

BAB II

HAMBATAN DAN PROPULSI KAPAL

II.2.1. 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 oleh sebuah kapal yang bergerak melalui air dan udara itu dapat diuraikan atas :

- A. Hambatan Gesek (*Frictional Resistance*).
- B. Hambatan Gelombang (*Wave Making Resistance*).
- C. Hambatan Bentuk (*Eddy Making Resistance*).
- D. Hambatan Udara (*Air Resistance*).
- E. Hambatan Tambahan (*Appendage Resistance*).

A. Hambatan Gesek (*Frictional Resistance*)

Hambatan gesek adalah suatu keadaan yang terjadi dikarenakan adanya partikel atau volume air yang melekat pada bagian kapal yang tercelup dengan air (WSA), dan kecepatan partikel atau volume air tersebut adalah 0 (nol) keadaan ini disebut dengan *Boundary Layer*. Dengan adanya perbedaan kecepatan partikel tersebut menimbulkan suatu perbedaan gaya viskositas yang mengakibatkan terjadinya gaya gesek.

B. Hambatan Gelombang (*Wave Making Resistance*)

Hambatan Gelombang adalah suatu keadaan yang terjadi dikarenakan kapal bergerak didalam fluida, sehingga menimbulkan gelombang. Akibat timbulnya gelombang tersebut menyebabkan perbedaan tekanan sehingga menimbulkan hambatan.

Hambatan gelombang itu terdiri dari :

1. Hambatan Gelombang haluan.
2. Hambatan gelombang melintang pada kiri dan kanan lambung kapal.
3. Hambatan gelombang buritan.

C. Hambatan Bentuk (*Eddy Making Resistance*)

Hambatan bentuk atau *Eddy Making Resistance* adalah suatu keadaan yang terjadi dikarenakan partikel fluida yang bergerak melewati WSA kapal sebagiannya ada yang terpisah pada buritan kapal. Partikel air yang terpisah pada buritan kapal tersebut membuat suatu pusaran dan pusaran tersebut membuat gaya yang berlawanan dengan arah maju kapal sehingga menimbulkan hambatan.

D. Hambatan Udara (*Air Resistance*)

Hambatan Udara atau *Air Resistance* adalah suatu hambatan yang terjadi pada bagian diatas *freeboard* kapal sampai dengan bangunan atas kapal, yang terjadi dikarenakan adanya gaya pada udara yang arahnya berlawanan dengan arah kapal. Hambatan udara diperkirakan sebesar 2% ~ 4% dari hambatan total kapal.

E. Hambatan Appendage (*Appendage Resistance*)

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

Dalam tugas merancang kapal ini, perhitungan hambatan yang digunakan adalah perhitungan yang terdapat dalam *Sv. Aa. Harvald terjemahan Sutomo Jusuf (1992:95 - 134)*.

II.2. Perhitungan Hambatan Kapal Rancangan

II.2.1 Data-data Kapal Rancangan

➤ <i>Length Over All (LOA)</i>	= 53 m.
➤ <i>Length Between Perpendicular (LBP)</i>	= 47 m.
➤ <i>Length Water Line (LWL)</i>	= 46 m.
➤ <i>Breadth Moulded (B mld)</i>	= 14 m.
➤ <i>Height Moulded (H mld)</i>	= 3,3 m.
➤ <i>Draft Moulded (T mld)</i>	= 2,4 m.
➤ <i>Freeboard (f)</i>	= 0,9 m.
➤ <i>Coefficient Block (Cb)</i>	= 0,62
➤ <i>Coefficient Midship (Cm)</i>	= 0,97
➤ <i>Coefficient Waterline (Cw)</i>	= 0,75
➤ <i>Coefficient Prismatic (Cp)</i>	= 0,63
➤ <i>Displacement (Δ)</i>	= 982,22 ton.
➤ <i>Volume Displacement (∇)</i>	= 958,272 m ³ .
➤ <i>Velocity Speed (Vs)</i>	= 12 Knot.
➤ <i>Wetted Surface Area (WSA)</i>	= 598 m ²
➤ <i>Longitudinal Center of Buoyancy (LCB)</i>	= 0,045 m dibelakang $\bar{X}$.
➤ <i>Viscositas (ν)</i>	= 1,188.10 ⁻⁶
➤ <i>Berat jenis air laut (ρ)</i>	= 1025 Kg/m ³

II.2.2 Perhitungan Hambatan Kapal Pada Kecepatan 12 Knot

Perhitungan hambatan dan propulsi kapal merupakan salah satu perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui nilai hambatan pada kapal dan kapasitas mesin yang digunakan kapal rancangan. Hal tersebut berpengaruh pada

tahapan perencanaan yang selanjutnya, seperti dalam perencanaan ruang muat kamar mesin dan ukuran baling – baling kapal.

Perhitungan ini dilakukan dengan 5 kecepatan yaitu satu atau dua kecepatan masing-masing keatas dan kebawah dari diantara kecepatan dinas (V_s). Adapun perhitungan 5 kecepatan dalam perencanaan kapal rancangan ini antara lain :

1. Perhitungan Hambatan untuk Kecepatan 10 Knots
3. Perhitungan Hambatan untuk Kecepatan 11 Knots
3. Perhitungan Hambatan untuk Kecepatan 12 Knots (V_s)
4. Perhitungan Hambatan untuk Kecepatan 13 Knots
5. Perhitungan Hambatan untuk Kecepatan 14 Knots

A. *Froude Number (Fn)*

Untuk menentukan *Froude Number (Fn)* kapal rancangan digunakan rumus Froude yang terdapat dalam Sv. Aa Harvald halaman 118 (5.5.9), yaitu :

$$Fn = \frac{V_s}{\sqrt{g \times LWL}}$$

Dimana :

Fn = *Froude Number*.

V_s = Kecepatan kapal rancangan (m/s) = 12 knot x 0,5144 = 6,172 m/s

g = *Gravitasi* = 9,81 m/s².

LWL = Panjang garis air = 47 m.

Maka :

$$\begin{aligned} Fn &= \frac{6,172}{\sqrt{9,81 \times 47}} \\ &= 0,287 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **Fn = 0,287**

B. Koefisien Hambatan Sisa (C_R)

Untuk menentukan Koefisien hambatan sisa (C_R) kapal rancangan digunakan grafik pada buku *Sv. Aa. Harvald* halaman 120 s/d 128 (lampiran 6 & 7) disesuaikan dengan Coefficient prismatic (C_p), $L/\nabla^{1/3}$ dan juga F_n dari pada kapal tersebut.

Dimana :

F_n = Froude Number kapal rancangan. = 0,287

C_p = Koefisien Prismatic kapal rancangan = 0,63

$$L/\nabla^{1/3} = \frac{46}{(958,272)^{1/3}} = 4,66$$

Untuk $L/\nabla^{1/3} = 4,66$ $F_n = 0,287$ dan $C_p = 0,63$

Maka $10^3 C_R = 2,23$

C. Koreksi B/T

Pada buku *Sv. Aa. Harvald* halaman 119 dinyatakan standar untuk kurva C_R adalah untuk ratio perbandingan $B/T = 2,5$.

Dimana :

B = Lebar kapal rancangan.
= 14 m.

T = Draft kapal rancangan.
= 2,4 m.

Maka :

$$\begin{aligned} B/T &= 14/2,4 \\ &= 5,83 > 2,5 \end{aligned}$$

Diketahui $B/T = 5,83$ dan hasilnya lebih besar dari 2,5 Maka harga C_R harus dikoreksi dengan :

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

Dimana :

B/T = Ratio perbandingan Lebar dengan draft.

$$= 5,83$$

Maka :

$$10^3 C_R = 0,16 \times (5,83 - 2,5)$$

$$= 0,53$$

D. Koreksi LCB

Untuk menentukan koreksi LCB dari kapal rancangan digunakan rumus dan grafik pada buku *Sv. Aa. Harvald halaman 130* yaitu :

$$\Delta LCB = LCB_{\text{Rancangan}} - LCB_{\text{Standard}} (\% L)$$

Dimana :

ΔLCB = Penyimpangan LCB

$LCB_{\text{Rancangan}}$ = LCB dari data *hydrostatic curve*.

$$= 0,92$$

$$= \frac{LCB}{LWL} \times 100\%$$

$$= \frac{0,92}{47} \times 100\%$$

$$= 0,019 \text{ m di belakang } \emptyset.$$

LCB_{Standard} Diambil dari grafik *LCB kapal standard Guldhammer dan Harlvad* pada buku terjemahan *Teguh Sastrodiwongso* hal, 95 (lampiran)

$$= 3,2 \% \text{ didepan } \emptyset.$$

Maka

$$\Delta LCB = 0,019 \% - (3,2) \%$$

$$= -3,181\% \text{ Dibelakang } \emptyset.$$

Sedangkan untuk koreksi LCB standarnya adalah terdapat dalam grafik koreksi C_R pada buku terjemahan *Teguh Sastrodiwongso hal, 96* (Lampiran ...), yaitu :

$$\text{Koreksi LCB} = \frac{\partial 10^3 C_R}{\partial \text{LCB}} \times |\Delta \text{LCB}|$$

$$C_p = 0,623$$

$$\frac{\partial 10^3 C_R}{\partial \text{LCB}} = 0.3$$

Maka koreksi LCB kapal tersebut adalah :

$$10^3 C_R = 0,3 \times |-3.181|$$

$$10^3 C_R = 0,954$$

E. Koreksi Penampang Bentuk Depan Dan Belakang Kapal

Menurut *Sv. Aa. Harvald pada halaman 131* perlunya dilakukan koreksi untuk penampang bentuk depan dan belakang dari kapal rancangan, apabila kapal yang dirancang tersebut bentuk penampang depan dan belakangnya adalah ekstrim “U” ataupun ekstrim “V”.

Karena bentuk badan depan dan belakang dari kapal rancangan berbentuk ekstrim “U” Koreksi bentuk badan depan dan belakang = 0 (nol).

F. Koreksi Bentuk Haluan Kapal

Menurut *Sv. Aa. Harvald pada halaman 131* koreksi bentuk haluan ini harus dipandang sebagai bentuk haluan kuno tanpa gelembung. Untuk kapal rancangan ini tidak menggunakan gelembung (*bulbous bow*) sehingga tidak perlu diadakan koreksi.

Koreksi bentuk haluan kapal = 0 (nol).

G. Koreksi Anggota Badan kapal

Menurut Sv. Aa. Harvald pada halaman 132 koreksi yang dilakukan untuk bentuk anggota badan kapal terdiri atas :

□. Daun Kemudi

= Tidak ada koreksi (0).

□. Lunas Bilga

= Tidak ada koreksi (0).

□. Bos Baling-baling

$$= (3\% \sim 5\%) \times 10^3 C_R$$

$$= 3\% \times 10^3 C_R$$

$$= 3\% \times 2,23$$

$$= 0,06$$

□. Braket Dan Poros Propeller

$$= (5\% \sim 8\%) \times 10^3 C_R$$

$$= 5\% \times 10^3 C_R$$

$$= 5\% \times 2,23$$

$$= 0,111$$

Koreksi Anggota Badan Kapal

$$= 0 + 0 + 0,06 + 0,111$$

$$10^3 C_R = 0,171$$

H. Koefisien Hambatan Sisa Total

Menurut Sv. Aa. Harvald dalam buku Tahanan Dan Propulsi Kapal setelah dilakukannya pengoreksian terhadap $10^3 C_R$, maka selanjutnya adalah dilakukannya penjumlahannya terhadap seluruh komponen $10^3 C_R$.

