

BAB II
PERHITUNGAN MESIN INDUK
DAN BALING-BALING KAPAL

2.1.Mesin Induk/ Penggerak Kapal

2.1.1.Data Kapal

└─ Loa	: 118	m
└─ Lwl	: 112,2	m
└─ Lpp	: 110	m
└─ B	: 18	m
└─ H	: 9,1	m
└─ T	: 7,2	m
└─ C _b	: 0,736	
└─ V _s	: 12	Knot
└─ DWT	: 8.000	Ton
└─ Klasifikasi	: BKI	
└─ Bendera	: Indonesia	
└─ Jarak Pelayaran	: 1.300	mil laut
└─ Daerah Operasi	: Jakarta-Surabaya-Banjarmasin	

2.1.2.Koefisien-Koefisien Kapal

└─ *Displacement (Δ)*

$$\begin{aligned}\Delta &= L_{pp} \times B \times T \times C_b \times \gamma \\ &= 110 \times 18 \times 7,2 \times 0,736 \times 1,025 \\ &= 10.754,726 \text{ ton.}\end{aligned}$$

└─ *Midship Area Coefficient (C_m) (rumus Van Lammeren)*

$$\begin{aligned}C_m &= 0,9 + (0,1 \times \sqrt{C_b}) \\ &= 0,9 + (0,1 \times \sqrt{0,736}) \\ &= 0,986\end{aligned}$$

↳ **Luas Midship Area (Am)**

$$\begin{aligned} A_m &= B \times T \times C_m \\ &= 18 \times 7,2 \times 0,986 \\ &= 127,758 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

↳ **Coefficient of Waterline (Cw)**

$$\begin{aligned} C_w &= (0,70 \times C_b) + 0,30 \\ &= (0,70 \times 0,736) + 0,30 \\ &= 0,8152 \end{aligned}$$

↳ **Luas Garis Air (Awl)**

$$\begin{aligned} A_{wl} &= L_{wl} \times B \times C_w \\ &= 112,2 \times 18 \times 0,8152 \\ &= 1.646,378 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

↳ **Coefficient Prismatic (Cp)**

$$\begin{aligned} C_p &= C_b / C_m \\ &= 0,736 / 0,986 \\ &= 0,746 \end{aligned}$$

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

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

Dimana :

$$\begin{aligned} C_{b_{Lpp}} &= C_b \times L_{oa} / L_{wl} \\ &= 0,736 \times (118 / 112,2) \\ &= 0,774 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 1,025 \times 110 ((0,774 \times 18) + (1,7 \times 7,2)) \\ &= 2.950,987 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Luas Bidang Permukaan Basah sepanjang Lwl (S_l) :

$$\begin{aligned} S_l &= 1,025 \times 112,2 (0,774 \times 18 + 1,7 \times 7,2) \\ &= 3.009,911 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ratio } S / S_l &= 2.950,987 / 3.009,911 \\ &= 0,98 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

→ *L displ*

$$\begin{aligned}L_{displ} &= \frac{L_{wl} + L_{pp}}{2} \\ &= \frac{112,2 + 110}{2} \\ &= 111,1 \text{ m}\end{aligned}$$

→ *Volume displacement (V displ)*

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

Dimana:

$$d = d_{wl}$$

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

$$\begin{aligned}&= \frac{110}{112,2} \times 0,736 \\ &= 0,722\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{displ} &= 110 \times 18 \times 7,2 \times 0,722 \\ &= 10.292,832 \text{ m}^3\end{aligned}$$

→ *Coefficient Prismatic displacement (Q displ)*

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

$$\begin{aligned}&= \frac{110}{111,1} \times 0,746 \\ &= 0,739\end{aligned}$$

→ *Perbandingan lebar dan sarat kapal*

$$\begin{aligned}B/T &= 18 / 7,2 \\ &= 2,5 \text{ m}\end{aligned}$$

→ *Ratio antara Am dan S₁*

$$\begin{aligned}A_m/S_1 &= 127,758 / 3.009,911 \\ &= 0,042 \text{ m}^2\end{aligned}$$

2. 1. 3. Perhitungan Tahanan Kapal dan Daya Mesin 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 pendekatan **Metode Harvald**.

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 :

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

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 12 knot adalah sebagai berikut :

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

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

dimana :

V_s = Kecepatan kapal (m/ dtk)

$$= 12 \text{ knot} \times 0,5144$$

$$= 6,1728 \text{ m / dtk}$$

g = gravitasi 9,81 m/ dtk ²

L = panjang kapal (L_{pp}) 110 m

$$Fn = \frac{6,1728}{\sqrt{(9,81 \times 110)}} \\ = 0,188$$

b) $V_s = 12 \text{ knot}$

c) $V_s = 6,1728 \text{ m / dtk}$

d) $V_s^2 = (6,1728)^2 = 38,103 (\text{ m / dtk })^2$

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

Dimana :

ρ : massa jenis (kg / m^3)

S : luas bidang permukaan basah (m^2)

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

$$\frac{1}{2} \times \rho \times S \times V^2 = 0,5 \times 104,49 \times 2.839,271 \times 51,869 \\ = 7.694.128,856 \text{ kg}$$

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 (Fn).

