- Tahanan udara / angin.
- Tahanan penonjolan badan.
- Dan tahanan lainnya.

Perhitungan tahanan kapal ini dilakukan dengan menggunakan Referensi No. 1, hal; 119 yaitu dengan menggunakan rumus :

$$R = C_T \times \left(\frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \right)$$

Dalam hal ini Coefficient tahanan totalnya adalah :

$$C_T = C_R + C_F + C_A$$

Dimana :

C_T = Koefisien tahanan sisa untuk bentuk standar.

C_F = Koefisien tahanan gesek, didapat dari kurva ITTC – 57.

C_A = Koefisien tahanan tambahan.

Jadi perhitungan tahanan kapal untuk kecepatan 12 knots adalah sebagai berikut :

a) Froude Number (F_n) (Referensi No.1, hal; 118)

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g \times L}}$$

$$= \frac{6.687}{\sqrt{9.81 \times 140}}$$

$$= 0,180$$

V_s = Kecepatan Kapal (m/sec)
 = 13 knots x 0,1544
 = 6,687 m/sec.

g = gravitasi
 = 9,81 m/sec²

L = Panjang kapal (L_{pp})

b) V_s = 13 Knots

c) V_s = 6,687 m/sec²

d) V_s^2 = 44,719 m/sec²

e) $\frac{1}{2} \times \rho \times V_s^2$

Dimana :

ρ = massa density (kg / m³) = 104,49 kg / m³

S = Luas permukaan basah (m²) = 5.470,866 m²

V^2 = kecepatan (m/sec²)

$\frac{1}{2} \times \rho \times V_s^2$ = 0,5 x 104,49 x 4.754,255 x 44,719
 = 11.108.550,435 kg

f) **Residuary Coefficient ($10^3 C_R$)**

Sesuai Referensi Harvald hal ; 121 dan 122, residuary Coefficient atau tahanan sisa diperoleh dari grafik yang merupakan fungsi dari perbandingan panjang volume ($L/V^{1/3}$) dan bilangan Froude (F_n).

Diketahui :

L_{pp} = 140

V_{displ} = 19.158,61 m³

$L/V^{1/3}$ = 140 / 19.158,61
 = 5,232

Nilai C_R untuk kapal standar didapat dari gambar 5.5.6 dan 5.5.7

$L/V^{1/3} = 5$ $F_n = 0,180$ $10^3 C_R = 1,15$

$L/V^{1/3} = 5,5$ $F_n = 0,180$ $10^3 C_R = 1,83$

$$L/V^{1/3} = 5,232 \quad F_n = 0,180 \quad 10^3 C_R = \dots\dots$$

$$10^3 C_R = 1,15 + \frac{(5,232-5)}{(5,5-5)} \times (1,83-1,15)$$

$$= 1,466$$

$$C_R = 1,466 \times 10^{-3}$$

g) Koreksi B / T

Berdasarkan Referensi Harvald hal; 119 grafik harga C_R untuk kapal yang mempunyai rasio lebar sarat kapal lebih besar atau lebih kecil dari $B / T = 2,5$ harus dikoreksi dengan rumus sebagai berikut :

$$C_R = 10^{-3} \{ 0,16 (B/T - 2,5) \}$$

$$B/T = 24,6 / 7,015$$

$$= 3,507$$

Koreksi C_R untuk $B/T > 2,5$ adalah :

$$= 10^{-3} \{ 0,16 (B/T - 2,5) \}$$

$$= 10^{-3} \{ 0,16 (3,507 - 2,5) \}$$

$$= 0,161 \times 10^{-3}$$

h) Koreksi LCB

Berdasarkan referensi Harvald hal; 119 harga koreksi lain untuk koefisien tahanan sisa adalah :

LCB Standar = -1,55 % (didapat dari gambar 5.5.15)

$$LCB = -3,340$$

$$\Delta LCB = \frac{LCB\% - (-1,55\%)}{100}$$

$$= \frac{-3,340\% - (-1,55\%)}{100}$$

$$= - 4,89 \%$$

$$= - 0,0489$$

maka koreksi LCB :

$$= \frac{\delta \times 10^3 C_R}{\delta LCB} \times \Delta LCB$$

$$= 0,14 \times - 0,0489$$

$$= - 0,007 \times 10^{-3}$$

i) Koreksi Garis Penampang Bentuk Depan dan Bentuk Belakang

Berdasarkan Referensi harvald hal; 131 harga koreksi $C_R = 0$
(bentuk standar)

j) Koreksi Bentuk Haluan

Berdasarkan Referensi Harvald hal; 131 $C_R = -0,2$

k) Koreksi Anggota Badan Kapal

Berdasarkan Referensi Harvald hal; 131 :

- Boss baling – baling = (3 % - 5 %)

$$\begin{aligned} 5 \% \times C_R &= 5 \% \times 1,466 \\ &= 0,073 \end{aligned}$$

