

BAB II

PERENCANAAN PERHITUNGAN MOTOR INDUK DAN MOTOR BANTU

2.1. Motor Induk/ Penggerak Kapal

2.1.1. Data Kapal

- Lca	: 66	m
- Lwl	: 63,648	m
- Lpp	: 62,4	m
- B	: 13,8	m
- H	: 5,5	m
- T	: 4	m
- Cb	: 0,529	
- Vs	: 15	Knot
- DWT	: 1.500	Ton
- Klasifikasi	: BKI/ LR	
- Bendera	: PANAMA	
- Jarak Pelayaran	: 8.589	mil
- Daerah Operasi	: OCEAN GOING	

2.1.2. Koefisien-Koefisien Kapal

- Displacement (Δ)

$$\Delta = L_{pp} \times B \times T \times C_b \times \gamma$$

$$= 62,4 \times 13,8 \times 4 \times 0,529 \times 1,025$$

$$= 1.867,683 \text{ ton.}$$
- Midship Area Coefficient (C_m)

$$C_m = 0,9 + 0,1 \times \sqrt{C_b}$$

$$= 0,9 + 0,1 \times \sqrt{0,529}$$

$$= 0,973$$

- **Luas Midship (A_m)**

$$A_m = B \times T \times C_m$$

$$= 13,8 \times 4 \times 0,973$$

$$= 53,71 \text{ m}^2$$

- **Coefficient of Waterline (C_w)**

$$C_w = (0,70 \times C_b) + 0,30$$

$$= (0,70 \times 0,529) + 0,30$$

$$= 0,67$$

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

$$A_{wl} = L_{wl} \times B \times C_w$$

$$= 63,648 \times 13,8 \times 0,67$$

$$= 588,753 \text{ m}^2$$

- **Coefficient Prismatic (C_p)**

$$C_p = C_b / C_m$$

$$= 0,529 / 0,973$$

$$= 0,544$$

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

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

(Berdasarkan Referensi N0.1, hal.133)

Dimana :

$$C_b L_{pp} = C_b \times L_{oa} / L_{wl}$$

$$= 0,529 \times (66 / 63,648)$$

$$= 0,549$$

$$S = 1,025 \times 62,4 (0,549 \times 13,8 + 1,7 \times 4)$$

$$= 919,502 \text{ m}^2$$

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

$$\begin{aligned} S_1 &= 1,025 \times 63,648 (0,549 \times 13,8 + 1,7 \times 4) \\ &= 937,892 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga Ratio S/S_1 :

$$\begin{aligned} &= 919,502 / 937,892 \\ &= 0,98 \end{aligned}$$

- **L displ**

$$\begin{aligned} L \text{ displ} &= \frac{L_{wl} + L_{pp}}{2} \\ &= \frac{63,648 + 62,4}{2} \\ &= 63,024 \text{ m} \end{aligned}$$

- **Volume displacement (V displ)**

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

Dimana:

$$d = d_{wl}$$

$$\begin{aligned} d_{wl} &= \frac{L_{pp}}{L_{wl}} \times C_b \\ &= \frac{62,4}{63,648} \times 0,529 \\ &= 0,519 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V \text{ displ} &= 62,4 \times 13,8 \times 4 \times 0,519 \\ &= 1.786,402 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Q \text{ displ} &= \frac{L_{pp}}{L \text{ displ}} \times C_p \\ &= \frac{62,4}{63,024} \times 0,544 \\ &= 0,539 \end{aligned}$$

- **Perbandingan lebar dan sarat kapal**

$$B/T = 13,8 / 4$$

$$= 3,45$$

- **Ratio antara Am dan S1**

$$Am/S1 = 53,71 / 937,892$$

$$= 0,057$$

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)

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-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,dengan menggunakan rumus :

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

Dalam hal ini koefisien tahanan totalnya adalah :

$$C_T = C_R + C_F + C_A$$

Dimana :

C_R = 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 15 knot adalah sebagai berikut :

