

BAB II

PERENCANAAN PERHITUNGAN MOTOR INDUK DAN BALING – BALING KAPAL

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) yang sedang bergerak dan biasa disebut lapisan atas (*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. Dengan adanya perbedaan kecepatan partikel tersebut menimbulkan suatu perbedaan gaya *viscositas* yang mengakibatkan terjadinya gaya gesek.

- B. 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.

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 di perkirakan 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) dan dalam buku Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak karangan Teguh Satrodiwongso

2.2 PERHITUNGAN HAMBATAN KAPAL RANCANGAN

2.2.1 Data-data Kapal Rancangan

➤ <i>Length Over All (LOA)</i>	= 68,45	m.
➤ <i>Length Between Perpendicular (LBP)</i>	= 63,03	m.
➤ <i>Length Water Line (LWL)</i>	= 64,29	m.
➤ <i>Breadth Moulded (B mld)</i>	= 11,23	m.
➤ <i>Height Moulded (H mld)</i>	= 6,00	m.
➤ <i>Draft Moulded (T mld)</i>	= 4,00	m.
➤ <i>Coefficient Block (Cb)</i>	= 0,7176	

- *Coefficient Midship (Cm)* = 0,9874
- *Coefficient Waterline (Cw)* = 0,839
- *Coefficient Prismatic (Cp)* = 0,7267
- *Displcement (Δ)* = 2082,539 ton.
- *Volume Displacement (∇)* = 2031,746 m³.
- *Velocity Speed (Vs)* = 11 *Knots*.
- *Longitudinal Center of Bouyancy (LCB)* = 0,252 m (di belakang
 Ⓚ.)

➤ Luas permukaan basah kapal (WSA)

$$\begin{aligned}
 S &= 1,025 \times L_{pp} (\delta_{pp} \times B + 1,7 \times T) \\
 &= 1,025 \times 63,03 (0,756 \times 11,23 + 1,700 \times 4,00) \\
 &= 993,643 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$S' = 1,025 \times L_{wl} \times (\delta_{pp} \times B + 1,7 \times T)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Dimana : } \delta_{pp} &= \frac{cb \times loa}{lwl} \\
 &= \frac{0,7176 \times 68,45}{64,29} \\
 &= 0,764
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S' &= 1,025 \times 64,29 \times (0,756 \times 11,23 + 1,7 \times 4,00) \\
 &= 1013,506 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Ratio S/S'

$$\frac{S}{S'} = \frac{469,553}{479,98700} = 0,980$$

2.2.2 Perhitungan Hambatan Kapal Pada Kecepatan 11 *Knots*

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 ke atas dan ke bawah dari di antara kecepatan

dinas (V_s). Adapun perhitungan 5 kecepatan dalam perencanaan kapal rancangan ini antara lain :

1. Perhitungan Hambatan untuk Kecepatan 9 *Knots*
2. Perhitungan Hambatan untuk Kecepatan 10 *Knots*
3. Perhitungan Hambatan untuk Kecepatan 11 *Knots* (V_s)
4. Perhitungan Hambatan untuk Kecepatan 12 *Knots*
5. Perhitungan Hambatan untuk Kecepatan 13 *Knots*

A. *Froude Number* (F_n)

Untuk menentukan *Froude Number* (F_n) kapal rancangan digunakan rumus *Froude* yang terdapat dalam *Sv. Aa Harvald* halaman 118 (5.5.9), (lampiran 10, hal 318), yaitu :

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

Dimana :

F_n = *Froude Number*.

V_s = Kecepatan kapal rancangan (m/s) = 11 *knots* = 5,6584 m/s.

G = Gravitasi = 9,81 m/s².

LWL = Panjang garis air = 64,29 m.

Maka :

$$\begin{aligned} F_n &= \frac{5,6584}{\sqrt{9,81 \times 64,29}} \\ &= 0,2253 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$F_n = 0,225$**

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 disesuaikan dengan *Coefficient prismatic* (C_p), $L/\nabla^{1/3}$ dan juga F_n dari pada kapal tersebut. Grafik $L/\nabla^{1/3}$ (lampiran 11, hal 319).

Dimana :

F_n = *Froude Number* kapal rancangan. = 0,225

L = Panjang garis air kapal rancangan = 64,29 m
 ∇ = Volume *displacement* kapal rancangan
 = 2031,746 m³
 C_p = *Coeffisient Prismatic* kapal rancangan = 0,7267
 $L/\nabla^{1/3} = \frac{62,39}{(1941,285)^{\frac{1}{3}}} = 5,043$

Untuk menentukan $10^3 C_R$ pada $L/\nabla^{1/3} = 5,043$ digunakan cara interpolasi, yaitu dengan $L/\nabla^{1/3} = 5,00$ dan $L/\nabla^{1/3} = 5,50$.

$L/\nabla^{1/3} = 5,000 \quad F_n = 0,225 \quad 10^3 C_R = 1,500$ (Grafik 5.5.5)

$L/\nabla^{1/3} = 5,500 \quad F_n = 0,225 \quad 10^3 C_R = 1,300$ (Grafik 5.5.6)

$L/\nabla^{1/3} = 5,043 \quad F_n = 0,225 \quad 10^3 C_R = \dots\dots\dots$

$$10^3 C_R = 1,500 + \frac{5,043 - 5,000}{5,500 - 5,000} \times (1,300 - 1,500)$$

$$= 1,483$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$10^3 C_R = 1,483$**

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.
 = 11,23 m.

T = *Draft* kapal rancangan.
 = 4,00 m.

Maka :

$$B/T = 11,23/4,00$$

$$= 2,808 > 2,5$$

Diketahui B/T = 4,423 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*.

$$= 2,808$$

Maka :

$$\begin{aligned} 10^3 C_R &= 0,16 \times (2,808 - 2,5) \\ &= 0,049 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga koreksi **B/T = 0,049**

D. Koreksi LCB

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

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

Dimana :

ΔLCB = Penyimpangan LCB

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

$$= 0,252 \text{ m.}$$

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

$$= \frac{0,252}{64,29} \times 100\%$$

$$= 0,392 \% \text{ (di belakang } \infty \text{.)}$$

LCB_{Standard} Diambil dari grafik LCB kapal standard *Guldhammer dan Harlvad* pada buku karangan Teguh Sastrodiwongso hal 95

$$= -0,3 \% \text{ di belakang } \infty \text{.}$$

Maka :

$$\Delta LCB = 0,392 \% - (-0,3) \%$$

$$= 0,692 \%$$

$$= 0,692 \% \text{ di belakang } \infty \text{.}$$

Sedangkan untuk koreksi LCB standarnya adalah terdapat dalam grafik koreksi C_R pada buku karangan Teguh Sastrodiwongso hal, 96 (Lampiran 13, hal 321), yaitu :

