

BAB II

PERHITUNGAN TAHANAN KAPAL, DAYA MESIN UTAMA KAPAL, BALING-BALING, DAN POROS BALING-BALING

2.1 Tahanan Kapal

Untuk menggerakkan suatu benda dengan kecepatan sebesar berapapun tentu dibutuhkan sejumlah tenaga tertentu untuk mendorongnya. Benda padat (*solid body*) bila digerakan di suatu media fluida, untuk dapat bergerak pada suatu kecepatan diperlukan suatu gaya untuk mengatasi hambatan (*resistance*) yang dialami benda tersebut. Jadi diperlukan gaya dorong untuk mengatasi hambatan yang timbul agar benda tersebut dapat bergerak pada kecepatan yang dikehendaki. Dapat dikatakan bahwa hambatan tersebut merupakan reaksi dari adanya gaya dorong, sehingga satuan hambatan sama dengan satuan gaya yaitu: kg, ton, N, kN, dsb.

Demikian halnya kapal yang berlayar di laut, ia bergerak di permukaan laut yakni di media fluida air laut dan udara, dalam kondisi tenang tidak terganggu, maka saat bergerak akan menimbulkan gelombang dan kapal tersebut dalam gerakannya mengalami hambatan. Istilah teknik dalam bahasa Indonesia yang lazim dipakai untuk *ship's resistance* ($=R_T$) adalah tahanan kapal atau hambatan kapal.

Tahanan pada kapal dapat diuraikan menjadi beberapa komponen tahanan yaitu pada media air dan pada media udara.

A. Media Air:

1. Tahanan Gesek = R_F (*Viscous, Frictional Resistance*)

Akibat bergerak di media fluida berviskositas, maka sejumlah fluida ikut terseret yang menyebabkan timbulnya pergesekan antara partikel-partikel fluida, sedangkan gaya yang terjadi adalah *frictional force*. Kajadian ini berakibat harus keluarnya energi yang terbuang percuma sehingga menjadi tahanan bagi gerakan kapal.

2. Tahanan Gelombang = R_w (*Potential / Nonviscous, Wave Making Resistance*):

Akibat gerakannya timbul gelombang sehingga harus mengeluarkan energi yang tidak bermanfaat dan malah menjadi tahanan bagi gerakannya dan akan terjadi meskipun fluidanya ideal (*nonviscous*), sedangkan gaya yang terlihat adalah *potential force*. Ada tiga jenis gelombang yang biasanya terbentuk pada saat kapal bergerak, yaitu : gelombang haluan, gelombang melintang pada kiri dan kanan lambung kapal serta gelombang buritan.

3. Tahanan Tekanan = R_p (*Viscous, Pressure Resistance*):

Seperti halnya dengan benda lain yang memiliki bentuk, gerakannya di fluida non-ideal yakni fluida yang berviskositas akan menimbulkan gaya-gaya *pressure force* yang akan menjadi tahanan bagi gerakannya.

B. Media Udara:

1. Tahanan Udara = R_A (*Air Resistance*):

Karena badan kapal bagian atas garis air bergerak di udara yang juga memiliki viskositas meskipun harganya relatif kecil dan juga diasumsikan tidak ada angin (kecepatan udara = 0), namun bila kecepatan kapal cukup tinggi dan bangunan atas kapal (*superstructure*) tinggi dengan bentuk tidak *streamline*, tahanan udara juga harus diperhitungkan.

Dapat dikatakan, bahwa semua kapal harus mampu bergerak sendiri dan berolah gerak serta harus dapat menjaga kestabilan arah maupun oleng kapal sehingga pada bagian badan kapal didalam air terdapat sejumlah tonjolan (*appendages*) dengan fungsinya masing-masing. Sehingga selain komponen tahanan yang telah disebutkan, juga terdapat komponen tahanan tambahan yaitu:

1. Tahanan Appendix = R_{App} (*Viscous, Appendage Resistance*):

Akibat adanya *appendages* pada lambung kapal dibawah garis air, lunas sayap (*bilge keels*), penampung poros baling-baling kapal (*propeller shaft brackets*), lubang *Bow Thruster*, dsb. Gaya-gaya yang terlibat sama dengan yang terjadi pada komponen tahanan gelombang dan tahanan tekanan sehingga timbul tahanan pada kapalnya.

2.2 Perhitungan Tahanan Kapal Rancangan

Sebelum menghitung tahanan kapal rancangan diperlukan data-data kapal rancangan yang telah diperoleh pada mata kuliah Tugas Rencana Garis, adapun data-data kapal rancangan sebagai berikut:

1. *Length Over All (LOA)* = 99,000 m
2. *Length Water Line (LWL)* = 94,000 m
3. *Length Between Perpendicular (LBP)* = 92,000 m
4. *Breadth (B)* = 16,000 m
5. *Draft (T)* = 7,000 m
6. *Height (H)* = 8,500 m
7. *Freeboard (f)* = 1,500 m
8. *Coefficient Block (Cb)* = 0,707
9. *Coefficient Midship (Cm)* = 0,986
10. *Coefficient Prismatic (Cp)* = 0,717
11. *Coefficient Waterline (Cw)* = 0,789
12. *Displacement (Δ)* = 7.467,051 Ton
13. *Volume Displacement (∇)* = 7.284,928 m³
14. *Velocity Speed (Vs)* = 13,5 *Knots*
15. *Longitudinal Center of Buoyancy (LCB)* = 1,644 m (di depan $\bar{X}$.)

A. Perhitungan Tahanan Kapal Pada Kecepatan 13,5 *Knots*

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

berpengaruh pada tahapan perencanaan yang selanjutnya, seperti dalam perencanaan daya mesin utama kapal dan 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 (V_s) dinas kapal rancangan yaitu sebesar 13,5 *Knots*. Adapun perhitungan 5 kecepatan dalam perencanaan kapal rancangan ini antara lain:

1. Perhitungan tahanan untuk kecepatan 11,5 *Knots*;
2. Perhitungan tahanan untuk kecepatan 12,5 *Knots* ;
3. Perhitungan tahanan untuk kecepatan 13,5 *Knots* (kapal rancangan);
4. Perhitungan tahanan untuk kecepatan 14,5 *Knots*;
5. Perhitungan tahanan untuk kecepatan 15,5 *Knots*.

Dalam perancangan perhitungan tahanan kapal, metode yang digunakan adalah perhitungan menggunakan metode Harvald-Guldhammer yang bersumber dalam buku berjudul “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso tahun 2005.

B. Luas Permukaan Basah Kapal (S)

Menurut buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso halaman 99, untuk menghitung luas permukaan basah kapal (S) digunakan perhitungan sebagai berikut:

$$S = 1,025 \times LBP (\delta LBP \times B + 1,7 \times T)$$

Dimana:

$$\begin{aligned}\delta LBP &= \frac{LOA \times C_b}{LWL} \\ &= \frac{99 \times 0,707}{94} \\ &= 0,745\end{aligned}$$

Maka:

$$S = 1,025 \times 92 (0,744 \times 16 + 1,7 \times 7,0)$$

$$= 2.245,632 \text{ m}^2$$

Sedangkan untuk perhitungan luas permukaan basah sepanjang garis air (S') digunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S' &= 1,025 \times L_{wl} (\delta_{pp} \times B + 1,7 \times T) \\ &= 1,025 \times 94 (0,744 \times 16 + 1,7 \times 7,0) \\ S' &= 2.294,450 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan ratio antara luas permukaan basah dengan luas permukaan basah sepanjang garis air menggunakan perhitungan:

$$\begin{aligned} \frac{S}{S'} &= \frac{2.244,717}{2.293,515} \\ &= 0,978 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas ditetapkan harga:

- Luas permukaan basah kapal $S = 2.245,717 \text{ m}^2$
- Luas permukaan basah sepanjang garis air $S' = 2.294,450 \text{ m}^2$
- Ratio $S/S' = 0,978$

C. Perhitungan Froude Number (F_n)

Froude Number atau bilangan froude adalah sebuah bilangan tak bersatuan yang digunakan untuk mengukur resistansi dari sebuah objek yang bergerak melalui fluida air.

Froude Number dapat menjadi tolak ukur dalam menentukan jenis kapal apakah dalam kategori kapal cepat dan kapal non-cepat yang tentunya pemilihan koefisien bentuk kapal dalam perancangan, ukuran *Froude Number* terbagi menjadi:

- 0 – 0,180 : Untuk kapal Non-cepat
- 0,200 – 0,230 : Untuk kapal sedang
- 0,300 – 0,350 : Untuk kapal cepat
- > 0,5 : Untuk kapal super cepat

Untuk menentukan *Froude Number* (F_n) kapal rancangan digunakan rumus yang terdapat dalam buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso halaman 8, yaitu:

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

Dimana:

F_n = *Froude Number*.

V_s = Kecepatan kapal rancangan (m/s)
= 13,5 *knots* x 0,5144 = 6,944 m/s.

g = Gravitasi = 9,81 m/s².

LWL = Panjang garis air = 94 m.

Maka:

$$\begin{aligned} F_n &= \frac{6,944}{\sqrt{9,81 \times 94}} \\ &= 0,229 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$F_n = 0,228$**

D. Perhitungan Koefisien Tahanan Sisa (C_R)

Untuk menentukan Koefisien tahanan sisa (C_R) kapal rancangan menggunakan diagram C_R sebagai fungsi dari $L/\nabla^{1/3}$ (*length volume of displacement ratio*) dan C_p (*prismatic coefficient*) yang terdapat dalam buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso halaman 100 – 108 (Gb.9.9.1 – 9.9.9), adapun penjabarannya sebagai berikut:

Dimana:

F_n = *Froude Number* kapal rancangan.
= 0,228

L = Panjang garis air kapal rancangan
= 94 m

$\nabla^{1/3}$ = Volume *displacement* kapal rancangan untuk perhitungan tahanan

$$\begin{aligned} &= LWL \times B \times T \times C_b \\ &= 94 \times 16 \times 7 \times 0,707 \\ &= 7443.296 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_p &= \text{Coefficient Prismatic kapal rancangan} \\ &= 0,717 \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} L/\nabla^{1/3} &= \frac{94}{(7443,296)^{1/3}} \\ &= 4,814 \end{aligned}$$

Untuk menentukan $10^3 C_R$ pada $L/\nabla^{1/3} = 4,814$ digunakan cara interpolasi dari diagram C_R $L/\nabla^{1/3} = 4,5$ dan $L/\nabla^{1/3} = 5,00$.

$$\begin{aligned} L/\nabla^{1/3} &= 4,500 & Fn &= 0,229 & 10^3 C_R &= 1,80 \text{ (Diagram 2.1)} \\ L/\nabla^{1/3} &= 5,000 & Fn &= 0,229 & 10^3 C_R &= 1,60 \text{ (Diagram 2.2)} \\ L/\nabla^{1/3} &= 4,814 & Fn &= 0,229 & 10^3 C_R &= \dots\dots\dots \\ 10^3 C_R &= 1,800 + \left[\frac{4,814 - 4,500}{5,000 - 4,500} \right] \times (1,60 - 1,80) \\ &= 1,674 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas harga koefisien tahanan sisa $10^3 C_R = 1,674$

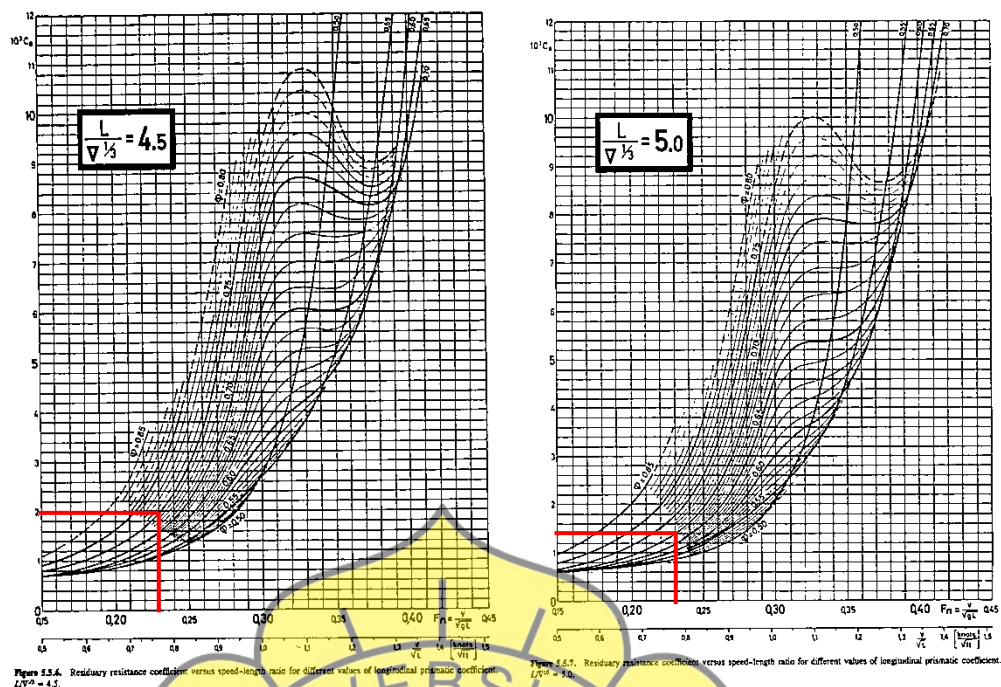


Diagram 2.1. $L/V^{1/3} = 4,5$

Diagram 2.2. $L/V^{1/3} = 5,0$

Untuk kapal rancangan yang tidak sama dengan kapal standard tentu harus ada koreksi-koreksi (meskipun kepalnya diasumsikan serumpun), adapun koreksi-koreksi tersebut sebagai berikut:

1. Koreksi B/T

Perhitungan bersumber dalam buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sasrodiongso halaman 94 (6) dan 95 (1) dinyatakan standar untuk kurva C_R adalah untuk *ratio* perbandingan $B/T = 2,5$, adapun penjabarannya sebagai berikut:

Dimana:

B = Lebar kapal rancangan.
= 16 m.

T = Draft kapal rancangan.
= 7 m.

Maka:

$B/T = 16/7$
= $2,285 < 2,5$

Diketahui $B/T = 2,285$ dan hasilnya lebih kecil dari harga kapal standar $B/T = 2,5$, maka perlu dikoreksi menjadi sebagai berikut:

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

Maka:

$$\begin{aligned} 10^3 C_R &= 0,16 \times (2,285 - 2,5) \\ &= -0,0344 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas sehingga koreksi harga $10^3 C_R$ dikarenakan adanya perbedaan **$B/T = -0,0344$**

2. Koreksi Lokasi Titik Apung Memanjang Kapal LCB

Untuk menentukan koreksi LCB dari kapal rancangan digunakan perhitungan dan kurva yang bersumber dalam buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso halaman 95 (2), yaitu sebagai berikut:

$$\Delta LCB = LCB_{\text{Rancangan}} - LCB_{\text{Standard}}$$

Dimana:

$$\Delta LCB = \text{Harga deviasi LCB}$$

$$LCB_{\text{Rancangan}} = 1,644 \text{ m.}$$

Harga LCB dihitung dalam % terhadap LWL, yaitu:

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

$$= \frac{1,644}{94} \times 100\%$$

$$= 1,749 \% \text{ (di depan } \infty \text{.)}$$

Kemudian untuk menentukan harga LCB_{Standard} diperoleh dari kurva LCB kapal standar *Guldhammer* dan *Harlvad* dalam buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso halaman 95 (Gb.9.7), yaitu didapat harga LCB_{Standard}

$$= -0,800 \% \text{ di depan } \infty.$$

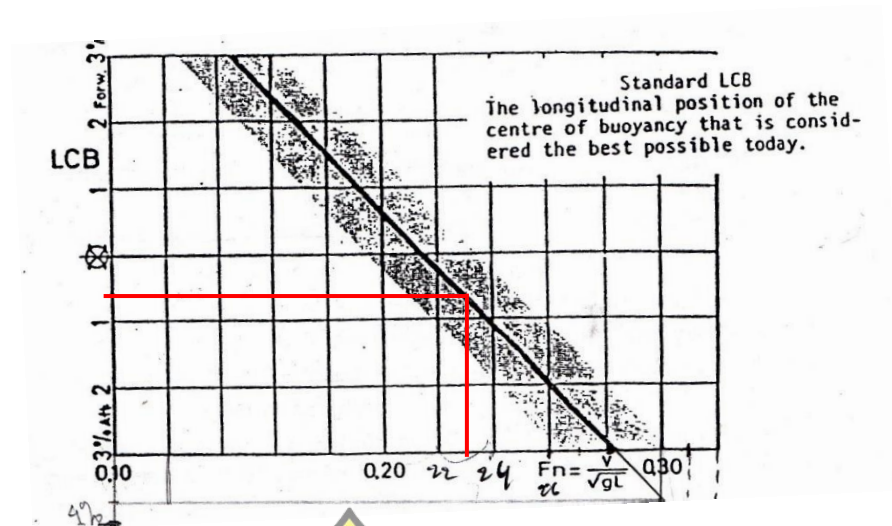


Diagram 2.3. $LCB_{Standard}$

Maka:

$$\begin{aligned}\Delta LCB &= 1,749 \% - (-0,800 \%) \\ &= 2,549 \% \text{ (di depan 0.)}\end{aligned}$$

Sedangkan untuk koreksi C_R untuk 1% perbedaan lokasi LCB di depan LCB kapal standard terdapat dalam kurva koreksi C_R pada buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso halaman 96 (Gb.9.8), yaitu sebagai berikut:

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

Dimana:

$$C_p = 0,717$$

Maka:

$$\frac{\partial 10^3 C_R}{\partial LCB} = 0,150$$

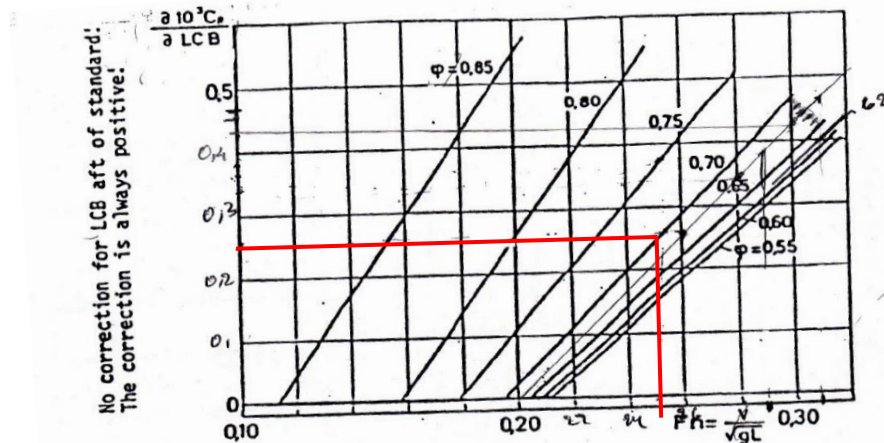


Diagram 2.4. Koreksi C_R 1%

Dari perhitungan tersebut maka koreksi lokasi titik apung memanjang kapal LCB kapal tersebut adalah :

$$10^3 C_R = 0,150 \times |2,549|$$

$$= 0,382$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga koreksi lokasi **LCB = 0,382**

3. Koreksi Bentuk Penampang Badan Kapal

Menurut buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso halaman 96 (4). Kurva C_R 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:

Badan kapal bagian depan	: ekstrim “U”	Ektrim “V”
	- 0,1	+ 0,1
Badan kapal bagian belakang	: ekstrim “U”	Ektrim “V”
	+ 0,1	- 0,1

Karena bentuk penampang badan kapal bagian depan dan belakang kapal berbentuk ekstrim “U”, maka koreksi terhadap $10^3 C_R$ adalah:

$$\begin{aligned} 10^3 C_R &= (-0,1) + (+0,1) \\ &= 0,000 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga koreksi bentuk penampang badan kapal **$10^3 C_R = 0,000$**

4. *Adanya Bulbous Bow*

Dengan memakai tabel-9.1 dalam buku Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak karangan Teguh Sastrodiwongso hal 97, harga koreksi terhadap $10^3 C_R = -0,200$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga koreksi adanya *Bulbous Bow* **$10^3 C_R = -0,200$**

5. *Koreksi Appendages*

Menurut buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso halaman 97 (5), koreksi *appendages* yang disebabkan anggota badan kapal yaitu:

a. *Adanya daun kemudi:*

Tidak ada koreksi, karena kapal standard telah memasukan terpasangnya daun kemudi.

b. *Bilge keel (lunas sayap):*

Tidak ada koreksi, karena kapal standard telah memasukan terpasangnya lunas sayap.

c. *Bossings:*

(3% ~ 5%) terhadap harga C_R bagi kapal gendut.

d. *Shaft brackets dan shafts:*

(5% ~ 8%) terhadap harga C_R bagi kapal langsing.

