

BAB II
PERENCANAAN PERHITUNGAN MOTOR INDUK
DAN BALING - BALING KAPAL

2.1. Motor induk / Penggerak kapal.

2.1.1. Data kapal.

- Loa	: 90 m
- Lwl	: 85,68 m
- Lpp	: 84 m
- B	: 15 m
- H	: 7 m
- T	: 5 m
- Cb	: 0,631 m
- Vs	: 14 Knot
- DWT	: 4.000 Ton
- Klasifikasi	: BKI
- Jenis kapal	: Tangker
- Bendera	: Indonesia
- Jarak Pelayaran	: Antar pulau
- Daerah operasi	: Interinsuler

2.1.2. Koefisien-koefisien Kapal

- *Displacement (Δ)*

$$\begin{aligned}\Delta &= Lpp \times B \times T \times Cb \times \gamma \\ &= 84 \times 15 \times 5 \times 0,631 \times 1,025 \\ &= 4.074,683 \text{ ton}\end{aligned}$$

- *Midship Area Coefficient (C_m)*

$$\begin{aligned}C_m &= 0,9 + (0,1 \times \sqrt{Cb}) \text{ (Rumus Van Lammeren)} \\ &= 0,9 + (0,1 \times \sqrt{0,631}) \\ &= 0,979\end{aligned}$$

- **Luas Midship (A_m)**

$$\begin{aligned} A_m &= B \times T \times C_m \\ &= 15 \times 5 \times 0,979 \\ &= 73,425 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- **Coefficien of Water (C_w) (Rumus Hoker)**

$$\begin{aligned} C_w &= (0,7 \times C_b) + 0,30 \\ &= (0,7 \times 0,631) + 0,30 \\ &= 0,742 \end{aligned}$$

- **Area Water Line (A_{wl})**

$$\begin{aligned} A_{wl} &= L_{wl} \times B \times C_w \\ &= 85,68 \times 15 \times 0,742 \\ &= 953,618 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- **Coeffisient Prismatic (C_p)**

$$\begin{aligned} C_p &= C_b / C_m \\ &= 0,631 / 0,979 \\ &= 0,645 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} S &= 1,025 \times L_{pp} (C_b L_{pp} \times B + 1,7 T) \\ &\text{(Reff. No. 1 hal. 133)} \end{aligned}$$

dimana :

$$\begin{aligned} C_b L_{pp} &= C_b \times L_{oa} / L_{wl} \\ &= 0,631 \times (90 / 85,68) \\ &= 0,663 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 1,025 \times 84 ((0,663 \times 15) + (1,7 \times 5)) \\ &= 1.588,115 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- **Luas Bidang Permukaan Basah sepanjang L_{wl} (S_1) :**

$$\begin{aligned} S_1 &= 1,025 \times 85,68 ((0,663 \times 15 \times 15) + (1,7 \times 5)) \\ &= 1.619,887 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga Ratio S / S_1 :

$$\begin{aligned} &= 1.588,115 / 1.619,877 \\ &= 0,98 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- **L displ**

$$\begin{aligned}L \text{ displ} &= \frac{L_{wl} + L_{pp}}{2} \\ &= (85,68 + 84) / 2 \\ &= 84,84 \text{ m}\end{aligned}$$

- **Volume displacement (V displ)**

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

Dimana :

$$d = d_{wl}$$

$$\begin{aligned}d_{wl} &= (L_{pp} \times C_b) / L_{wl} \\ &= (84 \times 0,631) / 85,68 \\ &= 0,619\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V \text{ displ} &= 84 \times 15 \times 5 \times 0,619 \\ &= 3.899,7 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- **Coeffisien Prismatic displacement (Q displ)**

$$\begin{aligned}Q \text{ displ} &= \frac{L_{pp} \times C_p}{L \text{ displ}} \\ &= \frac{84 \times 0,645}{84,84} \\ &= 0,639\end{aligned}$$

- **Perbandingan lebar dan sarat kapal**

$$\begin{aligned}B / T &= 15 / 5 \\ &= 3 \text{ m}\end{aligned}$$

- **Ratio antara Am dan S1**

$$\begin{aligned}A_m / S_1 &= 73,425 / 1.619,877 \\ &= 0,045 \text{ m}^2\end{aligned}$$

2.1.3. Perhitungan Tahanan Kapal dan Daya Motor 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 itu dapat diuraikan atas :

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

a. Tahanan Gelombang (*Wave making Resistance*)

Kapal yang bergerak dalam air akan mengalami hambatan sehingga menimbulkan gelombang yang berbentuk akibat terjadinya variasi tekanan air terhadap lambung kapal pada saat kapal bergerak dengan suatu kecepatan tertentu. Ada tiga jenis gelombang yang biasanya terbentuk pada saat kapal bergerak, yaitu : gelombang haluan, gelombang melintang pada kiri dan kanan lambung kapal serta gelombang buritan.

b. Tahanan Gesek (*Frictional resistance*)

Tahanan ini terjadi karena adanya suatu lapisan atau volume air yang melekat pada bagian kapal yang terbentuk pada permukaan bidang basah kapal yang bergerak dan biasa disebut lapisan batas. Di dalam daerah lapisan batas tersebut kecepatan gerak dari partikel – partikel zat cair dalam hal ini air laut, bervariasi dari nol (0) pada permukaan kulit kapal menjadi maksimum sama dengan besarnya kecepatan gerak aliran zat cair pada tepi dari lapisan batas tersebut. Perubahan kecepatan partikel-partikel zat cair inilah yang mencerminkan adanya pengaruh intensif gaya-gaya

viskositas pada lapisan batas yang menyebabkan timbulnya tahanan gesek pada kapal tersebut.

