

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Baling Baling kapal

Baling-baling Kapal adalah komponen yang berfungsi untuk menjalankan kapal. Komponen ini memindahkan tenaga dengan mengkonversi gerakan rotasi sebagai gaya dorong untuk menggerakkan sebuah kapal. Alat penggerak kapal diklarifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu alat gerak non-mekanik kapal dan alat gerak mekanik kapal.

2.1.1. Jenis-jenis Propeller

Berikut adalah jenis jenis propeller diantaranya ialah :

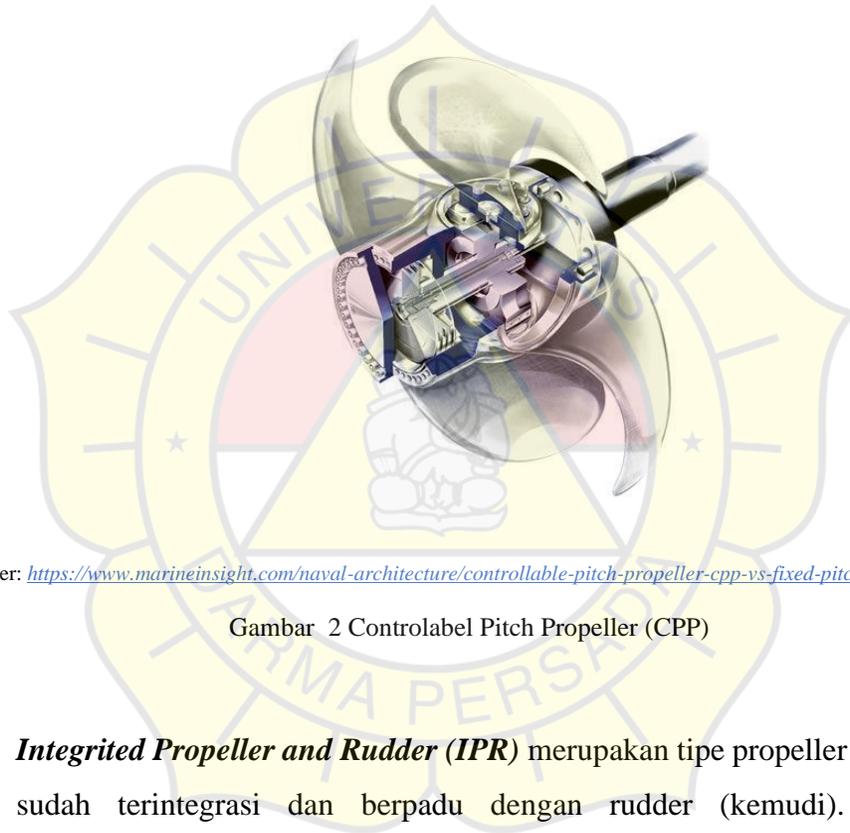
- **Fixed Pitch Propeller (FPP)** atau yang disebut tipe baling-baling dengan pitch tetap. Tipe propeller ini biasa digunakan untuk kapal besar dengan rpm relatif rendah dan torsi yang dihasilkan tinggi, pemakaian bahan bakar lebih ekonomis, noise atau getaran minimal, dan kavitasi minimal.



Sumber: marineinsight.com/naval-architecture/controllable-pitch-propeller-cpp-vs-fixed-pitch-propeller-fpp/

Gambar 1 Fixed Pitch Propeller (FPP)

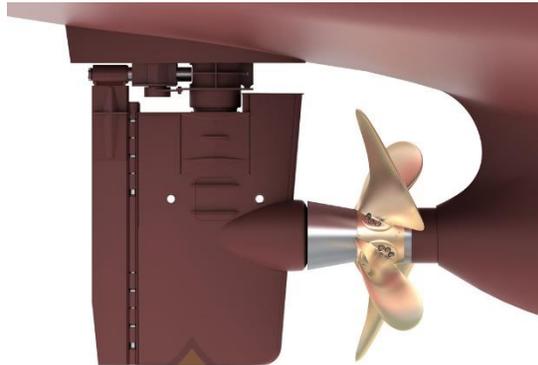
- **Controlable Pitch Propeller (CPP)** atau tipe *Propeller* dengan pitch yang diubah-ubah kapal dengan langkah daun propeller yang dapat diubah-ubah. Propeller merupakan baling-baling kapal dengan langkah daun *Propeller* yang dapat diubah-ubah sesuai dengan kebutuhan misalnya untuk rpm rendah biasa digunakan pitch yang besar dan rpm tinggi digunakan dengan pitch yang rendah [5].



Sumber: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/controllable-pitch-propeller-cpp-vs-fixed-pitch-propeller-fpp/>

Gambar 2 Controlabel Pitch Propeller (CPP)

- **Integrited Propeller and Rudder (IPR)** merupakan tipe propeller yang hubnya sudah terintegrasi dan berpadu dengan rudder (kemudi). Ini adalah pengembangan terbaru dari propulsi kapal. Kondisi ini menyebabkan arus air dari propeller yang melewati rudder akan memberikan peningkatan pengendalian dan pengaturan rudder sehingga diperoleh penurunan pemakaian bahan bakar.



Sumber: rolls-royce.com

Gambar 3 Intergrated Propeller and Rudder (IPR)

- **Adjustable Bolted Propeller (ABP)** merupakan pengembangan FPP, dimana daun baling-balingnya dapat dibuat terpisah kemudian dipasang pada boss propeller dengan baut, sehingga dapat distel pitchnya pada nilai optimum yang akan dicapai, dengan pembuatan daun secara terpisah.