Tabel...: Koefisien Hambatan Sisa Total

NO	Komponen C_R	Hasil
1	Koefisien hambatan sisa (C_R')	2,23
2	Koreksi B/T	0,53
3	Koreksi LCB	0,954
4	Koreksi penampang depan dan belakang kapal	0,000
5	Koreksi bentuk haluan kapal	0,000
6	Koreksi anggota badan kapal	0,171
HASIL		3,885

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$10^3 C_R = 3,885$**

I. Menentukan Reynold Number (R_n)

Untuk menentukan *Reynold number* (R_n) dari kapal rancangan digunakan rumus *Reynold*, yaitu :

$$10^{-6} R_n = \frac{V_s \times LWL}{\nu}$$

Dimana : $10^{-6} R_n$ = Reynold number kapal rancangan.

V_s = Kecepatan kapal rancangan.

$$= 12 \text{ Knot} \times 0,5144 = 6,172 \text{ m/s}$$

LWL = Panjang garis air kapal rancangan.

$$= 47 \text{ m.}$$

ν = Viskositas = $1,188.10^6$

Maka :

$$\begin{aligned}
 10^{-6} R_n &= \frac{6,172 \times 47}{1,188.10^6} \\
 &= 2,442 \times 10^{-2}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$R_n = 2,442 \times 10^{-2}$**

J. Koefisien Hambatan Gesek (C_F')

Untuk menentukan C_F didapat dari grafik 5.5.14 buku *Sv. Aa. Harvald pada halaman 129* (Lampiran ...) yang merupakan grafik menurut *ITTC-57*, grafik tersebut didasarkan pada panjang kapal dan kecepatan kapal rancangan.

- Untuk $LWL = 47 \text{ m}$, $V_s = 6,712 \text{ m/s}$

$$V_s = 6,000 \text{ m/s}$$

$$10^3 C_F = 1,710$$

$$V_s = 6,712 \text{ m/s}$$

$$10^3 C_F = \dots\dots\dots$$

$$V_s = 8,000 \text{ m/s}$$

$$10^3 C_F = 1,640$$

$$10^3 C_F = \left(\frac{(6,712 - 6,0) \times (1,640 - 1,710)}{8,0 - 6,0} \right) + 1,710$$

$$10^3 C_F = 1,685$$

K. Koreksi Anggota Badan Kapal (C_F)

Koreksi pada anggota badan kapal, digunakan rumus yang terdapat dalam buku *Tahanan Dan Propulsi Kapal* oleh *Sv. Aa. Harvald halaman 132* rumus 5.5.25 sebagai berikut :

$$C_F = C_F' \times \frac{S_1}{S}$$

Dimana :

C_F = Koefisien hambatan gesek sesungguhnya.

C_F' = Koefisien hambatan gesek.

$$= 1,685$$

S = Luas permukaan basah badan kapal.

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

S₁ = Luas permukaan basah badan kapal dan anggota badan kapal

= WSA ditambah 8% dari perhitungan koreksi anggota badan kapal diatas (G).

$$= S + (8\% \times S)$$

$$= 598 + (8\% \times 598)$$

$$= 645,84 \text{ m}^2$$

Maka :

$$C_F = 1,685 \times \frac{645,84}{598}$$

$$= 1,82$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **10³ C_F = 1,82**

L. Koefisien Tambahan (C_A)

Untuk menentukan ΔC_F dimbil dari *tabel 5.5.23 pada buku Harvald halaman 132* yang didasarkan pada panjang kapal.

Dimana :

LWL = Panjang garis air kapal rancangan.

$$= 47 \text{ m} \leq 100 \text{ m}.$$

Maka :

10³C_A = Koefisient hambatan *appandage*.

$$= + 0,40$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **10³C_A = 0,40.**

M. Koefisien Hambatan Udara (C_{AA})

Menurut Sv. Aa. Harvald dalam buku *Tahanan dan Propulsi Kapal* halaman 132 (5.5.26) jika data mengenai angin tidak diketahui dalam perancangan maka koefisien hambatan udaranya adalah :

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

N. Koefisien Hambatan Kemudi (C_{AS})

Menurut Sv. Aa. Harvald dalam buku *Tahanan dan Propulsi Kapal* halaman 132 (5.5.27) koreksi yang digunakan untuk koefisien hambatan kemudi:

$$10^3 C_{AS} = 0,040$$

O. Koefisien Hambatan Total (C_T)

Menurut Sv. Aa. Harvald dalam buku *Tahanan dan Propulsi Kapal* koefisien hambatan total adalah penjumlahan dari koefisien-koefisien yang berpengaruh pada kapal tersebut.

Koefisien-koefisien yang mempengaruhi dari koefisien hambatan total tersebut adalah :

Tabel...: Koefisien Hambatan Total

NO	Koefisien	Hasil
1	Koefisien hambatan sisa ($10^3 C_R$)	3,885
2	Koefisien hambatan gesek ($10^3 C_F$)	1,82
3	Koefisien hambatan appendage ($10^3 C_A$)	0,400
4	Koefisien hambatan udara ($10^3 C_{AA}$)	0,070
5	Koefisien hambatan kemudi ($10^3 C_{AS}$)	0,040
$\Sigma 10^3 C_T'$		6,215

P. Hambatan Total (R_T)

Dalam buku Sv. Aa. *Halvard Tahanan Dan Propulsi Kapal* halaman 133 (5.5.29) bahwa hambatan total adalah :

$$R_T' = C_T \times \frac{1}{2} \times \rho \times WSA \times V_s^2$$

Dimana :

R_T = Hambatan total kapal rancangan.

C_T = Koefisien hambatan total.

$$= 6,215.10^{-3}$$

ρ = Berat jenis air laut.

$$= 1,025 \text{ ton/m}^3.$$

WSA = *Wetted Surface Area* kapal rancangan.

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

V_s = Kecepatan kapal rancangan = 12 Knot x 0,5144 = 6,172 m/s

Maka :

$$\begin{aligned} R_T &= 6,215.10^{-3} \times \frac{1}{2} \times 1,025 \times 598 \times 6,172^2 \\ &= 72,5584 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$R_T = 72,5584 \text{ kN}$** .

II.2.2.3 Perhitungan Daya Mesin Utama Kapal

A. Efektif Horse Power (EHP)

Untuk menentukan *Efektif Horse Power* (EHP) kapal rancangan digunakan rumus yang terdapat dalam buku *Propulsi Kapal (Ship Propulsion)* oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso MSE pada halaman 25, yaitu :

$$EHP = V_s \times R_T$$

Dimana :

EHP = *Efektif Horse Power* kapal rancangan.

$$\begin{aligned} V_s &= \text{Kecepatan kapal rancangan.} \\ &= 12 \text{ Knot} \times 0,5144 = 6,172 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_T &= \text{Hambatan total kapal rancangan.} \\ &= 72,5584 \text{ kN.} \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} EHP &= 6,172 \times 72,5584 \\ &= 447,830 \text{ kW} \times 1,34 \\ &= 600,092 \text{ HP} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **EHP = 600,092 HP.**

B. Shaft Horse Power (SHP)

Untuk menentukan *Shaft Horse Power (SHP)* kapal rancangan digunakan rumus yang terdapat dalam buku *Propulsi Kapal (Ship Propulsion)* oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso MSE pada halaman 25, yaitu :

$$SHP = \frac{1}{2} \times \frac{EHP}{PC}$$

Dimana :

SHP = *Shaft Horse Power* kapal rancangan.

PC = *Propulsive Coefficient.*

$$= \eta_H \times \eta_{tr} \times \eta_{PO}$$

η_H = *Hull Efficiency.*

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

W = *Wake Friction* Menurut Taylor dalam buku *Propulsi Kapal* oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso MSE, halaman 99 untuk kapal *twin screw*.

$$\begin{aligned} W &= -0,2 + (0,55 \times 0,659) \\ &= 0,562 \end{aligned}$$

T = *Thrust deduction factor.*

$$= \text{untuk twin screw } t = w.$$

$$\eta_H = \frac{1 - 0,562}{1 - 0,562}$$

$$= 1,00$$

$$\eta_{rr} = \text{Rotary relatif efficiency.}$$

$$= 1,00$$

$$\eta_{PO} = \text{Propulsive Efisiensi.}$$

$$= 0,55 \sim 0,60$$

$$= 0,60$$

$$EHP = 537,837 \text{ HP.}$$

Maka :

$$SHP = \frac{1}{2} \times \frac{600.092}{1 \times 1 \times 0,6}$$

$$= 500,076 \text{ HP.}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **SHP = 500,076 HP.**

C. Brake Horse Power Normal Continues Rating (BHP_{NCR})

$$BHP_{NCR} = SHP + (\%Koreksi \times SHP)$$

Dimana koreksi yang dilakukan adalah

✓ Koreksi pemakaian gear box 2% ~ 3%	= 2%
✓ Koreksi letak kamar mesin dibelakang	= 3%
✓ Koreksi jarak pelayaran Indonesia 10% ~ 15%	= 10%
Σ Koreksi	= 15%

Maka :

$$BHP_{NCR} = 500,076 + (15\% \times 500,076)$$

$$= 575,087 \text{ HP}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **BHP_{NCR} = 575,087 HP.**

BkW = 428.842

TABEL 5 KECEPATAN

No	Rumus	Satuan	Kecepatan (knot)				
			10.000	11.000	12.000	13.000	14.000
1	Vs	m/s	5.143	5.657	6.172	6.686	7.200
2	<i>Froude number</i> $F_n = V_s / (g \cdot L)^{0.5}$		0.2395	0.2635	0.2874	0.3114	0.3353
3	Koefisien hambatan sisa						
	$10^3 C_{R(L)} / \nabla^{1/3}$:						
	> pada 4.5 (lihat grafik)		4.800	5.000	5.270	5.400	5.700
	> pada 5 (lihat grafik)		1.080	1.200	3.040	1.800	2.200
	> pada 4.66 (interpolasi)		1.897	2.010	2.230	2.470	2.670
4	Koreksi B/T		0.5300	0.5300	0.5300	0.5300	0.5300
5	Koreksi LCB						
	> LCB kapal standard (lihat grafik)	%	1.000	2.500	3.200	3.300	4.400
	> LCB kapal rancangan (lihat grafik)	%	0.014	0.014	0.019	0.014	0.014
	> $\Delta LCB = LCB \text{ rancangan} - LCB \text{ standard}$	%	-0.986	-2.486	-3.181	-3.286	-4.386
	$\frac{\partial 10^3 C_{R(L)}}{\partial LCB}$ (lihat grafik)		-0.010	0.120	0.300	0.560	0.600
	koreksi		0.010	0.298	0.954	1.840	2.632
6	Koreksi bentuk penampang		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	Koreksi <i>Bulbous Bow</i>		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	Koreksi Anggota Badan kapal :						
	> Daun Kemudi		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	> Lunas Bilga		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	> Boss Baling-baling (3% x Cr)		0.057	0.060	0.067	0.074	0.080
	> Shaft Propeller (5% x Cr)		0.095	0.101	0.112	0.124	0.134
	koreksi		0.152	0.161	0.171	0.198	0.214
9	Koefisien hambatan sisa total		2.589	2.999	3.885	5.038	6.046
10	<i>Reynold Number</i> $R_n = \frac{V_s \times LWL}{\nu}$		203468855.219	223815740.741	244162626.263	264509511.785	284856397.306
11	Koefisien hambatan gesek $C_f = \frac{0.075}{(\log_{10} R_n - 2)^2}$		1.884557	1.860068	1.820000	1.818281	1.800193
12	Koefisien Tambahan (C_A)		0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
13	Koefisien Hambatan Udara (C_{AA})		0.070	0.070	0.070	0.070	0.070
14	Koefisien Hambatan Kemudi (C_{AS})		0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
15	Koefisien Hambatan Total (C_T)		4.983	5.369	6.215	7.366	8.356
16	Hambatan Total	kg	40.396	52.662	72.558	100.911	132.761
17	EHP	KW	207.755	297.924	447.801	674.682	955.909
		HP	278.391	399.218	600.054	904.074	1280.918
18	PC						
	> Efisiensi Baling-baling () ₀		0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
	> Efisiensi Relative-rotative () _r		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	> Efisiensi Lambung () _h		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	PC		0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
19	SHP	HP	173.129	248.270	500.045	753.395	1067.431
		KW	129.102	185.135	372.883	561.807	795.984
20	BHP						
	> Koreksi Gear box 2%		3.463	4.965	10.001	15.068	21.349
	> Koreksi Letak Kamar Mesin 3%		5.194	7.448	15.001	22.602	32.023
	> <i>Sea Margin</i> 10 %		17.313	24.827	50.004	75.340	106.743
	BHP	HP	199.098	285.510	575.052	866.405	1227.546
	BKW	KW	148.468	212.905	428.816	646.078	915.381

