
BAB II
PERENCANAAN PERHITUNGAN MOTOR INDUK
DAN PROPELLER

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	: 0,661
- Vs	: 13 Knot = 6,6872 m/ dtk
- DWT	: 3.500 Ton
- Klasifikasi	: ABS Singapore
- Bendera	: Panama
- Jarak Pelayaran	:
- Daerah Operasi	: Ocean Going

2.1.2. Koefisien-Koefisien Kapal

- *Displacement (Δ)*

$$\begin{aligned}\Delta &= Lpp \times B \times T \times Cb \times \gamma \\ &= 84 \times 15 \times 5 \times 0,661 \times 1,025 \\ &= 4.268,408 \text{ ton.}\end{aligned}$$

- *Midship Area Coefficient (C_m) (Rumus Van Lammeren)*

$$\begin{aligned}C_m &= 0,9 + (0,1 \times \sqrt{Cb}) \\ &= 0,9 + (0,1 \times \sqrt{0,661}) \\ &= 0,981\end{aligned}$$

- **Luas Midship (Am)**

$$\begin{aligned} A_m &= B \times T \times C_m \\ &= 15 \times 5 \times 0,981 \\ &= 73,575 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- **Coefficient of Waterline (Cw) (Rumus Hokker)**

$$\begin{aligned} C_w &= (0,7 \times C_b) + 0,30 \\ &= (0,7 \times 0,661) + 0,30 \\ &= 0,763 \end{aligned}$$

- **Area Water Line (Awl)**

$$\begin{aligned} A_{wl} &= L_{wl} \times B \times C_w \\ &= 85,68 \times 15 \times 0,763 \\ &= 980,608 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- **Coefficient Prismatic (Cp)**

$$\begin{aligned} C_p &= C_b / C_m \\ &= 0,661 / 0,981 \\ &= 0,674 \end{aligned}$$

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

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

Dimana :

$$\begin{aligned} C_b L_{pp} &= C_b \times L_{oa} / L_{wl} \\ &= 0,661 \times (90 / 85,68) \\ &= 0,694 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 1,025 \times 84 ((0,694 \times 15) + (1,7 \times 5)) \\ &= 1.628,151 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Luas Bidang Permukaan Basah sepanjang Lwl (S₁) :

$$\begin{aligned} S_1 &= 1,025 \times 85,68 ((0,694 \times 15) + (1,7 \times 5)) \\ &= 1.660,714 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga Ratio S/ S₁ :

$$\begin{aligned} &= 1.628,151 / 1.660,714 \\ &= 0,98 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- ***L displ***

$$\begin{aligned}L \text{ displ} &= \frac{Lwl + Lpp}{2} \\ &= \frac{85,68 + 84}{2} \\ &= 84,84 \text{ m}\end{aligned}$$

- ***Volume displacement (V displ)***

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

Dimana:

$$\begin{aligned}d &= dwl \\ dwl &= \frac{Lpp}{Lwl} \times Cb \\ &= \frac{84}{85,68} \times 0,661 \\ &= 0,648\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V \text{ displ} &= 84 \times 15 \times 5 \times 0,648 \\ &= 4.082,4 \text{ m}^3\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}Q \text{ displ} &= \frac{Lpp}{L \text{ displ}} \times Cp \\ &= \frac{84}{84,84} \times 0,674 \\ &= 0,667\end{aligned}$$

- ***Perbandingan lebar dan sarat kapal***

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

- ***Ratio antara Am dan S₁***

$$\begin{aligned}Am / S_1 &= 73,575 / 1.660,714 \\ &= 0,044 \text{ m}^2\end{aligned}$$

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 terbentuk 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 timbullah 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. 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 Ref. No.1, hal.119, dengan menggunakan rumus :

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

Dalam hal ini koefisien tahanan totalnya adalah :

$$CT = CR + CF + CA$$

Dimana :

CR = Koefisien tahanan sisa untuk bentuk standar.

CF = Koefisien tahanan gesek, didapat dari kurva ITTC-57.

CA = Koefisien tahanan tambahan.

