

BAB II
PERHITUNGAN PERENCANAAN
MOTOR INDUK DAN
BALING – BALING KAPAL

II.1. Perhitungan Daya Mesin

II.1.1. Hambatan kapal

Kapal yang berlayar diibaratkan seperti sebuah benda yang bergerak melalui media air dan udara, ini berarti bahwa benda itu akan mengalami gaya hambat (*resistance force*) dari media yang dilaluinya.

Hambatan – hambatan yang dialami sebuah kapal yang bergerak melalui air dan udara itu dapat diuraikan atas :

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

a. Hambatan Gesek (*Fristional 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 biasa disebut lapisan batas (*boundary layer*). Didalam 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 lambung kapal pada saat 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 serta 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 timbullah suatu 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 s/d 4 % dari tahanan total yang dialaminya. Untuk menghitung besarnya hambatan – hambatan kapal tersebut, dapat dipergunakan berbagai cara misalnya dengan percobaan memakai model towing tank atau dengan cara pendekatan. Yang dimaksud dengan cara pendekatan adalah cara perhitungan dengan menggunakan rumus pendekatan. Dalam tugas merancang kapal ini, perhitungan hambatan yang digunakan adalah perhitungan yang terdapat dalam (*Referensi No. 3, Hal. 95 – 134*)

ii.1.2. Diagram Harvald

Hambatan (R) dan daya efektif (P_E) untuk kapal dapat dihitung dengan menggunakan rumus (*Referensi No. 3, Hal. 119*)

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

$$P_E = R \times V_s \quad (kW)$$

Dalam hal ini koefisien hambatan totalnya adalah :

$$C_T = C_R + C_F + C_A$$

Dimana :

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

C_F = Koefisien hambatan gesek dan dapat dihitung dengan

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

Atau dapat diambil dari diagram menurut ITTC 1957 dalam (*Referensi No. 3, Hal. 129*) dimana koefisien tahanan gesek C_F sebagai fungsi panjang kapal L dan kecepatan V .

Penambahan hambatan tersebut harus dicari dengan mengalikan penyimpangan L_{CB} dari harga L_{CB} standar. Yaitu :

$$\nabla L_{CB} = L_{CB} - L_{CB \text{ standar}} \quad (L_{CB} \text{ dalam } \%)$$

Dengan factor $\partial 10^3 C_R / \partial L_{CB}$, dari grafik koreksi koefisien hambatan sisa dalam (*Referensi No. 3, Hal. 130*) dan ini hanya berlaku untuk L_{CB} yang berada di depan L_{CB} standar. Mengenai L_{CB} yang berada dibelakang L_{CB} 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 (L_{CB}) 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 (L_{CB}) nampak jelas pada kecepatan tinggi. Sebagai upaya untuk mengatasi kerancuan tersebut maka semua informasi yang ada dikumpulkan dan diringkas dalam diagram L_{CB} standar dalam (*Referensi No. 3, Hal. 130*).

Sebagaimana disebutkan sebelumnya, karena letak L_{CB} 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 :

$$10^3 C_R = 10^3 C_R \text{ (standart) } + \frac{\partial 10^3 C_R}{\partial L_{CB}} \left| \Delta \Delta_{CB} \right|$$

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 (*Referensi No. 3, Hal. 119*).

Berdasarkan hasil pemeriksaan materi pengujian yang ada saat ini disarankan hasil pemeriksaan materi pengujian yang ada saat ini disarankan mamakai 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 (*Referensi No. 3, Hal. 131*) 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 ekstrim maka untuk harga $10^3 C_R$ dapat dikoreksi sebagai mana berikut :

Badan depan	ekstrem U	ekstrem V
	-0,1	+0,1
Badan belakang	ektrem U	ekstrem V
	+0,1	-0,1

Koreksi ini berlaku untuk kecepatan $\sqrt{g \times L}$ dalam rentang 0,20 ~ 0,25.

Selain itu, bentuk standar harus dipajang 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 standart sudah mencakup daun kemudi
Lunas Bilga (Lunas Sayap)	:	Tidak ada koreksi
Boss Baling-baling	:	Untuk kapal ramping, C_R dinaikkan sebesar 3% ~ 5%
	:	Untuk kapal ramping, C_R
Braket & Poros Baling-baling	:	Dinaikkan sebesar 5% ~ 8% (<i>Ref. No. 3, Hal. 132</i>)

➤ **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 (*Referensi No. 3, Hal. 132*).

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

➤ **Koreksi Anggota Badan Kapal**

Koreksi pada anggota badan kapal, digunakan rumus sebagai berikut :

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

Dimana : S = Luas permukaan basah badan kapal

S' = Permukaan basah badan dan anggota badan kapal

➤ **Koreksi Hambatan Udara dan Kemudi**

$$\text{Koreksi hambatan udara} = 10^3 C_{AA} = 0,09$$

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

➤ **Koreksi Pelayaran Dinas**

- 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%

II.2.1. Data awal kapal rancangan

Dimensi ukuran utama kapal Tanker 14.000 ton adalah :

$$L_{PP} = 150 \text{ m}$$

$$L_{WL} = 153 \text{ m}$$

$$L_{OA} = 158 \text{ m}$$

$$B = 27,7 \text{ m}$$

$$T = 6,875 \text{ m}$$

$$H = 12 \text{ m}$$

$$V_s = 15,00 \text{ knot}$$

$$\text{Klasifikasi} = \text{BKI (Biro Klasifikasi Indonesia)}$$

$$\text{Jalur Pelayaran} = \text{Jakarta – Singapore}$$

II.2.2 Perhitungan tahanan kapal dan daya motor induk.