- Shaft Braket = 5 % - 8 %

$$\begin{aligned} 8 \% \times C_R &= 8 \% \times 1,466 \\ &= 0,117 \end{aligned}$$

- Lunas Bilga = 0 % (tidak ada koreksi)

- Daun Kemudi = 0 % (tidak ada koreksi)

l) Resultan $10^3 C_R$

$$\begin{aligned} \text{Resultan } 10^3 C_R &= f + g + h + i + j + k \\ &= 1,466 + 0,161 + -0,007 + 0 + (-0,2) + (0,073 + 0,117) \\ &= 1,61 \end{aligned}$$

$10^6 R_N$

$$\begin{aligned} &= \frac{10^6 (V \times L)}{v} \\ &= \frac{10^6 (6,687 \times 140)}{0,867 \times 10^6} \\ &= 1.079,825 \end{aligned}$$

L_1

$$\begin{aligned} &= \frac{1,188}{0,867} \times 140 \\ &= 191,33 \end{aligned}$$

m) Koefesien Tahanan Gesek (C_R)

Berdasarkan referensi Harvald hal 132; harga koefesien tahanan gesek diperoleh dari grafik ITTC – 57 yang merupakan fungsi dari panjang (L) dan kecepatan (V) = 12 konots, dirubah dalam satuan m/sec. Jadi V = 12 x

0,5144 = 6,173 m/sec (berada diantara kecepatan 6 m/sec dan 8 m/sec. Nilai $10^3 C_R$ didapat dengan menggunakan rumus interpolasi sebagai berikut :

L	= 191,83	= 6 m/sec	$10^3 C_R$	= 1,54
L	= 191,83	= 8 m/sec	$10^3 C_R$	= 1,485
L	= 191,83	= 6,687 m/sec	$10^3 C_R$	=

$$10^3 C_R = 1,54 + \left(\frac{6,687 - 6}{8 - 6} \right) (1,54 - 1,485)$$

$$= 1,521$$

n) Koreksi C_F

Berdasarkan Referensi harvald hal; 132 harga $10^3 C_F$ adalah :

$$10^3 C_F = S_1 / S \times 10^3 C_R$$

$$= \frac{4.849,34}{4.754,255} \times 1,521$$

$$= 1,552 \times 10^3$$

o) Tahanan Tambahan ($10^3 C_A$)

Berdasarkan Referensi Harvald hal; 132, harga $10^3 C_A$ adalah :

$$10^3 C_A = 0,2$$

$$C_A = 0,2 \cdot 10^3$$

p) Tahanan Udara ($10^3 C_{AA}$)

Berdasarkan Referensi Harvald hal; 132, harga $10^3 C_{AA}$ adalah :

$$10^3 C_{AA} = 0,07$$

$$C_{AA} = 0,07 \cdot 10^3$$

q) Tahanan Kemudi ($10^3 C_{AS}$)

Berdasarkan Referensi Harvald hal; 132, harga $10^3 C_{AS}$ adalah :

$$10^3 C_{AS} = 0,04$$

$$C_{AS} = 0,04 \cdot 10^3$$

r) Koefesien Tahanan Total ($10^3 C_T$)

$$10^3 C_T = C_R + C_F + C_A + C_{AA} + C_{AS}$$

$$= 1,521 + 1,552 + 0,2 + 0,07 + 0,04$$

$$= 3,472$$

s) RT (Hambatan Total)

$$\begin{aligned}
 R_T &= C_T \times \left(\frac{1}{2} \times \rho \times V_s^2 \right) \\
 &= 3,472 \times 38.567,807 \text{ kg} \\
 &= 3,438,809 \text{ kg} \\
 &= 3.4 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

2.4. Perhitungan Effective Horse Power (EHP) Motor Penggerak Utama Kapal

Besarnya EHP dari motor Induk sesuai dengan tahanan spesifik, pada Trial Condition adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{EHP} &= \frac{V_s \times R_T}{75} \\
 &= \frac{6,687 \times 38,567,807}{75} \\
 &= 2,530,963 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

1. Perhitungan Factor Arus Ikut (wake fraction = w) (Taylor)

$$\begin{aligned}
 w &= -0,05 + (0,5 \times C_b) \\
 &= -0,05 + (0,5 \times 0,809) \\
 &= 0,355
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Advance Velocity (Va)

$$\begin{aligned}
 V_a &= (1 - w) \times V_s \\
 &= (1 - 0,355) \times 13 \text{ knots} \\
 &= 8,3 \text{ knots}
 \end{aligned}$$

3. Thrust Deduction Faktor (t) (Schoenler)

$$t = k \times w$$

dimana :

$$k = 0,7 - 0,9, \text{ diambil } k = 0,9$$

$$t = 0,8 \times 0,355$$

$$= 0,284$$

4. Hull Efficiency (η_h)

$$\eta_h = \frac{1-t}{1-w}$$

$$= \frac{1-0,284}{1-0,355}$$

$$= 1,11$$

5. Propulsive Coefficient (PC)

$$PC = \eta_h \times \eta_{rr} \times \eta_p$$

Dimana ;

η_p = Efisiensi propeller, diasumsikan (0,5 – 0,9) diambil 0,6

η_{rr} = Untuk single screw propeller (1,02 – 1,05) diambil 1,05

$$PC = 1,11 \times 1,05 \times 0,6$$

$$= 0,699$$

6. Brake Horse Power (BHP)

$$BHP = \frac{EHP}{PC}$$

$$= \frac{3.483,809}{0.699}$$

$$= 3.619,811 \text{ kW}$$

7. Penentuan BHP total

Untuk mendapatkan besarnya daya mesin, digunakan pendekatan :

3 % Koreksi pemakaian Gear Box.