Diketahui :

$$L_{pp} = 110 \text{ m}$$

$$V_{displ} = 10.292,832 \text{ m}^3$$

$$L / V^{1,3} = 110 / (10.292,832)^{1,3}$$

$$= 5,0569$$

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

$$L / V^{1/3} = 5 \quad F_n = 0,188 \quad 10^3 C_R = 0,833$$

$$L / V^{1/3} = 5,5 \quad F_n = 0,188 \quad 10^3 C_R = 0,7$$

$$L / V^{1/3} = 5,0569 \quad F_n = 0,188 \quad 10^3 C_R = ?$$

$$10^3 C_R = 0,833 + \left(\frac{5,0569 - 5}{5,5 - 5} \right) \times (0,7 - 0,833)$$

$$= 0,818$$

g) Koreksi B / T

Berdasarkan Ref. 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 :

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

$$B/T = 18 / 7,2$$

$$= 2,5 \text{ (tidak ada koreksi)}$$

h) Koreksi LCB

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

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

dimana :

$$LCB_{\text{standar}} = 1,143 \% L \text{ (didapat dari gambar 5.5.15)}$$

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

$$LCB = \frac{1,143\% \times 110}{100}$$

$$= 1,257 \% L$$

$$\Delta LCB = 1,257 \% - 1,143 \%$$

$$= 0,114\% = 0,00114$$

$$\text{Koreksi LCB} = \delta \times 10^3 C_R \times \Delta LCB$$

$$\delta LCB$$

$$= -0,071 \times 0,00114$$

$$= -0,0809 \times 10^{-3}$$

i) Koreksi Garis Penampang Bentuk Depan dan Belakang

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

j) Koreksi Bentuk Haluan

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

k) Koreksi Anggota Badan Kapal

Berdasarkan Ref. No.1,hal.132:

- Boss & Poros baling-baling = $(5\% + 8\%) \times C_R$
= $13\% \times 0,818 \times 10^{-3}$
= $0,1063 \cdot 10^{-3}$
- Lunas Bilga = 0% (tidak ada koreksi)
- Daun Kemudi = 0% (tidak ada koreksi)

l) Resultan $10^3 C_R$

$$\begin{aligned} \text{Resultan } 10^3 C_R &= f + g + h + i + j + k \\ &= 0,818 + 0 + -0,0809 + 0,2 + 0,2 + 0,1063 \\ &= 1,2434 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

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 $V = 12 \text{ knot}$ dirubah dalam satuan m/ dtk. Jadi $V = 12 \times 0,5144 = 6,1728 \text{ m/ dtk}$ (berada diantara kecepatan 6 m/ dtk dan 8 m/ dtk). Nilai $10^3 C_F$ didapat dengan menggunakan rumus interpolasi, sbb:

$$L = 110 \text{ m} \quad V = 6 \quad \text{m/ dtk} \quad 10^3 C_F = 1,65$$

$$L = 110 \text{ m} \quad V = 8 \quad \text{m/ dtk} \quad 10^3 C_F = 1,588$$

$$L = 110 \text{ m} \quad V = 6,173 \text{ m/ dtk} \quad 10^3 C_F =$$

$$\begin{aligned} 10^3 C_F &= 1,65 + \left(\frac{6,173 - 6}{8 - 6} \right) \times (1,588 - 1,65) \\ &= 1,645 \end{aligned}$$

n) Koreksi C_F

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

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

$$= \frac{3.009,911}{2.950,987} \times 1,645$$

$$C_F = 1,6774 \times 10^{-3}$$

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

Berdasarkan Ref. 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 Ref. 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 Ref. 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 ($10^3 C_T$)

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

$$= 1,2434 + 1,6774 + 0,4 + 0,07 + 0,04$$

$$= 3,431$$

s) R_T (Hambatan Total)

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

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

$$= 3,431 \cdot 10^{-3} \times 5.874.503,955 \text{ kg}$$

$$= 20.155,423 \text{ kg.}$$

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

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

$$\begin{aligned} \text{EHP} &= \frac{V_s \times R_T}{75} \\ &= \frac{6,1728 \times 20.155,423}{75} \\ &= 1.658,872 \text{ HP} = 1.220,1 \text{ kW} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} w &= -0,05 + (0,5 \times C_b) \\ &= -0,05 + (0,5 \times 0,736) \\ &= 0,318 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} V_a &= (1 - w) \times V_s \\ &= (1 - 0,318) \times 12 \\ &= 8,184 \text{ knot} \end{aligned}$$