Jadi perhitungan tahanan kapal untuk kecepatan 13 knot adalah sebagai berikut :

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

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

dimana :

V_s = Kecepatan kapal (m / dtk)

$$= 13 \text{ knot} \times 0,5144$$

$$= 6,6872 \text{ m / dtk}$$

g = gravitasi 9,81 m/dtk²

L = panjang kapal (L_{pp}) = 84 m

$$F_n = \frac{6,6872}{\sqrt{9,81 \times 84}}$$

$$= 0,233$$

b) $V_s = 13 \text{ knot}$

c) $V_s = 6,6872 \text{ m / dtk}$

d) $V_s^2 = (6,6872)^2 = 44,719 (\text{ m / dtk })^2$

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

Dimana :

ρ = massa jenis (kg. s / m³)

S = luas bidang permukaan basah (m²)

V^2 = kecepatan (m / dtk)²

$$\frac{1}{2} \times \rho \times S \times V^2 = 0,5 \times 104,49 \times 1.628,151 \times 44,719$$

$$= 3.803.921,073 \text{ kg}$$

f) *Residuary Coefficient* (10^3 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 (F_n).

Diketahui :

L_{pp} = 84 m

V_{displ} = 4.082,4 m³

$$\begin{aligned} L / V^{1/3} &= 84 / (4.082,4)^{1/3} \\ &= 5,256 \end{aligned}$$

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

$L / V^{1/3} = 5$	$F_n = 0,233$	$10^3 CR = 1,367$
$L / V^{1/3} = 5,5$	$F_n = 0,233$	$10^3 CR = 0,98$
$L / V^{1/3} = 5,256$	$F_n = 0,233$	$10^3 CR = ?$

$$\begin{aligned} 10^3 CR &= 1,367 + \left(\frac{5,256 - 5}{5,5 - 5} \right) X (0,98 - 1,367) \\ &= 1,367 + 0,512 X (-0,387) \\ CR &= 1,169 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

g) Koreksi B / T

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

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

$$B/T = 15 / 5$$

$$= 3$$

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

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

$$= 0,08$$

h) Koreksi LCB

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

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

dimana :

$$LCB \text{ standar} = 0,857 \% L \cdot \text{ (didapat dari gambar 5.5.15)}$$

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

$$LCB = \frac{0,857\% \times 84}{100}$$

$$= 0,72 \% L$$

$$\begin{aligned}\Delta \text{LCB} &= 0,72 \% - (0,857 \%) \\ &= -0,137 \%\end{aligned}$$

Koreksi LCB :

$$\begin{aligned}&= \frac{\delta \times 10^3 \text{CR}}{\delta \text{LCB}} \times \Delta \text{LCB} \\ &= 0,143 \times (-0,00137) \\ &= -0,1959 \times 10^{-3}\end{aligned}$$

i) Koreksi Garis Penampang Bentuk Depan dan Belakang

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

j) Koreksi Bentuk Haluan

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

k) Koreksi Anggota Badan Kapal

Berdasarkan Ref. No.1,hal.132:

- Boss & Poros baling-baling = $(5\% + 8\%) \times \text{CR}$
= $13\% \times 1,169 \times 10^{-3}$
= $0,152 \cdot 10^{-3}$
- Lunas Bilga = 0% (tidak ada koreksi)
- Daun Kemudi = 0% (tidak ada koreksi)

l) Resultan 10^3CR

$$\begin{aligned}\text{Resultan } 10^3 \text{CR} &= f + g + h + i + j + k \\ &= 1,169 + 0,08 + (-0,1959) + 0,2 + (-0,2) + 0,152 \\ &= 1,2051 \times 10^{-3}\end{aligned}$$

m) Koefisien Tahanan Gesek (CF)

Berdasarkan Ref. No.1, hal.132, harga koefisien tahanan gesek diperoleh dari grafik ITTC-57, yang merupakan fungsi dari panjang (L) dan kecepatan (V). Untuk kecepatan $V = 13 \text{ knot}$ dirubah dalam satuan m/dtk. Jadi $V = 13 \times 0,5144 = 6,6872 \text{ m/ dtk}$ (berada diantara kecepatan 6 m/dtk dan 8 m/dtk). Nilai 10^3CF didapat dengan menggunakan rumus interpolasi, sbb:

$$L = 84 \text{ m} \quad V = 6 \text{ m/dtk} \quad 10^3 \text{CF} = 1,7125$$

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

$$L = 84 \text{ m} \quad V = 6,6872 \text{ m/dtk} \quad 10^3 \text{CF} =$$

$$10^3 \text{CF} = 1,7125 + \left(\frac{6,6872 - 6}{8 - 6} \right) \times (1,65 - 1,7125) \\ = 1,691$$

n) Koreksi CF

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

$$10^3 \text{CF} = S_1 / S \times 10^3 \text{CF} \\ = (1.660,714 / 1.628,151) \times 1,691 \\ \text{CF} = 1,725 \times 10^{-3}$$

o) Tahanan Tambahan (10^3CA)