3 % Koreksi letak kamar mesin.

15 % Penambahan Sea Margin.

$$BHP \text{ Total} = (100 + 3 + 3 + 15) \% \times BHP$$

$$= 121 \% \times 4.918,222$$

$$= 5.951,048 \text{ HP}$$

$$= 4.379,972 \text{ kW}$$

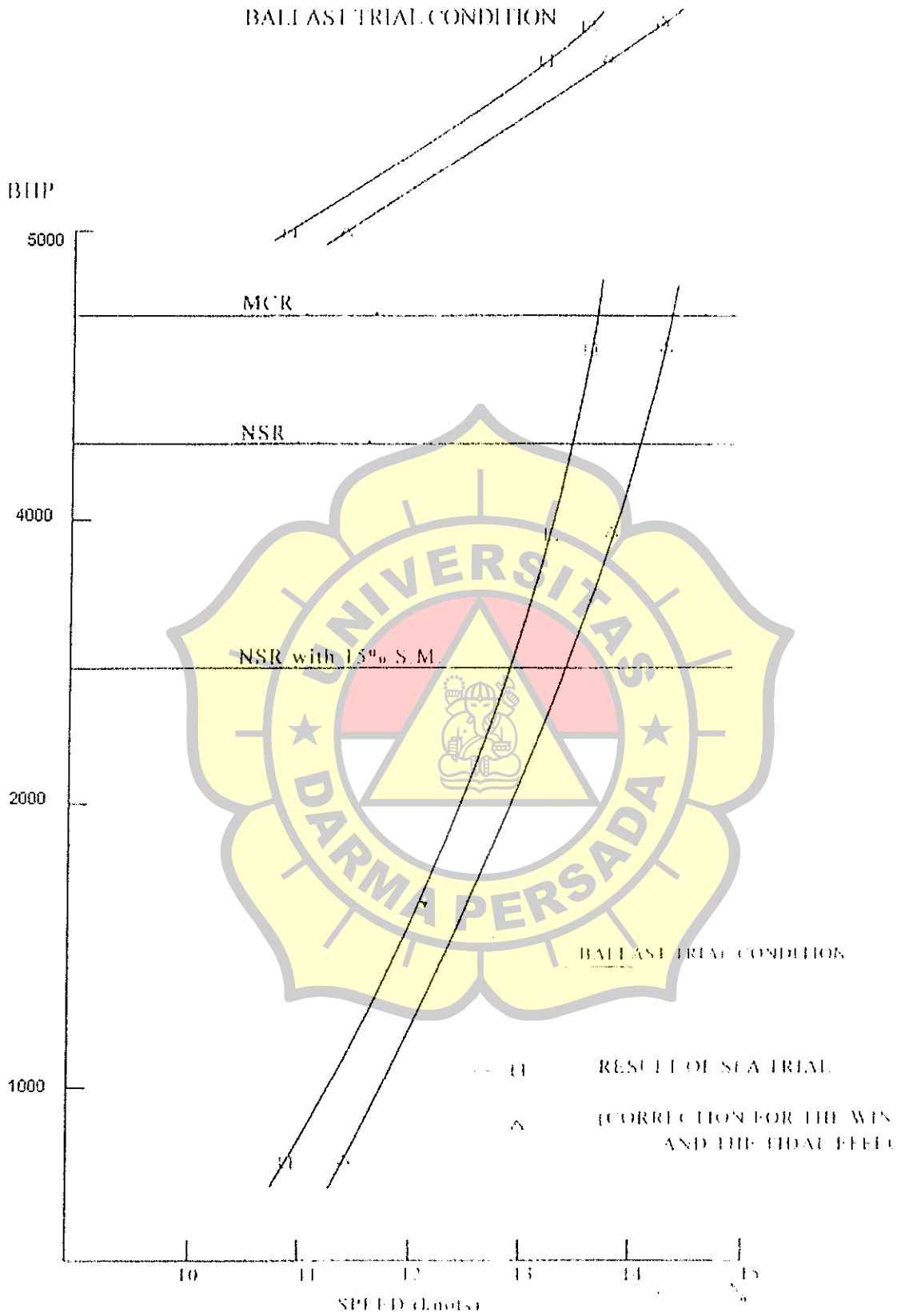
PERHITUNGAN LIMA KECEPATAN

No.	RUMUS	Satuan / Sumber Rumus	Kecepatan - Knot				
			11	12	13	14	15
1.	Vs	Knot	11	12	13	14	15
2.	Vs	m / dt	5.658	6.173	6.687	7.202	7.716
3.	Vs ²	m ² / dt ²	32.017	38.103	44.719	51.863	59.537
4.	Fn = V / g L		0.153	0.167	0.180	0.194	0.208
5.	1/2 . p . S . V ²	Kg	7953459.187	9465273.743	11108550.435	12883289.261	14789490.224
6.	10 ³ C _R (L / V ^{1/3})	Gbr. 5.5.9 - 5.5.10	0.877	0.850	1.466	1.322	1.356
7.	Koreksi B/T	Gbr. 5.5.17	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161
8.	Koreksi LCB	Gbr 5.5.15 - 5.5.16	0.061	-0.002	-0.007	-0.008	0.029
9.	Koreksi Grs. Penampang	5.5.20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10.	Koreksi Bentuk Haluan	5.5.21	-0.200	-0.200	-0.200	-0.200	-0.200
11.	Koreksi Anggota Badan	5.5.22	0.1140	0.1105	0.1905	0.1718	0.1763
12.	Resultan 10 ³ C _R	6 + 7 + 8 + 9 + 10 + 11	1.013	0.919	1.610	1.446	1.523
13.	10 ⁶ Rn	V.L / v	913.698	996.761	1079.825	1162.888	1245.952
14.	10 ³ C _F ITTC - 1957	Gbr.5.5.14	1.549	1.535	1.521	1.507	1.493
15.	10 ³ C _F '	S ₁ / S x 10 ³ C _F	1.565	1.551	1.552	1.522	1.508
16.	10 ³ C _A	5.5.23	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
17.	10 ³ C _{AA}	5.5.26	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
18.	10 ³ C _{AS}	5.5.27	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
19.	10 ³ C _T = C _R + C _F + C _A + C _{AA} + C _{AS}	12 + 15 + 16 + 17 + 18	2.888	2.780	3.472	3.278	3.340

PERHITUNGAN LIMA KECEPATAN