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

$$t = k \times w$$

dimana :

$$\begin{aligned} k &= 0,7 - 0,9 \text{ diambil } k = 0,7 \\ t &= 0,7 \times 0,318 \\ &= 0,22 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \eta_h &= \frac{1-t}{1-w} \\ &= \frac{1-0,22}{1-0,318} \\ &= 1,144 \end{aligned}$$

5. *Propulsive Coefficient* (*PC*)

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

Dimana :

η_p = efisiensi propeller 0,45- 0,6, diambil harga 0,6 (kurva KT,KQ,KJ)

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

$$\begin{aligned} PC &= 1,144 \times 1,02 \times 0,6 \\ &= 0,725 \end{aligned}$$

6. Brake Horse Power (BHP)

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= \frac{EHP}{PC} \\ &= \frac{1.658,872}{0,725} \\ &= 2.288,1 \text{ HP} = 1.682,898 \text{ kW} \end{aligned}$$

7. Penentuan NCR (Normal Continuous Rating)

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

$$\begin{aligned} \text{NCR} &= \{ (\textit{sea margin} 15\%) \times \text{BHP} \} + \text{BHP} \\ &= (0,15 \times 2.288,1) + 2.288,1 \\ &= 2.631,32 \text{ HP} \times 0,7355 \\ &= 1.935,336 \text{ kW.} \end{aligned}$$

8. Penentuan MCR (Maximum Continuous Rating)

$$\begin{aligned} \text{MCR} &= \text{NCR} / 0,9 \\ &= 2.631,32 / 0,9 \\ &= 2.923,69 \text{ HP} \times 0,7355 \\ &= 2.150,37 \text{ kW} \end{aligned}$$