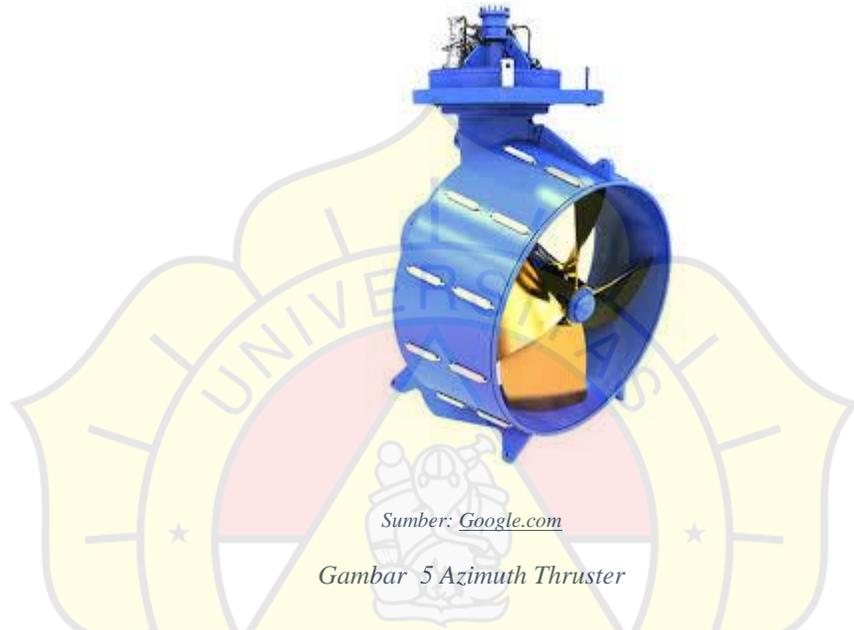


Sumber: Google.com

Gambar 4 Adjusted Bolted Propeller (ABP)

- **Azimuth Thruster** digunakan untuk mempermudah kapal dalam bermanuver, namun pemakaian alat penggerak dengan posisi berbeda dibagian atas sehingga

memberi tempat yang lebih untuk besar untuk menempatkan penggerak utamanya, baik berupa motor listrik atau motor diesel. *Propeller* tipe ini sering disebut sebagai baling-baling dengan poros penggerak vertikal dorong dengan arah yang diperlukan yang biasanya digunakan untuk kapal *Supply Vessel*.



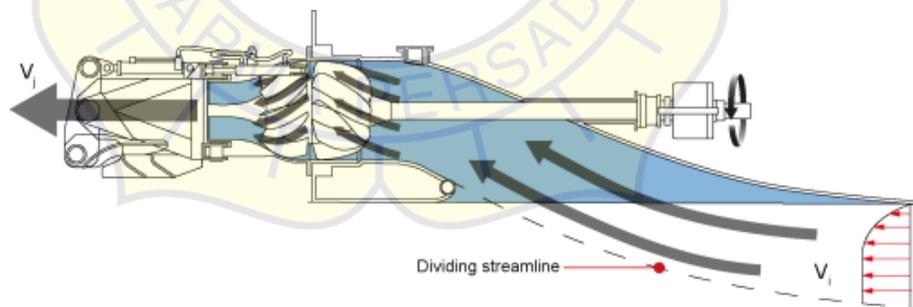
- **Electrical Pods** penggunaan propulsi motor listrik mulai dari 5 sampai 25 Mwatt menggantikan penggunaan propeller dengan poros dan rudder konvensional. Teknologi Pod memungkinkan untuk menerapkan propeller pada aliran yang optimal (*Hydro-dynamically Optimised*). Pod propeller diadopsi dari Azimuth Propeller, dengan menempatkan elektro motor di dalam pod diluar badan kapal.



Sumber: [Google.com](https://www.google.com)

Gambar 6 Electrical Pods

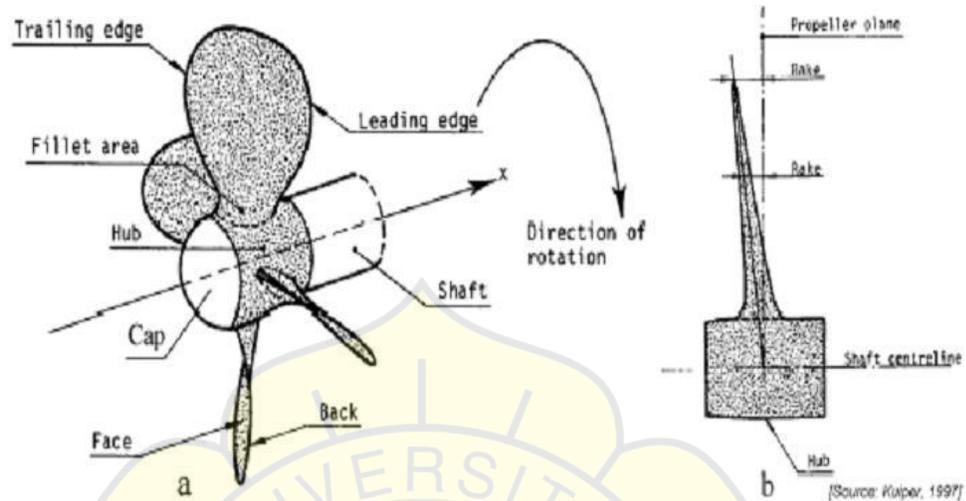
- **Waterjet propulsion** jenis ini adalah memanfaatkan fluida air untuk mendapatkan gaya dorong kapal. Propulsi jenis ini banyak digunakan untuk kapal berkecepatan tinggi, air yang melewati impeler dipercepat dengan menggunakan pompa melewati bagian bawah lambung kapal, selanjutnya meninggalkan kapal dari bagian buritan kapal.