c. Tahanan Bentuk (*Eddy Making Resistance*)

Partikel air yang bergerak melintasi lambung kapal akan terpecah dan membentuk volume air tertentu dimana partikel air tersebut bergerak dalam satuan pusaran. Karena terjadinya tekanan ini, maka tekanan air pada buritan kapal akan berkurang dan timbulah satu gaya yang melawan arah gerak maju dari kapal. Gaya hambatan inilah yang merupakan tahanan bentuk yang dialami oleh kapal yang bergerak maju.

d. Tahanan Udara (*Air Resistance*)

Kapal yang berlayar, bagian atasnya akan mengalami gaya hambatan dari udara. Hambatan udara terdiri dari komponen-komponen gesek dan bentuk. Tekanan udara yang dialami kapal berkisar antara 2 – 4 % dari tahanan total yang dialami.

Untuk menghitung besarnya tahanan-tahanan kapal tersebut dapat dipergunakan berbagai cara, misalnya dengan percobaan memakai model *Towing Tank* atau dengan cara pendekatan. Cara pendekatan adalah cara perhitungan dengan menggunakan rumus pendekatan, Ref. No1, hal. 96).

Tahana – Tahanan lain yang mempengaruhi adalah :

- Tahanan Udara / angin.
- Tahanan Penonjolan badan.
- Dan tahanan lainnya.

Perhitungan tahanan kapal ini dilakukan dengan menggunakan Ref. No.1, hal. 119, dengan menggunakan rumus :

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

Dalam hal ini koefisien tahanan totalnya adalah :

$$CT = CR + CF + CA$$

Dimana :

CR = Koefisien tahanan sisa untuk bentuk standar

CF = Koefisien tahanan gese, didapat dari Curva ITTC – 57

CA = Koefisien tahanan tambahan.

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

a). Froude Number (Fn) (Ref. No.1 , hal 118)

$$Fn = \frac{Vs}{\sqrt{gxL}}$$

Dimana :

Vs = Kecepatan kapal (m/dtk)

$$= 14 \text{ knot} \times 0,5144$$

$$= 7,201 \text{ m / dtk}$$

g = gravitasi percepatan

$$= 9,81 \text{ m/dtk}^2$$

L = panjang kapal (Lpp) = 84 m

$$Fn = \frac{7,201}{\sqrt{9,81 \times 84}}$$

$$= 0,251$$

b) Vs = 14 knot

c) Vs = 7,201 m/dtk

d) Vs² = (7,201)² = 51,86 (m/dtk)²

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

dimana : ρ = massa jenis (kg.s² / m⁴)

S = Luas bidang permukaan basah (m²)

V² = Kecepatan (m / dtk)²

$$\frac{1}{2} \times \rho \times S \times V^2 = \frac{1}{2} \times 104,49 \times 1.588,115 \times 51,86$$

$$= 4.303.132,04 \text{ kg}$$

f) Residuary Coefficient (10³ CR)

Sesuai Ref. No.1 , 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 (Fn).

Diketahui :

$$L_{pp} = 84 \text{ m}$$

$$V_{displ} = 3.899,7 \text{ m}^3$$

$$L / V^{1/3} = 84 / (3.899,7)^{1/3} = 5,337$$

(Nilai CR untuk kapal standar didapat dari gambar 5.5.6 dan 5.5.7)

$L / V^{1/3} = 5$	$F_n = 0,251$	$10^3 \text{ CR} = 1,6$
$L / V^{1/3} = 5,5$	$F_n = 0,251$	$10^3 \text{ CR} = 1,333$
$L / V^{1/3} = 5,337$	$F_n = 0,251$	$10^3 \text{ CR} = ?$

$$10^3 \text{ CR} = 1,6 + (5,337 - 5) / (5,5 - 5) \times (1,333 - 1,6)$$

$$= 1,42$$

$$\text{CR} = 1,42 \times 10^{-3}$$

g) Koreksi B/T

Berdasarkan referensi No.1 , hal. 119, grafik harga CR untuk kapal yang mempunyai ratio lebar-sarat kapal lebih besar atau lebih kecil dari $B/T = 2,5$, harus dikoreksi dengan rumus sebagai berikut :

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

$$B/T = 15/5$$

$$= 3$$

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

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

$$= 0,08$$

h) Koreksi LCB

Berdasarkan Ref. No.1, hal.130, harga koreksi lain untuk koefisien tahanan adalah :

$$\Delta \text{LCB} = \text{LCB} - \text{LCB standar (LCB dalam \% L)}$$

Dimana :

$$\text{LCB standar} = 1,571 \% L \text{ (didapat dari gambar 5.5.15)}$$

$$\text{LCB} = \frac{\text{LCB standar} \times L_{pp}}{100}$$

$$\begin{aligned}
 LCB &= \frac{1,571 \times 84}{100} \\
 &= 1,32 \% L \\
 \Delta LCB &= 1,32 \% - (1,571 \%) \\
 &= -0,251 \%
 \end{aligned}$$