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

1. Tahanan Gelombang (*Wake Making Resistance*)
2. Tahanan Gesek (*Frictional Resistance*)
3. Tahanan Bentuk (*Eddy Making Resistance*)
4. Tahanan Udara (*Air Resistance*)

Sedangkan tahanan – tahanan lain yang mempengaruhi adalah :

1. Tahanan udara / angin
2. Tahanan penonjolan badan dan tahanan lainnya

Perhitungan tahanan kapal ini sesuai dengan (*Referensi No. 3, Hal. 133*)

Dengan menggunakan rumus :

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

Dimana :

C_R = Koefisien tahanan sisa untuk bentuk standar

C_F = Koefisien tahanan gesek didapat dari kurva ITTC – 57

C_A = Koefisien tahanan tambahan

Jadi perhitungan kapal untuk kecepatan 15,00 knot adalah sebagai berikut :

1. Coefisien Block (C_b)

$$\begin{aligned} C_b &= 1,17 - \left(0,361 \times \left(\frac{Vs}{\sqrt{Lpp}} \right) \right) \\ &= 1,17 - \left(0,361 \times \left(\frac{15}{\sqrt{150}} \right) \right) \\ &= 0,73 \end{aligned}$$

2. Displacemen (Δ)

$$\begin{aligned}\Delta &= L_{PP} \times B \times T \times C_b \times \gamma \\ &= 150 \times 27,7 \times 6,875 \times 0,73 \times 1,025 \\ \Delta &= 21374,229 \text{ ton}\end{aligned}$$

3. Midship Area Coefisien (C_m)

$$\begin{aligned}C_m &= 0,93 + 0,08 \times C_b \\ &= 0,93 + 0,08 \times 0,73 \\ C_m &= 0,99\end{aligned}$$

4. Luas Midship (A_m)

$$\begin{aligned}A_m &= B \times T \times C_m \\ &= 27,7 \times 6,875 \times 0,98 \\ A_m &= 188,533 \text{ m}^2\end{aligned}$$

5. Coefisien Prismatic (C_p)

$$\begin{aligned}C_p &= C_b / C_m \\ &= 0,73 / 0,99 \\ C_p &= 0,74\end{aligned}$$

6. Coefisien of Waterline (C_w)

$$\begin{aligned}C_w &= 0,18 + (0,86 \times C_p) \\ &= 0,18 + (0,86 \times 0,74) \\ C_w &= 0,82\end{aligned}$$

7. Luas Garis Air (A_{wl})

$$\begin{aligned}A_{wl} &= L_{WL} \times B \times C_w \\ &= 153 \times 27,7 \times 0,82 \\ A_{wl} &= 3475,242 \text{ m}^2\end{aligned}$$

8. Luas Permukaan Basah Kapal (S)

$$S = 1,025 \times L_{PP} \times (\delta_{PP} \times B) + (1,7 T)$$

Dimana :

$$\begin{aligned}\delta_{PP} &= (C_b \times L_{OA}) / L_{WL} \\ &= (0,73 \times 158) / 153\end{aligned}$$

$$\delta_{PP} = 0,754$$

$$S = 1,025 \times 150 \times (0,754 \times 27,7) + (1,7 \times 6,875)$$

$$S = 3222,879 \text{ m}^2$$

9. Luas Permukaan Basah (S') sepanjang Awl :

$$\begin{aligned}S' &= 1,025 \times L_{WL} \times (\delta_{PP} \times B) + (1,7 \times T) \\ &= 1,025 \times 153 \times (0,754 \times 27,7) + (1,7 \times 6,875) \\ &= 3287,103 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Sehingga Ratio S / S' adalah :

$$\begin{aligned}\frac{S}{S'} &= \frac{3222,879}{3287,103} \\ &= 0,98\end{aligned}$$

10. L Displacement

$$L_{Displ} = \frac{L_{WL} + L_{PP}}{2}$$

$$= \frac{153 + 150}{2}$$

$$L_{Displ} = 151,5$$

11. Volume Displacement (∇_{Displ})

$$\nabla_{Displ} = L_{PP} \times B \times T \times d$$

Dimana :

$$d = A_{wl}$$

$$A_{wl} = \frac{L_{PP} \times C_b}{L_{WL}}$$
$$= \frac{150 \times 0,73}{153}$$

$$A_{wl} = 0,716$$

Maka ;

$$\nabla_{Disp} = 150 \times 27,7 \times 6,875 \times 0,716$$
$$= 20452,988 \text{ m}^2$$

12. Froude number (F_n)

$$F_n = \frac{V_s}{\sqrt{(g \times L)}} \quad (\text{Referensi No. 3, Hal. 118})$$

Dimana :

