

BAB II
PERENCANAAN PERHITUNGAN MOTOR INDUK
DAN PROPELLER

2.1. Perhitungan Daya Mesin

2.1.1. Data Kapal

- LOA	: 105 m
- LWL	: 101 m
- LPP	: 99 m
- B	: 18,8 m
- H	: 9,5 m
- T	: 6 m
- Cb	: 0,747
- vs	: 11 Knot
- DWT	: 6.500 Ton
- Klasifikasi	: BKI
- Bendera	: Indonesia
- Jarak Pelayaran	: 9.500 Nautical mile
- Daerah Operasi	: Ocean Going

2.1.2. Koefisien-koefisien Kapal

* *Displacement* (Δ) (Ref. No. 9, hal.5)

$$\begin{aligned}\Delta &= L_{pp} \times B \times T \times C_b \times \gamma \\ &= 99 \times 18,8 \times 6 \times 0,747 \times 1,025 \\ &= 8.550,446 \text{ ton.}\end{aligned}$$

* *Midship Area Coefficient* (C_m) (Ref.No.9, hal.4)

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

$$= 0,9 + (0,1 \times \sqrt{0,747})$$

$$= 0,986$$

※ **Luas Midship (Am) (Ref. No.9, hal. 5)**

$$Am = B \times T \times Cm$$

$$= 18,8 \times 6 \times 0,986$$

$$= 111,221 \text{ m}^2$$

※ **Coefficient of Waterline (Cw) (Ref. No. 9, hal. 5)**

$$Cw = (0,70 \times Cb) + 0,30$$

$$= (0,70 \times 0,747) + 0,30$$

$$= 0,823$$

※ **Area Water Line (Awl)**

$$Awl = Lwl \times B \times Cw$$

$$= 101 \times 18,8 \times 0,823$$

$$= 1.562,712 \text{ m}^2$$

※ **Coefficient Prismatic (Cp) (Ref. No. 9, hal. 5)**

$$Cp = Cb / Cm$$

$$= 0,747 / 0,986$$

$$= 0,76$$

※ **Luas Bidang Permukaan Basah Kapal (S) (Ref.No.1, hal.133)**

$$S = 1,025 \times Lpp (Cb Lpp \times B + 1,7 T)$$

(Ref. No.1, hal.133)

Dimana :

$$Cb Lpp = Cb \times Loa / Lwl$$

$$= 0,747 \times (105 / 101)$$

$$= 0,777$$

$$S = 1,025 \times 99 ((0,777 \times 18,8) + (1,7 \times 6))$$

$$= 2.460,12 \text{ m}^2$$

Luas Bidang Permukaan Basah sepanjang Lwl (S₁) :

$$S_1 = 1,025 \times 101 ((0,777 \times 18,8) + (1,7 \times 6))$$

$$= 2.568,21 \text{ m}^2$$

Sehingga Ratio S/ S₁ :

$$= 2.460,12 / 2.568,21$$

$$= 0,958 \text{ m}^2$$

* **L displ**

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

$$= \frac{101 + 99}{2}$$

$$= 100 \text{ m}$$

* **Volume displacement (V displ)**

$$V_{displ} = L \times B \times T \times d$$

Dimana:

$$d = dwl$$

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

$$= \frac{99}{101} \times 0,777$$

$$= 0,762$$

$$V_{displ} = 99 \times 18,8 \times 6 \times 0,762$$

$$= 8.509,41 \text{ m}^3$$

* **Coefficient Prismatic displacement (C displ)**

$$C_{displ} = \frac{L_{pp}}{L_{displ}} \times C_p$$

$$= \frac{99}{100} \times 0,76$$

$$= 0,752$$

※ **Perbandingan lebar dan sarat kapal**

$$B/T = 18,8 / 6$$

$$= 3,133 \text{ m}$$

※ **Ratio antara A_m dan S_1**

$$A_m / S_1 = 111,221 / 2.568,21$$

$$= 0,043 \text{ m}^2$$

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. Dalam perhitungan tahanan kapal dibawah ini berdasarkan metode Harvald.

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 :

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

Dalam hal ini koefisien tahanan totalnya adalah :

$$CT = CR + CF + CA$$

Dimana :

CR = Koefisien tahanan sisa untuk bentuk standar.

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

CA = Koefisien tahanan tambahan.