Koreksi LCB :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\delta \times 10^3 \text{ CR} \times \Delta LCB}{\delta \text{ LCB}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,243 \times (-0,00251) \\
 &= -0,61 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

i) **Koreksi Garis – penampang Bentuk Depan dan Belakang**

Berdasarkan Referensi No.1 hal. 131, harga koreksi CR = $0,2 \times 10^{-3}$

j) **Koreksi Bentuk Haluan**

Berdasarkan Referensi No.1, hal. 131, CR = $-0,2 \times 10^{-3}$

k) **Koreksi anggota Badan kapal**

Berdasarkan Referensi No.1 , hal 132 :

$$\begin{aligned}
 - \text{ Boss \& Poros baling – baling} &= (5\% + 8\%) \times \text{CR} \\
 &= 13\% \times 1,42 \times 10^{-3} \\
 &= 0,185 \cdot 10^{-3}
 \end{aligned}$$

$$- \text{ Lunas Bilga} = 0\% \text{ (tidak ada koreksi)}$$

$$- \text{ Daun kemudi} = 0\% \text{ (tidak ada koreksi)}$$

l) **Resultan 10^{-3} CR**

$$\begin{aligned}
 \text{Resultan } 10^{-3} \text{ CR} &= f + g + h + i + j + k \\
 &= 1,42 + 0,08 + (-0,61) + 0,2 + (-0,2) + 0,185 \\
 &= 1,075 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

m) **Koefisien Tahanan Gesek (CF)**

Berdasarkan Referensi No.1 , hal. 132, harga koefisien tahanan gesek diperoleh dari grafik ITTC – 57, yang merupakan fungsi dari panjang (L) dan kecepatan (V). Untuk kecepatan V = 14 Knot dirubah dalam satuan m / detik.

Jadi : $V = 14 \times 0,5144 = 7,202$ m / detik (berada diantara kecepatan 6 m/detik dan 8 m / detik). Nilai 10^{-3} CF didapat dengan menggunakan rumus interpolasi, sbb :

$$L = 84 \text{ m} \quad V = 6 \text{ m/dtk} \quad 10^{-3} \text{ CF} = 1,713$$

$$L = 84 \text{ m} \quad V = 8 \text{ m/dtk} \quad 10^{-3} \text{ CF} = 1,65$$

$$L = 84 \text{ m} \quad V = 7,202 \text{ m/dtk} \quad 10^{-3} \text{ CF} = ?$$

$$\begin{aligned} 10^{-3} \text{ CF} &= 1,713 + \{(7,202 - 6) / (8 - 6)\} \times (1,65 - 1,713) \\ &= 1,675 \end{aligned}$$

n) Koreksi CF

Berdasarkan Ref. No.1 , hal. 132, harga 10^{-3} CF adalah :

$$\begin{aligned} 10^{-3} \text{ CF} &= S_1 / S \times 10^3 \text{ CF} \\ &= (1.619,877 / 1.588,115) \times 1,675 \\ \text{CF} &= 1,708 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

o) Tahanan Tambahan (10^3 CA)

Berdasarkan Referensi No. 1 , hal. 132, harga 10^3 CA adalah :

$$10^3 \text{ CA} = 0,4$$

$$\text{CA} = 0,4 \cdot 10^{-3}$$

p) Tahanan Udara (10^3 CAA)

Berdasarkan Referensi No.1 , hal. 132 harga 10^3 CAA adalah :

$$10^3 \text{ CAA} = 0,07$$

$$\text{CAA} = 0,07 \cdot 10^{-3}$$

q) Tahanan Kemudi (10^3 CAS)

Berdasarkan referensi No. 1. , hal. 132 harga 10^3 CAS adalah 0,04 :

$$10^3 \text{ CAS} = 0,04$$

$$\text{CAS} = 0,04 \cdot 10^{-3}$$

r) Koefisien Tahanan Total (10^3 CT)

$$\begin{aligned}10^3 \text{ CT} &= \text{CR} + \text{CF} + \text{CA} + \text{CAA} + \text{CAS} \\ &= 1,075 + 1,708 + 0,4 + 0,07 + 0,04 \\ &= 3,293\end{aligned}$$

s) RT (Hambatan Total)

Berdasarkan referensi No.1 , hal. 133, besarnya Hambatan Total adalah :

$$\begin{aligned}R_T &= \text{CT} \left(\frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot V^2 \right) \\ &= 3,293 \cdot 10^{-3} \times 4.303.626,335 \text{ kg} \\ &= 14.171,842 \text{ kg}\end{aligned}$$

2.1.4 Perhitungan *Effective Horse Power* (EHP) Motor penggerak Utama Kapal

Besarnya EHP dari motor induk sesuai tahanan spesifik, pada *trial condition* adalah :

$$\begin{aligned}EHP &= \frac{V_s \times R_T}{75} \\ EHP &= \frac{7.202 \times 14.171,842}{75} \\ &= 1.360,875 \text{ HP}\end{aligned}$$

1. Perhitungan faktor arus ikut / *wave friction* (*w*) (Taylor)

$$\begin{aligned}w &= (0,5 \times C_b) - 0,05 \\ &= (0,5 \times 0,631) - 0,05 \\ &= 0,266\end{aligned}$$

2. Perhitungan *Advance Velocity* (*V_a*) (Ref. No.1 hal. 259)

$$\begin{aligned}V_a &= (1 - w) \times V_s \\ &= (1 - 0,266) \times 14 \\ &= 10,276 \text{ knot}\end{aligned}$$

3. *Thrust Deduction Factor* (*t*) (Schoenher)

$$t = k \times w$$

Dimana :

$$\begin{aligned}k &= 0,7 - 0,9 \text{ diambil } k = 0,9 \\ t &= 0,9 \times 0,266 \\ &= 0,239\end{aligned}$$