V_s = Kecepatan kapal dalam m/det

$$= 15,00 \times 0,5144$$

$$= 7,716 \text{ m/det}$$

g = Gaya grafitasi

$$= 9,81 \text{ m/det}$$

L = Panjang kapal (m)

$$= 150 \text{ m}$$

maka ;

$$F_n = \frac{7,716}{\sqrt{(9,81 \times 150)}}$$

$$F_n = 0,201$$

$$13. \frac{1}{2} \times \rho \times S \times V_s^2$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \rho &= \text{massa jenis} \\ &= 104,5 \text{ kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \text{Luas permukaan basah kapal} \\ &= 3222,879 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s^2 &= \text{Kecepatan kapal dalam (m/dtk)}^2 \\ &= 15,00 \text{ knot} \times 0,5144 \\ &= 7,716 \text{ m/det} \\ &= 86,537 \text{ (m/dtk)}^2 \end{aligned}$$

maka ;

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \times \rho \times S \times V_s^2 \\ &= 0,5 \times 104,5 \times 3222,879 \times 86,537 \\ &= 10025758,58 \text{ kg} \\ &= 10025,75858 \text{ ton} \end{aligned}$$

14. Residual Coefisien ($10^3 C_R$)

Residual coefisien atau tahanan sisa (C_R) dapat diperoleh dari grafik yang merupakan fungsi dari perbandingan panjang volume ($LV^{1/3}$) dan bilangan froude (F_n).

Diketahui :

$$L_{pp} = 150 \text{ m}$$

$$V = 20452,988 \text{ m}^3$$

$$LV^{1/3} = 5,485$$

Nilai C_R untuk kapal standart didapat dari *ref. no. 3, hal. 121-122*

$$LV^{1/3} = 5,000 \quad F_n = 0,201 \quad 10^3 C_R = 1,195$$

$$LV^{1/3} = 5,485 \quad F_n = 0,201 \quad 10^3 C_R = 1,389$$

$$LV^{1/3} = 5,500 \quad F_n = 0,201 \quad 10^3 C_R = 0,995$$

$$10^3 C_R = 1,195 + \left[\frac{(5,485 - 5,000)}{(5,500 - 5,000)} \right] \times (1,195 - 0,995)$$

$$10^3 C_R = 1,389$$

15. Koreksi B/T

Grafik harga C_R untuk kapal yang mempunyai rasio lebar sarat kapal lebih besar atau lebih kecil $B/T = 2,5$ harus dikoreksi dengan rumus berikut:

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

Dimana ;

$$\begin{aligned} B/T &= \frac{27,7}{6,875} \\ &= 4,029 \end{aligned}$$

maka ;

$$\begin{aligned} 10^3 C_R &= 0,16 \times (4,029 - 2,5) \\ &= 0,245 \end{aligned}$$

16. Koreksi L_{CB}

Koreksi lain untuk tahanan sisa adalah :

$$\Delta L_{CB} = L_{CB} - L_{CB \text{ standart}} \quad (L_{CB} \text{ dalam } \%)$$

Dimana :

$$L_{CB \text{ standart}} = 0,8 \% \quad (\text{Referensi No. 3, Hal. 130})$$

$$\begin{aligned} L_{CB} &= \frac{L_{CB} \times L_{PP}}{100} \\ &= \frac{0,8 \times 150}{100} \end{aligned}$$

$$L_{CB} = 1,2 \%$$

$$\begin{aligned} L_{CB} &= 1,2 \% - 0,8 \% \\ &= 0,4 \% \end{aligned}$$

$$L_{CB} = 0,004$$

$$\frac{\delta 10^3 C_R}{\delta_{LCB}} = 0,13 \text{ (Berdasarkan tabel 5.5.16 Ref. No. 3, Hal. 130)}$$

$$\begin{aligned} \text{Koreksi } L_{CB} &= \frac{\delta 10^3 C_R}{\delta_{LCB}} \times L_{CB} \\ &= 0,13 \times 0,004 \\ &= 0,00052 \end{aligned}$$

17. Koreksi bentuk penampang depan dan belakang

Koreksi $C_R = 0$ (bentuk standart)

18. Koreksi bentuk haluan

Koreksi $C_R = -0,2$

19. Koreksi anggota badan kapal

$$\begin{aligned} \text{Boss baling-baling} &= 5 \% \times C_R \\ &= 0,05 \times 1,389 \\ &= 0,069 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Shaft Propeller} &= 8 \% \times C_R \\ &= 0,08 \times 1,389 \\ &= 0,111 \end{aligned}$$

Lunas bilga = 0 % (tidak ada koreksi)

Daun kemudi = 0 % (tidak ada koreksi)

20. Resultan $10^3 C_R$

$$\begin{aligned} 10^3 C_R &= \sum [\text{No.14,15,16,17,18,19}] \\ &= 1,386 + 0,245 + 0,00052 + 0 + (-0,2) + 0,069 + 0,111 \end{aligned}$$

$$10^3 C_R = 1,615$$

21. Koefisien tahanan gesek (C_F)

Koefisien tahanan gesek diperoleh dari grafik ITTC – 57 (*Referensi No. 3, Hal. 129*) yang merupakan fungsi dari panjang kapal (L_{PP}) dan Kecepatan (V_s).