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

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

V_s = Kecepatan kapal (m/dtk)

$$= 15 \text{ knot} \times 0,5144$$

$$= 7,716 \text{ m / dtk}$$

g = gravitasi

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

L = panjang kapal (L_{pp}) = 62,4 m

$$F_n = \frac{7,716}{\sqrt{9,81 \times 62,4}}$$

$$= 0,312$$

b) $V_s = 15 \text{ knot}$

c) $V_s = 7,716 \text{ m / dtk}$

d) $V_s^2 = (7,716)^2 = 59,537 \text{ (m / dtk)}^2$

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

Dimana :

$$\rho = \text{massa density (Kg/ m}^3 \text{)} = 104,49 \text{ Kg/ m}^3.$$

$$S = \text{luas permukaan basah (m}^2\text{)} = 919,502 \text{ m}^2$$

$$V^2 = \text{kecepatan (m/dtk)}^2.$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \times \rho \times S \times V^2 &= 0,5 \times 104,49 \times 919,502 \times 59,537 \\ &= 2.860.104,16 \text{ kg} \end{aligned}$$

f) Residuary Coefficient (10^3 CR)

Sesuai Referensi 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 :

$$L_{pp} = 62,4 \text{ m}$$

$$V_{\text{displ}} = 1.786,402 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} L / V^{1/3} &= 62,4 / (1.786,402)^{1/3} \\ &= 5,143 \end{aligned}$$

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

$$L / V^{1/3} = 5 \quad F_n = 0,312 \quad 10^3 \text{CR} = 2,6$$

$$L / V^{1/3} = 5,5 \quad F_n = 0,312 \quad 10^3 \text{CR} = 2,06$$

$$L / V^{1/3} = 5,143 \quad F_n = 0,312 \quad 10^3 \text{CR} =$$

$$10^3 \text{CR} = 2,6 + \frac{(5,143 - 5)}{(5,5 - 5)} \times (2,06 - 2,6)$$

$$= 2,446$$

$$\text{CR} = 2,446 \times 10^{-3}$$

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 :

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

$$\begin{aligned} B/T &= 13,8 / 4 \\ &= 3,45 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} &= 10^{-3} \times \{ 0,16 (B/T - 2,5) \} \\ &= 10^{-3} \times \{ 0,16 (3,45 - 2,5) \} \\ &= 0,152 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

h) Koreksi LCB

Berdasarkan Referensi No.1, hal.119, harga koreksi lain untuk koefisien tahanan sisa adalah :

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

dimana :

$$LCB_{standar} = 0 \text{ (didapat dari gambar 5.5.15)}$$

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

$$LCB = 0 \text{ (tidak ada koreksi)}$$

i) Koreksi Garis Penampang Bentuk Depan dan Belakang

Berdasarkan Referensi No.1, hal, 131, harga koreksi $CR = 0$ (bentuk standar)

j) Koreksi Bentuk Haluan

Berdasarkan Referensi No.1, hal,131, $CR = - 0,4$

k) Koreksi Anggota Badan Kapal

Berdasarkan Referensi No.1,hal.132:

- Boss & Poros baling-baling = $(5\% + 8\%) \times CR$
 $= 13\% \times 2,445 \times 10^{-3}$
 $= 0,318 \cdot 10^{-3}$
- Lunas Bilga = 0% (tidak ada koreksi)
- Daun Kemudi = 0% (tidak ada koreksi)

l) Resultan $10^3 C_R$

$$\begin{aligned} \text{Resultan } 10^3 C_R &= f + g + h + i + j + k \\ &= 2,446 + 0,152 + 0 + 0 + (-0,4) + 0,318 \\ &= 2,516 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

m) Koefisien Tahanan Gesek (C_F)

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 $V = 15$ knot dirubah dalam satuan m/dtk. Jadi $V = 15 \times 0,5144 = 7,716$ m/dtk (berada diantara kecepatan 6 m/dtk dan 8 m/dtk). Nilai $10^3 C_F$ didapat dengan menggunakan rumus interpolasi, sbb:

$L = 62,4$ m	$V = 6$ m/dtk	$10^3 C_F = 1,78$
$L = 62,4$ m	$V = 8$ m/dtk	$10^3 C_F = 1,713$
$L = 62,4$ m	$V = 7,716$ m/dtk	$10^3 C_F =$

$$10^3 C_F = 1,78 + \left(\frac{7,716 - 6}{8 - 6} \right) (1,713 - 1,78)$$

$$= 1,723$$

n) Koreksi C_F

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

$$\begin{aligned} 10^3 C_F &= S1/S \times 10^3 C_F \\ &= \frac{937,892}{919,502} \times 1,723 \\ C_F &= 1,757 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} 10^3 C_A &= 0,4 \\ C_A &= 0,4 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

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

Berdasarkan Referensi No.1, hal.132, harga $10^3 C_{AA}$ adalah :

$$10^3 CAA = 0,07$$

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

q) Tahanan Kemudi ($10^3 CAS$)

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

$$10^3 CAS = 0,04$$

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

r) Koefisien Tahanan Total ($10^3 CT$)

$$10^3 CT = CR + CF + CA + CAA + CAS$$

$$= 2,516 + 1,757 + 0,4 + 0,07 + 0,04$$

$$= 4,783$$

s) RT (Hambatan Total)

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

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

$$= 4,783 \cdot 10^{-3} \times 2.860.104,16 \text{ kg}$$

$$= 13.679,878 \text{ kg.}$$

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

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

$$EHP = \frac{V_s \times RT}{75}$$

$$= \frac{7,716 \times 13.679,878}{75}$$

$$= 1.407,386 \text{ HP}$$

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

$$w = -0,05 + (0,5 \times C_b)$$

$$= -0,05 + (0,5 \times 0,529)$$

$$= 0,215$$

2. Perhitungan Advance Velocity (V_a)

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

$$= (1 - 0,215) \times 15$$

$$= 11,775 \text{ knot}$$

3. Thrust Deduction Factor (t) (Schoenher)

$$t = k \times w$$

dimana $k = 0,7 - 0,9$ diambil $k = 0,9$

$$t = 0,9 \times 0,215$$

$$= 0,194$$

4. Hull Efficiency (η_h)

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

$$= \frac{1-0,194}{1-0,215}$$

$$= 1,027$$

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

$$PC = 1,027 \times 1,05 \times 0,6$$

$$= 0,647$$

6. Brake Horse Power (BHP)

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

$$= \frac{1.407,386}{0,647}$$

$$= 2.175,249 \text{ HP}$$

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.

$$\begin{aligned} \text{BHP total} &= \{(3\% + 3\% + 15\%) \times \text{BHP}\} + \text{BHP} \\ &= (0,21 \times 2.175,249) + 2.175,249 \\ &= 2.632,051 \text{ HP} \times 0,7458 \\ &= 1.962,984 \text{ kW.} \end{aligned}$$



TABEL – 1.PERHITUNGAN HAMBATAN KAPAL

No	RUMUS	SUMBER RUMUS	SATUAN	V(KNOT)						
				13	14	15	16	17		
1	$F_h = \frac{1}{5} \sqrt{gVL}$			0,27	0,291	0,312	0,333	0,353		
2	V		Knot	13	14	15	16	17		
3	V		m/dtk	6,6872	7,2016	7,716	8,2304	8,7448		
4	V^2		(m/dtk) ²	44,719	51,863	59,537	67,739	76,472		
5	$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$		Kg	2.296.747,794	2.576.936,907	2.860.104,16	3.254.139,697	3.673.667,62		
6	$10^3 CR (L / V^{13})$	Gambar 5.5.6 & 5.5.7		1,981	2,294	2,446	2,598	2,75		
7	Koreksi B/T	Gambar 5.5.17		0,152	0,152	0,152	0,152	0,152		
8	Koreksi LCB	Gambar 5.5.15 & 5.5.16		0,00238	0	0	0	0		
9	Koreksi Garis Penampang Depan & Belakang	Gambar 5.5.20		0	0	0	0	0		
10	Koreksi Bentuk Haluan	Gambar 5.5.21		-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4		
11	Koreksi Anggota Badan	Gambar 5.5.22		0,258	0,298	0,318	0,338	0,358		
12	Resultan $10^3 CR$	6+7+8+9+10+11		2,771	2,444	2,516	2,688	2,86		
13	$10^3 CF$ (Grafik ITTC-57)	Gambar 5.5.14		1,757	1,74	1,723	1,706	1,689		
14	$10^3 CF$	$\frac{\Delta 1}{\Delta V} \cdot x (13)$		1,792	1,775	1,757	1,74	1,723		