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

$$C_p = 0,7267$$

$$\frac{\partial 10^3 C_R}{\partial LCB} = 0,190$$

Maka koreksi LCB kapal tersebut adalah :

$$10^3 C_R = 0,190 \times |0,692|$$

$$10^3 C_R = 0,131$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga koreksi **LCB= 0,13**

E. Koreksi Penampang Bentuk Depan dan Belakang Kapal

Kurva Cr yang disajikan adalah bagi kapal berbentuk badan standard dengan penampang bukan bentuk ekstrim “U” ataupun ekstrim “V”. Adapun bila kapal rancangan bagian depan atau bagian belakang *midship* dipilih berpenampang ekstrim “U” ataupun ekstrim “V”, maka perlu koreksi terhadap $10^3 C_R$ sebagai berikut :

	Ekstrem U	Ekstrem V
Badan Depan	-0,1	+0,1
Badan Belakang	+0,1	-0,1

Karena bentuk bagian depan dan belakang kapal berpenampang ekstrim “U”, maka koreksi terhadap $10^3 C_R$ adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} 10^3 C_R &= (-0,1) + (+0,1) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga koreksi **Bentuk Penampang = 0,00**

F. Adanya *Bulbous Bow*

Dengan memakai tabel-9.1 dalam buku Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak karangan Teguh Sastrodiwongso hal 97, harga koreksi terhadap $10^3 C_R = 0,00$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga koreksi **Bulbous Bow= 0,00**

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

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

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

$$= 5\% \times 1,483$$

$$= 0,0741$$

- *Bracket* Dan Poros *Propeller*

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

$$= 8\% \times 10^3 C_R$$

$$= 8\% \times 1,483$$

$$= 0,1186$$

Koreksi Anggota Badan Kapal

$$10^3 C_R = 0 + 0 + 0,0741 + 0,1186$$

$$10^3 C_R = 0,1927$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga koreksi **Anggota Badan Kapal = 0,1927**

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 II.1. Koefisien Tahanan Sisa Total

NO	Komponen C_R	Hasil
1	Koefisien hambatan sisa (C_R')	1,483
2	Koreksi B/T	0,049
3	Koreksi LCB	0,131
4	Koreksi penampang depan dan belakang kapal	0,00
5	Koreksi adanya <i>bulbous bow</i>	0,00
6	Koreksi anggota badan kapal	0,1927

Σ	1,8564
----------	--------

Sumber : Perhitungan Pribadi

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$10^3 C_R = 1,8564$**

I. Menentukan *Reynold Number* (R_n)

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

$$R_n = \frac{V_s \times LWL}{\nu}$$

Dimana : R_n = *Reynold number* kapal rancangan.

V_s = Kecepatan kapal rancangan.

= 11 *Knots* = 5,6584 m/s.

LWL = Panjang garis air kapal rancangan. = 64,29 m.

ν = Viskositas kinematis air laut suhu 26,3⁰ C

= 0,9167 x 10⁻⁶ m²/s

Maka :

$$\begin{aligned} R_n &= 10^{-6} \times \frac{5,6584 \times 64,29}{0,9167 \cdot 10^{-6}} \\ &= 396,835 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$396,835$**

J. Koefisien Hambatan Gesek (C_F)

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

$$\begin{array}{llll} Lwl = 46 \text{ m} & V = 5,00 & \text{m/dt}^2 & 10^3 C_F = \\ 1,820 & & & \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} Lwl = 46 \text{ m} & V = 6,00 & \text{m/dt}^2 & 10^3 C_F = \\ 1,780 & & & \end{array}$$

$$Lwl = 46 \text{ m} \quad V = 5,6584 \text{ m/dt}^2 \quad 10^3 C_F = \dots$$

$$10^3 C_F = 1,82 + \left[\frac{5,6584 - 5,00}{6,00 - 5,00} \right] \times (1,780 - 1,820)$$

$$10^3 C_F = 1,793664$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **C_F = 1,79366**

K. Koreksi Koefisien Hambatan Gesek Sesungguhnya (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, yaitu :

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

Dimana :

C_F' = Koefisien hambatan gesek sesungguhnya

C_F = Koefisien hambatan gesek
= 1,79366

S = Luas Permukaan bidang basah badan kapal
= 993,643 m²

S' = Luas permukaan bidang basah kapal dan anggota badan kapal
= 1013,5061 m²

maka :

$$C_F' = 1,79366 \times \frac{1013,5061}{993,643}$$
$$= 1,82952$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **C_F' = 1,82952**

L. Koefisien Tambahan (C_A)

Untuk menentukan C_A (ΔC_F) diambil dari tabel 5.5.23 pada buku *Harvald* halaman 132 yang didasarkan pada panjang kapal.

Dimana L ≤ 100 m maka 10³ C_A = 0,40

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **10³C_A = 0,4**

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 :

$$10^3 C_{AA} = 0,070$$

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 II.2. Koefisien Tahanan Total

NO	Koefisien	Hasil
1	Koefisien hambatan sisa ($10^3 C_R$)	1,8564
2	Koefisien hambatan gesek sesungguhnya (C_F)	1,82952
3	Koefisien hambatan <i>appendage</i> ($10^3 C_A$)	0,4
4	Koefisien hambatan udara ($10^3 C_{AA}$)	0,070
5	Koefisien hambatan kemudi ($10^3 C_{AS}$)	0,040
$\Sigma 10^3 C_T$		4,196

Sumber : Perhitungan Pribadi

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$10^3 C_T = 4,196$**

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.

$$= 4,196 \times 10^{-3}$$

ρ = Berat jenis air laut.

$$= 104,49 \text{ kg.m}^2/\text{s}^4.$$

WSA = *Wetted Surface Area* kapal rancangan.

$$= 993,643 \text{ m}^2.$$

V_s = Kecepatan kapal rancangan

$$= 11 \text{ Knots} \times 0,5144 = 5,6584 \text{ m/s}$$

Maka :

$$R_T = 4,196 \times 10^{-3} \times \frac{1}{2} \times 104,49 \times 993,643 \times 32,017$$

$$= 6974,151 \text{ kg}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$R_T = 6974,151 \text{ kg}$**

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 :

$$EHP = \frac{V_s \times R_T}{75}$$

Dimana :

EHP = Efektif *Horse Power* kapal rancangan.