TABEL. 1. PERHITUNGAN HAMBATAN KAPAL

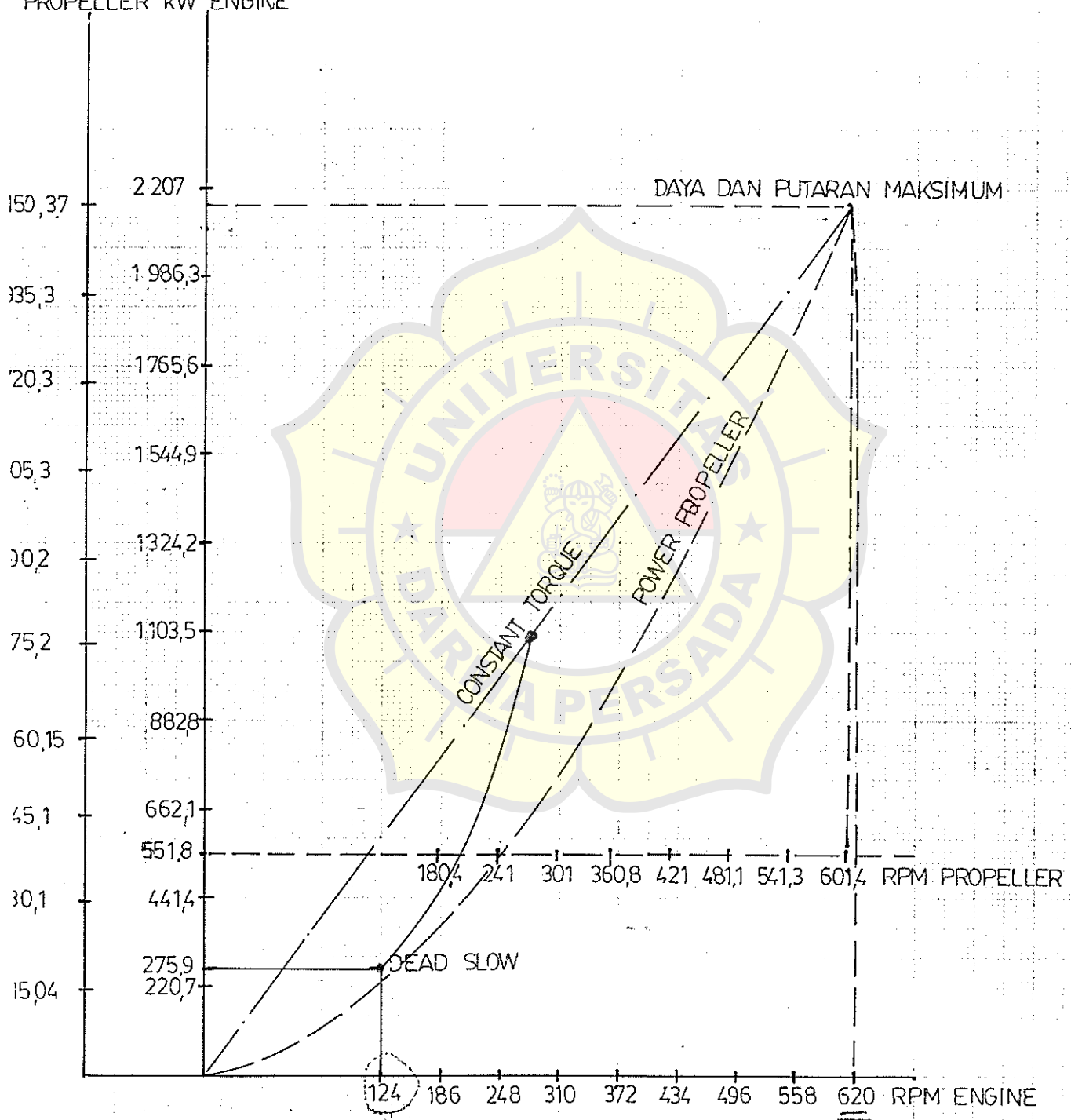
No	RUMUS	SUMBER RUMUS	SATUAN	KECEPATAN (KNOT)						
				10	11	12	13	14		
1	$F_n = \frac{f's}{\sqrt{gxl}}$			0,157	0,172	0,188	0,2036	0,219		
2	V		Knot	10	11	12	13	14		
3	V		m/ dtk	5,144	5,6584	6,1728	6,6872	7,2016		
4	V		(m/ dtk) ²	26,461	32,0175	38,103	44,7186	51,863		
5	$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$		Kg	4.234.520,325	5.029.105,66	5.874.503,955	6.764.811,9	7.695.215,011		
6	$10^3 C_k (L / V^{1,5})$	Gbr. 5.5.6 & 5.5.7		0,999	0,883	0,818	1,017	1,057		
7	Koreksi B / T	Gbr. 5.5.17		0	0	0	0	0		
8	Koreksi LCB	Gbr. 5.5.15 & 5.5.16		-0,198	0,0413	-0,0809	0,0357	0,0857		
9	Koreksi Garis Penamp. Bentuk Depan & Belakang	Gbr. 5.5.20		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2		
10	Koreksi Bentuk Haluan	Gbr. 5.5.21		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2		
11	Koreksi Anggota Badan	Gbr. 5.5.22		0,13	0,115	0,1063	0,132	0,137		
12	Resultan $10^3 C_R$	6+7+8+9+10+11		1,3319	1,4393	1,2434	1,5847	1,6797		
13	$10^3 C_F$ (Grafik ITTC-57)	Gbr. 5.5.14		1,6821	1,6628	1,6446	1,629	1,6125		
14	$10^3 C_F$	S/S x (13)		1,716	1,696	1,6774	1,662	1,6448		
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	$10^3 C_T = C_k + C_F + C_A + C_{AA} + C_{AS}$	12+14+15+16+17		3,5579	3,6453	3,431	3,756	3,835		
19	$R_T = C_T \times (5)$		Kg	15,066	18,332,599	20,155,423	25,410,663	29,507,302		
20	$EHP = \frac{f \times R_T}{75}$		HP	1,033,327	1,383,109	1,658,872	2,265,682	2,833,33		

TABEL. 1. PERHITUNGAN HAMBATAN KAPAL

No	RUMUS	SUMBER RUMUS	SATUAN	KECEPATAN (KNOT)				
				10	11	12	13	14
21	PC			0,708	0,703	0,725	0,6925	0,6877
22	BHP = EHP / PC		HP	1.459,501	1.968,558	2.288,1	3.271,743	4.120,01
23	NCR		HP	1.678,43	2.263,842	2.631,32	3.762,5	4.738
24	NCR		kW	1.234,482	1.665,1	1.935,336	2.767,32	3.484,8
25	MCR		HP	1.864,922	2.515,4	2.923,69	3.635,27	5.264,44
26	MCR		kW	1.371,65	1.850,1	2.150,37	2.673,74	3.872



PROPELLER KW ENGINE



2.1.5 Pemilihan Mesin Penggerak Utama Kapal

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

- ☒ Berat dan Ukuran dari mesin induk
- ☒ Tinggi
Tinggi dari mesin harus diperhatikan, apakah sudah memenuhi persyaratan minimal dari ruang mesin.
- ☒ Tinggi titik pusat poros
Tinggi titik pusat poros ditentukan oleh propeller.
- ☒ Biaya pemakaian bahan bakar.
- ☒ Specific fuel consumption yang kecil.
- ☒ Biaya pemakaian minyak pelumas.
- ☒ Putaran motor dengan putaran propeller yang telah disediakan.
- ☒ Sistem pipa-pipa yang dikondisikan untuk kamar mesin.
- ☒ Ruang yang cukup sehingga memudahkan untuk perawatan dan pengoperasian instalasi mesin.