Dengan telah dipilihnya mesin induk untuk kapal rancangan, maka berdasarkan kurva daya kecepatan untuk daya mesin 755 HP maka kecepatan kapal rancangan ini adalah 12 *knots*.

II.2.3 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.

Sistem 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 sistem propulsi harus saling secocok mungkin. Sementara itu, kapal harus mempunyai kemampuan oleh gerak dan untuk kerja yang baik.

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

A. Diameter baling-baling optimum

B. *Thrust horse power*

- C. Putaran baling-baling
- D. Jumlah daun baling-baling
- E. Efek kavitasi terhadap baling-baling
- F. Kekuatan baling-baling.

Dalam tugas perancangan mesin kapal ini, perhitungan yang digunakan adalah perhitungan yang terdapat dalam buku Sv. Aa. *Hrvald* terjemahan Sutomo Jusuf dan Diktat Propulsi Kapal (*Ship Propulsion*), karangan Teguh Sastrodiwongso, MSE.

2.3.1 Istilah Yang Digunakan

Istilah-istilah yang digunakan dalam perencanaan baling-baling ini adalah :

A. Faktor Arus Ikut (w)

Faktor arus ikut atau *wake fraction* adalah perbandingan antara kecepatan wake (V_w) dengan kecepatan kapal (V_s).

B. *Advance Speed* (V_a)

Advance Speed (V_a) adalah selisih dari pada *pitch* baling-baling dengan harga *slip* baling-baling dalam knot.

C. *Advance Speed dari Propeller* (v_e)

Advance Speed (V_a) adalah selisih dari pada *pitch* baling-baling dengan harga *slip* baling-baling dalam meter per second.

D. *Revolution Per Minute* (RPM)

Revolution Per Minute (RPM) adalah kecepatan putar yang dapat dicapai oleh *propeller* untuk satu kali putaran dalam meter per minute.

E. *Revolution Per Second* (Rps)

Revolution Per Second (Rps) adalah kecepatan putar yang dapat dicapai oleh *propeller* untuk satu kali putaran dalam meter per second.

F. *Pitch Ratio* (Ho/Do)

Pitch Ratio (Ho/Do) adalah jarak *axial* yang dapat dicapai oleh *propeller* untuk satu kali putaran.

G. Diameter *Tentative* (D)

Diameter *Tentative* adalah tinggi maksimum *propeller* rancangan. Sehingga untuk perencanaan *propeller* tingginya tidak boleh lebih besar dari pada tinggi dari *propeller tentative*.

H. Konstanta kavitasi (σ)

Penetapan perhitungan kavitasi pada jari-jari yang telah ditentukan (R). Pada perhitungan kavitasi yang dipakai adalah $\sigma_{0,7}$ karena pada jari-jari 0,7 tempat biasanya terjadi kavitasi.

I. *Project Blade Area* (F_p)

Project blade Area (F_p) adalah luasan dari daun baling-baling kapal.

J. *Developed Blade Area* (F_a)

Developed blade Area (F_p) adalah selisih luasan dari daun baling-baling kapal dengan *luas disk propeller*.

K. *Expanded Ratio* (F_a/F)

Expanded Area Ratio adalah ratio perbandingan antara *developed area* dengan *disk area* dari propeller.

2.3.2 Perencanaan Baling-Baling Kapal

Perencanaan penentuan dimensi baling-baling akan sangat menentukan terhadap hasil dari kinerja kapal rancangan. Adapun perencanaan baling-baling tersebut adalah sebagai berikut.

A. Faktor Arus Ikut (w)

Untuk menentukan faktor arus ikut atau *wake friction* dari kapal rancangan digunakan rumus *Taylor* dalam buku *Propulsi Kapal* oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso MSE, halaman 99 untuk kapal *single screw* adalah :

$$w = - 0,20 + (0,55 \times C_b)$$

Dimana :

w = *Wake Friction*

C_b = *Coefficient Block* kapal rancangan
= 0,620

Maka :

$$\begin{aligned} w &= -0,20 + (0,55 \times 0,620) \\ &= 0,260 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$w = 0,110$**

B. *Advance Speed (V_a)*

Untuk menentukan *advance speed* dari kapal rancangan digunakan rumus yang terdapat dalam buku *Propulsi Kapal* oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso MSE, halaman 27 adalah :

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

Dimana :

V_a = *Advance speed of propeller.*

w = *Wake Friction*
= 0,110

V_s = *Kecepatan kapal rancangan.*
= 12 *Knots*

Maka :

$$\begin{aligned} V_a &= (1 - 0,110) \times 12 \\ &= 10,680 \text{ *Knots*.} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$V_a = 10,680 \text{ *Knots*..}$**

C. *Advance Speed Dari Propeller (v_e)*

Untuk menentukan *advance speed of propeller* dari kapal rancangan digunakan rumus yang terdapat dalam buku *Propulsi Kapal* oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso M.SE, halaman 27 adalah :

$$v_e = (1 - w) \times V_s \times 1,025$$

Dimana :

v_e = Advance speed of propeller.

w = Wake Friction

= 0,110

V_s = Kecepatan kapal rancangan.

= 12 *Knots*

Maka :

$$\begin{aligned} v_e &= (1 - 0,110) \times 12 \times 1,025 \\ &= 10,947 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$v_e = 10,947 \text{ m/s}$** .

D. Koreksi RPM Baling-baling (N_K)

Karena memakai diagram $Bp-\delta$ dilakukan koreksi *Scale effect* untuk N sebesar 2%.

Rpm = Putaran mesin utama kapal rancangan

= 1900 rpm

= digunakan *reduction gear* 1 : 2,19

$$= \frac{1900}{2,19}$$

= 867,580 rpm

Maka :

$$\begin{aligned} N_K &= 0,98 \times 867,580 \\ &= 850,228 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas di tetapkan harga **$N_k = 850,228 \text{ rpm}$**

E. Shaft Horse Power (SHP)

Untuk menentukan *Shaft Horse Power* (SHP) digunakan beberapa koreksi, yaitu :

- Koreksi 3% untuk gear box
- Koreksi 3% untuk letak kamar mesin di belakang
- Koreksi HP Metric ke HP British = $\frac{75}{76}$

$$\text{- Koreksi density dari air tawar ke air laut} = \frac{1,000}{1,025}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \text{SHP} &= (755-(3+3)\%) \times \frac{75}{76} \times \frac{1,000}{1,025} \\ &= 725,497 \text{ HP} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **SHP = 725,497 HP**

F. Diameter Baling-baling *Tentative* (D)

Untuk menentukan *diameter tentative* digunakan rumus yang terdapat dalam buku *Caldwell Screw Tug Design* hal. 181, yaitu :

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

Dimana :

$$\begin{aligned} D &= \text{Diameter Propeller} \\ T &= \text{Draft kapal rancangan.} \\ &= 2,4 \text{ m.} \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} D &= 0,7 \times 2,4 \\ &= 1,68 \text{ m.} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **D = 1,68 m.**

G. Gaya Dorong Atau *Thrust* (T)

Untuk menentukan gaya dorong atau *thrust* (T) digunakan rumus yang terdapat dalam buku *Propulsi Kapal* oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso, MSE pada halaman 21, yaitu :

$$T = \frac{R_T}{1 - w}$$

Dimana :

T = *Trust* atau Angka Dorong.

R_T = Hambatan total kapal rancangan.
= 7398,897 Kg

w = 0,110

Maka :

$$T = \frac{7398,897}{1 - 0,110}$$

$$= 25089,413 \text{ Kg.}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$T = 8313,367 \text{ Kg}$**

H. Penentuan Jumlah Daun Baling-Baling (Z)

1. Bila harga koefisien $K'd \leq 2$ atau $K'n \geq 1,0$; maka disarankan memilih jumlah daun $Z = 3$.
2. Bila harga koefisien $K'd \leq 2$ atau $K'n \leq 1,0$; maka disarankan memilih jumlah daun $Z = 4$.

Untuk kapal rancangan ini adalah :

$$K'd = D \times ve \times \sqrt{\frac{\rho}{T}}$$

Dimana :

D = Diameter *Propeller*.

D = 1,68 m.

ve = *Advance speed of propeller*.
= 10,947 m/s

T = Gaya dorong (*Thrust*).
= 8313,367 Kg.

ρ = *Density* air laut.

ρ = 104,5 Kg.s²/m⁴

Maka :

$$\begin{aligned} K'd &= 1,68 \times 10,947 \times \sqrt{\frac{104,5}{8313,367}} \\ &= 2,061 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk nilai K'n untuk kapal rancangan ini adalah :

$$K'n = \frac{ve}{\sqrt{n}} \times \sqrt{\frac{\rho}{T}}.$$

Dimana :

ve = *Advance speed of propeller.*

$$= 10,947 \text{ m/s}$$

T = Gaya dorong atau *Thrust*

$$= 8313,367 \text{ Kg.}$$

ρ = *Density air laut.*

$$\rho = 104,5 \text{ Kg.s}^2/\text{m}^4$$

n = Koreksi putaran baling-baling per detik

$$= 850,228 \text{ rpm}/60$$

$$= 14,170 \text{ Rps.}$$

Maka :

$$\begin{aligned} K'n &= \frac{10,947}{\sqrt{14,170}} \times \sqrt{\frac{104,5}{8313,367}} \\ &= 0,326 \end{aligned}$$

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

I. *Diameter Optimum, Pitch Ratio dan Propeller Efficiency*

1. Koefisien Baling-Baling

Untuk menentukan koefisien baling-baling menggunakan rumus, yaitu :

$$B_p = \frac{N \times \sqrt{SHP}}{V_a^{2.5}}$$

Dimana :

N_K = Koreksi Putaran baling-baling

= 850,228 Rpm.