TABEL – I. PERHITUNGAN HAMBATAN KAPAL

No	RUMUS	SUMBER RUMUS	SATUAN	V(KNOT)						
				11	12	13	14	15		
15	$10^3 CA$	Gbr. 5.5.24		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
16	$10^3 CAA$	Gbr. 5.5.28		0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	
17	$10^3 CAS$	Gbr. 5.5.27		0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
18	$10^3 CT = \frac{CR+CF+CA+CAA+CAS}{RT=CT \times (5)}$	12+14+15+16+17		5,073	4,729	4,783	4,938	5,093	5,093	
19	$RT = CT \times (5)$		Kg	11.651,402	12.186,335	13.679,878	16.068,941	18.709,989	18.709,989	
20	$EHP = \frac{I \times RT}{75}$		HP	1.038,87	1.170,148	1.407,386	1.763,384	2.181,535	2.181,535	
21	PC			0,651	0,649	0,647	0,645	0,643	0,643	
22	$BHP = \frac{EHP}{PC}$		HP	1.595,806	1.803,001	2.175,249	2.733,929	3.392,745	3.392,745	
23	$\eta n = 3\%$			47,874	54,09	65,257	82,018	101,782	101,782	
24	$\eta m = 3\%$			47,874	54,09	65,257	82,018	101,782	101,782	
25	Sea margin = 15%			239,371	270,45	326,287	410,089	508,912	508,912	
26	BHP Total		HP	1.883,051	2.127,541	2.632,051	3.308,054	4.105,221	4.105,221	
27	BHP Total		kW	1.384,984	1.564,807	1.962,984	2.467,146	3.061,674	3.061,674	

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.
- Putaran motor sehubungan 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-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 :

1. Merk : YANMAR.
2. Type : 6N330L - UN.
3. Daya : 2.800 HP / 2095 kW .
4. Putaran Mesin : 720 RPM.
5. Bahan Bakar : 132 g/ BHP
6. Jumlah Silinder : 6.
7. Berat : 30,5 Ton.
8. Konsumsi Pelumas : 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 adalah :

1. Faktor Arus Ikut (ψ)

$$\begin{aligned}\psi &= 0,5 \times C_b - 0,05 \\ &= (0,5 \times 0,529) - 0,05 \\ &= 0,215\end{aligned}$$

2. Faktor Pengisapan (ν)

$$\begin{aligned}\nu &= k \times \psi \\ \text{Dimana ; } k &= 0,7 - 0,9, \text{ diambil } k = 0,9 \\ &= 0,9 \times 0,215 \\ &= 0,194\end{aligned}$$

3. Besarnya Hambatan

Menurut Newman, untuk mempertahankan kecepatan sebesar 15 knot, perlu adanya cadangan hambatan sebesar 20% dari hambatan hasil perhitungan, maka :

$$\begin{aligned}RT &= (20\% \times RT) + RT \\ &= (0,2 \times 13.679,878) + 13.679,878 \\ &= 16.415,854 \text{ kg.}\end{aligned}$$

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%.

P = BHP – Harga Koreksi

$$= 2.632,051 - (3\% + 0,987\% + 0,976\%)$$

$$= 2.632,051 - (4,963\% \times 2.632,051)$$

$$= 2.501,422 \text{ HP.}$$

5. Penentuan Angka Sorong (S)

$$S = \frac{R T}{(1-\psi)}$$

$$(1-\psi)$$

$$= \frac{13.679,878}{(1-0,194)}$$

$$(1-0,194)$$

$$= 16.972,553 \text{ kg.}$$

6. Kecepatan Air Masuk ke Propeller (v_e)

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

$$= (1 - 0,215) \times 7,716$$

$$= 6,057 \text{ m/s.}$$

7. Diameter Propeller Tentative (D)

$$D = 0,7 \times T$$

$$= 0,7 \times 4$$

$$= 2,8 \text{ m.}$$

8. Advance Speed of Propeller (V_a)

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

Dimana :