$$L_{PP} = 150 \text{ m} \quad V_s = 6,000 \text{ m/dt} \quad 10^3 C_F = 1,582$$

$$L_{PP} = 150 \text{ m} \quad V_s = 7,716 \text{ m/dt} \quad 10^3 C_F = 1,631$$

$$L_{PP} = 150 \text{ m} \quad V_s = 8,000 \text{ m/dt} \quad 10^3 C_F = 1,525$$

$$10^3 C_F = 1,582 + \left[\frac{(7,716 - 6,000)}{(8,000 - 6,000)} \right] \times (1,582 - 1,525)$$

$$10^3 C_F = 1,631$$

22. Koreksi C_F

$$10^3 C_F = S'/S \times 10^3 C_F \\ = 0,98 \times 1,631$$

$$10^3 C_F = 1,598$$

23. Tahanan Tambahan (C_A)

Untuk $L > 150 \text{ m}$

$$10^3 C_A = 0,2$$

24. Tambahan tahanan (C_{AA})

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

25. Tahanan kemudi (C_{AS})

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

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

$$10^3 C_T = C_R + C_F + C_A + C_{AA} + C_{AS} \\ = 1,389 + 1,598 + 0,2 + 0,07 + 0,04$$

$$10^3 C_T = 3,523$$

3. Thrust Deduction Faktor (t)

$$t = k \times w$$

Dimana :

$$k = 0,7 \text{ s/d } 0,9$$

$$= 0,7$$

Maka

$$t = 0,7 \times 0,315$$

$$= 0,221$$

4. Hull Efficiency (η_h)

$$\eta_h = \frac{1-t}{1-w}$$
$$= \frac{1-0,221}{1-0,315}$$

$$\eta_h = 1,137$$

5. Propulsive coefisient (P_c)

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

Dimana :

$$\eta_p = \text{Effisiensi propeller } 0,55 \sim 0,60$$

$$= 0,6 \text{ direncanakan}$$

$$\eta_{rr} = \text{Effisiensi rotary relatif}$$

$$= 1,00$$

Maka

$$P_c = 1,137 \times 0,6 \times 1,00$$

$$= 0,682$$

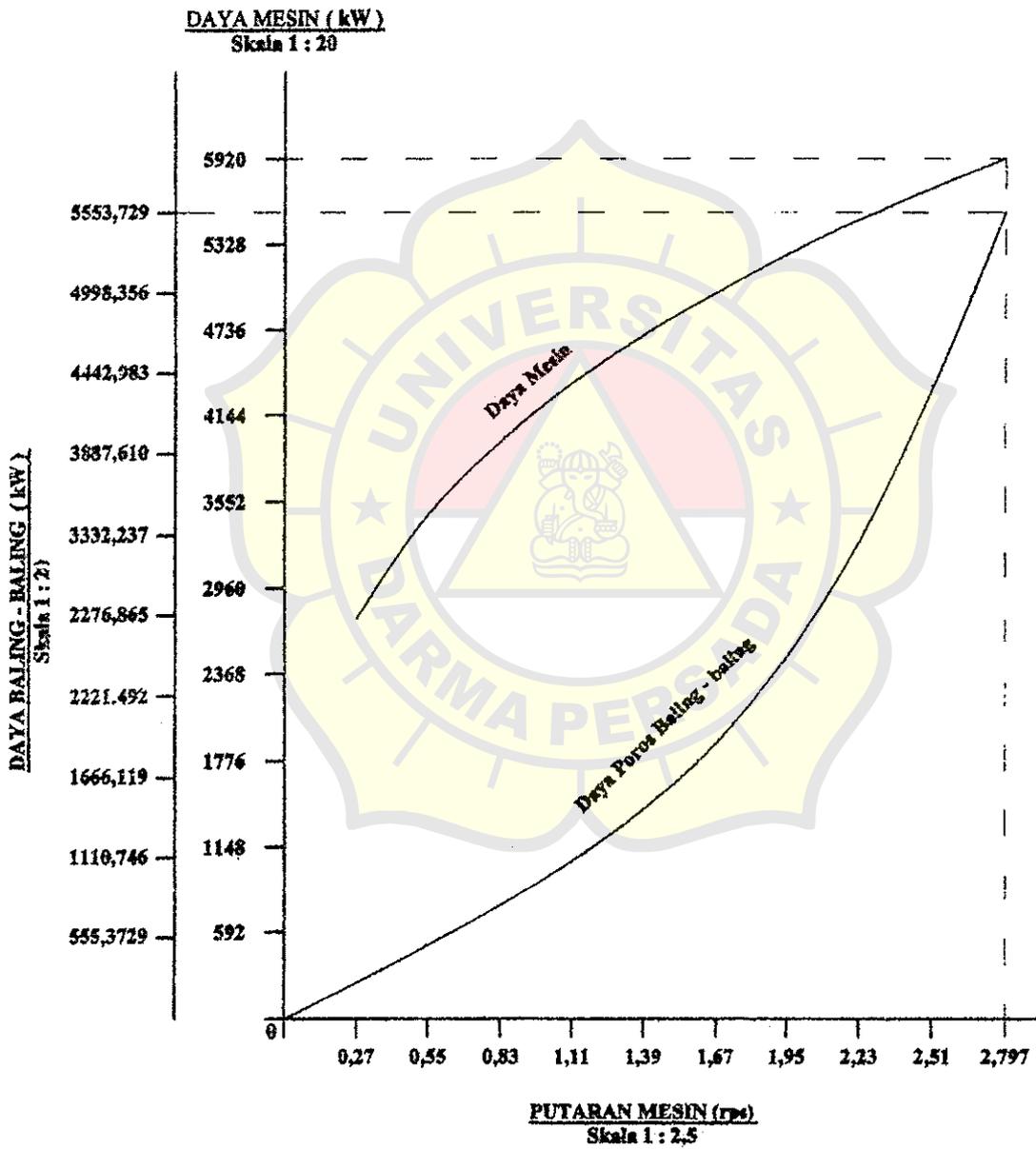
6. Shaft Horse Power (P_s)