SHP = *Shaft Horse Power*

= $(755 - (6\% \times 755)) \times 75/76 \times (1,000/1,025)$

= 683,279 HP

V_a = *Advance speed of propeller.*

= 10,680 *Knots.*

Maka :

$$B_p = \frac{850,228 \times \sqrt{683,279}}{10,680^{2.5}}$$

$$= 37,372$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$B_p = 59,622$**

Tabel 2.5. Koefisien Baling – Baling

NO	Item	B4-40	B4-55	B4-70	B4-85
1	<i>Advance Coefficient</i> (δ)	305	290	280	272

Sumber : Perhitungan Pribadi

2. Koreksi *Advance Coefficient* (δ_K)

Dalam perencanaan baling-baling tunggal (*single screw*) ini dari “*Open condition*” menjadi “*Behind condition*” perlu dilakukan koreksi. Untuk menentukan koreksi *advance Coefficient* (δ_K) digunakan pernyataan yang terdapat dalam buku Propulsi Kapal oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso MSE halaman 116 untuk kapal dengan *twin screw*, yaitu :

$$\delta_K = \delta - (2\% \sim 5\%)$$

Dimana :

δ_K = *Koreksi Advance Coefficient.*

% = Persentase koreksi.

$$= 4\%$$

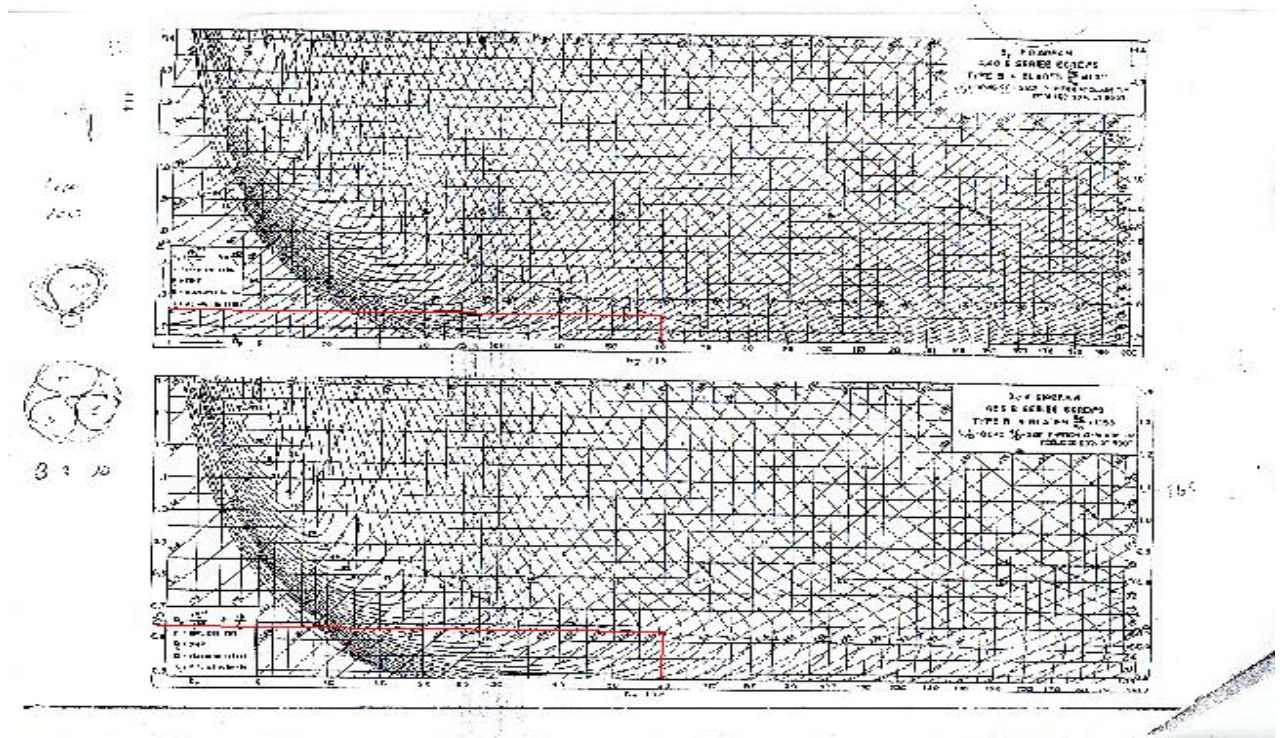
Maka Koreksi *Advance Coefficient*. (δ_K) adalah :

Tabel 2.6. Koreksi *Advance* Koefisien

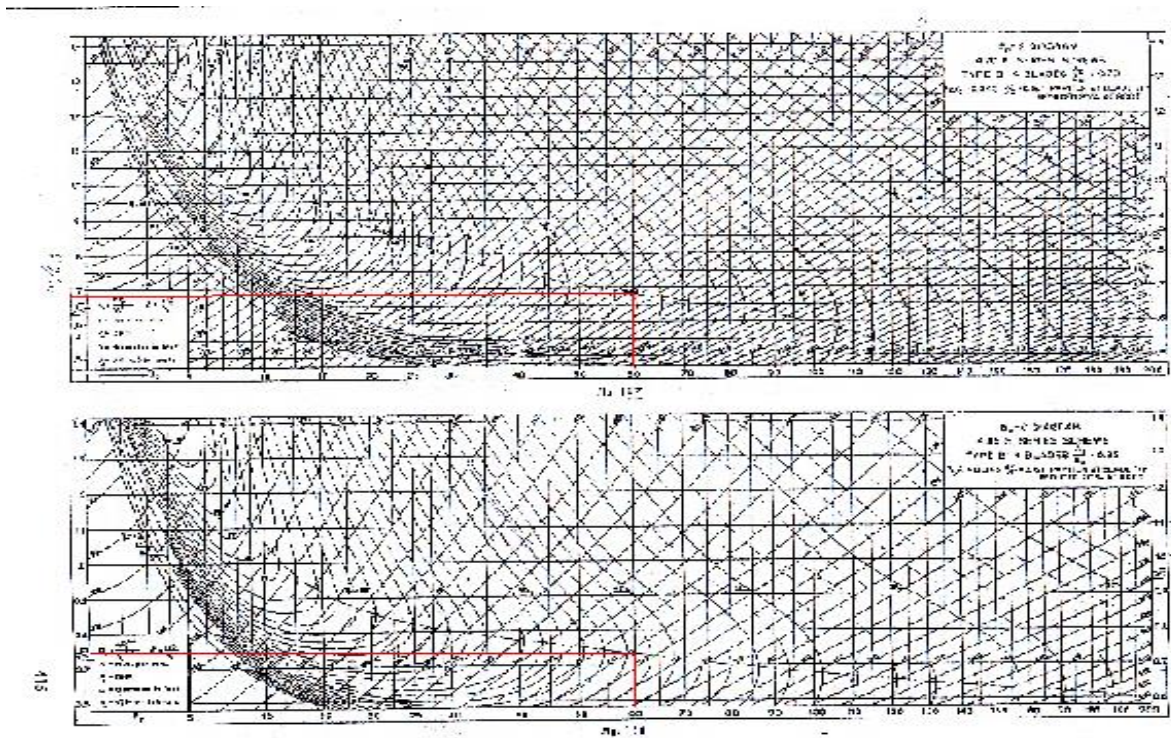
NO	Item	B4-40	B4-55	B4-70	B4-85
1	<i>Advance Coefficient</i> (δ)	305	290	280	272
2	Koreksi	4%	4%	4%	4%
3	(δ_K)	292,9	278,4	268,8	261,12
4	<i>Pitch Ratio</i> (Ho/Do)	0,55	0,64	0,690	0,745
5	<i>Propeller Efficiency</i> (η_p)	50,5%	49,8%	47,20%	46,8%