4. Hull Efficiency (η_h), (Refferensi no.1 , hal. 188).

$$\begin{aligned}\eta_h &= \frac{1-t}{1-w} \\ &= (1 - 0,239) / (1 - 0,266) \\ &= 1,037\end{aligned}$$

5. Propulsive Coefficient (PC) :

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

Dimana :

$$\begin{aligned}\eta_p &= \text{efisiensi propeller, diasumsikan} = 0,6 \\ \eta_{rr} &= \text{untuk single screw propeller (1,02 - 1,05)} \\ &\quad \text{diambil } 1,05 \\ PC &= 1,037 \times 1,05 \times 0,6 \\ &= 0,653\end{aligned}$$

6. Brake Horse Power (BHP)

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= \frac{\text{EHP}}{\text{PC}} \\ &= \frac{1.360,875}{0,66} \\ &= \mathbf{2.061,932 \text{ HP}} \end{aligned}$$

7. Penentuan NCR (Normal Continous Rating)

Untuk mendapatkan besarnya daya mesin, digunakan pendekatan :

3 % koreksi letak kamar mesin.

15 % penambahan *sea margin*

$$\begin{aligned} \text{NCR} &= \{ (3\% + 15\%) \times \text{BHP} \} + \text{BHP} \\ &= (0,18 \times 2.061,932) + 2.061,932 \\ &= \mathbf{2.433,0797 \text{ HP}} \\ &= 2.433,0797 \text{ HP} \times 0,7355 \\ &= \mathbf{1.789,53 \text{ kW}} \end{aligned}$$

8. Penentuan MCR (Maximum Continous Rating)

$$\begin{aligned} \text{MCR} &= \text{NCR} / 0,9 \\ &= 1.789,53 / 0,9 \\ &= \mathbf{2.703,42 \text{ HP}} \\ &= 2.703,42 \times 0,7355 \\ &= \mathbf{1.988,37 \text{ kW}} \end{aligned}$$

TABEL. 1. PERHITUNGAN HAMBATAN KAPAL

No	RUMUS	SUMBER RUMUS	SATUAN	KECEPATAN (KNOT)					
				12	13	14	15	16	
1	$F_n = \frac{V^3}{\sqrt{g \times L}}$			0,215	0,233	0,251	0,2688	0,287	
2	V		Knot	12	13	14	15	16	
3	V		m/ dtk	6,1728	6,6872	7,202	7,716	8,2304	
4	V ²		(m/ dtk) ²	38,103	44,719	51,869	59,537	67,739	
5	$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$		Kg	3.161.446,611	3.710.350,01	4.303.626,335	4.811.264,98	5.332.424,495	
6	$10^3 C_R (L / V^{1/3})$	Gbr. 5.5.6 & 5.5.7		0,62	0,71	1,42	1,64	1,946	
7	Koreksi B/T	Gbr. 5.5.17		0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	
8	Koreksi LCB	Gbr. 5.5.15 & 5.5.16		-0,32	-0,4	-0,61	-0,994	-0,302	
9	Koreksi Garis Penamp. Bentuk Depan & Belakang	Gbr. 5.5.20		0	0	0,2	0,2	0,2	
10	Koreksi Bentuk Haluan	Gbr. 5.5.21		-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	
11	Koreksi Anggota Badan	Gbr. 5.5.22		0,087	0,092	0,185	0,213	0,253	
12	Resultan 10 ³ C _R	617+8+9+10+11		1,119	1,164	1,075	0,939	1,877	
13	10 ³ C _F (Grafik ITTC-57)	Gbr. 5.5.14		1,595	1,579	1,675	1,659	1,644	
14	10 ³ C _F	S ₁ /S x (13)		1,627	1,611	1,708	1,692	1,677	
15	10 ³ C _A	Gbr.5.5.24		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
16	10 ³ C _{AA}	Gbr.5.5.28		0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	
17	10 ³ C _{AS}	Gbr.5.5.27		0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
18	10 ³ C _T = C _R +C _F +C _A +C _{AA} +C _{AS}	12+14+15+16+17		3,056	3,085	3,293	3,141	4,064	
19	R _T = C _T x (5)		Kg	9.661,381	11.446,43	14.171,842	15.112,183	21.670,973	
20	EHP = $\frac{V \times R_T}{75}$		HP	795,17	1.020,594	1.360,875	1.554,741	2.378,144	

TABEL. 1. PERHITUNGAN HAMBATAN KAPAL

No	RUMUS	SUMBER RUMUS	SATUAN	KECEPATAN (KNOT)				
				12	13	14	15	16
21	PC			0,66	0,66	0,653	0,673	0,688
22	BHP = EHP / PC		HP	1.204.803	1.546.355	2.061.932	2.310.165	3.456.605
23	$\eta m = 3 \%$			36,144	46,391	61,858	69,305	103,698
24	Sea margin = 15 %			180,72	278,344	309,29	346,525	518,491
25	NCR		HP	1.421,668	1.824,698	2.433,0798	2.725,995	5.519,874
26	NCR		kW	1.045,636	1.342,066	1.789,53	2.004,969	4.059,867
27	MCR		HP	1.579,631	2.027,443	2.703,42	3.028,883	6.133,193
28	MCR		kW	1.161,812	1.491,185	1.988,37	2.227,743	4.510,964



2.1.5 Pemilihan Motor Penggerak Utama Kapal

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

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

Berdasarkan tabel hasil perhitungan hambatan kapal dengan menggunakan metode Harvald, maka dapat ditentukan besarnya daya mesin yang digunakan kapal Tanker ini. Dimana karakteristik mesin yang dipilih adalah sebagai berikut :

- ⊕ Merk : **MAN B&W.**
- ⊕ Type : **S26MC.**
- ⊕ Daya : **2.725 HP / 2.000 kW.**
- ⊕ Putaran Mesin : **250 rpm.**
- ⊕ Stroke x Bore : **980 x 260 mm.**

- ⊕ Cycle : 2 Langkah.
- ⊕ Jumlah Silinder : 5.
- ⊕ Berat : 34,2 Ton.
- ⊕ Dimensi : 4.057 mm (L); 1.880 mm (W); 4.825 mm (H)
- ⊕ Jumlah : 1 (satu) unit.