V_s = kecepatan kapal (knot) = 15 knot

$$V_a = (1 - 0,215) \times 15$$

$$= 11,775 \text{ knot.}$$

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.

$$N = 720 - (3\% \times 720)$$

$$= 698,4 \text{ rpm.}$$

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 :

$$K'd = D \times v_e \times \sqrt{\rho / S}$$

Dimana :

- D = diameter propeller tentative = 2,8 m.
- ρ = masa jenis air laut = 104,49 kg./m³.
- S = gaya dorong propeller = 16.972,553 kg.
- v_e = kecepatan air masuk ke propeller = 6,057 m/s.

$$K'd = 2,8 \times 6,057 \sqrt{104,49 / 16.972,553}$$

$$= 1,33.$$

$K'd = 1,33$ ($K'd < 2$; 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 $698,4 / 2,55 = 274$ rpm

- $V_a = 11,775$ knot

- P = tenaga tempat propeller melekat

= 2.501,422 HP.

$$B_p = \frac{274 \times (2.501,422)^{0.5}}{(11,775)^{2.5}}$$

$$= 28,8.$$

Dari diagram B_p - δ series, untuk nilai $B_p = 28,8$ dapat diperoleh advanced coefficient (δ) pada beberapa tingkat pembebanan, yaitu :

Untuk series B 4-40; $\delta = 215.$

Untuk series B 4-55; $\delta = 208,18.$

Untuk series B 4-70; $\delta = 203,75.$

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

Untuk series B 4-40; $\delta_k = 215 - 2\% = 210,7$

Untuk series B 4-55; $\delta_k = 208,18 - 2\% = 204,02$

Untuk series B 4-70; $\delta_k = 203,75 - 2\% = 199,68$

b. Diameter Optimum (D_o)

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

Untuk series B 4-40; $D_o = 9,055$ feet = 2,76 m

Untuk series B 4-55; $D_o = 8,768$ feet = 2,672 m

Untuk series B 4-70; $D_o = 8,581$ feet = 2,615 m

c. Pitch Ratic (Ho/D)

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

Untuk series B 4-40 ; Ho/ D = 0,692

Untuk series B 4-55 ; Ho/ D = 0,741

Untuk series B 4-70 ; Ho/ D = 0,8

d. Propeller Efficiency (η_p)

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

Untuk series B 4-40 ; $\eta_p = 60,67$

Untuk series B 4-55 ; $\eta_p = 56,8$

Untuk series B 4-70 ; $\eta_p = 56,5$.

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

12. Kavitasasi Propeller

a. Konstanta Kavitasasi

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

Dimana :

- (P-P_v) = Beda tekanan statik

- D = Diameter propeller = 2,8 m

- ρ = Kerapatan air laut = 104,49 kg.s² / m⁴.

- V_a = Advanced of speed = 11,775 Knot

- n = Putaran propeller per detik

$$= \frac{274}{60} = 4,567 \text{ rps.}$$

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 = 0,692

Untuk series B 4-55 ; Ho/ D = 0,741

Untuk series B 4-70 ; Ho/ D = 0,8

d. Propeller Efficiency (η_p)

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

Untuk series B 4-40 ; $\eta_p = 60,67$

Untuk series B 4-55 ; $\eta_p = 56,8$

Untuk series B 4-70 ; $\eta_p = 56,5$.

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 :

12. Kavitas Propeller

a. Konstanta Kavitas

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

Dimana

- (P-Pv) = Beda tekanan statik

- D = Diameter propeller = 2,8 m

- ρ = Kerapatan air laut = 104,49 kg.s² / m⁴.

