



BAB II

PERENCANAAN PERHITUNGAN MESIN INDUK DAN BALING-BALING KAPAL

2.1. Perhitungan Daya Mesin Induk

2.1.1. Hambatan Kapal

Dalam ilmu fisika, fluida dapat dipilah menjadi dua jenis yakni, fluida ideal (fluida sempurna, tidak berviskositas) dan fluida berviskositas. Didasarkan atas alasan-alasan dari aspek ilmu fisika tersebut, hambatan total dari kapal yang bergerak di laut (di dua media yakni air laut dan udara serta dengan asumsi keadaan tenang yakni tidak ada gelombang, arus dan angin), secara teori dapat diuraikan menjadi beberapa komponen hambatan dan biasanya dipilih menjadi 4 komponen hambatan sebagai berikut :

a. **Hambatan Gesek (*Frictional Resistance* (R_f))**

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

b. **Hambatan Gelombang (*Wave Making Resistance* (R_w))**

Akibat gerakannya timbul gelombang sehingga harus mengeluarkan energi yang tidak bermanfaat dan malahan menjadi hambatan bagi gerak kapal dan akan terjadi meskipun fluidanya ideal (*nonviscous*), sedangkan gaya yang terlibat adalah *potential force*.

c. **Hambatan Tekanan (*Pressure Resistance* (R_p))**

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

d. **Hambatan Udara (*Air Resistance* (R_A))**

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*, hambatan 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 di dalam air terdapat sejumlah tonjolan (*appendages*) dengan fungsinya masing-masing. Sehingga selain komponen hambatan yang telah disebutkan diatas tentu juga terdapat komponen hambatan kapal di media air.

e. **Hambatan Tambahan (*Appendage Resistance* (R_{AA}))**

Akibat adanya *appendages* pada lambung kapal dibawah garis air, antara lain lunas sayap (*bilge keel*), penumpu poros baling-baling kapal (*baling-baling shaft bracket*), lubang *bow truster* dan lain sebagainya. Gaya-gaya yang terlibat sama dengan yang terjadi pada komponen hambatan gelombang dan hambatan tekanan sehingga timbul tambahan hambatan pada kapalnya.

Komponen-komponen hambatan kapal R_W , R_P , R_{APP} dan R_A biasa digabung menjadi apa yang disebut hambatan sisa kapal (*residual resistance*) = R_R .

$$\text{Sehingga :} \quad R_T = R_F + R_R$$

2.1.2. **Diagram Guldhammer dan Harvald**

Hambatan total (R_T) dan daya efektif (P_e) untuk kapal dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} R_T &= C_T \times \left(\frac{1}{2} \times \rho \times V_s^2 \times S\right) && \text{[N]} \\ P_E &= R_T \times V_s && \text{[kW]} \end{aligned} \quad (\text{Ref : 8. Hal. 94})$$

Dalam hal ini keefisien Hambatan total adalah :

$$C_T = C_R + C_F + C_A$$

Dimana,

C_R = koefisien Hambatan sisa untuk bentuk badan kapal standar, dapat diambil dari diagram kurva *residual resistance coefficient*.

$$C_F = \text{koefisien Hambatan gesek} = \frac{0.075}{(\log_{10} Rn - 2)^2}$$

Atau dapat diambil dari diagram menurut *International Towing Tank Conference* (ITTC) 1957 dalam buku Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak oleh Teguh Sastrodiwongso hal. 109 dan ini hanya berlaku untuk *Longitudinal Center of Bouyancy* (LCB) yang berada di dapan LCB_{standar} . Mengenai LCB yang berada dibelakang LCB_{standar} , semua sumber yang ada mempunyai pendapat yang saling bertentangan, namun demikian karena kecenderungan kecil maka harus dilakukan koreksi dalam hal ini tidak akan memberikan 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 terhadap koefisien hambatan sisa adalah sebagai berikut :

a. Koreksi LCB

Kurva C_R dari kapal standard yang disajikan adalah diperuntukkan bagi kapal-kapal dengan lokasi LCB optimum dari aspek hambatan kapal seperti ditunjukkan gambar 9.7 sebagai $LCB_{standard}$ dalam buku Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak oleh Teguh Sastrodiwongso hal.95. Harga LCB dihitung dalam % terhadap *Length Water Line* (Lwl). Bilamana LCB kapal rancangan berbeda dengan $LCB_{standard}$, maka pertambahan besarnya hambatan kapal didapatkan dengan cara mengalikan harga deviasi LCB dari harga standardnya dengan sebuah faktor ($\delta 10^3 C_R / \delta LCB$):

$$\Delta LCB = LCB_{kapal\ rancangan} - LCB_{standard}$$

Faktor tersebut diatas besarnya tergantung dari harga *Froude number* (Fn) dan harga Koefisien Prismatic yang dapat dicari dari gambar 9.8 dalam buku Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak oleh Teguh Sastrodiwongso hal.95 dan hanya berlaku bagi kapal dengan lokasi LCB didepan $LCB_{standard}$. Dari hasil penelitian, bagi kapal-kapal dengan lokasi LCB dibelakang $LCB_{standard}$ tidak menjadikan *serious error* bila perbedaan lokasi LCB diabaikan.

Jadi, bagi kapal rancangan dengan lokasi LCB didepan $LCB_{standard}$ harga C_R dikoreksi menjadi :

$$10^3 C_R = 10^3 C_{R(B/T=2,5)} + \left(\frac{\delta 10^{-3} C_R}{\delta Lcb} \right) \cdot |\Delta LCB| \quad (\text{Ref : 8. Hal. 95})$$

b. Koreksi B/T

Bila kapal rancangan memiliki B/T lebih besar maupun lebih kecil dari harga kapal standard $B/T = 2,5$, maka perlu dikoreksi menjadi sebagai berikut :

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

Hasil koreksi ini dapat mempunyai harga yang negatif atau positif.

(Ref : 1. Hal. 95)

c. Koreksi Bentuk Penampang Melintang

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



Tabel 2.1. Koreksi bentuk penampang melintang

| Letak | Koreksi | |
|---------|-----------|-----------|
| | Ekstrim U | Ekstrim V |
| Haluan | - 0,1 | + 0,1 |
| Buritan | - 0,1 | + 0,1 |

Koreksi ini berlaku untuk F_n dalam rentang 0,20 – 0,25. Lebih lanjut, lines plan kapal standard telah dirancang dengan bentuk badan kapal yang optimal dan bagi kapal rancangan dengan lines plan yang teruji atau non-optimal, maka sebaiknya harga C_R ditambah 10% ~ 20%.

Sebagai contoh, misalkan kapal rancangan memiliki penampang ekstrim V baik untuk bagian depan maupun bagian belakang kapal dan $F_n = 0,25$, maka koreksi terhadap $10^3 C_R = + 0,1 + (+ 0,1) = + 0,2$, sehingga koreksi C_R menjadi $+ 0,2 \times 10^{-3}$. (Ref : 7. Hal. 96)

d. **Koreksi Adanya *Bulbous Bow***

Kapal standar yang dipilih adalah kapal dengan haluan *orthodox* tanpa *bulb*. Bagi kapal rancangan dengan menggunakan *bulbous bow* dan harga rasio $A_{bb} / A_M \geq 0,10$, maka koreksi terhadap $10^3 C_R$ dapat dilihat di tabel 9.1 pada buku Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak oleh Teguh Sastrodiwongso pada halaman 97. Bagi kapal dengan rasio $A_{bb} / A_M < 0,10$, koreksi tersebut tidak cocok, sedangkan untuk $0 < A_{bb} / A_M < 0,10$, besarnya harga koreksi proporsional dengan ukuran dari *bulb*.

