

BAB II

PERENCANAAN PERHITUNGAN MOTOR INDUK DAN MOTOR BANTU

2.1. Motor Induk/ Penggerak Kapal

2.1.1. Data Kapal

- Loa	: 66	m
- Lwl	: 63,648	m
- Lpp	: 62,4	m
- B	: 13,8	m
- H	: 5,5	m
- T	: 4	m
- Cb	: 0,599	
- Vs	: 13	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)

$$\begin{aligned}\Delta &= L_{pp} \times B \times T \times C_b \times \gamma \\ &= 62,4 \times 13,8 \times 4 \times 0,599 \times 1,025 \\ &= 2.114,825 \text{ ton.}\end{aligned}$$

- Midship Area Coefficient (C_m)

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

$$= 0,9 + 0,1 \times \sqrt{0,599}$$

$$= 0,977$$

- **Luas Midship (A_m)**

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

$$= 13,8 \times 4 \times 0,977$$

$$= 53,93 \text{ m}^2$$

- **Coefficient of Waterline (C_w)**

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

$$= (0,70 \times 0,599) + 0,30$$

$$= 0,719$$

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

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

$$= 63,648 \times 13,8 \times 0,719$$

$$= 631,528 \text{ m}^2$$

- **Coefficient Prismatic (C_p)**

$$C_p = C_b / C_m$$

$$= 0,599 / 0,977$$

$$= 0,613$$

- **Luas 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 :

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

$$= 0,599 \times (66 / 63,648)$$

$$= 0,621$$

$$S = 1,025 \times 62,4 (0,621 \times 13,8 + 1,7 \times 4)$$

$$= 983,052 \text{ m}^2$$

Luas Basah (S_1) sepanjang L_{wl} :

$$\begin{aligned} S_1 &= 1,025 \times 63,648 (0,621 \times 13,8 + 1,7 \times 4) \\ &= 1.002,713 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga Ratio S/S_1 :

$$\begin{aligned} &= 983,052 / 1.002,713 \\ &= 0,98 \end{aligned}$$

- **L displ**

$$L \text{ displ} = \frac{L_{wl} + L_{pp}}{2}$$

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

- **Volume displacement (V displ)**

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

Dimana:

$$d = d_{wl}$$

$$d_{wl} = \frac{L_{pp}}{L_{wl}} \times C_b$$

$$\begin{aligned} &= \frac{62,4}{63,648} \times 0,599 \\ &= 0,587 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V \text{ displ} &= 62,4 \times 13,8 \times 4 \times 0,587 \\ &= 2.021,91 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

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

$$Q \text{ displ} = \frac{L_{pp}}{L \text{ displ}} \times C_p$$

$$\begin{aligned} &= \frac{62,4}{63,024} \times 0,613 \\ &= 0,607 \end{aligned}$$

- **Perbandingan lebar dan sarat kapal**

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

$$= 3,45$$

- **Ratio antara Am dan S1**

$$Am/S1 = 53,93 / 1.002,713$$

$$= 0,054$$

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.

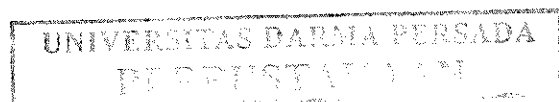
Tahanan-tahanan yang dialami sebuah kapal yang bergerak melalui air dan udara itu dapat diuraikan atas :

- 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, seperti Metode SV. Aa. Harvald.

Tahanan-tahanan lain yang mempengaruhi adalah :

- Tahanan Udara / Angin
- Tahanan Penonjolan Badan
- Dan tahanan lainnya.