- Va = Advanced of speed = 11,775 Knot

- n = Putaran propeller per detik:

$$= \frac{274}{60} = 4,567 \text{ rps.}$$

d. Projected Blade Area sesuai perhitungan kavitasi

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

$$= \frac{16.972,553}{0,125 \times \frac{1}{2} \times 104,49 [9,775^2 + (0,7 \times 3,14 \times 2,76 \times 4,567)^2]}$$

$$F_p' = 2,863 \text{ m}^2.$$

untuk series B4.40 dengan $\sigma_c = 0,125$, didapat $F_p' = 2,868 \text{ m}^2$.

untuk series B4.55 dengan $\sigma_c = 0,128$, didapat $F_p' = 2,958 \text{ m}^2$.

untuk series B4.70 dengan $\sigma_c = 0,131$, didapat $F_p' = 2,996 \text{ m}^2$.

e. Developed Blade Area sesuai perhitungan kavitasi

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

Dengan $\text{Ho} / D = 0,692$ (untuk series B4.40)

$$F_p / F_a = 1,067 - (0,229 \times 0,692)$$

$$= 0,909$$

- 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

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

$$= 3,14 / 4 \times (2,76)^2$$

$$= 5,98 \text{ m}^2.$$

- Developed Blade Area

$$F_a = 0,40 \times F$$

$$= 0,40 \times 5,98$$

$$= 2,392 \text{ m}^2$$

- Projected Blade Area

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

$$= 2,392 \times 0,909$$

$$= 2,174 \text{ m}^2.$$

d. Projected Blade Area sesuai perhitungan kavitasi

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

$$= \frac{16.972,553}{0,125 \times \frac{1}{2} \times 104,49 [9,775^2 + (0,7 \times 3,14 \times 2,76 \times 4,567)^2]}$$

$$F_p' = 2,868 \text{ m}^2.$$

untuk series B4.40 dengan $\sigma_c = 0,125$, didapat $F_p' = 2,868 \text{ m}^2$.

untuk series B4.55 dengan $\sigma_c = 0,128$, didapat $F_p' = 2,958 \text{ m}^2$.

untuk series B4.70 dengan $\sigma_c = 0,131$, didapat $F_p' = 2,996 \text{ m}^2$.

e. Developed Blade Area sesuai perhitungan kavitasi

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

Dengan $H_o / D = 0,692$ (untuk series B4.40)

$$F_p / F_a = 1,067 - (0,229 \times 0,692)$$

$$= 0,909$$

- 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

- Disc area of the screw

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

$$= 3,14 / 4 \times (2,76)^2$$

$$= 5,98 \text{ m}^2.$$

- Developed Blade Area

$$F_a = 0,40 \times F$$

$$= 0,40 \times 5,98$$

$$= 2,392 \text{ m}^2$$

- Projected Blade Area

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

$$= 2,392 \times 0,909$$

$$= 2,174 \text{ m}^2.$$

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

Dengan $H_o/D = 0,741$ (untuk series B4.55)

$$\begin{aligned} F_p / F_a &= 1,067 - (0,229 \times 0,741) \\ &= 0,897 \end{aligned}$$

- Developed Blade Area Ratio

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

- Disc area of the screw

$$\begin{aligned} F &= \pi/4 \times D^2 \\ &= 3,14 / 4 \times (2,672)^2 \\ &= 5,605 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

- Developed Blade Area

$$\begin{aligned} F_a &= 0,55 \times F \\ &= 0,55 \times 5,605 \\ &= 3,083 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

- Projected Blade Area

$$\begin{aligned} F_p &= F_a \times (F_p/F_a) \\ &= 3,083 \times 0,897 \\ &= 2,765 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

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

Dengan $H_o/D = 0,8$ (untuk series B4.70)

$$\begin{aligned} F_p / F_a &= 1,067 - (0,229 \times 0,8) \\ &= 0,884 \end{aligned}$$

- Developed Blade Area Ratio

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

- Disc area of the screw

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

$$= 3,14 / 4 \times (2,615)^2$$

$$= 5,368 \text{ m}^2.$$

- Developed Blade Area

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

$$= 0,70 \times 5,368$$

$$= 3,758 \text{ m}^2.$$

- Projected Blade Area

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

$$= 3,758 \times 0,884$$

$$= 3,322 \text{ m}^2.$$

f. Tabel perhitungan kavitasi

Tabel -2 perhitungan kavitasi propeller untuk berbagai pembebanan :