(Ref : 7. Hal. 97)

e. **Koreksi *Appendages***

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

Lunas bilga : Tidak ada koreksi

Boss baling-baling : Untuk bentuk kapal gemuk, $C_R = 3\% - 5\%$

Bracket & poros baling-baling : Untuk bentuk kapal ramping, $C_R = 5\% - 8\%$

(Ref : 7. Hal. 98)

2.1.3. ***Incremental Resistance Coefficient***

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



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

Berdasarkan pengalaman terakhir, harga tersebut tidak selalu benar dan disarankan memakai harga-harga sebagai berikut :

| | | |
|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Untuk kapal dengan ukuran | $L_{wl} \leq 100 \text{ m}$ | $C_A = 0,40 \times 10^{-3}$ |
| | $L_{wl} \leq 150 \text{ m}$ | $C_A = 0,20 \times 10^{-3}$ |
| | $L_{wl} \leq 200 \text{ m}$ | $C_A = 0$ |
| | $L_{wl} \leq 250 \text{ m}$ | $C_A = -0,20 \times 10^{-3}$ |
| | $L_{wl} \leq 300 \text{ m}$ | $C_A = -0,30 \times 10^{-3}$ |

(Ref : 8. Hal. 98)

2.1.4. Hambatan Udara dan Kemudi

Tambahan harga pada *total resistance coefficient* akibat hambatan udara :

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

Sedangkan terkait tambahan hambatan akibat olah gerak kapal (*steering resistance*) :

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

Biasanya untuk rancangan awal kapal (*preliminary design*), kedua tambahan harga tersebut sudah termasuk dalam *Incremental Resistance Coefficient* C_A .

(Ref : 8. Hal. 98)

2.1.5. Tambahan Terkait Dengan Daerah Operasi Kapal

Perhitungan-perhitungan hasil percobaan model di tangki percobaan maupun *model test series* adalah untuk kondisi laut tenang yakni tidak ada gelombang, arus maupun angin. Tentu keadaan tersebut dalam praktek boleh dikatakan tidak mungkin, sehingga Guldhammer & Harvald menyarankan untuk memberi tambahan sebagai *service allowance* untuk hasil perhitungan R_T maupun P_E 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% – 20%
- Jalur pelayaran Atlantik Selatan dan Australia, +12% – 18%.
- Jalur pelayaran Asia Timur, +15% – 20%.
- Jalur pelayaran Indonesia dan Asia Tenggara, +10% – 15%. (Ref : 8. Hal. 98)



2.1.6. Data Kapal

Dimensi ukuran utama kapal tug boat 90,424 DWT adalah :

| | | | | |
|----------------------------|----------|---|---------|-------|
| Panjang keseluruhan | L_{OA} | = | 30,00 | m |
| Panjang antara garis tegak | L_{PP} | = | 27,50 | m |
| Panjang antara garis air | L_{WL} | = | 28,80 | m |
| Lebar | B | = | 9,60 | m |
| Tinggi | H | = | 3,80 | m |
| Sarat air | T | = | 3,00 | m |
| Kecepatan dinas | V_s | = | 12,00 | knots |
| <i>Displacement</i> | Δ | = | 477,338 | tons |
| <i>Volume displacement</i> | ∇ | = | 465,69 | m^3 |
| Koefisien blok | C_b | = | 0,588 | |
| Koefisien <i>midship</i> | C_m | = | 0,918 | |
| Koefisien prismatic | C_p | = | 0,640 | |
| Koefisien <i>waterline</i> | C_w | = | 0,870 | |

2.1.7. Perhitungan Koefisien Kapal

1. *Displacement*

$$\begin{aligned}\Delta &= L_{PP} \times B \times T \times C_b \times \gamma \\ &= 27,5 \times 9,6 \times 3,0 \times 0,588 \times 1,025 \\ &= 477,338 \text{ tons} \quad (\text{Ref : 8. Hal. 64})\end{aligned}$$

2. *Midship Coefficient (Cm)*

$$\begin{aligned}C_m &= \frac{A_m}{B \times T} \\ &= \frac{26,459 m^2}{9,6 m \times 3,0 m} \\ &= 0,918 \quad (\text{Ref : 8. Hal. 64})\end{aligned}$$

3. *Midship Area (Am)*

$$\begin{aligned}A_m &= \frac{B \times T}{1,088} \\ &= \frac{9,6 m \times 3,0 m}{1,088} \\ &= 26,459 m^2 \quad (\text{Ref : 8. Hal. 64})\end{aligned}$$

**4. Prismatic Coefficient (C_p)**

$$C_p = \frac{C_b}{C_m}$$

$$C_p = \frac{0,588}{0,918}$$

$$C_p = 0,640$$

(Ref : 8. Hal. 64)

5. Water line Coefficient (C_w)

$$C_w = \frac{A_{wl}}{L_{wl} \times B}$$

$$C_w = \frac{240,5376 \text{ m}^2}{28,8 \text{ m} \times 9,6 \text{ m}}$$

$$C_w = 0,870$$

(Ref : 8. Hal. 64)

6. Water line Area (A_{wl})

$$\begin{aligned} A_{wl} &= L_{wl} \times B \times C_w \\ &= 28,8 \times 9,6 \times 0,87 \\ &= 240,5376 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

(Ref : 8. Hal. 64)

7. Luas Permukaan Basah Kapal

Perhitungan luas permukaan basah kapal menggunakan rumus pendekatan NSMB.

$$\begin{aligned} S &= (3,4 \times \nabla^{1/3} + 0,5 \times L_{wl}) \nabla^{1/3} \\ &= (3,4 \times 465,69^{1/3} + 0,5 \times 28,8) 465,69^{1/3} \\ &= 315,889 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

(Ref : 8. Hal. 64)

8. Perbandingan Lebar dan Sarat kapal (B/T)

$$B/T = \frac{B}{T}$$

$$= \frac{9,6 \text{ m}}{3,0 \text{ m}} = 3,2$$

(Ref : 8. Hal. 64)

**9. Koefisien Volumetrik ($L/\nabla^{1/3}$)**

$$\begin{aligned}L/\nabla^{1/3} &= \frac{28,8}{465,69^{1/3}} \\ &= 3,716\end{aligned}\quad (\text{Ref : 8. Hal. 64})$$

2.1.8. Perhitungan Hambatan Kapal pada Kecepatan 12 knots**1. Froude Number (F_n)**

$$F_n = \frac{V_s}{\sqrt{(g \times Lwl)}} \quad (\text{Ref : 8. Hal. 12})$$

Dimana :

$$V_s = \text{Kecepatan kapal (m/dtk)}$$

$$= 12 \text{ knot} \times 0,5144$$

$$= 6,173 \text{ m / dtk}$$

$$g = \text{Gaya Gravitasi}$$

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

$$F_n = \frac{6,173}{\sqrt{269,775}}$$

$$= 0,376$$

2. Koefisien Tahanan Sisa ($10^3 C_R$)

Untuk menentukan $10^3 C_R$ pada $L/\nabla^{1/3} = 3,716$ digunakan metode ekstrapolasi grafik pada Kurva $C_R 4,00$; $C_R 4,50$; $C_R 5,00$ dengan nilai $F_n = 0,375$ dan di dapat nilai :

$$L/\nabla^{1/3} = 3,716 \quad F_n = 0,375 \quad 10^3 C_R = 6,96$$

3. Koreksi-Koreksi terhadap Tahanan Sisa**a. Koreksi B/T**

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

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

$$10^3 C_R = 0,112$$

$$C_R = 0,112 \times 10^3 \quad (\text{Ref : 8. Hal. 95})$$

**b. Koreksi LCB**

LCB kapal rancangan sebesar 0,459 m dibelakang midship.

$$LCB = \frac{-0,459}{Lwl} \times 100 \%$$

$$LCB = \frac{-0,459}{28,8} \times 100 \%$$

$$LCB = -1,594 \%$$

$$LCB \text{ kapal standar} = -6,8 \% \quad (\text{Ref : 8. Hal. 95})$$

$$\Delta LCB = LCB_{\text{kapal rancangan}} - LCB_{\text{kapal standar}}$$

$$\Delta lcb = -1,594 \% - (-6,8 \%)$$

$$\Delta lcb = 5,206 \%$$

$$\frac{\Delta 10^{-3} C_R}{\Delta Lcb} = 0,64 \quad (\text{Ref : 8. Hal. 95})$$

$$\text{Koreksi lcb} = \left(\frac{\Delta 10^{-3} C_R}{\Delta Lcb} \right) |\Delta Lcb|. 10^{-3} \quad (\text{Ref : 8. Hal. 95})$$

$$\text{Koreksi lcb} = (0,64) |5,206|. 10^{-3}$$

$$\text{Koreksi lcb} = 3,332 \times 10^{-3}$$

c. Koreksi Bentuk Penampang Depan dan Belakang

Koreksi $C_R = 0$ karena *froud number* tidak memadai.