2.1.6. Perencanaan Propeller Kapal

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

1. Faktor Arus Ikut (ψ)

$$\begin{aligned}\psi &= (0,5 \times c_b) - 0,05 \\ &= (0,5 \times 0,631) - 0,05 \\ &= 0,266\end{aligned}$$

2. Faktor Pengisapan (υ)

$$\upsilon = k \times \psi$$

Dimana : $k = 0,7 - 0,9$ (diambil $k = 0,9$)

$$\begin{aligned}\upsilon &= 0,9 \times 0,266 \\ &= 0,239\end{aligned}$$

3. Besarnya Hambatan

Menurut Newman, untuk mempertahankan kecepatan sebesar 14 knot, perlu adanya cadangan hambatan sebesar 20% dari hambatan hasil perhitungan, maka :

$$\begin{aligned}R_T &= (20\% \times R_T) + R_T \\ &= (0,2 \times 14.171,842) + 14.171,842 \\ &= 17.006,21 \text{ kg.}\end{aligned}$$

4. Tenaga yang diberikan propeller (P)

- ⊕ Letak kamar mesin

Kamar mesin dibelakang, koreksi = - 3%.

- ⊕ Koreksi daya ke metric

Koreksi HP ke metric = - (75/ 76) x 100% = - 0,987%.

- ⊕ Koreksi air tawar ke air laut

Sebesar = - (1/ 1,025) x 100% = - 0,976%.

$$\begin{aligned} P &= \text{BHP} - \text{Harga Koreksi} \\ &= 2.725 \text{ HP} - (3\% + 0,987\% + 0,976\%) \\ &= 2.725 - (4,963\% \times 2.725) \\ &= 2.589,758 \text{ HP.} \end{aligned}$$

5. Penentuan Angka Sorong (S)

$$\begin{aligned} S &= \frac{R_r}{(1 - \nu)} \\ &= \frac{14.171,842}{(1 - 0,239)} \\ &= 18.622,657 \text{ kg} \end{aligned}$$

6. Kecepatan Air Masuk ke Propeller (v_c)

$$\begin{aligned} v_c &= (1 - \psi) \times V_s \\ &= (1 - 0,266) \times 7,202 \\ &= 5,286 \text{ m/ s.} \end{aligned}$$

7. Diameter Propeller Tentative (D)

$$\begin{aligned} D &= 0,7 \times T \\ D &= 0,7 \times 5 \\ D &= 3,5 \end{aligned}$$

8. Advance Speed of Propeller (V_a)

$$\begin{aligned} V_a &= (1 - \psi) V_s \\ &= (1 - 0,266) \times 14 \\ &= 10,276 \text{ knot.} \end{aligned}$$

9. Jumlah putaran propeller (N)

Akibat adanya wake friction, thrust deduction, gesekan pada bantalan poros dan penempatan dari mesin induk akan mengurangi putaran mesin yang sampai ke propeller. Untuk itu dilakukan koreksi sebesar 3% dari putaran mesin induk.

$$\begin{aligned} N &= 250 - (3\% \times 250) \\ &= 242,5 \text{ rpm.} \end{aligned}$$

10. Penentuan 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 3,5 m.
- ⊕ ρ = masa jenis air laut 104,49 kg. s². / m⁴.
- ⊕ S = gaya dorong propeller 18.622,657 kg.
- ⊕ v_e = kecepatan air masuk ke propeller 5,286 m/ s.

$$\begin{aligned} K'd &= 3,5 \times 5,286 \times \sqrt{\frac{104,49}{18.622,657}} \\ &= 1,386 \end{aligned}$$

$K'd = 1,386$ ($K'd < 2$; disarankan memilih jumlah propeller berdaun 4).

11. Diameter Optimum, Pitch Ratio dan Propeller Efficiency

a. Koefisien propeller

$$B_p = \frac{N \times (P)^{0,5}}{(V_a)^{2,5}}$$

Dimana :

⊕ N = putaran propeller (N Koreksi) 242,5 rpm

⊕ $V_a = 10,276$ knot

⊕ P = tenaga tempat propeller melekat 2.589,758 HP.

$$\begin{aligned} B_p &= \frac{242,5 \times (2.589,758)^{0,5}}{(10,276)^{2,5}} \\ &= 36,457. \end{aligned}$$

Dari diagram B_p - δ series, untuk nilai $B_p = 36,457$ dapat diperoleh advanced coefficient (δ) pada beberapa tingkat pembebanan, yaitu :

Untuk series B 4-40 ; $\delta = 241$.

Untuk series B 4-55 ; $\delta = 234$.

Untuk series B 4-70 ; $\delta = 226,5$.

