

BAB II

PERENCANAAN PERHITUNGAN MOTOR INDUK DAN BALING-BALING KAPAL

II.1. Perhitungan Daya Motor Induk

1.1 Hambatan Kapal

Kapal yang berlayar diibaratkan seperti sebuah benda yang bergerak melalui media air dan udara, ini berarti bahwa benda itu akan mengalami gaya hambat (*resistance force*) dari media yang dilaluinya.

Hambatan-hambatan yang dialami sebuah kapal yang bergerak melalui air dan udara itu dapat diuraikan atas :

- a) Hambatan Gesek (*Frictional Resistance*)
- b) Hambatan Tambahan (*Appendage Resistance*)
- c) Hambatan Gelombang (*Wave Making Resistance*)
- d) Hambatan Bentuk (*Eddy Making Resistance*)
- e) Hambatan Udara (*Air Resistance*)

a. Hambatan Gesek (*Frictional Resistance*)

Hambatan gesek ini terjadi karena adanya suatu lapisan atau volume air yang melekat pada bagian kapal yang terbentuk pada permukaan bidang basah kapal yang sedang bergerak dan biasa disebut lapisan batas (*boundary layer*). Di dalam daerah lapisan batas tersebut kecepatan gerak dari partikel-partikel zat cair dalam hal ini air laut, bervariasi dari 0 (*nol*) pada permukaan kulit kapal menjadi maksimum sama dengan besarnya kecepatan gerak aliran zat cair pada tepi dari lapisan batas tersebut. Perubahan atau variasi kecepatan partikel-partikel zat cair inilah yang mencerminkan adanya pengaruh insentif gaya-gaya viskositas pada lapisan batas yang menyebabkan timbulnya tahanan gesek pada kapal tersebut.

b. Hambatan Tambahan (*Appendage Resistance*)

Hambatan Tambahaan adalah hambatan yang disebabkan karena adanya penambahan-penambahan pada bagian badan kapal. Penambahan dari perhitunganya adalah dengan menambahkan sebesar 5% sampai dengan 8% dari pada hambatan total kapal rancangan.

c. Hambatan 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.*

d. Hambatan Bentuk (*Eddy Making Resistance*)

Partikel-partikel air yang bergerak melintasi lambung kapal akan terpecah dan membentuk volume air tertentu dimana partikel-partikel air tadi bergerak dalam satuan pusaran. Karena terjadinya pusaran 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.

e. Hambatan Udara (*Air Resistance*)

Kapal yang berlayar, bagian atasnya (sebagian lambung dan bangunan atasnya) akan mengalami gaya hambatan dari udara. Hambatan udara ini juga terdiri dari komponen-komponen gesek dan komponen bentuk. Tekanan udara yang dialami kapal berkisar antara 2 s/d 4 % dari tahanan total yang dialaminya. Untuk menghitung besarnya hambatan-hambatan kapal tersebut, dapat dipergunakan berbagai cara misalnya dengan percobaan memakai model towing tank atau dengan cara

pendekatan. Yang dimaksud dengan cara pendekatan adalah cara perhitungan dengan menggunakan rumus pendekatan. Dalam tugas merancang kapal ini, perhitungan hambatan yang digunakan adalah perhitungan yang terdapat dalam *Harvald* terjemahan Sutomo Jusuf (1992:95 - 134).

1.2 Diagram Guldhammer dan Harvald

Hambatan (R) dan daya efektif (P_E) untuk kapal dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$R = C_r \times (1/2 \times \rho \times V^2 \times S) \quad (\text{N})$$

$$P_E = R \times V_s \quad (\text{kW})$$

Dalam hal ini koefisien hambatan totalnya adalah :

$$C_T = C_R + C_F + C_A$$

Dimana :

C_R = Koefisien hambatan sisa untuk bentuk kapal standar, dapat diambil dari diagram $L/\nabla^{1/3}$

C_F = Koefisien hambatan gesek dan dapat dihitung dengan memakai:

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10} R_n - 2)^2}$$

Atau dapat diambil dari diagram menurut ITTC 1957 dalam *Harvald* (1992:129), dimana koefisien tahanan gesek C_F sebagai fungsi panjang kapal L dan kecepatan V .

Penambahan hambatan tersebut harus dicari dengan mengalikan penyimpangan LCB dari harga LCB_{standar} . yaitu :

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

Dengan faktor $\partial 10^3 C_R / \partial LCB$, dari grafik koreksi koefisien hambatan sisa dalam *Harvald* (1992:130) dan ini hanya berlaku untuk LCB yang berada di depan LCB_{standar} . Mengenai LCB yang berada dibelakang LCB_{standar} , semua sumber yang ada mempunyai pendapat yang saling bertentangan, namun demikian karena kecenderungannya kecil maka pengabaian koreksi dalam hal ini

tidak akan memberi kesalahan yang berarti. Karena kapal pada umumnya berbeda dengan standar yang ada dengan perbedaan tertentu, lebih besar maupun lebih kecil maka harus dilakukan koreksi, adapun koreksi tersebut adalah sebagai berikut :

1. Koreksi LCB

Semua kurva (C_R) tersebut dimaksudkan untuk kapal yang letak titik benam memanjangnya dekat dengan letak yang saat ini dipandang sebagai letak yang terbaik dan memungkinkan.

Letak (LCB) yang optimum merupakan kuantitas yang masih agak meragukan dan semua kepustakaan yang ada menunjukkan pendapat yang berbeda-beda sehingga memberikan gambaran yang membingungkan, namun demikian ketergantungan hambatan kapal pada (LCB) nampak jelas pada kecepatan tinggi. Sebagai upaya untuk mengatasi kerancuan tersebut maka semua informasi yang ada dikumpulkan dan diringkas dalam diagram $LCB_{standar}$ dalam *Harvald* (1992:130).

Sebagaimana disebutkan sebelumnya, karena letak $LCB_{standar}$ dianggap merupakan letak yang memberikan hambatan yang paling kecil maka letak yang lain pada prinsipnya akan memberikan hambatan yang lebih besar. Adapun nilai koreksi tersebut adalah :

$$10^3 C_R = 10^3 C_{R(standar)} + \frac{\partial 10^3 C_R}{\partial LCB} |\Delta LCB|$$

2. Koreksi B/T

Diagram tersebut dibuat berdasarkan ratio lebar-sarat $B/T = 2,5$ maka harga C_R untuk kapal yang mempunyai ratio lebar-sarat lebih besar atau lebih kecil daripada harga tersebut harus dikoreksi. Berdasarkan hasil pemeriksaan materi pengujian yang ada saat ini disarankan memakai rumus koreksi berikut ini :

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

Hasil koreksi ini dapat mempunyai harga yang negatif atau positif.

3. Koreksi Bentuk Penampang Melintang

Sebagaimana disebutkan sebelumnya, kurva hambatan yang diperoleh berdasarkan diagram $L/\nabla^{1/3}$ dan ITTC-57 dalam *Harvald* (1992) dianggap berlaku untuk kapal yang mempunyai bentuk standar, yaitu penampangnya bukan benar-benar berbentuk (U) ataupun (V). Karenanya dalam menghitung daya efektif untuk perancangan awal umumnya tidak diperlukan koreksi untuk bentuk penampang badan kapal.

Jika penampang tersebut merupakan penampang (U) atau (V) yang ekstrem maka untuk harga $10^3 C_R$ dapat dikoreksi sebagai mana berikut :

Badan depan	ekstrem U	ekstrem V
	- 0,1	+ 0,1
Badan belakang	ekstrem U	ekstrem V
	+ 0,1	- 0,1

Koreksi ini berlaku untuk kecepatan V/\sqrt{gL} dalam rentang 0,20 ~ 0,25. Selain itu, bentuk standar harus dipandang sebagai bentuk yang mempunyai garis yang di rancang dengan baik, jika garis perancangan tersebut harus diubah untuk menyesuaikan kebutuhan operasional kapal atau besarnya daya harus diberikan kelonggaran, maka disarankan agar C_R dinaikkan sebesar 10% dan untuk garis perancangan yang tidak optimal diberikan 20%.

4. Koreksi Anggota Badan Kapal

Daun Kemudi : Tidak ada koreksi, karena bentuk standar sudah mencakup daun kemudi.

Lunas Bilga : Tidak ada koreksi.
(Lunas Sayap)

Boss Baling- : Untuk kapal penuh, C_R dinaikkan sebesar 3% - 5%.
baling

5. Koreksi Hambatan Tambahan

Pemberian koreksi pada C_{FS} untuk kapal merupakan cara yang umum dilakukan dalam praktek dan sudah bertahun-tahun lamanya diterapkan untuk memperhitungkan pengaruh kekasaran permukaan kapal mengingat bahwa permukaan kapal tidak akan pernah semulus permukaan model. (Ref. No. 9 hal 98)

Untuk kapal dengan $L \leq 100$ m,	$10^3 C_A = 0,40$
$L = 150$ m	$10^3 C_A = 0,20$
$L = 200$ m	$10^3 C_A = 0$
$L = 250$ m	$10^3 C_A = -0,20$
$L \geq 300$ m	$10^3 C_A = -0,30$

6. Koreksi Anggota Badan Kapal

Koreksi pada anggota badan kapal, digunakan rumus sebagai berikut :

$$C_{F'} = C_F \frac{S}{S'}$$

Dimana :

S = Luas permukaan basah badan kapal dan

S' = Luas Permukaan Basah Sepanjang Aw

7. Koreksi Hambatan Udara dan Kemudi

$$\text{Koreksi hambatan udara} = 10^3 C_{AA} = 0,07$$

$$\text{Koreksi hambatan kemudi} = 10^3 C_{AS} = 0,04$$

8. Koreksi Pelayaran Dinas (*Sea Margin*)

Hambatan dan daya efektif dihitung dengan memakai diagram yang diberikan. Disini berlaku untuk kapal dalam kondisi pelayaran percobaan, yaitu untuk kondisi ideal dari segi angin, gelombang, kedalaman air dan kemulusan badan kapal. Untuk kondisi rata-rata pelayaran dinas harus diberikan kelonggaran tambahan pada hambatan dan daya efektif yang disebabkan oleh angin, laut, korosi dan *fouling* pada badan kapal.

Tambahan kelonggaran ini sangat tergantung pada jalur pelayaran, kelonggaran rata-rata untuk pelayaran dinas (sering disebut dengan *sea margin* atau *service margin*) untuk hambatan atau daya efektif adalah sebagai berikut :

- Jalur pelayaran Atlantik Utara, ke Timur, untuk musim panas 15 % dan musim dingin 20 %.
- Jalur pelayaran Atlantik Utara, ke Barat, untuk musim panas 20 % dan musim dingin 30 %.
- Jalur pelayaran Pasifik, 15 - 30 %.
- Jalur pelayaran Atlantik Selatan dan Australia, 12 - 18 %.
- Jalur pelayaran Asia Timur, 15 - 20 %.
- Untuk perairan Indonesia dan Asia Tenggara, 10 - 15 %

1.3 Data-data Kapal

- Tanker Product Oil HSD (High Speed Diesel) 7000 DWT

Principle Dimention :

Loa : 115,5 Meters

Lpp : 105 Meters

Lwl : 107 Meters

Breadth (B) : 19,7 Meters

Depth (D) : 9,5 Meters

Draught (T) : 6 Meters

Vs : 12 Knots

DWT : 7000 DWT

Cb : 0,752

Cm : 0,990

Cp : 0,760

Cw : 0,834

Disp Δ : 9.566,4 Tons

Disp ∇ : 9.333,1 m³

- Biro klasifikasi.

Kapal ini di design dengan meggunakan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).

- Tanda class klasifikasi instalasi mesin.

Tanda class pada kapal tangker ini adalah dengan tanda : (SM), artinya instalasi mesin seluruhnya memenuhi peraturan BKI.

- Bendera kebangsaan kapal.

Kapal ini dalam pengoprasiannya, berbendera kebangsaan "Indonesia".