(Referensi : 8. Hal. 96)

d. Koreksi Bentuk Haluan

Koreksi $C_R = 0$ karena haluan kapal rancangan tanpa *bulb*.

(Referensi : 8. Hal. 96)

e. Koreksi Anggota Badan kapal

- Daun Kemudi : tidak ada koreksi karena kapal standar telah memasukkan terpasangnya daun kemudi
- Lunas Bilga : tidak ada koreksi
- Bos baling-baling : Harga C_R dinaikkan 3% ~ 5%
: $6,96 \times 5\% = 0,348$

Sehingga koreksinya menjadi $0,348 \times 10^{-3}$ (Ref : 8. Hal. 97)



➤ Poros *baling-baling* : Harga C_R dinaikkan 5% ~ 8%

$$: 6,96 \times 8\% = 0,557$$

Sehingga koreksinya menjadi $0,557 \times 10^{-3}$ (Ref : 8. Hal. 97)

Jadi koreksi anggota badan kapal :

$$\begin{aligned} 10^3 C_R &= (0) + (0) + (0,348) + (0,557) \\ &= 0,905 \end{aligned}$$

Sehingga koreksi C_R menjadi $0,905 \times 10^{-3}$

4. Resultan Koefisien Hambatan Sisa

$$10^3 C_R = (6,96) + (0,112) + (3,332) + (0) + (0) + (0,905)$$

$$10^3 C_R = 11,309$$

$$\text{Jadi } C_R = 11,309 \times 10^{-3}$$

5. Reynold Number (R_n)

$$R_n = \frac{V_s \times L_{wl}}{\nu} \quad (\text{Ref : 8. Hal. 12})$$

Dimana : ν = viskositas kinematik air laut = $0,849 \times 10^{-6}$

$$R_n = \frac{6,1728 \times 28,8}{0,849 \times 10^{-6}}$$

$$R_n = 0,2094 \times 10^9$$

6. Koefisien Hambatan Gesek (C_F)

Menghitung koefisien Hambatan gesek (C_F)

$$C_F = \frac{0,075}{(\log R_n - 2)^2}$$

$$C_F = \frac{0,075}{(\log 0,2094 \times 10^9 - 2)^2}$$

$$C_F = 1,88 \times 10^{-3} \quad (\text{Ref : 8. Hal. 76})$$

7. Koefisien Hambatan Tambahan (C_A)

Untuk kapal dengan $L \leq 100$ m

$$C_A = 0,400 \times 10^{-3} \quad (\text{Ref : 8. Hal. 98})$$

8. Koefisien Hambatan Udara (C_{AA})

$$C_{AA} = 0,070 \times 10^{-3} \quad (\text{Ref : 8. Hal. 98})$$

**9. Koefisien Hambatan Kemudi (C_{AS})**

$$C_{AS} = 0,040 \times 10^{-3} \quad (\text{Ref : 8. Hal. 98})$$

10. Koefisien Hambatan Total (C_T)

$$\begin{aligned} 10^3 C_T &= C_R + C_F + C_A + C_{AA} + C_{AS} \\ &= 11,309 + 1,88 + 0,400 + 0,070 + 0,040 \\ &= 13,70 \end{aligned}$$

sehingga C_T menjadi $13,70 \times 10^{-3}$

11. Hambatan Total (R_T)

$$\begin{aligned} R_T &= C_T \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_s^2 \\ &= 13,70 \times 10^{-3} \times \frac{1}{2} \times 104,49 \times 315,889 \times (38,103) \\ &= 8612,619 \text{ kg} \\ &= 84.489,79 \text{ N} \end{aligned} \quad (\text{Ref : 8. Hal. 94})$$

2.1.9. Perhitungan Daya Mesin dan Pemilihan Mesin Penggerak Kapal**1. *Effective Horse Power (EHP)***

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

$$\begin{aligned} \text{EHP} &= \frac{R_T \times V_s}{75} \\ \text{EHP} &= \frac{8612,619 \times 6,1728}{75} \\ \text{EHP} &= 708,853 \text{ HP} \end{aligned} \quad (\text{Ref : 8. Hal. 52})$$

2. *Shaft Horse Power (SHP)*

$$\text{SHP} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{PC} \times \text{EHP} \quad (\text{Ref : 8, hal. 78})$$

$$PC = \eta_H \cdot \eta_{RR} \cdot \eta_O$$

$$\eta_H = (1-w)/(1-t)$$

Faktor arus ikut (w) menurut *Taylor* untuk kapal berbaling-baling ganda (*twin screw*):

$$\begin{aligned} w &= -0,20 + 0,55 \cdot C_b \quad (\text{Ref : 8. Hal. 79}) \\ &= -0,20 + (0,55 \times 0,588) \\ &= +0,1234 \end{aligned}$$



Faktor pengisapan (t) menurut *Schoenherr* untuk kapal berbaling-baling ganda (*twins screw*) :

$$\begin{aligned} t &= k \times w && \text{dimana } k = 0,70 \sim 0,90 \\ &= 0,9 \times 0,1234 \\ &= 0,1111 \end{aligned}$$

η_H = Efisiensi Lambung

$$\begin{aligned} &= \frac{(1-w)}{(1-t)} \\ &= \frac{(1-0,1234)}{(1-0,1111)} = 0,986 \end{aligned}$$

η_{RR} = Efisiensi Relative-rotative (kapal *twin screw* $\eta_{RR} < 1,00 \sim \pm 0,985$)

$$= 0,95$$

η_O = Efisiensi Baling-baling (5,50 ~ 0,65)

$$= 0,65$$

$$PC = 0,986 \times 0,95 \times 0,65 = 0,609$$

Maka :

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

$$SHP = \frac{1}{2} \times \frac{1}{0,609} \times 708,853 \text{ HP}$$

$$SHP = 582,120 \text{ HP}$$

3. Brake Horse Power (BHP)

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

- 3% kerugian daya di *gear box*
- 3% letak kamar mesin di belakang
- 15% penambahan *sea margin*

$$\begin{aligned} BHP &= SHP + \text{koreksi (gear box + letak kamar mesin + sea margin) SHP} \\ &= 582,120 \text{ HP} + (3\% + 3\% + 15\%) 582,120 \text{ HP} \\ &= 704,365 \text{ HP} \\ &= 518,236 \text{ kW} \end{aligned}$$

(Ref : 8. Hal. 79)



Catatan :

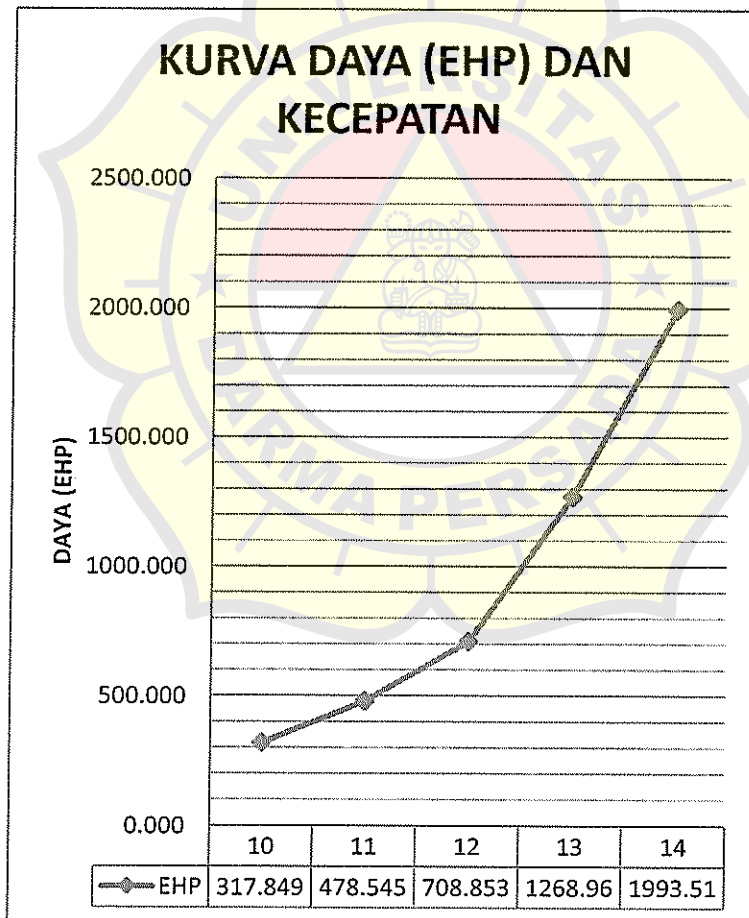
- o Seluruh perhitungan rancangan ini dibantu dengan *software* Microsoft Office Excel untuk mempermudah perhitungan dan mendapatkan hasil yang lebih presisi. Hasil perhitungan dengan menggunakan *software* Microsoft Office Excel ditampilkan pada tabel 2.2. Perhitungan 5 kecepatan.