V_s = Kecepatan kapal rancangan.

$$= 11 \text{ Knot} = 5,6584 \text{ m/s}$$

R_T = Hambatan total kapal rancangan.

$$= 6974,151 \text{ kg}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \text{EHP} &= \frac{5,6584 \times 6974,151}{75} \\ &= 526,167 \text{ HP} \end{aligned}$$

B. *Shaft Horse Power* (SHP)

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

$$\text{SHP} = \frac{\text{EHP}}{\text{PC}}$$

Dimana,

SHP = *Shaft Horse Power* kapal rancangan

PC = *Propulsive Coefficient*.

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

η_H = *Hull Efficiency*.

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

Faktor Arus Ikut (*Wave Current*) untuk *twins screw* :

Menurut *Teguh Sastrodiwongso*

$$\begin{aligned} w &= -0,18 + (0,54 \times C_b) \\ &= -0,18 + (0,54 \times 0,7176) \\ &= 0,208 \end{aligned}$$

$$t = k \times w$$

dimana $k = 0,55 \sim 0,70$ = 0,55 untuk daun kemudi tipis
0,70 untuk daun kemudi tebal

$$t = k \times w$$

$$= 0,7 \times 0,208$$

$$= 0,145$$

Efisiensi lambung kapal (η_H) :

$$\begin{aligned}\eta_H &= \frac{1-t}{1-w} \\ &= \frac{1-0,145}{1-0,208} \\ &= 1,079\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_{rr} &= \text{Efisiensi Rotary relatif} = 0,985 \\ &= 0,985\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_{po} &= \text{Efisiensi baling-baling} = 0,55 \sim 0,60 \\ &= 0,60\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{SHP} &= \frac{526,167}{1,079 \times 0,985 \times 0,60} \\ &= 825,4593 \text{ HP}\end{aligned}$$

C. Brake Horse Power (BHP)

Dimana koreksi yang dilakukan adalah

- Koreksi pemakaian *gear box* 0% ~ 3% = 3 %
- Koreksi letak kamar 3% ~ 5% = 3 %
- Kelonggaran Dinas (*Sea Margin*) perairan indonesia
10 % ~ 15 % = 15 %

Maka :

$$\begin{aligned}\text{BHP} &= \text{SHP} + (3 + 3 + 15) \% \times \text{SHP} \\ &= 825,4593 + 21 \% \times 825,4593 \\ &= 998,8057 \text{ HP}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{BKW} &= \text{BHP} \times 0,736 \\ &= 935,6947 \times 0,736 \\ &= 735,1210 \text{ KW}\end{aligned}$$

Maka ditetapkan BKW untuk kapal rancangan = **735,121 KW**

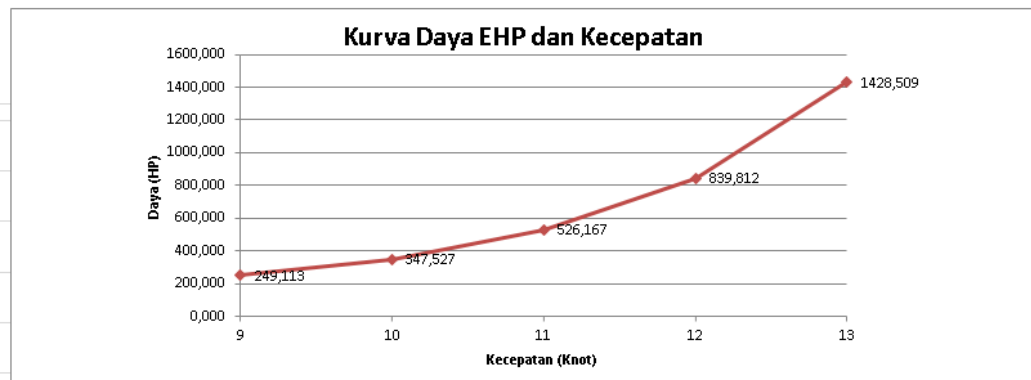
TABEL PERHITUNGAN DAYA MESIN KAPAL PADA 5 KECEPATAN

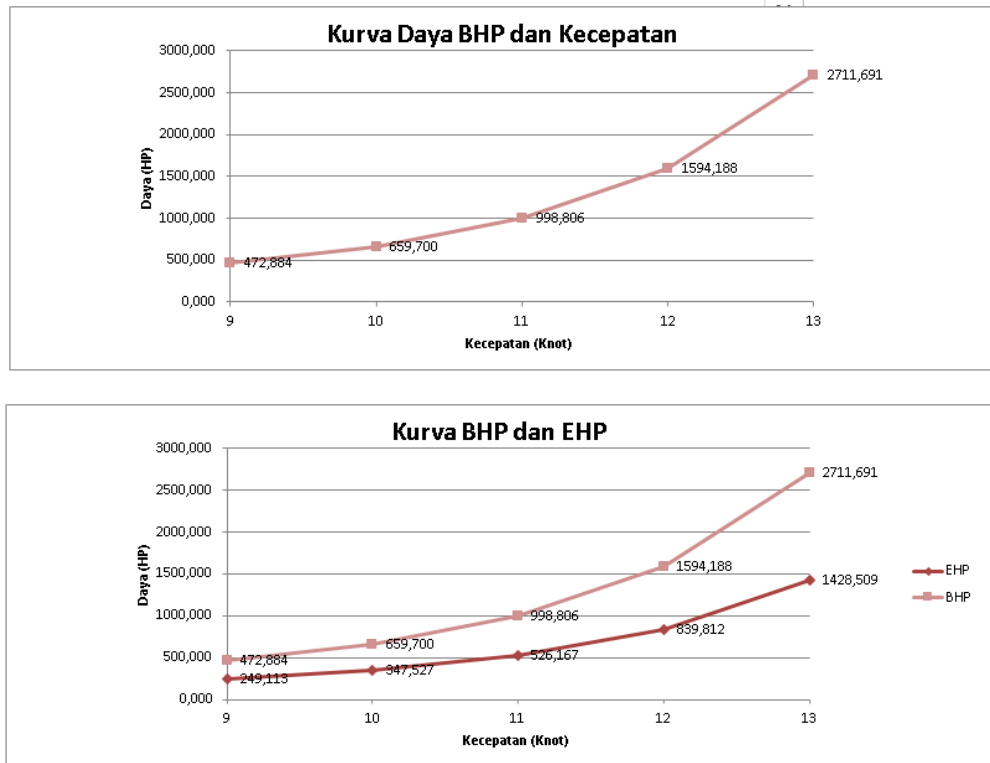
No.	RUMUS	Satuan / Sumber Rumus	Kecepatan - Knot*				
			9	10	11	12	13
1.	V_s	Knot*	9	10	11	12	13
2.	V_s	m / dt	4,6296	5,144	5,6584	6,1728	6,687
3.	V_s^2	m^2 / dt^2	21,433	26,461	32,017	38,103	44,719
4.	$F_n = V / g L$		0,184	0,205	0,225	0,246	0,266
5.	$1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$	Kg	1112658,597	1373652,589	1662119,632	1978059,728	2321472,875
6.	$10^3 C_R (L / V^{1.8})$	Gbr. 5.5.9 - 5.5.10	1,036	1,103	1,483	2,074	3,156
7.	Koreksi B/T	Gbr. 5.5.17	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049
8.	Koreksi LCB	Gbr 5.5.15 - 5.5.16	0,017700653	0,032642	0,131475035	0,445752683	0,98495007
9.	Koreksi Grs. Penampang	5.5.20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10.	Koreksi Bentuk Haluan	5.5.21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11.	Koreksi Anggota Badan	5.5.22	0,1347	0,1434	0,1928	0,2697	0,4103
12.	Resultan $10^3 C_R$	6 + 7 + 8 + 9 + 10 + 11	1,238	1,328	1,856	2,839	4,600
13.	$10^3 R_n$	$V.L / v$	324,883	360,759	396,835	432,911	468,987
14.	$10^3 C_f$ ITTC - 1957	Gbr.5.5.14	1,842	1,814	1,794	1,774	1,756
15.	$10^3 C_f'$	$S_v / S_x \times 10^3 C_f$	1,879	1,851	1,830	1,809	1,791
16.	$10^3 C_A$	5.5.23	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
17.	$10^3 C_{AA}$	5.5.26	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
18.	$10^3 C_{AS}$	5.5.27	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
19.	$10^3 C_r = C_R + C_f + C_A + C_{AA} + C_{AS}$	12 + 15 + 16 + 17 + 18	3,627	3,689	4,196	5,158	6,901
20.	$R_r = C_r \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$	Kg	4035,864	5066,982	6974,151	10203,784	16021,381
21.	$EHP = V \cdot R_r / 75$	HP	249,113	347,527	526,167	839,812	1428,509
22.	PC		0,637	0,637	0,637	0,637	0,637
23.	$SHP = EHP / PC$	HP	390,813	545,206	825,459	1317,511	2241,067
24.	Koreksi Gear Box = 3 %		11,724	16,356	24,764	39,525	67,232
25.	Koreksi Letak Kamar Mesin = 5 %		11,724	16,356	24,764	39,525	67,232
26.	Sea Margin = 15 %		46,898	65,425	99,055	158,101	268,928
27.	BHP (MCR)	HP	472,884	659,700	998,806	1594,188	2711,691
28.	BKW	KW	348,043	485,539	735,1210	1173,322	1995,805