1.4 Perhitungan Koefisien-koefisien Kapal.

1. Displacement (Δ)

$$\Delta = L_{pp} \times B \times T \times C_b \times \gamma \quad (\text{Ref. No. 9, hal 6})$$

$$= 105 \times 19,7 \times 6 \times 0,752 \times 1,025$$

$$\Delta = 9.566,4 \text{ tons}$$

2. Midship Section Area Coefisien (C_m)

$$C_m = 0,93 + 0,08 \times C_b$$

$$= 0,93 + 0,08 \times 0,752$$

$$C_m = 0,990$$

3. Midship Section Area (A_m)

$$A_m = B \times T \times C_m \quad (\text{Ref. No. 9, hal 77})$$

$$= 19,7 \times 6 \times 0,990$$

$$A_m = 117,02$$

4. Perismatic Corfisien (C_p)

$$C_p = \frac{C_b}{C_m} \quad (\text{Ref. No. 9, hal 77})$$

$$= \frac{0,752}{0,990}$$

$$= 0,760$$

5. Water Plan Area Coefisien (C_w)

$$C_w = 0,18 + (0,86 \times C_p)$$

$$= 0,18 + (0,86 \times 0,760)$$

$$C_w = 0,834$$

6. Water Plan Area (A_w)

$$A_w = L_{pp} \times B \times C_w \quad (\text{Ref. No 9, hal 5})$$

$$= 105 \times 19,7 \times 0,834$$

$$A_w = 1.725,13 \text{ m}^2$$

7. Luas Permukaan Basah Kapal (S)

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

Dimana :

$$\begin{aligned}\delta_{pp} &= \frac{Cb \times L_{oa}}{L_{wl}} \\ &= \frac{0,752 \times 115,5}{107}\end{aligned}$$

$$\delta_{pp} = 0,812$$

$$\begin{aligned}S &= 1,025 \times 105 \times (0,812 \times 19,7 + 1,7 \times 6) \\ &= 2.719,39 \text{ m}^2\end{aligned}$$

8. Luas Permukaan Basah Sepanjang Aw (S')

$$\begin{aligned}S' &= 1,025 \times L_{wl} \times (\delta_{pp} \times B + 1,7 \times T) \\ &= 1,025 \times 107 \times (0,812 \times 19,7 + 1,7 \times 6) \\ &= 2.783,09 \text{ m}^2\end{aligned}$$

9. Ratio S/S'

$$\begin{aligned}\frac{S}{S'} &= \frac{2.719,39}{2.783,09} \\ &= 0,977\end{aligned}$$

10. Volume Displacement (∇ Displ)

$$\begin{aligned}\nabla_{Displ} &= L_{pp} \times B \times T \times C_b \\ &= 105 \times 19,7 \times 6 \times 0,752 \\ &= 9.333,1 \text{ m}^3\end{aligned}$$

(Ref. No. 9, hal 5)

11. Perbandingan Lebar dan Sarat Kapal (B/T)

Grafik harga C_R untuk kapal yang mempunyai rasio lebar sarat kapal Lebih besar atau lebih kecil $B/T = 2,5$ harus dikoreksi dengan rumus :

$$10^{-3}C_R = 10^{-3}C_{R(B/T=2,5)} + \underbrace{0,16(B/T - 2,5)}_{\text{koreksi}} \quad (\text{Ref. No. 9, hal 95})$$

$$\begin{aligned} B/T &= \frac{19,7}{6} \\ &= 3,28 \end{aligned}$$

1.5. Perhitungan Tahanan Kapal Pada Kecepatan 12 Knots.

1. Froude Number (Fn)

$$Fn = \frac{Vs}{\sqrt{g \times lwl}} \quad (\text{Ref. No. 9, hal 8})$$

Dimana :

$$\begin{aligned} Vs &= \text{Kecepatan kapal dalam m/dt} \\ &= 12 \times 0,5144 \text{ m/dt} \\ &= 6,173 \text{ m/dt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g &= \text{Gaya grafitasi} \\ &= 9,81 \text{ m/dt}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} Fn &= \frac{6,173}{\sqrt{9,81 \times 107}} \\ &= 0,191 \end{aligned}$$

2. $Vs = 12 \text{ knots}$

3. $Vs = 12 \times 0,5144 \text{ m/dt}$
 $= 6,173 \text{ m/dt}$

4. $Vs^2 = 38,11 \text{ m}^2/\text{dt}^2$

2. Tahanan total

$$R_T = C_T \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot V_s^2$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \rho &= \text{Massa jenis (kg.dt}^2/\text{m}^4) \\ &= 104,49 \text{ kg.dt}^2/\text{m}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \text{Luas permukaan basah kapal} \\ &= 2.719,39 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot V_s^2 = 0,5 \times 104,49 \times 2.719,39 \times 38,11$$

$$= 5.214.460,359 \text{ kg} \times \left[\frac{9,81}{1000} \right]$$

$$= 52.115,86 \text{ kN} \quad (\text{Ref. No. 9, hal. 83})$$

6. Residual Coefisien ($10^{-3}C_R$)

Residual coefisien atau tahanan sisa (C_R) dapat diperoleh dari grafik yang merupakan fungsi dari perbandingan panjang-volume ($L/\nabla^{1/3}$) dan bilangan Froude (F_n). (Ref no. 9, hal 102-103)

Diketahui :

$$L_{wl} = 107 \text{ m}$$

$$\nabla = 9.333,1 \text{ m}^3$$

$$L/\nabla^{1/3} = 5,08$$

Nilai C_R untuk kapal standar didapat gambar 9.9.3 dan 9.9.4 (Ref. No. 9, hal 102-103)

$$L/\nabla^{1/3} = 5,00 \quad F_n = 0,191 \quad 10^{-3}C_R = 1,02$$

$$L/\nabla^{1/3} = 5,50 \quad F_n = 0,191 \quad 10^{-3}C_R = 0,9$$

$$L/\nabla^{1/3} = 5,08 \quad F_n = 0,191 \quad 10^{-3}C_R = \dots\dots$$

$$10^{-3}C_R = 1,02 + \left[\frac{(5,08-5)}{(5,5-5)} \right] \times (0,9-1,02)$$

$$10^{-3}C_R = 1,0$$

7. Koreksi B/T

Grafik harga C_R untuk kapal yang mempunyai rasio lebar sarat kapal lebih besar atau lebih kecil $B/T = 2,5$ harus dikoreksi dengan rumus :

$$10^{-3}C_R = 10^{-3}C_{R(B/T=2,5)} + \underbrace{0,16(B/T - 2,5)}_{\text{koreksi}} \quad (\text{Ref. No. 9, hal 95})$$

Harga koreksi tersebut dapat positif atau negatif.

Beam draft ratio kapal $B/T = 6$, maka koreksi sebagai berikut :

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

$$\begin{aligned} 10^{-3}C_R &= 0,16 (3,28-2,5) \\ &= 0,125 \end{aligned}$$

8. Koreksi LCB

Koreksi lain untuk tahanan sisa adalah :

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

Dimana :

$$LCB_{\text{standar}} = 0,8 \% \quad (\text{Berdasarkan gbr 5.5.15}) \quad (\text{Ref. No. 9, hal 95})$$

$$\begin{aligned} LCB &= \frac{LCB \times Lpp}{100} \\ &= \frac{0,8 \times 105}{100} \\ &= 0,84 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LCB &= 0,84 \% - 0,8 \% \\ &= 0,04 \% \end{aligned}$$

Faktor ($\delta 10^{-3}C_R / \delta LCB$) untuk tiap 1 % LCB didapat dari :

$$\frac{\delta 10^{-3}C_R}{\delta LCB} = 0,55 \quad (\text{Berdasarkan gambar 5.5.16}) \quad (\text{Ref. No. 9, hal. 96})$$

$$\begin{aligned} \text{Koreksi terhadap } 10^{-3}C_R &= \frac{\delta 10^{-3}C_R}{\delta LCB} \times \Delta LCB \\ &= 0,55 \times 0,04 \\ &= 0,022 \end{aligned}$$

9. Koreksi Bentuk Penampang Depan dan Belakang

Koreksi $C_R = 0$ (bentuk standar)

(Ref. No. 9. hal. 96)

10. Koreksi Bentuk Haluan

Koreksi $C_R = 0$ (karena kapal bentuk haluan tanpa bulbous)

(Ref. No. 9. hal. 96)

11. Koreksi anggota badan kapal

a. Daun Kemudi = Tidak ada koreksi, karena kapal standar telah memasukan terpasangnya daun kemudi = (0)

b. Lunas bilga = Tidak ada koreksi = (0)

c. Boss baling-baling = Harga C_R dinaikan 3%-5%
= $1,0 \times 3\%$
= 0,03

d. Shaft propeller = Harga C_R dinaikan 5%-8%
= $1,0 \times 5\%$
= 0,05

(Ref. No. 9. hal. 97)

Jadi, koreksi anggota badan kapal

$$10^{-3}C_R = (0) + (0) + (0,03) + (0,05)$$

$$10^{-3}C_R = 0,08$$

12. Result $10^{-3}C_R$

$$10^{-3}C_R = \text{No. 6} + \text{No. 7} + \text{No. 8} + \text{No. 9} + \text{No. 10} + \text{No. 11}$$

$$= 1,0 + 0,125 + 0,022 + 0 + 0 + 0,08$$

$$= 1,23$$

13. Reynold Number (Rn)

(Ref. No. 9. hal. 8)

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Vs \times Lwl}{\nu} \\ &= \frac{6,173 \times 107}{0,9425 \times 10^{-6}} \\ &= 700,8 \times 10^6 \end{aligned}$$

Viscositas air laut pada temp 25°c.v = 0,9425 cst atau 0,9425 x 10⁻⁶ m²/dt.

14. Koefisien tahanan gesek (C_F)

Dapat diperoleh dari gambar 9.9.10 (ref. 9, hal. 109) yang merupakan fungsi dari panjang kapal (L_{pp}) dan kecepatan (V_s).

$$Lwl = 107 \text{ m} \quad Vs = 6,000 \quad 10^{-3}C_F = 1,55$$

$$Lwl = 107 \text{ m} \quad Vs = 7,000 \quad 10^{-3}C_F = 1,53$$

$$Lwl = 107 \text{ m} \quad Vs = 6,173 \quad 10^{-3}C_F = \dots\dots$$

$$10^{-3}C_F = 1,55 + \left[\frac{(6,173 - 6,000)}{(7,000 - 6,000)} \right] \times (1,53 - 1,55)$$

$$10^{-3}C_F = 1,56$$

15. Koreksi C_F

(Ref. No 9, hal. 132)

$$\begin{aligned} 10^{-3}C_F &= \frac{S}{S'} \times 10^{-3}C_F \\ &= \frac{2.819,39}{2.873,09} \times 1,56 \end{aligned}$$

$$10^{-3}C_F = 1,616$$

16. Tahanan Tambahan (C_A)

Untuk kapal L ≤ 100 m

(Ref. No. 9, hal. 98)

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

17. Tahanan Udara (C_{AA})

(Ref. No. 9, hal. 98)

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

18. Tahanan Kemudi (C_{AS})

(Ref.No. 9, hal. 98)

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

19. Koefisien Tahanan Total (C_T)

$$\begin{aligned} 10^{-3}C_T &= C_R + C_F + C_A + C_{AA} + C_{AS} \\ &= 1,23 + 1,56 + 0,4 + 0,07 + 0,04 \\ &= 3,3 \end{aligned}$$

20. Tahanan Total

$$\begin{aligned} R_T &= C_T(1/2.\rho.S.Vs^2) && \text{(Ref.No. 9, hal. 83)} \\ &= 3,3 \times 10^{-3} \times 5.214.460,359 \text{ kg} \\ &= 17.207,7 \text{ kg} \times \left[\frac{9,81}{1000} \right] \\ &= 168,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

1.6. Perhitungan Daya-daya Mesin dan Pemilihan Penggerak Kapal.

1. Efektif Horse Power (EHP)

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

$$\begin{aligned} \text{EHP} &= \frac{V_s \times R_T}{75} \\ &= \frac{6,173 \times 17.207,7}{75} \\ &= 1.376,6 \text{ HP} \end{aligned}$$

(Ref. No. 9, hal. 52)

2. Shaft Horse Power (SHP)

$$P.C = \eta_H \times \eta_{rr} \times \eta_o$$

Dimana :

η_o = Efisiensi baling-baling dari percobaan model (0,50-0,65)