Tabel 2.2. Perhitungan 5 kecepatan

| No | Keterangan | Satuan | Kecepatan Kapal | | | | |
|----|------------------------|-------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|
| | | | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 1 | Kecepatan (Vs) | knot | 10,0 | 11,0 | 12,0 | 13,0 | 14,0 |
| 2 | | m/s | 5,1440 | 5,6584 | 6,1728 | 6,6872 | 7,2016 |
| 3 | Vs^2 | m^2/s^2 | 26,461 | 32,017 | 38,103 | 44,719 | 51,863 |
| 4 | $F_n = VV(g \times L)$ | | 0,313 | 0,345 | 0,376 | 0,407 | 0,438 |
| 5 | Diagram C_R | $L/V^{1/3}$ | 3,716 | 3,716 | 3,716 | 3,716 | 3,716 |
| 6 | | F_n | 0,313 | 0,345 | 0,376 | 0,407 | 0,438 |
| 7 | | $10^3 C_R$ | 6,25 | 6,32 | 6,96 | 10,45 | 13,88 |
| 8 | Koreksi B/T | | 0,112 | 0,112 | 0,112 | 0,112 | 0,112 |
| 9 | Koreksi LCB | | 1,003 | 2,341 | 3,332 | 4,997 | 6,111 |
| 10 | Garis penampang | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | Koreksi Haluan | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | Koreksi Anggota Badan | | 0,813 | 0,822 | 0,905 | 1,359 | 1,804 |
| 13 | Resultan $10^3 C_R$ | | 8,177 | 9,594 | 11,309 | 16,917 | 21,908 |
| 14 | $10^6 R_n$ | | 174,496 | 191,946 | 209,395 | 226,845 | 244,294 |
| 15 | $10^3 C_F$ ITTC-57 | | 1,93 | 1,90 | 1,88 | 1,86 | 1,84 |
| 16 | $10^3 C_A$ | | 0,400 | 0,400 | 0,400 | 0,400 | 0,400 |
| 17 | $10^3 C_{AA}$ | | 0,070 | 0,070 | 0,070 | 0,070 | 0,070 |



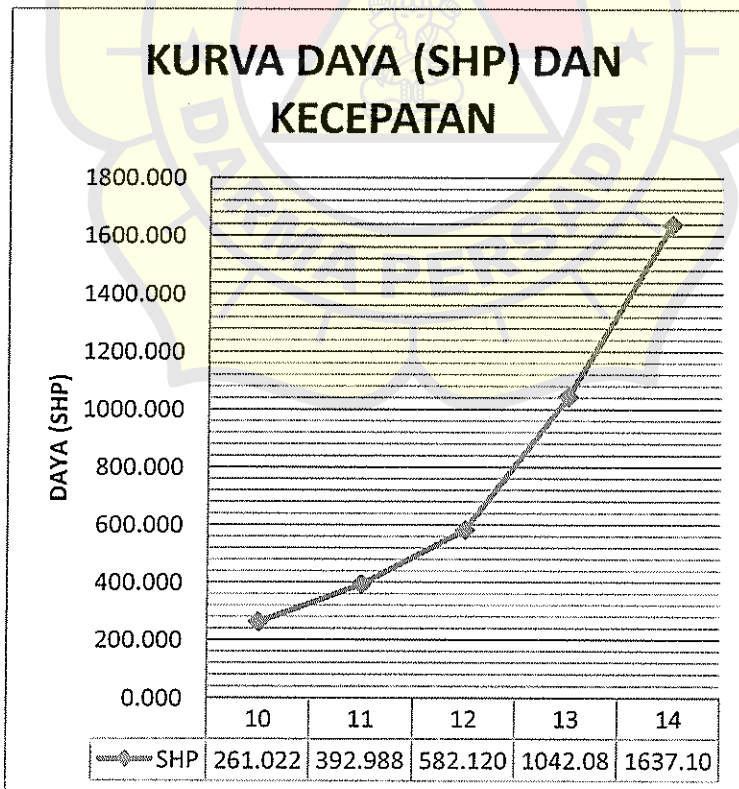
| | | | | | | | |
|----|---|----|--------------|----------|----------|---------------|-----------|
| 18 | $10^3 C_{AS}$ | | 0.040 | 0.040 | 0.040 | 0.040 | 0.040 |
| 19 | $10^3 C_T$ | | 10,61 | 12,00 | 13,70 | 19,28 | 24,26 |
| 20 | $RT = CT \times (\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2)$ | Kg | 4634,26 4 | 6342,937 | 8612,619 | 14231,99 2 | 20761,193 |
| 21 | $EHP = V \cdot RT / 75$ | HP | 317,849 | 478,545 | 708,853 | 1268,962 | 1993,517 |
| 22 | $PC = \eta_o \times \eta_{rr} \times \eta_h$ | | 0,609 | 0,609 | 0,609 | 0,609 | 0,609 |
| 23 | $SHP = EHP/PC$ | HP | 261,022 | 392,988 | 582,120 | 1042,089 | 1637,104 |
| 24 | BHP | HP | 315,836 | 475,515 | 704,365 | 1260,928 | 1980,895 |
| 25 | | Kw | 232,377 | 349,860 | 518,236 | 927,728 | 1457,444 |



Gambar 2.1. Kurva Daya EHP dan Kecepatan



Gambar 2.2. Kurva Daya BHP dan Kecepatan



Gambar 2.3. Kurva Daya SHP dan Kecepatan



Dari grafik diatas, maka dapat ditentukan besarnya daya mesin yang digunakan untuk kapal rancangan. Dimana besarnya daya mesin dan dimensi mesin yang dipilih adalah sebagai berikut :

- Merk : CATERPILLAR
- Tipe : 3508C
- Jumlah Silinder : 6
- Diameter (*Bore*) x Langkah (*Stroke*) : 145 x 183 mm
- Daya : 578 kW (775 HP)
- Putaran Mesin : 1200 rpm
- *Specifted Fuel Oil Consumption* (SFOC) : 37,5 g/hr
- Dimensi : 2350,4 mm x 1703 mm x 1828,9 mm
- Berat : 5351 Kg
- Merk *Gearbox* : NICO
- Tipe *Gearbox* : MGN 90BL
- Rasio *Gearbox* : 1 : 4,46
- Berat *Gearbox* : 860 Kg

Dengan menggunakan mesin induk diatas maka kecepatan kapal yang dicapai adalah sebesar **12,15 knots**.

2.2. Penentuan Ukuran Utama Baling-baling Kapal

Baling-baling adalah suatu alat penggerak 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 kerja dengan lambung kapal, pengaruh kavitasi, bentuk dan ukuran geometris baling-baling tersebut.

Kapal yang sedang berlayar merupakan benda yang sedang bergerak di air dan udara. Pada saat kapal bergerak maka dengan sendirinya kapal tersebut akan mengalami gaya hambatan (*resisting force*) dari media yang dilaluinya. Gaya yang menghambat tersebut harus diatasi dengan gaya dorong kedepan yang diberikan oleh suatu mekanisme penghasil gaya dorong. Mekanisme tersebut adalah baling-baling. Baling-baling akan menghasilkan gaya dorong berlawanan arah dengan gerakan kapal. Gaya dorong ini ditimbulkan dari gaya angkat (*lift*) yang timbul pada semua bagian yang bergerak.

Sistem propulsi yang terdiri dari *propulsor* (baling-baling), mesin penggerak dan badan kapal harus dirancang dengan efisien. Yaitu, jumlah energi yang dibutuhkan untuk gaya dorong kapal harus sekecil mungkin. Dengan kata lain, semua elemen dalam dari sistem



propulsi harus saling cocok satu sama lain. Sementara itu, kapal harus mempunyai kemampuan olah gerak dan menghasilkan kerja yang baik.