Jadi perhitungan tahanan kapal untuk kecepatan 11 **knot** adalah sebagai berikut :

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

$$Fn = \frac{vs}{\sqrt{gL}}$$

dimana :

vs : Kecepatan kapal (m/ dtk)

$$= 11 \text{ knot} \times 0,5144$$

$$= 5,658 \text{ m / dtk}$$

g : gravitasi 9.81 m/dtk²

L : panjang kapal (Lpp) = 140 m

$$Fn = \frac{5,658}{\sqrt{9,81 \times 99}}$$

$$= 0,182$$

b) $v_s = 11 \text{ knot}$

c) $v_s = 5,658 \text{ m / dtk}$

d) $v_s^2 = (5,658)^2 = 32,013 \text{ (m / dtk)}^2$

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

Dimana :

ρ : massa jenis (kg.s / m^3)

S : luas bidang permukaan basah (m^2)

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

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \times \rho \times S \times V^2 &= 0,5 \times 104,49 \times 2.460,12 \times 32,013 \\ &= 4.114.597,897 \text{ kg} \end{aligned}$$

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

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 :

LPP = 99 m

V displ = 8.509,41 m^3

$$\begin{aligned} L / V^{1/3} &= 99 / (8.509,41)^{1/3} \\ &= 4,849 \end{aligned}$$

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

$L / V^{1/3} = 4,5$ $F_n = 0,182$ $10^3 C_R = 1,1$

$L / V^{1/3} = 5$ $F_n = 0,182$ $10^3 C_R = 0,82$

$L / V^{1/3} = 4,849$ $F_n = 0,182$ $10^3 C_R = ?$

$$10^3 C_R = 1,1 + \frac{(4,849 - 4,5)}{(5 - 4,5)} \times (0,82 - 1,1)$$

$$= 0,905$$

$$C_R = 0,905 \times 10^{-3}$$

g) Koreksi B / T

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

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

$$B/T = 18,8 / 6$$

$$= 3,133$$

$$\begin{aligned} \text{Koreksi } B/T : C_R &= 10^{-3} \{ 0,16 (B/ T - 2.5) \} \\ &= 10^{-3} \{ 0,16 (3,133 - 2.5) \} \\ &= \mathbf{0,101} \end{aligned}$$

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 :

$$LCB \text{ standar} = 1,357 \% L \quad (\text{didapat dari gambar 5.5.15})$$

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

$$LCB = \frac{1,357 \% L - 99}{100}$$

$$= 1,343 \% L$$

$$\Delta LCB = 1,343 \% - (1,357 \%)$$

$$= - 0,014 \%$$

Koreksi LCB :

$$= \delta \times 10^3 C_R \times \Delta LCB$$

$$\delta LCB$$

$$= 0,027 \times (- 0,00014)$$

$$= - 0,00378 \times 10^{-3}$$

i) Koreksi Garis Penampang Bentuk Depan dan Belakang

Berdasarkan Referensi No.1, hal, 131, harga koreksi $C_R = 0,2$

j) Koreksi Bentuk Haluan

Berdasarkan Referensi No.1, hal,131, $C_R = 0$

k) Koreksi Anggota Badan Kapal

Berdasarkan Referensi No.1,hal.132:

- Boss & Poros baling-baling = $(5\% + 8\%) \times C_R$
= $13\% \times 0,905 \times 10^{-3}$
= $0,118 \cdot 10^{-3}$
- Lunas Bilga = 0% (tidak ada koreksi)
- Daun Kemudi = 0% (tidak ada koreksi)

l) Resultan $10^3 C_R$

$$\begin{aligned} \text{Resultan } 10^3 C_R &= f + g + h + i + j + k \\ &= 0,905 + 0,101 + (- 0,00378) + 0,2 + 0 + 0,118 \\ &= 1,32 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

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 $V = 11$ knot dirubah dalam satuan m/dtk. Jadi $V = 11 \times 0,5144 = 5,658$ m/ dtk (berada diantara kecepatan 5 m/ dtk dan 6 m/ dtk). Nilai $10^3 C_F$ didapat dengan menggunakan rumus interpolasi, sbb:

$L = 99$ m	$V = 5$ m/dtk	$10^3 C_F = 1,719$
$L = 99$ m	$V = 6$ m/dtk	$10^3 C_F = 1,675$
$L = 99$ m	$V = 5,658$ m/dtk	$10^3 C_F =$

$$10^3 C_F = 1,719 + \left(\frac{5,658 - 5}{6 - 5} \right) (1,675 - 1,719)$$

$$= 1,69$$

n) Koreksi C_F

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

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

$$= \frac{2.568,21}{2.460,12} \times 1,69$$

$$C_F = 1,764 \times 10^{-3}$$

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 ($10^3 C_T$)

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

$$= 1,32 + 1,764 + 0,4 + 0,07 + 0,04$$

$$= 3,594$$

s) R_T (Hambatan Total)

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

$$\begin{aligned}R_T &= C_T \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \right) \\&= 3,594 \times 10^{-3} \times 4.114.597,897 \text{ kg} \\&= 14.787,865 \text{ kg}.\end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned}\text{EHP} &= \frac{V_s \times R_T}{75} \\&= \frac{5,658 \times 14.787,865}{75} \\&= 1.115,597 \text{ HP} = 820,522 \text{ kW}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}w &= -0,05 + (0,5 \times C_b) \\&= -0,05 + (0,5 \times 0,747) \\&= 0,324\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}V_a &= (1 - w) \times V_s \\&= (1 - 0,324) \times 11 \\&= 7,436 \text{ knot}\end{aligned}$$

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

$$t = k \times w$$

dimana :

$$\begin{aligned}k &= 0,7 - 0,9 \text{ diambil } k = 0,7 \\t &= 0,7 \times 0,324 \\&= 0,2268\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\eta_h &= \frac{1-t}{1-w} \\ &= \frac{1-0,2268}{1-0,324} \\ &= 1,144\end{aligned}$$

5. *Propulsive Coefficient* (PC)

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

Dimana :

η_p = efisiensi propeller 0,45-0,6 (ref.no.1.hal.143) diambil harga 0,6

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

$$\begin{aligned}PC &= 1,144 \times 1,05 \times 0,6 \\ &= 0,721\end{aligned}$$

6. *Brake Horse Power* (BHP)

$$\begin{aligned}BHP &= \frac{EHP}{PC} \\ &= \frac{1.115,597}{0,721} \\ &= 1.547,291 \text{ HP} = 1.138,033 \text{ kW}\end{aligned}$$

7. *Penentuan NCR (Normal Continous Rating)*

Untuk mendapatkan besarnya daya mesin, digunakan pendekatan :
15% untuk penambahan pada *sea margin*.

$$\begin{aligned}NCR &= \{ (15\%) \times BHP \} + BHP \\ &= (0,15 \times 1.547,291) + 1.547,291 \\ &= 1.779,385 \text{ HP} \times 0,7355 \\ &= 1.308,737 \text{ kW}.\end{aligned}$$

8. *Penentuan MCR (Maximum Continous Rating)*

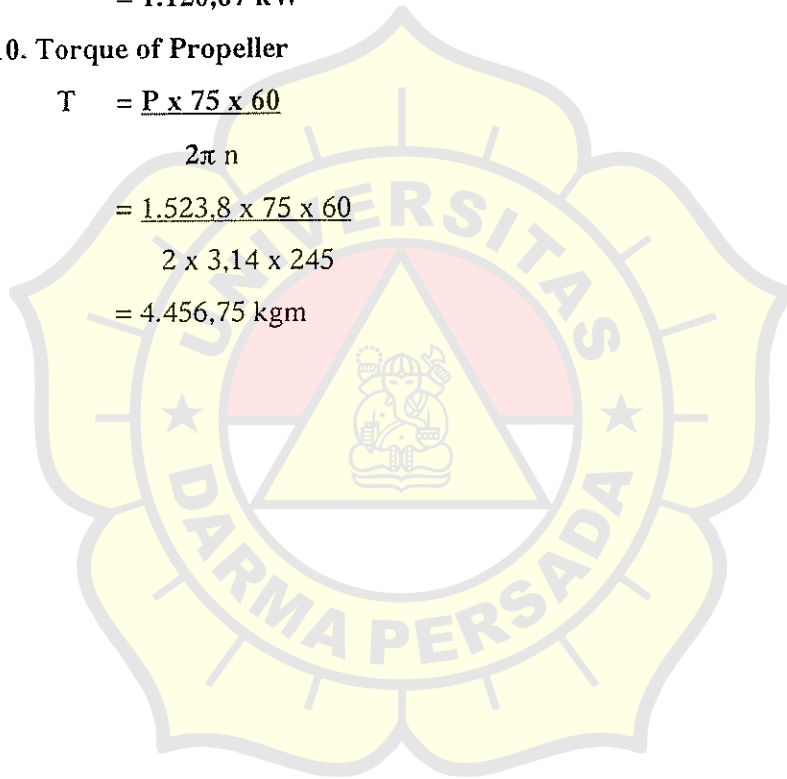
$$\begin{aligned}MCR &= NCR / 0,9 \\ &= 1.779,385 / 0,9 \\ &= 1.977,1 \text{ HP} \\ &= 1.454,153 \text{ kW}\end{aligned}$$