Sumber : Perhitungan Pribadi

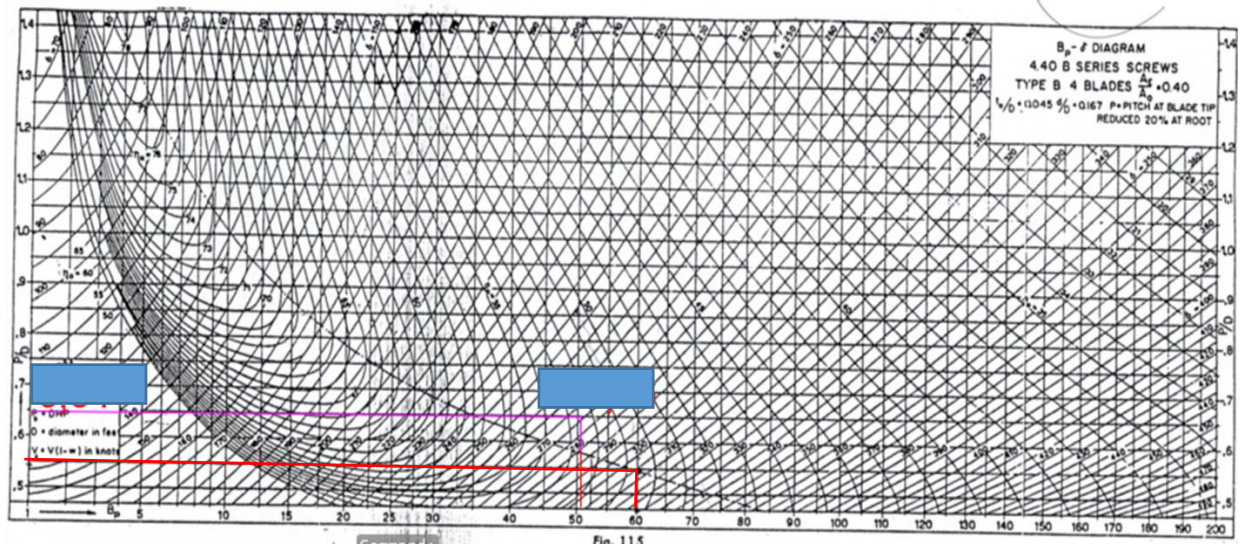
Gambar Grafik B4-40 dan B4-55

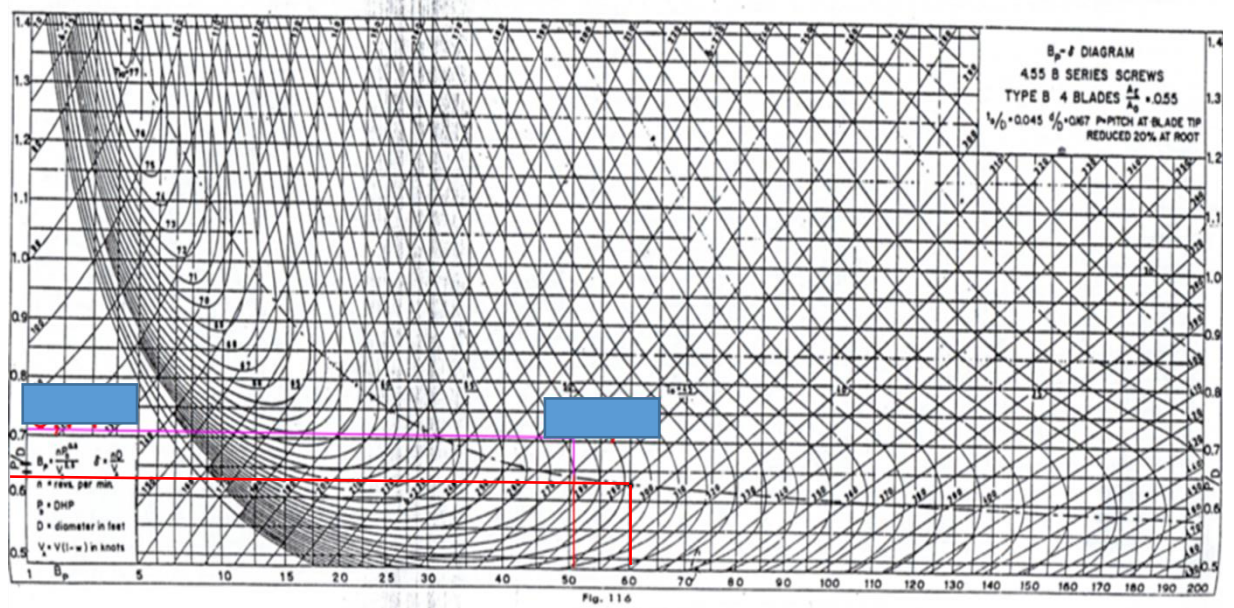


Gambar Grafik B4-70 dan B4-85

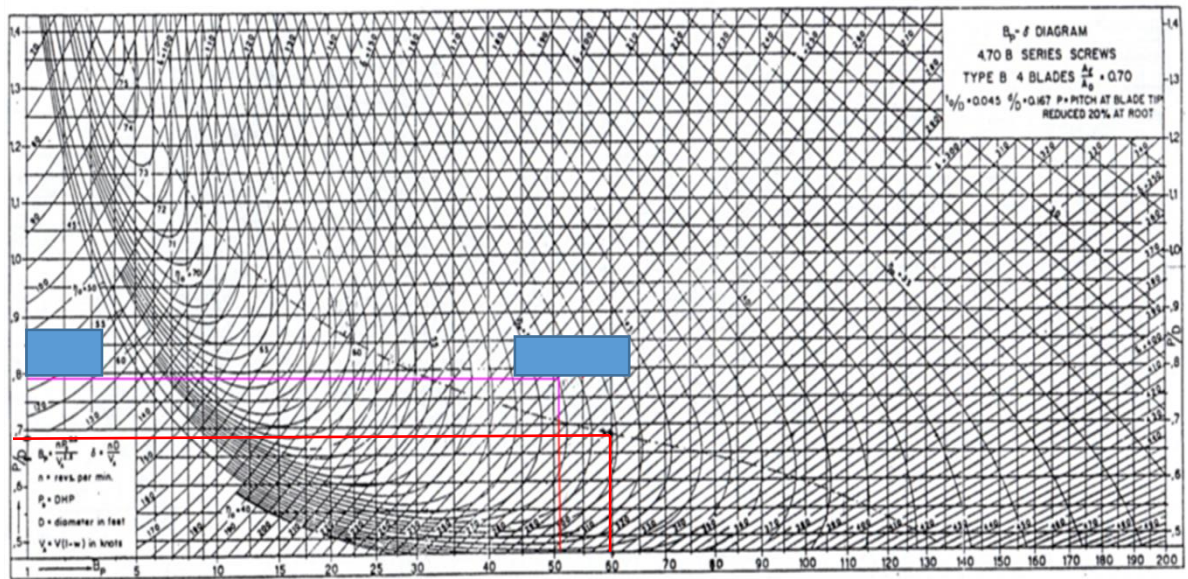


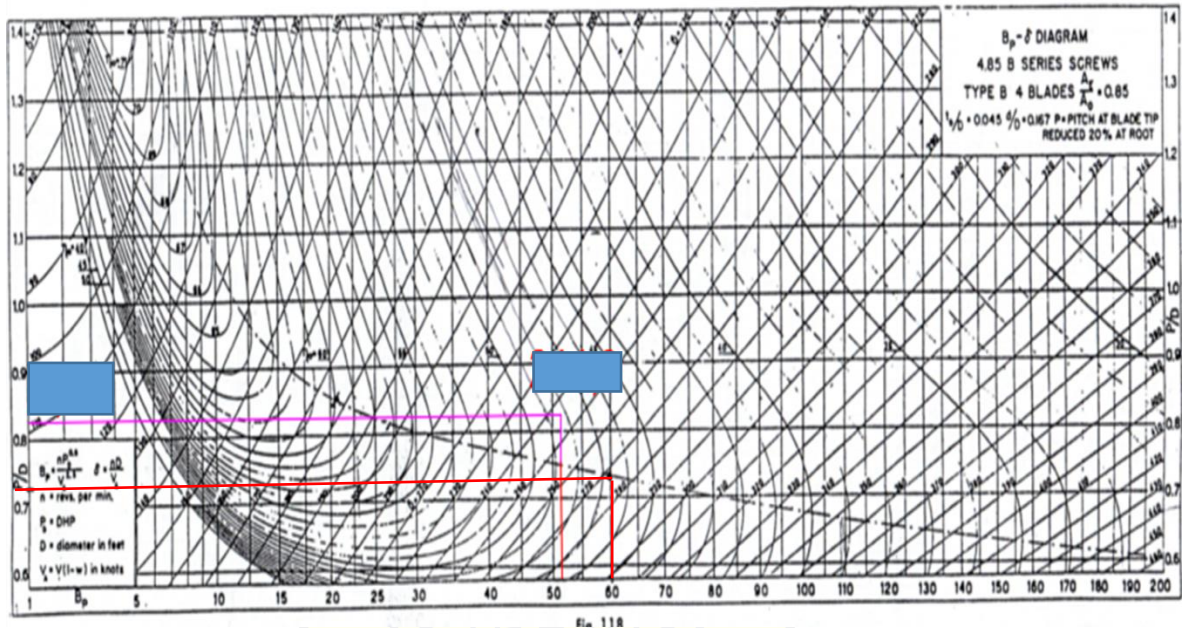
Gambar II-1. Grafik B4-40 dan B4-55





Gambar II-2. Grafik B4-70 dan B4-85





3. Diameter Optimum (Do)

Untuk menentukan Diameter Optimum (Do) digunakan rumus yang terdapat dalam buku Propulsi Kapal oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso MSE halaman 117, yaitu :

$$Do = \frac{\delta_k \times Va}{N_K} \times 0,3048 \dots\dots\dots(m)$$

Dimana : Do = Diameter Optimum.

δ_K = Koreksi Advance Coefficient.

Va = Advance Speed dari propeller.

= 10,680 Knots.

N_K = Koreksi Putaran baling-baling

= 850,228 Rpm.

Maka *Diameter Optimumnya* (D_o) adalah :

- Untuk B4-40 Dan $\delta_K = 292,8$

$$D_o = \frac{292,8 \times 10,680}{850,228} \times 0,3048 = 1,121 \text{ m}$$

- Untuk B4-55 Dan $\delta_K = 278,4$

$$D_o = \frac{278,4 \times 10,680}{850,228} \times 0,3048 = 1,066 \text{ m}$$

- Untuk B4-70 Dan $\delta_K = 268,8$

$$D_o = \frac{268,8 \times 10,680}{850,228} \times 0,3048 = 1,029 \text{ m}$$

- Untuk B4-85 Dan $\delta_K = 261,12$

$$D_o = \frac{261,12 \times 10,680}{850,228} \times 0,3048 = 1,000 \text{ m}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan :

Tabel 2.7. Diameter Optimum

NO	Item	B4-40	B4-55	B4-70	B4-85
1	<i>Koreksi Advance Coefficient (δ_k)</i>	292,8	278,4	268,8	261,12
2	<i>Diameter Optimum</i>	1,121 m	1,066 m	1,029 m	1,000 m

Sumber : Perhitungan Pribadi

2.3.3 Perhitungan Kavitas

Kavitas terjadi karena adanya butiran-butiran gelembung-gelembung pada daun *propeller* yang disebabkan karena adanya penurunan tekanan sampai dengan temperatur setempat. Gelembung-gelembung tersebut lalu berpindah, namun karena tekanan pada sekitar *propeller* tersebut besar sehingga gelembung-gelembung tersebut pecah. Dengan pecahnya gelembung-gelembung udara tersebut, menimbulkan suatu gaya. Walaupun gaya tersebut kecil namun apabila gelembung-

gelembung tersebut pecah pada dan dekat dengan daun baling-baling yang terjadi secara terus menerus akan mengakibatkan erosi pada baling-baling.

Akibat terjadi kavitasi dapat menyebabkan :

1. Berkurangnya gaya dorong kapal.
2. Berkurangnya *propulsive efficiency* (η_p).
3. Terjadinya getaran pada lambung kapal.
4. Terdengarnya suara berisik pada bagian buritan kapal.
5. Terjadinya erosi pada baling-baling kapal.
6. Apabila ini berlangsung terus menerus dapat mengakibatkan *propeller* retak dan akan mengakibatkan daun baling-baling patah.

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

Pemilihan ukuran baling-baling dengan resiko kavitasi terkecil dengan memakai diagram kavitasi (*Burrill*).

A. Konstanta Kavitasi

Untuk menentukan kavitasi pada *propeller* yaitu pada posisi $\sigma_{0,7}$ digunakan rumus yang terdapat dalam buku Propulsi kapal oleh terjemahan Ir. Teguh Sastrodiwongso *MSE*, yaitu :

$$\sigma_{0,7} = \frac{(P - P_v) - \left(0,7 \times \frac{D}{2} \times \gamma \right)}{0,5 \times \rho \left(V_a^2 + (0,7 \times \pi \times D \times n)^2 \right)}$$

$P - P_v$ = Beda tekanan statik pada sumbu *propeller*.

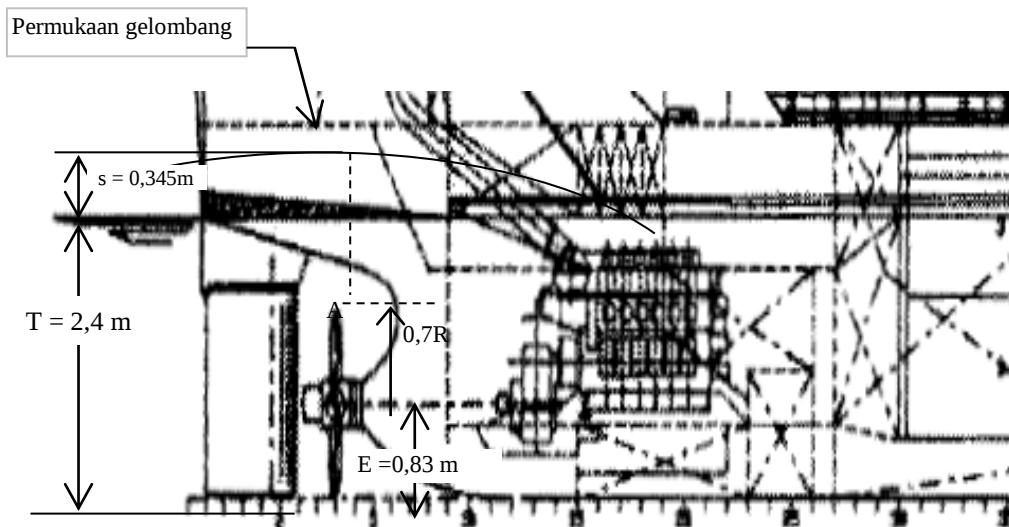
D_o = *Diameter optimum*.

ρ = Kerapatan air laut.