η_{rr} = Efisiensi rotary relative (single screw $< 1,00 \approx \pm 1,02$)

η_H = Efisiensi lambung Kapal

$$\eta_H = \frac{(1-t)}{(1-w)}$$

- Faktor arus ikut (w) menurut Taylor untuk kapal berbaling-baling tunggal (single screw)

$$\begin{aligned}w &= -0,05 + (0,50 \times C_b) \\ &= -0,05 + (0,50 \times 0,752) \\ &= 0,326\end{aligned}$$

- Faktor pengisapan (t) menurut Taylor untuk kapal berbaling-baling tunggal (single screw) $t = k.w$

Koefisien = 0,55~0,70

$$t = 0,55 \times 0,326 = 0,179$$

$$\eta_H = \frac{(1-t)}{(1-w)}$$

$$= \frac{(1-0,179)}{(1-0,326)}$$

$$= 1,218$$

Maka :

$$\begin{aligned}P.C &= \eta_H \times \eta_{rr} \times \eta_o \\ &= 1,218 \times 1,00 \times 0,55 \\ &= 0,67 = 67\%\end{aligned}$$

Jadi, Shaft Horse Power (SHP)

$$SHP = \frac{1}{P.C} \times EHP$$

$$= \frac{1}{0,67} \times 1.376,6 \text{ HP} = 2.054,6 \text{ HP}$$

(Ref. No. 9 hal 79)

3. Brake Horse Power (BHP)

Daya yang diperlukan mesin induk yang digunakan sebagai penggerak kapal, biasanya diambil ketentuan kerugian daya karena ada gesekan-gesekan pada :

2% kerugian daya di gear box

3% letak kamar mesin dibelakang

10% penambahan sea margin (Ref. No. 9 hal 98)

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= \text{SHP} + (\text{gear box} + \text{letak kamar mesin} + \text{sea margin}) \\ &= 2.161,8 \text{ HP} \times 15\% \\ &= (1 + 0,15) \times 2.054,6 \text{ HP} \\ &= 2.362,79 \text{ HP} \times 0,7356 \\ &= 1.738,1 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan hambatan maka dapat ditentukan daya mesin yang digunakan untuk kapal rancangan. Dimana besarnya daya mesin dan dimensi mesin yang dipilih adalah sebagai berikut :

- Merk : MAN B & W
- Type : S26MC
- Jumlah Silinder : 6L
- Bore & Stroke : 260mm x 980mm
- Daya : 2610 HP /(1920 kW)
- Putaran mesin : 250 rpm
- Mean Effective Pressure : 14,8 bar
- Konsumsi BBM (SFOC) : 174 g/kw.h atau 128 g/BHP.h
- Dimensi : 4222mm x 2510mm x 3520mm

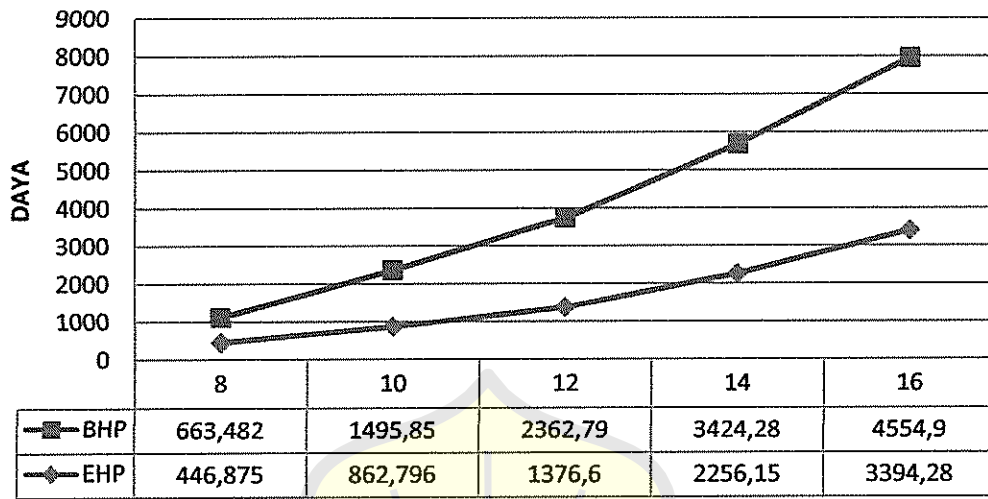
Dengan menggunakan mesin induk diatas maka kecepatan kapal yang Dicapai adalah sebesar 12,77 knots

TABEL PERHITUNGAN DAYA MESIN KAPAL PADA 5 KECEPATAN

RUMUS	Satuan / Sumber Rumus	Kecepatan - Knot*				
		8	10	12	14	16
V_s	Knot*	8	10	12	14	16
V_s	m / dt	4,115	5,144	6,173	7,202	8,230
V_s^2	m^2 / dt^2	16,93	26,46	38,11	51,87	67,73
$F_n = V_s / \sqrt{g \times Lwl}$		0,127	0,159	0,191	0,222	0,254
$\frac{1}{2} \rho \cdot s \cdot V^2$	kg	2.493.772,59	3.897.532,35	5.613.566,1	7.640.400,715	9.976.990,506
$10^3 C_R (L/V^{1/3})$	Gambar 5.5.6 - 5.5.7	0,68	0,784	1,000	1,652	2,936
Koreksi B/T	Gambar 5.5.17	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
Koreksi LCB	Gambar 5.5.15 - 5.5.16	0,055	0,012	0,034	-0,95	-0,034
Koreksi Garis Penampang	Gambar 5.5.20	0	0	0	0	0
Koreksi Bentuk Haluan	Gambar 5.5.21	0	0	0	0	0
Koreksi anggota Badan Kapal	Gambar 5.5.22	0,141	0,141	0,141	0,141	0,141
Result $10^3 C_R$	$6 + 7 + 8 + 9 + 10 + 11$	1,0	1,062	1,300	0,968	3,168
$R_n = (V_s \times Lwl) / \bar{v}$		467,167x 10 ⁶	583,987x 10 ⁶	700,8x 10 ⁶	817,627x 10 ⁶	934,334x 10 ⁶
$10^3 C_F$ ITTC - 1957	Gambar 5.5.21	1,744	1,693	1,647	1,638	1,585
$10^6 R_{\eta}$	$S'/S \times 10^3 C_F$	1,711	1,661	1,616	1,607	1,555
$10^3 C_A$	Gambar 5.5.23	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
$10^3 C_{AA}$	Gambar 5.5.26	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
$10^3 C_{AS}$	Gambar 5.5.27	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
$10^3 C_T = C_R + C_F + C_A + C_{AA} + C_{AS}$	$12 + 15 + 16 + 17 + 18$	3,254	3,265	3,457	3,116	5,263
$R_T = C_T (\frac{1}{2} \rho \cdot s \cdot V_s^2)$	Kg	8.144,736	12.725,443	17.406,1	20.807,489	48.508,9
EHP = $V_s \cdot R_T / 75$	HP	446,875	862,796	1.376,6	2.286,15	3.161,98
P.C	$\eta_H \times \eta_{tr} \times \eta_0$	0,687	0,687	0,687	0,687	0,687
SHP = $(1/P.C) \times EHP$	HP	650,473	1.270,446	2.161,8	3.327,73	4.387,16
BHP	HP	663,482	1.495,85	2.362,79	3.394,28	4.554,9

*1 Knot = 0,5144 m/s

GRAFIK 5 KECEPATAN



II.2 Penentuan Ukuran Utama Baling-Baling Kapal

Baling-baling adalah suatu alat penggerak kapal yang dapat menghasilkan daya dorong yang melebihi hambatan total kapal, sehingga kapal dapat bergerak dengan kecepatan yang direncanakan. Sebagai alat penggerak kapal, kondisi kerja baling-baling dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti ; hubungan kerjanya dengan lambung kapal, pengaruh kavitasi, bentuk dan ukuran geometris baling-baling tersebut.

Kapal yang sedang berlayar merupakan suatu benda yang bergerak di air dan udara. Pada saat kapal bergerak maka dengan sendirinya kapal tersebut akan mengalami gaya lawan (*Resisting Force*) dari media yang dilaluinya. Gaya yang menahan tersebut harus diatasi dengan gaya dorong ke depan yang diberikan oleh suatu mekanisme penghasil gaya dorong. Mekanisme demikian adalah baling-baling. Baling-baling ini menghasilkan gaya dorong searah dengan gerakan kapal. Gaya dorong ini ditimbulkan dari gaya angkat (*lift*) yang timbul pada semua bagian yang bergerak.

Sistim propulsi yang terdiri dari propulsi (baling-baling kapal), mesin penggerak dan badan kapal (*hull*) harus dirancang yang paling efisien. Yaitu, jumlah energi yang diperlukan untuk gaya dorong kapal harus sekecil mungkin. Dengan kata lain, semua elemen dalam dari sistim propulsi harus saling secocok mungkin. Sementara itu, kapal harus mempunyai kemampuan oleh gerak dan ujuk kerja yang baik.

Adapun beberapa hal yang berpengaruh terhadap perancangan baling-baling kapal adalah antara lain :

- Diameter baling-baling optimum.
- *Thrust Horse Power*.
- Putaran baling-baling.
- Jumlah daun baling-baling.
- Efek kavitasi terhadap baling-baling dan kekuatan propeler.

2.1. Perencanaan Baling-Baling Kapal

Perencanaan penentuan dimensi baling-baling akan sangat menentukan terhadap hasil kerja kapal yang direncanakan. Adapun perencanaan baling-baling tersebut adalah. Baling-baling yang memakai tipe “B” Wegeningen sedangkan perencannanya memakai

1. Faktor Arus Ikut (w)

Menurut Taylor, Faktor arus ikut (w) untuk kapal berbaling-baling tunggal (single screw) :

$$\begin{aligned}w &= -0,05 + (0,50 \times C_b) \\ &= -0,05 + (0,50 \times 0,752) \\ &= 0,326\end{aligned}$$

2. Penentuan Angka Dorong (Thrust)

$$\begin{aligned}T &= R_T / (1 - t) \\ &= 19.406,1 / (1 - 0,228) \\ &= 25.137,44 \text{ kg}\end{aligned}$$

3. Kecepatan Air Masuk ke Baling-Baling (ve)

$$\begin{aligned}v_e &= (1 - w) \times V_s \text{ (m/dt)} \\ &= (1 - 0,326) \times 12,77 \times 0,5144 \\ &= 4,43 \text{ (m/dt)}\end{aligned}$$

4. Diameter Baling-Baling Tentative (D)

$$\begin{aligned}D &= 0,7 \times T \\ &= 0,7 \times 6 \\ &= 4,2 \text{ m}\end{aligned}$$

4. Advance Speed of Propeller (Va) (Ref. 9, hal. 82)

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

dimana :

$$V_a = \text{Advance speed of propeller (Knot)}$$

$$V_s = \text{kapal rancangan (knot)} = 12,77 \text{ Knot}$$

$$w = \text{Faktor arus ikut} = 0,326$$

$$\begin{aligned} V_a &= (1 - 0,326) \times 12,77 \\ &= 8,61 \text{ Knot} \end{aligned}$$

5. Jumlah Putaran Baling-Baling (N)

$$\text{RPM Mesin} = 250 \text{ rpm}$$

$$\text{Reduction Gear} = 1 : 2$$

$$\text{Putaran Baling – baling} = 125 \text{ rpm}$$

Akibat adanya wake fraction, thrust deduction, gesekan pada bantalan poros dan penempatan dari mesin induk, akan mengurangi putaran mesin yang sampai ke baling-baling. Untuk itu dilakukan koreksi Scale Effect sebesar -3 % (untuk kapal berbaling-baling tunggal / single screw) dari putaran baling-baling :

$$N = 125 \times 0,97$$

$$= 121,25 \text{ rpm}$$

$$n = 2,021 \text{ rps}$$

7. Penentuan Jumlah Daun Baling-Baling (Z)

- Bila harga koefisien $K'd \leq 2$ 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 :

$$K'd = D \times v_e \times \sqrt{\rho/T}$$

$$= 4,2 \times 4,43 \times \sqrt{104,49/25.137,44}$$

$$= 1,2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 K'n &= \frac{ve}{\sqrt{n}} \times \sqrt{\frac{\rho}{T}} \\
 &= \frac{4,43}{\sqrt{2,021}} \times \sqrt{\frac{104,49}{25.137,44}} \\
 &= 0,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Karena $K'd \leq 2$ dan $K'n \leq 1$, maka dipilih baling-baling berdaun 4 untuk kapal rancangan.

