
HAMBATAN, PROPULSI & MOTOR INDUK KAPAL

3.1 Perhitungan Hambatan Kapal

Hambatan total kapal terdiri dari beberapa komponen hambatan, yang pertama yaitu viscous resistance (hambatan kekentalan) yang merupakan penjumlahan dari friction resistance dengan viscous pressure resistance. Kedua adalah wave resistance (hambatan yang diakibatkan oleh gelombang kapal).

Metode yang digunakan dalam perhitungan hambatan kali ini adalah : Holtrop & Mennen Method. *Sumber : Principle Naval Architect Vol. II page. 90 – 92.*

Dengan rumus hambatan total kapal :

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{tot} \cdot (C_F (1 + k) + C_A) + \frac{R_w}{W} W$$

3.1.1 Perhitungan Luas Permukaan Basah Badan Kapal (S_{tot})

Menghitung luasan permukaan basah atau terendam oleh air. Notasi dari permukaan ini dilambangkan dengan S,

$$S_{tot} = S + S_{app}$$

$$S = WSA \quad \text{dari hidrostatik atau}$$

$$= C_s \times (\nabla \times L)^{0.5} \quad (\text{Chapter 11 hal 11-9})$$

$$S = L(2T + B) \cdot C_M^{0.5} \cdot (0.4530 + 0.4425C_B - 0.2862C_M - 0.003467B/T + 0.3696C_{WP}) + 2.38A_{BT}/C_B$$

$$A_{BT} = \text{Cross sectional area of bulb in FP}$$

$$= 0 \quad (\text{Tidak memakai bulb})$$

$$S_{app} = \text{luasan dari daerah tonjolan (kemudi, boss dan propeller).}$$

3.1.2 Perhitungan Koefisien Tahanan Gesek (C_F)

Langkah berikutnya adalah penentuan angka Reynold dan angka Froude. Data yang diperlukan untuk menghitung angka-angka ini meliputi kecepatan kapal (v atau V_s), panjang garis air kapal (L_{wl}), grafitasi (g), dan koefisien viskositas kinematis (ν). Data tersebut kita masukkan dalam rumus:

$$R_n = v \cdot L_{wl} / \nu$$

$$\nu = \text{Kinematic viscosity}$$

$$= 1.18831 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$F_n = v / (g \cdot L_{wl})^{1/2}$$

Selanjutnya, dari data perhitungan tersebut dapat ditentukan besarnya koefisien gesek (C_F), yang dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$C_F = 0,075 / (\log R_n - 2)^2$$

3.1.3 Perhitungan Koefisien Faktor Bentuk (1+k)

Setelah menentukan besarnya Koefisien Tahanan Gesek, maka langkah berikutnya adalah menentukan Koefisien Bentuk. Dalam buku *Principles of Naval Architecture, vol. II, hal. 91* diberikan rumusan baku dari perhitungan Koefisien Bentuk (1 + k), yaitu:

$$1 + k = 1 + k_1 + [1 + k_2 - (1 + k_1)] \cdot Sapp/Stot$$

dimana :

$$1 + k_1 = 0,93 + 0,4871 \cdot c \cdot (B/L)^{1,0681} \cdot (T/L)^{0,4611} \cdot (L/L_R)^{0,1216} \cdot (L^3/\nabla)^{0,364} \cdot (1-C_P)^{-0,6042}$$

Selanjutnya dapat ditentukan besarnya L/L_R yaitu dengan cara memasukkan nilai-nilai yang kita peroleh pada perhitungan sebelumnya kedalam rumus berikut:

$$L/L_R = (4 \cdot C_P - 1) / (1 - C_P + 0,06 \cdot C_P \cdot L_{CB})$$

Dengan memasukkan data tersebut akan diperoleh besarnya notasi dari (1 + k_1), yaitu sebesar:

$$1 + k_1 = 0,93 + 0,4871 \cdot c \cdot (B/L)^{1,0681} \cdot (T/L)^{0,4611} \cdot (L/L_R)^{0,1216} \cdot (L^3/\nabla)^{0,364} \cdot (1-C_P)^{-0,6042}$$

Setelah itu, kita menentukan besarnya kostanta c yang menunjukkan fungsi dari bentuk buritan atau stern kapal. Menurut buku *Principles of Naval Architecture, vol. II, hal. 91*:

$$c = 1 + 0,011 \cdot C_{stern}$$

$$C_{stern} = -25, \text{ untuk pram dengan gondola}$$

$$c_{stern} = -10, \text{ untuk potongan bentuk V}$$

$$c_{stern} = 0, \text{ untuk bentuk potongan normal}$$

$$c_{stern} = +10, \text{ untuk potongan bentuk U dengan stern Hogner}$$

Untuk nilai dari (1 + k_2), sesuai dengan data yang ada dalam *Tabel 25 buku PNA Vol.2, hal. 92*, merupakan fungsi dari tipe tonjolan atau tambahan pada badan kapal, adalah sebagai berikut:

Type of appendage	Value of (1 + k_2)
Rudder of single-screw ship	1.3 to 1.5
Spade-type rudders of twin-screw ships	2.8
Skeg-rudders of twin-screw ships	1.5 to 2.0
Shaft brackets	3.0
Bossings	2.0
Bilge keels	1.4
Stabilizer fins	2.8
Shafts	2.0
Sonar dome	2.7

3.1.4 Perhitungan Koefisien Tahanan Udara (C_A)

Tahapan berikutnya adalah menentukan nilai dari Koefisien Tahanan Udara yang dilambangkan dengan notasi C_A , yang dapat dicari dengan persamaan dibawah ini:

$$C_A = 0,006 (L_{WL} + 100)^{-0,16} - 0,00205 \quad \text{untuk } T/L_{WL} > 0,04$$

$$C_A = 0,006 (L_{WL} + 100)^{-0,16} - 0,00205 + 0,003 (L_{WL}/7.5)^{0,5} C_B^4 C_2 (0,04 - T/L_{WL}),$$

untuk $T/L_{WL} < 0,04$

3.1.5 Perhitungan Koefisien Tahanan Gelombang (R_W/W)

Setelah melakukan perhitungan tahanan gesek dan udara maka langkah, selanjutnya adalah menentukan besarnya nilai Koefisien Tahanan Gelombang dari kapal. Besar nilai tersebut dapat diperoleh sesuai dengan rumus pada *Principles of Naval Architecture, vol. II hal. 92- 94* , sebagai berikut:

$$R_W/W = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot e^{m_1 F_n^{1,4} + m_2 \cos(\lambda \cdot F_n - 2)}$$

Dimana :

Untuk kecepatan rendah [$F_n \leq 0.4$]

$$C_1 = 2223105 C_4^{3,7861} (T/B)^{1,0796} (90 - i_E)^{-1,3757}$$

Dengan :

$$C_4 = B/L \quad \text{untuk } 0.11 \leq B/L \leq 0.25$$

$$d = 0.9$$

i_E = Half angle of entrance at the load waterline

$$= 125.67B/L - 162.25C_p^2 + 234.32C_p^3 + 0.1551 \left(LCB + \frac{6.8(T_a - T_f)}{T} \right)^3$$

T_a = moulded draft at AP [m]

T_f = moulded draft at FP [m]

T_a & $T_f = T$ [m]

$$C_2 = e^{-1,89} \frac{A_{BT} \gamma_B}{BT(\gamma_B + i)}$$

Dengan :

γ_B = Effective bulb radius

$$= 0.56A_{BT}^{0,5}$$

i = Effective submergence of the bulb

$$= T_f - h_B - 0.4464\gamma_B$$

T_f = Moulded draft at FP = T

h_B = Height of the centroid of the area ABT above base line
= 85% $D/2$

$$C_3 = 1 - 0.8 A_T / (BTC_M)$$

Dengan :

A_T = Immersed area of the transom at zero speed = 0

$$m_1 = 0.01404 L/T - 1.7525 \sqrt[3]{L} - 4.7932 B/L - C_5$$

Dengan :

$$C_5 = 8.0798.C_p - 13.8673.C_p^2 - 6.9844.C_p^3 \quad \text{untuk } C_p \leq 0.8$$

$$C_5 = 0.7301 - 0.7067 .C_p \quad \text{untuk } C_p \geq 0.8$$

$$m_2 = C_6 0.4e^{-0.034Fn^{-3.29}}$$

Dengan :

$$C_6 = -1.69385 \quad \text{untuk } L^3 / \nabla \leq 512$$

$$\lambda = 1.446C_p - 0.03L/B \quad \text{untuk } L / B \leq 12$$

3.1.6 Perhitungan Gaya Keatas pada Kapal atau Bouyancy (W)

Salah satu unsur yang perlu dihitung dalam menentukan besarnya tahanan total adalah gaya keatas yang ditimbulkan oleh fluida yang biasa dikenal dengan sebutan Bouyancy. Besarnya gaya keatas tersebut di notasikan dalam W, dimana rumusnya adalah sebagai berikut:

$$W = 1,025 \cdot \nabla \cdot g$$

Dimana:

W = Gaya keatas atau Bouyancy

∇ = Volume dari kapal

g = Gravitasi (9,81 m/s²)

3.1.7 Perhitungan Tahanan Total Kapal (R_T)

Tahanan terakhir dalam penentuan besarnya Tahanan Total suatu kapal adalah mensubstitusikan semua notasi yang kita peroleh dari perhitungan awal. Setelah mendapatkan nilai dari notasi seluruhnya maka kita dapat menentukan besarnya Tahanan Totalnya, yaitu dengan rumusan sebagai berikut:

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S_{tot} [C_F (1 + k) + C_A] + R_W/W \cdot W$$

Dimana:

ρ = massa jenis air laut

Daya efektif pada kapal dapat dicari dengan rumus ;

$$EHP = R_t \times v$$

Dimana :

R_T = Tahanan Total Kapal (KN)

v = Kecepatan Kapal (m/s)