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

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

p) Tahanan Udara (10^3CAA)

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

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

q) Tahanan Kemudi (10^3CAS)

Berdasarkan Ref. No.1, hal.132, harga 10^3CAS adalah :

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

r) Koefisien Tahanan Total (10^3CT)

$$10^3 \text{CT} = \text{CR} + \text{CF} + \text{CA} + \text{CAA} + \text{CAS} \\ = 1,2051 + 1,725 + 0,4 + 0,07 + 0,04 \\ = 3,4401$$

s) RT (Hambatan Total)

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

$$\begin{aligned}
 R_T &= CT \left(\frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot V^2 \right) \\
 &= 3,4401 \cdot 10^{-3} \times 3.803.921,073 \text{ kg} \\
 &= 13.085,869 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned}
 \text{EHP} &= \frac{V_s \times R_T}{75} \\
 &= \frac{6,6872 \times 13.085,869}{75} \\
 &= 1.166,771 \text{ HP} = 858,16 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 w &= (0,5 \times C_b) - 0,05 \\
 &= (0,5 \times 0,661) - 0,05 \\
 &= 0,2805
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 V_a &= (1 - w) \times V_s \\
 &= (1 - 0,2805) \times 13 \\
 &= 9,3535 \text{ knot}
 \end{aligned}$$

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

$$t = k \times w$$

dimana :

$$\begin{aligned}
 k &= 0,7 - 0,9 \text{ diambil } k = 0,7 \\
 t &= 0,7 \times 0,2805 \\
 &= 0,196
 \end{aligned}$$

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

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

$$= \frac{1-0,196}{1-0,2805}$$

$$= 1,117$$

5. Propulsive Coefficient (PC)

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

Dimana :

η_p = efisiensi propeller, ditentukan harga 0,6 (ref.no.1,hal 144)

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

$$PC = 1,117 \times 1,02 \times 0,6$$

$$= 0,684$$

6. Brake Horse Power (BHP)

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

$$= \frac{1.166,771}{0,684}$$

$$= 1.705,8 \text{ HP} = 1.254,616 \text{ kW}$$

7. Penentuan NCR (Normal Continous Rating)

Untuk mendapatkan besarnya daya mesin, digunakan pendekatan :

Untuk kondisi rata-rata pelayaran dinas harus diberikan kelonggaran tambahan pada tahanan dan daya efektif yang disebabkan oleh angin, erosi dan fouling pada lambung kapal. Tambahan kelonggaran ini sangat tergantung pada jalur pelayaran. Kelonggaran rata-rata untuk pelayaran dinas disebut *sea margin*. 15- 30% untuk jalur pelayaran Pasifik, 12- 18% untuk jalur pelayaran Atlantik Selatan dan Australia, 15-20% jalur pelayaran Asia Timur (ref. No.1, hal. 133). Untuk jalur pelayaran Ocean going diambil 15 % penambahan sea margin.

$$NCR = \{(15\%) \times BHP\} + BHP$$

$$= (0,15 \times 1.705,8) + 1.705,80$$

$$= 1.961,67 \text{ HP} \times 0,7355$$

$$= 1.442,808 \text{ kW.}$$

8. Penentuan MCR (maximum Continous Rating)

$$\begin{aligned} \text{MCR} &= \text{NCR} / 0,9 \\ &= 1961,67 / 0,9 \\ &= \mathbf{2.179,633 \text{ HP}} \\ &= \mathbf{1.603,12 \text{ kW}} \end{aligned}$$