Sumber: [Google.com](https://www.google.com)

Gambar 7 Waterjet Propulsion

2.1.2. Bagian-bagian Propeller



Sumber: Google.com

Gambar 8 Bagian - Bagian Propeller

- *Hub* atau bos dari baling-baling di cakram tengah padat, bos-an untuk poros baling-baling, di mana baling-baling baling-baling terpasang. Karena hub tidak menghasilkan drive, yang ideal adalah menghilangkannya. Sebagai masalah praktis, meskipun, hub jarang bisa kurang dari 14 persen dari diameter agar memiliki kekuatan yang cukup.
- *Keyway* atau alur pasak (spi) poros baling-baling paling mengirimkan torsi dari poros ke baling-baling melalui kunci. itu adalah, persegi panjang logam ramping panjang di sepanjang poros yang cocok dengan slot atau alur pasak yang digiling (dipotong) ke interior di hub.
- *Blades* atau bilah baling-baling adalah sirip atau foil bengkok yang keluar dari hub. itu adalah tindakan dari bilah yang menggerakkan perahu melalui air.
- *Blade Face and Back Blade* atau muka bilah adalah sisi bertekanan tinggi, atau permukaan bertekanan, dari blade. itu adalah sisi yang mendorong air ketika

perahu bergerak maju. bagian belakang bilah adalah sisi bertekanan rendah atau muka suntikan dari bilah, sisi yang menghadap ke depan.

- *Blade Root and Blade Tip* adalah titik di mana blade terpasang ke hub. ujung bilah adalah ujung bilah terluar yang ekstrem, sejauh mungkin dari pusat poros baling-baling.
- *Leading and Trailing Edges* adalah ujung pisau yang membelah air. tepi belakang adalah tepi dari mana air mengalir.

2.2. Kavitasasi

Kavitasasi adalah fenomena perubahan fase uap dari zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya berkurang hingga dibawah tekanan uap jenuhnya. Kavitasasi pada bagian ini disebabkan karena tekanan isap terlalu rendah. Knapp menemukan bahwa mulai terbentuknya gelembung sampai gelembung pecah hanya memerlukan waktu sekitar 0,003 detik. Gelembung ini akan terbawa aliran fluida sampai akhirnya berada pada daerah yang mempunyai tekanan lebih besar daripada tekanan uap jenuh cairan. Pada daerah tersebut gelembung tersebut akan pecah dan akan menyebabkan *Shock* pada dinding di dekatnya. Cairan akan masuk secara tiba-tiba ke ruangan yang terbentuk akibat pecahnya gelembung uap tadi sehingga mengakibatkan tumbukan.

Peristiwa ini akan menyebabkan terjadinya kerusakan mekanis pada pompa sehingga bisa menyebabkan dinding akan berlubang atau bopeng. Peristiwa ini disebut dengan erosi kavitasasi sebagai akibat dari tumbukan gelembung-gelembung uap yang pecah pada dinding secara terus menerus.

2.2.1. Pengaruh Kavitasasi Terhadap Kinerja

Pada tiga tulisan sebelumnya telah mengenal pengaruh kavitasasi dan klasifikasi kavitasasi berdasarkan penyebab utamanya. Kali ini kita kembali memperdalam pengaruh kavitasasi ini secara lebih detil. Sebelumnya kita telah tahu pengaruh kavitasasi secara umum adalah sebagai berikut :

- Berkurangnya kapasitas pompa
- Berkurangnya *Head (Pressure)*
- Terbentuknya gelembung-gelembung udara pada area bertekanan rendah didalam selubung pompa (*Volute*)
- Suara bising saat pompa berjalan.
- Kerusakan pada *Propeller*

2.3. Luasan Baling Baling

Luasan baling baling terbagi menjadi dua bagian, yang pertama *Leading Edge* yang dimana posisinya ada di bagian depan yang memotong aliran air dimana akan menjadi gaya dorong. Sedangkan *Trailing Edge* posisinya dibelakang yang berfungsi sebagai penerima aliran air [3].

2.4. Hambatan dan Propulsi Kapal

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

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

- A. Hambatan Gesek (*Frictional Resistance*).
- B. Hambatan Gelombang (*Wave Making Resistance*).
- C. Hambatan Bentuk (*Eddy Making Resistance*).
- D. Hambatan Udara (*Air Resistance*).
- E. Hambatan Tambahan (*Appendage Resistance*).

A. Hambatan Gesek (*Frictional Resistance*)

Hambatan gesek adalah suatu keadaan yang terjadi dikarenakan adanya partikel atau volume air yang melekat pada bagian kapal yang tercelup dengan air (WSA) yang sedang bergerak dan biasa disebut lapisan atas (*Boundary Layer*). Di dalam daerah lapisan batas tersebut kecepatan gerak dari partikel-partikel zat cair dalam hal ini air laut, bervariasi dari 0 (nol) pada permukaan kulit kapal menjadi maksimum sama dengan besarnya kecepatan gerak aliran zat cair pada tepi dari lapisan batas tersebut. Dengan adanya perbedaan kecepatan partikel tersebut menimbulkan suatu perbedaan gaya *viscositas* yang mengakibatkan terjadinya gaya gesek.

