

BAB II

PERENCANAAN PERHITUNGAN MOTOR INDUK DAN BALING-BALING KAPAL

2.1 Perhitungan Daya Mesin

2.1.1 Hambatan Kapal

Didalam ilmu perkapalan diketahui kapal yang berlayar diibaratkan seperti sebuah benda yang bergerak melalui media air dan udara, ini berarti bahwa benda itu akan mengalami gaya hambatan dari media yang dilaluinya. Hambatan - hambatan yang dialami sebuah kapal yang bergerak melalui air dan udara itu dapat diuraikan sebagai berikut :

- Hambatan Gesek (*Frictional Resistance*).
- Hambatan Gelombang (*Wave Making Resistance*).
- Hambatan Bentuk (*Eddy Making Resistance*).
- Hambatan Udara (*Air Resistance*).
- Hambatan Tambahan (*Appandage Resistance*).

A. Hambatan Gesek (*Frictional Resistance*)

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

B. Hambatan Gelombang (*Wave Making Resistance*)

Kapal yang bergerak dalam air akan mengalami hambatan sehingga menimbulkan gelombang yang terbentuk akibat terjadinya variasi tekanan air terhadap gelombang yang terbentuk akibat terjadinya variasi tekanan air terhadap

lambung kapal pada saat kapal bergerak dengan suatu kecepatan tertentu. Ada tiga jenis gelombang yang biasanya terbentuk pada saat kapal bergerak, yaitu Gelombang haluan, Gelombang melintang pada kiri dan kanan lambung kapal dan gelombang buritan.

C. Hambatan Bentuk (*Eddy Making Resistance*)

Partikel - partikel air yang bergerak melintasi lambung kapal akan terpecah dan membentuk volume air tertentu dimana partikel - partikel air tadi bergerak dalam satuan pusaran. Karena terjadinya pusaran ini maka tekanan air pada buritan kapal akan berkurang dan timbulah satu gaya yang melawan arah gerak maju dari kapal. Gaya hambatan inilah yang merupakan tahanan bentuk yang dialami oleh kapal yang bergerak maju.

D. Hambatan Udara (*Air Resistance*)

Kapal yang berlayar, bagian atasnya (Sebagian lambung dan bangunan atasnya) akan mengalami gaya hambatan dari udara, hambatan udara ini juga terdiri dari komponen - komponen gesek dan komponen bentuk, tekanan udara yang dialami kapal berkisar antara 2% - 4% dari tahanan total yang dialaminya. Untuk menghitung besarnya hambatan - hambatan kapal tersebut, dapat dipergunakan berbagai cara misalnya dengan percobaan memakai model *towinck tank* atau dengan cara pendekatan, dengan cara penghitungan dengan menggunakan rumus pendekatan.

2.1.2 Diagram Guldhammer dan Harvald

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

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

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

Dalam hal ini koefisien hambatan totalnya adalah :

$$C_T = C_R + C_F + C_A$$

Dimana :

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

C_F = Koeffisien hambatan gesek dan dapat dihitung dengan memakai :

$$C_F = \frac{0,075}{(\log_{10} Rn - 2)^2}$$

Atau dapat diambil dari diagram menurut ITTC 1957 dalam buku Tahanan dan Propulsi Kapal Oleh Sv. Aa. Harvald Tejemahan Ir. Jusuf Sutomo, M.Sc, dimana koeffisien tahanan gesek C_F sebagai fungsi panjang kapal L dan kecepatan V . Penambahan hambatan tersebut harus dicari dengan mengalikan penyimpangan LCB dari harga LCB_{standar} , yaitu :

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

Dengan faktor $\partial 10^3 C_R / \partial LCB$, dari grafik koreksi koeffisien hambatan sisa dalam buku Tahanan dan Propulsi Kapal Oleh Sv. Aa. Harvald Tejemahan Ir. Jusuf Sutomo, M.Sc dan ini hanya berlaku untuk LCB yang berada di depan LCB_{standar} mengenai LCB yang berada dibelakang LCB_{standar} semua sumber yang ada mempunyai pendapat yang saling bertentangan, namun demikian karena kecenderungannya kecil maka pengabaian koreksi dalam hal ini tidak akan memberi kesalahan yang berarti. Karena kapal pada umumnya berbeda dengan standar yang ada dengan perbedaan tertentu, lebih besar maupun lebih kecil maka harus dilakukan koreksi, adapun koreksi tersebut adalah sebagai berikut :

- **Koreksi LCB**

Semua kurva C_R tersebut dimaksudkan untuk kapal yang letak titik benam memanjangnya dekat dengan letak yang saat ini dipandang sebagai letak yang terbaik dan memungkinkan. Letak LCB yang optimum merupakan kuantitas yang masih agak meragukan dan semua kepustakaan yang ada menunjukkan pendapat yang berbeda - beda sehingga memberikan gambaran yang membingungkan, namun demikian ketergantungan hambatan kapal pada LCB nampak jelas pada kecepatan tinggi. Sebagai upaya untuk mengatasi kerancuan tersebut maka semua informasi yang ada dikumpulkan dan diringkas dalam diagram LCB_{standar} dalam buku Tahanan dan Propulsi Kapal Oleh Sv. Aa. Harvald Tejemahan Ir. Jusuf Sutomo, M.Sc. Sebagaimana

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

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

- **Koreksi B/T**

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

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

Hasil koreksi ini dapat mempunyai harga yang negatif atau positif.

- **Koreksi Bentuk Penampang Melintang**

Sebagaimana disebutkan sebelumnya, kurva hambatan yang diperoleh berdasarkan diagram $L/\nabla^{1/3}$ dan ITTC – 57 dalam buku Tahanan dan Propulsi Kapal Oleh Sv. Aa. Harvald Terjemahan Ir. Jusuf Sutomo, M.Sc dianggap berlaku untuk kapal yang mempunyai bentuk “standar”, yaitu penampangnya bukan benar-benar berbentuk (U) ataupun (V) karenanya dalam menghitung daya efektif untuk perancangan awal umumnya tidak diperlukan koreksi untuk bentuk penampang badan kapal. Jika penampang tersebut merupakan penampang (U) atau (V) yang ekstrem maka untuk harga $10^3 C_R$ dapat dikoreksi sebagai mana berikut :

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

Koreksi ini berlaku untuk kecepatan V/\sqrt{gL} dalam rentang 0,20 ~ 0,25. Selain itu, bentuk standar harus dipandang sebagai bentuk yang mempunyai garis yang di rancang dengan baik, jika garis perancangan tersebut harus diubah untuk menyesuaikan kebutuhan operasional kapal atau besarnya daya harus

diberikan kelonggaran, maka disarankan agar C_R dinaikkan sebesar 10% dan untuk garis perancangan yang tidak optimal diberikan 20%.