TABEL 1. PERHITUNGAN HAMBATAN KAPAL

No	RUMUS	SUMBER RUMUS	SATUAN	KECEPATAN (KNOT)				
				11	12	13	14	15
1	$F_n = \frac{V^3}{\sqrt{g \times L}}$			0,197	0,215	0,233	0,2509	0,2688
2	V		Knot	11	12	13	14	15
3	V		m/ dtk	5,6584	6,1728	6,6872	7,2016	7,716
4	V ²		(m/ dtk) ²	32,0175	38,1034	44,719	51,863	59,5366
5	$\frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot V^2$		Kg	2.859.600,219	3.323.452,10	3.803.921,073	4.303.128,51	5.545.467,367
6	$10^3 C_R (L / V^{1/3})$	Gbr. 5.5.6 & 5.5.7		1,022	1,071	1,169	1,365	1,64
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		-0,0781	-0,002	-0,1959	-0,211	-0,994
9	Koreksi Garis Penamp. Bentuk Depan & Belakang	Gbr. 5.5..20		0	0	0,2	0,2	0,2
10	Koreksi Bentuk Haluar	Gbr. 5.5.21		-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3
11	Koreksi Anggota Badan	Gbr. 5.5.22		0,133	0,139	0,152	0,177	0,213
12	Resultan $10^3 C_R$	6+7+8+9+10+11		1,1569	1,288	1,2051	1,411	1,939
13	$10^3 C_F$ (Grafik ITTC-57)	Gbr. 5.5.14		1,73	1,707	1,691	1,675	1,659
14	$10^3 C_F$	$S_1/S \times (13)$		1,765	1,741	1,725	1,709	1,692
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	$10^3 C_T = C_R + C_{Ff} + C_A + C_{AA} + C_{AS}$	12+14+15+16+17		3,432	3,539	3,4401	3,63	3,141
19	$R_T = C_T \times (5)$		Kg	9.814,148	11.446,43	13.085,869	15.620,356	17.418,313
20	$EHP = \frac{V \times R_T}{75}$		HP	740,432	968,035	1.166,771	1.499,887	1.791,966

TABEL. 1. PERHITUNGAN HAMBATAN KAPAL

No	RUMUS	SUMBER RUMUS	SATUAN	KECEPATAN (KNOT)				
				11	12	13	14	15
21	PC			0,695	0,689	0,684	0,678	0,67
22	BHP = EHP / PC		HP	1.065,37	1.404,985	1.705,8	2.212,22	2.674,576
24	Sea margin = 15%			159,806	210,748	255,87	331,833	346,525
25	NCR		HP	1.225,176	1.615,733	1961,67	2.544,053	3.075,76
26	NCR		KW	901,117	1.188,371	1.442,808	1.871,151	2.262,22
27	MCR		HP	1.361,31	1.795,259	2.179,633	2.826,726	3.417,51
28	MCR		KW	1.001,241	1.320,413	1.603,12	2.079,06	2.513,58

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 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 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.
- ◆ Volume ruang kamar mesin yang tersedia (panjang x lebar x tinggi).
- ◆ Putaran motor dengan putaran propeller yang telah disediakan.
- ◆ Sistem pipa-pipa yang dikondisikan untuk kamar mesin.
- ◆ Ruangan 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 : **2.180 HP / 1.600 kW.**
- ⊕ Putaran Mesin : **250 rpm.**

⊗ Stroke x Bore	: 980 x 260 mm.
⊗ Cycle	: 2 Langkah.
⊗ Jumlah Silinder	: 4.
⊗ Berat	: 28,5 Ton.
⊗ Dimensi	: 3.147 mm (L); 1.880 mm (W); 4.500 mm (H)
⊗ Jumlah	: 1 (satu) unit.
⊗ SFOC	: 132 g/ BHP.h (179 g/ kW.h)
⊗ SLOC	: 1,5 kg/ cyl.24.h

2.1.6. Perencanaan Propeller Kapal

Perencanaan penentuan dimensi propeller akan sangat menentukan terhadap hasil kerja yang direncanakan. Adapun perencanaan propeller tersebut berdasarkan metode Aa. Harvald (Ref, No. 1, hal.155) adalah :

1. Faktor Arus Ikut (ψ) (Taylor)

$$\begin{aligned}\psi &= (0,5 \times c_b) - 0,05 \\ &= (0,5 \times 0,661) - 0,05 \\ &= 0,2805\end{aligned}$$

2. Faktor Pengisapan (ν) (Schoenher)

$$\begin{aligned}\nu &= k \times \psi \\ \text{Dimana : } k &= 0,7 - 0,9 \quad (\text{diambil } k = 0,7) \\ \nu &= 0,7 \times 0,2805 \\ &= 0,196\end{aligned}$$

3. Besarnya Hambatan

Menurut Newman, untuk mempertahankan kecepatan sebesar 13 knot, perlu adanya cadangan hambatan sebesar 20% dari hambatan hasil perhitungan, maka :

$$\begin{aligned}R_T &= (20\% \times R_T) + R_T \\ &= (0,2 \times 13.085,869) + 13.085,869 \\ &= 15.703,043 \text{ kg.}\end{aligned}$$

4. Tenaga yang diberikan propeller (P)

⊗ Letak kamar mesin (ref. No.1, hal.257)