$$P_s = \frac{P_E}{P_c}$$
$$= \frac{4178,868}{0,682}$$

$$P_s = 6127,372 \text{ HP}$$

$$= 4509,746 \text{ kW}$$

KURVA DAYA MESIN DAN DAYA BALING - BALING



3. Thrust Deduction Faktor (t)

$$t = k \times w$$

Dimana :

$$k = 0,7 \text{ s/d } 0,9$$

$$= 0,7$$

Maka

$$t = 0,7 \times 0,315$$

$$= 0,221$$

4. Hull Efficiency (η_h)

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

$$= \frac{1-0,221}{1-0,315}$$

$$\eta_h = 1,137$$

5. Propulsive coefficient (P_C)

$$P_C = \eta_h \times \eta_{rr} \times \eta_p$$

Dimana :

$$\eta_p = \text{Effisiensi propeller } 0,55 \sim 0,60$$

$$= 0,6 \text{ direncanakan}$$

$$\eta_{rr} = \text{Effisiensi rotary relatif}$$

$$= 1,00$$

Maka

$$P_C = 1,137 \times 0,6 \times 1,00$$

$$= 0,682$$

6. Shaft Horse Power (P_s)

$$P_s = \frac{P_E}{P_C}$$

$$= \frac{4178,868}{0,682}$$

$$P_s = 6127,372 \text{ HP}$$

$$= 4509,746 \text{ kW}$$

II.2.5 Penentuan Brake Horse Power (P_B)

Untuk itu ditambahkan faktor keamanan sebagai berikut :

3% koreksi letak kamar mesin dibelakang dan 15% sea margin

$$P_{B(NCR)} = (18\% \times P_s) + P_s$$

$$= (18\% \times 6127,372) + 6127,372$$

$$= 7230,299 \text{ HP} \times 0,736$$

$$= 5321,5 \text{ kW}$$

$$P_{B(MCR)} = 7230,299 / 0,9$$

$$= 8033,666 \text{ HP} \times 0,736$$

$$= 5912,778 \text{ kW}$$

Berdasarkan hasil perhitungan maka dapat ditentukan besarnya daya mesin yang digunakan kapal ini. Dimana karakteristik mesin yang dipilih adalah sebagai berikut :

- Merk = MAN B & W Marine Engine
- Type = S 35 MC
- Daya = 5920 kW / 8080 HP
- Putaran Mesin = 173 Rpm
- Bore & Stroke = 350 mm × 1400 mm
- SFOC = 178 g/kWh ~ 131 g/BHP
- Lub. Oil Consumption = 1,5 g/kWh ~ 1,1 g/BHP
- Jumlah silinder = 8 silinder
- Ukuran = Panjang × Lebar × Tinggi
= 5280 mm × 2200 mm × 6425 mm
- Jumlah = 1 (satu) unit

6. P_D (Delivery Horse Power)

$$\begin{aligned} P_D &= (8080 - 3 \%) \times (75 / 76) \times (1.000 / 1,025) \\ &= 7545,828 \text{ HP} \times 0,736 \\ P_D &= 5553,729 \text{ kW} \end{aligned}$$

7. Diameter Baling – Baling Tentatif (D_T)

$$\begin{aligned} D_T &= 0,7 \times T \\ &= 0,7 \times 6,875 \\ D_T &= 4,813 \text{ m} \end{aligned}$$

8. Penentuan Jumlah Daun Baling – Baling

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

Untuk kapal rancangan :

$$\begin{aligned} K'_d &= D_T \times V_e \times [(\rho / S)^{0,5}] \\ &= 4,813 \times 5,285 \times [(104,5 / 3222,879)^{0,5}] \\ K'_d &= 1,458 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K'_n &= (V_e / n^{0,5}) \times (\rho / S)^{0,5} \\ &= (5,285 / 2,797^{0,5}) \times (104,5 / 3222,879)^{0,5} \\ K'_n &= 0,569 \end{aligned}$$

Dengan hasil perhitungan $K'd$ dan $K'n$ diatas maka dipilih $Z = 4$

9. Harga B_p

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

Dimana :

N = Putaran baling – baling setelah di koreksi
= 167,81 rpm

P_D = Delivery Horse Power
= 7545,828 HP

V_a = Advance Speed
= 10,275 knot

Maka,

$$B_p = \frac{167,81 \times 7545,828^{0,5}}{10,275^{2,5}}$$

$$B_p = 43,074$$

Dari diagram $B_p - \delta$, untuk nilai $B_p = 43,074$ dapat diperoleh Advanced Coefficient (δ) pada berapa tingkat pembebanan, yaitu :