Maka direncanakan untuk koreksi *Bossings:*

$$\begin{aligned} &= 5 \% \times 10^3 C_R \\ &= 5 \% \times 1,674 \end{aligned}$$

$$= 0,084$$

Dan direncanakan untuk koreksi *shaft brackets*:

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

$$= 8 \% \times 1,674$$

$$= 0,134$$

Sehingga didapat total koreksi *Appendage*:

$$10^3 C_R = 0 + 0 + 0,084 + 0,134$$

$$10^3 C_R = 0,218$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga koreksi *appendages* karena anggota badan kapal $10^3 C_R = 0,218$

6. Koefisien Tahanan Sisa Total

Menurut buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso halaman 97, setelah dilakukan koreksi terhadap $10^3 C_R$, maka selanjutnya dilakukan penjumlahan sebagai berikut:

Tabel 2.1. Koefisien Tahanan Sisa Total

No.	Komponen $10^3 C_R$	Hasil
1.	Koreksi perbedaan B/T	- 0,034
2.	Koreksi lokasi LCB	0,382
3.	Koreksi bentuk penampang badan kapal	0,000
4.	Koreksi adanya <i>bulbous bow</i>	- 0,200
5.	Koreksi anggota <i>appendages</i>	0,218
Σ		0,366

Sumber : Perhitungan Pribadi

Jadi harga $10^3 C_R$ yang digunakan dalam perancangan yaitu:

$$10^3 C_R = \text{koefisien tahanan sisa } C_R + \text{koreksi harga } C_R .$$

$$= 1,674 + 0,366$$

$$= 2,040$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga koefisien tahanan sisa kapal $10^3 C_R = 2,040$

E. Perhitungan Reynold Number (Rn)

Reynold Number atau angka reynold adalah sebuah angka tak bersatuan yang digunakan untuk membedakan aliran apakah turbulen atau laminar. Apabila angka reynold kurang dari pada 2000, aliran tersebut merupakan aliran laminar dan apabila angka reynold lebih besar dari 4000, aliran tersebut adalah turbulen. Sedangkan antara 2000 dan 4000 aliran dapat laminar atau turbulen tergantung faktor- faktor yang mempengaruhi.

Untuk menentukan Reynold Number (Rn) kapal rancangan digunakan rumus yang terdapat dalam buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso halaman 8, yaitu :

$$Rn = \frac{Vs \times LWL}{\nu}$$

Dimana:

Rn = Reynold number kapal rancangan.

Vs = Kecepatan kapal rancangan.

$$= 13,5 \text{ knots} \times 0,5144 = 6,944 \text{ m/s.}$$

LWL = Panjang garis air kapal rancangan

$$= 94 \text{ m.}$$

ν = Viskositas kinematik air laut

$$= \text{Asumsi suhu air laut dimana kapal akan dioperasikan} = 25^\circ \text{ C}$$

$V_{\text{air laut}}$ dengan suhu 25° C berdasarkan table viskositas air laut yang terdapat dalam buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso halaman 123 (Tabel-L1.2) $= 0,8847 \times 10^{-6}$

Maka :

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{6,944 \times 94}{0,8667 \cdot 10^{-6}} \\ &= 7,531 \times 10^9 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga *Reynold Number* **$Rn = 7,531 \times 10^9$**

F. Koefisien Tahanan Gesek (C_F)

Guldhammer & Harvald memakai formulasi ITTC-1957 (*International Towing Tank Conference*, Madrid 1957) untuk *Frictional Resistance Coefficient* formula tersebut terdapat pada buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso halaman 97, yaitu sebagai berikut:

Dimana:

$$\begin{aligned} L &= 94 \text{ m} & V &= 6,000 & 10^3 C_F &= 1,680 \\ L &= 94 \text{ m} & V &= 8,000 & 10^3 C_F &= 1,620 \\ L &= 94 \text{ m} & V &= 6,944 & 10^3 C_F &= \dots\dots\dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10^3 C_F &= 1,680 + \left[\frac{6,944 - 6,000}{8,000 - 6,000} \right] \times (1,620 - 1,680) \\ &= 1,636 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga koefisien tahanan sisa kapal

$10^3 C_F = 1,636$

G. Koreksi Anggota Badan Kapal (C_F)

Menurut buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso halaman 29, koreksi anggota badan kapal yaitu:

$$\begin{aligned} 10^3 C_F &= \frac{S'}{S} \times 10^3 C_F \\ &= \frac{2.293,515}{2.244,717} \times 1,652 \\ 10^3 C_F &= 1,688 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **$10^3 C_F = 1,688$**

H. Koefisien Tahanan *Appendage* (C_A)

Untuk koreksi adanya pengaruh skala dan kekasaran permukaan, menurut Guldhammer & Harvald perlu adanya tambahan *Incremental Resistance Coefficient* yaitu:

$$C_A (= \Delta C_F) = 0,40 \times 10^{-3}$$

Tetapi harga tersebut tidak selalu benar menurut buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso halaman 98, disarankan memakai harga-harga sebagai berikut:

Kapal dengan panjang $LWL \leq 100 \text{ m} \rightarrow 10^3 C_A = 0,40$

$LWL = 150 \text{ m} \rightarrow 10^3 C_A = 0,20$

$LWL = 200 \text{ m} \rightarrow 10^3 C_A = 0$

$LWL = 250 \text{ m} \rightarrow 10^3 C_A = -0,20$

$LWL = 300 \text{ m} \rightarrow 10^3 C_A = -0,30$

Dimana:

LWL = Panjang garis air kapal rancangan.

$$= 94 \text{ m} < 100$$

$$10^3 C_A = 0,40$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga koefisien tahanan *Appendage*

$$\underline{C_A = 0,40}$$

I. Koefisien Tahanan Udara (C_{AA})

Menurut buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso halaman 98, tambahan harga pada total *resistance coefficient* akibat tahanan udara yaitu:

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

J. Koefisien Tahanan Kemudi (C_{As})

Menurut buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso halaman 98, tambahan hambatan akibat olah gerak kapal (*Steering Resistance*) yaitu:

$$\underline{10^3 C_{AA} = 0,04}$$

K. Koefisien Tahanan Total (C_{AT})

Setelah dihitung koefisien-koefisien tahanan yang berpengaruh pada kapal, maka selanjutnya dilakukan penjumlahan koefisien tersebut untuk mendapatkan tahanan total (C_{AT}) dari kapal rancangan, sebagai berikut:

Tabel 2.2. Koefisien Tahanan Total

No.	Koefisien	Hasil
1.	Koefisien tahanan sisa ($10^3 C_R$)	2,040
2.	Koefisien tahanan gesek ($10^3 C_F$)	1,688
3.	Koefisien tahanan <i>appendage</i> ($10^3 C_A$)	0,400
4.	Koefisien tahanan udara ($10^3 C_{AA}$)	0,070
5.	Koefisien tahanan kemudi ($10^3 C_{AS}$)	0,040
	$\Sigma 10^3 C_T$	4,238

Sumber : Perhitungan Pribadi

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga koefisien tahanan total
 $10^3 C_T = 4,238$

L. Tahanan Total (R_T)

Menurut buku “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso halaman 99, untuk menghitung tahanan total digunakan perhitungan sebagai berikut:

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

Dimana:

R_T = Tahanan total kapal rancangan.

C_T = Koefisien tahanan total.
= $4,238 \times 10^{-3}$

ρ = Berat jenis air laut.
= $104,5 \text{ kg.s}^2/\text{m}^4$.

S = Luas permukaan basah kapal.
= $2.245,632 \text{ m}^2$

V_s = Kecepatan kapal rancangan

$$= 13,5 \text{ Knots} \times 0,5144 = 6,944 \text{ m/s}$$

Maka:

$$\begin{aligned} R_T &= 3,998 \times 10^{-3} \times \left(\frac{1}{2} \times 104,5 \times 2.245,632 \text{ m}^2 \times 6,944^2 \right) \\ &= 23.978,644 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga tahanan total kapal rancangan

$$\underline{R_T = 23.978,644 \text{ kg}}$$

2.3 Perhitungan Daya Mesin Utama Kapal

Agar kapal dapat bergerak dengan suatu kecepatan yang dikehendaki, maka gaya lawan yang dialami kapal tersebut harus dapat diatasi oleh gaya lain yang mendorong kapal agar dapat bergerak sesuai dengan arah dan kecepatannya. Pengetahuan yang membahas persoalan penggerak kapal atau propulsi kapal, disamping teori lainnya seperti teori tahanan kapal, teori gerak kapal, dan sebagainya sangat penting dalam perencanaan kapal, dimana satu dan lainnya mempunyai kaitan erat.

Alat propulsi dari sistem propulsi kapal yang memberikan gaya dorong atau *thrust* kepada kapal dalam perancangan ini direncanakan menggunakan baling-baling kapal atau *screw propeller* dengan satu baling-baling atau *single screw*.

Untuk memberikan gaya dorong kepada kapal dibutuhkan sumber tenaga yang didapat dari mesin induk atau mesin utama (*main engine*). Dalam perencanaan menentukan daya mesin kapal agar dapat memberik daya doreng kepada kapal digunakan perhitungan yang bersumber dalam buku berjudul “Propulsi Kapal ” karangan Teguh Sastrodiwongso M.S.E. tahun 1892.

Adapun daya mesin utama kapal yang digunakan untuk perhitungan mesin penggerak menggunakan baling-baling kapal atau *screw propeller* dengan satu baling-baling atau *single screw*, yaitu:

1. *Breke Horse Power (BHP):*

Besarnya daya yang dapat dihasilkan langsung dari putaran yang dikeluarkan oleh mesin.

2. *Efektif Horse Power (EHP):*

Tenaga kuda efektif kapal atau dapat disebut juga *towing power*, yaitu tenaga yang dibutuhkan untuk menarik kapal yang mempunyai tahanan kapal sebesar R kg pada kecepatan kapal V m/s.

3. *Shaft Horse Power (SHP):*

Shaft horse power atau *propelling power*, yaitu tenaga yang diberikan kepada baling-baling melalui porosnya ditempat dimana baling-baling dipasang untuk menggerakkan kapal pada kecepatan V m/s. Jadi tenaga ini merupakan tenaga kuda yang diukur pada poros baling-baling dimana dia berada dan bersamanya sama dengan tenaga kuda mesin induk kapal yang memutar baling-baling itu dikurangi kerugian-kerugian tenaga pada *shafting arrangement* nya.

Adapun istilah-istilah lain dalam daya mesin utama kapal, yaitu:

1. *Thrust Horse Power (THP):*

Ketika kapal bergerak maju, propeller akan berakselerasi dengan air. Akselerasi tersebut akan meningkatkan momentum air. Berdasarkan hukum kedua newton, gaya ekuivalen dengan peningkatan akselerasi momentum air, disebut Thrust. Sehingga THP adalah daya yang dikirimkan propeller ke air.

2. *Delivered Horse Power (DHP):*

DHP adalah power yang di-adsorb oleh propeller dari shafting system untuk diubah menjadi Thrust Horse Power.

3. *Sea Margin:*

Tambahan kelonggaran ini sangat tergantung pada jalur pelayaran. Kelonggaran rata-rata untuk pelayaran dinas (kadang-kadang disebut *margin* atau *service margin*) untuk hambatan atau daya efektif adalah sebagai berikut:

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

Untuk kapal rancangan akan melewati jalur pelayaran Asia Timur.

4. Propulsive Coefficient (PC):

Dipakai sebagai ukuran untuk menilai efisiensi dari propulsi kapal dan didefinisikan sebagai ratio atau perbandingan antara towing power terhadap peropelling power.

Untuk menentukan propulsive coefficient (PC) diperlukan perhitungan:

a. Efisiensi baling-baling (η_p):

Ukuran baik buruknya baling-baling ditinjau dari segi produktivitasnya dalam menghasilkan gaya dorong dan didefinisikan sebagai ratio antara tenaga pendorong yang menghasilkan gaya dorong tersebut oleh baling-baling (THP) dengan propelling power (SHP).

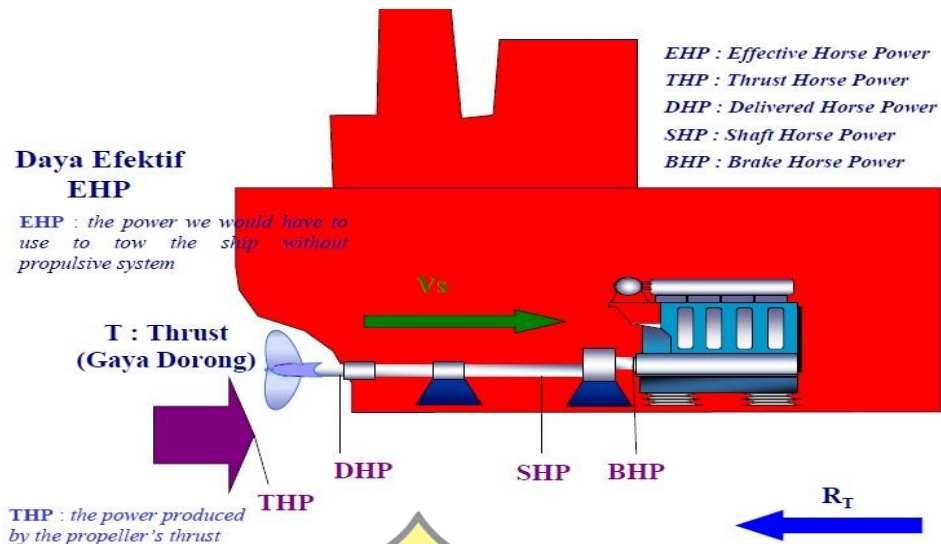
b. Hull efisiensi (η_H):

Harga perbandingan antara tenaga kuda efektif EHP terhadap tenaga kuda pendorong THP.

c. Relative Rotative Efisiensi (η_{rr}):

Harga perbandingan antara efisiensi baling-baling yang dibedakan menjadi efisiensi baling-baling pada kondisi terbuka dan pada kondisi tertutup.

- Efisiensi baling-baling pada kondisi terbuka (open condition):
Efisiensinya yang diukur pada saat baling-baling bekerja pada saat percobaan tanpa dipasangkan diburitan kapal.
- Efisiensi baling-baling pada kondisi di belakang kapal (behind the ship condition).



Sumber : Data Pribadi
Gambar 2.1. Daya Pada Kapal

A. Perhitungan Efektif Horse Power (EHP)

Untuk menentukan Efektif Horse Power (EHP) kapal rancangan digunakan rumus yang terdapat dalam buku Propulsi Kapal karangan Ir. Teguh Sastrodiwongso M.S.E pada halaman 19, yaitu sebagai berikut:

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

Dimana:

EHP = Efektif Horse Power kapal rancangan.