	Do	$\rho_{0,7}$	σ_c	Fp'	Fp/Fa
Series B4.40	2,760	0,263	0,125	2,868	0,909
Series B4.55	2,672	0,277	0,128	2,958	0,897
Series B4.70	2,615	0,288	0,131	2,996	0,884

	Fa/F	F	Fa	Fp
Series B4.40	0,40	5,980	2,392	2,174
Series B4.55	0,55	5,605	3,083	2,765
Series B4.70	0,70	5,368	3,758	3,322

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

- Type propeller : B4.40
- Diameter propeller : 2,76 m
- Pitch ratio propeller (Ho/D) : 0,692
- Jumlah daun propeller (Z) : 4 buah
- Blade area ratio (Fa/F) : 0,40
- Efisiensi propeller (π_p) : 60,467 %

13. Tabel-3. Perhitungan Blade Elemen

a. Panjang Blade Elemen Dari Center Line ke Trailing Edge

Panjang blade elemen pada $0,6R = 0,2187 \times D = 0,2187 \times 2,76 = 603,612$ mm

r/R (1)	% 0,6 R (2)	L1 = L 0,6R x (2) mm (3)
0,2	29,180	176,134
0,3	33,320	201,124
0,4	37,300	225,147
0,5	40,780	246,153
0,6	43,920	265,106
0,7	46,680	281,766
0,8	48,350	291,846
0,9	47,000	283,698

b. Panjang Blade Elemen Dari Center Line ke Leading Edge

Panjang blade elemen pada $0,6 R = 0,2187 \times D = 0,2187 \times 2,76 = 603,612$ mm

r/R (1)	% 0,6 R (2)	L2 = L 0,6R x (2) mm (3)
0,2	46,900	283,094
0,3	52,640	317,741
0,4	56,320	339,954
0,5	57,600	347,681
0,6	56,080	338,506
0,7	51,400	310,257
0,8	41,650	251,404
0,9	25,350	153,016

c. Panjang Blade Maksimum Pada Ordinat

Panjang blade elemen pada 0,6 R = $0,2187 \times D = 0,2187 \times 2,76=603,612$ mm

r/R (1)	% 0,6 R (2)	L12 = L 0,6R x (2) mm (3)
0,2	76,080	459,228
0,3	85,960	518,865
0,4	93,620	565,101
0,5	98,380	593,834
0,6	100,000	603,612
0,7	98,080	592,023
0,8	90,000	543,250
0,9	72,350	436,714

d. Jarak Ordinate Maksimum dari Leading Edge

r/R (1)	% L (2)	%L x Lt mm (3)
0,2	35,000	160,730
0,3	35,000	181,603
0,4	35,000	197,785
0,5	35,500	210,811
0,6	38,900	234,805
0,7	44,300	262,266
0,8	47,900	260,217
0,9	50,000	218,357

c. Ketebalan Blade Maksimum Pada Ordinat e

r/R (1)	% D (2)	D x (2) mm (3)
0,2	3,660	101,016
0,3	3,240	89,424
0,4	2,820	77,832
0,5	2,400	66,240
0,6	1,980	54,648
0,7	1,560	43,056
0,8	1,140	31,464
0,9	0,720	19,872

f. Radius Of The Nose

r/R (1)	% D (2)	D x (2) mm (3)
0,2	0,115	3,174
0,3	0,105	2,898
0,4	0,095	2,622
0,5	0,085	2,346
0,6	0,070	1,932
0,7	0,055	1,518
0,8	0,040	1,104
0,9	0,040	1,104

I. ORDINAT BELAKANG

Trailing Edge

r/R	80%	mm	60%	mm	40%	mm	20%	mm
0,2	53,350	53,892	72,650	73,388	86,900	87,783	96,450	97,430
0,3	50,950	45,562	71,600	64,028	86,800	77,620	96,800	86,562
0,4	47,700	37,126	70,250	54,677	86,550	67,364	97,000	75,497
0,5	43,400	28,748	68,400	45,308	86,100	57,033	96,950	64,220
0,6	40,200	21,968	67,150	36,696	85,400	46,669	96,800	52,899
0,7	39,400	16,964	66,900	28,804	84,900	36,555	96,650	41,614
0,8	40,950	12,885	67,800	21,333	85,300	26,839	96,700	30,426
0,9	45,150	8,972	70,000	13,910	87,000	17,289	97,000	19,276