Perhitungan tahanan kapal ini dilakukan dengan menggunakan Metode SV.Aa.Harvald. Dimana tahanan kapal dapat dihitung berdasarkan 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 13 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)

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

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

g = gravitasi

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

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

$$F_n = \frac{6,6872}{\sqrt{9,81 \times 62,4}}$$

$$= 0,27$$

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 :

$$\rho = \text{massa density (Kg.s}^2/\text{m}^4) = 104,49 \text{ Kg.s}^2/\text{m}^4.$$

$$S = \text{luas permukaan basah (m}^2) = 983,052 \text{ m}^2$$

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

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \times \rho \times S \times V^2 &= 0,5 \times 104,49 \times 983,052 \times 44,719 \\ &= 2.296.747,794 \text{ kg} \end{aligned}$$

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 :

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

$$V_{\text{ displ}} = 2.021,91 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} L / V^{1/3} &= 62,4 / (2.021,91)^{1/3} \\ &= 4,935 \end{aligned}$$

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

$$L / V^{1/3} = 4,5 \quad F_n = 0,27 \quad 10^3 \text{ CR} = 2,3$$

$$L / V^{1/3} = 5 \quad F_n = 0,27 \quad 10^3 \text{ CR} = 1,933$$

$$L / V^{1/3} = 4,935 \quad F_n = 0,27 \quad 10^3 \text{ CR} =$$

$$10^3 \text{ CR} = 2,3 + \frac{(4,935 - 4,5)}{(5 - 4,5)} \times (1,933 - 2,3)$$

$$= 1,981$$

$$\text{CR} = 1,981 \times 10^{-3}$$

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 :

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

dimana :

$$LCB_{\text{standar}} = -2,6 \% L \text{ (didapat dari gambar 5.5.15)}$$

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

$$\begin{aligned} LCB &= \frac{-2,6\% \times 62,4}{100} \\ &= -1,622 \% L \end{aligned}$$

$$\Delta LCB = -1,622 \% - (-2,6 \%)$$

$$\begin{aligned} &= 0,978\% \\ &= 0,00978 \end{aligned}$$

Koreksi LCB :

$$\begin{aligned} &= \delta \times 10^3 CR \times \Delta LCB \\ &\quad \delta LCB \\ &= 0,243 \times 0,00978 \\ &= 2,38 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

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 = - 0,2

k) Koreksi Anggota Badan Kapal

Berdasarkan Referensi No.1,hal.132:

$$\begin{aligned} - \text{Boss \& Poros baling-baling} &= (5\% + 8\%) \times CR \\ &= 13\% \times 1,981 \times 10^{-3} \\ &= 0,258 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

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

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

l) Resultan $10^3 CR$

$$\begin{aligned} \text{Resultan } 10^3 CR &= f + g + h + i + j + k \\ &= 1,981 + 0,152 + 2,38 + 0 + (-0,2) + 0,258 \\ &= 2,771 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

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 $V = 13$ knot dirubah dalam satuan m/dtk. Jadi $V = 13 \times 0,5144 = 6,6872$ m/dtk (berada diantara kecepatan 6 m/dtk dan 8 m/dtk). Nilai $10^3 CF$ didapat dengan menggunakan rumus interpolasi,sbb:

$$L = 62,4 \text{ m} \quad V = 6 \text{ m/dtk} \quad 10^3 CF = 1,78$$

$$L = 62,4 \text{ m} \quad V = 8 \text{ m/dtk} \quad 10^3 CF = 1,713$$

$$L = 62,4 \text{ m} \quad V = 6,6872 \text{ m/dtk} \quad 10^3 CF =$$

$$10^3 \hat{C}_F = 1,78 + \frac{(6,6872 - 6)}{(8 - 6)} (1,713 - 1,78)$$

$$= 1,757$$

n) Koreksi CF

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

$$10^3 C_F = S1/S \times 10^3 C_F$$

$$= \frac{1.002,713}{983,052} \times 1,757$$

$$C_F = 1,792 \cdot 10^{-3}$$

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

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

$$10^3 C_A = 0,4$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$= 2,771 + 1,792 + 0,4 + 0,07 + 0,04$$

$$= 5,073$$

s) RT (Hambatan Total)