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%.

$$\begin{aligned} P &= \text{BHP} - \text{Harga Koreksi} \\ &= 2.014,029 \text{ HP} - (3\% + 0,987\% + 0,976\%) \\ &= 2.014,029 - (4,963\% \times 2.014,029) \\ &= 1.914,073 \text{ HP}. \end{aligned}$$

5. Penentuan Angka Sorong (S)

$$\begin{aligned} S &= \frac{R_T}{(1-\nu)} \\ &= \frac{13.085,869}{1-0,196} \\ &= 16.275,956 \text{ kg} \end{aligned}$$

6. Kecepatan Air Masuk ke Propeller (v_e) (Ref, No. 1, hal. 148)

$$\begin{aligned} v_e &= (1 - \psi) \times V_s \\ &= (1 - 0,2805) \times 6,6872 \\ &= 4,811 \text{ m/ s}. \end{aligned}$$

7. Advance Speed of Propeller (V_a) (Ref, No. 1, hal. 148)

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

Dimana :

V_s = kecepatan kapal (knot) = 13 knot

$$\begin{aligned} V_a &= (1 - 0,2805) \times 13 \\ &= 9,3535 \text{ knot}. \end{aligned}$$

8. RPM Baling-Baling

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 (ref. No.1, hal. 257)

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

9. 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 2,938 m.
- ⊗ ρ = masa jenis air laut 104,49 kg. s/ m³.
- ⊗ S = gaya dorong propeller 16.275,956 kg.
- ⊗ v_e = kecepatan air masuk ke propeller 4,811 m/ s.

$$K'd = 2,938 \times 4,811 \times \sqrt{\frac{104,49}{16.275,956}} \\ = 1,133$$

$K'd = 1,133$ ($K'd < 2$; disarankan memilih jumlah propeller berdaun 4).

10. Diameter Optimum, Pitch Ratio dan Propeller Efficiency

a. Koefisien propeller (ref. No.1,hal. 145 atau diagram BP- series)

$$B_p = \frac{NX(P)^{0,5}}{(Va)^{2,5}}$$

Dimana :

- ⊗ N = putaran propeller (N Koreksi) 242,5 rpm
- ⊗ Va = advanced of speed 9,3535 knot
- ⊗ P = tenaga tempat propeller melekat 1.914,073 HP.

$$B_p = \frac{242,5 \times (1.914,073)^{0,5}}{(9,3535)^{2,5}}$$

$$= 39,651.$$

Dari diagram B_p - δ series, untuk nilai $B_p = 39,651$ dapat diperoleh advanced coefficient (δ) pada beberapa tingkat pembebanan, yaitu :

Untuk series B 4-40 ; $\delta = 255.$

Untuk series B 4-55 ; $\delta = 251.$

Untuk series B 4-70 ; $\delta = 236.$

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

Untuk series B 4-40 ; $\delta_k = 255 - 2\% = 249,9$

Untuk series B 4-55 ; $\delta_k = 251 - 2\% = 245,98$

Untuk series B 4-70 ; $\delta_k = 236 - 2\% = 231,28$

b. Diameter Optimum (D_o)

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

Untuk series B 4-40 ; $D_o = 9,639 \text{ feet} = 2,938 \text{ m}$

Untuk series B 4-55 ; $D_o = 9,488 \text{ feet} = 2,892 \text{ m}$

Untuk series B 4-70 ; $D_o = 8,921 \text{ feet} = 2,719 \text{ m}$

c. Pitch Ratio (H_o/D)

Dari harga δ yang telah dikoreksi, dapat diperoleh harga pitch ratio pada diagram B_p - δ series, sesuai dengan pembebanan :

Untuk series B 4-40 ; $H_o/D = 0,62$

Untuk series B 4-55 ; $H_o/D = 0,655$

Untuk series B 4-70 ; $H_o/D = 0,745$

d. Propeller Efficiency (η_p)

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

Untuk series B 4-40 ; $\eta_p = 55,667$

Untuk series B 4-55 ; $\eta_p = 52,389$

Untuk series B 4-70 ; $\eta_p = 52,15$.

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

11. Kavitas Propeller

Kavitas adalah proses pembentukan fase uap dari suatu cairan ketika cairan tersebut mengalami pengurangan tekanan pada suhu sekeliling yang tetap.

a. Konstanta Kavitas (ref. No.1,hal. 199)

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

Dimana :

- ◆ (P-P_v) = Beda tekanan statik
- ◆ D = Diameter propeller
- ◆ ρ = Kerapatan air laut = 104,49 kg.s/ m³.
- ◆ Va = Advanced of speed = 9,3535 Knot
- ◆ n = Putaran propeller per detik
= 242,5 rpm = 4,042 rps.