*1 Knot = 0,5144 m/s

Tabel II.3. Daya Mesin Kapal Pada 5 Kecepatan

Sumber : Perhitungn Pribadi





Gambar II.1. Grafik Daya Kurva 5 kecepatan

Sumber : Perhitungan Pribadi

2.2.4 Penentuan Mesin Utama Kapal

Dari tabel hasil perhitungan hambatan dengan menggunakan metode *Sv. Aa. Harvald*, maka dapat ditentukan besarnya daya mesin yang digunakan untuk kapal rancangan ini. Pada kapal rancangan ini menggunakan 1 (satu) mesin utama. dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Merk/Type** : Caterpillar, 3508B
- Jumlah Cylinder** : 8 Cylinder
- Bore x Stroke** : 170 x 190 mm
- L x H x W** : 2310 x 1803 x 1703 mm
- Putaran Mesin** : 1600 Rpm
- Fuel Consumption** : 47.3 l/h
- Daya** : 1000 bhp (746 bkW)

Dengan telah dipilihnya mesin induk untuk kapal rancangan, maka berdasarkan kurva daya kecepatan untuk daya mesin 1000 HP maka kecepatan kapal rancangan ini adalah 11,00 *knots*.

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* (Fp)

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

J. *Developed Blade Area* (Fa)

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

K. *Expanded Ratio* (Fa/F)

Expanded Area Ratio adalah ratio perbandingan antara *developed area* dengan *disc 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 :

$$w = -0,18 + (0,54 \times C_b)$$

Dimana :

$$\begin{aligned}w &= \text{Wake Friction} \\C_b &= \text{Coefficient Block kapal rancangan} \\ &= 0,7176\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}w &= -0,18 + (0,54 \times 0,7176) \\ &= 0,208\end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **w = 0,208**

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 :

$$\begin{aligned}V_a &= \text{Advance speed of propeller.} \\w &= \text{Wake Friction} \\ &= 0,208 \\V_s &= \text{Kecepatan kapal rancangan.} \\ &= 11,00 \text{ Knots}\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}V_a &= (1 - 0,208) \times 11,00 \\ &= 8,717 \text{ Knots.}\end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **V_a = 8,717 Knots.**

C. Koreksi RPM Baling-baling (N_K)

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

$$\begin{aligned}\text{Rpm} &= \text{Putaran mesin utama kapal rancangan} \\ &= 1600 \text{ rpm} \\ &= \text{digunakan } \textit{reduction gear} \text{ 1 : 5}\end{aligned}$$

$$= 320 \text{ rpm}$$

Maka :

$$\begin{aligned} N_K &= 0,98 \times 320 \\ &= 313,600 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas di tetapkan harga **$N= 313,600 \text{ rpm}$**

D. 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 :

D = Diameter *Propeller*

T = *Draft* kapal rancangan.

$$= 4 \text{ m.}$$

Maka :

$$\begin{aligned} D &= 0,7 \times 4 \\ &= 2,8 \text{ m.} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$D = 2,8 \text{ m.}$**

E. 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 :

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

Dimana :

T = *Trust* atau Angka Dorong.

R_T = Hambatan total kapal rancangan.

$$= 6974,151 \text{ Kg}$$

$$w = 0,208$$

Maka :

$$T = \frac{6974,151}{1-0,208}$$
$$= 8805,746 \text{ Kg.}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **T = 8805,746 Kg**

F. 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 = 2,8 m.

ve = *Advance speed of propeller*.

= 8,9298 m/s

T = Gaya dorong (*Thrust*).

= 8805,746 Kg.

ρ = *Density* air laut.

ρ = 104,5 Kg.s²/m⁴

Maka :

$$K'd = 2,8 \times 8,9298 \times \sqrt{\frac{104,5}{8805,746}}$$
$$= 2.724$$

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.*
= 8,9298 m/s

T = Gaya dorong atau *Thrust*
= 8805,746 Kg

ρ = *Density* air laut.

ρ = 104,5 Kg.s²/m⁴

n = Koreksi putaran baling-baling per detik
= 5,227 Rps.