Berdasarkan tabel hasil perhitungan hambatan kapal dengan menggunakan **metode Harvald**, maka dapat ditentukan besarnya daya mesin yang digunakan kapal **General Cargo 8.000 DWT** ini. Dimana karakteristik mesin yang dipilih adalah sebagai berikut :

- ☒ Merk : **YANMAR.**
- ☒ Type : **6N330-UN.**
- ☒ Daya : **3.000 HP / 2.207 kW.**
- ☒ Putaran Mesin : **620 rpm (Mesin jenis medium speed).**
- ☒ Stroke x Bore : **440 mm x 330 mm.**
- ☒ Cycle : **2 Langkah.**
- ☒ Jumlah Silinder : **6.**
- ☒ Berat : **49 Ton.**
- ☒ Dimensi : **7.651 mm (L); 2.206 mm (W); 3.927 mm (H)**
- ☒ Jumlah : **1 (satu) unit.**

- ❖ SFOC : 132 gr/ BHP.h/ 179 gr/ kW. h
- ❖ SLOC : 1,5 kg/ cyl. 24 h

Dengan telah dipilihnya mesin induk untuk kapal General Cargo ini, maka berdasarkan kurva daya – kecepatan untuk daya mesin 3.000 HP / 2.207 kW kecepatan kapal ini adalah 12 knot.

2.2. Perencanaan Propeller Kapal

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

1. Faktor Arus Ikut (ψ)

$$\begin{aligned}\psi &= -0,05 + (0,55 \times cb) \\ &= -0,05 + (0,55 \times 0,736) \\ &= 0,318\end{aligned}$$

2. Faktor Pengisapan (ν)

$$\nu = k \times \psi$$

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

$$\begin{aligned}\nu &= 0,7 \times 0,318 \\ &= 0,223\end{aligned}$$

3. 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 = BHP – Harga Koreksi

$$= 3.000 \text{ HP} - (3\% + 0,987\% + 0,976\%)$$

$$= 3.000 - (4,963\% \times 3.000)$$

$$= 2.851,11 \text{ HP} / 2.096,991 \text{ kW.}$$

4. Penentuan Angka Sorong (S)

$$\begin{aligned} S &= \frac{R_T}{(1-\nu)} \\ &= \frac{20.155,423}{(1-0,223)} \\ &= 25.940,055 \text{ kg} \end{aligned}$$

5. Kecepatan Air Masuk ke Propeller (v_e)

$$\begin{aligned} v_e &= (1 - \psi) \times V_s \\ &= (1 - 0,318) \times 6,1728 \\ &= 4,21 \text{ m/ s.} \end{aligned}$$

6. Advance Speed of Propeller (V_a)

$$\begin{aligned} V_a &= (1 - \psi) V_s \\ &= (1 - 0,318) \times 12 \\ &= 8,184 \text{ knot.} \end{aligned}$$

7. 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 3% dari putaran mesin induk.

$$\begin{aligned} N &= 620 - (3\% \times 620) \\ &= 601,4 \text{ rpm.} \end{aligned}$$

8. 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 (m).

- ρ : masa jenis air laut 104,49 kg/ m³.
- S : gaya dorong propeller 25.940,055 kg.
- v_e : kecepatan air masuk ke propeller 4,21 m/ s.

$$K'd = 3,488 \times 4,21 \times \sqrt{104,49 / 25.94,055}$$

$$= 1,347$$

$K'd = 1,347$ ($K'd < 2$; disarankan memilih jumlah propeller berdaun 4).

9. 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) 601,4 rpm
- $V_a = 8,184$ knot
- P = tenaga tempat propeller melekat 2.776,596 HP/ 2.042,187.

$$B_p = \frac{601,4 \times (2.776,596)^{0.5}}{(8,184)^{2.5}}$$

$$= 165,389.$$

Dari diagram B_p - δ series, untuk nilai $B_p = 165,389$ dapat diperoleh advanced coefficient (δ) pada beberapa tingkat pembebanan, yaitu :

Untuk series B 4-40 ; $\delta = 306,50$.

Untuk series B 4-55 ; $\delta = 296,25$.

Untuk series B 4-70 ; $\delta = 282,22$.