- **Koreksi Anggota Badan Kapal**

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

Lunas Bilga (Lunas : Tidak ada koreksi.
Sayap)

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

Braket & poros baling – : Untuk bentuk kapal ramping, C_R
baling dinaikkan sebesar 5% - 8%

- **Koreksi Hambatan Tambahan**

Pemberian koreksi pada C_{fs} untuk kapal merupakan cara yang umum dilakukan dalam praktek dan sudah bertahun – tahun lamanya diterapkan untuk memperhitungkan pengaruh kekasaran permukaan kapal mengingat bahwa permukaan kapal tidak akan pernah semulus permukaan model.

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

- **Koreksi Anggota Badan Kapal**

Koreksi pada anggota badan kapal, digunakan rumus sebagai berikut :

$$C_{F'} = C_F \frac{S_1}{S}$$

Dimana : S = Luas permukaan basah badan kapal dan

S_1 = Permukaan basah badan dan anggota badan kapal

- **Koreksi Hambatan Udara dan Kemudi**

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

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

- **Koreksi Pelayaran Dinas (*Sea Margin*)**

Hambatan dan daya efektif yang dihitung dengan memakai diagram yang diberikan di sini berlaku untuk kapal dalam kondisi pelayaran percobaan, yaitu untuk kondisi ideal dari segi angin, gelombang, kedalaman air dan kemulusan badan kapal. Untuk kondisi rata – rata pelayaran dinas harus diberikan kelonggaran tambahan pada hambatan dan daya efektif yang disebabkan oleh angin laut, korosi dan *Fouling* pada badan kapal. Tambahan kelonggaran ini sangat tergantung pada jalur pelayaran. Kelonggaran rata – rata untuk pelayaran dinas (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

2.1.3 Ukuran Utama Kapal Rancangan :

- Panjang Seluruhnya Loa : 49 m
- Panjang Antara Garis Air Lwl : 45,50 m
- Panjang Garis Tegak Lpp : 44,50 m
- Lebar Kapal B : 8,5 m
- Tinggi Kapal H : 4,15 m
- Sarat Air Kapal T : 3,15 m
- Koefisien Block Cb : 0,651
- Koefisien Prismatic Cp : 0,66
- Koefisien Waterline Cw : 0,76
- Koefisien Penampang Tengah Cm : 0,98
- Kecepatan Dinas : 11,5 Knot
- Akan dilakukan perhitungan pada kecepatan : 7 – 12 Knot

2.1.4 Perhitungan Koefisien Berdasarkan Metode SV.Aa.Harvald

1. Volume Displacemen (∇_{Displ})

$$\begin{aligned}\nabla_{\text{Displ}} &= L_{\text{pp}} \times B \times T \times C_b \\ &= 44,5 \times 8,5 \times 3,15 \times 0,651 \\ &= 775,658 \text{ m}^3\end{aligned}$$

2. Displacement (Δ)

$$\begin{aligned}\Delta &= \nabla_{\text{Disp}} \times \rho_{\text{air laut}} \\ &= 775,658 \times 1,025 \\ &= 795,05 \text{ ton}\end{aligned}$$

3. Midship Area Coefisient (C_m)

$$\begin{aligned}C_m &= 0,90 + 0,10 \times \sqrt{C_b} \\ &= 0,90 + 0,10 \times \sqrt{0,651} \\ &= 0,98\end{aligned}$$

4. Luasan Midship (A_m)

$$\begin{aligned}A_m &= B \times T \times C_m \\ &= 8,5 \times 3,15 \times 0,98 \\ &= 26,24 \text{ m}^2\end{aligned}$$

5. Coefisient Prismatic (C_p)

$$\begin{aligned}C_p &= C_b / C_m \\ &= 0,651 / 0,98 \\ &= 0,66\end{aligned}$$

6. Coefitient of Water Line (C_w)

$$\begin{aligned}C_w &= 0,95 \times C_p + 0,17 \times \sqrt{C_p} \\ &= 0,95 \times 0,66 + 0,17 \times \sqrt{0,66} \\ &= 0,76\end{aligned}$$

7. Area Water Line (A_{WL})

$$\begin{aligned}A_{\text{WL}} &= L_{\text{WL}} \times B \times C_w \\ &= 45,5 \times 8,5 \times 0,76 \\ &= 293,3 \text{ m}^2\end{aligned}$$

8. Luas permukaan Basah (S)

$$S = 1,025 \cdot L_{\text{pp}} (\delta L_{\text{pp}} + B \cdot 1,7 \cdot T)$$

Dimana :



$$\begin{aligned}\delta L_{pp} &= C_b \cdot L_{oa} / L_{WL} \\ &= 0,651 \times 49 / 45,5 \\ &= 0,70\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S &= 1,025 \times 44,5 (0,70 \times 8,5 + 1,7 + 3,15) \\ &= 515,65 \text{ m}^2\end{aligned}$$

9. Luasan basah (S_1) Sepanjang A_{WL} adalah :

$$\begin{aligned}S_1 &= 1,02 (0,8 \cdot C_b + 0,2) (B + 2 \cdot T)L_{WL} \\ &= 1,02 (0,8 \times 0,651 + 0,2) (8,5 + 2 \times 3,15) 45,5 \\ &= 495,094 \text{ m}^2\end{aligned}$$

2.1.5 Perhitungan Tahanan Kapal

Tahanan atau hambatan yang dialami oleh sebuah kapal yang bergerak melalui air dan udara adalah sebagai berikut :

- A. Tahanan gelombang (*Wake Making Resistance*).
- B. Tahanan gesek (*Frictional Resistance*).
- C. Tahanan bentuk (*Eddy Making Resistance*).
- D. Tahanan udara (*Air Resistance*).

Sedangkan tahanan-tahanan lain yang mempengaruhi adalah :

- Tahanan udara atau angin.
- Tahanan penonjolan badan atau tahanan lainnya.