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

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

$$= 5,073 \cdot 10^{-3} \times 2.296.747,794 \text{ kg}$$

$$= 11.651,402 \text{ kg.}$$

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

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

$$\begin{aligned} \text{EHP} &= \frac{V_s \times R T}{75} \\ &= \frac{6,6872 \times 11.651,402}{75} \\ &= 1.038,87 \text{ HP} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} w &= -0,05 + (0,5 \times C_b) \\ &= -0,05 + (0,5 \times 0,599) \\ &= 0,2495 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Advance Velocity (Va)

$$\begin{aligned} V_a &= (1 - w) \times V_s \\ &= (1 - 0,2495) \times 13 \\ &= 9,757 \text{ knot} \end{aligned}$$

3. Thrust Deduction Factor (t) (Schoenher)

$$\begin{aligned} t &= k \times w \\ \text{dimana } k &= 0,7 - 0,9 \text{ diambil } k = 0,9 \\ t &= 0,9 \times 0,2495 \\ &= 0,225 \end{aligned}$$

4. Hull Efficiency (η_h)

$$\begin{aligned} \eta_h &= \frac{1-t}{1-w} \\ &= \frac{1-0,225}{1-0,2495} \\ &= 1,033 \end{aligned}$$

5. Propulsive Coefficient (PC)

$$PC = \eta_h \times \eta_r \times \eta_p$$

Dimana :

η_p = efisiensi propeller, diasumsikan = 0,6

η_r = untuk single screw propeller (1,02 – 1,05)

diambil 1,05

$$\begin{aligned} PC &= 1,033 \times 1,05 \times 0,6 \\ &= 0,651 \end{aligned}$$

6. Brake Horse Power (BHP)

$$\begin{aligned} BHP &= \frac{EHP}{PC} \\ &= \frac{1.038,87}{0,651} \\ &= 1.595,806 \text{ HP} \end{aligned}$$

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.

$$\begin{aligned} BHP \text{ total} &= \{(3\% + 3\% + 15\%) \times BHP\} + BHP \\ &= (0,21 \times 1.595,806) + 1.595,806 \\ &= 1.930,925 \text{ HP} \times 0,7458 \\ &= \underline{1.440,084 \text{ KW}}. \end{aligned}$$

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.
- Vibrasi.
- 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 : MAN B & W.
2. Type : S 26 MC.
3. Daya : 2.180 HP .
4. Putaran Mesin : 250 RPM.
5. Bahan Bakar : 132 Gr/ HP
6. Jumlah Silinder : 4.
7. Berat : 28,5 Ton.
8. Konsumsi Pelumas : 1,5 Kg/ Cyl. 24 jam.

2.1.5. 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)

$$\begin{aligned}\psi &= 0,5 \times C_b - 0,05 \\ &= (0,5 \times 0,599) - 0,05 \\ &= 0,2495\end{aligned}$$

2. Faktor Pengisapan (υ).

$$\begin{aligned}\upsilon &= k \times \psi \\ \text{Dimana ; } k &= 0,7 - 0,9, \text{ diambil } k = 0,9 \\ &= 0,9 \times 0,2495 \\ &= 0,225\end{aligned}$$

3. Besarnya Hambatan

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

$$\begin{aligned} RT &= (20\% \times RT) + RT \\ &= (0,2 \times 11.651,402) + 11.651,402 \\ &= 13.981,682 \text{ kg.} \end{aligned}$$

4. Tenaga yang diberikan propeller (P)

- Letak kamar mesin

Kamar mesin dibelakang, koreksi = - 3%.

- Koreksi daya ke metric

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

- Koreksi air tawar ke air laut

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

$P = \text{BHP} - \text{Harga Koreksi}$

$$\begin{aligned} &= 1.930,925 - (3\% + 0,987\% + 0,976\%) \\ &= 1.930,925 - (4,963\% \times 1.930,925) \\ &= 1.835,093 \text{ HP.} \end{aligned}$$

5. Penentuan Angka Sorong (S)

$$\begin{aligned} S &= \frac{RT}{(1-\psi)} \\ &= \frac{11.651,402}{(1-0,225)} \\ &= 15.034,067 \text{ kg.} \end{aligned}$$