8. Penentuan harga Delivery Horse Power (DHP)

- a. Letak kamar mesin

Kamar mesin di belakang, koreksi = - 3 %

- b. Koreksi daya pada Reduction Gear

Reduction Gear = - 2 %

- c. Koreksi daya ke metric

Koreksi HP ke metric = $\frac{75}{76}$ (British)

- d. Koreksi air tawar ke air laut

Sebesar = $\frac{1,000}{1,025}$

DHP = BHP - Harga koreksi

dimana : BHP = 2610 HP

$$\begin{aligned}
 \text{DHP} &= (2610 \text{ HP} - 3 \% - 2 \%) \times \frac{75}{76} \times \frac{1,000}{1,025} \\
 &= 2.387,2 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

9. Diameter Optimum, Pitch Ratio dan Propeller Efficiency

- a. Koefisien Baling-Baling

$$Bp = \frac{N \times P^{0,5}}{Va^{2,5}}$$

dimana ;

N = Putaran baling-baling = 121,25 rpm

$$V_a = 8,61 \text{ Knot}$$

$$P = \text{Tenaga ditempat baling-baling melekat (DHP)} \\ = 2.387,2 \text{ HP}$$

$$B_p = \frac{121,25 \times 2.387,2^{0,5}}{(8,61)^{2,5}} \\ = 27,23 \text{ atau } = 27$$

Dari diagram $B_p - \delta$, untuk nilai $B_p = 27$ dapat diperoleh Advanced Coefficient (δ) pada beberapa tingkat pembebanan, yaitu :

$$\text{Untuk series B4 - 40 ; } \delta = 210$$

$$\text{Untuk series B4 - 55 ; } \delta = 204$$

$$\text{Untuk series B4 - 70 ; } \delta = 200 \text{ (Ref. 12, hal.414)}$$

Dalam perencanaan baling-baling tunggal (Single Screw) (δ) ini dari "Open Condition" menjadi "Behind Condition" harus dikoreksi. Menurut Ir. Teguh Sastrodiwongso, M.Se (*Diktat Propulsi Hal. 116*) untuk kapal berbaling-baling tunggal, (δ) dikoreksi sebesar -5 %, maka :

$$\text{Untuk series B4 - 40 ; } \delta_k = 210 - 5 \% = 199,5$$

$$\text{Untuk series B4 - 55 ; } \delta_k = 204 - 5 \% = 193,8$$

$$\text{Untuk series B4 - 70 ; } \delta_k = 200 - 5 \% = 190$$

b. Diameter Optimum (D_o) (Ref. 9, hal. 94)

$$D_o = \frac{\delta_k \times V_a}{N}$$

$$\text{Untuk series B4 - 40 ; } D_o = \frac{199,5 \times 8,61}{121,25} = 14,17 \text{ Feet} / 3,28 = 4,32 \text{ m}$$

$$\text{Untuk series B4 - 55 ; } D_o = \frac{193,8 \times 8,61}{121,25} = 13,76 \text{ Feet} / 3,28 = 4,20 \text{ m}$$

$$\text{Untuk series B4 - 70 ; } D_o = \frac{190 \times 8,61}{121,25} = 13,49 \text{ Feet} / 3,28 = 4,11 \text{ m}$$

c. Pitch Ratio (H_0/D)

Dari harga (δ) yang telah dikoreksi, dapat diperoleh harga Pitch Ratio (H_0/D) pada diagram Bp - δ sesuai dengan pembebanan :

Untuk series B4 - 40 ; $H_0/D = 0,7$

Untuk series B4 - 55 ; $H_0/D = 0,76$

Untuk series B4 - 70 ; $H_0/D = 0,82$

d. Propeller Efficiency (η_p)

Dari diagram Bp - δ juga dapat diperoleh untuk efisiensi baling-baling kapal yaitu :

Untuk series B4 - 40 ; $\eta_p = 61,2 \%$

Untuk series B4 - 50 ; $\eta_p = 57,8 \%$

Untuk series B4 - 70 ; $\eta_p = 57,2 \%$

No	Series	D	H/D	η_p
1	B4-40	4,32	0,70	61,2%
2	B4-55	4,20	0,76	57,8%
3	B4-70	4,11	0,82	57,2%

2.2. Perhitungan Kavitas

Untuk mengatasi atau mengurangi resiko kerusakan pada baling-baling akibat kavitas, maka perlu dirancang bentuk dan dimensi baling-baling yang sesuai atau baling-baling bebas kavitas.

Oleh sebab itu untuk menentukan diameter baling-baling yang optimal, bebas kavitas, serta mempunyai efisiensi yang cukup baik, maka harus diadakan perhitungan-perhitungan untuk penentuan diameter baling-baling.

Kavitas sendiri terjadi karena gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir, karena berkurangnya suatu tekanan sampai di bawah tekanan uap jenuhnya dimana ini berlangsung saat zat cair mengalir di daerah baling-baling kapal. Bila baling-baling ini mengalami kavitas maka akan

menimbulkan suara berisik dan getaran pada baling-baling yang mengurangi unjuk kerjanya secara optimum.

a. Konstanta Kavitasasi

$$\sigma_{0,7} = \frac{(PA - e)}{\frac{1}{2} \times \rho \times [V^2]}$$

- (P-Pv) = Beda tekanan statik pada sumbu baling-baling
 D = Diameter optimum baling baling
 ρ = Kerapatan air laut = 104,49 kg s²/m⁴
 Va = Advanced of speed = 8,61 knot = 4,43 m/dtk
 n = Putaran baling-baling perdetik = 2,021 rps

b. Tekanan Statik Baling-baling

Tekanan statik pada sumbu baling-baling adalah :

1. Draft	: T = 6,000 m
2. Jarak Base Line ke Sumbu Shaft P	: E = 2,500 m
3. Tinggi Gelombang (0,75 % Lpp)	: s = 0,7875 m
Tinggi tekanan (T - E + s)	: h = 4,2875 m
4. Tekanan air (h x 1025)	: = 4.394,69 kg/m ²
5. Tekanan udara	: = 10100,00 kg/m ²
6. Tekanan uap	: = 200,00 kg/m ² +
Tekanan statik (p - e)	= 14.694,69 kg/m ²

Tekanan di titik A (= pA) dikurangi harga e :

$$pA - e = [(p - e) - (0,7R \cdot \gamma)]$$

$$\sigma_{0,7} = \frac{(P - e) - (0,7R \times \gamma)}{\frac{1}{2} \times \rho \times (Va^2 + (2\pi \cdot 0,7R \cdot n)^2)}$$

Untuk series B4 –40 dengan Do = 4,32 m / R = 2,16

$$\sigma_{0,7} = \frac{[(14.694,69) - (0,7(2,16 \times 1025))] \text{ kg/m}^2}{[0,5 \times 104,49 [(8,61)^2 + (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 2,16 \times 2,021)^2]}$$
$$= 0,569$$

Untuk series B4 –55 dengan Do = 4,20 m / R = 2,1

$$\sigma_{0,7} = \frac{[(14.694,69) - (0,7(2,10 \times 1025))] \text{ kg/m}^2}{[0,5 \times 104,49 [(8,61)^2 + (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 2,10 \times 2,021)^2]}$$
$$= 0,598$$

Untuk series B4 –70 dengan Do = 4,11 m / R = 2,055

$$\sigma_{0,7} = \frac{[(14.694,69) - (0,7(2,055 \times 1025))] \text{ kg/m}^2}{[0,5 \times 104,49 [(8,61)^2 + (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 2,055 \times 2,021)^2]}$$
$$= 0,621$$

c. Blade Area (F)

Untuk series B4 – 40

Disc Area of The Screw (F)

$$F = \pi / 4 \cdot D^2$$
$$= 3,14 / 4 \times (4,32)^2$$
$$= 14,65 \text{ m}^2$$

Expanded Blade Area (Fa)

$$Fa = 0,40 \times \pi / 4 \cdot D^2$$
$$= 0,40 \times 3,14 / 4 \times (4,32)^2$$
$$= 5,86 \text{ m}^2$$

Projected Blade Area (Fp)

$$F_p = 1,067 - 0,229 (H_o/D \times Fa)$$

dengan $H_o/D = 0,70$

$$F_p = 1,067 - 0,229 \times (0,70 \times 5,86)$$
$$= 3,44$$

Untuk series B4 – 55

Disc Area of The Screw (F)

$$\begin{aligned} F &= \pi / 4 \cdot D^2 \\ &= 3,14 / 4 \times (4,20)^2 \\ &= 13,85 \end{aligned}$$

Expanded Blade Area (F_a)

$$\begin{aligned} F_a &= 0,55 \times \pi / 4 \cdot D^2 \\ &= 0,55 \times 3,14 / 4 \times (4,20)^2 \\ &= 7,62 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Projected Blade Area (F_p)

$$\begin{aligned} F_p &= 1,067 - 0,229 (H_o/D \times F_a) \\ &\text{dengan } H_o/D = 0,76 \\ F_p &= 1,067 - 0,229 \times (0,76 \times 7,62) \\ &= 4,85 \end{aligned}$$

Untuk series B4 – 70

Disc Area of The Screw (F)

$$\begin{aligned} F &= \pi / 4 \cdot D^2 \\ &= 3,14 / 4 \times (4,11)^2 \\ &= 13,26 \end{aligned}$$

Expanded Blade Area (F_a)

$$\begin{aligned} F_a &= 0,70 \times \pi / 4 \cdot D^2 \\ &= 0,70 \times 3,14 / 4 \times (4,11)^2 \\ &= 9,28 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Projected Blade Area (F_p)

$$\begin{aligned} F_p &= 1,067 - 0,229 (H_o/D \times F_a) \\ &\text{dengan } H_o/D = 0,82 \\ F_p &= 1,067 - 0,229 \times (0,82 \times 9,28) \\ &= 6,38 \end{aligned}$$

d. Koefisien gaya dorong

Harga koefisien gaya dorong ini diperoleh dari diagram Burrill

Untuk series B4 – 40 dengan $Do = 4,32$ m, didapat $F^P = 3,44$

Untuk series B4 – 55 dengan $Do = 4,20$ m, didapat $F^P = 4,85$

Untuk series B4 – 70 dengan $Do = 4,11$ m, didapat $F^P = 6,38$

Untuk menentukan koefisien gaya dorong ini digunakan rumus sebagai berikut :

$$\tau = \frac{T}{(1/2 \cdot \rho \cdot F_p \cdot V^2)}$$

Dimana:

Penentuan thrust (T)

Untuk penentuan *thrust* digunakan rumus-rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{THP} &= \frac{T \cdot V_a}{75} \rightarrow T = \frac{\text{THP} \cdot 75}{V_a} \\ \eta_p &= \frac{\text{THP}}{\text{DHP}} \rightarrow \text{THP} = \eta_p \times \text{DHP} \end{aligned}$$

$$\text{Maka : } T = \frac{\text{DHP} \times \eta_p \times 75}{V_a}$$

Dimana :

T = Thrust

DHP = Delivery Horse Power = 2.387,2 HP

η_p = Propulsive Efficiency

V_a = Advance Speed Propeller = 8,61 Knot

Maka :

-Untuk B4-40 dan $\eta_p = 61,2 \%$

$$T = \frac{2.387,2 \times 0,612 \times 75}{8,61}$$
$$= 12.726,19 \text{ kg}$$

-Untuk B4-55 dan $\eta_p = 57,8 \%$

$$T = \frac{2.387,2 \times 0,578 \times 75}{8,61}$$
$$= 12.019,18 \text{ kg}$$

-Untuk B4-70 dan $\eta_p = 57,2 \%$

$$T = \frac{2.387,2 \times 0,572 \times 75}{8,61}$$
$$= 11.894,41 \text{ kg}$$

d. Projected Blade Area

$$\tau c' = \frac{T}{F^p \times 0,5 \times \rho [V a^2 + (0,7 \times \pi \times D_o \times n)^2]}$$

dimana :