Sehingga berikut adalah perhitungan kapal ikan tuna longline dengan kecepatan dinas 11,5 knot adalah sebagai berikut :

1. Froude Number (Fn)

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

Dimana :

$$\begin{aligned}V_s &= 11,5 \times 0,5144 \text{ m/s} \\ &= 5,915 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\begin{aligned}L &= \text{Panjang Kapal } L_{WL} \text{ (m)} \\ &= 45,50 \text{ m}\end{aligned}$$

Maka :

$$Fn = \frac{5,915}{\sqrt{9,81 \times 45,50}}$$
$$= 0,28$$

(Referensi : Tahanan dan propulsi kapal Sv.Aa.Harvald, halaman 134).

2. Residual Coefficient ($10^3 C_R$)

Residual Coefficient atau tahanan sisa (C_R) dapat diperoleh dari grafik yang merupakan fungsi dari perbandingan panjang dengan volume ($L/\nabla^{1/3}$) dan bilangan Froude (Fn). Nilai C_R untuk kapal standar didapat dari diagram *residual coefficient* pada buku tahanan dan propulsi kapal Sv.Aa.Harvald.

(Referensi, Halaman 120 – 121).

Diketahui :

$$L_{WL} = 45,50 \text{ m}$$

$$\nabla = 775,658 \text{ m}^3$$

$$L/\nabla^{1/3} = 4,95$$

$$L/\nabla^{1/3} = 4,50 \quad Fn = 0,28 \quad 10^3 C_R = 3,3$$

$$L/\nabla^{1/3} = 5,00 \quad Fn = 0,28 \quad 10^3 C_R = 3,1$$

$$L/\nabla^{1/3} = 4,95 \quad Fn = 0,28 \quad 10^3 C_R = \dots$$

$$10^3 C_R = 3,3 + \frac{(4,95 - 4,50)}{(5,00 - 4,50)} \times (3,1 - 3,3) \dots \dots \text{(Hasil interpolasi)}$$
$$= 3,12$$

3. Koreksi B/T

Grafik harga C_R untuk kapal yang mempunyai rasio lebar kapal dan sarat kapal lebih besar dari $B / T = 2,5$ harus dikoreksi dengan rumus berikut, standar kurva Harvald ratio $B / T > 2,5$. (Ref, halaman 119 No 5.5.16 & 5.5.17).

$$B/T = \frac{8,50}{3,15}$$
$$= 2,698$$

$$10^3 C_R > 2,5 \text{ maka koreksi :}$$

$$10^3 C_R = 0,16 + (B/T - 2,50)$$

$$= 0,16 (2,698 - 2,50)$$

$$C_R = 0,031$$

4. Koreksi LCB

Untuk menentukan koreksi LCB dari kapal rancangan digunakan rumus dari grafik pada buku Tahanan dan propulsi kapal, Sv.Aa.Harvald Hal 130, Gambar 5.5.15 & 5.5.16.

$$\begin{aligned} \text{LCB}_{\text{standar}} &= -3\% \\ \text{LCB} &= \frac{L_{cb}}{L_{pp}} \times 100\% \\ \text{LCB} &= \frac{0,38}{44,5} \times 100\% \\ &= 0,853 \\ \Delta \text{LCB} &= \text{LCB} - \text{LCB}_{\text{standar}} \text{ (LCB dalam \%)} \\ &= 0,853 - (-3) \\ &= 3,853\% \end{aligned}$$

Maka koreksi LCB

$$\begin{aligned} &= \frac{\gamma 10^3 C_R}{\gamma_{\text{LCB}}} |\Delta \text{LCB}| \\ &= 0,31 \times 3,853\% \\ 10^3 C_R &= 0,012 \end{aligned}$$

5. Koreksi Garis Penampang Bentuk Depan dan Belakang

Badan Depan : ekstrem U — ekstrem V

- 0,1 + 0,1

Badan belakang : ekstrem U — ekstrem V

+ 0,1 - 0,1

Karena kurva tahanan dianggap berlaku untuk yang penampangnya bukan yang benar – benar berbentuk U ataupun V, maka dalam menghitung daya efektif untuk perancangan ini tidak diperlukan koreksi untuk bentuk penampang badan kapal (koreksi = 0).

(Referensi : Tahanan dan propulsi kapal Sv.Aa.Harvald, halaman 131, 5.5.20).

6. Koreksi Bentuk Haluan

$$\text{Koreksi } C_R = 0$$

Karena bentuk dari haluan kapal yang dirancang tidak menggunakan Bulbous Bow.

7. Koreksi Anggota Badan

- Boss Baling – baling = 3% ~ 5%
= 3% x C_R
= 3% x 3,12
= 0,093
- Shaft Bracket = 5% ~ 8%
= 5% x C_R
= 5% x 3,12
= 0,156
- Lunas Bilga = 0% (Tidak ada Koreksi)
- Daun Kemudi = 0% (Tidak ada koreksi)

(Referensi : Tahanan dan propulsi kapal Sv.Aa.Harvald, halaman 132, 5.5.22)

8. Resultan $10^3 C_R$

$$\begin{aligned}10^3 C_R &= 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10 \\ &= 3,12 + 0,031 + 0,012 + 0 + 0 + 0,25 \\ &= 3,413\end{aligned}$$

(Referensi : Tahanan dan propulsi kapal Sv.Aa.Harvald, halaman 134).

9. Resultan $10^6 R_n$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{V_s \times Lwl}{v} \\ &= \frac{5,915 \times 45,50}{1,188 \times 10^{-6}} \\ &= 226,542\end{aligned}$$

(Referensi : Tahanan dan propulsi kapal Sv.Aa.Harvald, halaman 134).

10. Koefisien Tahanan Gesek ($10^3 C_F$)

Koefisien tahanan gesek diperoleh dari grafik ITTC pada buku Sv.Aa.Harvald, halaman 129 yang merupakan fungsi dari panjang (L) dan kecepatan (Vs).

$$L = 45,50 \text{ m}$$

$$V_s = 11.5 \text{ Knot} = 5,915 \text{ m/s}$$

$$L = 45,50 \quad V = 5,00 \quad 10^3 C_F = 1,9$$

$$L = 45,50 \quad V = 6,00 \quad 10^3 C_F = 1,86$$

$$L = 45,50 \quad V = 5,915 \quad 10^3 C_F = \dots$$

$$10^3 C_F = 1,9 + \frac{(5,915 - 5,00)}{(6,00 - 5,00)} \times (1,86 - 1,9) \dots \text{ (Cara interpolasi).}$$
$$= 1,863$$

11. Koreksi Hambatan Gesek (C_F)

$$10^3 C_F = \frac{S^1}{S} 10^3 C_F$$
$$= \frac{495,094}{515,65} \times 1,863$$

$$10^3 C_F = 1,788$$

(Referensi : Tahanan dan propulsi kapal Sv.Aa.Harvald, halaman 132, 5.5.25).