Maka :

$$K'n = \frac{8,9298}{\sqrt{5,227}} \times \sqrt{\frac{104,5}{8805,746}}$$
$$= 0,4255$$

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

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

1. Koefisien Baling-Baling

Untuk menentukan koefisien baling-baling menggunakan rumus, yaitu :

$$Bp = \frac{Nk \times \sqrt{SHP}}{Va^{2.5}}$$

Dimana :

N_K = Koreksi Putaran baling-baling
= 313,600 Rpm.

SHP = *Shaft Horse Power*
= (1000 - (5% x 1000)) x 75/76 x 1,000/1,025
= 914,634 HP

V_a = Advance speed of propeller.
 = 8,717 Knots.

Maka :

$$B_p = \frac{313,6 \times \sqrt{914,634}}{8,717^{2.5}}$$

$$= 42.269$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$B_p = 42,269$**

Tabel II - 4. Koefisien Baling – Baling

NO	Item	B4-40	B4-55	B4-70	B4-85
1	Advance Coefficient (δ)	258	252	240	235

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 *single screw*, yaitu :

$$\delta_K = \delta - (4\% \sim 5\%)$$

Dimana :

δ_K = Koreksi Advance Coefficient.

% = Persentase koreksi.

= 4%

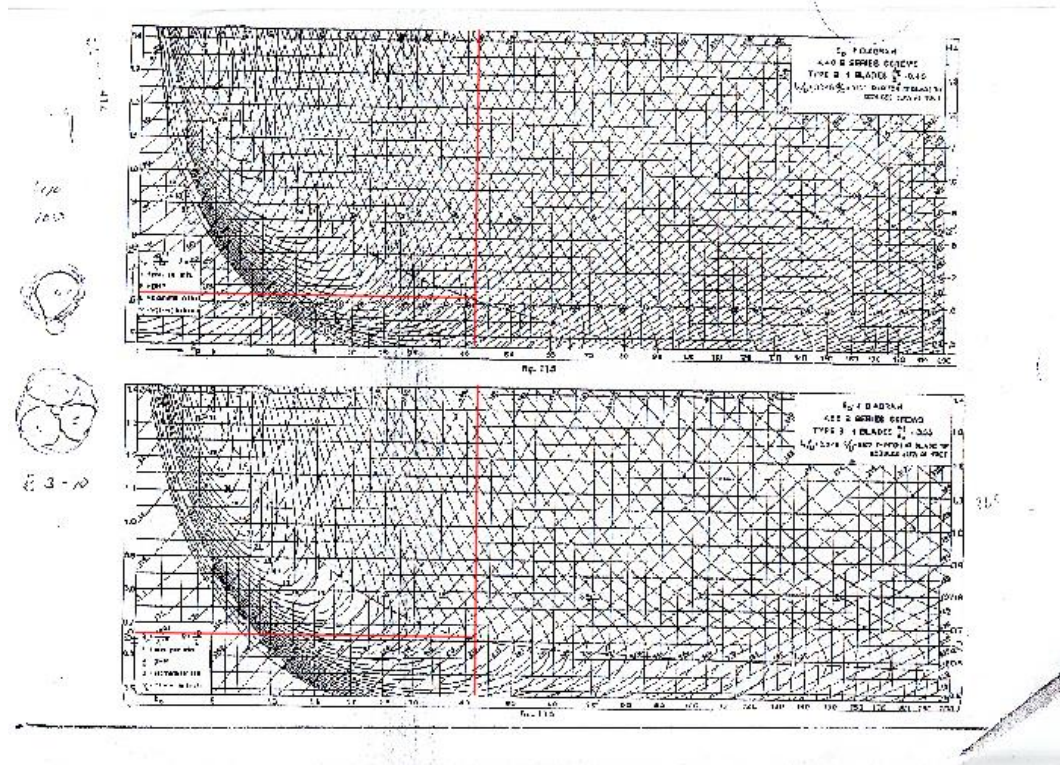
Maka Koreksi Advance Coefficient. (δ_K) adalah :

Tabel II-5. Koreksi Advance Koefisien

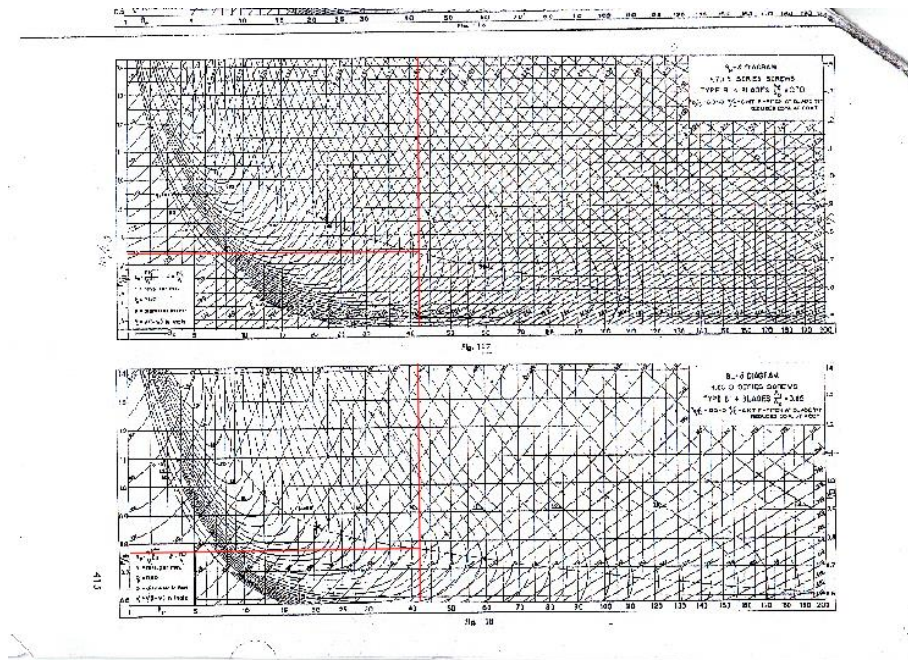
NO	Item	B4-40	B4-55	B4-70	B4-85
1	Advance Coefficient (δ)	258	252	240	235
2	Koreksi	4%	4%	4%	4%
3	(δ_K)	247,68	241,92	230,4	225,6

4	<i>Pitch Ratio (Ho/Do)</i>	0,620	0,656	0,740	0,760
5	<i>Propeller Efficiency (η_p)</i>	55,1%	54,4%	51,7%	51,6%

Sumber : Perhitungan Pribadi



Gambar II.2 Grafik B4-40 dan B4-55



Gambar II.3 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 :

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

- Dimana :
- Do = Diameter Optimum.
 - δ_k = Koreksi *Advance Coefficient*.
 - Va = *Advance Speed* dari *propeller*.
= 8,717 *Knots*.
 - N_K = Koreksi Putaran baling-baling
= 313,600 Rpm.