Untuk perencanaan propeller tunggal (single screw propeller) ini, dikoreksi sekitar 2%, maka :

Untuk series B 4-40 ; $\delta_k = 241 - 2\% = 236,18$

Untuk series B 4-55 ; $\delta_k = 234 - 2\% = 229,32$

Untuk series B 4-70 ; $\delta_k = 226,5 - 2\% = 221,97$

b. Diameter Optimum (D_o)

$$D_o = \frac{\delta_k \times V_a}{N} \quad (\text{feet})$$

Untuk series B 4-40 ; $D_o = 10,008$ feet = 3,050 m

Untuk series B 4-55 ; $D_o = 9,717$ feet = 2,962 m

Untuk series B 4-70 ; $D_o = 9,406$ feet = 2,867 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 B 4-40 ; Ho/D = 0,641

Untuk series B 4-55 ; Ho/D = 0,677

Untuk series B 4-70 ; Ho/D = 0,760

d. Propeller Efficiency (η_p)

Dari diagram Bp- δ series dapat diperoleh efisiensi propeller kapal sebagai berikut:

Untuk series B 4-40 ; $\eta_p = 56,944$

Untuk series B 4-55 ; $\eta_p = 53,667$

Untuk series B 4-70 ; $\eta_p = 53,35$.

Untuk menentukan diameter propeller yang optimal, bebas kavitasi serta mempunyai efisiensi yang cukup baik, maka harus diadakan perhitungan-perhitungan untuk penentuan diameter propeller, yaitu sbb :

12. Kavitas Propeller

a. Konstanta Kavitas

$$\delta_{0,7} = \frac{(P - P_v) - ((0,7x(D/2)x\gamma))}{1/2x\rho[(Va)^2 + (0,7x\pi x Dxn)^2]}$$

Dimana :

- ◆ (P-P_v) = Beda tekanan statik
- ◆ D = Diameter propeller
- ◆ ρ = Kerapatan air laut = 104,49 kg. s²/m⁴.
- ◆ Va = Advanced of speed = 10,276 Knot
- ◆ n = Putaran propeller per detik
= 242,5 rpm = 4,042 rps.

b. Tekanan Statik Propeller

Tekanan Statik pada sumbu adalah :

1. Draft $d = 5$ m
2. Tinggi poros propeller $h_1 = 1,4$ m
3. Tinggi gelombang ($\frac{3}{4} \% L_{pp}$) $h_2 = 0,63$ m
Tinggi tekan ($d - h_1 - h_2$) $h = 2,97$ m
4. Tekanan air ($h \times 1,025$) $= 3.044,25$ kg/m²
5. Tekanan udara $= 10.300$ kg/m²
6. Tekanan uap $= 200$ kg/m² +
7. Beda Tekanan Statik $= 13.344,25$ kg/m²

Maka $\delta_{0,7}$ untuk series B4.40 dengan $Do = 3,05$ m adalah :

$$\delta_{0,7} = \frac{(13.344,25) - (0,7 \times (3,05/2) \times 1,025)}{1/2 \times 104,49 [(10,276)^2 + (0,7 \times 3,14 \times 3,05 \times 4,042)^2]}$$
$$= 0,304$$

untuk series B4. 40 dengan $Do = 3,050$ didapat $\delta_{0,7} = 0,304$

untuk series B4. 55 dengan $Do = 2,962$ didapat $\delta_{0,7} = 0,32$

untuk series B4. 70 dengan $Do = 2,867$, didapat $\delta_{0,7} = 0,339$

c. Koefisien Gaya Dorong

Harga koefisien gaya dorong diperoleh dari diagram ' Burril ' untuk

series B4.40 dengan $Do = 3,050$ m, didapat $\sigma_c = 0,137$

series B4.55 dengan $Do = 2,962$ m, didapat $\sigma_c = 0,138$

series B4.70 dengan $Do = 2,867$ m, didapat $\sigma_c = 0,142$

d. Projected Blade Area sesuai perhitungan kavitasi

$$F_p' = \frac{S}{\delta \times \frac{1}{2} \times \rho \times [V_a^2 + (0,7 \times \pi \times D \times n)^2]}$$

$$= \frac{18.622.657}{0,137 \times \frac{1}{2} \times 104,49 [(10,276)^2 + (0,7 \times 3,14 \times 3,05 \times 4,042)^2]}$$

$$F_p' = 3,098 \text{ m}^2.$$

untuk series B4.40 dengan $\sigma_c = 0,137$, didapat $F_p' = 3,098 \text{ m}^2$.

untuk series B4.55 dengan $\sigma_c = 0,138$, didapat $F_p' = 3,236 \text{ m}^2$.

untuk series B4.70 dengan $\sigma_c = 0,142$, didapat $F_p' = 3,327 \text{ m}^2$.

e. Developed Blade Area sesuai perhitungan kavitasi

- ◆ $F_p / F_a = 1,067 - 0,229 \text{ Ho} / D$
 Dengan $\text{Ho} / D = 0,641$ (untuk series B4.40)
 $F_p / F_a = 1,067 - (0,229 \times 0,641)$
 $= 0,92$
- ◆ Developed Blade Area Ratio
 $F_a / F = \frac{\text{Expanded are of the blades}}{\text{Disc area of the screw}} = 0,40$

◆ Disc area of the screw

$$F = \pi / 4 \times D^2.$$

$$= 3,14 / 4 \times (3,05)^2$$

$$= 7,302 \text{ m}^2.$$

◆ Developed Blade Area

$$\begin{aligned}F_a &= 0,40 \times F \\ &= 0,40 \times 7,302 \\ &= 2,921 \text{ m}^2.\end{aligned}$$