T = Gaya dorong (Thrust) (kg)

Untuk series B4 – 40 T = 12.726,19 kg

Untuk series B4 – 55 T = 12.019,18 kg

Untuk series B4 – 70 T = 11.894,41 kg

τ_c = Koefisien gaya dorong

Do = Diameter optimum baling-baling (m)

ρ = kerapatan air laut = 104,49 kg s²/m⁴

Va = Advanced of speed = 8,61 knot = 4,43 m/dt

n = putaran baling-baling per detik = 2,021 rps

Projected Blade Area

$$\tau_c' = \frac{T}{F^p \times 0,5 \times \rho [V_a^2 + (0,7 \times \pi \times D_o \times n)^2]}$$

Untuk series B4-40 dengan $F^p = 3,44$

$$\tau_c' = \frac{13.323,7}{3,44 \times 0,5 \times 104,49 [(8,61)^2 + (0,7 \times 3,14 \times 4,32 \times 2,021)^2]} = 0,172$$

Untuk series B4-55 dengan $F^p = 4,85$

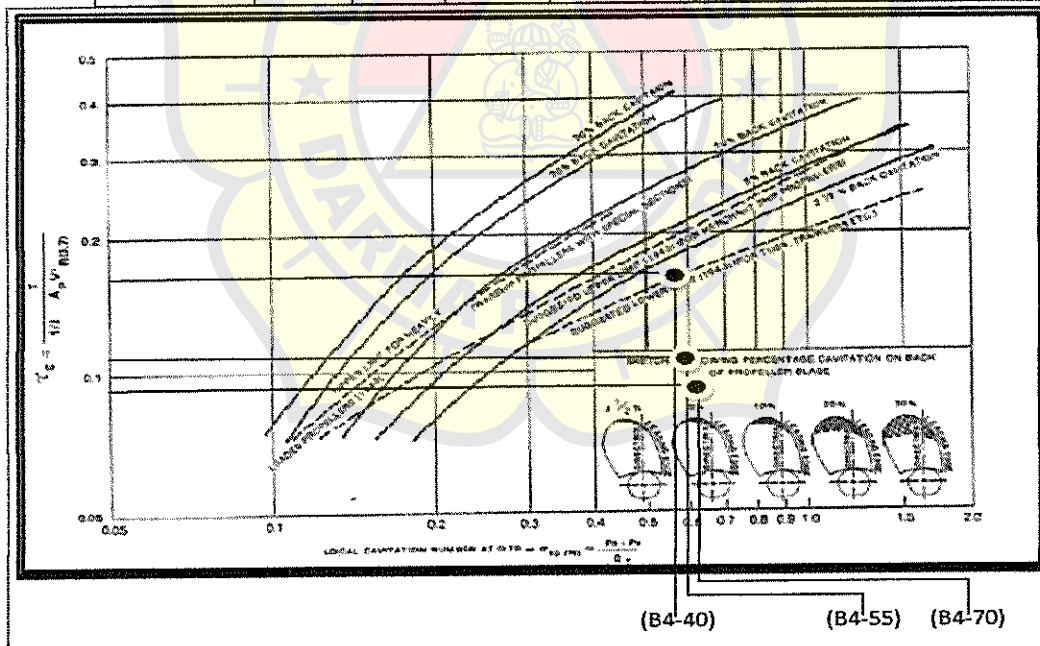
$$\tau_c' = \frac{12.549,6}{4,85 \times 0,5 \times 104,49 [(8,61)^2 + (0,7 \times 3,14 \times 4,20 \times 2,021)^2]} = 0,117$$

Untuk series B4-70 dengan $F^p = 6,38$

$$\tau_c' = \frac{12.479,3}{6,38 \times 0,5 \times 104,49 [(8,61)^2 + (0,7 \times 3,14 \times 4,11 \times 2,021)^2]} = 0,092$$

2.3. Tabel Hasil Perhitungan Kavitasasi

Tipe	Fa/F	Do	F	Fa	Fp	$\sigma_{0,7}$	η_p	τ_c
SeriesB4-40	0,4	4,32	14,65	5,86	3,44	0,569	0,612	0,172
SeriesB4-55	0,55	4,20	13,85	7,62	4,85	0,598	0,578	0,117
SeriesB4-70	0,70	4,11	13,26	9,28	6,38	0,621	0,572	0,092

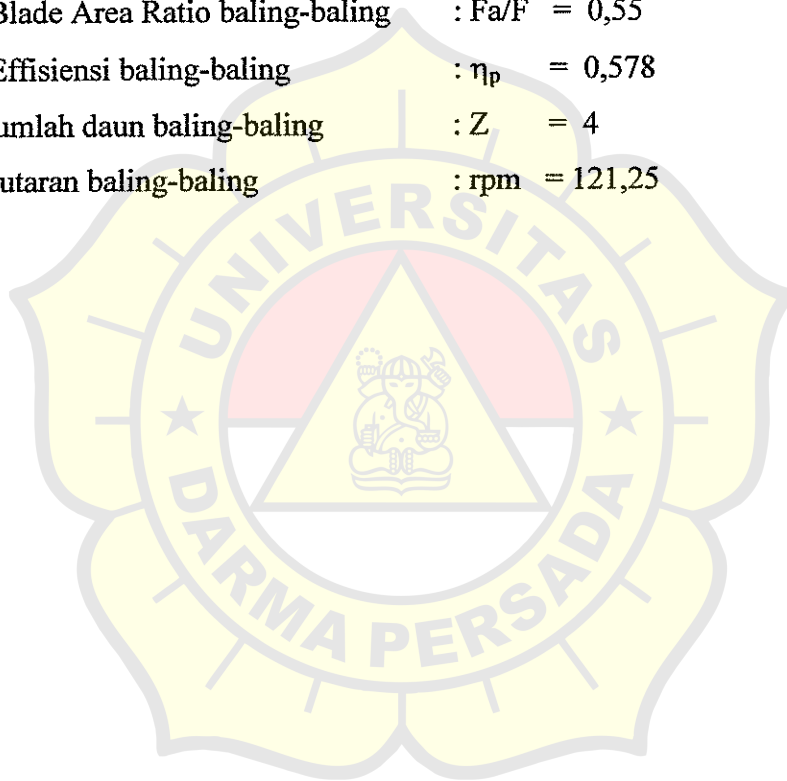


Berdasarkan tabel hasil perhitungan dan grafik rancangan baling-baling, maka dapat ditentukan Blade Area Ratio optimum untuk baling-baling kapal rancangan ini.

Pemilihan Baling-baling

Harga-harga perbandingan tersebut diperoleh dari proyeksi perpotongan kurva F_p dan F_p' pada absisnya, didapatkan $F_a / F = 0,76$. Dengan demikian spesifikasi baling-baling yang diperlukan untuk penggerak kapal rancangan ini adalah sebagai berikut :

- Tipe baling-baling berada pada : B4 – 55
- Diameter baling-baling : $D_o = 4,20$ m
- Pitch Ratio baling-baling : $H_o/D = 0,76$
- Blade Area Ratio baling-baling : $F_a/F = 0,55$
- Effisiensi baling-baling : $\eta_p = 0,578$
- Jumlah daun baling-baling : $Z = 4$
- Putaran baling-baling : rpm = 121,25



Diameter propeller(m) = 4,2 Hasil skala 420
 Jari-jari (m) = 2,1 Hasil skala 210
 Panjang Blade elemen untuk Fa/F : 0,55 0,55/0,4*0,2187 Hasil skala 126,29
 Ketebalan maksimum(St) 0,045xD Hasil skala 18,9
 0,189 Hasil skala 18,9
 Skala keseluruhan 1:10 Hasil skala 18,9

Center line ke
Trailing Edge

Jarak garis bagi jari-jari :

r/R	Jarak (m)	mm	Skala 1:10
0,2	0,42000000	420,00000	42,000000
0,3	0,63000000	630,00000	63
0,4	0,84000000	840,00000	84
0,5	1,05000000	1050,00000	105
0,6	1,26000000	1260,00000	126
0,7	1,47000000	1470,00000	147
0,8	1,68000000	1680,00000	168
0,9	1,89000000	1890,00000	189
1	2,10000000	2100,00000	210,00000

r/R	L 0.6 R (mm)	Konstanta	Ordinat (mm)	Skala 1:10 (mm)
0,2	1262,9925	29,18%	368,5412115	36,85412115
0,3	1262,9925	33,32%	420,829101	42,0829101
0,4	1262,9925	37,30%	471,0962025	47,10962025
0,5	1262,9925	40,78%	515,0483415	51,50483415
0,6	1262,9925	43,92%	554,706306	55,4706306
0,7	1262,9925	46,68%	589,564899	58,9564899
0,8	1262,9925	48,35%	610,6568738	61,06568738
0,9	1262,9925	47,00%	593,606475	59,3606475
1	1262,9925	20,14%	254,3666895	25,43666895

Center line ke
Leading Edge

r/R	L 0,6 R (mm)	Konstanta	Ordinat (mm)	Skala 1:10
0,2	1262,9925	46,90%	592,3434825	59,23434825
0,3	1262,9925	52,64%	664,839252	66,4839252
0,4	1262,9925	56,32%	711,317376	71,1317376
0,5	1262,9925	57,60%	727,48368	72,748368
0,6	1262,9925	56,08%	708,286194	70,8286194
0,7	1262,9925	51,40%	649,178145	64,9178145
0,8	1262,9925	41,65%	526,0363763	52,60363763
0,9	1262,9925	25,35%	320,1685988	32,01685988
1	1262,9925	0,00%	0	0

Panjang elemen
total

r/R	L 0,6 R	Konstanta	Ordinat (mm)	Skala 1 : 10
0,2	1262,9925	76,08%	960,884694	96,0884694
0,3	1262,9925	85,96%	1085,668353	108,5668353
0,4	1262,9925	93,62%	1182,413579	118,2413579
0,5	1262,9925	98,38%	1242,532022	124,2532022
0,6	1262,9925	100%	1262,9925	126,29925
0,7	1262,9925	98,08%	1238,743044	123,8743044
0,8	1262,9925	90,00%	1136,69325	113,669325
0,9	1262,9925	72,35%	913,7750738	91,37750738
1	1262,9925	0,00%	0	0

Ketebalan maksimum blade tiap elemen

r/R	Konstanta (%D)	Ordinat (mm)	Skala 1:10
0,2	3,66%	153,7200000	15,372
0,3	3,24%	136,0800000	13,608
0,4	2,82%	118,4400000	11,844
0,5	2,40%	100,8000000	10,080
0,6	1,98%	83,1600000	8,316
0,7	1,56%	65,5200000	6,552
0,8	1,14%	47,8800000	4,788
0,9	0,72%	30,2400000	3,024
1	0,30%	12,6000000	1,260

Jarak ordinat Tebal maksimum dari Leading Edge

r/R	Konstanta (%D)	Ordinat(mm)	Skala 1:10
0,2	35,0%	336,309643	33,630964
0,3	35,0%	379,983924	37,998392
0,4	35,0%	413,844752	41,384475
0,5	35,5%	441,098868	44,109886
0,6	38,9%	491,304083	49,130408
0,7	44,3%	548,763168	54,876316
0,8	47,9%	544,476067	54,447606
0,9	50,0%	456,887537	45,688753

DISTRIBUSI PITCH

$$H_o/D = 0,76$$

$$H_o = 3,192 \text{ m} \quad \text{Skala 1:10} = 319,2 \text{ mm}$$

$$H_o/2p = 0,508280255 \text{ m} \quad \text{Skala 1:10} = 50,828 \text{ mm}$$

Distribusi Pitch

r/R	Konstanta (%D)	Ordinat (mm)	Skala 1:10
0,2	82,20%	417,806369	41,7806369
0,3	88,70%	450,844586	45,0844586
0,4	95,00%	482,866242	48,2866242
0,5	99,20%	504,214013	50,4214013
0,6	100,00%	508,280255	50,8280255
0,7	100,00%	508,280255	50,8280255
0,8	100,00%	508,280255	50,8280255
0,9	100,00%	508,280255	50,8280255