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

- Diameter baling-baling optimum
- *Thrust Horse Power*
- Putaran baling-baling
- Jumlah daun baling-baling
- Kekuatan baling-baling

2.2.1. Perencanaan baling-baling kapal

Perencanaan penentuan dimensi baling-baling sangat menentukan terhadap hasil kinerja kapal rancangan. Adapun perencanaan baling-baling yang dipilih adalah memakai baling-baling tipe B-4 hasil dari *Open Water Test di Netherland Ship Model Basin (NSMB)* (sekarang berganti nama menjadi *Maritime Research Institute Netherland = MARIN*). Langkah-langkah perencanaannya adalah sebagai berikut :

1. Koefisien baling-baling

Untuk menentukan koefisien baling-baling menggunakan rumus :

$$B_p = \frac{N_K \times \sqrt{SHP}}{V_a^{2,5}} \quad (\text{Ref : 9. Hal. 88})$$

dimana, N_K = Putaran baling-baling setelah dikoreksi (rpm)
 SHP = *Shaft Horse Power* (dalam satuan HP-British)
 V_a = *Advance speed of baling-baling* (knot)

2. Koreksi putaran baling-baling (N_K)

Karena memakai diagram B_p - δ maka dilakukan koreksi *Scale effect* untuk N sebesar 2%

Putaran mesin utama kapal rancangan = 1200 rpm

Reduction gear yang dipilih = 1 : 4,46

$$N_{\text{baling2}} = \frac{1200}{4,46} \\ = 269,06 \text{ rpm}$$

$$N_K = 0,98 \times 269,06 \text{ (koreksi } scale \text{ effect } 2\%) \\ = 263,68 \text{ rpm}$$

(Ref : 9. Hal. 93)

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga $N = 263,68 \text{ rpm}$, maka $n = 263,68 / 60 = 4,4 \text{ rps}$.



3. Shaft Horse Power (SHP)

Untuk menentukan SHP digunakan beberapa koreksi, berdasarkan buku propulsi kapal teguh sastrodiwongso, hal. 92 – 93 , yaitu :

- Koreksi 3% untuk *gear box*
- Koreksi 3% untuk letak kamar mesin di belakang
- Koreksi 15% untuk *sea margin*
- Koreksi HP metrik ke HP *British* = $\frac{75}{76}$
- Koreksi *density* air tawar ke air laut = $\frac{1.000}{1.025}$

maka :

$$\begin{aligned} \text{SHP} &= (775 \text{ HP} - (3 + 3 + 15)\%) \times \frac{75}{76} \times \frac{1.000}{1.025} \\ &= (775 \text{ HP} - (21\%)) \times \frac{75}{76} \times \frac{1.000}{1.025} \\ &= 746 \text{ HP British} \end{aligned} \quad (\text{Ref : 9. Hal. 92-93})$$

4. Advance speed of Propeller (V_a)

Untuk menentukan *Advance speed of propeller* dari kapal rancangan digunakan rumus :

$$V_a = V_s (1 - w) \quad (\text{Ref : 9. Hal. 82})$$

Dimana:

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

$$w = \text{wake fraction} = 0,1234$$

$$V_s = \text{kecepatan dinas kapal rancangan} = 12,15 \text{ knots}$$

maka :

$$\begin{aligned} V_a &= 12,15 (1 - 0,1234) \\ &= 10,65 \text{ knots} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas ditetapkan harga $V_a = 10,65 \text{ knots}$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } B_p &= \frac{N_K \times \sqrt{\text{SHP}}}{V_a^{2,5}} \\ &= \frac{263,68 \times \sqrt{746}}{10,65^{2,5}} \end{aligned}$$

$$B_p = 19,46 \quad (\text{Ref : 9. Hal. 88})$$



5. Diameter Propeller Tentive (D)

Untuk menentukan diameter propeller tentative digunakan rumus :

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

Dimana :

T = Draft kapal rancangan

$$= 3,0 \text{ m}$$

Maka :

$$D = 0,7 \times 3,0$$

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

(Ref : 9. Hal. 28)

6. Gaya Dorong atau Thrust (T)

Untuk menentukan gaya dorong atau *thrust* (T) digunakan rumus yang terdapat dalam buku *Propulsi Kapal* oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso, M.SE pada halaman 28, yaitu :

$$T = \frac{R_T}{1 - t} \quad (\text{Ref : 9. Hal. 28})$$

Dimana :

R_T = Hambatan total kapal rancangan

$$= 8612,619 \text{ Kg}$$

t = 0,1111

Maka :

$$T = \frac{8612,619}{1 - 0,1111}$$

$$= 9.689,075 \text{ Kg}$$

Dari perhitungan ditetapkan harga $T = 9.689,075 \text{ Kg}$

**7. Penentuan Jumlah Daun Baling – Baling (Z)**

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

Untuk akapal rancangan ini adalah :

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

Dimana :

D = diameter baling-baling = 2,1 m

V_e = Advance Speed of propeller = 10,65 knot x 0,5144 = 5,478 m/s

T = Gaya dorong (Thrust) = 9.689,075 Kg

ρ = Density air laut = 104,5 Kg.s²/m⁴

Maka :

$$\begin{aligned} K'd &= 2,1 \times 5,478 \times \sqrt{\frac{104,5}{9.689,075}} \\ &= 1,19 \end{aligned}$$

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

Dimana :

n = koreksi putaran baling-baling per detik
= 4,4 Rps

Maka :

$$\begin{aligned} K'n &= \frac{V_e}{\sqrt{n}} \times \sqrt{\frac{\rho}{T}} \\ &= \frac{5,478}{\sqrt{4,4}} \times \sqrt{\frac{104,5}{9.689,075}} \\ &= 0,27 \end{aligned}$$

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

(Ref : 9. Hal. 78)



8. Diameter Optimum (Do)

Untuk menentukan diameter optimum (Do) digunakan rumus :

$$D_o = \frac{\delta_K \times V_a}{N_K} \quad (\text{Ref : 9. Hal. 94})$$

Dimana :

D_o = Diameter optimum

δ_K = Koreksi *Advance Coefficient*

V_a = *Advance speed of propeller* = 10,65 knots

N_K = Koreksi putaran baling-baling = 263,68 rpm

Maka diameter optimum adalah :

- Untuk tipe B4-40

Dengan menggunakan perimeter Bp sebesar 19,45 maka didapat dari diagram Bp- δ nilai $\delta_K = 180$

setelah dikoreksi dari *open condition* menjadi *behind condition* sebesar 3%, nilai $\delta_K = 174,6$ (Ref : 9. Hal. 94)

hasil dari diagram Bp- δ :

Efisiensi baling-baling (η_p) = 65,3%

Pitch ratio (Ho/D) = 0,79

Maka :

$$D_o = \frac{\delta_K \times V_a}{N_K}$$

$$D_o = \frac{174,6 \times 10,65}{263,68} = 7,05 \text{ ft dijadikan } m = \times 0,3048$$

$$= 2,13 \text{ m}$$

$$0,7 \times T = 0,7 \times 3,0 \text{ m} = 2,1 \text{ m}$$

$D_o < 0,7T$ (tidak memenuhi)



- Untuk tipe B4-55

Dengan menggunakan perimeter Bp sebesar 19,45 maka didapat dari diagram Bp- δ nilai $\delta_K = 175$

Setelah dikoreksi dari *open condition* menjadi *behind condition* sebesar 3%, nilai $\delta_K = 169,75$ (Ref : 9. Hal. 94)

Hasil dari diagram Bp- δ :

Efisiensi baling-baling (η_p) = 63,5 %

Pitch ratio (Ho/D) = 0,82

Maka :

$$D_o = \frac{\delta_K \times V_a}{N_K}$$

$$D_o = \frac{169,75 \times 10,65}{263,68} = 6,857 \text{ ft}$$

$$= 2,09 \text{ m}$$

$$0,7 \times T = 0,7 \times 3,0 \text{ m} = 2,1 \text{ m}$$

$D_o < 0,7T$ (memenuhi)

- Untuk tipe B4-70

Dengan menggunakan perimeter Bp sebesar 19,45 maka didapat dari diagram Bp- δ nilai $\delta_K = 172$

Setelah dikoreksi dari *open condition* menjadi *behind condition* sebesar 3%, nilai $\delta_K = 166,84$ (Ref : 9. Hal. 94)