V_s = Kecepatan kapal rancangan.

$$= 13,5 \text{ Knots} \times 0,5144 = 6,944 \text{ m/s}$$

R_T = Hambatan total kapal rancangan.

$$= 23.978,644 \text{ kg}$$

Maka:

$$EHP = \frac{6,944 \times 23.978,644 \text{ kg}}{75}$$

$$= 2.220,231 \text{ HP}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga Efektif Horse Power (EHP)

$$\underline{EHP = 2.220,231 \text{ HP}}$$

B. Perhitungan *Shaft Horse Power* (SHP)

Untuk menentukan *Shaft Horse Power* (SHP) yang diterima *propeller* pada kapal rancangan digunakan rumus yang terdapat dalam buku *Propulsi Kapal* karangan Ir. Teguh Sastrodiwongso M.S.E pada halaman 19, yaitu sebagai berikut:

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

Dimana:

SHP = *Shaft Horse Power* kapal rancangan

PC = *Propulsive Coefficient*.

$$= \eta_H \times \eta_r \times \eta_{p0}$$

1. Efisiensi lambung timbul / Hull (η_H):

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

w = Faktor Arus Ikut (*Wave Current*)

Dimana perhitungannya untuk *single screw* menurut Taylor:

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

$$= -0,18 + 0,54 \times 0,707$$

$$= 0,201$$

$$t = k \times w$$

$$k = (0,55 \sim 0,70)$$

$$t = 0,60 \times 0,201$$

$$= 0,120$$

Maka:

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

$$= \frac{1-0,120}{1-0,201}$$

$$= 1,101$$

2. Efisiensi *Rotary* relative (η_{rr}):

$$\eta_{rr} = 0,985$$

3. Efisiensi baling-baling (η_{PO})

$$\begin{aligned}\eta_{PO} &= (0,55 \sim 0,65) \\ &= 0,65\end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned}PC &= 1,101 \times 0,985 \times 0,65 \\ &= 0,705\end{aligned}$$

Sehingga perhitungan *Shaft Horse Power* (SHP), yaitu:

$$\begin{aligned}SHP &= \frac{2.220,231 \text{ HP}}{0,704} \\ &= 3,148,565 \text{ HP}\end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga *Shaft Horse Power* (SHP),

$$\text{SHP} = \underline{\underline{3.148,565 \text{ HP}}}$$

C. Perhitungan *Brake Horse Power* (BHP)

Untuk menentukan *Brake Horse Power* (BHP) pada kapal rancangan digunakan rumus yang terdapat dalam buku *Propulsi Kapal* karangan Ir. Teguh Sastrodiwongso M.S.E pada halaman 19, dan diambil ketentuan kerugian kearena adanya gesekan-gesekan pada:

Dimana koreksi yang dilakukan adalah:

1. Koreksi pemakaian *gear box* 2% ~ 3% = 3%
2. Koreksi letak kamar mesin dibelakang = 3%
3. Kelonggaran Dinas (*Sea Margin*) = 15 %

Maka:

$$\begin{aligned}BHP &= SHP \times (3 + 3 + 15) \% + SHP \\ &= 3,148,565 \times 21\% + 3,148,565 \\ &= 3.809,763 \text{ HP} \times 0,746 \\ &= 2.842,083 \text{ KW}\end{aligned}$$

Maka ditetapkan harga *Brake Horse Power* untuk kapal rancangan

$$\text{BHP} = \underline{\underline{2.842,083 \text{ KW}}}$$



2.4 Tabel Perhitungan 5 Percepatan

Setelah dilakukan perhitungan dalam 5 kecepatan dimana kecepatan (V_s) dinas kapal rencangan yaitu sebesar 13,5 *Knots*. Dimana perhitungan 5 kecepatan dalam perencanaan kapal rancangan ini yaitu:

1. Perhitungan tahanan untuk kecepatan 11,5 *Knots*;
2. Perhitungan tahanan untuk kecepatan 12,5 *Knots*;
3. Perhitungan tahanan untuk kecepatan 13,5 *Knots* (kapal rancangan);
4. Perhitungan tahanan untuk kecepatan 14,5 *Knots*;
5. Perhitungan tahanan untuk kecepatan 15,5 *Knots*;

Maka telah diperoleh data-data sebagai berikut:

Tabel 2.3. Perhitungan 5 Percepatan

No.	Item Rumus	Satuan	Kecepatan				
			11,5	12,5	13,5	14,5	15,5
1.	Kecepatan (V_s)	m/s ²	5,915	6,430	6,944	7,459	7,973
2.	Froude Number (F_n)	$\times 10^{-3}$	0,195	0,212	0,229	0,246	0,263
3.	Residual Coefficient (CR)		1,130	1,298	1,674	2,074	2,749
4.	Koreksi B/T		2,286	2,286	2,286	2,286	2,286
5.	Koreksi LCB		0,000	0,050	0,382	0,580	1,050
6.	Koreksi Garis Penampang		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000



7.	Koreksi Bentuk Haluan		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8.	Koreksi Anggota Badan		0,147	0,169	0,218	0,270	0,303
9.	Koefisien Tahanan Sisa Total		1,042	1,283	2,040	2,690	3,868
10.	Reynolds Number (Re)	$10^{-6} Re$	641,590	667,381	753,171	808,962	864,752
11.	Frictional Resistance Coefficeint (Cf) – ITTC 1957	$\times 10^{-3}$	1,683	1,667	1,652	1,636	1,621
12.	$10^3 CF$		1,720	1,703	1,688	1,672	1,656
13.	$10^3 C_A$		0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
14.	$10^3 C_{AA}$		0,070	0,070	0,070	0,070	0,070
15.	$10^3 C_{AS}$		0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
16.	Total Resistance Coefficient (CT)	$\times 10^{-3}$	3,272	3,496	4,238	4,871	6,034
17.	Total Resistance (RT)	Kg	13.436,232	16.960,686	23.978,644	31.700,100	45.005,971
18.	Effective Horse Power (EHP)	HP	1.059,778	1.454,096	2.220,231	3.162,442	4.784,555
19.	PC		0,705	0,705	0,705	0,705	0,705
20.	Shaft Horse Power (SHP)	HP	1.502,989	2.062,090	3.148,565	4.484,738	6.785,097
21.	Brake Horse Power (BHP)	HP	1.818,507	2.495,129	3.809,763	5.426,533	8.209,967
22.	Brake Horse Power (BHP)	KW	1.356,606	1.861,366	2.842,083	4.048,193	6.124,636

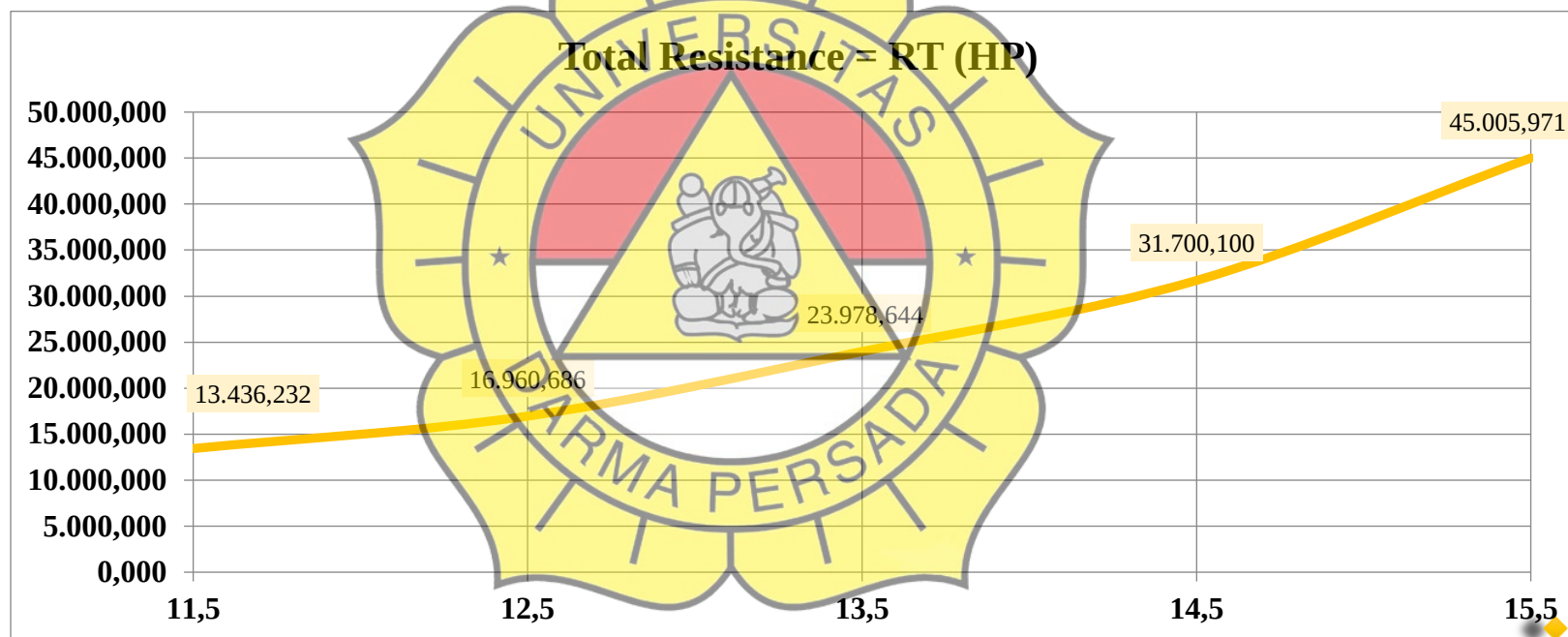
Sumber : Data Pribadi



2.5 Kurva Daya dan Kecepatan

Setelah melakukan perhitungan dan diperoleh data-data 5 percepatan, untuk pembandingan kecepatan kapal maka selanjutnya daya pada masing-masing percepatan dapat digambarkan dengan kurva-kurva sebagai berikut:

A. Kurva Tahanan Total (RT) Kapal dan Kecepatan

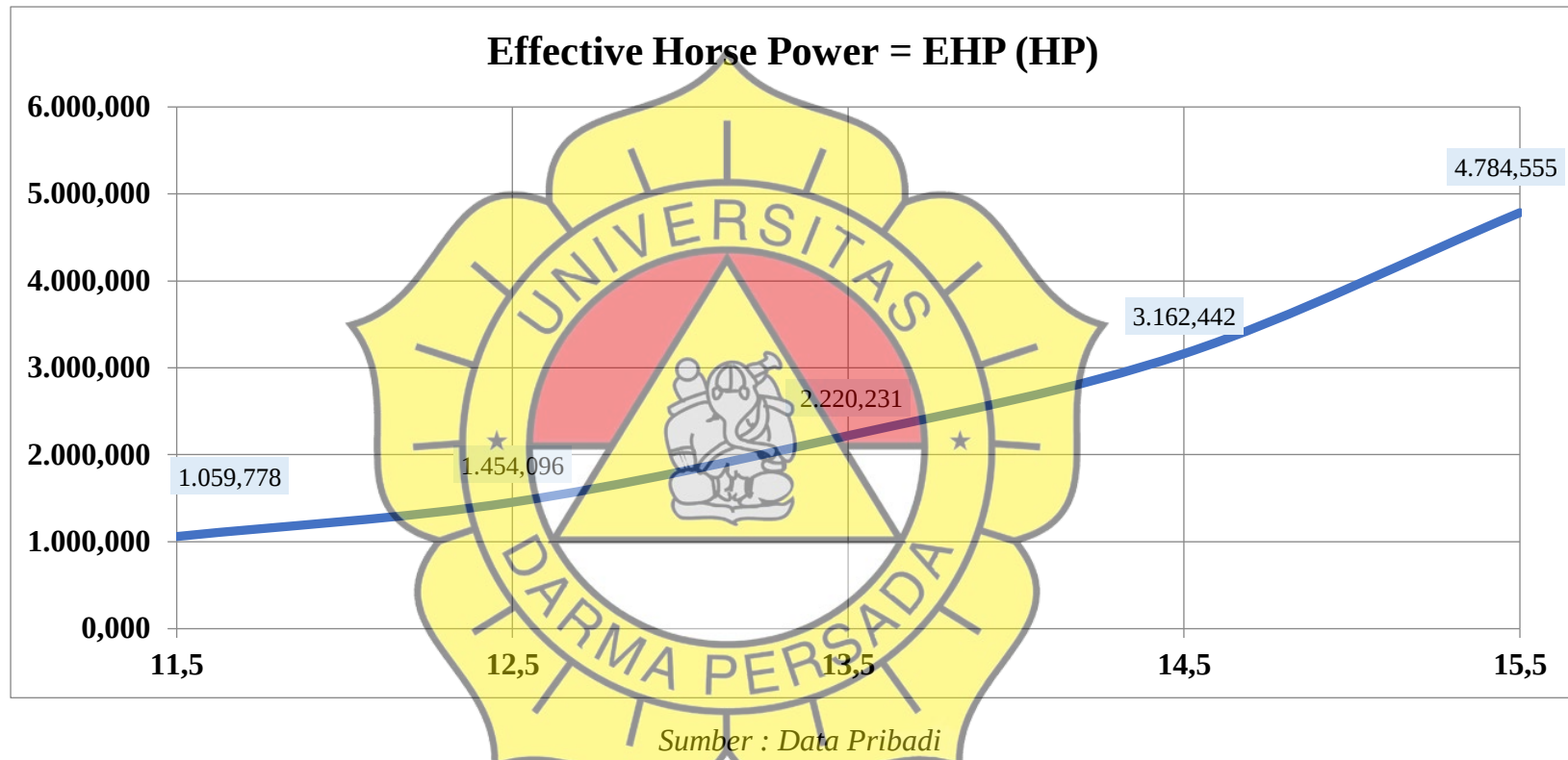


Sumber : Data Pribadi

Grafik 2.1. Kurva Tahanan Total (RT) dan Kecepatan



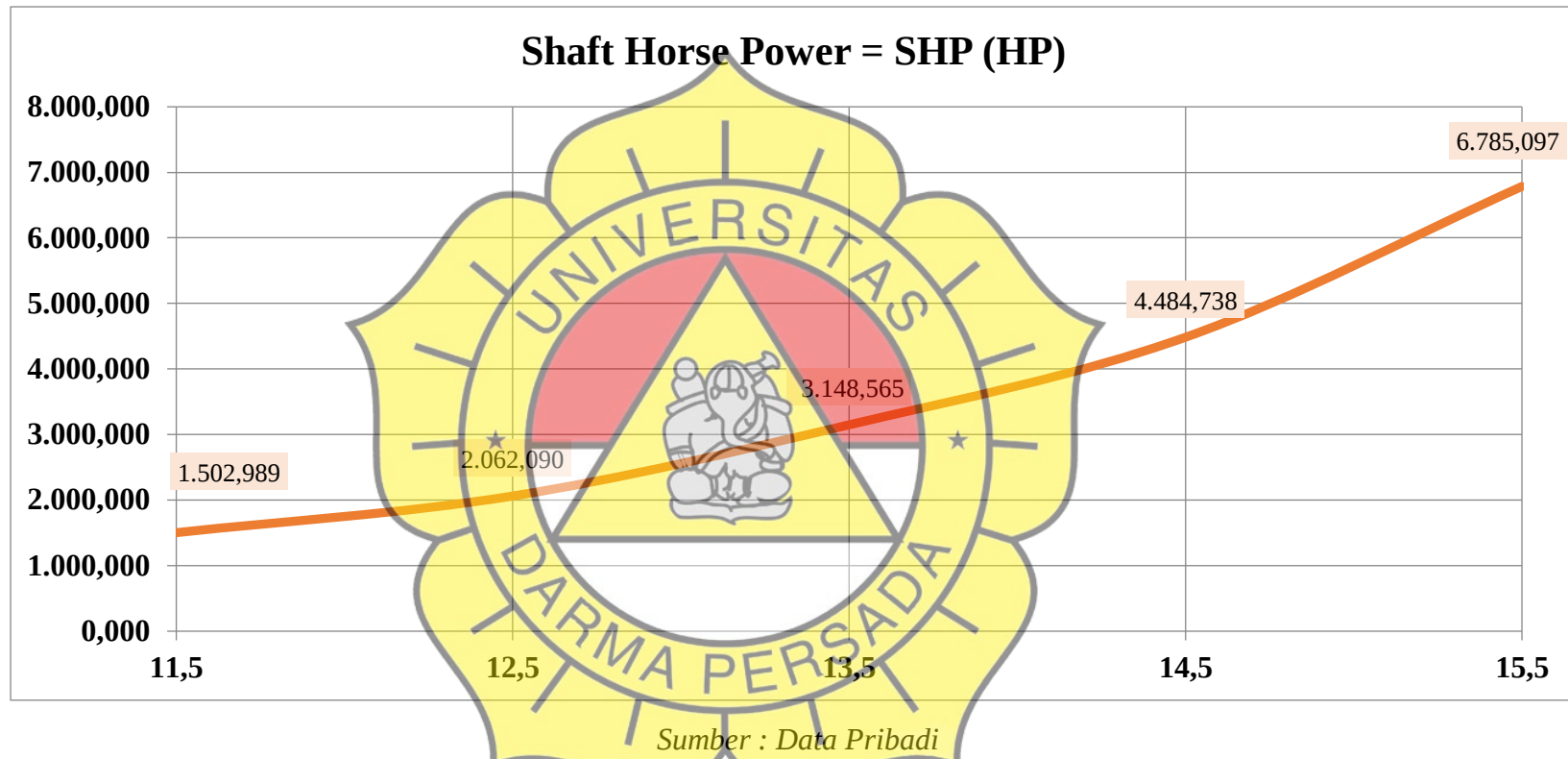
B. Kurva Effective Horse Power (EHP) dan Kecepatan