Maka *Diameter Optimumnya* (Do) adalah :

- Untuk B4-40 Dan $\delta_k = 249,6$

$$D_o = \frac{247,68 \times 8,717}{313,600} \times 0,3048 = 2,099 \text{ m}$$

- Untuk B4-55 Dan $\delta_K = 244,8$

$$D_o = \frac{241,92 \times 8,717}{313,600} \times 0,3048 = 2,050 \text{ m}$$

- Untuk B4-70 Dan $\delta_K = 233,28$

$$D_o = \frac{230,4 \times 8,717}{313,600} \times 0,3048 = 1,952 \text{ m}$$

- Untuk B4-85 Dan $\delta_K = 225,6$

$$D_o = \frac{225,6 \times 8,717}{313,600} \times 0,3048 = 1,911 \text{ m}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan :

Tabel II-6. Diameter Optimum

NO	Item	B4-40	B4-55	B4-70	B4-85
1	<i>Koreksi Advance Coefficient (δ_k)</i>	247,68	241,92	230,4	225,6
2	<i>Diameter Optimum</i>	2,099 m	2,050 m	1,952 m	1,911 m

Sumber : Perhitungan Pribadi

2.3.3 Perhitungan Kavitas

Kavitasi 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 kavitas, serta mempunyai efisiensi yang cukup baik, maka harus diadakan perhitungan-perhitungan untuk penentuan diameter baling-baling.

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

A. Konstanta Kavitas

Untuk menentukan kavitas 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.

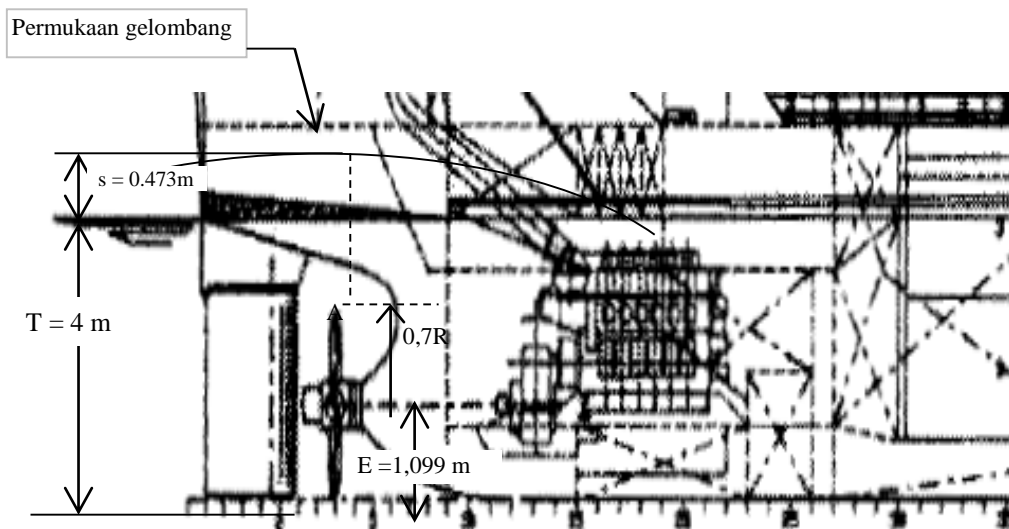
V_a = *Advance Speed dari propeller*.

= 8,717 *Knot* = 4,484 m/s

n = Koreksi putaran baling-baling per detik

= 5,227 Rps

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



Sumber : Gambar Pribadi

Gambar II.4. Penentuan letak titik – titik tekan 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* :

<i>Draft</i> kapal :	$T = 4 \text{ m}$	
Jarak <i>Base Line</i> ke sumbu <i>shaft propeller</i>	$E = 1,099^* \text{ m}$	(-)
	$T - E = 2,901 \text{ m}$	}
Ketinggian permukaan gelombang diukur dari <i>Tip Propeller Blade</i>	$s = 0,473 \text{ m}$	
Ketinggian air laut diukur dari sumbu <i>shaft propeller</i>	$= 3,374 \text{ m}$	
<i>Water head</i> di sumbu <i>shaft propeller</i>	$= 3,374 \text{ m}$	

Tekanan hidrostatik di posisi sumbu *shaft propeller* :

$$p = 3,193 \text{ m} \times 1025 \text{ kg/m}^3 = 3458,068 \text{ kg/m}^2$$

Tekanan 1 atm. (= p_0) – *vapour pressure* (= e) :

$$(p_0 - e) = 10100 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Harga (P-Pv)} : = 13558,068 \text{ kg/m}^2$$

Dari perhitungan ditetapkan Harga **P-Pv** = **13558,068 kg/m²**

- Untuk B4-40 dan $Do = 2,099 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \sigma_{0,7} &= \frac{13558,068 - \left(0,7 \times \frac{2,099}{2} \times 1025\right)}{0,5 \times 104,5 \times \left(4,484^2 + (0,7 \times 3,14 \times 2,099 \times 5,227)^2\right)} \\ &= 0,408 \end{aligned}$$

- Untuk B4-55 dan $Do = 2,050 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \sigma_{0,7} &= \frac{13558,068 - \left(0,7 \times \frac{2,050}{2} \times 1025\right)}{0,5 \times 104,5 \times \left(4,484^2 + (0,7 \times 3,14 \times 2,050 \times 5,227)^2\right)} \\ &= 0,427 \end{aligned}$$

- Untuk B4-70 dan $Do = 1,952 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \sigma_{0,7} &= \frac{13558,068 - \left(0,7 \times \frac{1,952}{2} \times 1025\right)}{0,5 \times 104,5 \times \left(4,484^2 + (0,7 \times 3,14 \times 1,952 \times 5,227)^2\right)} \\ &= 0,470 \end{aligned}$$

- Untuk B4-85 dan $Do = 1,911 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \sigma_{0,7} &= \frac{13558,068 - \left(0,7 \times \frac{1,911}{2} \times 1025\right)}{0,5 \times 104,5 \times \left(4,484^2 + (0,7 \times 3,14 \times 1,911 \times 5,227)^2\right)} \\ &= 0,490 \end{aligned}$$

C. Koefisien Gaya Dorong (τ_c)

Untuk menentukan koefisien gaya dorong ini digunakan diagram *Burtil* 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 :

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

T = *Thrust*.

SHP = *Shaft Horse Power*

$$= (1000 - (5\% \times 1000))$$

$$= 950 \text{ HP}$$

η_p = *Propulsive Efficiency*.