9. Penentuan SHP (Shaft Horse Power)

$$\begin{aligned} \text{SHP} &= \frac{2\pi \times T \times n}{75} \\ &= \frac{2 \times 3,14 \times 4.456,75 \times 4.083}{75} \\ &= 1.523,687 \text{ HP} \times 0,7355 \\ &= 1.120,67 \text{ kW} \end{aligned}$$

10. Torque of Propeller

$$\begin{aligned} T &= \frac{P \times 75 \times 60}{2\pi n} \\ &= \frac{1.523,8 \times 75 \times 60}{2 \times 3,14 \times 245} \\ &= 4.456,75 \text{ kgm} \end{aligned}$$



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 dari mesin harus diperhatikan, apakah memenuhi persyaratan minimal dari ruang mesin
- ❖ Tinggi titik pusat poros yang ditentukan oleh propeller
- ❖ Biaya pemakaian minyak lumas dan bahan bakarnya
- ❖ Specific Fuel Oil Consumption yang kecil
- ❖ Volume ruang kamar mesin yang tersedia
- ❖ Putaran motor sehubungan dengan putaran propeller yang telah disediakan
- ❖ Sistem pipa-pipa yang dikondisikan untuk kamar mesin.

Berdasarkan Tabel.1. Perhitungan hambatan kapal dengan menggunakan Ref. No.1, maka dapat ditentukan besarnya daya mesin yang digunakan kapal Tanker ini. Dimana besarnya daya mesin dan dimensi yang dipilih adalah sebagai berikut :

1. Merk : MAN B&W
2. Type : S26MC
3. Daya : 2.180 HP / 1.600 kW
4. Putaran mesin : 250 rpm
5. Stroke x Bore : 980 mm x 260 mm
6. Jumlah silinder : 4
7. Cycle : 2 langkah
8. Berat : 28.500 kg
9. Dimensi : 3.147 mm (L) x 1.880 mm (W) x 4.500 mm (H)
10. Jumlah : 1.

- 11. SFOC : 132 g/ BHP.h (179 g/ kW.h)
- 12. SLOC : 1,5 kg/ cyl. 24h
- 13. SCyl.OC : 0,7-1 g/ BHP.h (1-1,4 g/ kW.h)

2. 2. Perencanaan Propeller Kapal

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

1. Faktor Arus Ikut (ω)

$$\begin{aligned}\omega &= 0,5 \times C_b - 0,05 \\ &= 0,5 \times (0,747) - 0,05 \\ &= 0,324\end{aligned}$$

2. Faktor Pengisapan (ν)

$$\begin{aligned}\nu &= k \times \omega \\ \text{dimana : } k &= 0,7 - 0,9 \text{ (diambil } k = 0,9 \text{)} \\ \nu &= 0,9 \times 0,324 \\ &= 0,292\end{aligned}$$

3. Besarnya Hambatan

Menurut Newman, untuk mempertahankan kecepatan sebesar 11 knot, perlu adanya cadangan hambatan sebesar 20% dari hambatan hasil perhitungan, maka :

$$\begin{aligned}R_T &= (20\% \times R_T) + R_T \\ &= (0,2 \times 14.787,865) + 14.787,865 \\ &= 17.745,438 \text{ kg.}\end{aligned}$$