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

Untuk series B 4-40 ; $\delta_k = 306,50 - 2\% = 300,37$

Untuk series B 4-55 ; $\delta_k = 296,25 - 2\% = 290,33$

Untuk series B 4-70 ; $\delta_k = 282,22 - 2\% = 276,58$

b. Diameter Optimum (D_o)

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

Untuk series B 4-40 ; Do = 11,445 feet = 3,488 m

Untuk series B 4-55 ; Do = 11,062 feet = 3,372 m

Untuk series B 4-70 ; Do = 10,538 feet = 3,212 m

c. Pitch Ratio (Ho/ D)

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

Untuk series B 4-40 ; Ho/D = 0,545

Untuk series B 4-55 ; Ho/D = 0,590

Untuk series B 4-70 ; Ho/D = 0,683

d. Propeller Efficiency (η_p)

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

Untuk series B 4-40 ; $\eta_p = 50,60$.

Untuk series B 4-55 ; $\eta_p = 47,73$.

Untuk series B 4-70 ; $\eta_p = 47,17$.

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 :

10. Kavitas Propeller

Kavitas didefinisikan sebagai proses pembentukan fase uap dari suatu cairan ketika cairan tersebut mengalami pengurangan tekanan pada suhu sekeliling (ambient temperature) yang tetap (Ref. No.1, hal. 189)

a. Konstanta Kavitas

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

Dimana :

— (P-Pv) : Beda tekanan statik

— D : Diameter propeller

— ρ : Kerapatan air laut = 104,49 kg / m³.

— Va : Advanced of speed = 8,184 Knot

$$n = \frac{601,4 \text{ rpm}}{60} = 10,023 \text{ rps.}$$

b. Tekanan Statik Propeller

Tekanan Statik pada sumbu adalah :

- | | | |
|---|---------------|-------------------|
| 1. Draft | $d = 7,2$ | m |
| 2. Tinggi poros propeller | $h_1 = 2,6$ | m |
| 3. Tinggi gelombang ($\frac{3}{4} \% L_{pp}$) | $h_2 = 0,825$ | m |
| Tinggi tekan ($d - h_1 - h_2$) | $h = 3,775$ | m |
| 4. Tekanan air ($h \times 1,025$) | $= 3.869,375$ | kg/m^2 |
| 5. Tekanan udara | $= 10.100$ | kg/m^2 |
| 6. Tekanan uap | $= 200$ | $\text{kg/m}^2 +$ |
| 7. Beda Tekanan Statik | $= 12.434$ | kg/m^2 |

Maka $\delta_{0,7}$ untuk series B4.40 dengan $Do = 3,488$ m adalah :

$$\delta_{0,7} = \frac{((14.169,375) - (0,7 \times (3,488/2) \times 1,025))}{1/2 \times 104,49 [(8,184)^2 + (0,7 \times 3,14 \times 3,488 \times 3,58)^2]}$$

$$= 0,331$$

untuk series B4. 40 dengan $Do = 3,488$ m, didapat $\delta_{0,7} = 0,331$

untuk series B4. 55 dengan $Do = 3,372$ m, didapat $\delta_{0,7} = 0,352$

untuk series B4. 70 dengan $Do = 3,212$ m, didapat $\delta_{0,7} = 0,384$

c. Koefisien Gaya Dorong

Harga koefisien gaya dorong diperoleh dari diagram ' Burril ' untuk

series B4.40 dengan $Do = 3,488$ m, didapat $\sigma_c = 0,143$

series B4.55 dengan $Do = 3,372$ m, didapat $\sigma_c = 0,148$

series B4.70 dengan $Do = 3,212$ m, didapat $\sigma_c = 0,155$

d. Projected Blade Area sesuai perhitungan kavitasi

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

$$= \frac{25.940,055}{0,143 \times \frac{1}{2} \times 104,49 [(8,184)^2 + (0,7 \times 3,14 \times 3,488 \times 3,58)^2]}$$

$$Fp' = 4,233 \text{ m}^2.$$

untuk series B4.40 dengan $\sigma_c = 0,126$, didapat $Fp' = 4,233 \text{ m}^2$.

untuk series B4.55 dengan $\sigma_c = 0,131$, didapat $Fp' = 4,351 \text{ m}^2$.

untuk series B4.70 dengan $\sigma_c = 0,136$, didapat $Fp' = 4,539 \text{ m}^2$.