Hasil dari diagram Bp- δ :

Efisiensi baling-baling (η_p) = 61,8 %

Pitch ratio (Ho/D) = 0,87

Maka :

$$D_o = \frac{\delta_K \times V_a}{N_K}$$



$$D_o = \frac{166,84 \times 10,65}{263,68} = 6,739 \text{ ft}$$

$$= 2,054 \text{ m}$$

$$0,7 \times T = 0,7 \times 3,0 \text{ m} = 2,1 \text{ m}$$

$$D_o < 0,7T \text{ (memenuhi)}$$

▪ Untuk tipe B4-85

Dengan menggunakan perimeter Bp sebesar 19,45 maka didapat dari diagram Bp- δ nilai $\delta_K = 171$

setelah dikoreksi dari *open condition* menjadi *behind condition* sebesar 3%, nilai $\delta_K = 165,87$ (Ref : 9. Hal. 94)

hasil dari diagram Bp- δ :

$$\text{Efisiensi baling-baling } (\eta_p) = 60,5 \%$$

$$\text{Pitch ratio } (H_o/D) = 0,88$$

Maka :

$$D_o = \frac{\delta_K \times V_a}{N_K}$$

$$D_o = \frac{165,87 \times 10,65}{263,68} = 6,7 \text{ ft}$$

$$= 2,042 \text{ m}$$

$$0,7 \times T = 0,7 \times 3,0 \text{ m} = 2,1 \text{ m}$$

$$D_o < 0,7T \text{ (memenuhi)}$$

Untuk perencanaan baling-baling ini menggunakan perbandingan dari beberapa jenis baling-baling tipe B, yaitu B4-40, B4-55, B4-70 dan B4-85. Dari grafik diagram Bp - δ didapat untuk harga Bp = 19,45 adalah sebagai berikut :



Tabel 2.3. Perbandingan Harga Bp Terhadap Berbagai Tipe Baling-baling

| Tipe Baling-baling | (Do) | R | (Ho/D) | (η_p) | Keterangan |
|--------------------|---------|-------|--------|--------------|--------------------|
| B4-40 | 2,13 m | 1,075 | 0,79 | 65,3 % | Memenuhi Do < 0,7T |
| B4-55 | 2,09 m | 1,045 | 0,82 | 63,5 % | Memenuhi Do < 0,7T |
| B4-70 | 2,054 m | 1,027 | 0,87 | 61,8 % | Memenuhi Do < 0,7T |
| B4-85 | 2,042 m | 1,021 | 0,88 | 60,5 % | Memenuhi Do < 0,7T |

2.2.2. Perhitungan kavitasi

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

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.

Kavitasi sendiri terjadi karena gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir, karena berkurangnya suatu tekanan sampai dibawah tekanan uap jenuhnya dimana ini berlangsung saat zat cair mengalir di daerah baling-baling kapal. Bila baling-baling ini mengalami kavitasi maka akan menimbulkan suara berisik dan getaran pada baling-baling yang mengurangi unjuk kerjanya secara optimum. Pemilihan ukuran baling-baling dengan resiko kavitasi terkecil dengan memakai diagram kavitasi (*Burriel*).

1. Konstanta Kavitasi

Untuk menentukan kavitasi pada baling-baling pada posisi $\sigma_{0,7}$ digunakan rumus :

$$\sigma_{0,7} = \frac{(P_0 - e) - (0,7R \times \gamma)}{0,5 \cdot \rho \cdot (V_a^2 + (2 \cdot \pi \cdot 0,7R \cdot n)^2)} \quad (\text{Ref : 9. Hal. 101})$$

dimana :

P_0 = beda tekanan statik pada sumbu baling-baling

ρ = kerapatan air laut = 104,49 kg.det²/m⁴

V_a = *Advanced speed of propeller* = 10,65

n = koreksi putaran baling-baling per detik maka $n = 263,68/60 = 4,4$ rps

R = jari-jari baling-baling = Do/2



Maka :

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

- | | | | |
|--|---------|-----------------------------------|-----------------|
| a. Sarat air kapal (<i>Draft</i>) | $T =$ | 3,00 | m |
| b. Tinggi sumbu poros baling-baling dari <i>base line</i> | $h_1 =$ | $\frac{1,05}{m}$ | $-$ |
| | | 1,95 | m |
| c. Tinggi gelombang ($3/4\%$ Lpp) | $h_2 =$ | $\frac{0,216}{m}$ | $+$ |
| <i>Water head</i> diatas garis/sumbu poros baling-baling | | 2,156 | m |
| d. Tekanan hidrostatik pada garis/sumbu baling-baling di air laut ($2,166 \text{ m} \times 1025 \text{ kg/m}^3$) | | 2210,156 | kg/m^2 |
| e. (Tekanan atmosfer) – (<i>vapour pressure</i> = e) | | $\frac{10100,000}{\text{kg/m}^2}$ | $+$ |
| f. (Tekanan statis di garis sumbu poros baling-baling) – (e) | | 12310,156 | kg/m^2 |

Maka konstanta kavitasi adalah :

- Untuk tipe B4-40

$$\sigma_{0,7} = \frac{(12310,156) - (0,7 \times 1,075 \times 1025)}{0,5 \times 104,49 \times (10,65^2 + (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 1,075 \times 4,4)^2)}$$

$$= 0,302$$

- Untuk tipe B4-55

$$\sigma_{0,7} = \frac{(12310,156) - (0,7 \times 1,045 \times 1025)}{0,5 \times 104,49 \times (10,65^2 + (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 1,045 \times 4,4)^2)}$$

$$= 0,316$$

- Untuk tipe B4-70

$$\sigma_{0,7} = \frac{(12310,156) - (0,7 \times 1,027 \times 1025)}{0,5 \times 104,49 \times (10,65^2 + (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 1,027 \times 4,4)^2)}$$

$$= 0,325$$

- Untuk tipe B4-85

$$\sigma_{0,7} = \frac{(12310,156) - (0,7 \times 1,021 \times 1025)}{0,5 \times 104,49 \times (10,65^2 + (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 1,021 \times 4,4)^2)}$$

$$= 0,328$$

2. Koefisien Gaya Dorong

- Penentuan *Thrust*

Untuk menentukan koefisien gaya dorong ini digunakan rumus-rumus sebagai berikut :

$$\tau = \frac{T}{0,5 \times \rho \times F_p \times V^2}$$

(Ref : 9. Hal. 101)



dimana :

Untuk menentukan thrust digunakan rumus-rumus sebagai berikut :

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

$$\eta_p = \frac{THP}{SHP} \longrightarrow THP = \eta_p \cdot SHP$$

Maka :

$$T = \frac{\eta_p \cdot SHP \cdot 75}{V_a}$$

(Ref : 9. Hal. 101)

dimana :

T = Thrust

SHP = Shaft Horse Power = 746 HP

η_p = Propulsive Efficiency

η_{rr} = Efisiensi Rotary relative (twin screw $< 1,00 \approx \pm 0,985$) = 0,985

V_a = Advanced speed of propeller = 10,65 knots

Maka :

- Untuk tipe B4-40 dengan $\eta_p = 68,5 \%$

$$T = \frac{0,685 \times 746 \times 0,985 \times 75}{10,65}$$

$$T = 3378,872 \text{ kg}$$

- Untuk tipe B4-55 dengan $\eta_p = 65,5 \%$

$$T = \frac{0,655 \times 746 \times 0,985 \times 75}{10,65}$$

$$T = 3285,733 \text{ kg}$$

- Untuk tipe B4-70 dengan $\eta_p = 63,5 \%$

$$T = \frac{0,635 \times 746 \times 0,985 \times 75}{10,65}$$

$$T = 3197,769 \text{ kg}$$

- Untuk tipe B4-85 dengan $\eta_p = 62,2 \%$

$$T = \frac{0,622 \times 746 \times 0,985 \times 75}{10,65}$$

$$T = 3130,502 \text{ kg}$$



- **Penentuan *Projected Area of The Blade* (F_p)**

Untuk menentukan *project blade area* digunakan rumus yaitu :

$$F_p/F_a = (1,067 - 0,229 \cdot H_o/D) \quad (\text{Ref : 9. Hal. 100})$$

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

- **Untuk tipe B4-40**

$$D = 2,15 H_o/D = 0,79$$

Expanded Blade Ratio

$$F_a/F = 0,4 \quad \longrightarrow \quad F_a = 0,4 \cdot F$$

Disc Area of The Screw (F)