B. Hambatan Gelombang (*Wave Making Resistance*)

Kapal yang bergerak dalam air akan mengalami hambatan sehingga menimbulkan gelombang yang terbentuk akibat terjadinya variasi tekanan air terhadap lambung kapal pada saat kapal bergerak dengan suatu kecepatan tertentu.

C. Hambatan Bentuk (*Eddy Making Resistance*)

Hambatan bentuk atau *Eddy Making Resistance* adalah suatu keadaan yang terjadi dikarenakan partikel fluida yang bergerak melewati WSA kapal sebagiannya ada yang terpisah pada buritan kapal. Partikel air yang terpisah pada buritan kapal tersebut membuat suatu pusaran dan pusaran tersebut membuat gaya yang berlawanan dengan arah maju kapal sehingga menimbulkan hambatan.

D. Hambatan Udara (*Air Resistance*)

Hambatan Udara atau *Air Resistance* adalah suatu hambatan yang terjadi pada bagian diatas *freeboard* kapal sampai dengan bangunan atas kapal, yang terjadi dikarenakan adanya gaya pada udara yang arahnya berlawanan dengan arah kapal. Hambatan udara diperkirakan sebesar 2% ~ 4% dari hambatan total kapal.

E. Hambatan *Appendage*(*Appendage Resistance*)

Hambatan *Appendage* adalah hambatan yang disebabkan karena adanya penambahan-penambahan pada bagian badan kapal. Penambahan dari perhitungannya adalah dengan menambahkan sebesar 5% sampai dengan 8% dari pada hambatan total kapal rancangan.

Dalam tugas merancang kapal ini, perhitungan hambatan yang digunakan adalah perhitungan yang terdapat dalam *Sv. Aa. Harvald* terjemahan Sutomo Jusuf (1992:95 - 134) dan dalam buku Hambatan Kapal dan Daya Mesin Penggerak karangan Teguh Satrodiwongso.

2.5. Perhitungan Hambatan Kapal

2.5.1. Data-data Kapal

- *Length Over All (LOA)*
- *Length Between Perpendicular (LBP)*
- *Length Water Line (LWL)*
- *Breadth Moulded (B mld)*
- *Height Moulded (H mld)*
- *Draft Moulded (T mld)*
- *Freeboard (f)*
- *Coefficient Block (Cb)*
- *Coefficient Midship (Cm)*
- *Coefficient Waterline (Cw)*
- *Coefficient Prismatic (Cp)*
- *Displacement (Δ)*
- *Volume Displacement (∇)*
- *Velocity Speed (Vs)*
- *Wetted Surface Area (WSA)*
- *Longitudinal Center of Buoyancy (LCB)*

2.5.2. Perhitungan Hambatan Kapal Pada Kecepatan 10 *Knots*

- i. Menentukan minimal lima macam kecepatan kapal dalam satuan knot untuk diselidiki (catatan : jarak antar tiap kecepatan adalah 1 knot)
- ii. Kecepatan dalam satuan m/s

$$V_{(\text{knot})} = V_{(\text{knot})} \times 0,5144$$

- iii. Menentukan Angka Froude (F_n)

Menurut R.E Froude, hambatan gesek dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Fn = \frac{V \left(\frac{m}{s} \right)}{\sqrt{g \times LWL}}$$

iv. Menghitung Tahanan Gesek (R_F)

(Paper An Approximate Power Prediction Method Oleh J. Holtrop And G.G.J Mennen) [6]

a) Menentukan LR

$$L_R = LWL \left(1 + C_p + \frac{0,06 \times C_p \times \%LCB}{4C_p - 1} \right)$$

b) Menentukan nilai koefisien 12 (C_{12})

$$C_{12} = (T/LWL)^{0,2228446} \quad (\text{Untuk } T/L > 0,05)$$

c) Menentukan nilai koefisien 13 (C_{13})

$$C_{13} = 1 + 0,003 \times C_{\text{stern}}$$

d) Menentukan nilai harga faktor lambung ($1 + k_1$)

$$1 + k_1 = C_{13} (0,93 + C_{12} (B/L_R)^{0,92497} (0,95 - C_p)^{-0,521448} (1 - C_p + 0,025 \times \%LCB)^{0,6906})$$

e) Menentukan luas bidang basah kapal (S)

♣ Menurut J.A Normand

(Tim Dosen Perkapalan Jurusan Perkapalan Unhas, Perhitungan Tahanan Kapal; halaman 6) [7]

$$S_1 = LWL (1,5 T + (0,09 + C_b)B)$$

Menurut D.W Taylor

(Tim Dosen Perkapalan Jurusan Perkapalan Unhas, Perhitungan Tahanan Kapal; halaman 6) [8]

$$S_2 = LWL (1,7 T + 0,7 B)$$

$$S_{\text{mean}} = (S_1 + S_2) / 2$$

$$S_{\text{APP}} = 15 \% \times S_{\text{mean}}$$

$$S = S_{\text{mean}} + S_{\text{APP}}$$

f) Menghitung Reynold Number (R_n)

(M. Alham Djabbar, Tahanan Kapal; halaman 78)

Angka Reynold dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris yang dikemukakan dalam ITTC (International Towink Tank Conference) tahun 1957 berikut :

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

Dimana :

v = kecepatan kapal dalam m/s

LWL = length waterline

ν = viskositas air laut $1,1883 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

g) Menghitung Koefisien Gesek (C_F)

(M. Alham Djabbar, Tahanan Kapal; halaman 78)