12. $10^3 C_A$ (Tahanan Tambahan)

$$\text{Untuk } L \leq 100 \text{ m } 10^3 C_A = 0,4$$
$$C_A = 0,4 \times 10^3$$

(Referensi : Tahanan dan propulsi kapal Sv.Aa.Harvald, halaman 132, 5.5.23).

13. Tahanan Udara ($10^3 C_{AA}$)

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

(Referensi : Tahanan dan propulsi kapal Sv.Aa.Harvald, halaman 132, 5.5.26).

14. Tahanan Kemudi ($10^3 C_{As}$)

$$10^3 C_{As} = 0,04$$

(Referensi : Tahanan dan propulsi kapal Sv.Aa.Harvald, halaman 132, 5.5.27).

15. Kelonggaran Dinas (Sea Margin)

Rata-rata pelayaran asia timur antara 15% - 20 %

(Referensi : Tahanan dan propulsi kapal Sv.Aa.Harvald, halaman 133, 5.5.28).

16. Koefisien Tahanan Total ($10^3 C_T$)

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

$$10^3 C_T = 3,413 + 1,788 + 0,4 + 0,07 + 0,04$$

$$= 5,711$$

(Referensi : Tahanan dan propulsi kapal Sv.Aa.Harvald, halaman 134)

17. Hambatan Total (R_T)

$$\begin{aligned}R_T &= C_T \cdot 0,5 \rho \cdot V_s^2 \cdot S \\R_T &= 5,711 \times 0,5 \times 104,5 \times 35 \times 515,65 \\&= 5385,444 \text{ kg} \\&= 5,385 \text{ ton} \\&= 52,826 \text{ N}\end{aligned}$$

(Referensi : Tahanan dan propulsi kapal Sv.Aa.Harvald, halaman 133, 5.5.29).

18. Efektif Horse Power (EHP)

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

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

Dimana :

- EHP : Efektif Horse Power kapal rancangan.
- V_s : Kecepatan kapal rancangan (5,915 m/s).
- R_T : Hambatan total kapal rancangan (5385,444 kg).

Maka :

$$\begin{aligned}&= \frac{5,915 \times 5385,444}{75} \\&= 424,732 \text{ HP} \\&= 316,425 \text{ kW}\end{aligned}$$

(Ref : Teori dasar hambatan dan propulsi kapal, Ir. Teguh Sastrodiwongso , Hal. 25).

19. SHP (Shaft Horse Power)

$$SHP = EHP / P_c$$

Dimana

$$P_c = \eta_h \times \eta_{rr} \times \eta_{PO}$$

Faktor arus ikut (w) menurut Taylor untuk kapal berbaling-balang tunggal (*Single Screw*)

(Referensi : Tahanan dan propulsi kapal Sv.Aa.Harvald, halaman 188)

Wake Fraction (w), menurut Taylor.

$$\begin{aligned}w &= -0,05 + (0,55 \times C_b) \\ &= -0,05 + (0,55 \times 0,651) \\ &= 0,30\end{aligned}$$

Faktor Penghisapan (t) Menurut schoenherr

$$t = k \times w$$

dimana :

$$k = 0,70 \sim 0,90$$

$$\begin{aligned}t &= 0,70 \times 0,30 \\ &= 0,21\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_H &= \frac{1-t}{1-w} \\ &= \frac{1-0,21}{1-0,30}\end{aligned}$$

$$\eta_H = 1,128$$

$$\begin{aligned}\eta_R &= \text{Efisiensi rotary relatif} \\ &= 1,0\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}P_c &= \eta_H \times \eta_R \times \eta_O \\ &= 1,128 \times 1,0 \times 0,55 \\ &= 0,62\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}\text{SHP} &= \frac{\text{EHP}}{P_c} \\ &= \frac{424,732}{0,62} \\ &= 685,051 \text{ HP} \\ &= 510,362 \text{ kW}\end{aligned}$$

20. Break Horse Power Normal Continious Rating (BHP_{NCR})

- Koreksi pemakaian gear box $\eta_r = \pm 3\%$
- Koreksi Letak Kamar Mesin $\eta_m = \pm 3\%$
- Kelonggaran Dinas (Sea Margin) = 15%

$$\begin{aligned}\text{BHP}_{\text{NCR}} &= (100 + 15 + 6)\% \times \text{SHP} \\ &= 121\% \times 685,051\end{aligned}$$