20.	$R_1 = C_1 \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$	Kg	22970.796	26309.923	38567.807	42237.645	49402.535
21.	$EHP = V \cdot R_1 / 75$	HP	1733.039	2165.412	3438.809	4055.715	5082.533
22.	PC		0.699	0.699	0.699	0.699	0.699
23.	$SHP = EHP / PC$	HP	2478.612	3096.996	4918.222	6347.668	7954.758
24.	Koreksi Gear Box = 3%		74.358	92.910	147.547	190.430	238.643
25.	Koreksi Letak Kamar Mesin = 3 %		74.358	92.910	147.547	190.430	238.643
26.	Sea Margin		371.792	464.549	737.733	952.150	1193.214
27.	BHP MCR	HP	2999.121	3747.365	5951.048	7680.679	9625.258

(RESULTS OF SEA TRIAL)
BALLAST TRIAL CONDITION



2.5. Pemilihan Motor Penggerak Kapal

Pemilihan motor induk berdasarkan tenaga yang di butuhkan untuk kecepatan kapal. Beberapa dasar pertimbangan untuk pemilihan mesin adalah :

- Berat dan Ukuran
- Berat merupakan pertimbangan yang paling penting, dimana berat mesin induk seringan mungkin. Ukuran panjang dan lebar dari mesin induk dipilih sependek mungkin dari type mesin yang tersedia.
- Tinggi
Tinggi dari mesin harus diperhatikan, apakah sudah memenuhi persyaratan minimal dari ruang mesin.
- Tinggi titik poros.
Tinggi titik poros ditentukan oleh propeller.
- Biaya pemakaian bahan bakar.
- Specific Fuel Consumption yang kecil.
- Biaya pemakaian minyak pelumas.
- Volume ruang mesin yang tersedia.
- Putaran motor sehubungan dengan putaran propeller yang telah disediakan.
- Sistikm pipa – pipa yang dikondisikan untuk kamar mesin.
- Ruangan yang cukup sehingga memudahkan untuk perawatan dan pengoperasian instalasi mesin.

Berdasarkan Tabel – 1 perhitungan hambatan kapal dengan menggunakan metode Harvald, maka dapat ditentukan besarnya daya mesin yang digunakan Kapal Tanker ini.