Koefisien gesek dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris yang dikemukakan dalam ITTC (International Towink Tank Conference) tahun 1957 [9] berikut :

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

h) Menghitung Tahanan Gesek (R_F)

Koefisien gesek dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris berikut :

$$R_F = (1 + k_1) \times C_F \times 0,5 \times \rho \times S \times v^2$$

Dimana ;

C_F = Koefisien gesek (bergantung pada variasi kecepatan)

$1 + k_1$ = Harga faktor lambung

ρ = Massa jenis air laut

S = Luas bidang basah

v = Variasi kecepatan kapal dalam m/s

i. Menghitung Tahanan Tambahan Kapal (R_{APP})

(Paper An Approximate Power Prediction Method Oleh J. Holtrop And G.G.J Mennen) [6]

a) Harga faktor bagian tambahan $(1 + k_2)$ ditentukan dengan formula berikut :

$$(1 + k_2) = \sum E_2 / \sum E_1$$

Harga $\sum E_1$ dan $\sum E_2$ ditentukan berdasarkan tabel berikut :

Tabel 1 Harga Faktor Tambahan

Bagian	Ada = 1, Tidak = 0	Faktor	Produk
Rudder behind stern	1	1,3	1,3
Rudder behind skeg	1	1,5	1,5
Twin screw balance rudders	1	2,8	2,8
Shaft bracket	0	3	0
Skeg	1	1,5	1,5
Strut bossing	1	3	3
Hull bossing	0	2	0
Shaft	1	2	2
Stabilizer fins	0	2,8	0
Dome	0	2,7	0
Bilge keels	1	1,4	1,4
$\sum E_1$	7	$\sum E_2$	13,5

b) Harga hambatan bagian tambahan (R_{APP})

dapat ditentukan dengan formula berikut :

$$R_{APP} = (1 + k_2) \times C_F \times 0,5 \times \rho \times A_s \times v^2$$

Dimana :

C_F = Koefisien gesek (bergantung pada variasi kecepatan)

$1 + k_2$ = Harga faktor bagian tambahan

ρ = Massa jenis air laut yaitu

A_s = Luas bidang tambahan yaitu

v = Variasi kecepatan kapal dalam m/s

ii. Menghitung Tahanan Gelombang (R_w)

(Paper An Approximate Power Prediction Method Oleh J. Holtrop And G.G.J Mennen) [6]

a) Menghitung Sudut Entrance (i_E)

Menurut Gaguk Suhardjito dalam buku "Merencana Garis" halaman 11, sudut masuk haluan atau entrance (i_E) dapat dihitung dengan menginterpolasi tabel berikut :

Tabel 2 Sudut Entrance

C_p	I_E
0,40	9°
0,476	X
0,50	10°

b) Menghitung Koefisien C_7

Nilai koefisien C_7 dipengaruhi atau dibatasi oleh nilai B/L

B/L_{WL}

$$C_7 = B/L \quad \text{when } 0,11 < B/L < 0,25$$

c) Menghitung Koefisien C_1

Koefisien C_1 dihitung berdasarkan rumus empiris :

$$C_1 = 2223105 \times C_7^3 \times (T/B)^{1,07961} \times (90 - I_E)^{-1,37565}$$

Dimana :

C_7 =

T = Sarat kapal

B = Lebar kapal

I_E = Sudut masuk haluan

d) Menghitung Koefisien C_5

Koefisien C_5 dihitung berdasarkan rumus empiris :

$$C_5 = 1 - (0,8 \times A_T) / (B \times T \times C_m)$$

Dimana :

A_T = Luas transom yaitu (diambil dari tugas lines plan)

B = Lebar kapal

T = Sarat kapal

C_m = Koefisien midship

e) Menghitung Koefisien C_{16}

Nilai koefisien C_{16} dipengaruhi dan dibatasi oleh koefisien prismatic (C_p).

Koefisien C_{16} dihitung berdasarkan rumus empiris :

$$C_{16} = 8,07981 C_p - 13,8673 C_p^2 + 6,984388 C_p^3$$

$$\text{when } C_p < 0,80$$

f) Menghitung Koefisien m_1

koefisien m_1 dihitung berdasarkan rumus empiris :

$$m_1 = \frac{0,0140407 \times L}{T} - \frac{1,75254 \times \nabla^{1/3}}{L} + \frac{4,7932 \times B}{L} - C_{16}$$

Dimana :

L = Length waterline

T = Sarat kapal

B = Lebar kapal

∇ = Volume karena kapal

C_{16} = 1.458

g) Menghitung Koefisien C_{15}

Nilai koefisien C_{15} dipengaruhi dan dibatasi oleh $\frac{LWL^3}{\nabla}$. Koefisien C_{16} dihitung berdasarkan ketentuan berikut :

$$C_{15} = -1,69385 \quad \text{when for } \frac{LWL^3}{\nabla} < 512$$

h) Menghitung Koefisien m_2

Koefisien m_2 dihitung berdasarkan rumus empiris :

$$m_2 = C_{15} \times C_p^2 \exp(-0,1 \times F_n^{-2})$$

Dimana :

C_p = Koefisien prismatic

F_n = Froude number yang tergantung pada variasi kecepatan

i) Menghitung nilai λ

Nilai λ dipengaruhi dan dibatasi oleh $\frac{LWL}{B}$. $\frac{LWL}{B} = \frac{21.32}{7.32} = 2.912$. Nilai λ dihitung berdasarkan rumus empiri berikut :

$$\lambda = (1,446 \times C_p^2) - (0,03 L/B) \text{ When } L/B < 12$$

j) Menghitung Tahanan Gelombang (R_w)