JARAK ORDINAT TEBAL PROPELLER DARI ORDINAT MAKSIMUM

Tebal maksimum x %Ordinat

Ordinat Back Trailing Edge

r/R	20%	Ordinat(mm)	40%	Ordinat(mm)	60%	Ordinat(mm)	80%	Ordinat(mm)
0,2	96,45%	148,26294	86,90%	133,58268	72,65%	111,67758	53,35%	82,00962
0,3	96,80%	131,72544	86,80%	118,11744	71,60%	97,43328	50,95%	69,33276
0,4	97,00%	114,8868	86,55%	102,50982	70,25%	83,2041	47,70%	56,49588
0,5	96,95%	97,7256	86,10%	86,7888	68,40%	68,9472	43,40%	43,7472
0,6	96,80%	80,49888	85,40%	71,01864	67,15%	55,84194	40,20%	33,43032
0,7	96,65%	63,32508	84,90%	55,62648	66,90%	43,83288	39,40%	25,81488
0,8	96,70%	46,29996	85,30%	40,84164	67,80%	32,46264	40,95%	19,60686
0,9	97,00%	29,3328	87,00%	26,3088	70,00%	21,168	45,15%	13,65336

Gambar setelah diskala

r/R	20%	Ordinat(mm)	40%	Ordinat(mm)	60%	Ordinat(mm)	80%	Ordinat(mm)
0,2	96,45%	14,826294	86,90%	13,358268	72,65%	11,167758	53,35%	8,200962
0,3	96,80%	13,172544	86,80%	11,811744	71,60%	97,43328	50,95%	6,933276
0,4	97,00%	11,48868	86,55%	10,250982	70,25%	8,32041	47,70%	5,649588
0,5	96,95%	9,77256	86,10%	8,67888	68,40%	6,89472	43,40%	4,37472
0,6	96,80%	8,04988	85,40%	7,101864	67,15%	5,584194	40,20%	3,343032
0,7	96,65%	6,332508	84,90%	5,562648	66,90%	4,383288	39,40%	2,581488
0,8	96,70%	4,629996	85,30%	4,084164	67,80%	3,246264	40,95%	1,960686
0,9	97,00%	2,933328	87,00%	2,63088	70,00%	2,1168	45,15%	1,365336

Ordinat Back Leading edge

r/R	20%	Ordinat (mm)	40%	Ordinat (mm)	60%	Ordinat (mm)	80%	Ordinat (mm)	90%	Ordinat (mm)	95%	Ordinat (mm)
0,2	98,60%	151,56792	94,50%	145,2654	87,00%	133,7364	74,40%	114,36768	64,35%	98,91882	56,95%	87,54354
0,3	98,40%	133,90272	94,00%	127,9152	85,80%	116,75664	72,50%	98,658	62,65%	85,25412	54,90%	74,70792
0,4	98,20%	116,30808	93,25%	110,4453	84,30%	99,84492	70,40%	83,38176	60,15%	71,24166	52,20%	61,82568
0,5	98,10%	98,8848	92,40%	93,1392	82,30%	82,9584	67,70%	68,2416	56,80%	57,2544	48,60%	48,9888
0,6	98,10%	81,57996	91,25%	75,8835	79,35%	65,98746	63,60%	52,88976	52,20%	43,40952	43,35%	36,04986
0,7	97,60%	63,94752	88,80%	58,18176	74,90%	49,07448	57,00%	37,3464	44,20%	28,95984	35,00%	22,932
0,8	97,00%	46,4436	85,30%	40,84164	68,70%	32,89356	48,25%	23,1021	34,55%	16,54254	25,45%	12,18546
0,9	97,00%	29,3328	87,00%	26,3088	70,00%	21,168	45,15%	13,65336	30,10%	9,10224	22,00%	6,6528

Gambar Setelah diskala :

r/R	20%	Ordinat (mm)	40%	Ordinat (mm)	60%	Ordinat (mm)	80%	Ordinat (mm)	90%	Ordinat (mm)	95%	Ordinat (mm)
0,2	98,60%	15,156792	94,50%	14,52654	87,00%	13,37364	74,40%	11,436768	64,35%	9,891882	56,95%	8,754354
0,3	98,40%	13,390272	94,00%	12,79152	85,80%	11,675664	72,50%	9,8658	62,65%	8,525412	54,90%	7,470792
0,4	98,20%	11,630808	93,25%	11,04453	84,30%	9,984492	70,40%	8,338176	60,15%	7,124166	52,20%	6,182568
0,5	98,10%	9,88848	92,40%	9,31392	82,30%	8,29584	67,70%	6,82416	56,80%	5,72544	48,60%	4,89888
0,6	98,10%	8,157996	91,25%	7,58835	79,35%	6,598746	63,60%	5,288976	52,20%	4,340952	43,35%	3,604986
0,7	97,60%	6,394752	88,80%	5,818176	74,90%	4,907448	57,00%	3,73464	44,20%	2,895984	35,00%	2,2932
0,8	97,00%	4,64436	85,30%	4,084164	68,70%	3,289356	48,25%	2,31021	34,55%	1,654254	25,45%	1,218546
0,9	97,00%	2,93328	87,00%	2,63088	70,00%	2,1168	45,15%	1,365336	30,10%	0,910224	22,00%	0,66528

Ordinat face Trailing Edge

r/R	20%	Ordinat (mm)	40%	Ordinat (mm)	60%	Ordinat (mm)	80%	Ordinat (mm)	100%	Ordinat (mm)
0,2	1,55%	2,38266	5,45%	8,37774	10,90%	16,75548	18,20%	27,97704	30,00%	46,116
0,3	0,00%	0	1,70%	2,31336	5,80%	7,89264	12,20%	16,60176	23,35%	31,77468
0,4	0,00%	0	0,00%	0	1,50%	1,7766	6,20%	7,34328	17,85%	21,14154
0,5	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	1,75%	1,764	9,70%	9,7776
0,6	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	5,10%	4,24116
0,7	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0
0,8	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0
0,9	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0

Gambar setelah diskala:

r/R	20%	Ordinat (mm)	40%	Ordinat (mm)	60%	Ordinat (mm)	80%	Ordinat (mm)	100%	Ordinat (mm)
0,2	1,55%	0,238266	5,45%	0,837774	10,90%	1,675548	18,20%	2,797704	30,00%	4,6116
0,3	0,00%	0	1,70%	0,231336	5,80%	0,789264	12,20%	1,660176	23,35%	3,177468
0,4	0,00%	0	0,00%	0	1,50%	0,17766	6,20%	0,734328	17,85%	2,114154
0,5	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	1,75%	0,1764	8,95%	0,97776
0,6	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,424116
0,7	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0
0,8	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0
0,9	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0

Ordinat Face Leading Edge

r/R	20%	Ordinat(mm)	40%	Ordinat(mm)	60%	Ordinat(mm)	80%	Ordinat(mm)
0,2	0,45%	0,69174	2,30%	3,53556	5,90%	9,06948	13,45%	20,67534
0,3	0,05%	0,06804	1,30%	1,76904	4,60%	6,25968	10,85%	14,76468
0,4	0,00%	0	0,30%	0,35532	2,65%	3,13866	7,80%	9,23832
0,5	0,00%	0	0,00%	0	0,70%	0,7056	4,30%	4,3344
0,6	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,80%	0,66528
0,7	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0
0,8	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0
0,9	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0

r/R	90%	Ordinat(mm)	95%	Ordinat(mm)	100%	Ordinat(mm)
0,2	20,30%	31,20516	26,20%	40,27464	40,00%	61,488
0,3	16,55%	22,52124	22,20%	30,20976	37,55%	51,09804
0,4	12,50%	14,805	17,90%	21,20076	34,50%	40,8618
0,5	8,45%	8,5176	13,30%	13,4064	30,40%	30,6432
0,6	4,45%	3,70062	8,40%	6,98544	24,50%	20,3742
0,7	0,40%	0,26208	2,45%	1,60524	16,05%	10,51596
0,8	0,00%	0	0,00%	0	7,40%	3,54312
0,9	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0

Gambar setelah diskala

r/R	20%	Ordinat(mm)	40%	Ordinat(mm)	60%	Ordinat(mm)	80%	Ordinat(mm)
0,2	0,45%	0,069174	2,30%	0,353556	5,90%	0,906948	13,45%	2,067534
0,3	0,05%	0,006804	1,30%	0,176904	4,60%	0,625968	10,85%	1,476468
0,4	0,00%	0	0,30%	0,035532	2,65%	0,313866	7,80%	0,923832
0,5	0,00%	0	0,00%	0	0,70%	0,07056	4,30%	0,43344
0,6	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,80%	0,066528
0,7	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0
0,8	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0
0,9	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0

r/R	90%	Ordinat(mm)	95%	Ordinat(mm)	100%	Ordinat(mm)
0,2	20,30%	3,120516	26,20%	4,027464	40,00%	6,1488
0,3	16,55%	2,252124	22,20%	3,020976	37,55%	5,109804
0,4	12,50%	1,4805	17,90%	2,120076	34,50%	4,08618
0,5	8,45%	0,85176	13,30%	1,34064	30,40%	3,06432
0,6	4,45%	0,370062	8,40%	0,698544	24,50%	2,03742
0,7	0,40%	0,026208	2,45%	0,160524	16,05%	1,051596
0,8	0,00%	0	0,00%	0	7,40%	0,354312
0,9	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0

Radius dari hidung propeller

r/R	%D	Ordinat(mm)	Skala 1:10
0,2	0,115%	61,488	6,1488
0,3	0,105%	51,09804	5,109804
0,4	0,095%	40,8618	4,08618
0,5	0,085%	30,6432	3,06432
0,6	0,070%	20,3742	2,03742
0,7	0,055%	10,51596	1,051596
0,8	0,040%	3,54312	0,354312
0,9	0,040%	61,488	6,1488
TIP	0,040%	51,09804	5,109804

II.4. Perencanaan Diameter Poros Propeller

Perencanaan poros propeller menurut buku Elemen Mesin SOELARSO adalah sebagai berikut

$$D_s = \left[\left(\frac{5,1}{\tau_a} \right) \times K_t \times C_b \times T \right]^{1/3}, \text{ mm}$$

Langkah perhitungan :

- Daya Perencanaan (Pd)

$$Pd = f_c \times P$$

Dimana ; f_c = faktor koreksi daya yang direncanakan besarnya = 1

- a. $f_c = 1,2 - 2,0$ (Daya maksimum)
- b. $f_c = 0,8 - 1,2$ (Daya rata – rata)
- c. $f_c = 1,0 - 1,5$ (Daya normal)

P = daya motor dalam Kw dalam perencanaan ini daya motor adalah sebesar = 1920 Kw

$$\begin{aligned} Pd &= 1 \times 1920 \\ &= 1920 \text{ Kw} \end{aligned}$$

- Torsi (T)

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \left(\frac{Pd}{N} \right)$$

dimana N adalah putaran propeller, dalam perencanaan ini putaran propeller didapatkan sebesar = 125 Rpm

$$T = 9,74 \cdot 10^5 \cdot \frac{1920}{125} = 1.50 \times 10^7$$

- Tegangan yang diijinkan (τ_a)

$$\tau_a = \frac{\sigma_b}{(sf_1 \times sf_2)}$$

Dimana material poros yang digunakan dalam hal ini adalah S 45 C, dengan memiliki harga $\sigma_b = 58 \text{ kg/mm} = 580 \text{ N/mm}^2$ dan besar dari

$$Sf_1 = 6 \text{ (untuk material baja karbon)}$$

$$Sf_2 = 1,3 - 3, \text{ dalam perhitungan ini diambil nilai } 3$$

Sehingga ; $\tau_a = \frac{58}{6 \times 3} = 3,22 \text{ kg/mm}^2$

K_T = untuk beban kejutan / tumbukan, nilainya antara 1,5 – 3,
diambil nilai $K_T = 2$