60

b. Tekanan Statik Propeller

Tekanan Statik pada sumbu adalah :

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Draft | d = 5 m |
| 2. Tinggi poros propeller | h ₁ = 1,6 m |
| 3. Tinggi gelombang (¾ % Lpp) | h ₂ = 0,63 m |
| Tinggi tekan (d - h ₁ - h ₂) | h = 2,77 m |
| 4. Tekanan air (h x 1,025) | = 2.839,25 kg/m ² |
| 5. Tekanan udara | = 10.100 kg/m ² |
| 6. Tekanan uap | = 200 kg/m ² + |
-

$$7. \text{ Beda Tekanan Statik} = 13.139,25 \text{ kg/m}^2$$

Maka $\delta_{0,7}$ untuk series B4.40 dengan $D_o = 2,938 \text{ m}$ adalah :

$$\delta_{0,7} = \frac{(13.139,25) - ((0,7 \times (2.938/2) \times 1,025))}{1/2 \times 104,49[(9,3535)^2 + (0,7 \times 3,14 \times 2,938 \times 4,042)^2]}$$

$$= 0,327$$

untuk series B4. 40 dengan $D_o = 2,938$ didapat $\delta_{0,7} = 0,327$

untuk series B4. 55 dengan $D_o = 2,892$ didapat $\delta_{0,7} = 0,336$

untuk series B4. 70 dengan $D_o = 2,719$, didapat $\delta_{0,7} = 0,375$

c. Koefisien Gaya Dorong

Harga koefisien gaya dorong diperoleh dari diagram ' Burril ' untuk

series B4.40 dengan $D_o = 2,938 \text{ m}$, didapat $\sigma_c = 0,143$

series B4.55 dengan $D_o = 2,892 \text{ m}$, didapat $\sigma_c = 0,145$

series B4.70 dengan $D_o = 2,719 \text{ m}$, didapat $\sigma_c = 0,155$

d. Projected Blade Area sesuai perhitungan kavitasi

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

$$= \frac{16.275,956}{0,143 \times \frac{1}{2} \times 104,49[(9,3535)^2 + (0,7 \times 3,14 \times 2,938 \times 4,042)^2]}$$

$$F_p' = 4,065 \text{ m}^2.$$

untuk series B4.40 dengan $\sigma_c = 0,143$, didapat $F_p' = 2,834 \text{ m}^2$.

untuk series B4.55 dengan $\sigma_c = 0,145$, didapat $F_p' = 2,874 \text{ m}^2$.

untuk series B4.70 dengan $\sigma_c = 0,155$, didapat $F_p' = 2,995 \text{ m}^2$.

e. Deveioved Blade Area sesuai perhitungan kavitasi (ref. No.1,hal 311)

$$\diamond F_p / F_a = 1,067 - 0,229 H_o / D$$

Dengan $H_o / D = 0,62$ (untuk series B4.40)

$$F_p / F_a = 1,067 - (0,229 \times 0,62)$$

$$= 0,925$$

◆ Developed Blade Area Ratio

$$F_a / F = \frac{\text{Expanded area of the blades}}{\text{Disc area of the screw}} = 0,40$$

Disc area of the screw

- ◆ Disc area of the screw

$$\begin{aligned} F &= \pi / 4 \times D^2 \\ &= 3,14 / 4 \times (2,938)^2 \\ &= 6,776 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

- ◆ Developed Blade Area

$$\begin{aligned} F_a &= 0,40 \times F \\ &= 0,40 \times 6,776 \\ &= 3,321 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

- ◆ Projected Blade Area

$$\begin{aligned} F_p &= F_a \times (F_p / F_a) \\ &= 2,71 \times 0,925 \\ &= 2,507 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

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

Dengan $\text{Ho} / D = 0,655$ (untuk series B4.55)

$$\begin{aligned} F_p / F_a &= 1,067 - (0,229 \times 0,655) \\ &= 0,917 \end{aligned}$$

- ◆ Developed Blade Area Ratio

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

Disc area of the screw

- ◆ Disc area of the screw

$$\begin{aligned} F &= \pi / 4 \times D^2 \\ &= 3,14 / 4 \times (2,892)^2 \\ &= 6,565 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