(Ref : 9. Hal. 100)

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{3,14}{4} \times (2,15)^2 \\ &= 3,627 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Expanded Blade Area (F_a)

$$F_a = 0,40 \times 3,627 = 1,451 \text{ m}^2$$

Jadi :

$$\begin{aligned} F_p &= (1,067 - 0,229 H_o/D) F_a \\ &= (1,1067 - (0,229 \times 0,84)) \times 1,451 \\ &= 1,286 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- **Untuk tipe B4-55**

$$D = 2,09 H_o/D = 0,82$$

Expanded Blade Ratio

$$F_a/F = 0,55 \quad \longrightarrow \quad F_a = 0,55 \cdot F$$

Disc Area of The Screw (F)

(Ref : 9. Hal. 100)

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{3,14}{4} \times (2,09)^2 \\ &= 3,429 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Expanded Blade Area (F_a)

$$F_a = 0,55 \times 3,429 = 1,886$$



Jadi :

$$\begin{aligned}F_p &= (1,067 - 0,229 \text{ Ho/D}) F_a \\&= (1,1067 - (0,229 \times 0,92)) \times 1,886 \\&= 1,658 \text{ m}^2\end{aligned}$$

- Untuk tipe B4-70

$$D = 2,054 \text{ Ho/D} = 0,87$$

Expanded Blade Ratio

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

Disc Area of The Screw (F)

(Ref : 9. Hal. 100)

$$\begin{aligned}F &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\&= \frac{3,14}{4} \times (2,054)^2 \\&= 3,312 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Expanded Blade Area (Fa)

$$F_a = 0,70 \times 3,312 = 2,318$$

Jadi :

$$\begin{aligned}F_p &= (1,1067 - (0,229 \times 0,92)) \times 2,318 \\&= 2,012 \text{ m}^2\end{aligned}$$

- Untuk tipe B4-85

$$D = 2,042 \text{ Ho/D} = 0,88$$

Expanded Blade Ratio

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

Disc Area of The Screw (F)

(Ref : 9. Hal. 100)

$$\begin{aligned}F &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\&= \frac{3,14}{4} \times (2,042)^2 \\&= 3,274 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Expanded Blade Area (Fa)

$$F_a = 0,85 \times 3,274 = 2,783 \text{ m}^2$$

Jadi :

$$\begin{aligned}F_p &= (1,1067 - (0,229 \times 0,93)) \times 2,783 \\&= 2,408 \text{ m}^2\end{aligned}$$



Maka koefisien gaya dorongnya (τ) adalah :

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

$$V^2 = V_a^2 + (2 \pi \cdot 0,7 R \cdot n)^2$$

$$V_a = 10,65 \text{ Knot}$$

$$n = 4,4 \text{ Rps}$$

- Untuk tipe B4-40

$$\tau = \frac{T}{0,5 \times \rho \times F_p \times V^2}$$

$$\tau = \frac{3378,872}{0,5 \times 104,49 \times 1,286 \times (10,65^2 + (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 1,075 \times 4,4)^2)}$$
$$= 0,092$$

- Untuk tipe B4-55

$$\tau = \frac{T}{0,5 \times \rho \times F_p \times V^2}$$

$$\tau = \frac{3285,733}{0,5 \times 104,49 \times 1,658 \times (10,65^2 + (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 1,045 \times 4,4)^2)}$$
$$= 0,073$$

- Untuk tipe B4-70

$$\tau = \frac{T}{0,5 \times \rho \times F_p \times V^2}$$

$$\tau = \frac{3197,769}{0,5 \times 104,49 \times 2,012 \times (10,65^2 + (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 1,027 \times 4,4)^2)}$$
$$= 0,060$$

- Untuk tipe B4-85

$$\tau = \frac{T}{0,5 \times \rho \times F_p \times V^2}$$

$$\tau = \frac{3130,502}{0,5 \times 104,49 \times 2,042 \times (10,65^2 + (2 \times 3,14 \times 0,7 \times 1,021 \times 4,4)^2)}$$
$$= 0,050$$



3. Tabel Perhitungan Kavitasasi

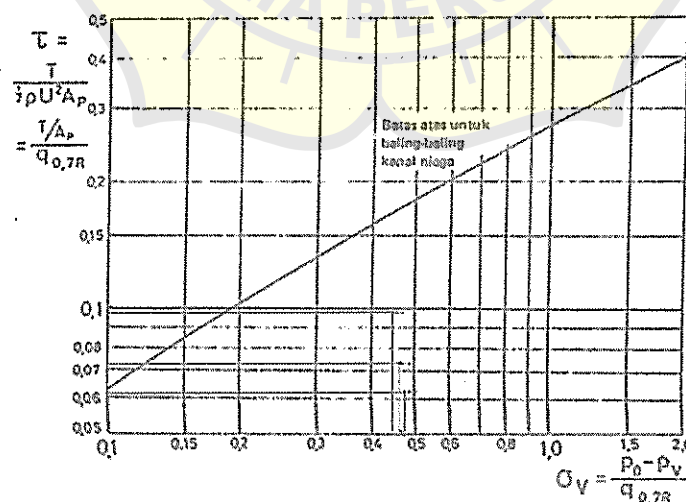
Setelah didapat hasil perhitungan kavitasasi diatas, langkah selanjutnya adalah untuk melakukan penggambaran grafik rancangan baling-baling. Berikut dibawah ini adalah tabel hasil perhitungan kavitasasi.

Tabel 2.4. Hasil Perhitungan Kavitasasi

| Tipe Baling-baling | $\sigma_{0,7}$ | τ | F_p/F_a | F_a/F | F | F_a | F_p |
|--------------------|----------------|--------|-----------|---------|-------|-------|-------|
| B4-40 | 0,302 | 0,092 | 0,886 | 0,40 | 3,627 | 1,451 | 1,286 |
| B4-55 | 0,316 | 0,073 | 0,879 | 0,55 | 3,429 | 1,886 | 1,658 |
| B4-70 | 0,325 | 0,060 | 0,868 | 0,70 | 3,312 | 2,318 | 2,012 |
| B4-85 | 0,328 | 0,050 | 0,865 | 0,85 | 3,274 | 2,783 | 2,408 |

Dari diagram *burill* diketahui harga resiko kavitasasi dari B4-40, B4-55, B4-70 dan B4-85. Dengan demikian spesifikasi *baling-baling* yang diperlukan untuk penggerak kapal rancangan ini adalah sebagai berikut :

1. Tipe baling-baling : B4-55
2. Diameter baling-baling (D) : 2,09 m
3. *Pitch ratio* baling-baling (Ho/D) : 0,82
4. *Expanded blade ratio* (Fa/F) : 0,55
5. Efisiensi baling-baling (η_p) : 63,5 %
6. Jumlah Daun baling-baling (Z) : 4



Gambar 2.4. Diagram Burill



2.2.3. Perencanaan Diameter Poros Baling-Baling

Perencanaan poros *propeller* menurut buku *Elemenen Mesin* karya Soelarso adalah sebagai berikut :

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

Langkah perhitungan :

1. Daya perencanaan (Pd)

Daya Poros

$$\begin{aligned} \text{SHP} &= 746 \text{ HP} \\ &= 556,29 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$P_d = f_c \times P$$

Dimana f_c = faktor koreksi daya yang direncanakan besarnya = 1

- $f_c = 1,2 - 2,0$ (Daya Maksimum)
- $f_c = 0,8 - 1,2$ (Daya rata-rata)
- $f_c = 1,0 - 1,5$ (Daya normal)

P = daya motor dalam kw dalam perencanaan ini daya motor sebesar = 556,29 Kw

$$\begin{aligned} P_d &= 1,5 \times 556,29 \\ &= 834,435 \text{ kW} \end{aligned}$$

2. Torsi (T)

$$T = 9,74 \times 10^5 \times (P_d/N)$$

Dimana N adalah putaran poros baling-baling, dalam perencanaan ini putaran poros *propeller* sebesar = 263,68 rpm

$$\begin{aligned} T &= 9,74 \cdot 10^5 \cdot (834,435/263,68) \\ &= 30,8229 \times 10^5 \end{aligned}$$