4. Tenaga yang diberikan propeller (P)

❖ Letak kamar mesin

Kamar mesin terletak dibelakang, koreksi = -3%

❖ Koreksi daya ke metric

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

❖ Koreksi air tawar ke air laut

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

P = BHP – Harga koreksi

$$= 2.180 - (3\% + 0,987\% + 0,976\%)$$

$$= 2.180 - (4,963\% \times 2.180)$$

$$= 2.071,807 \text{ HP} = 1.523,814 \text{ kW}$$

5. Penentuan angka sorong (S)

$$S = \frac{R_r}{(1-\nu)}$$

$$= \frac{14.787,865}{(1-0,292)}$$

$$= 20.886,815 \text{ kg}$$

6. Kecepatan air masuk ke propeller (ν_e)

$$\nu_e = (1 - \omega) \times v_s$$

$$= (1 - 0,324) \times 5,658$$

$$= 3,825 \text{ m/ s}$$

7. Advance Speed of Propeller (ν_a)

$$\nu_a = (1 - \psi) v_s$$

dimana :

$$v_s = \text{kecepatan kapal (knot)} = 11 \text{ knot}$$

$$\nu_a = (1 - 0,324) \times 11$$

$$= 7,436 \text{ knot.}$$

8. Koreksi RPM

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 2% dari putaran mesin induk.

$$N = 250 - (2\% \times 250)$$

$$= 245 \text{ rpm.}$$

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 :

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

dimana :

- D = diameter propeller 4,224 m.
- ρ = masa jenis air laut = 104,49 kg. s/m³.
- S = gaya dorong propeller = 20.886,815 kg.
- v_e = kecepatan air masuk ke propeller = 3,825 m/ s.

$$K'd = 4,224 \times 3,825 \times \sqrt{104,49 / 20.886,815}$$

$$= 1,143.$$

$K'd = 1,143$ ($K'd < 2$; disarankan memilih jumlah propeller berdaun 4).

10. 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) = 245 rpm
- v_a = 7,436 knot
- P = tenaga tempat propeller melekat 2.071,807 HP.

$$B_p = \frac{245 \times (2.071,807)^{0,5}}{(7,436)^{2,5}}$$

$$= 73,959.$$

Dari diagram B_p - δ series, untuk nilai $B_p = 73,959$ dapat diperoleh advanced coefficient (δ) pada beberapa tingkat pembebanan, yaitu :

Untuk series B 4-40 ; $\delta = 238$.

Untuk series B 4-55 ; $\delta = 231$.

Untuk series B 4-70 ; $\delta = 224$.

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

$$\text{Untuk series B 4-40} \quad ; \delta k = 238 - 2\% = 233,24$$

$$\text{Untuk series B 4-55} \quad ; \delta k = 231 - 2\% = 226,38$$

$$\text{Untuk series B 4-70} \quad ; \delta k = 224 - 2\% = 219,52$$

b. Diameter Optimum (D_o)

$$D_o = \frac{\delta k \times v_a}{n} \quad (\text{feet})$$

$$\text{Untuk series B 4-40} \quad ; D_o = 14,725 \text{ feet} = 4,488 \text{ m}$$

$$\text{Untuk series B 4-55} \quad ; D_o = 14,291 \text{ feet} = 4,356 \text{ m}$$

$$\text{Untuk series B 4-70} \quad ; D_o = 13,858 \text{ feet} = 4,224 \text{ m}$$

c. Pitch Ratio (H_o/D)

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

$$\text{Untuk series B 4-40} \quad ; H_o/D = 0,645$$

$$\text{Untuk series B 4-55} \quad ; H_o/D = 0,683$$

$$\text{Untuk series B 4-70} \quad ; H_o/D = 0,766$$

d. Propeller Efficiency (η_p)

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

$$\text{Untuk series B 4-40} \quad ; \eta_p = 57,375$$

$$\text{Untuk series B 4-55} \quad ; \eta_p = 54$$

$$\text{Untuk series B 4-70} \quad ; \eta_p = 53,722.$$

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 :

11. Kavitasi Propeller

a. Konstanta Kavitasi

$$\delta_{0,7} = \frac{(P - P_v) - (0,7 \times D^2 \times \gamma)}{\rho \times v_a^3}$$

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

dimana :

- (P-Pv) = Beda tekanan statik
- D = Diameter propeller
- ρ = Kerapatan air laut 104,49 kg / m³.
- V_a = Advanced of speed 7,436 Knot
- n = Putaran propeller per detik
 $= \frac{245 \text{ rpm}}{60} = 4,083 \text{ rps.}$

b. Tekanan Statik Propeller

Tekanan Statik pada sumbu adalah :