C_b = diperkirakan adanya beban lentur, nilainya antara 1,2 –
2,3

dalam perhitungan ini diambil nilai $C_b = 2$

- Diameter Poros (D_s)

$$D_s = \left[\left(\frac{5,1}{\tau_a} \right) \times K_t \times C_b \times T \right]^{1/3}, \text{ mm}$$

$$D_s = \left[\left(\frac{5,1}{3,22} \right) \cdot 2 \times 2 \times 1.50 \times 10^7 \right]^{1/3}$$

$$= 456 \text{ mm}$$

Diambil $D_s = 456 \text{ mm}$

- Tegangan yang bekerja

$$\tau = \frac{5,1T}{D_s^3}$$

$$\tau = \frac{5,1 \times 1.50 \times 10^7}{456^3} = 0,81$$

Perhitungan koreksi I $\tau < \tau_a$

$$0,81 < 3,22$$

(memenuhi syarat)

4.1. Perencanaan Perlengkapan Propeller

1. Diameter boss propeller

$$\begin{aligned} D_b &= 0,167 \times D_{prop} \\ &= 0,167 \times 4200 \\ &= 701,4 \text{ mm} \approx 702 \text{ mm} \\ t_r &= 0,045 \times D_{prop} \\ &= 0,045 \times 4200 \\ &= 189 \text{ mm} \approx 189 \text{ mm} \end{aligned}$$

(Dr.Ir. W. P. A. Van Lammern, "Resistance Propulsion and Steering of Ship")

2. Diameter boss propeller terkecil (D_{ba})

$$\begin{aligned} D_{ba}/D_b &= 0,85 \approx 0,9 \\ &= 0,85 \\ D_{ba} &= 0,85 \times D_b \\ &= 0,85 \times 702 \\ &= 596,7 \text{ mm} = 597 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Diameter boss propeller terbesar (D_{bf})

$$\begin{aligned} D_{bf}/D_b &= 1,05 \approx 1,1 \\ &= 1,08 \\ D_{bf} &= 1,08 \times D_b \\ &= 1,08 \times 702 \\ &= 758 \text{ mm} \end{aligned}$$

4. Panjang boss propeller (L_b)

$$\begin{aligned} L_b/D_s &= 1,8 \approx 2,4 \\ &= 2 \\ L_b &= 2 \times D_s \\ &= 2 \times 456 \\ &= 912 \text{ mm} \end{aligned}$$

5. Panjang lubang dalam boss propeller (Ln)

$$Ln/Lb = 0,3$$

$$\begin{aligned} Ln &= 0,3 \times Lb \\ &= 0,3 \times 912 \\ &= 274 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$tb/tr = 0,75$$

$$\begin{aligned} tb &= 0,75 \times tr \\ &= 0,75 \times 189 \\ &= 142 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$rf/tr = 0,75$$

$$\begin{aligned} rf &= 0,75 \times tr \\ &= 0,75 \times 189 \\ &= 142 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$rb/tr = 1$$

$$\begin{aligned} rb &= 1 \times tr \\ &= 189 \text{ mm} \end{aligned}$$

6. Tebal Sleeve

Sleeve atau selubung poros dipakai sebagai perlindungan terhadap adanya korosi

$$s \geq 0,03 D_s + 7,5$$

$$\geq (0,03 \times 456) + 7,5$$

$$\geq 21,2 \text{ mm}$$

Tebal sleeve yang direncanakan adalah sebesar 21,2 mm

(BKI, Peraturan BKI vol. III Th. 1988)

4.2. Bentuk Ujung Poros Propeller

1. Panjang Konis

Panjang konis atau L_b berkisar antara 1,8 sampai 2,4 diameter poros.

Diambil $L_b = 2 D_s$

$$\begin{aligned} L_b &= 2 D_s \\ &= 2 \times 456 \\ &= 912 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Kemiringan Konis

Biro Klasifikasi Indonesia menyarankan harga kemiringan konis berkisar antara 1/10 sampai 1/15.

Diambil sebesar 1/12.5

$$\begin{aligned} 1/12.5 &= x / L_b \\ x &= 1/12.5 \cdot L_b \\ &= 1/12.5 \times 912 \\ &= 72,9 \text{ mm} = 73 \text{ mm} \end{aligned}$$

(BKI, Peraturan BKI vol. III Th. 1988)

3. Diameter Terkecil Ujung Konis

$$\begin{aligned} D_a &= D_s - 2 \cdot x \\ &= 456 - (2 \times 73) \\ &= 310 \text{ mm} \end{aligned}$$

(T. O'brien, The Design Of Marine Screw Propeller)

4. Diameter Luar Pengikat Boss

Biro Klasifikasi Indonesia menyarankan harga diameter luar pengikat boss atau D_u tidak boleh kurang dari 60 % diameter poros.

$$\begin{aligned} d_n &= 60\% \cdot D_s \\ &= 0,6 \times 456 \\ &= 273,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

(BKI, Peraturan BKI vol. III Th. 1988)

4.3. Mur Pengikat Propeller

Berdasarkan BKI 1988 Volume III Bab IV

- a. menurut BKI'78 Vol. III, diameter luar ulir(d) \geq diameter konis yang besar :

$$d \geq 0,6 \times D_s$$

$$d \geq 0,6 \times 456$$

$$d \geq 273,6 \text{ mm}$$

Dalam hal ini d diambil 274 mm

- b. Diameter inti

Dari sularso untuk diameter luar ulir >3 mm maka diameter inti adalah :

$$\begin{aligned} d_i &= 0,8 \times d \\ &= 0,8 \times 274 \\ &= 219,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

- c. Diameter luar mur

$$\begin{aligned} D_o &= 2 \times d_i \\ &= 2 \times 219,2 \\ &= 438,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

- d. Tebal/tinggi mur

Dari sularso untuk ukuran standar tebal mur adalah (0,8~1) diameter luar ulir, sehingga :

$$\begin{aligned} H &= 0,8 \times d \\ &= 0,8 \times 274 \\ &= 219,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk menambah kekuatan mur guna menahan beban aksial direncanakan jenis mur yang digunakan menggunakan flens pada salah satu ujungnya dengan dimensi sbb. :

$$\begin{aligned} \text{tebal flens} &= 0,2 \cdot \text{diameter mur} \\ &= 0,2 \cdot 438,4 \\ &= 87,68 \text{ mm} = 88 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter} &= 1,5. \text{ diameter mur} \\ &= 1,5. 438,4 \\ &= 658 \text{ mm.} \end{aligned}$$

4.4. Perencanaan Pasak Propeller

Sumber untuk perencanaan pasak diambil dari buku Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin karya “Ir. Soelarso Ms.Me”

Momen torsi (Mt) yang terjadi pada pasak yang direncanakan adalah sebagai berikut :

$$Mt = \frac{(DHP \times 75 \times 60)}{(2\pi \times N)}$$

dimana :

Mt = momen torsi (Kg.m)

DHP = delivery horse power = 2.387,2 HP

N = putaran poros atau putaran propeller

Jadi :

$$Mt = \frac{2.387,2 \times 75 \times 60}{2 \times 3,14 \times 125} = 13.584,6 \text{ kg.mm}$$

Parameter yang dibutuhkan adalah :

- *Diameter poros (Ds)* = 456 mm
- *Panjang pasak (L)* antara (0,75–1,5) Ds dari buku DP dan PEM hal. 27 (diambil 1,3)

$$\begin{aligned} L &= 1,3 \times Ds \\ &= 1,3 \times 456 \\ &= 592,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

L diambil 592,8 mm

- *Lebar pasak (B)* antara 25 % - 30 % dari diameter poros menurut buku DP dan PEM hal 27 (diambil 25 %)

$$\begin{aligned} B &= 25 \% \times Ds \\ &= 0,25 \times 456 \end{aligned}$$

$$= 114 \text{ mm}$$

- *Tebal pasak (t)*

$$\begin{aligned} t &= 1/6 \times D_s \\ &= 1/6 \times 456 \\ &= 76 \text{ mm} \end{aligned}$$

- *Radius ujung pasak (R)*

$$\begin{aligned} R &= 0,0125 \times D_s \\ &= 0,0125 \times 456 \\ &= 5,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

- *Luas bidang geser (A)*

$$\begin{aligned} A &= 0,25 \times D_s^2 \\ &= 0,25 \times (456)^2 \\ &= 51.984 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Bila momen rencana T ditekankan pada suatu diameter poros (D_s), maka gaya sentrifugal (F) yang terjadi pada permukaan poros adalah ;

$$\begin{aligned} T &= 9,74 \times 10^5 \times \left(\frac{Pd}{N} \right) \\ T &= 9,74 \cdot 10^5 \cdot \frac{1920}{125} = 1,50 \times 10^7 \end{aligned}$$

$$F = \frac{T}{0,5 \cdot D_s} = \frac{1,50 \cdot 10^7}{0,5 \times 456} = 65.789,5 \text{ kg}$$

Sedangkan tegangan gesek yang diijinkan (τ_{ka}) untuk pemakaian umum pada poros diperoleh dengan membagi kekuatan tarik σ_b dengan faktor keamanan ($Sf_1 \times Sf_2$), sedang harga untuk Sf umumnya telah ditentukan ;

Sf_1 = umumnya diambil 6 (material baja)

Sf_2 = 1,0 – 1,5 , jika beban dikenakan secara tiba-tiba

= 1,5 – 3,0 , jika beban dikenakan tumbukan ringan

= 3,0 – 5,0 , jika beban dikenakan secara tiba-tiba dan tumbukan berat

Karena beban pada propeller itu dikenakan secara tiba-tiba, maka diambil harga $Sf_2 = 1,5$. Bahan pasak digunakan S 45 C dengan harga $\sigma_b = 58 \text{ kg/mm}^2$.

Sehingga ;

$$\tau_a = \frac{58}{6.1,5} = 6,44 \text{ kg/mm}^2$$

Sedangkan tegangan gesek yang terjadi pada pasak adalah ;

$$\tau_i = \frac{F}{B.L} = \frac{65.789,5}{114 \times 592,8} = 0,974 \text{ kg/mm}^2$$

karena $\tau_k < \tau_{ka}$ maka pasak dengan diameter tersebut memenuhi persyaratan bahan.

- *Penampang pasak*
= $B \times t$
= $114 \times 76 = 8.664 \text{ mm}^2$
- *Kedalaman alur pasak pada poros (t_1)*
 $t_1 = 0,5 \times 76$
= 38 mm
- *Kedalaman alur pasak pada naf (t_2)*
 $t_2 = t - t_1$
= $76 - 38 = 38 \text{ mm}$

4.5. Perhitungan Kekuatan Pasak Propeller

Jika daya P (dalam Kw) adalah daya normal output suatu motor penggerak, maka berbagai faktor keamanan biasanya dapat diambil dalam perencanaan sehingga koreksi pertama dapat dibuat kecil. Jika faktor koreksi adalah Fc dan daya perencanaan Pd sebagai patokan maka didapatkan :

$$Pd = Fc \times P, (Kw)$$

dimana ;

Fc = faktor koreksi daya yang akan ditransmisikan, yang diambil dari tabel 16 hal.7 buku "D P dan P E M, SOELARSO" yaitu antara 1,0 – 1,5 (diambil 1)

maka ;

$$Pd = 1 \times 1920 = 1920 \text{ kW}$$

Sehingga momen puntir yang terjadi (T) adalah ;

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \left(\frac{Pd}{N} \right)$$

$$T = 9,74 \cdot 10^5 \cdot \frac{1920}{125} = 1,50 \times 10^7 \text{ kg mm}$$

Di samping perhitungan di atas, juga diperlukan perhitungan untuk menghindari dari kerusakan permukaan samping pasak yang disebabkan oleh tekanan bidang.

Dalam hal ini tekanan permukaan P (kg/mm²), adalah ;

$$P = \frac{F}{L \cdot (t \cdot \text{lataut}^2)} = \frac{65.789,5}{592,8 \times 38} = 2,92 \text{ kg/mm}^2$$

Sedangkan harga tekanan permukaan untuk poros dengan diameter yang besar (> 100 mm) adalah Pa = 10 kg/mm². Karena harga P < Pa, maka dengan dimensi tersebut telah memenuhi persyaratan.

4.6. Kopling Propeller

Kopling direncanakan sebagai berikut

Jumlah Baut Kopling

Direncanakan 8 buah baut.