◆ Projected Blade Area

$$\begin{aligned}F_p &= F_a \times (F_p / F_a) \\ &= 2,921 \times 0,92 \\ &= 2,687 \text{ m}^2.\end{aligned}$$

◆ $F_p / F_a = 1,067 - 0,229 \text{ Ho} / D$

Dengan $\text{Ho} / D = 0,677$ (untuk series B4.55)

$$\begin{aligned}F_p / F_a &= 1,067 - (0,229 \times 0,677) \\ &= 0,912\end{aligned}$$

◆ Developed Blade Area Ratio

$$F_a / F = \frac{\text{Expanded are of the blades}}{\text{Disc area of the screw}} = 0,55$$

◆ Disc area of the screw

$$\begin{aligned}F &= \pi / 4 \times D^2. \\ &= 3,14 / 4 \times (2,962)^2 \\ &= 6,887 \text{ m}^2.\end{aligned}$$

◆ Developed Blade Area

$$\begin{aligned}F_a &= 0,55 \times F \\ &= 0,55 \times 6,887 \\ &= 3,788 \text{ m}^2.\end{aligned}$$

◆ Projected Blade Area

$$\begin{aligned}F_p &= F_a \times (F_p / F_a) \\ &= 3,788 \times 0,912 \\ &= 3,455 \text{ m}^2.\end{aligned}$$

◆ $F_p / F_a = 1,067 - 0,229 H_o / D$

Dengan $H_o / D = 0,76$ (untuk series B4.70)

$$\begin{aligned}F_p / F_a &= 1,067 - (0,229 \times 0,76) \\ &= 0,893\end{aligned}$$

◆ Developed Blade Area Ratio

$$F_a / F = \frac{\text{Expanded are of the blades}}{\text{Disc area of the screw}} = 0,70$$

◆ Disc area of the screw

$$\begin{aligned}F &= \pi / 4 \times D^2. \\ &= 3,14 / 4 \times (2,867)^2 \\ &= 6,452 \text{ m}^2.\end{aligned}$$

◆ Developed Blade Area

$$\begin{aligned}F_a &= 0,70 \times F \\ &= 0,70 \times 6,452 \\ &= 4,517 \text{ m}^2.\end{aligned}$$

◆ Projected Blade Area

$$\begin{aligned}F_p &= F_a \times (F_p / F_a) \\ &= 4,517 \times 0,893 \\ &= 4,033 \text{ m}^2.\end{aligned}$$

f. Tabel – 2. Perhitungan kavitas propeller untuk berbagai pembebanan :

	Do	$\rho_{0,7}$	σ_c	Fp'	Fp/Fa
Series B4.40	3,05	0,304	0,137	3,098	0,920
Series B4.55	2,962	0,320	0,138	3,236	0,912
Series B4.70	2,867	0,339	0,142	3,327	0,893

	Fa/F	F	Fa	Fp	η_p
Series B4.40	0,40	7,302	2,921	2,687	56.944
Series B4.55	0,55	6,887	3,788	3,455	53.667
Series B4.70	0,70	6,452	4,517	4,033	53.35

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

- Type propeller : B4.40
- Diameter propeller : 3,05 m
- Pitch ratio propeller (Ho/D) : 0,641
- Jumlah daun propeller (Z) : 4 buah
- Blade area ratio (Fa/F) : 0,40
- Efisiensi propeller (η_p) : 56,944 %

13. Spesifikasi Perhitungan Blade Elemen

a. Panjang Blade Elemen Dari Center Line ke Trailing Edge

Panjang blade elemen pada $0,6 R = 0,2187 \times D = 0,2187 \times 3,05 = 667,035 \text{ mm}$

Tabel – 3.

r/R (1)	% 0,6 R (2)	L1 = L 0,6R x (2) mm (3)
0,2	29,180	194,641
0,3	33,320	222,256

0,4	37,300	248,804
0,5	40,780	272,017
0,6	43,920	292,962
0,7	46,680	311,372
0,8	48,350	322,511
0,9	47,000	313,506

b. Panjang Blade Elemen Dari Center Line ke Leading Edge

Panjang blade elemen pada 0,6 R = $0,2187 \times D = 0,2187 \times 3,05 = 667,035$ mm

Tabel – 4.

r/R (1)	% 0,6 R (2)	L2 = L 0,6R x (2) mm (3)
0,2	46,900	312,839
0,3	52,640	351,127
0,4	56,320	375,674
0,5	57,600	384,212
0,6	56,080	374,073
0,7	51,400	342,856
0,8	41,650	277,820
0,9	25,350	169,093

c. Panjang Total Blade Elemen

Panjang blade elemen pada 0,6 R = $0,2187 \times D = 0,2187 \times 3,05 = 667,035$ mm

Tabel - 5

r/R (1)	% 0,6 R (2)	$L_{12} = L \cdot 0,6R \times (2)$ mm (3)
0,2	76,080	507,480
0,3	85,960	573,383
0,4	93,620	624,478
0,5	98,380	656,229
0,6	100,000	667,035
0,7	98,080	654,228
0,8	90,000	600,332
0,9	72,350	482,600

e. Jarak Ordinate Maksimum dari Leading Edge

Tabel - 6

r/R (1)	% L (2)	$\%L \times L_t$ mm (3)
0,2	35,000	177,618
0,3	35,000	200,684
0,4	35,000	218,567
0,5	35,500	232,961
0,6	38,900	259,477
0,7	44,300	289,823
0,8	47,900	287,559
0,9	50,000	241,300

f. Ketebalan Blade Maksimum Pada Ordinate

Tabel – 7.