- | | | |
|--|------------------------|---------------------|
| 1. Draft | d = 6 | m |
| 2. Tinggi poros propeller | h ₁ = 2,4 | m |
| 3. Tinggi gelombang (3/4 % L _{pp}) | h ₂ = 0,743 | m |
| Tinggi tekan (d – h ₁ – h ₂) | h = 2,857 | m |
| 4. Tekanan air (h x 1,025) | = 2.928 | kg/m ² |
| 5. Tekanan udara | = 10.100 | kg/m ² |
| 6. Tekanan uap | = 200 | kg/m ² + |
| 7. Beda Tekanan Statik | = 13.228 | kg/m ² |

Maka $\delta_{0,7}$ untuk series B4.40 dengan Do = 4,488 m adalah :

$$\delta_{0,7} = \frac{(13.228) - (0,7 \times (4.488 / 2) \times 1.025)}{\frac{1}{2} \times 104,49 [(7,436)^2 + (0,7 \times 3,14 \times 4,488 \times 1,963)^2]}$$

$$= 0,588$$

Maka $\delta_{0,7}$ untuk series B4.55 dengan Do = 4,356 m adalah :

$$\delta_{0,7} = \frac{(13.228) - (0,7 \times (4.356 / 2) \times 1.025)}{\frac{1}{2} \times 104,49 [(7,436)^2 + (0,7 \times 3,14 \times 4,356 \times 1,963)^2]}$$

$$= 0,62$$

Maka $\delta_{0,7}$ untuk series B4.70 dengan Do = 4,224 m adalah :

$$\delta_{0,7} = \frac{(13.228) - (0,7 \times (4.224 / 2) \times 1.025)}{\frac{1}{2} \times 104,49 [(7,436)^2 + (0,7 \times 3,14 \times 4,224 \times 1,963)^2]}$$

$$= 0,653$$

c. Koefisien Gaya Dorong

Harga koefisien gaya dorong diperoleh dari diagram ' Burril '

untuk series B4.40 dengan $D_o = 4,488$ m, didapat $\sigma_c = 0,2$

untuk series B4.55 dengan $D_o = 4,356$ m, didapat $\sigma_c = 0,207$

untuk series B4.70 dengan $D_o = 4,224$ m, didapat $\sigma_c = 0,211$

d. Projected Blade Area sesuai perhitungan kavitasi

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

$$= \frac{20.886,815}{0,2 \times \frac{1}{2} \times 104,49 [(7,436)^2 + (0,7 \times 3,14 \times 4,488 \times 1,963)^2]}$$

$$F_p' = 4,646 \text{ m}^2.$$

untuk series B4.40 dengan $\sigma_c = 0,200$. didapat $F_p' = 4,646 \text{ m}^2$.

untuk series B4.55 dengan $\sigma_c = 0,207$. didapat $F_p' = 4,727 \text{ m}^2$.

untuk series B4.70 dengan $\sigma_c = 0,211$. didapat $F_p' = 4,890 \text{ m}^2$.

e. Developed Blade Area sesuai perhitungan kavitasi

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

Dengan $H_o/D = 0,645$ (untuk series B4.40)

$$F_p / F_a = 1,067 - (0,229 \times 0,645)$$

$$= 0,919$$

$$\rightarrow \text{Developed Blade Area Ratio}$$

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

$$\rightarrow \text{Disc area of the screw}$$

$$F = \frac{\pi}{4} \times D^2.$$

$$= \frac{3,14}{4} \times (4,488)^2$$

$$= 15,812 \text{ m}^2.$$

$$\rightarrow \text{Developed Blade Area}$$

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

$$= 0,40 \times 15,812$$

$$= 6,325 \text{ m}^2.$$

→ Projected Blade Area

$$\begin{aligned} F_p &= F_a \times (F_p/F_a) \\ &= 6,325 \times 0,919 \\ &= 5,813 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

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

Dengan $\text{Ho/D} = 0,683$ (untuk series B4. 55)

$$\begin{aligned} F_p / F_a &= 1,067 - (0,229 \times 0,683) \\ &= 0,911 \end{aligned}$$

→ 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

$$\begin{aligned} F &= \pi / 4 \times D^2. \\ &= 3,14 / 4 \times (4,356)^2 \\ &= 14,895 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

→ Developed Blade Area

$$\begin{aligned} F_a &= 0,55 \times F \\ &= 0,55 \times 14,895 \\ &= 8,192 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