$$= 828,911 \text{ HP}$$

$$= 618,283 \text{ kW}$$

21. Break Horse Power Maximum Continuous Rating (BHP_{MCR})

$$BHP_{MCR} = BHP_{NCR} / 0,9$$

$$= 828,911 / 0,9$$

$$= 922,123 \text{ HP}$$

$$= 686,981 \text{ kW}$$

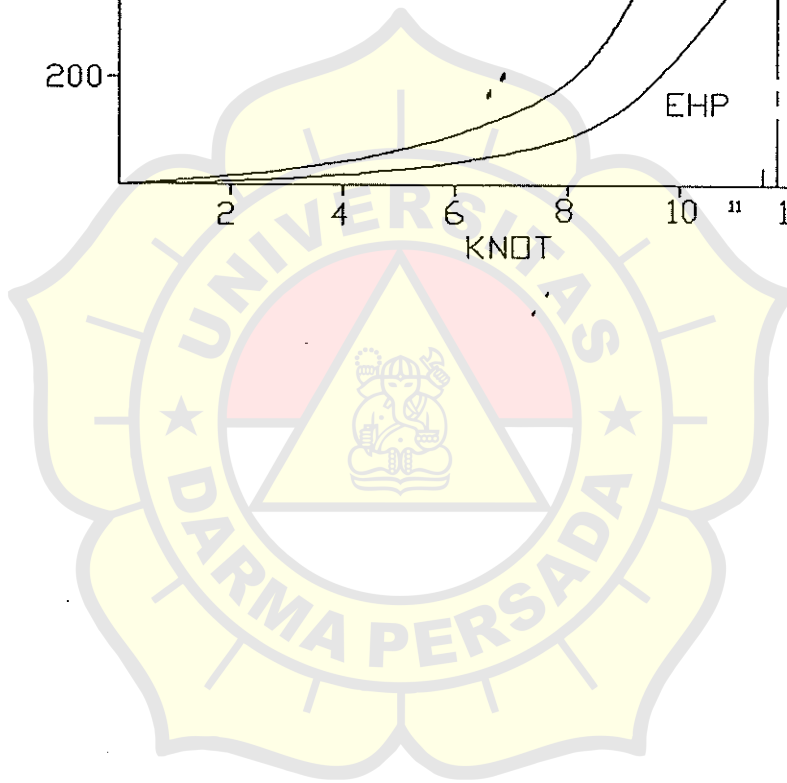
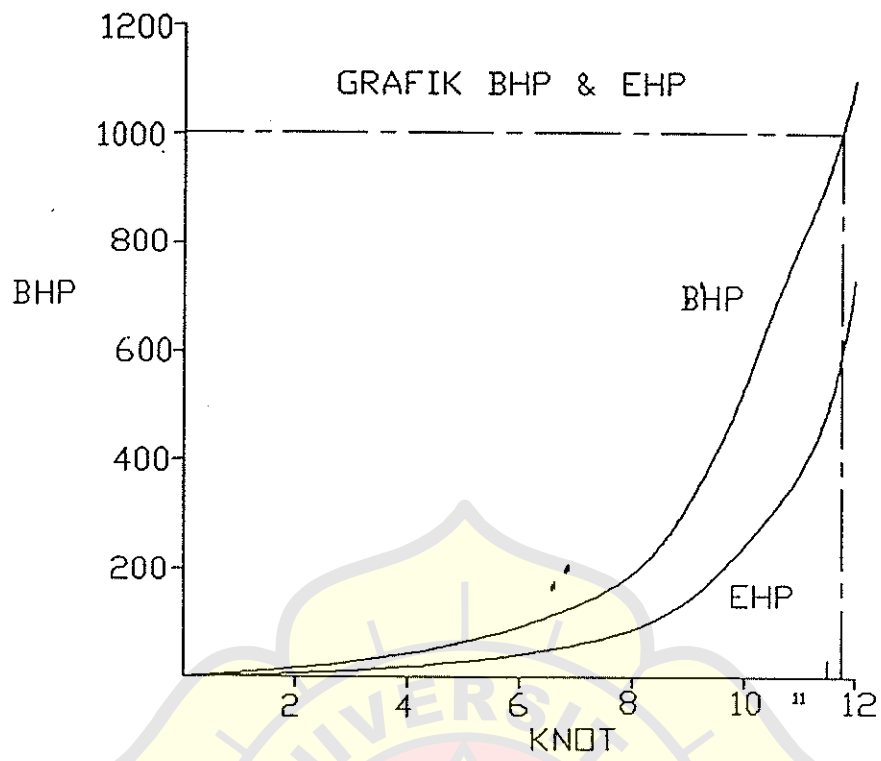
Dari hasil perhitungan hambatan dengan menggunakan metode Harvald, maka dapat ditentukan besarnya daya mesin yang digunakan untuk kapal rancangan, namun karena dari pabrikan mesin tidak ada yang sesuai dengan kebutuhan perhitungan maka dilakukan penyesuaian dengan ketersediaan ukuran mesin yang tersedia oleh pabrikan mesin, dimana besarnya daya mesin yang dipilih adalah sebagai berikut.

Penentuan Pemilihan Mesin

- Merk : Wartsila
- Tipe : Wartsila 4L20
- Daya : 1080 HP / 810 kW
- Putara Mesin : 1000 RPM
- Bore Stroke : 200 x 280 mm
- Ukuran : Panjang x Lebar x Tinggi
: 2510 x 1580 x 2073 mm
- Berat Mesin : 7200 kg
- Jumlah : 1 (satu) Buah
- SFOC : 197 g/kW-h
- Gearbox : 1 : 4,07

TABEL 6 KECEPATAN

No	RUMUS	Satuan / Sumber Rumus	Kecepatan Knot									
			7	8	9	10	11,5	12				
1.	V_s	Knot										
2.	V_s	M/dt	3,600	4,115	4,629	5,144	5,915	6,172				
3.	V_s^2	m^2/s^2	12,96	16,934	21,427	26,460	34,987	38,093				
4.	$F_n = V / g L$		0,170	0,195	0,219	0,243	0,28	0,292				
5.	$10^3 C_R (L/V^{1/3})$	Gbr	0,802	0,81	1,048	2,52	3,12	4,24				
6.	Koreksi B/T		0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031				
7.	Koreksi LCB		0,275	0,18	0,42	0,4	0,012	0,015				
8.	Koreksi Grs.Penamang		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
9.	Koreksi bentuk Haluan		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
10.	Koreksi Anggota Badan		0,104	0,104	0,135	0,201	0,302	0,551				
11.	Resultan $10^3 C^R$		1,212	1,125	1,634	3,152	3,413	6,382				
12.	$10^6 R_n$	$V.L/\delta$	137,878	157,603	177,289	197,013	226,542	236,385				
13.	$10^3 C_f$ ITTC-1957		1,996	1,953	1,922	1,892	1,863	1,864				
14.	$10^3 C_f$	$S_1/S X 10^3 C_f$	1,915	1,875	1,845	1,816	1,788	1,789				
15.	$10^3 C_A$		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4				
16.	$10^3 C_{AA}$		0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07				
17.	$10^3 C_{AS}$		0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04				
18.	$10^3 C_T = C_R + C_f + C_A + C_{AA} + C_{AS}$		3,637	3,51	3,992	5,478	5,711	8,681				
19.	$R_T = CT \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$	kg	1269,958	1601,335	2304,587	3905,289	5385,5	8909,559				
20.	$EHP = V \cdot R_T / 75$	HP	60,957	87,859	142,239	267,850	424,732	733,197				
21.	PC		0,62	0,62	0,60	0,65	0,62	0,65				
22.	$SHP = EHP/PC$	HP	118,963	171,466	268,848	498,611	685,051	1364,873				
23.	BHP MCR	HP	132,181	190,518	318,72	554,012	922,123	1516,525				



2.2 Perencanaan Propeller Kapal

Tujuan dari pemilihan tipe propeller adalah menentukan karakteristik propeller yang sesuai dengan karakteristik badan kapal dan besarnya daya yang dibutuhkan sesuai dengan kebutuhan misi kapal. Dengan diperolehnya karakteristik tipe propeller maka dapat ditentukan efisiensi daya yang ditransmisikan oleh motor induk ke propeller, langkah – langkah dalam pemilihan tipe propeller :

1. Perhitungan dan pemilihan tipe propeller.
2. Perhitungan syarat kavitasi.
3. Desain dan gambar tipe propeller.

Adapun beberapa hal yang mempengaruhi dalam perencanaan dan penentuan 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.