Untuk series B4 – 40 ; $\delta = 255$

Untuk series B4 – 55 ; $\delta = 254$

Untuk series B4 – 70 ; $\delta = 240$

Dalam perencanaan baling-baling ganda (Twin Screw) (δ) ini dari “ Open Condition ” menjadi “ Behind Condition ” harus dikoreksi. Berdasarkan *Referensi No. 8, Hal. 116* untuk kapal berbaling-baling tunggal koreksi sebesar 4 % ~ 5 %, maka :

Untuk series B4 – 40 ; $\delta_K = 255 - 4 \% = 254,96$

Untuk series B4 – 55 ; $\delta_K = 254 - 4 \% = 253,96$

Untuk series B4 – 70 ; $\delta_K = 240 - 4 \% = 239,96$

10. Diameter Optimum (D_o)

$$D_o = \frac{\delta_k \times V_a}{N}$$

Untuk series B4 – 40 ;

$$\begin{aligned} D_o &= \frac{254,96 \times 10,275}{167,81} \\ &= 15,611 \text{ feet} / 3,28 \\ D_o &= 4,759 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk series B4 – 55 ;

$$\begin{aligned} D_o &= \frac{253,96 \times 10,275}{167,81} \\ &= 15,55 \text{ feet} / 3,28 \\ D_o &= 4,741 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk series B4 – 70 ;

$$\begin{aligned} D_o &= \frac{239,96 \times 10,275}{167,81} \\ &= 14,693 \text{ feet} / 3,28 \\ D_o &= 4,48 \text{ m} \end{aligned}$$

11. Pitch Ratio (H_o/D)

Dari harga (δ) yang telah dikoreksi, dapat diperoleh harga Pitch Ratio (H_o/D) pada diagram $B_p - \delta$ sesuai dengan pembebanan :

Untuk series B4 – 40 ; $H_o/D = 0,63$

Untuk series B4 – 55 ; $H_o/D = 0,66$

Untuk series B4 – 70 ; $H_o/D = 0,73$

12. Propeller Efficiency (η_p)

Dari diagram $B_p - \delta$ juga dapat diperoleh untuk efisiensi baling-baling kapal yaitu :

Untuk series B4 – 40 ; $\eta_p = 55,4 \%$

Untuk series B4 – 55 ; $\eta_p = 52 \%$

Untuk series B4 – 70 ; $\eta_p = 51,8 \%$

II.2.7 Perhitungan Kavitas

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

Oleh sebab itu untuk menentukan diameter baling – baling yang optimal, bebas kavitas, serta mempunyai efisiensi yang cukup baik, maka harus diadakan perhitungan-perhitungan untuk penentuan diameter baling-baling. Kavitas sendiri terjadi karena gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir, karena berkurangnya suatu tekanan sampai di bawah tekanan uap jenuhnya dimana ini berlangsung saat zat cair mengalir di daerah baling-baling kapal. Bila baling – baling ini mengalami kavitas maka akan menimbulkan suara berisik dan getaran pada baling – baling yang akan mengurangi kinerjanya secara optimum.

a. Konstanta Kavitas

$$\sigma_{0,7} = \frac{(P - P_v) - (0,7 \times (D/2) \times \gamma)}{1/2 \times \rho \times (V_a^2 + (0,7 \times \pi \times D \times n)^2)}$$

Dimana :

(P-P_v) = Beda tekanan statik pada sumbu baling – baling

D = Diameter optimum baling – baling

ρ = Kerapatan air laut

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

V_a = Advanced of speed

$$= 10,275 \text{ knot}$$

n = Putaran baling – baling per detik

$$= 2,797 \text{ rps}$$

b. Tekanan Statis Baling – Baling

Tekanan statis pada sumbu baling – baling adalah :

1. Sarat air (T) = 6,875 m
2. Tinggi sumbu poros baling-baling = 2,30 m (-)
= 4,575 m
3. Tinggi Gelombang (0,75 % L_{pp}) = 1,125 m (+)
h = 5,700 m

4. Tekanan hydrostatis pada sumbu

$$\text{poros baling – baling (h} \times 1,025) = 5,843 \text{ kg/m}^2$$

$$5. \text{ Tekanan atmosfer = 10100,000 kg/m}^2 \text{ (+)}$$

$$\text{Tekanan statis baling – baling} = 10105,843 \text{ kg/m}^2$$

Untuk series B4 – 40 dengan D_o = 4,759 m

$$\sigma_{0,7} = \frac{10105,843 - (0,7 \times (4,759/2) \times 1,025)}{1/2 \times 104,5 \times (10,275^2 + (0,7 \times 3,14 \times 4,759 \times 2,797)^2)}$$
$$= 0,201$$

Untuk series B4-55 dengan D_o = 4,741 m

$$\sigma_{0,7} = \frac{10105,843 - (0,7 \times (4,741/2) \times 1,025)}{1/2 \times 104,5 \times (10,275^2 + (0,7 \times 3,14 \times 4,741 \times 2,797)^2)}$$
$$= 0,202$$

Untuk series B4-70 dengan D_o = 4,480 m

$$\sigma_{0,7} = \frac{10105,843 - (0,7 \times (4,480/2) \times 1,025)}{1/2 \times 104,5 \times (10,275^2 + (0,7 \times 3,14 \times 4,480 \times 2,797)^2)}$$
$$= 0,224$$

c. Koefisien gaya dorong

Harga koefisien gaya dorong ini diperoleh dari diagram Burrill (*Referensi No. 3, Hal. 200*).