Harga tahanan gelombang (R_w) dapat ditentukan dengan formula berikut :

$$R_w = C_1 \times C_2 \times C_5 \times \nabla \times \rho \times \exp \{ m_1 \times F_n^d \times m_2 \times \cos(\lambda \times F_n^{-2}) \} / 1000$$

Dimana :

∇ = Volume karena kapal

ρ = 1025 kg/m³

F_n = Froude number berdasarkan variasi kecepatan

m_2 = Koefisien tahanan berdasarkan variasi kecepatan dan froude

iii. Menghitung Tahanan Transom (R_{TR})

(Paper An Approximate Power Prediction Method Oleh J. Holtrop And G.G.J Mennen) [6]

a) Menghitung Koefisien F_{nT}

Nilai koefisien F_{nT} dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$F_{nT} = \frac{v}{\sqrt{2 \times g \times A_T / (B + B \times C_{WP})}}$$

Dimana :

v = Variasi kecepatan kapal dalam

g = Percepatan gravitasi

A_T = Luas transom (diambil dari tugas lines plan)

B = Lebar kapal

C_{WP} = Koefisien waterline kapal Sehingga

b) Menghitung Koefisien C_6

Nilai koefisien C_6 dibatasi dan dipengaruhi oleh harga F_{nT} . Nilai koefisien C_6 dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$C_6 = 0,2 (1 - 0,2 * F_{nT}) \text{ when for } F_{nT} < 5$$

c) Harga tahanan transom (R_{TR}) dapat ditentukan dengan formula berikut :

$$R_{TR} = 0,5 \times \rho \times A_T \times v^2 \times C_6$$

Dimana :

ρ = Massa jenis air laut

A_T = Luas transom (diambil dari tugas lines plan)

v = Variasi kecepatan kapal dalam

C_6 = Koefisien tahanan akibat transom

iv. Menghitung Tahanan Angin (R_A)

(Paper An Approximate Power Prediction Method Oleh J. Holtrop And G.G.J Mennen) [6]

a) Menentukan koefisien C_4

Nilai koefisien C_4 dibatasi dan dipengaruhi oleh nilai $\frac{T_F}{LWL} \cdot \frac{T_F}{LWL} = \frac{2.70 \text{ m}}{21.32 \text{ m}} =$

0.126, sehingga formula yang digunakan adalah :

$$C_4 = 0,04 \quad \text{When } \frac{T_F}{LWL} > 0,04$$

b) Menentukan koefisien tahanan angin (C_A)

Nilai koefisien tahanan angin dibagi menjadi dua bagian yaitu :

$$C_{A1} = 0,006 (Lwl + 100)^{-0,16} - 0,00205 + 0,003 \sqrt{\frac{LWL}{7,5 \times C_b}} \times C_2 \times (0,04 - 0,04)$$

$$C_{A2} = (0,105 \times K_s^{1/3} - 0,005579) / L^{1/3} \quad (\text{Dimana } K_s = 150 \mu\text{m} = 150 \times 10^{-6})$$

$$C_A \text{ total} = C_{A1} + C_{A2}$$

c) Menentukan tahanan angin (R_A)

Tahanan angin (R_A) dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$R_A = 0,5 \times \rho \times S_{\text{angin}} \times v^2 \times C_A$$

Dimana :

ρ = Massa jenis udara

S_{angin} = Luas bidang tangkap angin

v = Variasi kecepatan kapal

C_A = Koefisien tahanan angin

v. Menghitung Tahanan Total (R_{TOT})

Tahanan total dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$R_{TOT} = (R_F + R_{App} + R_W + R_{TR} + R_B + R_A)/1000 \text{ (KN)}$$

Dimana :

R_F = Tahanan gesek (N)

R_{APP} = Tahanan bagian tambahan (N)

- R_W = Tahanan gelombang (N)
- R_{TR} = Tahanan akibat bentuk transom (N)
- R_A = Tahanan disebabkan angin (N)

vi. Menentukan Tahanan Total Akibat Jalur Pelayaran (R_T)

Untuk kondisi rata-rata pelayaran dinas harus diberikan kelonggaran tambahan pada tahanan dan gaya efektif yang disebabkan oleh angin, erosi dan fouling pada badan kapal. Tambahan kelonggaran ini sangat tergantung pada jalur pelayaran. Kelonggaran rata-rata (*sea margin/service margin*) untuk tahanan atau daya efektif direncanakan sbb: Jalur pelayaran Asia Timur, 15-20 %. Pada perancangan kapal ini diambil sea margin sebesar 15%, sehingga :

vii. Menghitung Daya Efektif (EHP)

Daya efektif (EHP) dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$EHP = R_{TOT} \times V_{(m/s)}$$

viii. *Shaft Horse Power* (SHP)

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

$$SHP = EHP \times (PC)^{-1}$$

Dimana,

SHP = *Shaft Horse Power* kapal

PC = *Propulsive Coefficient*.

$$= \eta_{HX} \eta_{rX} \eta_{PO}$$

η_H = *Hull Efficiency*.