3. Tegangan yang diijinkan (τa)

$$\tau a = \frac{\sigma b}{(sf_1 \times sf_2)}$$

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

Sf1 = 6 (untuk material baja karbon)

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

Sehingga :

$$\tau a = \frac{58}{(6 \times 1,3)}$$

$$= 7,436 \text{ kg/mm}^2$$

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

nilai $K_T = 2$

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

4. Menghitung diameter poros

a) Faktor koreksi tegangan/momen puntir : (Ref : 10, hal. 8)

- Beban halus = 1

- Sedikit kejutan/tumbukan = 1 – 1,5

- Dengan kejutan/tumbukan = 1,5 – 3 = K_1 di ambil 1,5

b) Faktor koreksi beban lentur/bending momen : (Ref : 10, hal. 8)

- Bila dianggap tidak ada pembebanan lentur = 1

- Bila dianggap ada pembebanan lentur = 1,2 – 2,3 = di ambil 1,2



c) Diameter poros (D_s)

$$\begin{aligned} D_s &= [(5,1 \times \tau_a) \times K_t \times C_b \times T]^{1/3} \text{ mm} \\ &= [(5,1 \times 7,436) \times 2 \times 2 \times 3.082.295,548]^{1/3} \text{ mm} \\ &= 203,731 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil 204 mm sebagai perencanaan.

d) Tegangan yang bekerja pada poros (τ) :

$$\tau = \frac{5,1 \times T}{D_s^3} \quad (\text{kg/mm}^2) \quad (\text{Ref : 10, hal. 7, pers. 1.4})$$

$$\tau = \frac{5,1 \times 3.082.295,548}{204^3}$$

$$\tau = 1,85 \text{ kg/mm}^2$$

Tegangan yang bekerja pada poros harus lebih kecil daripada tegangan yang diizinkan :

$$\tau < \tau_a$$

$$1,85 \text{ kg/mm}^2 < 7,436 \text{ kg/mm}^2$$

5. Persiapan persyaratan koreksi

Persyaratan Diameter poros menurut BKI adalah sebagai berikut :

Berdasarkan BKI vol. III section 4.C.2 tentang sistem dan diameter poros adalah :

$$D_s \geq F \times k \times \sqrt[3]{\frac{P_w \times C_w}{\{N \times (1 - (\frac{dl}{da})^4)\}}} \quad (\text{mm})$$

(Ref : 1, Vol. III, section 4.C.2. hal. 4-1)

Maka $D_s' = 134,42 \text{ mm}$

Dimana :



D_s' = diameter poros hasil perhitungan

d_i = *diameter of shaft bore*. Jika *bore* pada poros $\leq 0,4 D_s$,

maka persamaan berikut dapat digunakan:

$$1 - (d_i/d_a)^4 = 1,0$$

d_a = *actual shaft diameter*

P_w (SHP) = 556,29 kW

N = Putaran *propeller*

$$= 263,68 \text{ rpm}$$

R_m = Kekuatan tarik dari material *propeller* (400~600 N/mm²)

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

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

$$= \frac{560}{580 + 160}$$

$$= 0,757$$

F = Faktor tipe instalasi penggerak untuk *propeller (shaft)*

$$= 100$$

k = 1,15 (tipe poros pada *stern tube* dengan pelumasan air)

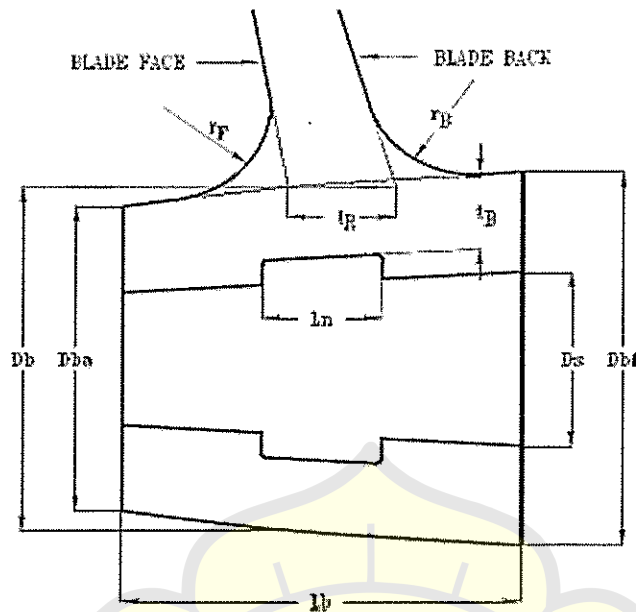
Sehingga dari persyaratan menurut BKI harga D_s berdasarkan perhitungan telah memenuhi syarat ;

$$D_s > D_s'$$

$$204 \text{ mm} > 134,42 \text{ mm}$$

Pemilihan diameter direncanakan antara *range* batas minimum dari peraturan BKI dan batasan maximum hasil perhitungan, dengan demikian maka diameter poros berada pada *range* tersebut. Dengan mempertimbangkan besarnya diameter *propeller* sebesar 2,09 m maka diambil besar $D_s = 204 \text{ mm}$.

2.2.4. Perencanaan perlengkapan *propeller* kapal



Gambar 2.5. Boss *propeller*

Keterangan gambar :

D_{ba} = Diameter *boss propeller* pada bagian belakang (m)

D_{bf} = Diameter *boss propeller* pada bagian depan (m)

D_b = Diameter *boss propeller* (m) = $(D_{ba} + D_{bf}) / 2$

L_b = Panjang *boss propeller* (m)

L_D = Panjang bantalan duduk dari *propeller* (m)

t_R = Tebal daun *propeller* (cm)

t_B = Tebal poros *boss propeller* (cm)

r_F = Jari – jari dari *blade face* (m)

r_B = Jari – jari dari *blade back* (m)



1. Diameter Boss Propeller

a. Diameter Boss propeller

$$\begin{aligned}D_b &= 0,167 \times D_{prop} \\ &= 0,167 \times 2090 \\ &= 349,03 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_r &= 0,045 \times D_{prop} \\ &= 0,045 \times 2090 \\ &= 94,05 \text{ mm}\end{aligned}$$

(Ref : 7)

b. Diameter Boss Propeller terkecil (D_{ba})

$$D_{ba}/D_b = 0,85 \text{ s/d } 0,9 \text{ diambil } 0,85$$

$$\begin{aligned}D_{ba} &= 0,85 \times D_b \\ &= 0,85 \times 349,03 \\ &= 296,68 \text{ mm}\end{aligned}$$

(Ref : 7)

c. Diameter Boss Propeller terbesar (D_{bf})

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

$$\begin{aligned}D_{bf} &= 1,05 \times D_b \\ &= 1,05 \times 349,03 \\ &= 366,48 \text{ mm}\end{aligned}$$

(Ref : 7)

d. Panjang Boss Propeller (L_b)

$$L_b/D_s = 1,8 \approx 2,4 \text{ diambil } 2$$

$$\begin{aligned}L_b &= 2 \times D_s \\ &= 2 \times 204 = 408 \text{ mm}\end{aligned}$$

(Ref : 7)

e. Panjang Lubang Dalam *Boss Propeller*

$$L_n / L_b = 0,3$$

$$\begin{aligned} L_n &= 0,3 \times L_b \\ &= 0,3 \times 408 \\ &= 122,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_b / t_r = 0,75$$

$$\begin{aligned} t_b &= 0,75 \times t_r \\ &= 0,75 \times 94,05 \\ &= 70,54 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$r_f / t_r = 0,75$$

$$\begin{aligned} r_f &= 0,75 \times t_r \\ &= 0,75 \times 94,05 \\ &= 70,54 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$r_b / t_r = 1$$

$$\begin{aligned} r_b &= 1 \times t_r \\ &= 94,05 \text{ mm} \end{aligned}$$

(Ref : 7)

2. Diameter Ujung Poros

Sudut kemiringan pada konis tidak boleh lebih besar dari $1/15 L_b$, sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} 1/15 \times L_b &= 1/15 \times 408 \\ &= 27,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka didapatkan nilai dari diameter ujung poros (D_a) sebesar :

$$\begin{aligned} D_a &= D_s - 2 \times 33,1376 \\ &= 204 - 2 \times 33,1376 = 137,72 \text{ mm} \end{aligned}$$

(Ref : 7)