6. Kecepatan Air Masuk ke Propeller (v_e)

$$\begin{aligned} v_e &= (1 - \psi) \times V_s \\ &= (1 - 0,2495) \times 6,6872 \end{aligned}$$

$$= 5,019 \text{ m/s}$$

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 :

$$V_s = \text{kecepatan kapal (knot)} = 13 \text{ knot}$$

$$V_a = (1 - 0,2495) \times 13$$

$$= 9,7565 \text{ knot.}$$

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.

$$N = 250 - (3\% \times 250)$$

$$= 242,5 \text{ rpm.}$$

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.sec²/m⁴.
- S = gaya dorong propeller = 15.034,067 kg.
- v_e = kecepatan air masuk ke propeller = 5,019 m/s.

$$K'd = 2,8 \times 5,019 \sqrt{104,49 / 15.034,067}$$

$$= 1,172.$$

$K'd = 1,172$ ($K'd < 2$; 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) / Reduction
Gear = 242,5 / 0,8083 = 300 rpm.
- V_a = 9,7565 knot
- P = tenaga tempat propeller melekat 1.835,093 HP.

$$B_p = \frac{300 \times (1.835,093)^{0,5}}{(9,7565)^{2,5}}$$

$$= 43,223.$$

Dari diagram B_p - δ series, untuk nilai $B_p = 43,223$ dapat diperoleh advanced coefficient (δ) pada beberapa tingkat pembebanan, yaitu :

Untuk series B 4-40; $\delta = 262$.

Untuk series B 4-55; $\delta = 255$.

Untuk series B 4-70; $\delta = 244$.

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

Untuk series B 4-40; $\delta k = 262 - 2\% = 256,76$

Untuk series B 4-55; $\delta k = 255 - 2\% = 249,9$

Untuk series B 4-70; $\delta k = 244 - 2\% = 239,12$

b. Diameter Optimum (D_o)

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

N

Untuk series B 4-40; $D_o = 8,35 \text{ feet} = 2,545 \text{ m}$

Untuk series B 4-55; $D_o = 8,127 \text{ feet} = 2,477 \text{ m}$

Untuk series B 4-70; $D_o = 7,777 \text{ feet} = 2,37 \text{ m}$

c. Pitch Ratio (H_o/D)

Dari harga δ yang telah dikoreksi, dapat diperoleh harga pitch ratio pada diagram $B_p\text{-}\delta$ series, sesuai dengan pembebanan :

Untuk series B 4-40; $H_o/D = 0,607$

Untuk series B 4-55; $H_o/D = 0,636$

Untuk series B 4-70; $H_o/D = 0,731$

d. Propeller Efficiency (η_p)

Dari diagram $B_p\text{-}\delta$ series dapat diperoleh efisiensi propeller kapal sebagai berikut:

Untuk series B 4-40; $\eta_p = 54,667$

Untuk series B 4-55; $\eta_p = 51,45$

Untuk series B 4-70; $\eta_p = 51,25$.

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

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

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 = 9,7565 Knot
- n = Putaran propeller per detik
= $\frac{300}{60}$ = 5 rps.

b. Tekanan Statik Propeller

Tekanan Statik pada sumbu adalah :

1. Draft d = 4 m
2. Tinggi poros propeller h₁ = 1,45 m
3. Tinggi gelombang (¾ % Lpp) h₂ = 0,468 m
- Tinggi tekan (d – h₁ – h₂) h = 2,082 m
4. Tekanan air (h x 1,025) = 2,134 kg/m²
5. Tekanan udara = 10.100 kg/m²
6. Tekanan uap = 200 kg/m² +
7. Beda Tekanan Statik = 12.434 kg/m²