Grafik 2.2. Kurva Effective Horse Power (EHP) dan Kecepatan



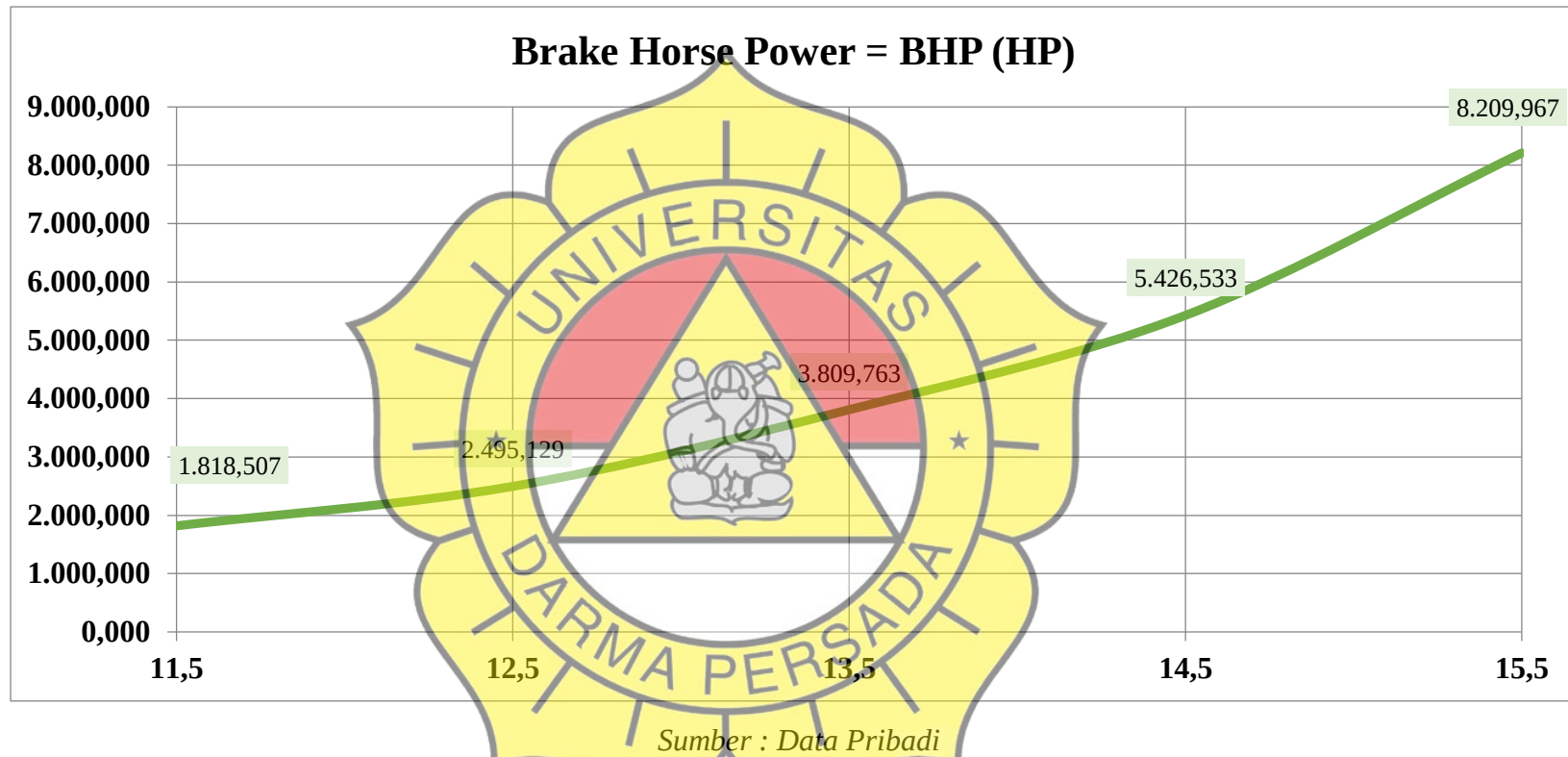
C. Kurva Shaft Horse Power (SHP) dan Kecepatan



Grafik 2.3. Kurva Shaft Horse Power (SHP) dan Kecepatan



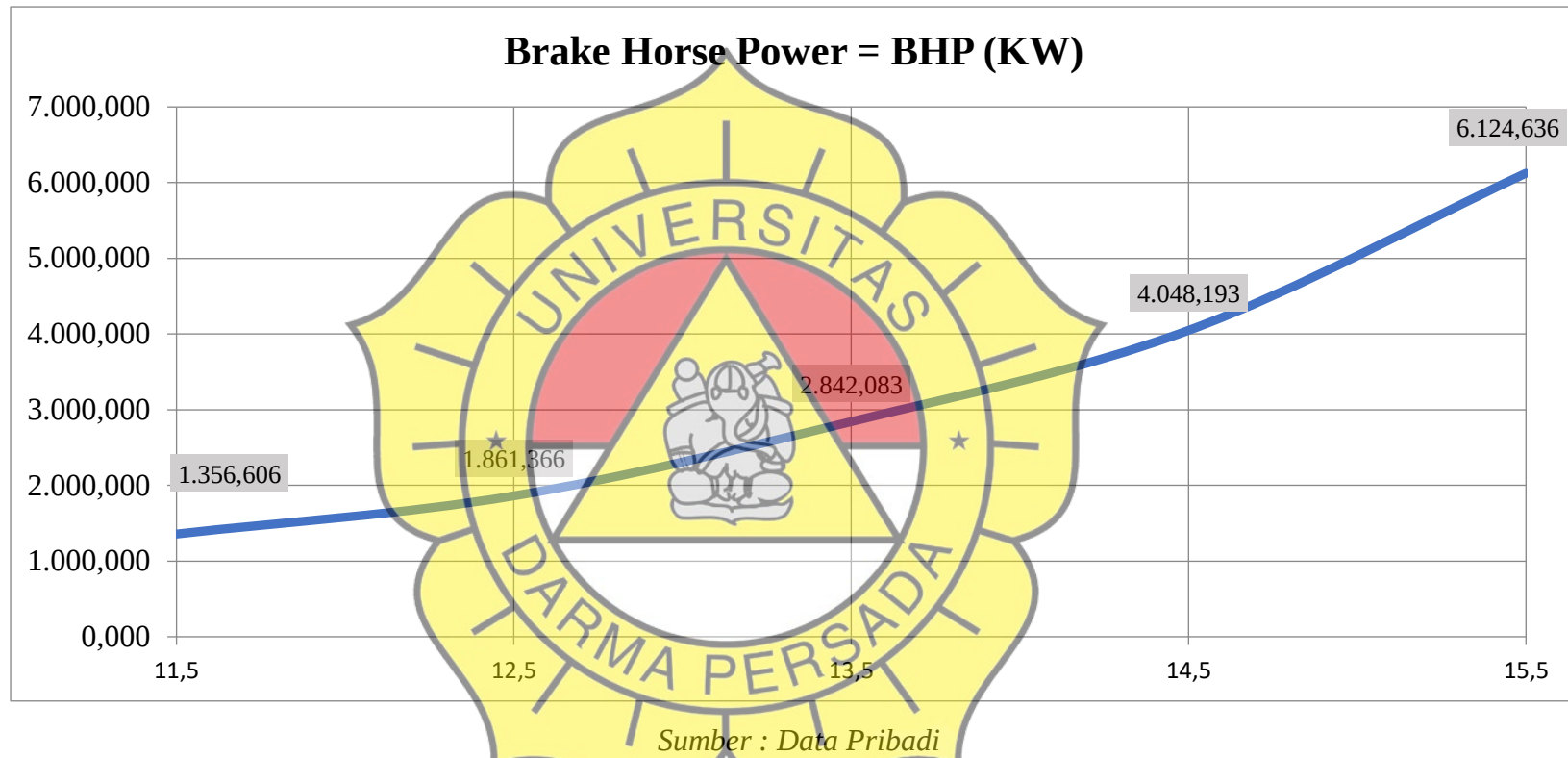
D. Kurva Brake Horse Power (BHP) dalam HP dan Kecepatan



Grafik 2.4. Kurva Brake Horse Power (BHP) dan Kecepatan



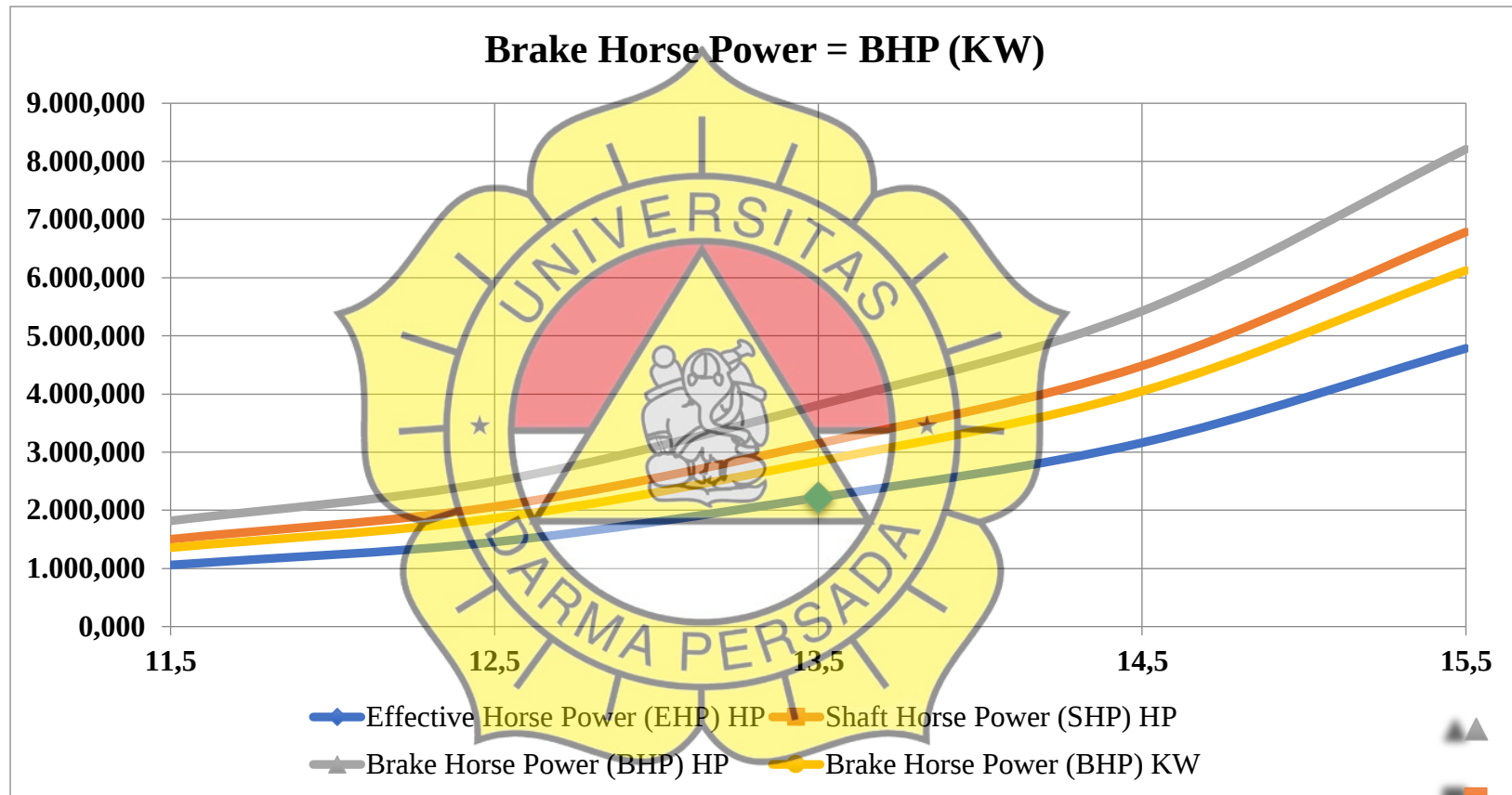
E. Kurva Brake Horse Power (BHP) dalam KW dan Kecepatan



Grafik 2.5. Kurva Brake Horse Power (BHP) dalam KW dan Kecepatan



F. Kurva Daya-Daya Pada Kapal Rancangan



Sumber : Data Pribadi

Grafik 2.6. Kurva Daya-Daya Pada Kapal Rancangan

2.6 Penentuan Mesin Utama Kapal

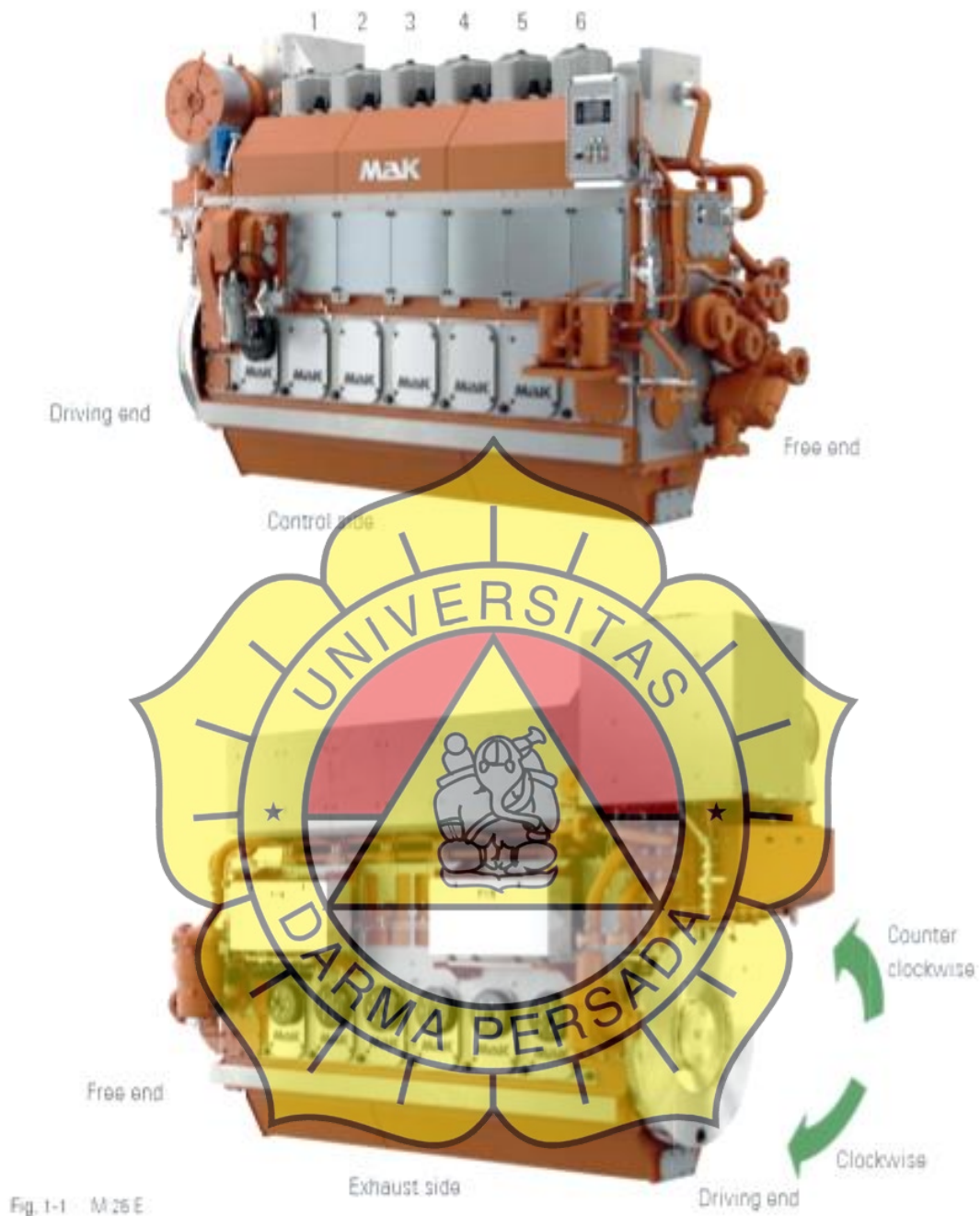
Berdasarkan hasil perhitungan tahanan kapal dengan menggunakan metode Harlvald-Guldhammer yang bersumber dalam buku berjudul “Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak” karangan Teguh Sastrodiwongso tahun 2005, maka dapat ditentukan besarnya daya mesin yang digunakan untuk kapal rancangan, dimana spesifikasi mesin utama yang dipilih adalah sebagai berikut:

1. *Merk* = **MAK**
2. *Type* = **9 M 25 E**
3. *Daya* = **3.150 KW (4.222 HP)**
4. *Cylinders* = **6**
5. *Cylinder Stroke* = **400 mm**
6. *Cylinder bore* = **255 mm**
7. *Speed* = **750 rpm**
8. *SFOC* = **187 g/KWh**
9. *P x L x T* = **6130 mm x 2670 mm x 2230 mm**

Karena putaran mesin yang dipilih ini mempunyai rpm yang tinggi maka untuk mengurangi getarannya digunakan *reduction gear*, adapun spesifikasinya sebagai berikut:

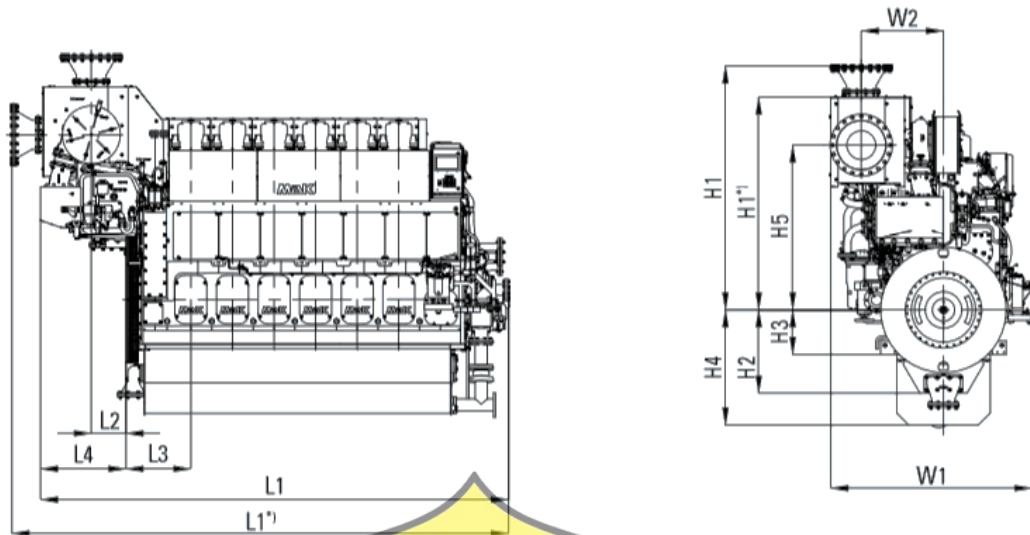
1. *Merk* = **ZF Marine Transmission**
2. *Type* = **ZF W63000 NR2H**
3. *Ratio* = **1 : 4,000**

Dengan telah dipilihnya mesin induk untuk kapal rancangan, maka berdasarkan kurva daya kecepatan untuk daya mesin 2.842,083 KW (3.809,763 HP) maka kecepatan kapal rancangan ini adalah 13,5 knot.