- ◆ Developed Blade Area

$$\begin{aligned} F_a &= 0,55 \times F \\ &= 0,55 \times 6,565 \\ &= 3,611 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

- ◆ Projected Blade Area

$$F_p = F_a \times (F_p / F_a)$$

$$= 3,611 \times 0,917$$

$$= 3,311 \text{ m}^2.$$

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

Dengan $\text{Ho} / D = 0,745$ (untuk series B4.70)

$$F_p / F_a = 1,067 - (0,229 \times 0,745)$$

$$= 0,896$$

◆ 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

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

$$= 3,14 / 4 \times (2,719)^2$$

$$= 5,803 \text{ m}^2.$$

◆ Developed Blade Area

$$F_a = 0,70 \times F$$

$$= 0,70 \times 5,803$$

$$= 4,062 \text{ m}^2.$$

◆ Projected Blade Area

$$F_p = F_a \times (F_p / F_a)$$

$$= 4,062 \times 0,896$$

$$= 3,64 \text{ m}^2.$$

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

	Do	$\rho_{0,7}$	σ_c	F_p'	F_p/F_a
Series B4.40	2,938	0,327	0,143	2,834	0,925
Series B4.55	2,892	0,336	0,145	2,874	0,917
Series B4.70	2,719	0,375	0,155	2,995	0,896

	Fa/F	F	Fa	Fp
Series B4.40	0,40	6,776	2,710	2,507
Series B4.55	0,55	6,565	3,611	3,311
Series B4.70	0,70	5,803	4,062	3,640

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

- Type propeller : B4.40
- Diameter propeller : 2,938 m
- Pitch ratio propeller (H_0/D) : 0,62
- Jumlah daun propeller (Z) : 4 buah
- Blade area ratio (F_a/F) : 0,40
- Efisiensi propeller (π_p) : 55,667 %

12. Spesifikasi Perhitungan Blade Elemen

a. Panjang Blade Elemen Dari Center Line ke Trailing Edge

Panjang blade elemen pada $0,6 R = 0,2187 \times D = 0,2187 \times 2,938 = 642,541$ mm

Tabel – 3.

r/R (1)	% 0,6 R (2)	$L1 = L 0,6R \times (2)$ mm (3)
0,2	29,180	187,493
0,3	33,320	214,095
0,4	37,300	239,668
0,5	40,780	262,028
0,6	43,920	282,204
0,7	46,680	299,938
0,8	48,350	310,669
0,9	47,000	301,994

b. Panjang Blade Elemen Dari Center Line ke Leading Edge

Panjang blade elemen pada $0,6 R = 0,2187 \times D = 0,2187 \times 2,938 = 642,541$ mm

Tabel – 4.

r/R (1)	% 0,6 R (2)	$L2 = L 0,6R \times (2)$ mm (3)
0,2	46,900	301,352
0,3	52,640	338,234
0,4	56,320	361,879
0,5	57,600	370,337
0,6	56,080	360,337
0,7	51,400	330,266
0,8	41,650	267,618
0,9	25,350	162,884

c. Panjang Total Blade Elemen

Panjang blade elemen pada 0,6 R = $0,2187 \times D = 0,2187 \times 2,938 = 642,541$ mm

Tabel – 5

r/R (1)	% 0,6 R (2)	L12 = L 0,6R x (2) mm (3)
0,2	76,080	488,845
0,3	85,960	552,328
0,4	93,620	601,547
0,5	98,380	632,132
0,6	100,000	642,541
0,7	98,080	630,204
0,8	90,000	578,287
0,9	72,350	464,878

d. Jarak Ordinate Maksimum dari Leading Edge

Tabel – 5

r/R (1)	% L (2)	%L x Lt mm (3)
0,2	35,000	171,096
0,3	35,000	193,315
0,4	35,000	210,541
0,5	35,500	221,246
0,6	38,900	224,889
0,7	44,300	220,571
0,8	47,900	202,400
0,9	50,000	232,439

c. Ketebalan Blade Maksimum Pada Ordinate

Tabel – 7.

r/R (1)	% D (2)	D x (2) mm (3)
0,2	3,660	107,531
0,3	3,240	95,191
0,4	2,820	82,852
0,5	2,400	70,512
0,6	1,980	58,172
0,7	1,560	45,833
0,8	1,140	33,493
0,9	0,720	21,154

f. Radius Of The Nose

Tabel – 8.