Maka $\delta_{0,7}$ untuk series B4.40 dengan $D_o = 2,545$ m adalah :

$$\delta_{0,7} = \frac{(12.434)}{\frac{1}{2} \times 104,49 [(9,7565)^2 + (0,7 \times 3,14 \times 2,545 \times 5)^2]} - \frac{(0,7 \times 2,545 / 2 \times 1.025)}{1}$$

$$= 0,271$$

Maka $\delta_{0,7}$ untuk series B4.55 dengan $D_o = 2,477$ m adalah :

$$\delta_{0,7} = \frac{(12.434)}{\frac{1}{2} \times 104,49 [(9,7565)^2 + (0,7 \times 3,14 \times 2,477 \times 5)^2]} - \frac{(0,7 \times 2,477 / 2 \times 1.025)}{1}$$

$$= 0,285$$

Maka $\delta_{0,7}$ untuk series B4.70 dengan $D_o = 2,37$ m adalah :

$$\delta_{0,7} = \frac{(12.434)}{\frac{1}{2} \times 104,49 [(9,7565)^2 + (0,7 \times 3,14 \times 2,37 \times 5)^2]} - \frac{(0,7 \times 2,37 / 2 \times 1.025)}{1}$$

$$= 0,308$$

c. Koefisien Gaya Dorong

Harga koefisien gaya dorong diperoleh dari diagram 'Burtil' untuk :

series B4.40 dengan $D_o = 2,545$ m, didapat $\sigma_c = 0,126$

series B4.55 dengan $D_o = 2,477$ m, didapat $\sigma_c = 0,131$

series B4.70 dengan $D_o = 2,37$ m, didapat $\sigma_c = 0,136$

d. Projected Blade Area sesuai perhitungan kavitasi

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

$$= \frac{15.034,067}{0,126 \times \frac{1}{2} \times 104,49 [9,7565^2 + (0,7 \times 3,14 \times 2,545 \times 5)^2]}$$

$$F_p' = 2,603 \text{ m}^2$$

untuk series B4.40 dengan $\sigma_c = 0,126$, didapat $F_p' = 2,603 \text{ m}^2$.

untuk series B4.55 dengan $\sigma_c = 0,131$, didapat $F_p' = 2,627 \text{ m}^2$.

untuk series B4.70 dengan $\sigma_c = 0,136$, didapat $F_p' = 2,735 \text{ m}^2$.

e. Developed Blade Area sesuai perhitungan kavitasi

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

Dengan $H_o / D = 0,607$. (untuk series B4.40)

$$F_p / F_a = 1,067 - (0,229 \times 0,607)$$

$$= 0,928$$

- 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

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

$$= 3,14 / 4 \times (2,545)^2$$

$$= 5,084 \text{ m}^2.$$

- Developed Blade Area

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

$$= 0,40 \times 5,084$$

$$= 2,034 \text{ m}^2$$

- Projected Blade Area

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

$$= 2,034 \times 0,928$$

$$= 1,888 \text{ m}^2.$$

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

Dengan $H_o / D = 0,636$ (untuk series B4.55)

$$F_p / F_a = 1,067 - (0,229 \times 0,636)$$

$$= 0,921$$

- Developed Blade Area Ratio

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

Disc area of the screw

- Disc area of the screw

$$\begin{aligned} F &= \pi/4 \times D^2 \\ &= 3,14 / 4 \times (2,477)^2 \\ &= 4,816 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

- Developed Blade Area

$$\begin{aligned} F_a &= 0,55 \times F \\ &= 0,55 \times 4,816 \\ &= 2,649 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

- Projected Blade Area

$$\begin{aligned} F_p &= F_a \times (F_p/F_a) \\ &= 2,649 \times 0,921 \\ &= 2,44 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

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

Dengan $\text{Ho/D} = 0,731$ (untuk series B4.70)

$$\begin{aligned} F_p / F_a &= 1,067 - (0,229 \times 0,731) \\ &= 0,9 \end{aligned}$$

- Developed Blade Area Ratio

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

Disc area of the screw

- Disc area of the screw

$$\begin{aligned} F &= \pi/4 \times D^2 \\ &= 3,14 / 4 \times (2,37)^2 \\ &= 4,409 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

- Developed Blade Area

$$\begin{aligned} F_a &= 0,70 \times F \\ &= 0,70 \times 4,409 \\ &= 3,086 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

- Projected Blade Area

$$\begin{aligned} F_p &= F_a \times (F_p/F_a) \\ &= 3,086 \times 0,9 \\ &= 2,777 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

f. Tabel perhitungan kavitasi

Tabel perhitungan kavitasi propeller untuk berbagai pembebanan :