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

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

Menurut *Taylor*

$$w = -0.20 + 0.5 \times C_b$$

$$t = k \times w \quad \text{dimana } k = 0,55 \sim 0,70$$

Efisiensi lambung kapal (η_H) :

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

η_{rr} = Efisiensi *Rotary* relatif

$$= 1.00$$

η_{po} = Efisiensi baling-baling = 0,55 ~ 0,65

ix. Brake Horse Power (BHP)

Dimana koreksi yang dilakukan adalah

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

Maka :

$$BHP = SHP + (3 + 3 + 15) \% \times SHP$$

2.5. Penentuan Ukuran Utama Baling-Baling Kapal

Baling-baling adalah suatu alat penggerak kapal yang dapat menghasilkan daya dorong yang melebihi hambatan total kapal, sehingga kapal dapat bergerak dengan kecepatan yang direncanakan. Sebagai alat penggerak kapal, kondisi kerja baling-baling dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti; hubungan kerjanya dengan lambung kapal, pengaruh kavitasi, bentuk dan ukuran geometris baling-baling tersebut [10].

Kapal yang sedang berlayar merupakan suatu benda yang bergerak di air dan udara. Pada saat kapal bergerak maka dengan sendirinya kapal tersebut akan mengalami gaya lawan (*Resisting Force*) dari media yang dilaluinya. Gaya yang menahan tersebut harus diatasi dengan gaya dorong ke depan yang diberikan oleh suatu mekanisme penghasil gaya dorong. Mekanisme demikian adalah baling-baling. Baling-baling ini menghasilkan gaya dorong searah dengan gerakan kapal. Gaya dorong ini ditimbulkan dari gaya angkat (*lift*) yang timbul pada semua bagian yang bergerak.

Sistem propulsi yang terdiri dari propulsi (baling-baling kapal), mesin penggerak dan badan kapal (*hull*) harus dirancang yang paling efisien. Yaitu jumlah energi yang diperlukan untuk gaya dorong kapal harus sekecil mungkin. Dengan kata lain, semua elemen dalam dari sistem propulsi harus saling secocok mungkin. Sementara itu, kapal harus mempunyai kemampuan oleh gerak dan untuk kerja yang baik.

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

- A. Diameter baling-baling optimum
- B. *Thrust horse power*
- C. Putaran baling-baling
- D. Jumlah daun baling-baling
- E. Efek kavitasi terhadap baling-baling
- F. Kekuatan baling-baling.

Dalam tugas perancangan mesin kapal ini, perhitungan yang digunakan adalah perhitungan yang terdapat dalam buku *Sv. Aa. Hrvald* terjemahan Sutomo Jusuf dan Diktat Propulsi Kapal (*Ship Propulsion*), karangan Teguh Sastrodiwongso, MSE.

A. Istilah Yang Digunakan

Istilah-istilah yang digunakan dalam perencanaan baling-baling ini adalah :

A. Faktor Arus Ikut (w)

Faktor arus ikut atau *wake fraction* adalah perbandingan antara kecepatan wake (V_w) dengan kecepatan kapal (V_s).

B. Advance Speed (V_a)

Advance Speed (V_a) adalah selisih dari pada *pitch* baling-baling dengan harga *slip* baling-baling dalam knot.

C. Advance Speed dari Propeller (v_e)

Advance Speed (V_a) adalah selisih dari pada *pitch* baling-baling dengan harga *slip* baling-baling dalam meter per *second*.

D. Revolution Per Minute (RPM)

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

E. Revolution Per Second (Rps)

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

F. Pitch Ratio (H_o/D_o)

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

G. Diameter Tentative (D)

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

H. Konstanta kavitasi (σ)

Penetapan perhitungan kavitasi pada jari-jari yang telah ditentukan (R). Pada perhitungan kavitasi yang dipakai adalah $\sigma_{0,7}$ karena pada jari-jari 0,7 tempat biasanya terjadi kavitasi.

I. *Project Blade Area* (F_p)

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

J. *Developed Blade Area* (F_a)

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

K. *Expanded Ratio* (F_a/F)

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

2.5.1 Perencanaan Baling-Baling Kapal

Perencanaan penentuan dimensi baling-baling akan sangat menentukan terhadap hasil dari kinerja kapal rancangan. Adapun perencanaan baling-baling tersebut adalah sebagai berikut.

A. Faktor Arus Ikut (w)

Untuk menentukan faktor arus ikut atau *wake friction* dari kapal rancangan digunakan rumus *Taylor* dalam buku Propulsi Kapal oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso MSE, halaman 99 untuk kapal *single screw* adalah :

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

Dimana :

w = *Wake Friction*

C_b = *Coefficient Block* kapal

B. Advance Speed (V_a)

Untuk menentukan *Advance Speed* dari kapal digunakan rumus yang terdapat dalam buku Propulsi Kapal [11] adalah :

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

Dimana :

V_a = *Advance speed of propeller.*

w = *Wake Friction*

V_s = Kecepatan kapal.

C. Advance Speed Dari Propeller (v_e)

Untuk menentukan *advance speed of propeller* dari kapal digunakan rumus yang terdapat dalam buku Propulsi Kapal [11] adalah :

$$v_e = (1 - w) \times V_s \times 1,025$$

Dimana :

v_e = *Advance speed of propeller.*

w = *Wake Friction*

V_s = Kecepatan kapal.

D. Koreksi RPM Baling-baling (N_K)

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

Rpm = Putaran mesin utama kapal

= digunakan *reduction gear*

E. Diameter Baling-baling *Tentative* (D)

Untuk menentukan *diameter tentative* digunakan rumus yang terdapat dalam buku [3, p. 181], yaitu :

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

Dimana :

D = Diameter *Propeller*

T = *Draft* kapal.