Untuk series B4 – 40 dengan D_o = 4,759 m, didapat $\tau_c = 0,101$

Untuk series B4 – 55 dengan D_o = 4,741 m, didapat $\tau_c = 0,102$

Untuk series B4 – 70 dengan D_c = 4,480 m, didapat $\tau_c = 0,122$

d. Projected Blade Area

$$F_p' = \frac{T}{\pi \times 1/2 \times \rho \times (V_a^2 + (0,7 \times \pi \times D \times n)^2)}$$

Dimana :

T	= Gaya dorong (Thrust)	= 45341,139 kg
ρ	= Kerapatan air laut	= 104,5 kg·s ² /m ⁴
V _a	= Advanced of speed	= 10,275 knot
n	= Putaran baling – baling per detik	= 2,797 rps
τ_c	= Koefisien gaya dorong	
D _o	= Diameter optimum baling – baling	

Untuk series B4-40 dengan $\tau_c = 0,101$

$$F_p' = \frac{45341,139}{0,101 \times 1/2 \times 104,5 \times (10,275^2 + (0,7 \times 3,14 \times 4,759 \times 2,797)^2)} = 8,935$$

Untuk series B4-55 dengan $\tau_c = 0,102$

$$F_p' = \frac{45341,139}{0,102 \times 1/2 \times 104,5 \times (10,275^2 + (0,7 \times 3,14 \times 4,741 \times 2,797)^2)} = 8,907$$

Untuk series B4-70 dengan $\tau_c = 0,122$

$$F_p' = \frac{45341,139}{0,122 \times 1/2 \times 104,5 \times (10,275^2 + (0,7 \times 3,14 \times 4,480 \times 2,797)^2)} = 8,231$$

e. Blade Area (F)

Untuk series B4 – 40

$$\frac{F_p}{F_a} = 1,067 - 0,229 \times H_0/D$$

Dengan $H_0/D = 0,63$

$$\begin{aligned}\frac{F_p}{F_a} &= 1,067 - 0,229 \times (0,63) \\ &= 0,923\end{aligned}$$

Expanded Blade Area Ratio

$$\frac{F_a}{F} = 0,40$$

Disc Area of The Screw (F)

$$\begin{aligned}F &= \pi / 4 \times D^2 \\ &= 3,14 / 4 \times (4,759)^2 \\ &= 17,779 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Expanded Blade Area (F_a)

$$\begin{aligned}F_a &= 0,40 \times F \\ &= 0,4 \times 17,779 \\ &= 7,112 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Projected Blade Area (F_p)

$$\begin{aligned}F_p &= F_a \times (F_p / F_a) \\ &= 7,112 \times 0,923 \\ &= 6,564 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Untuk series B4 – 55

$$\frac{F_p}{F_a} = 1,067 - 0,229 \times H_o/D$$

Dengan $H_o/D = 0,66$

$$\begin{aligned}\frac{F_p}{F_a} &= 1,067 - 0,229 \times (0,66) \\ &= 0,916\end{aligned}$$

Expanded Blade Area Ratio

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

Disc Area of The Screw (F)

$$\begin{aligned}F &= \pi / 4 \times D^2 \\ &= 3,14 / 4 \times (4,741)^2 \\ &= 17,645 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Expanded Blade Area (F_a)

$$\begin{aligned}F_a &= 0,55 \times F \\ &= 0,55 \times 17,645 \\ &= 9,705 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Projected Blade Area (F_p)

$$\begin{aligned}F_p &= F_a \times (F_p / F_a) \\ &= 9,705 \times 0,916 \\ &= 8,89 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Untuk series B4 – 70

$$\frac{F_p}{F_a} = 1,067 - 0,229 \times H_o/D$$

Dengan $H_o/D = 0,73$

$$\begin{aligned}\frac{F_p}{F_a} &= 1,067 - 0,229 \times (0,73) \\ &= 0,9\end{aligned}$$

Expanded Blade Area Ratio

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

Disc Area of The Screw (F)

$$\begin{aligned}F &= \pi / 4 \times D^2 \\ &= 3,14 / 4 \times (4,480)^2 \\ &= 15,755 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Expanded Blade Area (F_a)

$$\begin{aligned}F_a &= 0,4 \times F \\ &= 0,4 \times 15,755 \\ &= 11,029 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Projected Blade Area (F_p)