e. Developed Blade Area sesuai perhitungan kavitasi

$$\rightarrow Fp / Fa = 1,067 - 0,229 Ho / D$$

Dengan $Ho / D = 0,545$ (untuk series B4.40)

$$Fp / Fa = 1,067 - (0,229 \times 0,545)$$

$$= 0,942$$

→ Developed Blade Area Ratio

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

Disc area of the screw

→ Disc area of the screw

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

$$= 3,14 / 4 \times (3,488)^2$$

$$= 9,55 \text{ m}^2.$$

→ Developed Blade Area

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

$$= 0,40 \times 9,55$$

$$= 3,82 \text{ m}^2.$$

→ Projected Blade Area

$$Fp = Fa \times (Fp / Fa)$$

$$= 3,82 \times 0,942$$

$$= 3,598 \text{ m}^2.$$

→ $Fp / Fa = 1,067 - 0,229 Ho / D$

Dengan $Ho / D = 0,59$ (untuk series B4.55)

$$Fp / Fa = 1,067 - (0,229 \times 0,59)$$

$$= 0,932$$

➤ Developed Blade Area Ratio

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

➤ Disc area of the screw

$$\begin{aligned} F &= \pi / 4 \times D^2 \\ &= 3,14 / 4 \times (3,372)^2 \\ &= 8,926 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

➤ Developed Blade Area

$$\begin{aligned} Fa &= 0,55 \times F \\ &= 0,55 \times 8,926 \\ &= 4,909 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

➤ Projected Blade Area

$$\begin{aligned} Fp &= Fa \times (Fp / Fa) \\ &= 4,909 \times 0,932 \\ &= 4,575 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

➤ $Fp / Fa = 1,067 - 0,229 Ho / D$

Dengan $Ho / D = 0,683$ (untuk series B4.70)

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

➤ Developed Blade Area Ratio

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

➤ Disc area of the screw

$$\begin{aligned} F &= \pi / 4 \times D^2 \\ &= 3,14 / 4 \times (3,212)^2 \\ &= 8,099 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

➤ Developed Blade Area

$$\begin{aligned} Fa &= 0,70 \times F \\ &= 0,70 \times 8,099 \\ &= 5,669 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

➤ Projected Blade Area

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

$$= 5,669 \times 0,911$$

$$= 5,164 \text{ m}^2.$$

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

	Do	$\rho_{0,7}$	σ_c	Fp'	Fp/Fa
Series B4.40	3,488	0,331	0,143	4,233	0,942
Series B4.55	3,372	0,352	0,148	4,351	0,932
Series B4.70	3,212	0,384	0,155	4,539	0,911

	Fa/F	F	Fa	Fp
Series B4.40	0,40	9,550	3,820	3,598
Series B4.55	0,55	8,926	4,909	4,575
Series B4.70	0,70	8,099	5,669	5,164

Berdasarkan perhitungan rancangan propeller, maka spesifikasi propeller untuk penggerak kapal General Cargo 8.000 DWT ini adalah :

- Type propeller : B 4.40
- Diameter propeller : 3,488 m
- Pitch ratio propeller (Ho/D) : 0,545
- Jumlah daun propeller (Z) : 4 buah
- Blade area ratio (Fa/F) : 0,40
- Efisiensi propeller (π_p) : 50,6 %

11. Spesifikasi Perhitungan Blade Elemen

a. Panjang Blade Elemen Dari Center Line ke Trailing Edge

Panjang blade elemen pada $0,6 R = 0,2187 \times D = 0,2187 \times 3,488 = 556,592 \text{ mm}$

Tabel – 3.

r/R (1)	% 0,6 R (2)	$L1 = L 0,6R \times (2) \text{ mm}$ (3)
0,2	29,180	222,593
0,3	33,320	254,174
0,4	37,300	284,534
0,5	40,780	311,080
0,6	43,920	335,033
0,7	46,680	356,087
0,8	48,350	368,826
0,9	47,000	358,528

b. Panjang Blade Elemen Dari Center Line ke Leading Edge

Panjang blade elemen pada $0,6 R = 0,2187 \times D = 0,2187 \times 3,488 = 556,592 \text{ mm}$

Tabel – 4.

r/R (1)	% 0,6 R (2)	$L2 = L 0,6R \times (2) \text{ mm}$ (3)
0,2	46,900	357,765
0,3	52,640	401,552
0,4	56,320	429,624
0,5	57,600	439,388
0,6	56,080	427,793
0,7	51,400	392,093
0,8	41,650	317,717
0,9	25,350	193,376

c. Panjang Total Blade Elemen

Panjang blade elemen pada $0,6 R = 0,2187 \times D = 0,2187 \times 3,488 = 556,592$ mm

Tabel – 5

r/R (1)	% 0,6 R (2)	L12 = L 0,6R x (2) mm (3)
0,2	76,080	580,358
0,3	85,960	655,725
0,4	93,620	714,158
0,5	98,380	750,468
0,6	100,000	762,826
0,7	98,080	748,180
0,8	90,000	686,543
0,9	72,350	551,905

d. Jarak Ordinate Maksimum dari Leading Edge

Tabel – 6

r/R (1)	% L (2)	%L x Lt mm (3)
0,2	35,000	203,125
0,3	35,000	229,504
0,4	35,000	249,955
0,5	35,500	266,416
0,6	38,900	296,739
0,7	44,300	331,444
0,8	47,900	328,854
0,9	50,000	275,953

e. Ketebalan Blade Maksimum Pada Ordinate

Tabel – 7.