Sehingga dengan memasukkannya ke dalam rumus akan didapatkan :

$$EHP = R_t \times v \text{ (KW)}$$

3.2 Perhitungan Ukuran Utama Baling-Baling

Sumber : Wageningen B – Series Polynomial

3.2.1 Input Data :

D = Diameter propeller

$$= 0.65 T \quad [m]$$

n = Putaran propeller

$$= 150 - 200 \text{ rpm } [\text{owner requirement}]$$

P/D = Pitch ratio

$$= 0.5 \leq P/D \leq 1.4$$

Z = Jumlah blade propeller

= 4 blade

$\frac{A_E}{A_O}$ = Expanded area ratio

= 0.40 ; 0.55 ; 0.70 ; 0.85 ; 1.0

$P_E = R_T \cdot V_s$ [kW]

Catatan :

PE = Daya efektif [kW]

R_T = Tahanan total [kN]

V_s = Kecepatan dinas [m/s]

3.2.2 Proses Perhitungan :

3.2.2. a Perhitungan Awal

V_a = Speed of advance

= $V_s \cdot (1 - w)$

Sumber : PNA vol. II hal. 163

Dimana :

$w = 0.3 C_b + 10 C_v \cdot C_b - 0.1$ [N]

$C_v = (1 + k) C_F + C_A$

C_F dan C_A dari perhitungan tahanan metode Holtrop.

$t = 0.10$

η_R = Relative rotative efficiency (0.98)

Harga diatas untuk single-screw ship with open stern (Transom stern type).

J = Advance coefficient = $\frac{V_a}{n \cdot D}$

3.2.2. b Perhitungan K_T ; K_Q dan Koreksi ΔK_T ; ΔK_Q

K_T ; K_Q ; ΔK_T ; ΔK_Q dihitung dengan *Wageningen B-Series Polynomial*.

$$K_T = \sum A_{abcd} \cdot J^a \cdot \left(\frac{P}{D}\right)^b \cdot \left(\frac{A_E}{A_O}\right)^c \cdot Z^d$$

$$K_Q = \sum B_{abcd} \cdot J^a \cdot \left(\frac{P}{D}\right)^b \cdot \left(\frac{A_E}{A_O}\right)^c \cdot Z^d$$

$$\Delta K_T = \sum C_{abcd} \cdot \left(\frac{A_E}{A_O}\right)^a \cdot \left(\frac{P}{D}\right)^b \cdot Z^c \cdot J^d$$

$$\Delta K_Q = \sum C_{abcd} \cdot \left(\frac{A_E}{A_O}\right)^a \cdot \left(\frac{P}{D}\right)^b \cdot Z^c \cdot J^d$$

Total $K_T = K_T + \Delta K_T$

Total $K_Q = K_Q + \Delta K_Q$

3.2.2. c Perhitungan Thrust (T) dan Torque (Q)

Dengan Rumus :

$$K_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} \Rightarrow T \text{ [Nm]} \quad K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5} \Rightarrow Q \text{ [Nm]}$$

3.3 **Pemilihan Motor Induk**

Setelah kita mendapatkan besarnya daya efektif dari kapal maka tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan efisiensi dari mesin yang akan digunakan sehingga dapat menghasilkan daya yang sesuai dengan kebutuhan.

3.3.1 **Efisiensi Propeller (Propulsive Coeficient)**

Rumus :

$$\eta = \eta_H \times \eta_o \times \eta_{RR}$$

Dimana :

$\eta = \eta_D$: efisiensi propeller (Propulsive Coeficient)

η_H : efisiensi badan kapal

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

$$t = k \times w$$

t = trust deduction power

w = wake friction, besarnya dapat dilihat pada *table PNA Vol II, hal 185*

η_o : efisiensi baling-baling yang terpasang pada bagian belakang kapal

η_{RR} : efisiensi relatif rotatif

besarnya 1.02 – 1.05 untuk tipe kapal propeller single screw

3.3.2 **Delivery Horse Power (DHP)**

Selanjutnya adalah perhitungan daya delivery yang dibutuhkan oleh propeller, yaitu :

$$DHP = EHP / \eta \quad [\text{kW}]$$

3.3.3 **Shaft Horse Power (SHP)**

Dari propeller daya/gaya dorong akan diteruskan ke mesin induk melalui poros (shaft). Di poros tersebut daya akan tereduksi sekitar 0.98 – 0.985. Selain di poros reduksi juga terjadi pada gear sekitar 0.98.

$$SHP = \frac{P_D}{\eta_S \cdot \eta_{rg}} \quad [\text{kW}]$$

3.3.4 **Break Horse Power (BHP)**

Setelah DHP diketahui maka selanjutnya adalah menghitung daya break yang dibutuhkan oleh mesin yang akan kita pilih, yaitu :

$$BHP = DHP + x \% DHP \quad [\text{kW}]$$

x merupakan persentase yang di perhitungkan dengan mengacu pada peletakan mesin serta daerah pelayarannya (kamar mesin di belakang 3% dan daerah pelayaran 30%).