Dimana besarnya daya mesin dan dimensi mesin yang dipilih adalah sebagai berikut :

- Merk : WARSILA VASA 32
- Type : 12 V 32
- Daya : 6.040 HP / 4440 kW
- Putaran Mesin : 720 RPM
- Bore x Stroke : 320 x 350 mm
- Cycle : 4 Langkah

- Jumlah Silinder : 12
- Dimensi : 5696 mm (L) x 2590 mm (W)
3653 mm (H)
- Jumlah : 1 (Satu) Unit
- SFOC : 189 g/Kwh
- SLOC : 1,2 g/Kwh

2.6. Perencanaan Propeller Kapal

Perencanaan penentuan dimensi propeller akan sangat menentukan terhadap hasil kerja yang direncanakan. Adapun perencanaan propeller tersebut adalah :

1. Factor Arus Ikut (ψ)

$$\begin{aligned}\psi &= -0,05 + (0,55 \times C_b) \\ &= -0,55 + (0,55 \times 0,809) \\ &= 0,395\end{aligned}$$

2. Faktor Pengisapan (v)

$$v = k \times \psi$$

dimana :

$$\begin{aligned}k &= 0,7 - 0,9 \text{ diambil } k = 0,9 \\ &= 0,9 \times 0,395 \\ &= 0,356\end{aligned}$$

3. Besarnya Hambatan

Menurut Newman, untuk mempertahankan kecepatan sebesar 12 knots, perlu adanya cačangan hambatan sebesar 20% dari hasil perhitungan, maka :

$$\begin{aligned}R_T &= (20\% \times R_T) + R_T \\ &= (0,2 \times 3.438,809) + 3.438,809 \\ &= 40.481,661 \text{ N}\end{aligned}$$

4. Tenaga yang diberikan propeller (P)

- Letak Kamar Mesin

Letak kamar mesin dibelakang, dikoreksi = -3 %

- Koreksi Daya Metric

Koreksi HP ke metric = $(75 / 76) \times 100\% = -0,98\%$

- Koreksi Air Tawar ke Air Laut

$$\text{Sebesar} = - (1 / 1,025) \times 100\% = - 0,976 \%$$

$$\begin{aligned} P &= \text{BHP} - \text{Harga Koreksi} \\ &= 5.951,048 - (4,963 \% \times 5.951,048) \\ &= 4.162,593 \text{ kW} \end{aligned}$$

5. Penentuan Angka Sorong

$$\begin{aligned} S &= \frac{RT}{(1-\nu)} \\ &= \frac{4.126,571}{0.356} \\ &= 113.707,71 \text{ N} \end{aligned}$$

6. Kecepatan Air Masuk ke Propeller (v_e)

$$\begin{aligned} v_e &= (1 - \psi) \times V_s \\ &= (1 - 0,279) \times 6,687 \\ &= 4,046 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

7. Diameter Propeller Tentative (D)

$$\begin{aligned} D &= 0,7 \times T \\ &= 0,7 \times 7,015 \\ &= 4,91 \end{aligned}$$

8. Advance Speed of Propeller (V_a)

$$V_a = (1 - \psi) \times V_s$$

Dimana :

$$V_s = \text{Kecepatan kapal; } 13 \text{ knots}$$

$$\begin{aligned} V_a &= (1 - 0,395) \times 13 \\ &= 7,865 \text{ knots} \end{aligned}$$

9. Perencanaan Jumlah Daun Propeller

- Bila harga koefisien $K'_d \geq 2$ atau $K'_n \geq 1,0$ maka disarankan memilih jumlah daun : $Z = 3$

- Bila harga koefisien $K'_d \leq 2$ atau $K'_n \leq 1,0$ maka disarankan memilih jumlah daun : $Z = 4$

Untuk kapal rancangan :

$$K'_d = D \times v_e \times \sqrt{\frac{\rho}{S}}$$

Dimana :

- D = Diameter Propeller Tentative = 4,91 m
- ρ = Massa Jenis Air Laut = 104,49 kg/m³
- S = Gaya Dorong Propeller = 11.591,49 kg
- v_e = Kecepatan Air Masuk ke Propeller = 4,046 m/sec

$$K'd = 4,91 \times 4,046 \times \sqrt{\frac{104,49}{11.591,49}}$$

$$= 1,886$$

10. Diameter Optimum, Pitch Rasio dan Propeller Efficiency.

a. Koefisien Propeller

$$B_p = \frac{N \times P^{0.5}}{V_a^{2.5}}$$

Dimana :

- N = Putaran Propeller
- N = N (koreksi) / reduction gear
- = 720 / 3,333
- = 216 Rpm
- = 3,6 Rps
- V_a = Advance Speed of Propeller = 7,865 knots
- P = Tenaga Tempat Propeller Melekat
- = 4.162,593 kW

$$B_p = \frac{216 \times 5.655,697^{0.5}}{7,865^{2.5}}$$

$$= 93,637$$

Dari diagram B_p - δ , untuk $B_p = 93,637$ dapat diperoleh Advance Coefficient (δ) pada beberapa tingkat yaitu :

Untuk series B4-40 : $\delta = 380$

Untuk series B4-55 : $\delta = 340$

Untuk series B4-70 : $\delta = 334$

Dalam perencanaan baling – baling Tunggal (Single Screw) δ ini dikoreksi sebesar 2%, maka :