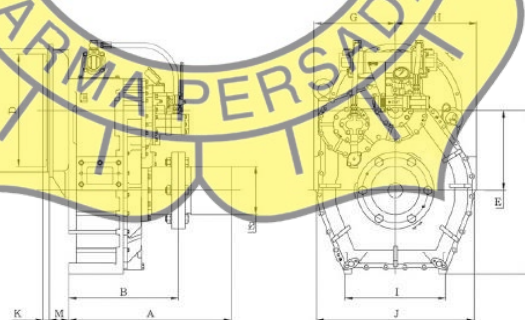
	6 M 25 E	8 M 25 E	9 M 25 E
Output [kW]	2,100	2,800	3,150

Sumber: M25E Project Guide / Propulsion
Gambar 2.2 Mesin Utama Kapal



		Dimensions [mm]													Weight	
		Turbocharger nozzle position 0°													Wet sump [t]	Dry sump [t]
		L1	L2	L3	L4	H1	H2	H3	H4	W1	W2	L1'	H1'	H5		
6 M 25 E		4,840	358	672	883	2,525	861	460	1,191	2,080	850	5,136	2,200	1,704	23.5	21.2
8 M 25 E		5,700	338	672	883	2,670	861	460	1,191	2,230	937	6,085	2,322	1,740	30.0	28.5
9 M 25 E		6,130	338	672	883	2,670	861	460	1,191	2,230	937	6,515	2,322	1,740	30.0	30.0

Sumber: M25E Project Guide / Propulsion
Gambar 2.3 Ukuran Mesin Utama Kapal



A	B	E	F	G	H	I	J	Ø
355	255	118.7	244	177	135	157	260	72
403	286	106.5	323.5	217	175	170	326	100
436	325	160.5	323.5	228	175	170	326	110
485	335	195	388	249	197	224	386	140
494	344	195	388	249	197	224	386	140
531.3	391.3	195	390	270	250	206	383	150

Sumber: Katalog Gearbox
Gambar 2.4 Ukuran Gearbox

2.7 Sistem Propulsi Kapal

Dalam operasinya di laut, suatu kapal harus memiliki kemampuan untuk mempertahankan kecepatan dinas (V_s) seperti yang direncanakan. Hal ini mempunyai arti bahwa, kapal haruslah mempunyai rancangan sistem propulsi (penggerak) yang dapat mengatasi keseluruhan gaya-gaya hambat (total resistance) yang terjadi agar memenuhi standar kecepatan dinasnya. Secara umum, Sistem Propulsi Kapal terdiri dari 3 (tiga) komponen utama yaitu:

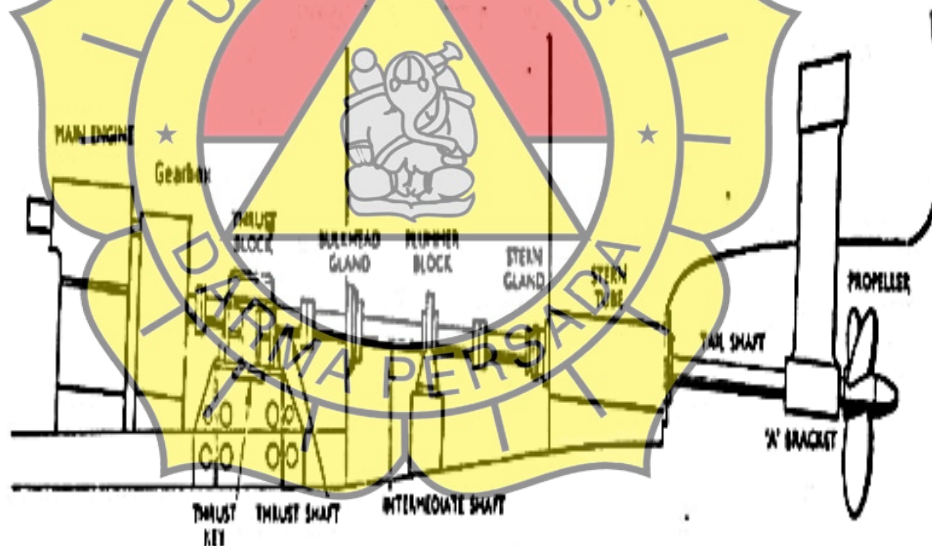
1. Motor induk atau mesin pokok (main engine) sebagai penggerak mula (prime mover) atau disebut juga pembangkit daya (power generator).
2. Propulsor (penggerak) yang umumnya berupa propeller (screw propeller).
3. Komponen transmisi, terdiri dari:
 - a. Poros (shafting) sebagai komponen utama,
 - b. Roda gigi reduksi (reduction gear), bila diperlukan untuk penyesuaian putaran antara motor induk yang putarannya lebih tinggi dan propeler dengan putaran yang lebih rendah.
 - c. Dapat pula digunakan transmisi listrik (electric transmission); pada sistem ini penggerak mula dihubungkan dengan generator listrik, sehingga energi mekanik yang dihasilkan dirubah menjadi energi listrik, selanjutnya energi listrik dari generator dirubah menjadi energi mekanik oleh motor listrik yang dihubungkan dengan generator; kemudian ditransmisikan melalui poros ke propeler.
 - d. komponen pembalik putaran bila diperlukan

Ketiga komponen utama ini merupakan suatu kesatuan yang di dalam proses perencanaannya tidak dapat ditinjau secara terpisah. Kesalahan didalam perancangan, akan membawa 'konsekuensi' yang sangat besar terhadap kondisi-kondisi sebagai berikut:

1. Tidak tercapainya kecepatan dinas kapal yang direncanakan.
2. Fuel oil consumption yang tidak efisien.
3. Turunnya nilai ekonomis dari kapal tersebut.
4. Pengaruh pada tingkat vibrasi yang terjadi pada badan kapal, dsb.

Konfigurasi dari ketiga komponen utama sistem propulsi ini sangat dipengaruhi oleh rancangan fungsi kapal itu sendiri, serta bagaimana misi yang harus dijalankan dalam operasionalnya di laut.

Gambar berikut menunjukkan system penggerak utama dengan komponen-komponennya prime mover (dalam hal ini motor induk atau main engine), sistem roda gigi (gear box), thrust block, thrust shaft, intermediate shaft, tail shaft dan propeller. Disamping itu terdapat kelengkapan lain seperti bantalan-bantalan (bearings), stern tube, dan Bracket.



Sumber: Buku Sistem Penggerak Utama
Gambar 2.5 Sistem Propulsi

2.8 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:

1. Diameter baling-baling optimum
2. *Thrust horse power*
3. Putaran baling-baling
4. Jumlah daun baling-baling
5. Efek kavitasi terhadap baling-baling
6. Kekuatan baling-baling.

Dalam perencanaan baling –baling kapal digunakan data ukuran utama kapal rancangan dengan jenis kapal Product Oil Tanker 6.300 DWT adalah sebagai berikut:

1. *Length Over All (LOA)* = 99,000 m
2. *Length Water Line (LWL)* = 94,000 m
3. *Length Between Perpendicular (LBP)* = 92,000 m
4. *Breadth (B)* = 16,000 m
5. *Draft (T)* = 7,000 m
6. *Height (H)* = 8,500 m
7. *Freeboard (f)* = 1,500 m
8. *Coefficient Block (Cb)* = 0,707
9. *Coefficient Midship (Cm)* = 0,986
10. *Coefficient Prismatic (Cp)* = 0,717
11. *Coefficient Waterline (Cw)* = 0,789
12. *Displacement (Δ)* = 7.467,051 Ton
13. *Volume Displacement (V)* = 7.284,928 m³
14. *Velocity Speed (Vs)* = 13,5 Knots
15. *Daya Mesin Induk* = 2.842,083 KW
16. *Reduction gear* = 1 : 4.000
17. *Rotation per minute* = 750 rpm
18. Koreksi 3% untuk gear box
19. Koreksi 3% untuk letak kamar mesin di belakang

Dalam perencanaan *propeller* perancangan ini, memakai baling-baling tipe “B” *Wageningen series Wageningen* sedangkan perencanaannya memakai Bp- δ diagram dari baling-baling tipe “B-4” hasil dari *Open Water Test di Netherland Ship Model Basin (NSMB)* yang sekarang berganti nama menjadi *Maritime Research Institute Netherland (MARIN)*.

Selanjutnya untuk perhitungan 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).

2.9 Istilah Yang Digunakan Dalam Perencanaan Baling-Baling Kapal

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 dari Propeller (v_e)

Advance Speed of propeller (V_e) adalah kecepatan relatif dari partikel air yang melewati piringan baling-baling atau selisih dari pada *pitch* baling-baling dengan harga *slip* baling-baling dalam meter per knot.

C. Revolution Per Minute (RPM)

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

D. Revolution Per Second (Rps)

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

E. Pitch Ratio (H_o/D_o)

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

F. Diameter Tentative (D)

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

G. 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.

H. *Project Blade Area (Fp)*

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

I. *Developed Blade Area (Fa)*

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

J. *Expanded Ratio (Fa/F)*

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

2.10 Perencanaan Baling-Baling Kapal

Perencanaan penentuan dimensi baling-baling akan sangat menentukan terhadap hasil kinerja kapal rancangan. Adapun perencanaan baling-baling yang dipilih adalah memakai baling-baling tipe “B” *Wageningen* sedangkan perencanaannya memakai Bp-6 diagram dari baling-baling tipe “B-4” hasil dari *Open Water Test di Netherland Ship Model Basin (NSMB)* yang sekarang berganti nama menjadi *Maritime Research Institute Netherland (MARIN)*. Langkah-langkah perencanaannya 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 80 untuk kapal *single screw* adalah:

$$w = - 0,05 + 0,5 \times C_b$$

Dimana:

$$w = \text{Wake Friction}$$

$$C_b = \text{Coefficient Block kapal rancangan} \\ = 0,707$$

Maka:

$$\begin{aligned}w &= -0,05 + 0,5 \times 0,707 \\&= 0,303\end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga faktor arus ikut (*wake friction*),

$$\underline{w = 0,303}$$

B. Advance Speed Of Propeller (V_a)

Untuk menentukan *advance speed* dari kapal rancangan digunakan rumus yang terdapat dalam buku Propulsi Kapal oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso MSE, halaman 97 adalah :

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

Dimana:

$$V_a = \text{Advance speed.}$$

$$w = \text{Wake Friction}$$

$$= 0,303$$

$$V_s = \text{Kecepatan kapal rancangan.}$$

$$= 13,5 \text{ Knots}$$

Maka:

$$V_a = 13,5 \times (1 - 0,303)$$

$$= 9,410 \text{ m/s}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga *Advance speed of propeller*,

$$\underline{V_a = 9,410 \text{ m/s}}$$

C. Koreksi RPM Baling-Baling (N_K)

Koreksi karena adanya pengaruh skala (*scale effect*) untuk menentukan koreksi rpm baling-baling kapal (N_K) dari kapal rancangan digunakan rumus yang terdapat dalam buku *Propulsi Kapal* oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso MSE, halaman 93 adalah :

Dimana:

- Kapal-kapal berbaling-baling tunggal : untuk *trial condition* = 3%

- Rpm = Putaran mesin utama kapal rancangan = 750 rpm
- Reduction gear yang dipilih 1 : 4,000

Maka:

$$N_{\text{baling2}} = \frac{750}{4,000}$$

$$= 187,5 \text{ rpm}$$

$$N_K = 0,97 \times 187,5 \text{ (koreksi scale effect 3%)}$$

$$= 181,875 \text{ rpm}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **N_K = 181,875 rpm.**

D. Shaft Horse Power (SHP) Baling-baling

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 = $\frac{75}{76}$
- Koreksi *density* dari air tawar ke air laut = $\frac{1,000}{1,025}$

Maka:

$$\begin{aligned} \text{SHP} &= (\text{BHP} - ((3 + 3) \%)) \times \frac{75}{76} \times \frac{1,000}{1,025} \\ &= (4.222 \text{ HP} - 6 \%) \times \frac{75}{76} \times \frac{1,000}{1,025} \\ &= 4.064,768 \text{ HP} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **SHP = 4.064,768 HP**

E. 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:

$$D = \text{Diameter Propeller}$$

$$\begin{aligned} T &= \text{Draft kapal rancangan.} \\ &= 7,00 \text{ m.} \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} D &= 0,7 \times 7,00 \\ &= 4,9 \text{ m.} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **D = 4,9 m.**

F. 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.

$$= 23.978,644 \text{ kg}$$

$$t = 0,120$$

Maka:

$$\begin{aligned} T &= \frac{23.978,644}{1 - 0,120} \\ &= 27.248,459 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **T = 27.248,459 Kg.**

G. 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:

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

Dimana:

D = Diameter *Propeller*.

D = 4,9 m.

v_e = Advance speed of propeller.

= 4,839 m/s

T = Gaya dorong (*Thrust*).

= 27.248,459 Kg

ρ = Density air laut.

ρ = 104,5 Kg.s²/m⁴

Maka:

$$\begin{aligned} K'd &= 4,9 \times 4,839 \times \sqrt{\frac{104,5}{27.248,459}} \\ &= 1,468 \end{aligned}$$

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

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

Dimana:

v_e = Advance speed of propeller.

= 4,839 m/s

T = Gaya dorong atau *Thrust*

= 27.248,459 Kg

ρ = Density air laut.

ρ = 104,5 Kg.s²/m⁴

Nk = Koreksi putaran baling-baling per detik

= 183,875 rpm / 60

= 3,031 Rps.

Maka:

$$K'n = \frac{4,839}{\sqrt{3,031}} \times \sqrt{\frac{104,5}{27.248,359}}$$

$$= 0,172$$

Karena harga koefisien $K'd \leq 2$ dan koefisien $K'n \leq 1.0$, maka dipilih baling-baling berdaun 4 untuk kapal rancangan.

2.11 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
= 181,875 Rpm.

SHP = Shaft Horse Power
= 4.064,768 HP

V_a = Advance speed of propeller.
= 9,410 Knots.

Maka:

$$B_p = \frac{181,875 \times \sqrt{4.064,768}}{9,410^{2,5}} \\ = 42,695$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga $B_p = 42,695$

2.12 Menentukan Diameter Optimum (Do) Baling-Baling

Untuk menentukan *diameter optimum* (Do) dari kapal rancangan digunakan rumus yang terdapat dalam buku *Propulsi Kapal* oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso MSE, halaman 94 adalah:

$$Do = \frac{\delta k \times V_a}{Nk}$$

Dimana:

Do = Diameter optimum

δk = Koreksi Advance Coefficient

$$\begin{aligned} V_a &= \text{Advance Speed dari propeller} \\ &= 9,410 \text{ knot} \\ N_k &= \text{Koreksi putaran baling-baling} \\ &= 181,875 \text{ Rpm.} \end{aligned}$$

Maka Diameter optimum (D_o) baling-baling adalah:

A. Untuk B4-40

- Untuk menentukan harga δ untuk B4-40 dari $B_p = 42,695$ maka dapat diperoleh dari B_p - δ diagram pada gambar 115 (*Principal of Naval Architecture* hal. 414) yaitu:

$$\delta = 260$$

- Koreksi dari *Open Condition* menjadi *Behind Condition* sebesar 2%

$$\delta_k = 2/100 \times 260 = 5,2$$

$$= 260 - 5,2$$

$$\delta_k = 254,8$$

- Hasil dari B_p - δ diagram:

$$\eta_p = (\text{efisiensi propeller}) = 54,9 \%$$

$$H_o/D = (\text{Pitch Ratio}) = 0,61$$

Maka:

$$D_o = \frac{\delta_k \times V_a}{N_k} = \frac{254,8 \times 9,410}{181,875}$$

$$= 13,182 \text{ ft} \times 0,3048$$

$$= \mathbf{4,018 \text{ m.}}$$

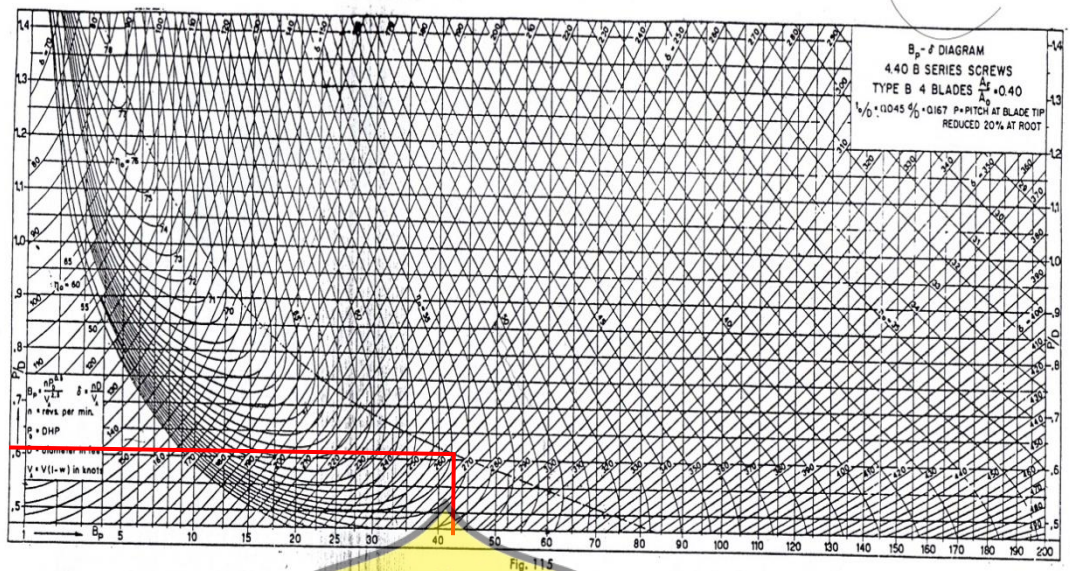


Diagram 2.5. B4-40

B. Untuk B4-55

- Untuk menentukan harga δ untuk B4-55 dari $B_p = 42,695$ maka dapat diperoleh dari B_p - δ diagram pada gambar 115 (*Principal of Naval Architecture* hal. 414) yaitu:

$$\delta = 269$$

- Koreksi dari *Open Condition* menjadi *Behind Condition* sebesar 2%

$$\delta_K = 2/100 \times 269 = 5,38$$

$$= 269 - 5,38$$

$$\delta_K = 263,62$$

- Hasil dari B_p - δ diagram:

$$\eta_p = (\text{efisiensi propeller}) = 55 \%$$

$$Ho/D = (\text{Pitch Ratio}) = 0,6$$

Maka:

$$Do = \frac{\delta_K \times Va}{Nk} = \frac{263,62 \times 9,410}{181,875}$$

$$= 13,639 \text{ ft} \times 0,3048$$

$$= 4,157 \text{ m.}$$

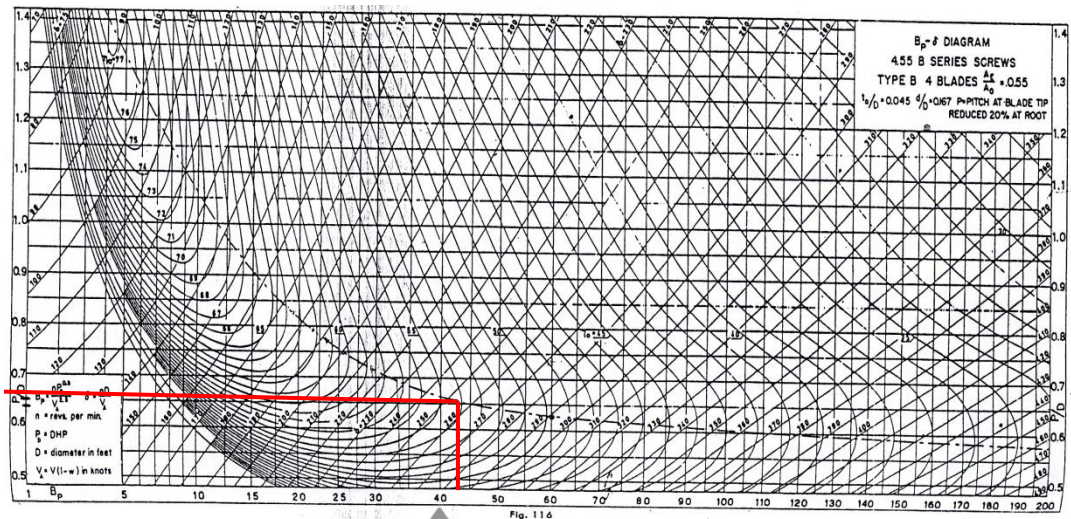


Diagram 2.6. B4-55

C. Untuk B4-70

- Untuk menentukan harga δ untuk B4-70 dari $B_p = 42,695$ maka dapat diperoleh dari B_p - δ diagram pada gambar 115 (*Principal of Naval Architecture* hal. 414) yaitu:

$$\delta = 245$$

- Koreksi dari *Open Condition* menjadi *Behind Condition* sebesar 2%

$$\delta_K = 2/100 \times 245 = 4,9$$

$$= 245 - 4,9$$

$$\delta_K = 240,1$$

- Hasil dari B_p - δ diagram :

$$\eta_p = (\text{efisiensi propeller}) = 51,5 \%$$

$$H_o/D = (\text{Pitch Ratio}) = 0,74$$

Maka:

$$D_o = \frac{\delta_K \times V_a}{N_K} = \frac{240,1 \times 9,410}{181,875}$$

$$= 12,422 \text{ ft} \times 0,3048$$

$$= 3,786 \text{ m.}$$

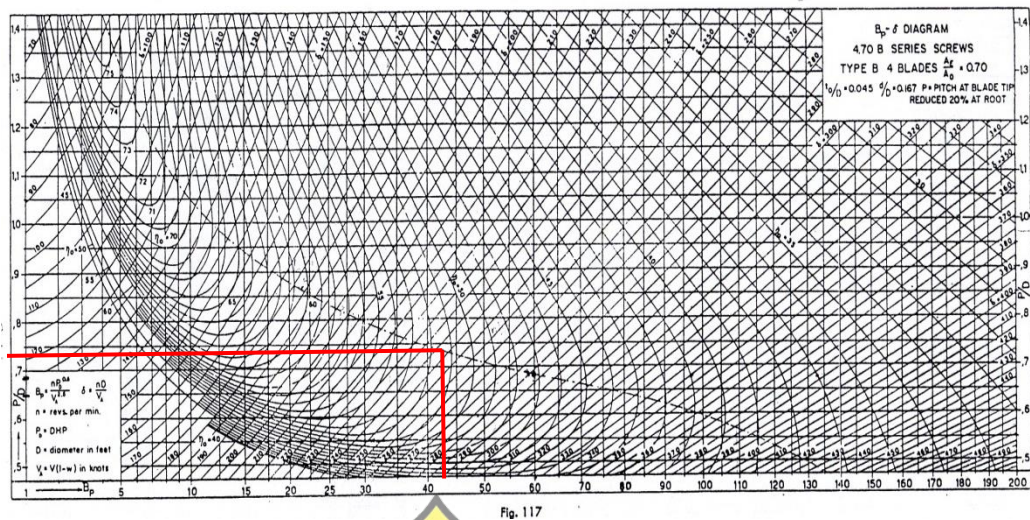


Diagram 2.7. B4-70

D. Untuk B4-85

- Untuk menentukan harga δ untuk B4-85 dari $B_p = 42,695$ maka dapat diperoleh dari B_p - δ diagram pada gambar 115 (*Principal of Naval Architecture* hal. 414) yaitu:

$$\delta = 235$$

- Koreksi dari *Open Condition* menjadi *Behind Condition* sebesar 2%

$$\delta_K = 2/100 \times 235 = 4,7$$

$$= 235 - 4,7$$

$$\delta_K = 230,3$$

- Hasil dari B_p - δ diagram :

$$\eta_p = (\text{efisiensi propeller}) = 51,3 \%$$

$$H_o/D = (\text{Pitch Ratio}) = 0,76$$

Maka:

$$D_o = \frac{\delta k \times V_a}{Nk} = \frac{230,3 \times 9,410}{181,875}$$

$$= 11,915 \text{ ft} \times 0,3048$$

$$= 3,632 \text{ m.}$$

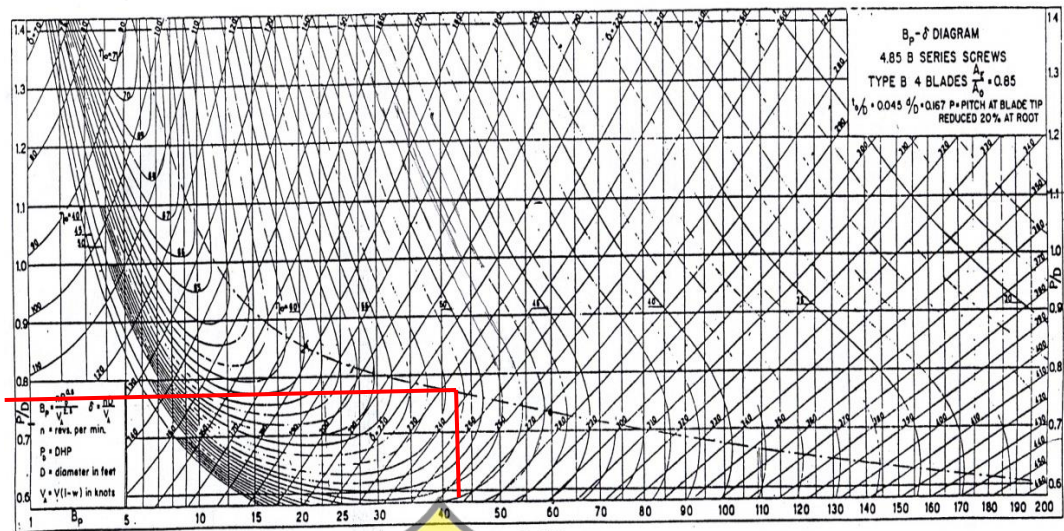


Diagram 2.8. B4-85

Untuk perencanaan baling-baling ini menggunakan perbandingan dari beberapa jenis propeller tipe-B4, yaitu B4-40, B4-55, B4-70, B4-85. Dari grafik Bp- δ diagram itu didapatkan untuk harga $B_p = 42,700$ adalah sebagai berikut :

Tabel 2.4. Koefisien Baling-Baling

No.	Item	Do	Ho/D	η_p
1.	B4-40	4,018	0,61	54,9 %
2.	B4-55	4,157	0,6	55 %
3.	B4-70	3,786	0,74	51,6 %
4.	B4-85	3,632	0,76	51,3 %

Sumber: Perhitungan Pribadi

2.13 Perhitungan Kavitasasi

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 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 hal.101, yaitu :

$$\sigma_{0,7} = \frac{(P_o - e) - (0,7 \times R \times \gamma)}{1/2 \times \rho \underbrace{(V_a^2 + (\pi \times 0,7 D \cdot n)^2)}_{v^2}}$$

Dimana:

P_o = Beda tekanan statik pada sumbu *propeller*.

ρ = Kerapatan air laut.
= 104,49 Kg.s²/m⁴.

γ = 1,025 kg/dm³

$$\begin{aligned} V_a &= \text{Advance Speed dari propeller.} \\ &= 9,410 \text{ Knot.} \\ n &= \text{Koreksi putaran baling-baling perdetik} \\ &= 181,875 \text{ Rpm} : 60 \\ &= 3,031 \text{ Rps} \end{aligned}$$

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

Untuk menentukan beda tekanan statik digaris sumbu poros baling-baling digunakan cara yang terdapat dalam buku Propulsi Kapal oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso halaman 100, yaitu:

a. Sarat air kapal (*Draft*)

$$T = 7,00 \text{ m}$$

b. Tinggi sumbu poros baling-baling thd garis dasar kapal

$$E = 1,991 \text{ (-)}$$

$$- E = 5,009$$

c. Tinggi gelombang ($0,75\% L_{pp}$)

$$0,75\% \times 92,000 \text{ m} = 0,69 \text{ (+)}$$

d. *Water head* diatas garis/sumbu poros baling-baling = 5,699 m

e. Tekanan *hydrostatis* pada garis/sumbu poros baling-baling di air laut

$$= 5,699 \text{ m} \times 1,025 \text{ kg/m}^3$$

$$= 5,841 \text{ kg/m}^2$$

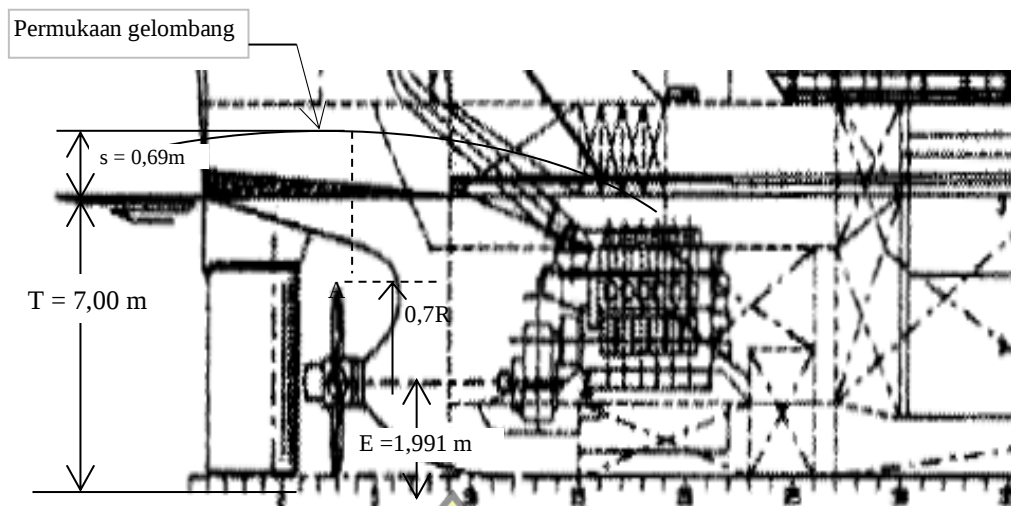
f. (Tekanan atmosfer) – (*vapour pressure* = e)

$$= 10,100 \text{ kg/m}^2 \text{ (+)}$$

g. (Tekanan statis di garis sumbu poros *propeller*) – (e)

$$= 15,941 \text{ kg/m}^2$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga **Po - e = 15.941 kg/m²**



Sumber: Data Pribadi
Gambar 2.6. Beda Tekanan Statik

2. Perhitungan Konstanta Kavitas

Setelah diketahui beda tekanan statik digaris sumbu poros baling-baling maka dapat dilakukan perhitungan konstanta kavitas. Angka kavitas yang ditinjau adalah pada 0,7 R (yaitu disesuaikan dengan permintaan peta kavitas yang dipilih >0,7):

a. Untuk B4-40 dan Do = 4,018 m

$$\sigma_{0,7} = \frac{15.941 - \left(0,7 \times \frac{4,018}{2} \times 1,025 \right)}{0,5 \times 104,5 \times (9,410^2 + (3,14 \times 0,7 \times 3,031 \times 4,018)^2)}$$

$$= 0,379$$

b. Untuk B4-55 dan Do = 4,157 m

$$\sigma_{0,7} = \frac{15.941 - \left(0,7 \times \frac{4,157}{2} \times 1,025 \right)}{0,5 \times 104,5 \times (9,410^2 + (3,14 \times 0,7 \times 3,031 \times 4,157)^2)}$$

$$= 0,357$$

c. Untuk B4-70 dan $D_o = 3,786 \text{ m}$

$$\sigma_{0,7} = \frac{15.941 - \left(0,7 \times \frac{3,786}{2} \times 1,025 \right)}{0,5 \times 104,5 \times \left(9,410^2 + (3,14 \times 0,7 \times 3,031 \times 3,786)^2 \right)}$$

$$= 0,421$$

d. Untuk B4-85 dan $D_o = 3,632 \text{ m}$

$$\sigma_{0,7} = \frac{15.941 - \left(0,7 \times \frac{3,632}{2} \times 1,025 \right)}{0,5 \times 104,5 \times \left(9,410^2 + (3,14 \times 0,7 \times 3,031 \times 3,632)^2 \right)}$$

$$= 0,453$$

Jadi konstanta kavitasi dengan perbandingan dari beberapa jenis *propeller* tipe-B, yaitu B4-40, B4-55, B4-70, B4-85 adalah sebagai berikut:

Tabel 2.5. Konstanta Kavitasi

No.	Item	D_o	Konstanta Kavitasi
1.	B4-40	4,018	0,379
2.	B4-55	4,157	0,357
3.	B4-70	3,786	0,421
4.	B4-85	3,632	0,453

Sumber: Perhitungan Pribadi

B. Koefisien Gaya Dorong (τ_c)

Untuk menentukan koefisien gaya dorong ini digunakan rumus dalam buku Propulsi Kapal terjemahan Ir. Teguh Sastrodiwongso, MSE hal.101, yaitu:

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

Untuk dapat menghitung koefisien gaya dorong digunakan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

1. Penentuan Thrust (T)

Untuk menentukan *thrust* (T) digunakan rumus-rumus sebagai berikut:

$$THP = \frac{T \cdot V_a}{75} \rightarrow T = \frac{THP \cdot 75}{V_a}$$

$$\eta_p = \frac{THP}{SHP} \rightarrow THP = \eta_p \times SHP$$

Maka menurut buku Propulsi Kapal terjemahan Ir. Teguh Sastrodiwongso, MSE hal.101, yaitu :

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

Dimana:

T = Thrust

SHP = Shaft Horse Power

= 4.064,768 HP

η_p = Propulsive Efficiency

η_{rr} = Rotative Efficiency

= Single screw = 0,985

V_a = Advance speed of propeller

= 9,410 knot x 0,5155 m/s

= 4,840 m/s

Maka:

a. Untuk B4-40 dan $\eta_p = 54,9 \%$

$$T = \frac{4.064,768 \times (54,9/100) \times 0,985 \times 75}{4,840}$$

= 34.059,494 Kg

b. Untuk B4-55 dan $\eta_p = 55\%$

$$T = \frac{4.064,768 \times (55/100) \times 0,985 \times 75}{4,840}$$

= 34.121,533 Kg

c. Untuk B4-70 dan $\eta_p = 51,6 \%$

$$T = \frac{4.064,768 \times (51,6/100) \times 0,985 \times 75}{4,840}$$
$$= 32.012,202 \text{ Kg}$$

d. Untuk B4-85 dan $\eta_p = 51,3 \%$

$$T = \frac{4.064,768 \times (51,3/100) \times 0,985 \times 75}{4,840}$$
$$= 31.826,085 \text{ Kg}$$

Jadi *Thrust* dengan perbandingan dari beberapa jenis *propeller* tipe-B, yaitu B4-40, B4-55, B4-70, B4-85 adalah sebagai berikut:

Tabel 2.6. *Thrust* (T)

No.	Item	η_p	<i>Thrust</i>
1.	B4-40	54,9 %	34.059,494 Kg
2.	B4-55	55 %	34.121,533 Kg
3.	B4-70	51,6 %	32.012,202 Kg
4.	B4-85	51,3 %	31.826,085 Kg

Sumber : Perhitungan Pribadi

2. Penentuan *Project Area of The Blade* (F_p)

Untuk menentukan *Project Area of The Blade* (F_p) digunakan rumus menurut buku *Propulsi Kapal* terjemahan Ir. Teguh Sastrodiwongso, MSE hal.126, yaitu:

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

Dimana:

F_p = *Project blade area.*

Ho/D = *Pitch ratio*

F_a = *Expanded Blade Area*

Maka penentuan *project area of the blade* (F_p) sebagai berikut:

a. Untuk B4-40:

- *Expanded Blade Ratio*

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

$$\frac{F_a}{F} = 0,400$$

$$F_a = 0,400 \times F$$

- *Disc Area of The Screw (F)*

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{3,14}{4} \times 4,018^2 \\ &= 12,673 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- *Expanded Blade Area (Fa)*

$$\begin{aligned} F_a &= 0,400 \times 12,673 \text{ m}^2 \\ &= 5,069 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} F_p &= (1,067 - (0,229 \times 0,61)) \times 5,069 \\ &= 4,701 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

b. 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)*

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

$$= \frac{3,14}{4} \times 4,157^2$$
$$= 13,566 \text{ m}^2.$$

- *Expanded Blade Area (Fa)*

$$Fa = 0,55 \times 13,566 \text{ m}^2$$
$$= 7,461 \text{ m}^2$$

Maka:

$$Fp = (1,067 - (0,229 \times 0,60)) \times 7,461$$
$$= 6,936 \text{ m}^2$$

c. Untuk B4-70:

- *Expanded Blade Ratio*

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

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

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

- *Disc Area of The Screw (F)*

$$F = \frac{\pi}{4} \times D^2$$
$$= \frac{3,14}{4} \times 3,786^2$$
$$= 11,253 \text{ m}^2.$$

- *Expanded Blade Area (Fa)*

$$Fa = 0,70 \times 11,253 \text{ m}^2$$
$$= 7,877 \text{ m}^2$$

Maka:

$$Fp = (1,067 - (0,229 \times 0,74)) \times 7,877$$
$$= 7,070 \text{ m}^2$$

d. Untuk B4-85:

- Expanded Blade Ratio

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

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

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

- Disc Area of The Screw (F)

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{3,14}{4} \times 3,632^2 \\ &= 10,353 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Expanded Blade Area (Fa)

$$\begin{aligned} F_a &= 0,85 \times 10,353 \text{ m}^2 \\ &= 8,800 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} F_p &= (1,067 - (0,229 \times 0,76)) \times 8,800 \\ &= 7,858 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Jadi *Project Area of The Blade* (Fp) dengan perbandingan dari beberapa jenis *propeller* tipe-B, yaitu B4-40, B4-55, B4-70, B4-85 adalah sebagai berikut:

Tabel 2.7. Project Area of The Blade (Fp)

No.	Item	Ho/D	Fp
1.	B4-40	0,61	4,701 m ²
2.	B4-55	0,60	6,936 m ²
3.	B4-70	0,74	7,070 m ²
4.	B4-85	0,76	7,858 m ²

Sumber : Perhitungan Pribadi

3. Perhitungan Koefisien Gaya Dorong (τ_C)

Maka perhitungan koefisien gaya dorong sebagai berikut:

a. Untuk B4-40:

$$\begin{aligned}\tau_C &= \frac{T}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot F_p \cdot V^2} \\ \tau_C &= \frac{34.059,494}{0,5 \times 104,5 \times 4,701 (9,410^2 + (3,14 \times 0,7 \times 3,031 \times 4,018)^2)} \\ &= 0,194\end{aligned}$$

b. Untuk B4-55:

$$\begin{aligned}\tau_C &= \frac{T}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot F_p \cdot V^2} \\ \tau_C &= \frac{34.121,533}{0,5 \times 104,5 \times 6,936 (9,410^2 + (3,14 \times 0,7 \times 3,031 \times 4,157)^2)} \\ &= 0,123\end{aligned}$$

c. Untuk B4-70:

$$\begin{aligned}\tau_C &= \frac{T}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot F_p \cdot V^2} \\ \tau_C &= \frac{32.021,202}{0,5 \times 104,5 \times 7,070 (9,410^2 + (3,14 \times 0,7 \times 3,031 \times 3,786)^2)} \\ &= 0,136\end{aligned}$$

d. Untuk B4-85:

$$\begin{aligned}\tau_C &= \frac{T}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot F_p \cdot V^2} \\ \tau_C &= \frac{31.823,085}{0,5 \times 104,5 \times 7,858 (9,410^2 + (3,14 \times 0,7 \times 3,031 \times 3,632)^2)} \\ &= 0,132\end{aligned}$$

Jadi koefisien gaya dorong (τ_C) dorong berikut:

Tabel 2.8. Koefisien Gaya dorong (τ_C)

No.	Item	τ_C
1.	B4-40	0,194
2.	B4-55	0,123
3.	B4-70	0,136
4.	B4-85	0,132

Sumber: Perhitungan Pribadi

C. Prediksi Resiko Dengan Diagram Burrill

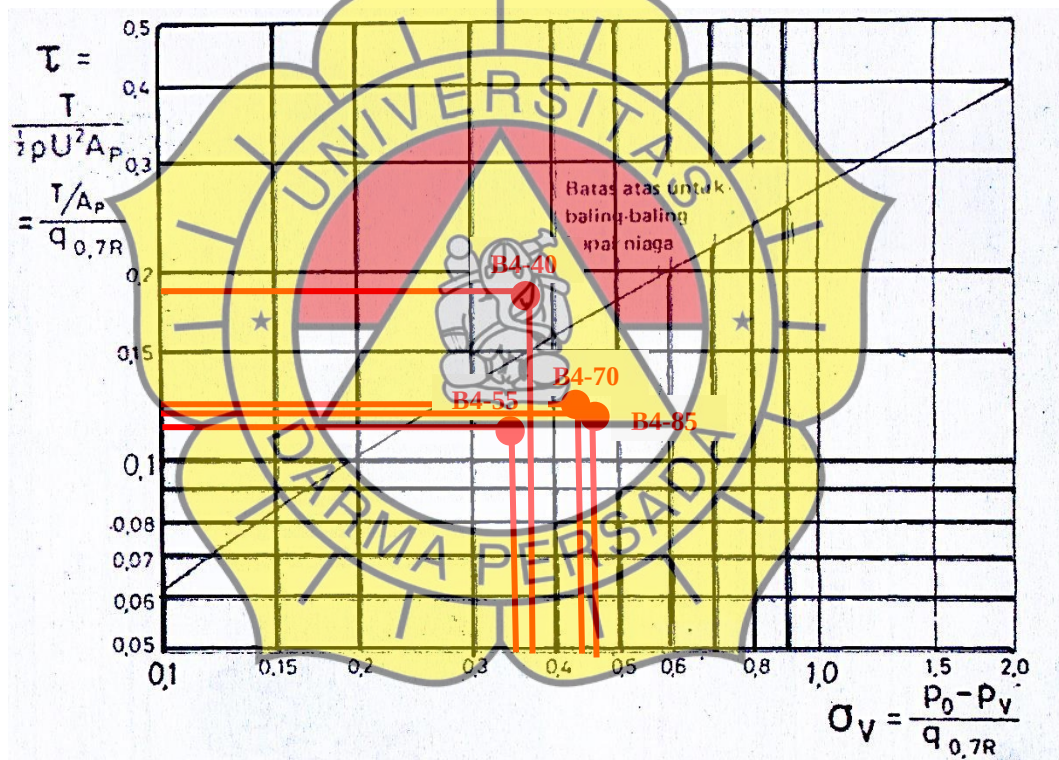


Diagram 2.9. Diagram Burrill

Berdasarkan diagram burrill diatas maka jenis *propeller* tipe-B yang dipilih adalah tipe B4-55.

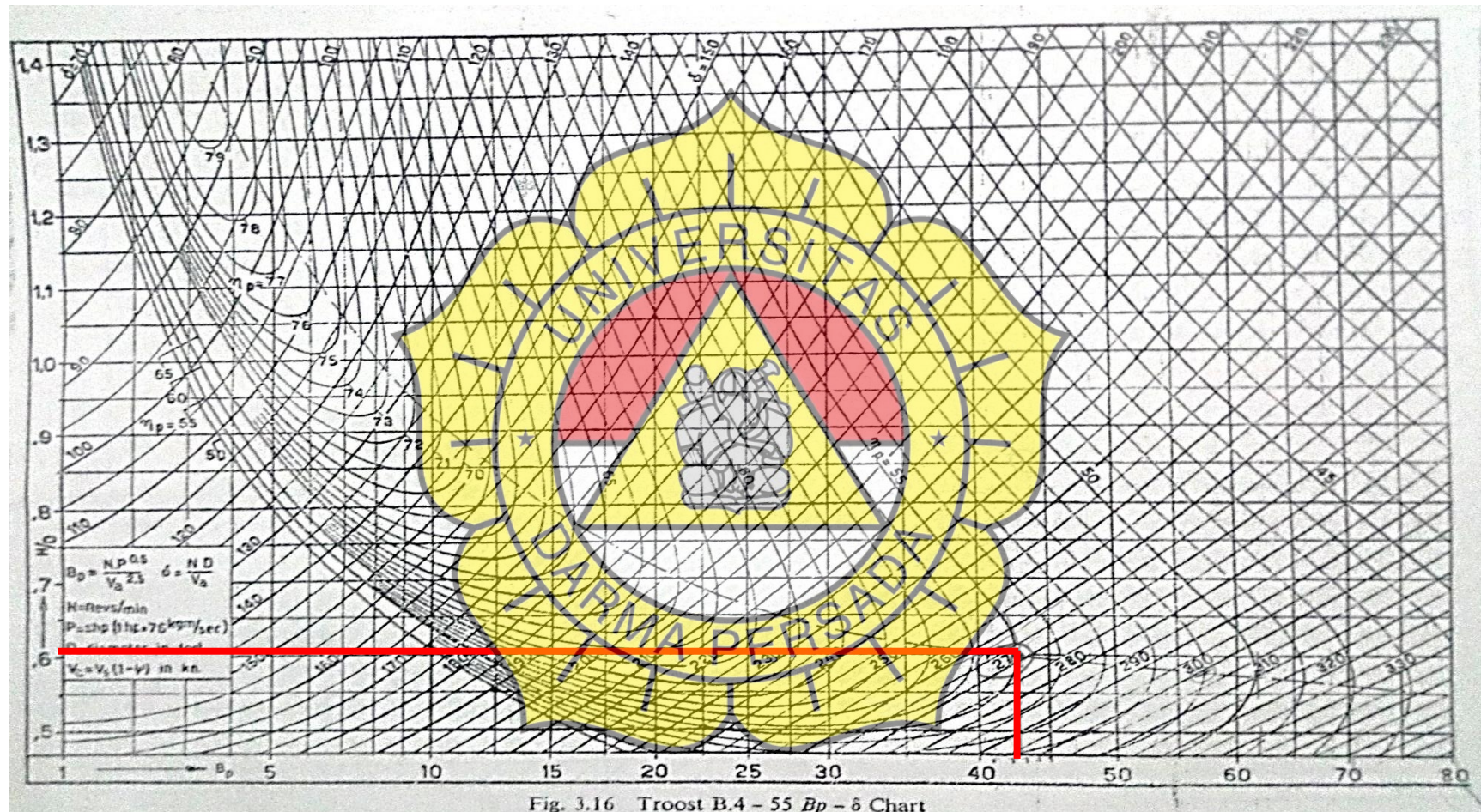


Diagram 2.10. Diagram Tipe B yang Dipilih B4-55



D. Tabel Perhitungan Kavitas

Setelah dilakukan perhitungan kavitas diatas, maka telah diperoleh data-data sebagai berikut:

Tabel 2.9. Perhitungan Kavitas

No	Item	Satauan	Tipe Propeller			
			B4-40	B4-55	B4-70	B4-85
1.	Diameter optimum (Do)	Meter	4,018	4,157	3,786	3,632
2.	Pitch Ratio (Ho/Do)		0,61	0,6	0,74	0,76
3.	Propeller Efisiensi (np)	Persen	54,9%	55%	51,6%	51,3%
4.	Konstanta Kavitas ($\sigma_{0,7}$)	★	0,379	★ 0,357	0,421	0,453
5.	Gaya Dorong (Thurst) (T)	Kg	34.059,494	34.121,533	32.021,202	31.823,085
6.	Disk Area of The Screw (F)	m ²	12,673	13,566	11,253	10,353
7.	Developed Blade Area (Fa)	m ²	5,069	7,461	7,877	8,800
8.	Projected Blade Area (Fp)	m ²	4,701	6,936	7,070	7,858
9.	Developed Blade Ratio (Fp/Fa)	m ²	0,927	0,930	0,898	0,893
10.	Thurst koefisien (tc)		0,194	0,123	0,136	0,132

Sumber: Data Pribadi

2.14 Pemilihan Baling-Baling Kapal Rancangan

Setelah didapat data-data seperti pada table perhitungan kavitasi untuk memilih tipe *propeller* yang akan digunakan, dilakukan perbandingan dari beberapa jenis *propeller* tipe-B, yaitu B4-40, B4-55, B4-70, B4-85 dengan memperhatikan:

1. Efisiensi terbaik
2. Kavitasi terkecil
3. $DO < 07 T$

Dengan memperhatikan hal tersebut maka dipilihkan *propeller* tipe B4-55 untuk kapal rancangan, adapun spesifikasi *propeller* yang diperlukan untuk penggerak kapal rancangan ini adalah sebagai berikut:

1. Tipe baling-baling = B4-55
2. Diameter baling-baling (D) = 4,157 m
3. *Pitch Ratio* baling-baling (H_o/D): 0,6
4. *Developed Blade Ratio* (F_p/F_a) = 0,930
5. Efisiensi baling-baling (η_p) = 55 %
6. Jumlah daun baling-baling (Z) = 4
7. Jumlah baling-baling = 1
8. Daun kemudi = 1

2.15 Perencanaan Poros Baling-Baling dan Bantalan Poros

Perhitungan poros merupakan salah satu perencanaan yang akan digunakan untuk mendesain sistem perporosan dalam suatu kapal. Poros merupakan alat yang digunakan pada kapal untuk mentransmisikan daya yang dihasilkan oleh main engine menuju baling-baling pada kapal. Poros kapal harus direncanakan dengan baik dan matang agar daya yang disalurkan tidak mengalami banyak kehilangan/losses. Apabila terlalu banyak losses yang ada pada perencanaan sistem perporosan maka kapal tidak dapat beroperasi dengan baik.

Dalam perencanaan sistem perporosan ada banyak pertimbangan dalam pemilihannya diantaranya adalah kekuatan poros, kekakuan poros, putaran kritis, faktor korosi, dan bahan poros. Kekuatan poros harus direncanakan sebaik mungkin karena poros yang mentransmisikan daya dari main engine tersebut akan mengalami berbagai macam gaya yang akan membebani selama melakukan kerja. Kekakuan poros merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi dalam perancangan sistem perporosan. Suatu poros yang memiliki faktor kekakuan yang cukup tinggi memang bagus tapi semakin kaku suatu poros maka makin mahal biaya yang harus dikeluarkan untuk dapat menghasilkan poros tersebut. Kekakuan dari poros akan sangat berpengaruh dengan besarnya getaran dan suara yang dihasilkan. Faktor putaran kritis adalah suatu faktor yang diakibatkan dengan adanya kenaikan kecepatan putar dari suatu mesin yang akan mengakibatkan terjadinya getaran yang cukup tinggi. Apabila suatu mesin dinaikan dayanya maka nilai dari putaran kritis ini juga akan naik. Kenaikan putaran kritis dapat mengakibatkan kerusakan pada poros dan bagian-bagian lainnya. Maka poros harus didesain sedemikian rupa agar nilai kerjanya lebih rendah dari nilai putaran kritis dari poros tersebut. Sistem perporosan yang bekerja di kapal akan ada kontak langsung dengan fluida cair yang menyebabkan korosi, maka dari itu penentuan bahan-bahan anti-korosi merupakan salah satu hal penting dalam penentuan sistem perporosan. Selain itu penentuan bahan-bahan poros juga harus dirancang secara baik dan sesuai dengan kebutuhan dari kapal yang dirancang.

Dalam perencanaan sistem perporosan ada beberapa perhitungan yang harus dilakukan, antara lain:

1. Perhitungan poros propeller.
2. Perhitungan poros antara.
3. Perencanaan konis poros propeller
4. Perencanaan spie poros propeller
5. Perencanaan flens poros
6. Perencanaan mur pengikat poros.

2.16 Perhitungan Poros

Pada perhitungan poros propeller, hal yang perlu diperhatikan adalah daya perencanaan, momen puntir, tegangan geser, faktor konsentrasi tegangan, faktor beban lentur, diameter poros yang direncanakan, dan diameter boss propeller.

A. Daya Perencanaan

Daya perencanaan yang akan digunakan dalam sistem perporosan ini harus sesuai dengan SHP yang sudah dihitung sebelumnya. Perhitungan daya perencanaan adalah sebuah tindakan koresi untuk mengindikasikan adanya daya overload yang akan dialami oleh mesin selama beroperasi.

Berikut adalah rumus dari daya perencanaan:

$$P_w = f_c \times \text{SHP}$$

Dimana:

f_c = Faktor koreksi daya yang ditransmisikan

Daya yang akan ditransmisikan F_c

Daya rata-rata yang diperlukan 1,2 – 2,0

Daya maksimum yang diperlukan 0,8 – 1,2

Daya normal 1,0 – 1,5

Direncanakan Daya Normal = 1,5

SHP = Shaft horse power

$$= 4.064,769 \text{ HP}$$

Maka:

$$\begin{aligned} P_w &= 1,5 \times 4.064,769 \text{ HP} \\ &= 6.097,153 \text{ HP} \times 0,746 \\ &= 4.548,476 \text{ KW} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas ditetapkan harga daya perencanaan

$$\underline{P_w = 4.548,476 \text{ KW}}$$

B. Momen Puntir

Momen puntir pada poros diakibatkan dengan adanya gerakan rotasi yang bekerja sepanjang poros. Rumus dari momen puntir adalah :

$$T = 9.74 \times 10^5 \times P_w / n$$

Dimana:

n = Putaran poros

$$= 181,875 \text{ Rpm}$$

$$P_w = 4.548,476 \text{ KW}$$

Maka:

$$\begin{aligned} T &= 9.74 \times 10^5 \times 4.548,476 / 181,875 \\ &= 24358576,222 \text{ kg.mm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas ditetapkan harga momen puntir

$$\underline{T = 24358576,222 \text{ kg.mm}}$$

C. Tegangan Geser yang Diizinkan

Tegangan geser maksimal yang dapat diterima oleh poros tergantung pada bahan poros yang digunakan. Ketika poros diberi puntiran dan alur pasak maka dalam perhitungannya harus dilakukan koreksi dari nilai tegangan geser yang diizinkan. Rumus dari tegangan geser yang diizinkan adalah:

$$\tau_a = \sigma / (Sf1 \times Sf2)$$

Dimana:

σ = Kekuatan tarik (kg/mm²)

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

$Sf1$ = 6.0 (Bahan S-C dengan pengaruh masa, dan baja paduan)

$$Sf2 = 2,5 \quad (1.3 - 3.0)$$

Maka:

$$\begin{aligned} \tau_a &= 58 / (6,0 \times 2,5) \\ &= 3,867 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas ditetapkan harga tegangan gesek yang diizinkan

$$\tau_a = 3,867 \text{ km/mm}^2$$

D. Faktor Konsentrasi Tegangan

Faktor konsentrasi tegangan merupakan faktor yang digunakan untuk mengoreksi nilai dari momen puntir. Faktor koreksi ini dinyatakan dengan K_t , dipilih sebesar 1,0 jika beban dikenakan secara halus, 1,0 – 1,5 jika terjadi sedikit kejutan atau tumbukan, dan 1,5 – 3,0 jika beban dikenakan dengan kejutan atau tumbukan yang besar.

Maka ditetapkan harga faktor konsentrasi tegangan $K_t = 1,5$.