ρ = 104,5 Kg.s²/m⁴.

$$\begin{aligned}
 V_a &= \text{Advance Speed dari propeller.} \\
 &= 10,680 \text{ Knot} = 5,493 \text{ m/s} \\
 n &= \text{Koreksi putaran baling-baling per detik} \\
 &= 14,170 \text{ Rps}
 \end{aligned}$$

B. Beda tekanan statik pada sumbu baling-baling (P-Pv)



Sumber : Gambar Pribadi

Gambar 2.4. Penentuan letak titik – titik tekanan hidrostatik

Untuk menentukan beda tekanan statik pada sumbu baling-baling digunakan cara yang terdapat dalam buku Propulsi Kapal oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso halaman 125, yaitu :

Tekanan hidrostatik di posisi sumbu *shaft propeller* :

$$\begin{aligned}
 \text{Draft kapal :} & T = 2,4 \text{ m} \\
 \text{Jarak Base Line ke sumbu shaft propeller} & E = 0,83 \text{ m} \\
 T - E &= 1,57 \text{ m} \quad (-) \\
 \text{Ketinggian permukaan gelombang} & s = 0,345 \text{ m} \quad (+) \\
 \text{diukur dari Tip Propeller Blade} &
 \end{aligned}$$

Ketinggian air laut diukur dari = 1,915 m

sumbu *shaft propeller*

Water head di sumbu *shaft propeller* = 1,915 m

Tekanan hidrostatik di posisi sumbu *shaft propeller* :

$$p = 1,915 \text{ m} \times 1025 \text{ kg/m}^3 = 1962,875 \text{ kg/m}^2$$

Tekanan 1 atm. (= p_o) – *vapour pressure* (= e) :

$$(p_o - e) = 10100 \text{ kg/m}^2$$

Harga ($P - P_v$) : = 12062,875 kg/m²

Dari perhitungan ditetapkan Harga **$P - P_v$** = **12062,875 kg/m²**

- Untuk B4-40 dan $Do = 1,121 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \sigma_{0,7} &= \frac{(12062,875) - (0,7 \times (1,121 / 2) \times 1025)}{1/2 \times 104,49(5,493^2 + (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 1,121 \times 14,170)^2)} \\ &= 0,167 \end{aligned}$$

- Untuk B4-55 dan $Do = 1,066 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \sigma_{0,7} &= \frac{(12062,875) - (0,7 \times (1,066 / 2) \times 1025)}{1/2 \times 104,49(5,493^2 + (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 1,066 \times 14,170)^2)} \\ &= 0,184 \end{aligned}$$

- Untuk B4-70 dan $Do = 1,029 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \sigma_{0,7} &= \frac{(12062,875) - (0,7 \times (1,029 / 2) \times 1025)}{1/2 \times 104,49(5,493^2 + (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 1,029 \times 14,170)^2)} \\ &= 0,196 \end{aligned}$$

- Untuk B4-85 dan $Do = 1,000 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \sigma_{0,7} &= \frac{(12062,875) - (0,7 \times (1 / 2) \times 1025)}{1/2 \times 104,49(10,680^2 + (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 1 \times 14,170)^2)} \\ &= 0,207 \end{aligned}$$

C. Koefisien Gaya Dorong (τ_c)

Untuk menentukan koefisien gaya dorong ini digunakan diagram *Burriel* pada buku *Principles of Naval Architecture* halaman 409. Dari diagram tersebut didapatkan harganya adalah sebagai berikut :

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

D. Penentuan Thrust (T)

Untuk menentukan *trust* digunakan rumus yang terdapat dalam buku Propulsi Kapal (*Ship Propulsion*) oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso MSE halaman 126, yaitu :

$$T = \frac{SHP \times \eta_p \times \eta_r \times 75}{V_a}$$

T = Thrust.

SHP = Shaft Horse Power Thrust

$$= (755 - (6\% \times 755)) \times (75/76) \times (1/1,025)$$

$$= 683,279 \text{ HP}$$

η_p = Propulsive Efficiency.

η_r = Rotative Efficiency = 1,00

v_a = Advance speed of propeller = 10,680 knots = 5,493 m/s

- Untuk B4-40 dan $\eta_p = 50,5\%$

$$T = \frac{683,279 \times 0,505 \times 1 \times 75}{5,493} = 2423,148 \text{ Kg.}$$

- Untuk B4-55 dan $\eta_p = 49,8\%$

$$T = \frac{683,279 \times 0,498 \times 1 \times 75}{5,493} = 2389,560 \text{ Kg.}$$

- Untuk B4-70 dan $\eta_p = 47,20\%$

$$T = \frac{683,279 \times 0,472 \times 1 \times 75}{5,493} = 2264,804 \text{ Kg.}$$

- Untuk B4-85 dan $\eta_p = 46,80\%$

$$T = \frac{683,279 \times 0,468 \times 1 \times 75}{5,493} = 2245,611 \text{ Kg}$$

E. Penentuan *Project Blade Area* (FP)

Untuk menentukan *project blade area* digunakan rumus :

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

Dimana :

FP = *Project blade area*.

Ho/D = *Pitch ratio*

Fa = *Expanded Blade Area*

- Untuk B4-40

Expanded Blade Ratio

$$\frac{F_a}{F} = \frac{\text{Expanded Area of The Blades}}{\text{Disc Area of The Screw}}$$

$$\frac{F_a}{F} = 0,4$$

$$F_a = 0,4 \times F$$

Disc Area of The Screw (F)

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{3,14}{4} \times 1,121^2 \\ &= 0,987 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

Expanded Blade Area (Fa)

$$\begin{aligned} F_a &= 0,400 \times 0,987 \text{ m}^2 \\ &= 0,394 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} F_p &= (1,067 - (0,229 \times 0,550)) \times 0,394 \\ &= 0,371 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Untuk B4-55

Expanded Blade Ratio

$$\frac{F_a}{F} = \frac{\text{Expanded Area of The Blades}}{\text{Disc Area of The Screw}}$$

$$\frac{F_a}{F} = 0,55$$

$$F_a = 0,55 \times F$$

Disc Area of The Screw (F)

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{3,14}{4} \times 1,066^2 \\ &= 0,892 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

Expanded Blade Area (Fa)

$$\begin{aligned} F_a &= 0,550 \times 0,892 \text{ m}^2 \\ &= 0,491 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} F_p &= (1,067 - (0,229 \times 0,64)) \times 0,491 \\ &= 0,452 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Untuk B4-70

Expanded Blade Ratio

$$\frac{F_a}{F} = \frac{\text{Expanded Area of The Blades}}{\text{Disc Area of The Screw}}$$

$$\frac{F_a}{F} = 0,70$$

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

Disc Area of The Screw (F)

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

$$= \frac{3,14}{4} \times 1,029^2$$

$$= 0,831 \text{ m}^2.$$

Expanded Blade Area (Fa)

$$Fa = 0,70 \times 0,831 \text{ m}^2$$

$$= 0,582 \text{ m}^2$$

Maka :

$$Fp = (1,067 - (0,229 \times 0,690)) \times 0,582$$

$$= 0,529 \text{ m}^2$$

- Untuk B4-85

Expanded Blade Ratio

$$\frac{Fa}{F} = \frac{\text{Expanded Area of The Blades}}{\text{Disc Area of The Screw}}$$

$$\frac{Fa}{F} = 0,85$$

$$Fa = 0,85 \times F$$

Disc Area of The Screw (F)

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

$$= \frac{3,14}{4} \times 1,000^2$$

$$= 0,785 \text{ m}^2.$$

Expanded Blade Area (Fa)

$$Fa = 0,85 \times 0,785 \text{ m}^2$$

$$= 0,667 \text{ m}^2$$

Maka :

$$Fp = (1,067 - (0,229 \times 0,749)) \times 0,667$$

$$= 0,598 \text{ m}^2$$

Maka koefisien gaya dorongnya adalah :

- Untuk B4-40

$$\begin{aligned}\tau_c &= \frac{T}{1/2 \cdot \rho \cdot F_p \cdot V^2} \\ &= \frac{2423,148}{(0,5 \times 104,49 \times 0,371 (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 0,561 \times 14,170)^2)} \\ &= 0,102\end{aligned}$$

- Untuk B4-55

$$\begin{aligned}\tau_c &= \frac{T}{1/2 \cdot \rho \cdot F_p \cdot V^2} \\ &= \frac{2389,560}{(0,5 \times 104,49 \times 0,452 (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 0,533 \times 14,170)^2)} \\ &= 0,092\end{aligned}$$

- Untuk B4-70

$$\begin{aligned}\tau_c &= \frac{T}{1/2 \cdot \rho \cdot F_p \cdot V^2} \\ &= \frac{2264,804}{(0,5 \times 104,49 \times 0,529 (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 0,515 \times 14,170)^2)} \\ &= 0,080\end{aligned}$$

- Untuk B4-85

$$\begin{aligned}\tau_c &= \frac{T}{1/2 \cdot \rho \cdot F_p \cdot V^2} \\ &= \frac{2245,611}{(0,5 \times 104,49 \times 0,598 (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 0,500 \times 14,170)^2)} \\ &= 0,074\end{aligned}$$

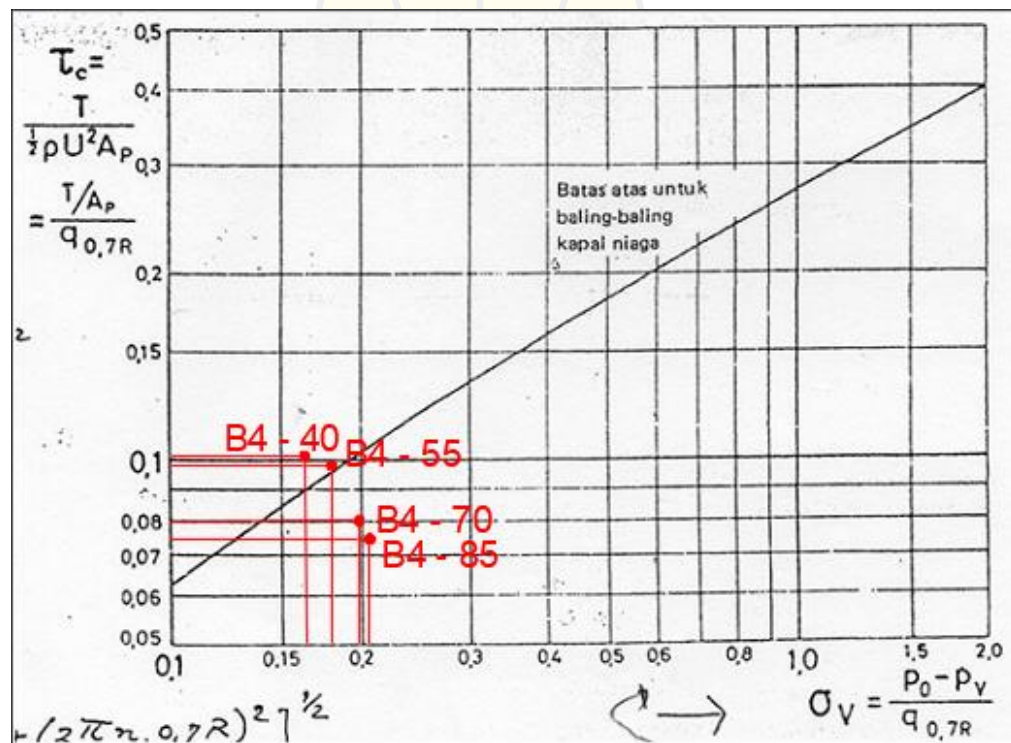
2.3.4 Tabel Perhitungan Kavitas

Setelah didapat dilakukan perhitungan kavitas diatas, langkah selanjutnya adalah untuk melakukan penggambaran grafik rancangan baling-baling. Berikut dibawah ini adalah tabel hasil perhitungan kavitas.