r/R (1)	% D (2)	D x (2) mm (3)
0,2	3,660	127,661
0,3	3,240	113,011
0,4	2,820	98,362
0,5	2,400	83,712
0,6	1,980	69,062
0,7	1,560	54,413
0,8	1,140	39,763
0,9	0,720	25,114

f. Radius Of The Nose

Tabel – 8.

r/R (1)	% D (2)	D x (2) mm (3)
0,2	0,115	4,011
0,3	0,105	3,662
0,4	0,095	3,314
0,5	0,085	2,965
0,6	0,070	2,442
0,7	0,055	1,918
0,8	0,040	1,395
0,9	0,040	1,395

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	68,107	72,65	92,746	86,90	110,937	96,45	123,129
0,3	50,95	57,579	71,60	80,916	86,80	98,094	96,80	109,395
0,4	47,70	46,919	70,25	69,099	86,55	85,132	97,00	95,411
0,5	43,40	36,331	68,40	57,259	86,10	72,076	96,95	81,159
0,6	40,20	27,763	67,15	46,375	85,40	58,979	96,80	66,852
0,7	39,40	21,439	66,90	36,402	84,90	46,197	96,65	52,59
0,8	40,95	16,283	67,80	26,959	85,30	33,918	96,70	38,451
0,9	45,15	11,339	70,00	17,580	87,00	21,849	97,00	24,361

Tabel. 10. Leading Edge

r/R	20%	mm	40%	mm	60%	mm	80%	mm	90%	mm	95%	mm
0,2	98,60	125,874	94,50	120,640	87,00	111,065	74,40	94,980	64,35	82,150	56,95	72,703
0,3	98,40	111,203	94,00	106,230	85,80	96,963	72,50	81,933	62,65	70,801	54,90	62,043
0,4	98,20	96,591	93,25	91,723	84,30	82,919	70,40	69,247	60,15	59,165	52,20	51,345
0,5	98,10	82,121	92,40	77,350	82,30	68,895	67,70	56,673	56,80	47,548	48,60	40,684
0,6	98,10	67,750	91,25	63,019	79,35	54,801	63,60	43,823	52,50	36,258	43,35	29,938
0,7	97,60	53,107	88,80	48,319	74,90	40,755	57,00	31,015	44,20	24,051	35,00	19,045
0,8	97,00	38,570	85,30	33,918	68,70	27,317	48,25	19,186	34,55	13,738	25,45	10,12
0,9	97,00	24,361	97,00	21,849	70,00	17,580	45,15	11,339	30,10	7,559	22,00	5,525

2. Ordinat Muka

Tabel . 11. Trailing Edge

r/ R	100%	mm	80%	mm	60%	mm	40%	mm	20%	mm
0,2	30,00	38,298	18,20	23,234	10,90	13,915	5,45	6,958	1,55	1,979
0,3	25,35	28,648	12,20	13,787	5,80	6,555	1,70	1,921	-	-
0,4	17,85	17,558	6,20	6,098	1,50	1,475	-	-	-	-
0,5	9,70	8,120	1,75	1,465	-	-	-	-	-	-
0,6	5,10	3,522	-	-	-	-	-	-	-	-
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	0,574	2,30	2,936	5,90	7,532	13,45	17,170	20,30	25,915	26,20	33,447	40,00	51,064
0,3	0,05	0,057	1,30	1,469	4,60	5,199	10,85	12,262	16,55	18,703	22,20	25,088	37,55	42,436
0,4	-	-	0,30	0,295	2,65	2,607	7,80	7,672	12,5	12,295	17,90	17,607	34,50	33,935
0,5	-	-	-	-	0,70	0,586	4,30	3,600	8,45	7,074	13,30	11,134	30,40	25,448
0,6	-	-	-	-	-	-	0,80	0,552	4,45	3,073	8,40	5,801	24,50	16,920
0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,218	2,45	1,333	16,05	8,733
0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,40	2,942

2.2.1. Perhitungan Diameter Poros Propeller

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

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

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 2.207 kW
- ◆ n = Shaft speed 601,4 rpm
- ◆ Cw = Faktor bahan

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

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

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

$$= 1$$

- ◆ $1 - (d_i/d_a)^4 = 1$

◆ Maka :

$$d = 100 \times 1,22 \times \sqrt[3]{\frac{2.207}{601,4 \times 1} \times 1}$$

$$= 188,18 \text{ mm}$$

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

$$d = 100 \times 1,10 \times \sqrt[3]{\frac{2.207}{601,4 \times 1} \times 1}$$

$$= 169,67 \text{ mm.}$$