	D_o	$\rho_{0,7}$	σ_c	F_p'	F_p/F_a
Series B4.40	2,545	0,271	0,126	2,603	0,928
Series B4.55	2,477	0,285	0,131	2,627	0,921
Series B4.70	2,370	0,308	0,136	2,735	0,900

	F_a/F	F	F_a	F_p
Series B4.40	0,40	5,084	2,034	1,888
Series B4.55	0,55	4,816	2,649	2,440
Series B4.70	0,70	4,409	3,086	2,777

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

- Type propeller : B4.40
- Diameter propeller : 2,545 m
- Pitch ratio propeller (H_o/D) : 0,607
- Jumlah daun propeller (Z) : 4 buah
- Blade area ratio (F_a/F) : 0,40
- Efisiensi propeller (π_p) : 54,667 %

13. Perhitungan Blade Elemen

a. Panjang Blade Elemen Dari Center Line ke Trailing Edge

Panjang blade elemen pada $0,6 R = 0,2187 \times D = 0,2187 \times 2,545 = 556,592 \text{ mm}$

R/R (1)	% 0,6 R (2)	$L1 = L 0,6R \times (2) \text{ mm}$ (3)
0,2	29,180	162,414
0,3	33,320	185,456
0,4	37,300	207,609
0,5	40,780	226,978
0,6	43,920	244,455
0,7	46,680	259,817
0,8	48,350	269,112
0,9	47,000	261,598

b. Panjang Blade Elemen Dari Center Line ke Leading Edge

Panjang blade elemen pada $0,6 R = 0,2187 \times D = 0,2187 \times 2,545 = 556,592 \text{ mm}$

r/R (1)	% 0,6 R (2)	$L2 = L 0,6R \times (2) \text{ mm}$ (3)
0,2	46,900	261,042
0,3	52,640	292,990
0,4	56,320	313,473
0,5	57,600	320,597
0,6	56,080	312,137
0,7	51,400	286,088
0,8	41,650	231,821
0,9	25,350	141,096

c. Panjang Blade Maksimum Pada Ordinat

Panjang blade elemen pada $0,6 R = 0,2187 \times D = 0,2187 \times 2,545 = 556,592$ mm.

r/R (1)	% 0,6 R (2)	L12 = L 0,6R x (2) mm (3)
0,2	76,080	423,455
0,3	85,960	478,446
0,4	93,620	521,081
0,5	98,380	547,575
0,6	100,000	556,592
0,7	98,080	545,905
0,8	90,000	500,933
0,9	72,350	402,694

d. Jarak Ordinate Maksimum dari Leading Edge

r/R (1)	% L (2)	%L x Lt mm (3)
0,2	35,000	148,209
0,3	35,000	167,456
0,4	35,000	182,378
0,5	35,500	194,389
0,6	38,900	216,514
0,7	44,300	241,836
0,8	47,900	239,947
0,9	50,000	201,347

e. Ketebalan Blade Maksimum Pada Ordinat e

r/R (1)	% D (2)	D x (2) mm. (3)
0,2	3,660	93,147
0,3	3,240	82,458
0,4	2,820	71,769
0,5	2,400	61,080
0,6	1,980	50,391
0,7	1,560	39,702
0,8	1,140	29,013
0,9	0,720	18,324

f. Radius Of The Nose

r/R (1)	% D (2)	D x (2) mm (3)
0,2	0,115	2,927
0,3	0,105	2,672
0,4	0,095	2,418
0,5	0,085	2,163
0,6	0,070	1,782
0,7	0,055	1,400
0,8	0,040	1,018

g. Jarak Ordinat Belakang & Muka dari Ordinat Maximum
I. ORDINAT BELAKANG
 Trailing Edge