Leading Edge

r/R	20%	mm	40%	mm	60%	mm	80%	mm	90%	mm	95%	mm
0,2	98,600	99,602	94,500	95,460	87,000	87,884	74,400	75,156	64,350	65,004	56,950	57,529
0,3	98,400	87,993	94,000	84,059	85,800	76,726	72,500	64,832	62,650	56,024	54,900	49,094
0,4	98,200	76,431	93,250	75,578	84,300	65,612	70,400	54,794	60,150	46,816	52,200	40,628
0,5	98,100	64,981	92,400	61,206	82,300	54,516	67,700	44,844	56,800	37,624	48,600	32,193
0,6	98,100	53,610	91,250	49,866	79,350	43,363	63,600	34,756	52,500	28,690	43,350	23,690
0,7	97,600	42,023	88,800	38,234	74,900	32,249	57,000	24,542	44,200	19,031	35,000	15,070
0,8	97,000	30,520	85,300	26,839	68,700	21,616	48,250	15,181	34,550	10,871	25,450	8,008
0,9	97,000	19,276	87,000	17,289	70,000	13,910	45,150	8,972	30,100	5,981	22,000	4,372

Trailing Edge

r / R	100%	mm	80%	mm	60%	mm	40%	mm	20%	mm
0,2	30,000	30,305	18,200	18,385	10,900	11,011	5,450	5,505	1,550	1,566
0,3	25,350	22,669	12,200	10,910	5,800	5,187	1,700	1,520	-	-
0,4	17,850	13,893	6,200	4,826	1,500	1,167	-	-	-	-
0,5	9,700	6,425	1,750	1,159	-	-	-	-	-	-
0,6	5,100	2,787	-	-	-	-	-	-	-	-
0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Leading Edge

r/R	20%	mm	40%	mm	60%	mm	80%	mm	90%	mm	95%	mm	100%	mm
0,2	0,450	0,455	2,300	2,323	5,900	5,960	13,450	13,567	20,300	20,506	26,200	26,466	40,000	40,406
0,3	0,050	0,045	1,300	1,163	4,600	4,114	10,850	9,703	16,550	14,800	22,200	19,852	37,550	33,579
0,4	-	-	0,300	0,233	2,650	2,063	7,800	6,071	12,500	9,729	17,900	13,932	34,500	26,852
0,5	-	-	-	-	0,700	0,464	4,300	2,848	8,450	5,597	13,300	8,810	30,400	20,137
0,6	-	-	-	-	-	-	0,800	0,437	4,450	2,432	8,400	4,590	24,500	13,389
0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	0,400	0,172	2,450	1,055	16,050	6,910
0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,400	2,328

2.1.7. Perhitungan Diameter Poros Propeller

Menurut Referensi No. 2 Hal. 4-1 diameter minimum untuk Poros Utama adalah :

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

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 sistem = 1.177,79 KW
- n = Shaft speed (rpm) = 274 rpm
- C_w = faktor bahan
= $\frac{560}{R_m + 160}$

$$\begin{aligned} R_m &= \text{Nilai kuat tarik dari bahan poros untuk Baja KSF 45} \\ &= 400 \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{560}{400 + 160} \end{aligned}$$

$$= 1$$

$$1 - \left(\frac{d_i}{d_a}\right)^4 = 1$$

Jadi :

$$d = 100 \cdot 1,22 \cdot \sqrt[3]{\frac{1.177,79}{274 \times 0,344}} \cdot 1$$

$$d = 283,104 \text{ mm}$$

Sedangkan untuk Poros Antara, rumus yang digunakan sama dengan rumus untuk poros utama, hanya faktor k yang berubah, yaitu $k = 1,10$

$$d = 100 \cdot 1,10 \sqrt[3]{\frac{1.177,79}{274 \times 0,344}} \times 1$$

$$d = 255,258 \text{ mm}$$