Perencanaan penentuan dimensi baling – baling akan sangat menentukan terhadap hasil kerja kapal yang direncanakan, adapun perencanaan baling – baling tersebut adalah :

1. Faktor Arus Ikut (w)

Untuk menentukan faktor arus ikut atau wake friction dari kapal rancangan digunakan rumus Taylor dalam buku Teori Dasar Hambatan dan Propulsi Kapal oleh Ir.Teguh Sastro Diwongso M.SE, Hal 123 untuk kapal single screw adalah :

$$\begin{aligned}w &= - 0,05 + (0,50 \times C_b) \\ &= - 0,05 + (0,50 \times 0,651) \\ &= 0,275\end{aligned}$$

2. Penentuan Harga Delivery Horse Power (DHP)

- Koreksi kamar mesin = -3 %
- Koreksi loss pada gear box = -3 %
- Koreksi HP ke metric = 75 / 76
- Koreksi air tawar ke air laut sebesar = $\frac{1,000}{1,025}$

$$\begin{aligned} \text{DHP} &= \text{BHP} - \text{Harga Koreksi} \\ &= (1080 - 6 \% \times 1080) \times \frac{75}{76} \times \frac{1,000}{1,025} \\ &= 976 \text{ HP} \end{aligned}$$

(Referensi : Propulsi kapal, Ir. Teguh sastrodiwongso, halaman 90)

3. Diameter baling-baling tentative (D)

$$\begin{aligned} D &= 0,7 \times T \\ &= 0,7 \times 3,15 \\ &= 2,205 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Advance Velocity (Va)

$$V_a = (1 - w) \times V_s \text{ (Knot)}$$

Dimana :

$$V_s = \text{Kecepatan Kapal 1080 HP}$$

$$\begin{aligned} V_a &= (1 - 0,275) \times 11,6 \text{ Knot} \\ &= 8,4 \text{ Knot} \end{aligned}$$

(Referensi : Teori dasar hambatan dan propulsi kapal, Ir. Teguh sastrodiwongso, halaman 101)

5. Kecepatan air masuk baling-baling (Ve)

$$V_e = (1 - w) \times V_s \text{ (m/s)}$$

Dimana :

$$V_s = \text{Kecepatan Kapal 1080 HP}$$

$$\begin{aligned} V_e &= (1 - 0,275) \times 6,01 \\ &= 4,356 \text{ m/s} \end{aligned}$$

6. Jumlah putaran baling - baling (N)

Akibat adanya *wake fraction*, *thrust deduction*, gesekan pada bantalan poros dan penempatan dari mesin induk akan mengurangi putaran mesin yang sampai ke baling – baling, untuk itu dilakukan koreksi dengan *scale effect* sebesar 2 %.

$$\begin{aligned} \text{Putaran Mesin} &= 1000 \text{ rpm} \\ \text{Reduction Gear} &= 4,07 \\ \text{RPM} &= 1000 / 3,28 \\ &= 305 \text{ rpm} \\ N &= 305 \times 0,98 \text{ (Koreksi } scale \text{ effect } 3 \%) \\ &= 299 \text{ rpm} \\ n &= 299 / 60 \\ &= 4,983 \text{ rps} \end{aligned}$$

7. Diameter Optimum, Pitch Ratio dan Propeller Efisiensi

Koefisien baling – baling.

$$B_p = \frac{N \times P^{0,5}}{V_a^{2,5}}$$

Dimana :

$$N \text{ (Putaran baling-baling)} = 299 \text{ rpm}$$

$$V_a \text{ (Advance speed)} = 8,4 \text{ Knot}$$

$$P \text{ (Delivery Horse Power)} = 976 \text{ HP}$$

(Referensi : Tahanan dan propulsi kapal Sv.Aa.Harvald, halaman 145)

$$\begin{aligned} B_p &= \frac{299 \times 976^{0,5}}{8,4^{2,5}} \\ &= 45,6 \end{aligned}$$

Dalam perencanaan baling – baling tunggal (*single screw*) dari *open condition* menjadi *behind condition* perlu dilakukan koreksi, untuk menentukan koreksi digunakan pernyataan yang terdapat dalam buku Teori dasar dan hambatan dan propulsi kapal oleh Ir.Teguh Sastrodiwongso M.SE, halaman 116 untuk kapal *single screw*.

- Untuk C_b besar : - 4% s/d -5 %

Maka untuk koreksi dipilihlah (-5%),

Untuk menentukan diameter optimum (D_o) digunakan rumus yang terdapat dalam buku propulsi kapal oleh Ir. Tegus Sastrodiwongso M,SE, Halaman 116 untuk kapal *single screw*.

$$D_o = \frac{\delta k \times V_a}{N} \times 0,3048 \text{ (feet)}$$

Tabel 2.1 Perhitungan 4 jenis propeller

NO	ITEM	B4-40	B4-55	B4-70	B4-85
1	Advance Coefitient (δ)	270	260	250	245
2.	Pitch Ratio Ho/D	0,63	0,65	0,72	0,76
3.	Propeller Efisiensi η_P	54	53	50,5	50,3
4.	δK	256,5	223,25	237,5	232,75
5.	Diameter Optimum	2,196	1,911	2,03	1,993

2.3 Perhitungan Kavitasasi

Untuk mengatasi atau mengurangi resiko kerusakan pada baling – baling yang berakibatkan kavitasasi, maka perlu di rancang bentuk dan dimensi baling – baling yang sesuai atau baling – baling bebas kavitasasi. Oleh sebab itu untuk menentukan diameter baling – baling yang optimal, bebas kavitasasi, serta mempunyai efisiensi yang baik, maka harus diadakan suatu perhitungan yang dapat menentukan baling – baling itu sendiri terhadap kavitasasinya, dikarenakan berkurangnya suatu tekanan sampai dibawah tekanan uap jenuhnya dimana berlangsung pada saat zat cair mengalir ke daerah baling – baling kapal. Jika mengalami proses kavitasasi maka terdengar suara yang berisik dan timbulnya getaran – getaran pada baling – baling sehingga untuk kerja pada baling – baling tersebut tidak optimum.