→ Projected Blade Area

$$\begin{aligned} F_p &= F_a \times (F_p/F_a) \\ &= 8,192 \times 0,911 \\ &= 7,463 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

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

Dengan $\text{Ho/D} = 0,766$ (untuk series B4.70)

$$\begin{aligned} F_p / F_a &= 1,067 - (0,229 \times 0,766) \\ &= 0,892 \end{aligned}$$

→ 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

$$\begin{aligned}
 F &= \pi/4 \times D^2 \\
 &= 3,14 / 4 \times (4,224)^2 \\
 &= 14,006 \text{ m}^2.
 \end{aligned}$$

→ Developed Blade Area

$$\begin{aligned}
 F_a &= 0,70 \times F \\
 &= 0,70 \times 14,006 \\
 &= 9,804 \text{ m}^2.
 \end{aligned}$$

→ Projected Blade Area

$$\begin{aligned}
 F_p &= F_a \times (F_p / F_a) \\
 &= 9,804 \times 0,892 \\
 &= 8,745 \text{ m}^2.
 \end{aligned}$$

f. Tabel.2, perhitungan kavitasi propeller untuk berbagai pembebanan :

	Do	$\rho_{0,7}$	σ_c	Fp'	Fp/Fa
Series B4. 40	4,488	0,588	0,200	4,646	0,919
Series B4. 55	4,356	0,620	0,207	4,727	0,911
Series B4. 70	4,224	0,653	0,211	4,890	0,892

	Fa/F	F	Fa	Fp
Series B4. 40	0,40	15,812	6,325	5,813
Series B4. 55	0,55	14,895	8,192	7,463
Series B4. 70	0,70	14,006	9,804	8,745

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

- Type propeller : B4.40
- Diameter propeller : 4,224 m
- Pitch ratio propeller (Ho/D) : 0,766
- Jumlah daun propeller (Z) : 4 buah
- Blade area ratio (Fa/F) : 0,40
- Efisiensi propeller (π_p) : 53,722 %
- Putaran propeller : 245 rpm.

13. Spesifikasi Perhitungan Blade Elemen

a. Panjang Blade Elemen Dari Center Line ke Trailing Edge

Panjang blade elemen di $0,6 R = 0,2187 \times D = 0,2187 \times 4.224 = 923,789$ mm

Tabel. 3

r/R (1)	% 0,6 R (2)	L1 = L 0,6R x (2) mm (3)
0,2	29,180	269,562
0,3	33,320	307,806
0,4	37,300	344,573
0,5	40,780	376,721
0,6	43,920	405,728
0,7	46,680	431,225
0,8	48,350	446,652
0,9	47,000	434,181

b. Panjang Blade Elemen Dari Center Line ke Leading Edge

Panjang blade elemen di $0,6 R = 0,2187 \times D = 0,2187 \times 4.224 = 923,789$ mm

Tabel. 4

r/R (1)	% 0,6 R (2)	L2 = L 0,6R x (2) mm (3)
0,2	46,900	433,257
0,3	52,640	486,283
0,4	56,320	520,278
0,5	57,600	532,102
0,6	56,080	518,061
0,7	51,400	474,828
0,8	41,650	384,758
0,9	25,350	234,181

c. Panjang Total Blade Elemen

Panjang blade elemen pada $0,6R = 0,2187 \times D = 0,2187 \times 4.224 = 923,789$ mm

Tabel. 5

r/R (1)	% 0,6 R (2)	$L_{12} = L \text{ 0,6R} \times (2)$ mm (3)
0,2	76,080	702,819
0,3	85,960	794,089
0,4	93,620	864,851
0,5	98,380	908,824
0,6	100,000	923,789
0,7	98,080	906,052
0,8	90,000	831,410
0,9	72,350	668,361

d. Jarak Ordinate Maksimum dari Leading Edge

Tabel. 6

r/R (1)	% L (2)	%L x Lt mm (3)
0,2	35,000	245,987
0,3	35,000	277,931
0,4	35,000	302,698
0,5	35,500	322,633
0,6	38,900	359,354
0,7	44,300	401,381
0,8	47,900	398,245
0,9	50,000	334,181

e. Ketebalan Blade Maksimum Pada Ordinate

Tabel. 7

r/R (1)	% D (2)	D x (2) mm (3)
0,2	3,660	154,598
0,3	3,240	136,858
0,4	2,820	119,117
0,5	2,400	101,376
0,6	1,980	83,635
0,7	1,560	65,894
0,8	1,140	48,154
0,9	0,720	30,413

f. Radius Of The Nose

Tabel. 8

r/R (1)	% D (2)	D x (2) mm (3)
0,2	0,115	4,858
0,3	0,105	4,435
0,4	0,095	4,013
0,5	0,085	3,590
0,6	0,070	2,957
0,7	0,055	2,323
0,8	0,040	1,690
0,9	0,040	1,690