η_{rr} = *Rotative Efficiency* = 1,00

v_a = *Advance speed of propeller* = 8,717 knots = 4,484 m/s

- Untuk B4-40 dan $\eta_p = 55,1\%$

$$T = \frac{950 \times 0,551 \times 1 \times 75}{4,484} = 8754,79 \text{ Kg}$$

- Untuk B4-55 dan $\eta_p = 54,4\%$

$$T = \frac{950 \times 0,544 \times 1 \times 75}{4,484} = 8643,568 \text{ Kg}$$

- Untuk B4-70 dan $\eta_p = 51,7\%$

$$T = \frac{950 \times 0,517 \times 1 \times 75}{4,484} = 8214,567 \text{ Kg}$$

- Untuk B4-85 dan $\eta_p = 51,6\%$

$$T = \frac{950 \times 0,516 \times 1 \times 75}{4,484} = 8198,678 \text{ Kg}$$

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)

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{3,14}{4} \times 2,099^2 \\ &= 3,457 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

Expanded Blade Area (Fa)

$$\begin{aligned} F_a &= 0,40 \times 3,457 \text{ m}^2 \\ &= 1,383 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} F_p &= (1,067 - (0,229 \times 0,620)) \times 1,383 \\ &= 1,279 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- 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)

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{3,14}{4} \times 2,050^2 \\ &= 3,298 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

Expanded Blade Area (Fa)

$$\begin{aligned} F_a &= 0,55 \times 3,298 \text{ m}^2 \\ &= 1,814 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} F_p &= (1,067 - (0,229 \times 0,656)) \times 1,814 \\ &= 1,663 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- 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)

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{3,14}{4} \times 1,952^2 \\ &= 2,992 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

Expanded Blade Area (Fa)

$$\begin{aligned} Fa &= 0,70 \times 2,992 \text{ m}^2 \\ &= 2,094 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} Fp &= (1,067 - (0,229 \times 0,740)) \times 2,094 \\ &= 1,880 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- 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)

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{3,14}{4} \times 1,911^2 \\ &= 2,868 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

Expanded Blade Area (Fa)

$$\begin{aligned} Fa &= 0,85 \times 2,868 \text{ m}^2 \\ &= 2,438 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} Fp &= (1,067 - (0,229 \times 0,769)) \times 2,438 \\ &= 2,177 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka koefisien gaya dorongnya adalah :

- Untuk B4-40

$$\begin{aligned}\tau_c &= \frac{T}{1/2 \cdot \rho \cdot Fp \cdot V^2} \\ &= \frac{8754,790}{0,5 \times 104,5 \times 1,279 \times ((0,7 \times 3,14 \times 2,099 \times 5,227)^2)} \\ &= 0,225\end{aligned}$$

- Untuk B4-55

$$\begin{aligned}\tau_c &= \frac{T}{1/2 \cdot \rho \cdot Fp \cdot V^2} \\ &= \frac{8643,568}{0,5 \times 104,5 \times 1,663 \times ((0,7 \times 3,14 \times 2,050 \times 5,227)^2)} \\ &= 0,179\end{aligned}$$

- Untuk B4-70

$$\begin{aligned}\tau_c &= \frac{T}{1/2 \cdot \rho \cdot Fp \cdot V^2} \\ &= \frac{8214,567}{0,5 \times 104,5 \times 1,880 \times ((0,7 \times 3,14 \times 1,952 \times 5,227)^2)} \\ &= 0,166\end{aligned}$$

- Untuk B4-85

$$\begin{aligned}\tau_c &= \frac{T}{1/2 \cdot \rho \cdot Fp \cdot V^2} \\ &= \frac{8198,678}{0,5 \times 104,5 \times 2,177 \times ((0,7 \times 3,14 \times 1,911 \times 5,227)^2)} \\ &= 0,149\end{aligned}$$

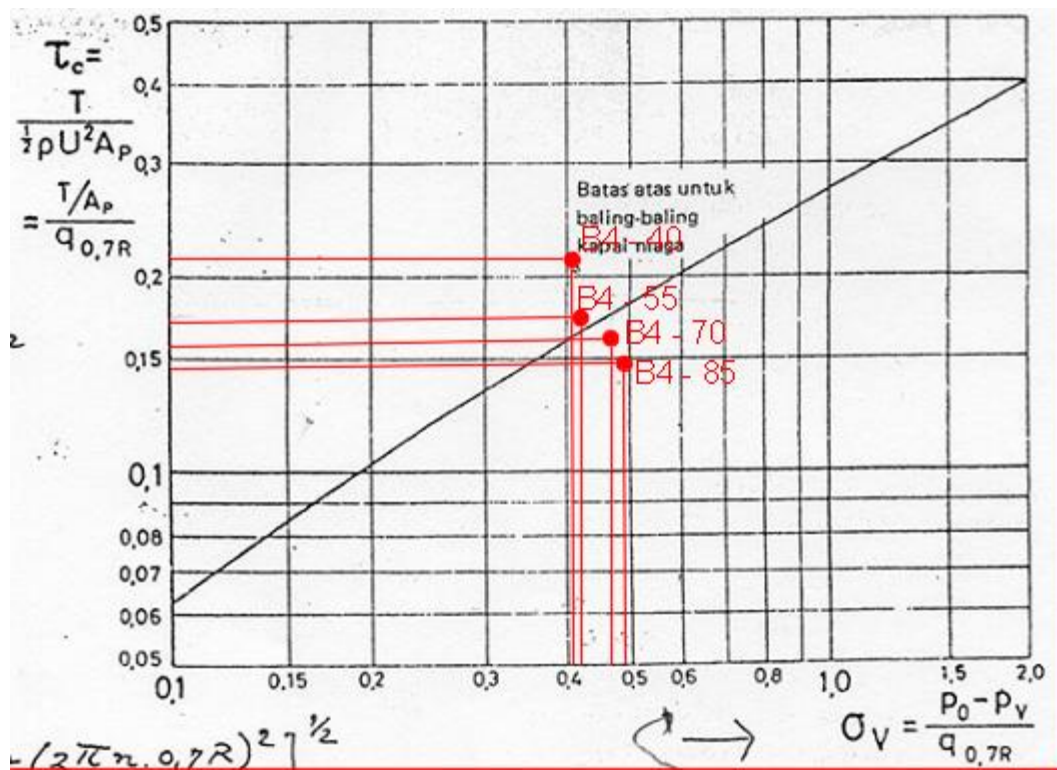
2.3.4 Tabel Perhitungan Kavitasasi

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

Tabel II-7. Tabel Perhitungan Kavitasasi

NO	Item	B4-40	B4-55	B4-70	B4-85
1	Diameter optimum (Do)	2,099	2,050	1,952	1,911
2	Thurst koefisien (tc)	0,225	0,179	0,166	0,149
3	Pitch Ratio (Ho/Do)	0,620	0,656	0,740	0,760
4	Propeller Efisiensi (hp)	55,1%	54,4%	51,7%	51,6%
5	Konstanta Kavitasasi (□□□□)	0,408	0,427	0,470	0,490
6	Developed Blade Ratio (Fp/Fa)	0,925	0,917	0,898	0,893
7	Disk Area of The Screw (F)	3,457	3,298	2,992	2,868
8	Developed Blade Area (Fa)	1,383	1,814	2,094	2,438
9	Projected Blade Area (Fp)	1,279	1,663	1,880	2,177