r/R (1)	% D (2)	D x (2) mm (3)
0,2	3,660	111,63
0,3	3,240	98,82
0,4	2,820	86,01
0,5	2,400	73,2
0,6	1,980	60,39
0,7	1,560	47,58
0,8	1,140	34,77
0,9	0,720	21,96

g. Radius Of The Nose

Tabel – 8.

r/R (1)	% D (2)	D x (2) mm (3)
0,2	0,115	3,508
0,3	0,105	3,203
0,4	0,095	2,898
0,5	0,085	2,593
0,6	0,070	2,135
0,7	0,055	1,678
0,8	0,040	1,220
0,9	0,040	1,220

g. Jarak Ordinat Belakang & Muka Dari Ordinat Maksimum

1. Ordinat belakang

Tabel . 9. Trailing Edge

r / R	80 %	mm	60 %	mm	40 %	mm	20 %	mm
0,2	53,35	59,555	72,65	81,099	86,90	97,006	96,45	107,667
0,3	50,95	50,950	71,60	70,755	86,80	85,776	96,80	95,658
0,4	47,70	41,027	70,25	60,422	86,55	74,442	97,00	83,430
0,5	43,40	31,769	68,40	50,069	86,10	63,025	96,95	70,967
0,6	40,20	24,277	67,15	40,552	85,40	51,573	96,80	58,458
0,7	39,40	18,747	66,90	31,831	84,90	40,395	96,65	45,986
0,8	40,95	14,238	67,80	23,574	85,30	29,659	96,70	33,623
0,9	45,15	9,915	70,00	15,375	87,00	19,105	97,00	21,301

Tabel. 10. Leading Edge

r/R	20 %	mm	40 %	mm	60 %	mm	80 %	mm	90 %	mm	95 %	mm
0,2	98,60	110,067	94,50	105,490	87,00	97,118	74,40	83,053	64,35	71,834	56,95	63,573
0,3	98,40	97,239	94,00	92,891	85,80	84,788	72,50	71,645	62,65	61,991	54,90	54,252
0,4	98,20	84,462	93,25	80,204	84,30	72,506	70,40	60,551	60,15	51,735	52,20	44,897
0,5	98,10	71,809	92,40	67,637	82,30	60,244	67,70	49,556	56,80	41,578	48,60	35,575
0,6	98,10	59,243	91,25	55,106	79,35	47,919	63,60	38,408	52,50	31,705	43,35	26,179
0,7	97,60	46,438	88,80	42,251	74,90	35,637	57,00	27,121	44,20	21,030	35,00	16,653
0,8	97,00	33,727	85,30	29,659	68,70	23,887	48,25	16,777	34,55	12,013	25,45	8,849
0,9	97,00	21,301	97,00	19,105	70,00	15,372	45,15	9,915	30,10	6,610	22,00	4,831

2. Ordinat Muka

Tabel. 11. Trailing Edge

r/R	100 %	mm	80 %	mm	60 %	mm	40 %	mm	20 %	mm
0,2	30,00	33,489	18,20	20,317	10,90	12,168	5,45	6,084	1,55	1,73
0,3	25,35	25,051	12,20	12,056	5,80	5,732	1,70	1,680	-	-
0,4	17,85	15,353	6,20	5,333	1,50	2,290	-	-	-	-
0,5	9,70	7,100	1,75	1,281	-	-	-	-	-	-
0,6	5,10	3,080	-	-	-	-	-	-	-	-
0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel. 12. Leading Edge

r/R	20 %	mm	40	mm	60 %	mm	80 %	mm	90 %	mm	95 %	mm	100 %	mm
0,2	0,45	0,502	2,30	2,567	5,90	6,586	13,45	15,014	20,30	22,661	26,20	29,247	40,00	44,652
0,3	0,05	0,049	1,30	1,285	4,60	4,546	10,85	10,722	16,55	16,355	22,20	21,938	37,55	37,107
0,4	-	-	0,30	0,258	2,65	2,279	7,80	6,709	12,50	10,751	17,90	15,395	34,50	29,673
0,5	-	-	-	-	0,70	0,512	4,30	3,148	8,45	6,185	13,30	9,736	30,40	22,253
0,6	-	-	-	-	-	-	0,80	0,483	4,45	2,687	8,40	5,073	24,50	14,796
0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,19	2,45	1,166	16,05	7,637
0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,40	2,573

2.1.7. Perhitungan Diameter Poros Propeller

Berdasarkan Referensi No. 2, hal. 4-1, diameter minimum poros utama adalah :

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

dimana :

- F : Faktor untuk type instalasi propulsi dan semua type instalasi =100
- K : Faktor untuk type dari shaft 1,22
- P_w : Tenaga mesin induk yang dihubungkan pada sistem 2.725 kW
- n : Shaft speed 242,5 rpm
- C_w : Faktor bahan

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

R_m = nilai kuat tarik dari bahan poros untuk baja KSF 45 = 400 N/mm²

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

$$= 1.$$

- $1 - (d_i/d_a)^4 = 1$

- Maka :

$$d = 100 \times 1,22 \times \sqrt[3]{\frac{2.725}{242,5 \times 1} \times 1}$$

$$= 273,261 \text{ mm}$$

Sedangkan untuk poros antara, rumus yang dipakai sama dengan rumus poros utama, hanya faktor k yang berubah, yaitu k = 1,10

$$d = 100 \times 1,10 \times \sqrt[3]{\frac{2.725}{242,5 \times 1} \times 1}$$

$$= 246,383 \text{ mm}$$