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	82,478	72,65	112,315	86,90	134,346	96,45	149,110
0,3	50,95	69,729	71,60	97,990	86,80	118,793	96,80	132,479
0,4	47,70	56,819	70,25	83,680	86,55	103,096	97,00	115,543
0,5	43,40	43,997	68,40	69,341	86,10	87,285	96,95	98,284
0,6	40,20	33,621	67,15	56,161	85,40	71,424	96,80	80,959
0,7	39,40	25,962	66,90	44,083	84,90	55,944	96,65	63,687
0,8	40,95	19,719	67,80	32,648	85,30	41,075	96,70	46,565
0,9	45,15	13,731	70,00	21,289	87,00	26,459	97,00	29,501

Tabel. 10. Leading Edge

r/ R	20%	mm	40%	mm	60%	mm	80%	mm	90%	mm	95%	mm
0,2	98,60	152,434	94,50	146,095	87,00	134,500	74,40	115,021	64,35	99,484	56,95	88,044
0,3	98,40	134,668	94,00	128,647	85,80	117,424	72,50	99,222	62,65	85,742	54,90	75,135
0,4	98,20	116,973	93,25	111,077	84,30	100,416	70,40	83,858	60,15	71,649	52,20	62,179
0,5	98,10	99,450	92,40	93,671	82,30	83,432	67,70	68,632	56,80	57,582	48,60	49,269
0,6	98,10	82,046	91,25	76,317	79,35	66,364	63,60	53,192	52,50	43,908	43,35	36,256
0,7	97,60	64,313	88,80	58,514	74,90	49,355	57,00	37,560	44,20	29,125	35,00	23,063
0,8	97,00	46,709	85,30	41,075	68,70	33,082	48,25	23,234	34,55	16,637	25,45	12,255
0,9	97,00	29,501	97,00	26,459	70,00	21,289	45,15	13,731	30,10	9,154	22,00	6,691

2. Ordinat Muka

Tabel . 11. Trailing Edge

r/ R	100%	mm	80%	mm	60%	mm	40%	mm	20%	mm
0,2	30,00	46,379	18,20	28,137	10,90	16,851	5,45	8,426	1,55	2,396
0,3	25,35	34,694	12,20	16,697	5,80	7,938	1,70	2,327	-	-
0,4	17,85	21,262	6,20	15,870	1,50	3,840	-	-	-	-
0,5	9,70	9,833	1,75	1,774	-	-	-	-	-	-
0,6	5,10	4,265	-	-	-	-	-	-	-	-
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	0,696	2,30	3,556	5,90	9,121	13,45	20,793	20,30	31,383	26,20	40,505	40,00	61,839
0,3	0,05	0,068	1,30	1,779	4,60	6,295	10,85	14,849	16,55	22,650	22,20	30,382	37,55	51,390
0,4	-	-	0,30	0,768	2,65	6,783	7,80	19,966	12,5	31,997	17,90	45,820	34,50	88,311
0,5	-	-	-	-	0,70	0,710	4,30	4,359	8,45	8,566	13,30	13,483	30,40	30,818
0,6	-	-	-	-	-	-	0,80	0,669	4,45	3,722	8,40	7,025	24,50	20,491
0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,264	2,45	1,614	16,05	10,576
0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,40	3,563

2.2.1. Perhitungan Diameter Poros Propeller

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

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

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 1.600 kW
- ◆ n : Shaft speed 245 rpm
- ◆ Cw : Faktor bahan

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

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

$$= \frac{560}{400 + 160} \\ = 1$$

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

- ◆ Maka :

$$d = 100 \cdot 1,22 \cdot \sqrt[3]{\frac{1.600}{245 \times 1} \times 1} \\ = 228,04 \text{ mm}$$

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

$$d = 100 \times 1,10 \cdot \sqrt[3]{\frac{1.600}{245 \times 1} \times 1} \\ = 205,61 \text{ mm.}$$