Untuk series B4-40 : $\delta_k = 380 - 2\% = 379,98$

Untuk series B4-55 : $\delta_k = 340 - 2\% = 339,98$

Untuk series B4-70 : $\delta_k = 334 - 2\% = 333,98$

b. Diameter Optimum (Do)

$$Do = \frac{\delta_k \times Va}{N} \quad (\text{feet})$$

Untuk series B4-40 : $Do = 13,836 \text{ feet} / 3,28 = 4,218 \text{ m}$

Untuk series B4-55 : $Do = 12,379 \text{ feet} / 3,28 = 3,774 \text{ m}$

Untuk series B4-70 : $Do = 12,161 \text{ feet} / 3,28 = 3,708 \text{ m}$

c. Pitch Ratio (Ho/D)

Dari harga (δ) yang telah dikoreksi, dapat diperoleh harga Pitch Ratio pada diagram Bp- δ series sesuai dengan pembebanan :

Untuk series B4-40 : $Ho/D = 0,450$

Untuk series B4-55 : $Ho/D = 0,560$

Untuk series B4-70 : $Ho/D = 0,615$

d. Propeller Effisiensi (η_p)

Dari diagram Bp- δ series didapat efesiensi propeller kapal sebagai berikut :

Untuk series B4-40 : $\eta_p = 45,45$

Untuk series B4-55 : $\eta_p = 43,25$

Untuk series B4-70 : $\eta_p = 41,50$

Untuk menentukan Diameter yang optimal, bebas kavitasi serta mempunyai efesiensi yang cukup baik, maka harus diadakan perhitungan – perhitungan untuk penentuan diameter propeller.

11. Perhitungan Kavitasi

a. Konstanta Kavitasi

$$s_{0,7} = \frac{(P - P_v) - (0,7 \times Do / 2 \times g)}{0,5 \times \rho [Va^2 + (0,7 \times \pi \times Do \times n)^2]}$$

dimana :

(P – P_v) = Beda tekanan statik pada sumbu baling – baling.

Do = Diameter Optimum baling – baling (m)

ρ = Kerapatan air laut = 104,5 kg²/m⁴.

Va = Advance of Speed Propeller. = 7,865 knots

n = Putaran baling – baling perdetik = 216 Rpm = 3,6 Rps.

b. Tekanan Statik Baling - Baling

Tekanan statik pada sumbu baling – baling adalah :

1. Draft	: T	=	7,015 m
2. Tinggi poros baling – baling	: h ₁	=	2,455 m
3. Tinggi gelombang (0,75% Lpp	: h ₂	=	<u>1,050 m</u>
Tinggi tekanan (T - h ₁ + h ₂)	: h	=	6,615 m
4. Tekanan air (h x 1,025)		=	6.780,375 kg/m ²
5. Tekanan udara		=	10.100 kg/m ²
6. Tekanan uap		=	<u>200 kg/m²</u>
Tekanan statik		=	17.080,375 kg/m ²

Untuk series B4-40 : s_{0,7} = 0,278

Untuk series B4-55 : s_{0,7} = 0,342

Untuk series B4-70 : s_{0,7} = 0,354

c. Koefisien Daya Dorong (σc)

Harga koefisien daya dorong diperoleh dari diagram “ Burril “ adalah :

Untuk series B4-40 : Do = 4,218 m didapat σc = 0,125

Untuk series B4-55 : Do = 3,774 m didapat σc = 0,148

Untuk series B4-70 : Do = 3,708 m didapat σc = 0,149

d. Projected Blade Area Perhitungan Kavitasi

$$Fp' = \frac{S}{\sigma c \times \rho [Va^2 + (0,7 \times \pi \times Do \times n)^2]}$$

Untuk series B4-40 : σc = 0,125 m didapat Fp' = 0,755 m

Untuk series B4-55 : σc = 0,148 m didapat Fp' = 0,786 m

Untuk series B4-70 : σc = 0,149 m didapat Fp' = 0,807 m

e. Developed Blade Area Ratio

Untuk series B4-40 :

1. Disc area of screw (F)

$$\begin{aligned} F &= (\pi / 4) \times Do^2 \\ &= (3,14 / 4) \times 4,218^2 \\ &= 13,966 \end{aligned}$$

2. Develope blade area (Fa)

$$\begin{aligned} Fa &= 0,40 \times F \\ &= 0,40 \times 13,966 \\ &= 5,586 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Fa / F &= \frac{\text{Ekspended area of the blades}}{\text{Disc are of the screw}} \\ &= 0,4 \end{aligned}$$

Untuk series B4-55 :

1. Disc area of screw (F)

$$\begin{aligned} F &= (\pi / 4) \times Do^2 \\ &= (3,14 / 4) \times 3,774^2 \\ &= 11,181 \end{aligned}$$

2. Develope blade area (Fa)

$$\begin{aligned} Fa &= 0,55 \times F \\ &= 0,55 \times 11,181 \\ &= 5,149 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Fa / F &= \frac{\text{Ekspended area of the blades}}{\text{Disc are of the screw}} \\ &= 0,55 \end{aligned}$$