1. Konstanta kavitasasi

$$\sigma c 0.7 R = \frac{(P_o - e) - (0.7 \cdot R \cdot \gamma)}{0.5 \cdot \rho [V_a^2 + (\pi \cdot 0.7 \cdot D \cdot n)^2]}$$

Dimana :

$P_o - e$ = Tekanana statik pada sumbu propeller

ρ = Kerapatan air laut = $104,5 \text{ Kg s}^2/\text{m}^4$



- V_a = Advance Speed of propeller = 8,4 Knot
 n = Putaran propeller per detik = 4,983 rps
 γ = Berat jenis air (1,025)
 R = Jari – jari propeller
 D = Diameter Propeller

Maka :

Beda tekanan statik pada sumbu poros baling-baling (P_o) adalah :

- Draft T = 3,15 m
- Tinggi Poros baling-baling h_1 = 1,24 m -
= 1,91 m
- Tinggi Gelombang ($0,75 \times L_{pp}$) h_2 = 0,333 m +
Water head diatas garis/sumbu poros propeller = 2,243 m
- Tekanan Air ($2,243 \times 1025 \text{ kg/m}^3$) = 2299,075 kg/m^2
- (Tekanan atmosfer) - (Vapour pressure = e) = 10100 kg/m^2 +
Tekanan statistik = 12401,318 kg/m^2

➤ **Untuk series B4 – 40**

$$\sigma_{0.7 R} = \frac{12401,318 - (0,7 \times 1,098 \times 1,025)}{0,5 \times 104,5 [8,4^2 + (3,14 \times 0,7 \times 2,196 \times 4,983)^2]}$$

$$= 0,437$$

➤ **Untuk series B4 – 55**

$$\sigma_{0.7 R} = \frac{12401,318 - (0,7 \times 0,995 \times 1,025)}{0,5 \times 104,5 [8,4^2 + (3,14 \times 0,7 \times 1,911 \times 4,983)^2]}$$

$$= 0,478$$

➤ **Untuk series B4 – 70**

$$\sigma_{0.7 R} = \frac{12401,318 - (0,7 \times 1,015 \times 1,025)}{0,5 \times 104,5 [8,4^2 + (3,14 \times 0,7 \times 2,05 \times 4,983)^2]}$$

$$= 0,412$$

➤ **Untuk series B4 – 85**

$$\sigma_{0.7 R} = \frac{12401,318 - (0,7 \times 0,996 \times 1,025)}{0,5 \times 104,5 [8,4^2 + (3,14 \times 0,7 \times 1,993 \times 4,983)^2]}$$

$$= 0,433$$

2. Koefisien Gaya Dorong

Untuk menentukan koefisien gaya dorong digunakan rumus sebagai berikut :

$$\tau_c = \frac{T / F_p}{0,5 \cdot \rho (V_a + (\pi \cdot 0,7 \cdot n \cdot D)^2)}$$

(Referensi : Tahanan dan propulsi kapal Sv.Aa.Harvald, halaman 199, Nomor 6.6.27)

Penentuan Thrust

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

Dimana :

SHP = Shaft Horse Power (976)

η_p = Propulsive Efficiency

η_{rr} = 1,00

V_a = Advance Speed of Propeller (8,4 knot)

D = Diameter Propeller

n = Putaran baling-baling per detik (4,983)

Maka :

A. Untuk B4 – 40 dan $\eta_p = 55,8 \%$

$$T = \frac{976 \times 0,54 \times 1 \times 75}{8,4}$$
$$= 4705,714 \text{ kg}$$

B. Untuk B4 – 50 dan $\eta_p = 55 \%$

$$T = \frac{976 \times 0,53 \times 1 \times 75}{8,4}$$
$$= 4618,51 \text{ kg}$$

C. Untuk B4 – 70 dan $\eta_p = 53 \%$

$$T = \frac{976 \times 0,505 \times 1 \times 75}{8,4}$$
$$= 4400,714 \text{ kg}$$

D. Untuk B4 – 85 dan $\eta_p = 52 \%$

$$T = \frac{976 \times 0,503 \times 1 \times 75}{8,4}$$
$$= 4383,285 \text{ kg}$$

3. Penentuan Project Area of Blade (Fp)

Untuk penentuan project blade area digunakan rumus yaitu :

$$F_p = (1,067 - 0,229 H_o/D) F_a$$

A. Untuk B4 – 40

- Developed Blade Area Ratio

$$F_a/F = 0,40 \rightarrow F_a = 0,40.F$$

- Disc area of the screw (F)

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{3,14}{4} \times 2,196^2 \\ &= 3,785 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Developed blade area (Fa)

$$\begin{aligned} F_a &= 0,40 \times 3,785 \\ &= 1,514 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- $F_p = (1,067 - (0,229 \times 0,63)) \times 1,514$
 $= 1,397 \text{ m}^2$

B. Untuk B4 – 50

- Developed Blade Area Ratio

$$F_a/F = 0,50 \rightarrow F_a = 0,50.F$$

- Disc area of the screw (F)

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{3,14}{4} \times 1,911^2 \\ &= 2,866 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Developed blade area (Fa)

$$\begin{aligned} F_a &= 0,50 \times 2,886 \\ &= 1,443 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- $F_p = (1,067 - (0,229 \times 0,65)) \times 1,443$
 $= 1,324 \text{ m}^2$

C. Untuk B4 – 70

- Developed Blade Area Ratio

$$F_a/F = 0,70 \rightarrow F_a = 0,70.F$$

- Disc area of the screw (F)