Tabel 2.8. Tabel Perhitungan Kavitas

Sumber : Perhitungan Pribadi

NO	Item	B4-40	B4-55	B4-70	B4-85
1	Diameter optimum (Do)	1,121 m	1,066 m	1,029 m	1,000 m
2	Thurst koefisien (tc)	0,102	0,092	0,080	0,074
3	Pitch Ratio (Ho/Do)	0,550	0,640	0,690	0,745
4	Propeller Efisiensi (hp)	50,5%	49,8%	47,2%	46,8%
5	Konstanta Kavitasasi ($\sigma_{0,7}$)	0,167	0,184	0,196	0,207
6	Developed Blade Ratio (Fp/Fa)	0,941	0,920	0,909	0,896
7	Disk Area of The Screw (F)	0,987m ²	0,892m ²	0,831m ²	0,785m ²
8	Developed Blade Area (Fa)	0,395	0,491	0,582	0,667
9	Projected Blade Area (Fp)	0,371	0,452	0,529	0,598



Sumber : Buku Propulsi Kapal Karangan Teguh Sastrodiwongso

Gambar 2.5. Diagram *Burril*

2.3.5 Pemilihan Baling-Baling

Dari gambar 2.5 didapatkan spesifikasi baling-baling yang diperlukan untuk penggerak kapal rancangan ini adalah sebagai berikut:

Tabel 2.9. Pemilihan Baling - Baling

Tipe baling-baling	B4-70
Diameter baling-baling (D)	1,029 m
<i>Pitch Ratio</i> baling-baling (Ho/D)	0,690
<i>Developed Blade Ratio</i> (Fp/Fa)	0,909
Efisiensi baling-baling (η_p)	47,2%
Jumlah daun baling – baling (Z)	4 buah

Sumber : Data Pribadi

2.3.6 Kesimpulan

Berdasarkan diagram kavitasi (*Burrill*) diatas, dapat disimpulkan bahwa Tipe baling-baling yang efisiensinya paling baik adalah pada tipe B4-70, karena tipe tersebut berada di bawah garis diagram kavitasi pada efisiensi standar, dan tipe tersebut yang paling mendekati dari garis batas tersebut. Kemudian diameter Optimumnya yaitu, 1,039 m dan baling-baling pada propulsi kapal rancangan saya yaitu sebanyak 4 buah.

2.4 Perencanaan Diameter Poros Propeller

Perencanaan poros propeller menurut buku Elemen Mesin SOELARSO adalah sebagai berikut :

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

Langkah Perhitungan :

- Daya Perencanaan (Pd)

Dimana f_c = factor koreksi daya yang direncanakan besarnya = 1,5

a. f_c = 1,2 – 2,0 (Daya maksimum)

$$b. \quad f_c = 0,8 - 1,2 \text{ (Daya minimum)}$$

$$c. \quad f_c = 1,0 - 1,5 \text{ (Daya normal)}$$

$$P_d = f_c \text{ (perencanaan)} \times \text{SHP} \times 0,746$$

$$P_d = 1,5 \times 683,279 \times 0,746$$

$$= 764,590 \text{ Kw}$$

- Torsi (T)

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

Dimana N adalah putaran Propeller, dalam perencanaan ini putaran propeller didapatkan sebesar = 867,580 Rpm

$$T = 9,74 \cdot 10^5 \cdot \frac{764,590}{867,580} = 858377,19 \text{ Kg.mm}$$

- 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

$Sf_1 = 6$ (untuk material baja karbon)

$Sf_2 = 1,3 - 3$, dalam perhitungan ini diambil *nilai 2*

$$\text{Sehingga ; } \tau_a = \frac{58}{6 \times 2} = 4,833 \text{ kg/mm}^2$$

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

C_b = diperkirakan adanya beban lentur, nilainya antara 1,2 ~ 2,3 dalam perhitungan ini diambil nilai $C_b = 2,2$

- Diameter Poros (Ds)

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

$$D_s = \left[\left(\frac{5,1}{4,833} \right) \times 2,5 \times 2,3 \times 858377,19 \right]^{1/3}$$

$$= 184.197 \text{ mm}$$

Diambil $D_s = 184,197 \text{ mm}$

- Tegangan yang bekerja

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

$$\tau = \frac{5,1 \times 858377,19}{184,197^3} = 0,700$$

Perhitungan koreksi I $\tau < \tau_a$

$0,700 < 3,22$ (memenuhi syarat)

2.4.1 Perencanaan Perlengkapan Propeller

1. Diameter boss Propeller

$$D_b = 0,167 \times D_{prop}$$

$$= 0,167 \times 1,029 \times 1000$$

$$= 171,869 \text{ mm}$$

$$t_r = 0,045 \times D_{prop}$$

$$= 0,045 \times 1,029 \times 1000$$

$$= 46,312 \text{ mm} \quad (\text{Ref.No.12})$$

2. Diameter boss propeller terkecil (Dba)

$$D_{ba}/D_b = 0,85 \approx 0,9$$

$$= 0,85$$

$$D_{ba} = 0,85 \times D_b$$

$$= 0,9 \times 171,869 \text{ mm}$$

$$= 146,088 \text{ mm}$$

3. Diameter boss propeller terbesar (Dbf)

$$D_{bf}/D_b = 1,05 \approx 1,1$$

$$= 1,1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Dbf} &= 1,1 \times \text{Db} \\
 &= 1,1 \times 171,869 \text{ mm} \\
 &= 189,055 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4. Panjang boss propeller (Lb)

$$\begin{aligned}
 \text{Lb/Ds} &= 1,8 \approx 2,4 \\
 &= 2 \\
 \text{Lb} &= 2 \times \text{Ds} \\
 &= 2 \times 184,197 \text{ mm} \\
 &= 368,395 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

5. Panjang lubang dalam boss propeller (Ln)

$$\begin{aligned}
 \text{Ln/Lb} &= 0,3 \\
 \text{Ln} &= 0,3 \times \text{Lb} \\
 &= 0,3 \times 368,395 \text{ mm} \\
 &= 110,518 \text{ mm} \\
 \text{Tb/tr} &= 0,75 \\
 \text{Tb} &= 0,75 \times \text{tr} \\
 &= 0,75 \times 46,312 \text{ mm} \\
 &= 34,734 \text{ mm} \\
 \text{rf/tr} &= 0,75 \\
 \text{rf} &= 0,75 \times \text{tr} \\
 &= 0,75 \times 46,312 \text{ mm} \\
 &= 34,734 \text{ mm} \\
 \text{Rb/tr} &= 1 \\
 \text{Rb} &= 1 \times \text{tr} \\
 &= 1 \times 46,312 \text{ mm} \\
 &= 46,312 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

6. Tebal Sleeve

Sleeve atau selubung poros dipakai sebagai perlindungan terhadap adanya korosi.

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

$$\geq (0,03 \times 184,197) + 7,5$$

$$\geq 13,02 \text{ mm}$$

Tebal sleeve yang direncanakan adalah sebesar 13,02 mm (Ref. No. 2)

7. Bentuk Ujung Poros Propeller

1. Panjang Kones

Panjang konis atau Lb berkisaran antara 1,8 samapai 2,4 diameter poros. Diambil Lb = 2 Ds

$$L_b = 2 D_s$$

$$= 2 \times 184,197 \text{ mm}$$

$$= 368,395 \text{ mm}$$

2. Kemiringan Konis

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

Diambil sebesar 1/15

$$1/15 = x / L_b$$

$$x = 1/15 \cdot 368,395 \text{ mm}$$

$$= 24,560 \text{ mm}$$

3. Diameter Terkecil Ujung Kones

$$D_a = D_s - 2 \cdot x$$

$$= 184,197 \text{ mm} - (2 \times 24,560)$$

$$= 135,078 \text{ mm}$$

4. Diameter Luar Pengikat Boss

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

$$\begin{aligned}
 D_n &= 60\% \times D_s \\
 &= 0,6 \times 184,197 \\
 &= 110,518 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

8. Mur Pengikat Propeller

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

$$\begin{aligned}
 d &\geq 0,6 \times D_s \\
 d &\geq 0,6 \times 184,197 \\
 d &\geq 110,518 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dalam hal ini d diambil 110,518 mm

- b. Diameter inti

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

$$\begin{aligned}
 d_i &= 0,8 \times d \\
 &= 0,8 \times 110,518 \\
 &= 88,414 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- c. Diameter luar mur

$$\begin{aligned}
 D_o &= 2 \times d_i \\
 &= 2 \times 88,414 \\
 &= 176,828 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- d. Tebal/tinggi mur

Dari Sularso untuk ukuran standar tebal mur adalah $(0,8 \sim 1)$ diameter luar ulir, sehingga :

$$\begin{aligned}
 H &= 0,9 \times d \\
 &= 0,9 \times 110,518 \\
 &= 99,466 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal flens} &= 0,2 \times \text{diameter mur} \\
 &= 0,2 \times 88,414 \text{ mm} \\
 &= 17,682 \text{ mm} \\
 \text{Diameter} &= 1,5 \times \text{diameter mur} \\
 &= 1,5 \times 88,414 \text{ mm} \\
 &= 132,621 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

9. Pasak Propeller

Sumber untuk perencanaan pasak diambil dari buku Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin karya “Ir. Soelarso Ms.Me.” Momen torsi (Mt) yang terjaddi 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 = 833,36 HP

N = putaran poros atau putaran propeller

Jadi :

$$Mt = \frac{(833,36 \times 75 \times 60)}{(2 \times 3,14 \times 867,580)} = 688,297 \text{ kg.mm}$$

Parameter yang dibutuhkan adalah :

- Diameter Poros (Ds) = 170,787 mm
- Panjang pasak (L) antara (0,75 – 1,5) Ds dari buku DP dan PEM hal.27 (diambil 1,3)

$$\begin{aligned}
 L &= 1,3 \times Ds \\
 &= 1,3 \times 170,787 \\
 &= 222,023 \text{ mm} \\
 L &\text{ diambil } 222 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} B &= 25\% \times D_s \\ &= 0,25 \times 170,787 \\ &= 42,696 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tebal pasak (t)

$$\begin{aligned} t &= 1/6 \times D_s \\ &= 1/6 \times 170,787 \\ &= 28,464 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Radius ujung pasak (R)

$$\begin{aligned} R &= 0,0125 \times D_s \\ &= 0,0125 \times 170,787 \\ &= 2,13 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Luas bidang geser (A)

$$\begin{aligned} A &= 0,25 \times D_s^2 \\ &= 0,25 \times (170,787)^2 \\ &= 7292,049 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Bila momen renvane T ditekan pada suatu diameter poros (D_s), maka gaya sentrifugal (F) yang terjadi pada permukaan poros adalah :

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

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{764,590}{867,580} = 858376.933$$

$$F = \frac{T}{0,5 \cdot D_s} = \frac{858376.933}{0,5 \times 170,787} = 10052 \text{ kg}$$

Sedangkan tegangan gesek yang diijinkan (τ_{ka}) untuk pemakaian umum pada poros diperoleh dengan membagi kekuatan tarik σ_b dengan factor 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 S45C dengan harga $\sigma_b = 58 \text{ kg/mm}^2$.