Ukuran Kopling

➤ *panjang tirus (BKI) untuk kopling :*

$$l = (1,25 - 1,5) \times D_s$$

$$\text{diambil } l = 1,5 \times D_s$$

$$= 1,5 \times 456 = 684 \text{ mm}$$

➤ *Kemiringan tirus :*

Untuk jenis kopling yang tidak terlalu panjang maka direncanakan nilai terendahnya untuk menghitung kemiringan :

$$x = \frac{1}{10} \times l = \frac{1}{10} \times 684 = 68,4 \text{ mm}$$

➤ *Diameter terkecil ujung tirus :*

$$D_a = D_s - 2 \cdot x = 456 - 146 = 310 \text{ mm}$$

➤ *Diameter luar kopling :*

$$D_{\text{out}} = (3 - 5,8) \times D_s$$

$$\text{Diambil } D_{\text{out}} = 4 \times D_s = 4 \times 456 = 1.824 \text{ mm}$$

➤ *Ketebalan flange kopling*

Berdasarkan BKI Volume III section 4

$$S_{fl} = 370 \times \sqrt{\frac{P_w \times C_w}{n \times D}}$$

$$= 370 \times \sqrt{\frac{1.920 \times 0,75}{125 \times 1.824}}$$

$$= 29,4 \text{ mm} \approx 30 \text{ mm}$$

➤ *Diameter lingkaran baut kopling :*

$$D_b = 2,6 \times D_s = 2,6 \times 456 = 1.186 \text{ mm}$$

➤ *Panjang kopling :*

$$L = (2,5 - 5,5) \times D_s \times 0,5$$

$$\text{Diambil } L = 5 \times 456 \times 0,5 = 1.140 \text{ mm}$$

Baut Pengikat Flens Kopling

Berdasarkan BKI 1988 Volume III section 4D 4.2

$$Df = 16 \times \sqrt{\frac{P_w \cdot 10^6}{n \cdot D \cdot z \cdot R_m}}$$

Dimana :

$$P_w = 1920 \text{ kW}$$

$$N = 125 \text{ Rpm}$$

$$Z = \text{Jumlah baut} \\ = 8 \text{ buah}$$

$$R_m = 580 \text{ N/m}^2$$

Maka :

$$Df = 16 \times \sqrt{\frac{1.920 \cdot 10^6}{125 \times 1.186 \times 8 \times 580}} \\ = 26,7 \text{ mm direncanakan df sebesar } 27 \text{ mm.}$$

diameter dasar ulir pada baut :

$$dk = 12 \times \sqrt{\frac{1.920 \times 10^6}{125 \times 1.186 \times 8 \times 580}}$$

$$dk = 20,04 \text{ mm}$$

$$\text{direncanakan } dk = 20 \text{ mm}$$

necked-down baut

$$d = 0,9 \cdot dk$$

$$= 0,9 \cdot 20$$

$$= 18 \text{ mm}$$

4.7. Mur Pengikat Flans Kopling Propeller

- a. Diameter luar mur

$$\begin{aligned}D_0 &= 2 \times \text{diameter luar ulir (df)} \\ &= 2 \times 27 \\ &= 54 \text{ mm}\end{aligned}$$

- b. Tinggi mur

$$\begin{aligned}H &= (0,8 \sim 1) \times df \\ &= 0,8 \times 27 \\ &= 21,6 \text{ mm}\end{aligned}$$

Mur Pengikat Kopling

Direncanakan dimensi mur pengikat kopling sama dengan dimensi mur pengikat propeller yaitu :

- a. menurut BKI '78 Vol. III, diameter luar ulir(d) \geq diameter konis yang besar :

$$\begin{aligned}d &\geq 0,6 \times D_s \\ d &\geq 0,6 \times 456 \\ d &\geq 273,6 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dalam hal ini d diambil 274 mm

- b. Diameter inti

Dari sularso untuk diameter luar ulir > 3 mm maka diameter inti adalah :

$$\begin{aligned}d_i &= 0,8 \times d \\ &= 0,8 \times 274 \\ &= 219,2 \text{ mm}\end{aligned}$$

- c. Diameter luar mur

$$\begin{aligned}D_o &= 2 \times d \\ &= 2 \times 274 \\ &= 548 \text{ mm}\end{aligned}$$

d. Tebal/tinggi mur

Dari sularso untuk ukuran standar tebal mur adalah (0,8~1)

diameter luar ulir, sehingga:

$$\begin{aligned} H &= 0,8 \times d \\ &= 0,8 \times 274 \\ &= 219,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk menambah kekuatan mur guna menahan beban aksial direncanakan jenis mur yang digunakan menggunakan flens pada salah satu ujungnya dengan dimensi sbb. :

$$\begin{aligned} \text{tebal flens} &= 0,2 \times \text{diameter mur} \\ &= 0,2 \times 274 \\ &= 54,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{diameter} &= 1,2 \times \text{diameter luar mur} \\ &= 1,2 \times 548 \\ &= 657,6 \text{ mm.} \end{aligned}$$

4.8. Perencanaan Pasak Kopling Propeller

- Bahan pasak yang digunakan adalah S 40 C dengan spesifikasi sebagai berikut ;

$$\sigma_b = 58 \text{ kg/mm}$$

$$Sfk_1 = 6$$

$$Sfk_2 = 3$$

- Tegangan geser yang diijinkan (τ_{ka}) ;

$$\tau_{ka} = \frac{\sigma_b}{sfk_1 \times sfk_2} = \frac{58}{6 \times 3} = 3,22 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \text{ kg/mm}^2$$

- Gaya tangensial permukaan poros (F) ;

$$F = \frac{T}{0,5 \times D_s} ,$$

$$\text{dimana : } D_s = 456 \text{ mm}$$

$$T = \frac{9,74 \times 10^5 \times Pd}{N},$$

Pd = daya perencanaan = 1.920 kW

N = putaran propeller = 125 Rpm

$$\text{Sehingga, } T = 9,74 \cdot 10^5 \cdot \frac{1.920}{125} = 1,50 \times 10^7 \text{ kg.mm}$$

$$\text{Jadi, } F = \frac{T}{0,5 \cdot D_s} = \frac{1,50 \cdot 10^7}{0,5 \cdot 456} = 65.789,5 \text{ kg}$$

➤ Lebar pasak ;

$B = (0,25 - 0,35) \times D_s$, diambil nilai $0,25 \times D_s$ sehingga :

$$B = 0,25 \times 456 = 114 \text{ mm}$$

➤ Tegangan geser yang bekerja (τ_k) ;

$$\begin{aligned} \tau_k &= \frac{F}{B \times L} \\ &= \frac{65.789,5}{114 \times 456} = 1,27 \end{aligned}$$

Dengan syarat $\tau_k \leq \tau_{ka}$ maka nilai L dapat diketahui sebagai berikut ;

$$1,27 \leq 3,22$$

$$L = 456 \text{ mm}$$

Syarat pasak $(0,75 - 1,5) \times D_s$, dalam perhitungan ini diambil nilai ;

$$L = 1 \times D_s = 1 \times 456 = 456 \text{ mm}$$

Sehingga panjang pasak diambil = 456 mm

➤ Tebal pasak (T) ;

$$t = 1/6 \times D_s$$

$$= 1/6 \times 456$$

$$= 76 \text{ mm}$$

Tebal pasak diambil 76 mm

➤ Radius ujung pasak (R) ;

$$R = 0,0125 \times D_s$$

$$= 0,0125 \times 456$$

$$= 5,7 \text{ mm}$$

- Luas bidang geser (A) ;

$$\begin{aligned} A &= 0,25 \times D_s^2 \\ &= 0,25 \times (456)^2 \\ &= 51.984 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Penampang pasak ;

$$= B \times t = 114 \times 76 = 8.664 \text{ mm}^2$$

- Kedalaman alur pasak pada poros (t_1) ;

$$t_1 = 50 \% \times t = 50 \% \times 76 = 37.5 \text{ mm}$$

- Kedalaman alur pasak pada naf (t_2) ;

$$t_2 = t - t_1 = 37,5 \text{ mm}$$

Di samping perhitungan di atas, juga diperlukan perhitungan untuk menghindari dari kerusakan permukaan samping pasak yang disebabkan oleh tekanan bidang.

Dalam hal ini tekanan permukaan P (kg/mm^2), adalah ;

$$P = \frac{F}{L.t} = \frac{65.789,5}{456 \cdot 76} = 1,9 \text{ kg}/\text{mm}^2$$

Harga tekanan permukaan untuk poros dengan diameter yang besar ($> 100 \text{ mm}$) adalah $P_a = 10 \text{ kg}/\text{mm}^2$. Karena harga $P < P_a$, maka dengan dimensi tersebut telah memenuhi persyaratan.

4.9. Perencanaan Stern Tube

Jenis Pelumasan

Jenis pelumasan poros propeller kapal ini direncanakan menggunakan sistem pelumasan air

Panjang Stern Tube

$$\begin{aligned} \text{Panjang tabung poros propeller} &= 4 \times \text{jarak gading} \\ &= 4 \times 600 \\ &= 2400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tebal Stern Tube

$$\begin{aligned} T &= \left(\left(\frac{Ds}{20} \right) + \left(3 \times \frac{25,4}{4} \right) \right) \\ &= \left[\left(\frac{456}{20} \right) + \left(3 \times \frac{25,4}{4} \right) \right] \\ &= 41,85 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.10. Perencanaan Bantalan Pasak Propeller

Berdasarkan dari BKI 1988 vol. III Sec. IV.

a. Bahan bantalan yang digunakan adalah : *Lignum Vitae*

b. Panjang bantalan belakang = 2 x Ds

$$\begin{aligned} &= 2 \times 456 \\ &= 912 \text{ mm} \end{aligned}$$

c. Panjang bantalan depan = 1,5 x Ds

$$\begin{aligned} &= 1,5 \times 456 \\ &= 684 \text{ mm} \end{aligned}$$

d. Tebal bantalan

Menurut BKI III 1988 tebal bantalan efektif adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} B &= \left(\left(\frac{Ds}{30} \right) \times 3,175 \right) \\ &= \left[\left(\frac{456}{30} \right) \times 3,175 \right] \\ &= 48,26 \text{ mm} \approx 48 \text{ mm} \end{aligned}$$

e. Jarak maximum yang diijinkan antara bantalan

$$I_{\max} = k_1 \times \sqrt{Ds}$$

Dimana , $k_1 = 280 - 350$ (untuk pelumasan dengan air laut)

$$\begin{aligned} &= 280 \times \sqrt{456} \\ &= 5.979 \text{ mm} \end{aligned}$$

1. Rumah Bantalan (Bearing Bushing)

a. Bahan Bushing Bearing yang digunakan adalah : manganese bronze

b. Tebal Bushing Bearing (tb)

$$\begin{aligned}tb &= 0,18 \times D_s \\ &= 0,18 \times 456 \\ &= 82,08 \text{ mm}\end{aligned}$$

4.11. Stern Post

Berdasarkan BKI vol. III tahun 1988 hal.96

Tinggi buritan berbentuk segiempat untuk panjang kapal $L \leq 125$ m, maka :

- Lebar $= (1,4 L) + 90$
 $= (1,4 \times 107) + 90$
 $= 240 \text{ mm}$
- Tebal $= (1,6 L) + 15$
 $= (1,6 \times 107) + 15$
 $= 186 \text{ mm}$

Setelah menyelesaikan perhitungan Propeler dan Sistem Perporosan ini dapat diambil kesimpulan bahwa :

- Propeler merupakan salah satu alat penggerak utama kapal yang harus diperhitungkan dimensinya dan juga kecocokanya dengan penggunaan jenis mesin penggeraknya.
- Sistem perporosan propeler ada 2 macam, yaitu dengan menggunakan sistem pelumasan air laut dan menggunakan sistem pelumasan minyak. Pemilihan jenis sistem pelumasan, bisa direncanakan sesuai dengan kebutuhan dan pertimbangan teknis lain.
- Perencanaan bearing dan pemilihan bahan materialnya bergantung pada jenis pelumasan yang dipakai.
- Propeler dan sistem perporosannya harus dilakukan pengecekan dan pemeriksaan secara berkala, agar dapat meminimalisasi kerusakan dari propeler dan sistem perporosannya.