E. Faktor Beban Lentur

Selain mengalami momen puntir, poros juga akan mengalami beban lentur. Maka dari itu nilai dari faktor beban lentur harus disertakan dalam perhitungan diameter poros yang direncanakan. Besarnya nilai dari beban lentur terletak antara 1,2 – 2,3.

Maka ditetapkan harga beban lentur $C_b = 1,2$

F. Diameter Poros Yang Direncanakan

Diameter dari poros yang direncanakan dapat diketahui apabila telah didapat nilai momen puntir, tegangan geser, faktor konsentrasi tegangan dan faktor beban lentur. Apabila sudah didapat faktor-faktor tersebut maka dapat dihitung diameter poros yang dibutuhkan untuk menahan semua beban tersebut. Berikut adalah perhitungan diameter poros yang direncanakan:

$$D_s = \frac{5,1}{\tau_a} \times K_t \times C_b \times T$$

Dimana:

$$\begin{aligned} K_t &= \text{Nilai faktor konsentrasi tegangan} \\ &= 1,5 \end{aligned}$$

C_b = Nilai faktor beban lentur
= 1,2

τ_a = Tegangan geser yang diizinkan
= 3,867 kg/mm²

T = Momen puntir
= 24358576,222 kg.mm

Maka:

$$D_s = \frac{5,1}{3,867} \times 1,5 \times 1,2 \times 24358576,222^{(1/3)}$$
$$= 386,710 \text{ mm}$$

Dari perhitungan di atas ditetapkan harga diameter poros baling-baling

$D_s = 386,710 \text{ mm}$

G. Tegangan yang Bekerja Pada Poros (τ)

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

Dimana: ★

$$T = 24358576,222 \text{ kg.mm}$$

$$D_s = 386,710 \text{ mm}$$

Maka:

$$\tau = \frac{5,1 \times 24358576,222 \text{ kg.mm}}{386,710}$$
$$= 321244,815 \text{ kg.mm}^2$$

Dari perhitungan di atas ditetapkan harga tegangan yang bekerja pada poros,

$\tau = 321244,815 \text{ kg.mm}^2$

H. Diameter Poros Hasil Perhitungan

$$D_s' = F \times k \times \sqrt[3]{(P_w.C_w) / (N \cdot (1-(d_i/d_a)^4))}$$

Dimana:

F = Faktor tipe instalasi penggerak untuk baling- baling

$$= 100$$

k = Tipe poros pada sterntube dengan pelumas air

$$= 1,15$$

Pw = Daya perencanaan

$$= 4.548,476 \text{ KW}$$

$$C_w = 560 / (R_m + 160)$$

Rpm = Kekuatan tarik material baling-baling (400 – 600)

$$= 580 \text{ N/mm}^2$$

$$C_w = 560 / (580 + 160)$$

$$= 0,756$$

N = Putaran baling-baling

$$= 181,875 \text{ Rpm}$$

$$(1 - (d_i/d_a)^4) = 1$$

Maka:

$$D_s' = 100 \times 1,15 \times \sqrt[3]{(4.548,476 \times 0,756) / (181,875 \times 1)}$$

$$= 306,465 \text{ mm}$$

Maka $D_s = 386,710 \text{ mm}$ dan $D_s' = 306,465 \text{ mm}$.

Karena $D_s > D_s'$. Sehingga D_s memenuhi untuk digunakan.

I. Diameter Boss Baling-Baling

Boss dari baling-baling harus mampu menahan putaran poros sehingga balingbaling dapat memberikan gaya dorong (thrust) yang baik pada kapal. Pembuatan boss propeller terdapat aturan tersendiri, biasanya selain mengikuti aturan klasifikasi, juga tergantung pada jenis bahan yang digunakan dalam pembuatan boss itu sendiri. Berikut adalah pada Tabel 2.10 yang berisikan perhitungan dimensi boss propeller berdasarkan bahan yang digunakan. Dari data-data Tabel 2.10, dapat diketahui besarnya nilai dimensi boss propeller yang akan dirancang.

Tabel 2.10. Dimensi Boss Baling-baling Berdasarkan Bahan

Item		Material		Cast Iron
		Manganese Bronze	Ni Al Bronze	
Boss Dimension	Lb/Ds	1, 8 to 2,4	1, 8 to 2,4	1, 8 to 2,6
	Db/Ds	1,8 to 2,0	1,8 to 2,0	1,8 to 2,4
	Db/Db	0,85 to 0,90	0,85 to 0,90	0,85 to 0,90
	Ln/Lb	1,05 to 1,10	1,05 to 1,10	1,05 to 1,10
	tb/Lb	0,3	0,3	0,3
	tb/Lr	0,75	0,75	0,75
	rf/tr	0,75	0,75	0,75
	rb/tr	0,75	0,75	0,75
	rb/tr	1	1	1
Tip thicness ratio	t(T/D)	0,0035	0,003	0,0065
	t(T/D)	0,004	0,0035	0,0075
Minimum edge Thickness ratio	t(e/d)	0,001	0,001	0,002
	t(e/d)	0,0015	0,00015	0,0025

Sumber: BKI 2016

Dalam perancangan ini bahan baling-baling direncanakan menggunakan Cast *Nikel Aluminium Bronze*, maka perhitungan boss baling-baling sebagai berikut:

1. Diameter Boss Baling-baling (Db)

$$\begin{aligned}
 Db &= 0,167 \times D \text{ baling-baling} \\
 &= 0,167 \times 4,157 \text{ m} \times 1000 \\
 &= 694,240 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 tr &= 0,045 \times D \text{ baling-baling} \\
 &= 0,045 \times 4,157 \text{ m} \times 1000 \\
 &= 187,068 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

2. Diameter Boss Baling-baling terkecil (Db_a)

$$\begin{aligned} Db_a &= Db \times \text{faktor} (0,85 - 0,9) \\ &= 694,240 \text{ mm} \times 0,85 \\ &= 590,095 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Diameter Boss Baling-baling terbesar (Db_f)

$$\begin{aligned} Db_f &= Db \times \text{faktor} (1,05 - 1,1) \\ &= 694,240 \text{ mm} \times 1,05 \\ &= 728,941 \text{ mm} \end{aligned}$$

4. Panjang Boss Baling-baling (l_b)

$$\begin{aligned} L_b &= D_s \times \text{faktor} (1,8 - 2,4) \\ &= 286,710 \text{ mm} \times 2 \\ &= 773,421 \text{ mm} \end{aligned}$$

5. Diameter Luar Pengikat Boss (D_n)

$$\begin{aligned} D_n &= D_s \times 60\% \\ &= 286,710 \text{ mm} \times 60\% \\ &= 232,026 \text{ mm} \end{aligned}$$

6. Panjang Lubang Dalam Boss Baling-baling

$$\begin{aligned} L_n/L_b &= 0,3 \\ &= L_b \times 0,3 \\ &= 773,421 \text{ mm} \times 0,3 \\ &= 232,026 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_b/t_r &= 0,75 \\ &= t_r \times 0,75 \\ &= 187,068 \text{ mm} \times 0,75 \\ &= 140,301 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_f/t_r &= 0,75 \\ &= t_r \times 0,75 \\ &= 187,068 \text{ mm} \times 0,75 \\ &= 140,301 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}rb/tr &= 1 \\&= tr \times 0,75 \\&= 187,068 \text{ mm} \times 1 \\&= 187,068 \text{ mm}\end{aligned}$$

Jadi dimensi boss baling-baling kapal rancangan dengan menggunakan bahan *Cast Nikel Aluminium Bronze* sebagai berikut:

Tabel 2.11. Dimensi Boss Baling-baling Menggunakan Bahan *Cast Nikel Aluminium Bronze*

No.	Item	Dimensi
1.	Diameter Boss (Db)	694,240 mm
2.	Tr	187,068 mm
3.	Diameter Boss Terkecil (Db _a)	590,095 mm
4.	Diameter Boss Terbesar (Db _f)	728,941 mm
5.	Panjang Boss (Lb)	773,421 mm
6.	Diameter Luar Pengikat Boss (Dn)	232,026 mm
7.	Ln/Lb	232,026 mm
8.	Tb/tr	140,301 mm
9.	Rf/tr	140,301 mm
10.	Rb/tr	187,068 mm

Sumber : Perhitungan Pribadi

J. Perencanaan Konis Poros Baling-Baling

Di dalam peraturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) 2006, disebutkan bahwa key ways dari poros yang meruncing harus diatur agar kekonisan poros membentuk transisi yang gradual jika dilihat secara keseluruhan. Selain itu ujung dari key ways tersebut juga tidak boleh terlalu tajam. Pada umumnya nilai kemiringan dari kekonisan suatu poros berkisar antara 1:12 sampai dengan 1:20 dari panjang boss propeller, sehingga didapatkanlah rumus untuk mengatur kekonisan sebagai berikut:

Dimana:

$$\begin{aligned} L_b &= \text{Panjang boss baling-baling} \\ &= D_s \times (1,8 - 2,4) \\ &= 386,710 \times 2 \\ &= 773,421 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &= \text{Kemiringan konis} \\ &= 1/13 \times L_b \\ &= 1/13 \times 773,421 \\ &= 51,561 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_a &= \text{Diameter terkecil ujung konis} \\ &= D_s - 2x \\ &= 386,710 - 2 \times 51,561 \\ &= 283,588 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi dimensi konis poros baling-baling kapal rancangan sebagai berikut:

Tabel 2.12. Dimensi Konis Poros Baling-baling

No.	Item	Dimensi
1.	Panjang Boss baling-baling	773,421 mm
2.	Kemiringan Konis (x)	51,561
3.	Diameter Terkecil Ujung Konis (Da)	283,588 mm

Sumber: Perhitungan Pribadi

K. Perencanaan Spie Poros Baling-Baling

Spie atau pasak adalah baja lunak yang disisipkan antara poros dengan boss propeller agar keduanya bersatu dan mampu mentransmisikan putaran dari main engine. Pemilihan jenis pasak tergantung dari besarnya daya yang disalurkan pada bagian poros baling-baling. Dilihat dari pemasangannya, pasak dapat dibedakan menjadi beberapa macam yaitu : pasak benam, pasak pelana, pasak bulat, pasak bintang (spline). Berikut adalah beberapa perhitungan yang digunakan untuk perencanaan spie poros propeller:

1. Torsi (T)

$$T = (DHP \times 75 \times 60) / (2\pi \times N)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} DHP &= EHP / P_c \\ &= 2.220,231 \text{ HP} \times 0,705 \\ &= 1.565,262 \text{ HP} \end{aligned}$$

$$N = 181,875 \text{ Rpm}$$

Maka:

$$\begin{aligned} T &= (1.565,262 \times 75 \times 60) / (2 \times 3,14 \times 181,875) \\ &= 6.166,899 \text{ HP} \end{aligned}$$

2. Panjang Pasak (L)

$$\begin{aligned} L &= 0,75 - 1,5 \times D_s \\ &= 0,75 - 1,5 \times 283,588 \\ &= 424,632 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Lebar Pasak (B)

$$\begin{aligned} B &= 25\% - 35\% \times D_s \\ &= 25\% - 35\% \times 283,588 \\ &= 99,005 \text{ mm} \end{aligned}$$

4. Tebal Pasak (t)

$$\begin{aligned} t &= 1/6 \times D_s \\ &= 1/6 \times 283,588 \\ &= 47,264 \text{ mm} \end{aligned}$$

5. Radius Pasak (R)

$$\begin{aligned} R &= 0,125 \times D_s \\ &= 0,125 \times 283,588 \\ &= 35,448 \text{ mm} \end{aligned}$$

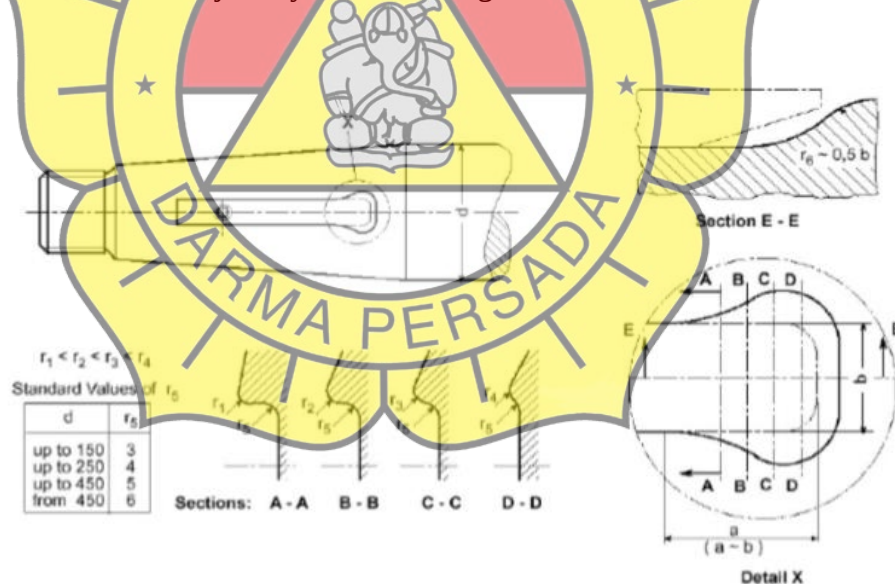
Jadi dimensi spie poros baling-baling kapal rancangan sebagai berikut:

Tabel 2.13. Dimensi Spie Poros Baling-baling

No.	Item	Dimensi
1.	Torsi (T)	6.166,899 HP
2.	Panjang Pasak (L)	424,632 mm
3.	Lebar Pasak (B)	99,005 mm
4.	Tebal Pasak (t)	47,264 mm
5.	Radius Pasak (R)	35,448 mm

Sumber : Perhitungan Pribadi

Seperti yang telah diatur pada Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) 2006, bahwa alur pasak pada poros yang meruncing atau membentuk konis harus dirancang sedemikian mungkin, sehingga membentuk keruncingan yang gradual. Selain itu ujung dari alur pasak tersebut juga tidak boleh terlalu tajam. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat gambar berikut:



Sumber: BKI 2016

Gambar 2.6 Alur pasak dan kekonisan poros

L. Perencanaan Flans Poros

Flens adalah suatu komponen yang digunakan untuk menyambung antar suatu poros dengan poros yang lainnya. Dalam hal ini flens biasa

disebut dengan kopling. Dalam perencanaan flens poros banyak faktor-faktor yang harus diperhatikan, antara lain (Sularso, 1997):

1. Pemasangan yang mudah dan cepat, ringkas, dan ringan.
2. Aman jika digunakan pada putaran tinggi.
3. Tahan terhadap getaran dan tumbukan.
4. Terdapat sedikit kemungkinan gerakan aksial pada poros ketika kemungkinan terjadi pemuaian.

Kopling flens terdiri atas naf dengan flens yang terbuat dari besi cor atau baja cor, dan dipasang pada ujung poros dengan menggunakan baut pada flensnya. Ketebalan dari kopling flens pada intermediate dan thrust shaft pada bagian ujung depan shaft propeller minimal 20% dari diameter poros yang direncanakan (BKI, 2006). Berikut adalah perhitungan yang digunakan dalam perencanaan flens poros:

1. Ketebalan Kopling (Sfl)

$$\begin{aligned} Sfl &\geq 20\% \times D_s \\ &= 20\% \times 283,588 \\ &= 56,717 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Diameter Lingkaran Dalam Kopling (Db)

$$\begin{aligned} Db &= 2,5 \times D_s \\ &= 2,5 \times 283,588 \\ &= 708,97 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Diameter Lingkaran Luar Kopling (D_{Out})

$$\begin{aligned} (D_{Out}) &= 3,5 \times D_s \\ &= 3,5 \times 283,588 \\ &= 992,558 \text{ mm} \end{aligned}$$

4. Panjang Kopling (L)

$$\begin{aligned} L &= 5 \times 0,5 \times D_s \\ &= 5 \times 0,5 \times 283,588 \\ &= 708,97 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi dimensi flansporos baling-baling kapal rancangan sebagai berikut:

Tabel 2.14. Dimensi Flans Poros Baling-baling

No.	Item	Dimensi
1.	Ketebalan Kopling (Sfl)	56,717 mm
2.	Diameter Lingkaran Dalam Kopling (Db)	708,97 mm
3.	Diameter Lingkaran Luar Kopling (D_{Out})	992,558 mm
4.	Panjang Kopling (L)	708,97 mm

Sumber : Perhitungan Pribadi

2.17 Tabel Perhitungan Poros

Setelah dilakukan perhitungan poros diatas, maka telah diperoleh data-data sebagai berikut:

Tabel 2.15. Perhitungan Poros

No.	Item	Dimensi
1.	Daya Perencanaan (P_w)	4.548,476 KW
2.	Momen Puntir (T)	24358576,222 kg.mm
3.	Tegangan Gesek yang Diizinkan (τ_a)	3,867 km/mm ²
4.	Faktor Konsentrasi Tegangan (Kt)	1,5
5.	Beban Lentur (Cb)	1,2
6.	Diameter Poros Baling-baling (D_s)	386,710 mm
7.	Tegangan yang Bekerja Pada Poros (t)	321244,815 kg.mm ²
8.	Diameter Poros Hasil Perhitungan (D_s')	306,465 mm
9.	Diameter Boss (Db)	694,240 mm
10.	Tr	187,068 mm
11.	Diameter Boss Terkecil (Db _a)	590,095 mm
12.	Diameter Boss Terbesar (Db _f)	728,941 mm
13.	Panjang Boss (Lb)	773,421 mm
14.	Diameter Luar Pengikat Boss (Dn)	232,026 mm
15.	Ln/Lb	232,026 mm



16.	Tb/tr	140,301 mm
17.	Rf/tr	140,301 mm
18.	Rb/tr	187,068 mm
19.	Panjang Boss baling-baling	773,421 mm
20.	Kemiringan Konis (x)	51,561
21.	Diameter Terkecil Ujung Konis (Da)	283,588 mm
22.	Torsi (T)	6.166,899 HP
23.	Panjang Pasak (L)	424,632 mm
24.	Lebar Pasak (B)	99,005 mm
25.	Tebal Pasak (t)	47,264 mm
26.	Radius Pasak (R)	35,448 mm
27.	Ketebalan Kopling (Sfl)	56,717 mm
28.	Diameter Lingkaran Dalam Kopling (Db)	708,97 mm
29.	Diameter Lingkaran Luar Kopling (D _{out})	992,558 mm
30.	Panjang Kopling (L)	708,97 mm

Sumber : Perhitungan Pribadi