F. Gaya Dorong Atau *Thrust* (T)

Untuk menentukan gaya dorong atau *thrust* (T) digunakan rumus yang terdapat dalam buku Propulsi Kapal [11, p. 21], yaitu :

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

Dimana :

T = *Trust* atau Angka Dorong.

R_T = Hambatan total kapal

w = *Wake Friction*

G. Penentuan Jumlah Daun Baling-Baling (Z)

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

2. Bila harga koefisien $K'd \leq 2$ atau $K'n \leq 1,0$; maka disarankan memilih jumlah daun $Z = 4$.

Untuk kapal rancangan ini adalah :

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

Dimana :

D = Diameter *Propeller*.

ve = *Advance speed of propeller*.

T = Gaya dorong (*Thrust*).

ρ = *Density* air laut.

ρ = 104,5 Kg.s²/m⁴

H. Diameter Optimum, Pitch Ratio dan Propeller Efficiency

1. Koefisien Baling-Baling

Untuk menentukan koefisien baling-baling menggunakan rumus, yaitu :

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

Dimana :

N_K = Koreksi Putaran baling-baling

SHP = *Shaft Horse Power*

Va = *Advance speed of propeller*.

2. Koreksi Advance Coefficient (δ_K)

Dalam perencanaan baling-baling tunggal (*single screw*) ini dari “*Open condition*” menjadi “*Behind condition*” perlu dilakukan koreksi. Untuk menentukan koreksi *advance Coefficient* (δ_K) digunakan pernyataan yang terdapat dalam buku Propulsi Kapal [11, p. 116] untuk kapal dengan *single screw*, yaitu :

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

Dimana :

δ_K = Koreksi Advance Coefficient.

% = Persentase koreksi.

= 4%

I. Diameter Optimum (Do)

Untuk menentukan Diameter Optimum (Do) digunakan rumus yang terdapat dalam buku Propulsi Kapal oleh Ir. Teguh Sastrodiwongso MSE halaman 117, yaitu :

$$Do = \frac{\delta_k \times Va}{N_K} \times 0.3048 \dots \dots \dots (m)$$

Dimana :

Do = Diameter Optimum.

δ_K = Koreksi Advance Coefficient.

Va = Advance Speed dari propeller.

N_K = Koreksi Putaran baling-baling

2.5.2 Perhitungan Kavitasasi

Kavitasasi terjadi karena adanya butiran-butiran gelembung-gelembung pada daun *propeller* yang disebabkan karena adanya penurunan tekanan sampai dengan temperatur setempat. Gelembung-gelembung tersebut lalu berpindah, namun karena tekanan pada sekitar *propeller* tersebut besar sehingga gelembung-gelembung tersebut pecah. Dengan pecahnya gelembung-gelembung udara tersebut, menimbulkan suatu gaya. Walaupun gaya tersebut kecil namun apabila gelembung-gelembung tersebut pecah pada dan dekat

dengan daun baling-baling yang terjadi secara terus menerus akan mengakibatkan erosi pada baling-baling.

Akibat terjadi kavitasi dapat menyebabkan :

1. Berkurangnya gaya dorong kapal.
2. Berkurangnya *Propulsive Efficiency* (η_p).
3. Terjadinya getaran pada lambung kapal.
4. Terdengarnya suara berisik pada bagian buritan kapal.
5. Terjadinya erosi pada baling-baling kapal.
6. Apabila ini berlangsung terus menerus dapat mengakibatkan *Propeller* retak dan akan mengakibatkan daun baling-baling patah.

Oleh sebab itu untuk menentukan diameter baling-baling yang optimal, bebas kavitasi, serta mempunyai efisiensi yang cukup baik, maka harus diadakan perhitungan-perhitungan untuk penentuan diameter baling-baling.

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

A. Konstanta Kavitasi

Untuk menentukan kavitasi pada *propeller* yaitu pada posisi $\sigma_{0,7}$ digunakan rumus yang terdapat dalam buku Propulsi kapal [11], yaitu :

$$\sigma_{0,7} = \frac{(P - P_v) - \left(0,7 \times \frac{D}{2} \times \gamma\right)}{0,5 \times \rho \left(Va^2 + (0,7 \times \pi \times D \times n)^2\right)}$$

$P - P_v$ = Beda tekanan statik pada sumbu *propeller*.

D_o = *Diameter Optimum*.

ρ = Kerapatan air laut.

ρ = 104,5 Kg.s²/m⁴.

V_a = *Advance Speed dari propeller.*

= *Knot to m/s*

n = Koreksi putaran baling-baling per detik

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

Untuk menentukan beda tekanan statik pada sumbu baling-baling digunakan cara yang terdapat dalam buku Propulsi Kapal [11, p. 125], yaitu :

C. Koefisien Gaya Dorong (τ_c)

Untuk menentukan koefisien gaya dorong ini digunakan diagram *Burriel* pada buku [12, p. 409]. Dari diagram tersebut didapatkan harganya adalah sebagai berikut :

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

D. Penentuan *Thrust* (T)

Untuk menentukan *trust* digunakan rumus yang terdapat dalam buku Propulsi Kapal (*Ship Propulsion*) [11, p. 126], yaitu :

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

T = *Thrust.*

SHP = *Shaft Horse Power*

η_p = *Propulsive Effisiency.*

η_{rr} = *Rotative Effisiency*

v_a = Advance speed of propeller

= Knot = m/s

E. Penentuan *Project Blade Area* (FP)

Untuk menentukan *project blade area* digunakan rumus :

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

2.5.3. Tabel Perhitungan Kavitasasi

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

2.5.4. Pemilihan Baling-Baling

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