r/R	80%	mm	60%	mm	40%	mm	20%	mm
0,2	53,350	49,694	72,650	67,671	86,900	80,945	96,450	89,84
0,3	50,950	42,012	71,600	59,040	86,800	71,574	96,800	79,819
0,4	47,700	34,234	70,250	50,418	86,550	62,116	97,000	69,616
0,5	43,400	26,509	68,400	41,779	86,100	52,59	96,950	59,217
0,6	40,200	20,257	67,150	33,838	85,400	43,034	96,800	48,778
0,7	39,400	15,643	66,900	26,561	84,900	33,707	96,650	38,372
0,8	40,950	11,881	67,800	19,671	85,300	24,748	96,700	28,056
0,9	45,150	8,273	70,000	12,827	87,000	15,942	97,000	17,774

Leading Edge

r/R	20%	Mm	40%	mm	60%	mm	80%	mm	90%	mm	95%	mm
0,2	98,600	91,843	94,500	88,024	87,000	81,038	74,400	69,301	64,350	59,94	56,950	53,047
0,3	98,400	81,139	94,000	77,511	85,800	70,749	72,500	59,782	62,650	51,66	54,900	45,269
0,4	98,200	70,477	93,250	66,925	84,300	60,501	70,400	50,525	60,150	43,169	52,200	37,463
0,5	98,100	59,919	92,400	56,438	82,300	50,269	67,700	41,351	56,800	34,693	48,600	29,685
0,6	98,100	49,435	91,250	45,982	79,350	39,985	63,600	32,049	52,500	26,455	43,350	21,844
0,7	97,600	38,749	88,800	35,255	74,900	29,737	57,000	22,63	44,200	17,548	35,000	13,896
0,8	97,000	28,143	85,300	24,748	68,700	19,932	48,250	13,999	34,550	10,024	25,450	7,384
0,9	97,000	17,774	87,000	15,942	70,000	12,827	45,150	8,273	30,100	5,516	22,000	4,031

4. UKUNAI MUKA

Trailing Edge

r / R	100%	mm	80%	mm	60%	mm	40%	mm	20%	mm
0,2	30,000	27,944	18,200	16,953	10,900	10,153	5,450	5,077	1,550	1,444
0,3	25,350	20,903	12,200	10,06	5,800	4,783	1,700	1,402	-	-
0,4	17,850	12,811	6,200	4,45	1,500	1,077	-	-	-	-
0,5	9,700	5,925	1,750	1,069	-	-	-	-	-	-
0,6	5,100	2,57	-	-	-	-	-	-	-	-
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	0,419	2,300	2,142	5,900	5,496	13,450	12,528	20,300	18,909	26,200	24,405	40,000	37,259
0,3	0,050	0,041	1,300	1,072	4,600	3,793	10,850	8,947	16,550	13,647	22,200	18,306	37,550	30,963
0,4	-	-	0,300	0,215	2,650	1,902	7,800	5,598	12,500	8,971	17,900	12,847	34,500	24,760
0,5	-	-	-	-	0,700	0,428	4,300	2,626	8,450	5,161	13,300	8,124	30,400	18,568
0,6	-	-	-	-	-	-	0,800	0,403	4,450	2,242	8,400	4,233	24,500	12,346
0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	0,400	0,159	2,450	0,973	16,050	6,372
0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,400	2,147

2.1.7. Perhitungan Diameter Poros Propeller

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

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

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 = 2.906,093 KW
- n = Shaft speed (rpm) = 115,2019 rpm
- C_w = faktor bahan
= $\frac{560}{R_m + 160}$

$$\begin{aligned} R_m &= \text{Nilai kuat tarik dari bahan poros untuk Baja KSF 45} \\ &= 400 \text{ N/mm}^2 \\ &= \frac{560}{400 + 160} \\ &= 1 \end{aligned}$$

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

Jadi :

$$d = 100. 1,22 \sqrt[3]{\frac{2.906,093}{115,2019 \times 0,344} \times 1}$$

$$d = 510,65 \text{ mm .}$$

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

$$d = 100 \cdot 1,10 \sqrt[3]{\frac{2.906,093}{115,2019 \times 0,344} \times 1}$$

$$d = 460,422 \text{ mm}$$