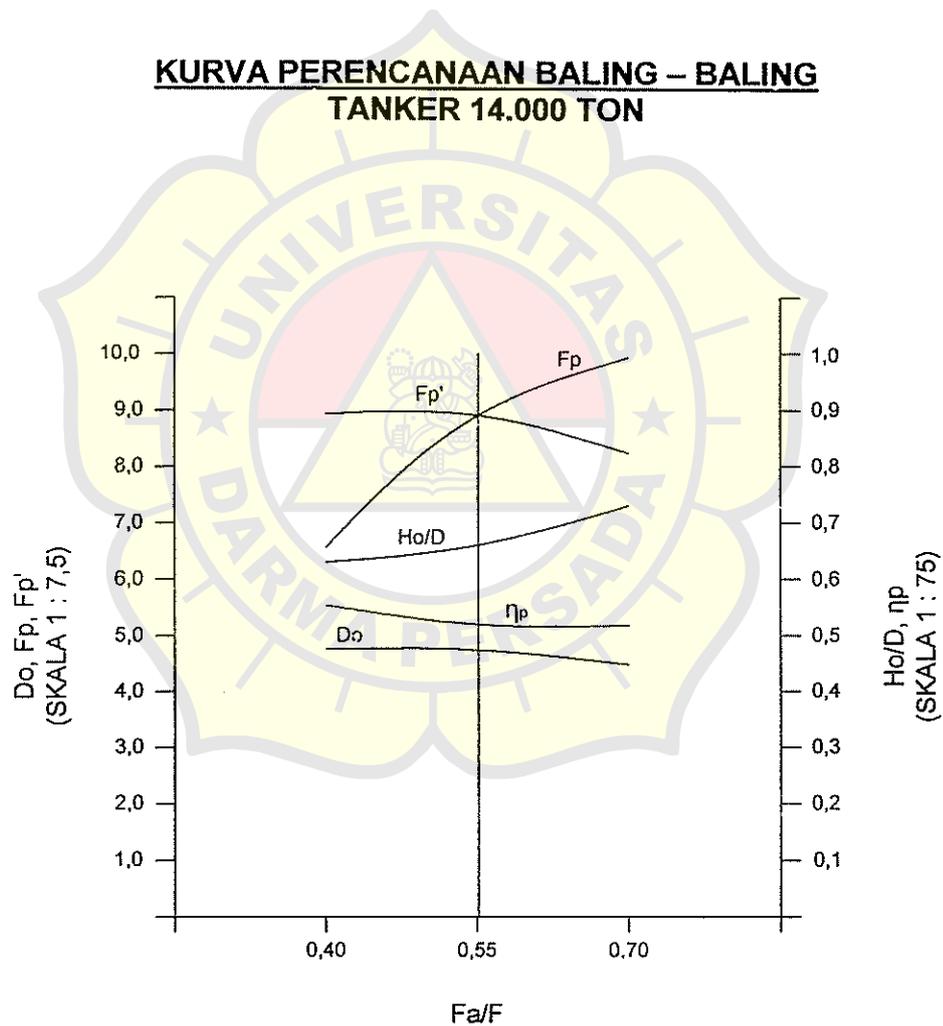
$$\begin{aligned}F_p &= F_a \times (F_p / F_a) \\ &= 11,029 \times 0,9 \\ &= 9,926 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Tabel Hasil Perhitungan Kavitasasi

	D_o	$\delta_{0,7}$	τ_c	F_p'	F_p/F_a	F_a/F	F	F_a	F_p
Series B4-40	4,759	0,201	0,101	8,935	0,923	0,40	17,779	7,112	6,564
Series B4-55	4,741	0,202	0,102	8,907	0,916	0,55	17,645	9,705	8,890
Series B4-70	4,480	0,224	0,122	8,231	0,900	0,70	15,755	11,029	9,926

Berdasarkan tabel hasil perhitungan dan grafik rancangan baling-baling, maka dapat ditentukan Blade Area Ratio optimum untuk baling – baling kapal rancangan ini.

**KURVA PERENCANAAN BALING – BALING
TANKER 14.000 TON**



II.2.8 Pemilihan baling – baling

Harga – harga perbandingan tersebut diperoleh dari proyeksi perpotongan kurva F_p dan F_p' pada absisnya. Dengan demikian spesifik baling – baling yang diperlukan untuk penggerak kapal rancangan ini adalah sebagai berikut :

- Type Baling – Baling = Serie B4 – 55
- Diameter Baling – Baling = 4,74 m
- Pitch Ratio (H_o/D) = 0,66
- Blade Area Ratio (F_a / F) = 0,55
- Efisiensi Propeller = 0,52
- Jumlah propeller = 1 (satu)

II.2.9 Perhitungan Poros Baling – baling

a. Diameter poros propeller

Berdasarkan peraturan BKI (*Referensi No. 2, Hal.4 – 1*), maka besar poros baling – baling adalah :

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

Dimana :

F = Faktor untuk instalasi propulsi
= 100

k = Faktor tipe dari poros
= 1,26

P_w = Daya pada poros
= 4506,746 kW

n = Putaran poros
= 167,81 rpm

C_w = Faktor material
= $560/R_m + 160$

R_m = Kekuatan tarik material, digunakan SNCM 23
= $100 \text{ kg/mm}^2 = 981 \text{ N/mm}^2$

$$C_w = \frac{560}{981} + 160$$

$$= 0,49$$

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

Maka :

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

$$D = 100 \times 1,26 \times \sqrt[3]{\frac{4506,746}{167,81 \times 1,00}} \times 0,49$$

$$D = 185,31 \text{ mm}$$

b. Diameter poros antara

Salah satu kegunaan poros antara ini adalah untuk mempermudah pencabutan poros baling – baling. Untuk menentukan besarnya diameter poros antara berdasarkan dari acuan *Referensi No. 2, Hal. 4 – 1* adalah :

$$F = 95$$

$$k = 1,20$$

Maka :

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

$$= 95 \times 1,20 \times \sqrt[3]{\frac{4506,746}{167,81 \times 1,00}} \times 0,49$$

$$D = 167,66 \text{ mm}$$