Untuk series B4-70 :

1. Disc area of screw (F)

$$\begin{aligned} F &= (\pi / 4) \times Do^2 \\ &= (3,14 / 4) \times 3,708^2 \\ &= 10,793 \end{aligned}$$

2. Develope blade area (Fa)

$$\begin{aligned} Fa &= 0,70 \times F \\ &= 0,70 \times 10,793 \\ &= 1,611 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Fa / F &= \frac{\text{Ekspended area of the blades}}{\text{Disc are of the screw}} \\ &= 0,70 \end{aligned}$$

f. Projected Blade Area (Fp)

Untuk series B4-40 :

$$\begin{aligned} F_p / F_a &= 1,067 - 0,229 H_o/D \\ &= 1,067 - 0,229 \times 0,450 \\ &= 0,377 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_p &= F_a \times (F_p / F_a) \\ &= 5,586 \times 0,377 \\ &= 2,106 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Untuk series B4-55 :

$$\begin{aligned} F_p / F_a &= 1,067 - 0,229 H_o/D \\ &= 1,067 - 0,229 \times 0,560 \\ &= 0,469 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_p &= F_a \times (F_p / F_a) \\ &= 6,149 \times 0,469 \\ &= 2,884 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Untuk series B4-70 :

$$\begin{aligned} F_p / F_a &= 1,067 - 0,229 H_o/D \\ &= 1,067 - 0,229 \times 0,615 \\ &= 0,515 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_p &= F_a \times (F_p / F_a) \\ &= 7,555 \times 0,515 \\ &= 3,891 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

g. Tabel Perhitungan Kavitasasi

Tabel perhitungan kavitasasi propeller untuk berbagai pembebanan adalah :

	$s_{0,7}$	σ_c	F_p'	F_p / F_a
Series B4-40	0,278	0,125	0,755	0,377
Series B4-55	0,342	0,148	0,786	0,496
Series B4-70	0,354	0,149	0,807	0,515

	Fa / F	F	Fa	Fp
Series B4-40	0,40	13,966	5,586	2,106
Series B4-55	0,55	11,181	6,149	2,884
Series B4-70	0,70	10,793	7,555	3,891

	η_p	Ho/D	δk	N	Do
Series B4-40	45,45	0,450	379,98	216	4 218
Series B4-55	43,25	0,560	339,98	216	3,774
Series B4-70	41,50	0,615	333,98	216	3,708

Berdasarkan perhitungan rancangan propeller, maka spesifikasi propeller untuk penggerak Kapal Tanker ini adalah :

- Type Propeller : B4 – 40.
- Diameter Propeller : 4,218. m
- Pitch Ratio Propeller (Ho/D) : 0,450.
- Jumlah Daun Propeller (Z) : 3 (tiga) buah.
- Blade Area Ratio : 0,4
- Efisiensi Propeller (η_p) : 45,45

I. Perhitungan Propeller.

Diameter Propeller :

$$D = 4,218 \text{ meter.}$$

$$D = 4218 \text{ milimeter.}$$

a. Panjang Blade Elemen dari Center Line ke Leading Edge (hD)

r / R (1)	hD / D (2)	hD (3)
0,2	0,116	489,288
0,3	0,129	544,122
0,4	0,136	573,648
0,5	0,137	577,866
0,6	0,132	556,776

0,7	0,118	497,724
0,8	0,092	388,056
0,9	0,051	215,118
0,95	0,020	84,36
1,0	-0,053	-223,554

b. Panjang Total Blade Elemen (C)

r / R (1)	C / D (2)	C (3)
0,2	0,208	877,344
0,3	0,241	1016,538
0,4	0,263	1109,334
0,5	0,276	1164,168
0,6	0,279	1176,822
0,7	0,269	1134,642
0,8	0,241	1016,538
0,9	0,184	776,112
0,95	0,135	569,43
1,0	0,00	0,00

c. Panjang Blade Elemen dari Centre Line ke Trailing Edge (h_{TE})

r / R (1)	$h_{TE} = C - hD$ (2)
0,2	388,056
0,3	472,416
0,4	535,686
0,5	586,302
0,6	620,046

0,7	636,918
0,8	628,482
0,9	560,994
0,95	485,07
1,0	223,554

d. Jarak Ordinat Maksimum dari Leading Edge (H_T)

r / R (1)	hD / D (2)	hD (3)
0,2	0,35	307,07
0,3	0,387	393,4
0,4	0,42	465,92
0,5	0,45	523,876
0,6	0,475	558,99
0,7	0,493	559,379
0,8	0,50	508,269
0,9	0,50	388,056
0,95	0,50	287,715
1,0	0,50	0,00