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{3,14}{4} \times 2,03^2 \\ &= 3,234 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Developed blade area (Fa)

$$\begin{aligned} F_a &= 0,70 \times 3,234 \\ &= 2,263 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- $F_p = (1,067 - (0,229 \times 0,72)) \times 2,263$
 $= 2,041 \text{ m}^2$

D. Untuk B4 – 85

- Developed Blade Area Ratio

$$F_a/F = 0,85 \rightarrow F_a = 0,85.F$$

- Disc area of the screw (F)

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{3,14}{4} \times 1,993^2 \\ &= 3,118 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Developed blade area (Fa)

$$\begin{aligned} F_a &= 0,85 \times 3,118 \\ &= 2,650 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_p &= (1,067 - (0,229 \times 0,76)) \times 2,650 \\ &= 2,366 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

4. Koefisien Beban (τ_c)

- B4 – 40

$$\begin{aligned} \tau_c &= \frac{4705,714 / 1,397}{0,5 \times 104,5 (8,4 + (3,14 \times 0,7 \times 4,983 \times 2,196)^2)} \\ &= 0,109 \end{aligned}$$

- **B4 – 55**

$$\tau_c = \frac{4618,51 / 1,324}{0,5 \times 104,5 (8,4 + (3,14 \times 0,7 \times 4,983 \times 1,911)^2)}$$
$$= 0,149$$

- **B4 – 70**

$$\tau_c = \frac{4400,714 / 2,041}{0,5 \times 104,5 (8,4 + (3,14 \times 0,7 \times 4,983 \times 2,03)^2)}$$
$$= 0,082$$

- **B4 – 85**

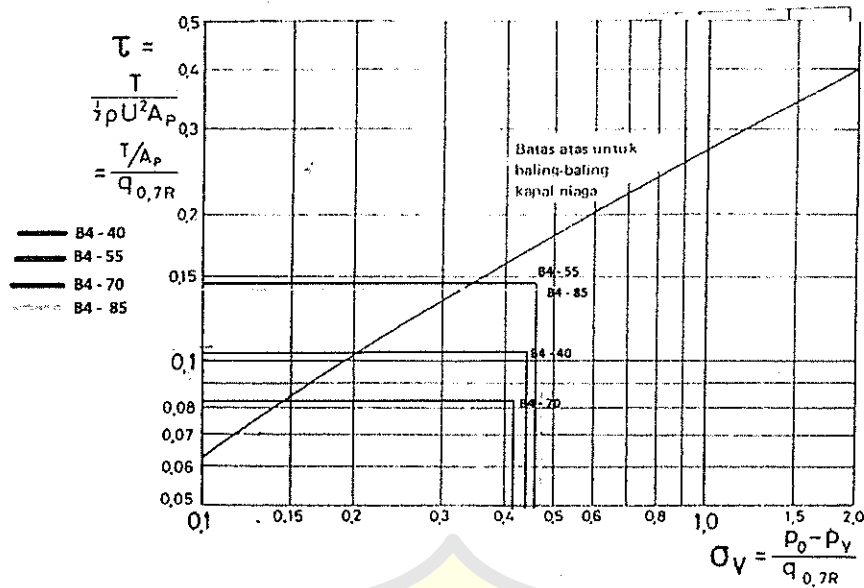
$$\tau_c = \frac{4383,285 / 2,336}{0,5 \times 104,5 (8,4 + (3,14 \times 0,7 \times 4,983 \times 1,993)^2)}$$
$$= 0,140$$

Tabel 2.2 Hasil akhir perhitungan 4 jenis propeller

NO	ITEM	B4-40	B4-55	B4-70	B4-85
1.	Diameter Optimum (Do)	2,196	1,911	2,03	1,993
2.	Pitch Ratio (Ho/D)	0,63	0,65	0,72	0,76
3.	Propeller Efisiensi η_p	54	53	50,5	50,3
4.	Konstanta Kavitasasi (σ 0.7 R)	0,437	0,478	0,412	0,433
5.	Trust Coefficient (τ_c)	0,109	0,149	0,082	0,140
6.	Project area of the blade (Fp)	1,397	1,324	2,041	2,366

Maka dari hasil tabel perhitungan dapat ditentukan pemilihan blade dari diameter yang tidak melebihi diameter tentatif yakni 2,205 m, efisiensi propeller tertinggi dan dari pembacaan resiko Kavitasasi dari diagram Kavitasasi maka dipilahlah propeller sebagai berikut :

- Tipe baling-baling = Series B4 – 40
- Diameter baling-baling (Do) = 2,196 m
- Pitch ratio (Ho/D) = 0,63
- Efisiensi propeller (η_p) = 54 %
- Jumlah Daun Baling-Baling = 4 (empat)



Gambar 2.1 Diagram kavitas 4 jenis propeller

Analisa perbedaan daun 3 dan daun 4 ada pada ukuran diameter dari daun propeller, untuk propeller dengan daun tiga rata – rata ukurannya lebih besar dari pada daun 4, sedangkan untuk H/D, efisiensi prop tidak terlalu jauh berbeda.

2.4 Perhitungan Poros Propeller

Diameter minimum poros propeller menurut BKI adalah :

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

Dimana :

F = Untuk propeller shaft : 100 (Rules BKI)

k = Faktor tipe propeller : 1,26 (Rules BKI)

P_w = Daya pada poros : 727,80

n = Putaran poros : 299 rpm

C_w = Faktor material $\frac{560}{R_m + 160}$

R_m = Kekuatan tarik material ; material poros menggunakan S 45C dengan kekuatan tarik $58 \text{ kg/mm}^2 \rightarrow 568,40 \text{ N/m}^2$.

$$C_w = \frac{560}{568,40 + 160} = 0,77$$

$$1 - (d_i/d_a)^4 = 1,00$$

Maka :

$$\begin{aligned} D &= 100 \times 1,26 \sqrt[3]{\frac{727,80}{299 \times 1,00}} \times 0,77 \\ &= 155 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diameter Poros Antara

Untuk menentukan diameter poros antara adalah :

$$F = 95 \text{ (Rules BKI)}$$

$$k = 1,20 \text{ (Rules BKI)}$$

Maka

$$\begin{aligned} D &= F \times k \sqrt[3]{\frac{Pw}{n \times [1 - (\frac{dl}{da})]^4}} \times Cw \\ &= 95 \times 1,20 \sqrt[3]{\frac{727,80}{299 \times 1,00}} \times 0,77 \\ &= 140,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