Sumber : Perhitungan Pribadi



Gambar 2.5. Diagram Burril

Sumber : Buku Propulsi Kapal Karangan Teguh Sastrodiwongso

2.3.5 Pemilihan Baling-Baling

Dari gambar 4.5 didapatkan spesifikasi baling-baling yang diperlukan untuk penggerak kapal rancangan ini adalah sebagai berikut:

Tabel II-8 Pemilihan Baling - Baling

Tipe baling-baling	B4-70
Diameter baling-baling (D)	1,952 m
<i>Pitch Ratio</i> baling-baling (Ho/D)	0,740
<i>Developed Blade Ratio</i> (Fp/Fa)	0,898
Efisiensi baling-baling (η_p)	51,70%
Jumlah daun baling – baling (Z)	4 buah

Sumber : Data Pribadi

2.3.6 Kesimpulan

Berdasarkan diagram kavitasasi (*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 kavitasasi pada efisiensi standar, dan tipe tersebut yang paling mendekati dari garis batas tersebut. Kemudian diameter Optimumnya yaitu, 1,952 m dan baling-baling pada propulsi kapal rancangan saya yaitu sebanyak 4 buah.

2.4 Perencanaan Diameter Poros Baling-Baling

Perencanaan poros *propeller* menurut buku Elemen Mesin SOELARSO adalah sebagai berikut,

$$D_s = [(5,1 \tau c \times K_t \times C_b \times T)], \text{ mm}$$

Langkah perhitungan :

- Daya perencanaan (Pd)
 $P_d = f_c \times P$
Dimana f_c = faktor koreksi daya yang direncanakan besarnya = 1,2
 - 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

$$\begin{aligned} Pd &= 1,2 \times 954,209 \times 0,746 \\ &= 854,207 \text{ Kw} \end{aligned}$$

- Torsi (T)
 $T = 9,74 \times 10^5 \times (Pd/N)$
Dimana N adalah putaran poros baling-baling, dalam perencanaan ini putaran poros *propeller* sebesar = 272,177 rpm
 $T = 9,74 \cdot 10^5 \cdot (854,207/272,177) = 3.056.822,49 \text{ kg.mm}$

- Tegangan yang diijinkan (τ_a)
 $\tau_a = \sigma b (sf1 \times sf2)$

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

Sf1 = 6 (untuk material baja karbon)

Sf2 = 1,3 – 3, dalam perhitungan ini diambil 2

Sehingga :

$$\tau_a = 58(6 \times 2) = 4,833 \text{ kg/mm}^2$$

KT = untuk beban kejutan / tumbukan, nilainya antara 1,5 – 3, diambil nilai KT = 2,8

Cb = diperkirakan adanya beban lentur, nilainya antara 1,2 - 2,3 dalam perhitungan ini diambil nilai Cb = 2,1

- Diameter poros (Ds)
 $Ds = [(5,1 \times \tau_a) \times Kt \times Cb \times T]^{1/3} \text{ mm}$
 $= [(5,1 \times 4,833) \times 2,8 \times 2,1 \times 3.056.822,49]^{1/3} \text{ mm}$
 $= 266,680 \text{ mm}$

- Tegangan yang bekerja

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

$$\tau = \frac{5,1 \times 3.056.822,49}{266,680^3} = 0,822$$

Perhitungan koreksi I $\tau < \tau_a$

$$0,822 < 3,22 \quad (\text{memenuhi syarat})$$

2.4.1 Perencanaan Diameter Poros Baling-Baling

- Diameter boss baling-baling
 $Db = (2 \times D \text{ prop}) / 1000$

- $$= (2 \times 266,680) / 1000$$
- $$= 0,533 \text{ mm}$$
- tr = 0,045 x Dprop
- $$= 0,045 \times 266,680/1000$$
- $$= 0,012 \text{ mm}$$
- **Diameter boss baling-baling terkecil (Dba)**
Dba /Db = 0,85 ≈ 0,9
= 0,85
Dba = 0,85 x 0.533
= 0,453 mm

 - **Diameter boss baling-baling terbesar (Dbf)**
Dbf /Db = 1,05 ≈ 1,1
= 1,05
Dbf = 1,05 x 0.533
= 0,560 mm

 - **Panjang boss baling-baling (Lb)**
Lb/Ds = 1,8 ≈ 2,4
= 1,8
Lb = 1,8 x Ds
= 1,8 x 266,680/1000
= 0,480 m

 - **Panjang lubang dalam boss baling-baling (Ln)**
Ln / Lb = 0,3
Ln = 0,3 x 0,480
= 0,144 m
tb/tr = 0,75
tb = 0,75 x 0,012
= 0,009 m
rf/tr = 0,75
rf = 0,75 x 0,012
= 0,009 m
rb/tr = 1
rb = 1 x tr
= 1 x 0.012
= 0,012 m

- **Tebal Sleeve**

Sleeve atau selubung poros dipakai sebagai perlindungan terhadap adanya korosi

$$\begin{aligned} s &\geq 0,03 D_s + 7,5 \\ &\geq (0,03 \times 266,680) + 7,5 \\ &\geq 15,5004 \end{aligned}$$

- **Panjang Kones**

Panjang konis atau L_b berkisaran antara 1,8 samapai 2,4 diameter poros.

$$\text{Diambil } L_b = 2,4 D_s$$

$$\begin{aligned} L_b &= 2,4 D_s \\ &= 2,4 \times 266,680 \\ &= 640,032 \text{ mm} \end{aligned}$$

- **Kemiringan Konis**

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

Diambil sebesar

$$\begin{aligned} 1/15 &= x / L_b \\ x &= 1/15 \times L_b \\ &= 1/15 \times 640,032 \\ &= 42,669 \text{ mm} \end{aligned}$$

- **Diameter Terkecil Ujung Konis**

$$\begin{aligned} D_a &= D_s - 2 \cdot x \\ &= 266,680 - (2 \times 42,669) \\ &= 181,342 \text{ mm} \end{aligned}$$

- **Diameter Luar Pengikat Boss**

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

$$\begin{aligned} D_n &= 60\% \times D_s \\ &= 60\% \times 266,689 \\ &= 160,008 \text{ mm} \end{aligned}$$