1,0	0,0030	12,654
r / R (1)	hD / D (2)	hD (3)
0,2	0,0366	154,379
0,3	0,0324	136,663
0,4	0,0282	118,948
0,5	0,0240	101,232
0,6	0,0198	83,516
0,7	0,0156	65,801
0,8	0,0114	48,085
0,9	0,0072	30,37
0,95	0,0051	21,512

e. Ketebalan Blade Maksimum pada Ordinate (t)

f. Jarak Ordinate Belakang dan Muka dari Ordinate Maksimum
1. Ordinate Belakang

Trailing Edge

r / R	T.E	Mm	80	mm	60	mm	40	mm	20	mm	y1	mm	y2	mm
0,2	0,386	59,59	0,63	97,259	0,805	124,275	0,919	141,874	0,981	151,446	0,380	58,664	0,375	57,892
0,3	0,338	46,192	0,598	81,725	0,787	107,554	0,911	124,5	0,979	133,793	0,343	46,875	0,325	44,416
0,4	0,289	34,376	0,565	67,205	0,769	91,471	0,903	107,41	0,977	116,212	0,307	36,517	0,274	32,592
0,5	0,233	23,587	0,521	52,742	0,742	75,114	0,892	90,299	0,975	98,701	0,270	27,333	0,218	22,069
0,6	0,171	14,281	0,477	39,837	0,712	59,464	0,875	73,077	0,970	81,011	-	-	0,151	12,611
0,7	0,102	6,715	0,436	28,689	0,687	45,205	0,859	56,523	0,965	63,498	-	-	0,076	5,001
0,8	0,073	3,51	0,407	19,571	0,669	32,169	0,852	40,969	0,963	46,306	-	-	0,037	1,779
0,9	0,116	3,532	0,434	13,18	0,682	20,712	0,859	26,087	0,965	29,307	-	-	0,058	1,761
0,95	0,163	3,506	0,464	9,981	0,699	15,037	0,866	18,629	0,967	20,802	-	-	0,082	1,764

Leading Edge.

r/R	20	mm	40	mm	60	mm	70	mm	80	mm	85	mm	90	mm	95	mm	L/E	mm
0,2	0,984	151,909	0,932	143,881	0,844	130,296	0,783	120,879	0,708	109,3	0,608	102,199	0,538	93,862	0,538	83,056	-	-
0,3	0,981	134,067	0,924	126,277	0,826	112,884	0,759	103,727	0,676	92,384	0,569	85,551	0,497	77,671	0,497	67,922	-	-
0,4	0,979	116,45	0,915	108,837	0,804	95,634	0,732	87,07	0,637	75,77	0,532	69,228	0,444	62,21	0,444	52,813	-	-
0,5	0,978	99,005	0,9	91,109	0,774	78,354	0,692	70,053	0,591	59,828	0,463	53,754	0,377	46,87	0,377	38,164	-	-
0,6	0,975	81,428	0,881	73,578	0,737	61,552	0,647	54,035	0,53	44,264	0,386	38,835	0,298	32,237	0,298	24,888	0,171	14,281
0,7	0,968	63,695	0,866	56,983	0,698	45,929	0,59	38,822	0,465	30,597	0,305	25,662	0,210	20,069	0,21	13,818	0,102	6,712
0,8	0,963	46,306	0,852	40,969	0,669	32,169	0,546	26,255	0,407	19,571	0,249	15,868	0,163	11,973	0,163	7,838	0,073	3,51
0,9	0,965	29,307	0,859	26,087	0,682	20,712	0,567	17,22	0,434	13,18	0,284	10,963	0,202	8,625	0,202	6,135	0,116	3,532
0,95	0,967	20,802	0,866	18,629	0,699	15,037	0,59	12,692	0,464	9,981	0,322	8,497	0,245	6,927	0,245	5,27	0,163	3,506

III. Perhitungan Diameter Propeller.

Menurut Referensi No.2 hal; 41, diameter minimum untuk poros utama adalah

$$d = F \times k \frac{\sqrt[3]{P_w \times C_w}}{n \left(1 - \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^4\right)}$$

Dimana :

F = Faktor untuk type instalasi propulsi dan untuk semua type instalasi = 100.

k = Faktor untuk type dari shaft = 1,22

P_w = Tenaga mesin induk yang dihubungkan pada system = 3.619,811 kW

n = Shaft speed (Rps) = 3,6 Rps.

$$C_w = \frac{560}{R_m + 160}$$

R_m = Nilai karakteristik bahan poros untuk Baja KSF 45

$$= 400 \text{ N/m}^2$$

$$C_w = \frac{560}{400 + 160}$$

$$= 1$$

$$1 - \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^4 = 1$$

Jadi :

$$d = 100 \times 1,22 \frac{\sqrt[3]{3.619,811 \times 1}}{3,6 \times 1}$$

$$= 1.222,234 \text{ mm}$$

Sedangkan untuk poros antara, rumus yang digunakan sama dengan rumus untuk poros utama, hanya factor k yang berubah yaitu :

$$k = 1,10$$

$$d = 100 \times 1,10 \frac{\sqrt[3]{3.619,811 \times 1}}{3,6 \times 1}$$

$$= 1.102,014 \text{ mm}$$