Sehingga :

$$\tau_a = \frac{58}{6 \cdot 1,5} = 6,44 \text{ kg/mm}^2$$

Sedangkan tegangan gesek yang terjadi pada pasak adalah :

$$\tau_i = \frac{F}{B \cdot L} = \frac{10052}{42,696 \times 222} = 1,060 \text{ kg/mm}^2$$

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

- Penampang pasak

$$= B \times t$$

$$= 42,696 \times 28,464$$

$$= 1215 \text{ mm}^2$$

- Kedalaman alur pasak pada poros (t_1)

$$t_1 = 0,5 \times 28,464$$

$$= 14,232 = 14 \text{ mm}$$

- Kealaman alur pasak pada naf (t_2)

$$t_2 = t - t_1$$

$$= 28,464 - 14$$

$$= 14,464 = 14,5 \text{ mm}$$

Perhitungan Kekuatan Pasak Propeller

Jika daya P (dalam Kw) adalah daya normal output suatu motor penggerak, maka berbagai factor keamanan biasanya dapat diambil dalam

perencanaan sehingga koreksi pertama dapat dibuat kecil. Jika factor koreksi adalah F_c dan daya perencanaan P_d sebagai patokan maka didapatkan :

$$P_d = F_c \times P_d, (Kw)$$

Dimana :

F_c = factor koreksi daya yang akan ditransmisikan, yang diambil dari table 16 hal.7 buku “DP dan PEM, SOELARSO” yaitu antara 1,0 – 1,5 (diambil 1) maka :

$$\begin{aligned} P_d &= 1 \times 764,590 \\ &= 764,590 \text{ Kw} \end{aligned}$$

Sehingga momen puntir yang terjadi (T) adalah :

$$\begin{aligned} T &= 9,74 \times 10^5 \times \left(\frac{P_d}{N} \right) \\ T &= 9,74 \times 10^5 \times \frac{764,590}{867,580} = 858376.933 \text{ kg mm} \end{aligned}$$

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 :

$$P = \frac{F}{L.(t_1 \text{ atau } t_2)} = \frac{10052}{222 \times 14} = 3,23 \text{ kg/mm}^2$$

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

10. Kopling Propeller

Kopling direncanakan sebagai berikut

Jumlah Baut Kopling

Direncanakan 8 buah baut.

Ukuran Kopling

- Panjang tirus (BKI) untuk kopling :

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

$$\text{Diambil } 1 = 1,5 \times D_s$$

$$= 1,5 \times 170,787 = 256,180 \text{ mm}$$

- Kemiringan tirus :

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

$$x = \frac{1}{10} \times 1 = \frac{1}{10} \times 256,180 = 25,618 \text{ mm}$$

- Diameter terkecil ujung tirus :

$$D_a = D_s - 2 \cdot x = 170,787 - 2 \cdot 25,618 = 119,551 = 119,55 \text{ mm}$$

- Diameter luar kopling :

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

$$\text{Diambil } D_{\text{out}} = 4 \times D_s = 4 \times 170,787 = 683,148 \text{ mm}$$

- Ketebalan flange kopling

Berdasarkan BKI Volume III section 4

$$\begin{aligned} S_{fl} &= 370 \times \sqrt{\frac{P_w \times C_w}{n \times D}} \\ &= 370 \times \sqrt{\frac{764,590 \times 0,75}{867,580 \times 832,092}} \\ &= 8,51 \text{ mm} \approx 9 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Diameter lingkaran baut kopling :

$$D_b = 2,6 \times D_s$$

$$= 2,6 \times 527$$

$$= 1.370 \text{ mm}$$

- Panjang kopling :

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

$$\text{Diambil } L = 5 \times 527 \times 0,5 = 1.317 \text{ mm}$$

11. Baut Pengikat Flens Kopling

Berdasarkan BKI 1988 Volume III section 4 D 4.2

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

Dimana :

$$P_w = 384,34 \text{ Kw}$$

$$N = 613,48 \text{ Rpm}$$

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

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

Maka :

$$D_f = 16 \times \sqrt{\frac{384,34 \times 10^6}{613,48 \times 832,092 \times 8 \times 580}} \\ = 6,43 \text{ mm} = 6 \text{ mm}$$

Diameter dasar ulir pada baut :

$$D_k = 12 \times \sqrt{\frac{384,34 \times 10^6}{613,48 \times 832,092 \times 8 \times 580}} \\ = 4,83 \text{ mm}$$

Direncanakan $D_k = 5 \text{ mm}$

Necked – down baut

$$d = 0,9 \cdot d_k \\ = 0,9 \cdot 5 \\ = 4,5 \text{ mm}$$

12. Mur Pengikat Flans Kopling Propeller

- Diameter luar mur

$$D_0 = 2 \times \text{diameter luar ulir (df)} \\ = 2 \times 6 \\ = 12 \text{ mm}$$

- Tinggi mur

$$H = (0,8 \sim 1) \times d_f$$

$$= 1 \times 6$$

$$= 6 \text{ mm}$$

Mur Pengikat Kopling

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

- Menurut BKI “78 Vol. III, diameter luar ulir (d) $\geq$ diameter konis yang besar :

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

$$d \geq 0,6 \times 527$$

$$d \geq 316,2 \text{ mm}$$

dalam hal ini d diambil 316 mm

- Diameter inti

Dari Sularso untuk diameter luar ulir $> 3 \text{ mm}$ maka diameter inti adalah :

$$d_i = 0,8 \times d$$

$$= 0,8 \times 316$$

$$= 252,8 \text{ mm} = 253 \text{ mm}$$

- Diameter luar mur

$$D_o = 2 \times d$$

$$= 2 \times 316$$

$$= 632 \text{ mm}$$

- Tebal/tinggi mur

Dari Sularso untuk ukuran standar tebal mur adalah $(0,8 \sim 1)$ diameter luar ulir, sehingga :

$$H = 0,8 \times d$$

$$= 0,8 \times 316$$

$$= 252,8 = 253 \text{ mm}$$

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

$$\text{Tebal flens} = 0,2 \times \text{diameter mur}$$

$$= 0,2 \times 316$$

$$= 63,2 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter} = 1,2 \times \text{diameter luar mur}$$

$$= 1,2 \times 632$$

$$= 910,08 \text{ mm}$$

13. Pasak kopling propeller

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

$$\sigma_b = 58 \text{ kg/mm}^2$$

$$Sfk_1 = 6$$

$$Sfk_2 = 3$$

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

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

- Gaya tangensial permukaan poros (F) ;

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

$$\text{Dimana : } D_s = 527 \text{ mm}$$

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

$$Pd = \text{daya perencanaan} = 384,34 \text{ kW}$$

$$N = \text{putaran propeller} = 613,48 \text{ Rpm}$$

$$\text{Sehingga, } T = 9,74 \cdot 10^5 \cdot \frac{384,34}{613,48} = 609.724 \text{ kg.mm}$$

$$\text{Jadi, } F = \frac{T}{0,5 \cdot D_s} = \frac{609.724}{0,5 \cdot 527} = 2.313,94 \text{ kg}$$

- Lebar pasak ;

$$B = (0,25-0,35) \times D_s$$

$$B = 0,25 \times 527 = 131,75 \text{ mm}$$

- Tegangan geser yang bekerja (τ_k) ;

$$\begin{aligned} \tau_k &= \frac{F}{B \times L} \\ &= \frac{2.313,94}{131,75 \times 527} = 0,033 \end{aligned}$$

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

$$0,033 \leq 3,22$$

$$L = 527 \text{ mm}$$

Syarat pasak (0,75-1,50 X D_s , dalam perhitungan ini diambil nilai ;

$$L = 1 \times D_s = 1 \times 527 = 527 \text{ mm}$$

Sehingga panjang pasak diambil = 527 mm

- Tebal pasak (T) ;

$$\begin{aligned} t &= 1/6 \times D_s \\ &= 1/6 \times 527 \\ &= 87,83 = 88 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tebal pasak diambil 88 mm

- Radius ujung pasak (R) ;

$$\begin{aligned} R &= 0,0125 \times D_s \\ &= 0,0125 \times 527 \\ &= 6,58 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Luas bidang geser (A) ;

$$\begin{aligned} A &= 0,25 \times D_s^2 \\ &= 0,25 \times (527)^2 \\ &= 69.432 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Penampang pasak ;

$$= B \times t = 131,75 \times 88 = 11.594 \text{ mm}$$

- Kedalaman alur pasak pada poros (t_1) ;

$$t_1 = 50\% \times t = 50\% \times 88 = 44 \text{ mm}$$

- Kedalaman pasak pada naf (t_2) ;

$$t_2 = t - t_1 = 44 \text{ mm}$$

Disamping perhitungan diatas, juga d perlukan perhitungan unntuk menghindari dari kerusakan permukaan samping pasak yang disebabkan oleh tekanan bidang.

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

$$P = \frac{F}{L.t} = \frac{2313,94}{527.88} = 0,049 \text{ kg/mm}^2$$

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

14. Stern Tube

Jenis pelumasan

Jenis pelumasan poros propeller kapal ini di rencanakan menggunakan system pelumasan air

$$\begin{aligned} \text{Panjang tabung poros propeller} &= 4 \times \text{jarak gading} \\ &= 4 \times 130 \\ &= 520 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tebal Stern Tube

$$\begin{aligned} T &= \left(\left(\frac{Ds}{20} \right) + \left(3 \times \frac{25,4}{4} \right) \right) \\ &= \left[\left(\frac{527}{20} \right) + \left(3 \times \frac{25,4}{4} \right) \right] \\ &= 45,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

15. Bantalan Pasak Propeller

Berdasarkan dari BKI 1998 vol. III Sec. IV.

- Bahan bantalan yang digunakan adalah : **Lignum Vitae**
- Panjang bantalan belakang = $2 \times D_s$

$$\begin{aligned} &= 2 \times 527 \\ &= 1054 \text{ mm} \end{aligned}$$
- Panjang bantalan depan

$$\begin{aligned} &= 1,5 \times D_s \\ &= 1,5 \times 527 \\ &= 790,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

d. Tebal bantalan

Menurut BKI III 1998 tebal bantalan efektif adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 B &= \left(\left(\frac{Ds}{30} \right) \times 3,175 \right) \\
 &= \left[\left(\frac{527}{30} \right) \times 3,175 \right] \\
 &= 55,77 = 56 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

e. Jarak maximum yang diijinkan antara bantalan

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

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

$$\begin{aligned}
 &= 280 \times \sqrt{527} \\
 &= 6.427,81 = 6.428 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

f. Rumah bantalan (Bearing Bushing)

a. Bahan Bushing Bearing yang digunakan adalah :
manganese bronze

b. Tebal Bushing Bearing (tb)

$$\begin{aligned}
 (tb) &= 0,18 \times Ds \\
 &= 0,18 \times 527 \\
 &= 94,86 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

16. Stern Post

Berdasarkan BKI vol. III tahun 1998 hal.96

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

$$\begin{aligned}
 \blacksquare \text{ Lebar} &= (1,4 L) + 90 \\
 &= (1,4 \times 58) + 90 \\
 &= 171,2 \text{ mm} \\
 \blacksquare \text{ Tebal} &= (1,6 L) + 90 \\
 &= (1,6 \times 58) + 90 \\
 &= 182,8 \text{ mm} = 183 \text{ mm}
 \end{aligned}$$