r/R (1)	% D (2)	D x (2) mm (3)
0,2	0,115	3,379
0,3	0,105	3,085
0,4	0,095	2,791
0,5	0,085	2,497
0,6	0,070	2,057
0,7	0,055	1,616
0,8	0,040	1,175
0,9	0,040	1,175

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	57,368	72,65	78,121	86,90	93,444	96,45	103,714
0,3	50,95	48,500	71,60	68,157	86,80	82,626	96,80	92,145
0,4	47,70	39,520	70,25	58,204	86,55	71,708	97,00	80,366
0,5	43,40	30,602	68,40	48,230	86,10	60,711	96,95	68,361
0,6	40,20	23,385	67,15	39,062	85,40	49,679	96,80	56,310
0,7	39,40	18,058	66,90	30,662	84,90	38,912	96,65	44,298
0,8	40,95	13,715	67,80	22,708	85,30	28,570	96,70	32,388
0,9	45,15	9,551	70,00	14,808	87,00	18,404	97,00	20,519

Tabel. 10. Leading Edge

r/R	20%	mm	40%	mm	60%	mm	80%	mm	90%	mm	95%	mm
0,2	98,60	106,026	94,50	101,617	87,00	93,552	74,40	80,003	64,35	69,196	56,95	61,239
0,3	98,40	93,668	94,00	89,480	85,80	81,674	72,50	69,013	62,65	59,637	54,90	52,260
0,4	98,20	81,361	93,25	77,260	84,30	69,844	70,40	58,328	60,15	49,835	52,20	43,249
0,5	98,10	69,172	92,40	65,153	82,30	58,031	67,70	47,737	56,80	40,051	48,60	34,269
0,6	98,10	57,067	91,25	53,082	79,35	46,159	63,60	36,997	52,50	30,540	43,35	25,218
0,7	97,60	44,733	88,80	40,700	74,90	34,329	57,00	26,125	44,20	20,258	35,00	16,042
0,8	97,00	32,488	85,30	28,570	68,70	23,010	48,25	16,160	34,55	11,572	25,45	8,524
0,9	97,00	20,519	97,00	18,404	70,00	14,808	45,15	9,551	30,10	6,367	22,00	4,654

2. Ordinat Muka

Tabel . 11. Trailing Edge

r/R	100%	mm	80%	mm	60%	mm	40%	mm	20%	mm
0,2	30,00	32,259	18,20	18,200	10,90	10,900	5,45	5,860	1,55	1,667
0,3	25,35	24,131	12,20	12,200	5,80	5,800	1,70	1,618	-	-
0,4	17,85	14,789	6,20	6,200	1,50	1,500	-	-	-	-
0,5	9,70	6,840	1,75	1,750	-	-	-	-	-	-
0,6	5,10	2,967	-	-	-	-	-	-	-	-
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	0,484	2,30	2,473	5,90	6,344	13,45	14,463	20,30	21,829	26,20	28,173	40,00	43,012
0,3	0,05	0,048	1,30	1,237	4,60	4,379	10,85	10,328	16,55	15,754	22,20	21,132	37,55	35,744
0,4	-	-	0,30	0,249	2,65	2,196	7,80	6,462	12,50	10,357	17,90	14,831	34,50	28,584
0,5	-	-	-	-	0,70	0,494	4,30	3,032	8,45	5,958	13,30	9,378	30,40	21,436
0,6	-	-	-	-	-	-	0,80	0,465	4,45	2,589	8,40	4,886	24,50	14,252
0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,183	2,45	1,123	16,05	7,356
0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,40	2,478

2.1.7. Perhitungan Diameter Poros Propeller

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

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

dimana :

- ◆ F = Faktor untuk type instalasi propulsi dan semua type instalasi = 100
- ◆ K = Faktor untuk type dari shaft 1,22
- ◆ Pw = Tenaga mesin induk yang dihubungkan pada sistem 2.468,863 kW
- ◆ n = Shaft speed 242,5 rpm
- ◆ Cw = Faktor bahan

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

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

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

$$= 1$$

- ◆ $1 - (d_i/d_o)^4 = 1$

◆ Maka :

$$d = 100 \cdot 1,22 \cdot \sqrt[3]{\frac{2.468,863}{242,5 \times 1} \times 1}$$

$$= 264,416 \text{ mm}$$

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

$$d = 100 \times 1,10 \cdot \sqrt[3]{\frac{2.468,863}{242,5 \times 1} \times 1}$$

$$= 238,408 \text{ mm.}$$