

PARAMETER DESIGN PROPELLER KAPAL

Mohd Ridwan, Sulaiman
Program Studi Diploma III Teknik Perkapalan Undip

ABSTRAK

Designer propeller kapal harus mempertimbangkan berbagai parameter untuk menghasilkan bentuk, type dan ukuran propeller yang memiliki nilai efektifitas dan efisiensi propulsi tinggi. Propulsi kapal merupakan faktor yang mendominasi operasional kapal, karena pemakaian bahan bakar untuk operasional propulsi kapal merupakan 42% dari total cost operasional kapal dan merupakan added value yang akan diperoleh oleh perusahaan pelayaran. Pertimbangan parameter desain propeller ergonomis dapat mendukung tujuan di atas sehingga dapat menurunkan pemakaian bahan bakar hingga 20 % saat kapal dioperasikan.

Keywords: Propeller, Design.

Pendahuluan

Pertimbangan penghematan bahan bakar dalam operasional harus dilakukan oleh perusahaan pelayaran dalam setiap kali kapal berlayar, hal ini dapat dicapai dengan mendesain propeller sedemikian rupa dengan mempertimbangkan berbagai parameter desain yang menyangkut ukuran, type dan bentuk daun propeller. Kebijakan ini sangat strategis untuk menekan biaya operasional yang mendominasi pemakaian bahan bakar dimana dapat mencapai 42% dari seluruh biaya (*operational cost*) yang dibutuhkan untuk mengoperasikan sebuah kapal. Hal ini dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 1. . Distribusi *operasional cost* armada kapal.

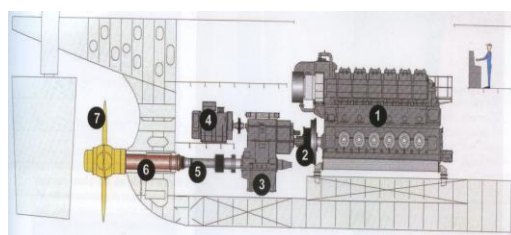
<i>Operasional Cost Item</i>	<i>Persentase</i>
<i>Crews Cost</i>	18%
<i>Port Charge</i>	25%
<i>Fuel Cost</i>	42%
<i>Stores & Lubrication</i>	3%
<i>Repair & Maintenance</i>	7%
<i>Administration</i>	1%
<i>Insurance</i>	4%
<i>Total</i>	100%

Sumber ; *Data Primer*

Namun hal ini dapat diminimalisir jika propeller kapal tersebut di rencanakan dengan parameter load engine, dimana operasional propeller berada pada torsi maksimum dengan memperhatikan karakteristik kerja dari motor induk kapal.

Parameter Performance Propeller

Power motor induk yang dipakai di kapal, dalam kenyataannya mengalami kehilangan tenaga secara mekanik (*mechanical losses*) saat tenaga ditransmisikan melalui poros propeller, pada umumnya peningkatan tahanan pada propeller dan badan kapal tidak merata, ini berpengaruh pada performance propeller. Sehingga untuk menunjukkan nilai kerja propeller yang di pasang di kapal, ini biasa dikenal dengan *propeller efficiency* (P_D) dan efisiensi propeller dalam air terbuka (*open water test*. P'_D), perbandingan kedua efisiensi ini biasa di sebut efisiensi relatif rotatif (*relative rotative efficiency*).



Gambar.1. Sistem propulsi kapal

Keterangan:

1. *Motor induk (indicated horse power, Ihp).*
2. *Break horse power, Bhp(P_B).*
3. *Gearbox.*
4. *Power take off.*
5. *Shaft propeller*
6. *Delivery/shaft horse power, Dhp/Shp(P_D).*
7. *Propeller-Efective horse power, P_E*

Efisiensi propulsi (P_C) secara keseluruhan (*overall propulsive efficiency*) merupakan pengembangan dari *power efektif* (P_E) yang dibagi dengan *power poros* (*shaft power*, P_S), modifikasi untuk badan kapal yang memiliki tambahan tahanan karena berbagai peralatan yang digunakan seperti *fin stabilizer*, dll, (P'_E), daya dorong propeller (*thrust power*, P_T) dan *efisiensi relatif rotatif* :

$$P'_E/P_T = \text{hull efficiency} = \eta_H$$

$$P_T/P_D = \text{propeller efficiency} = \eta_O$$

$$P'_D/P_D = \text{relative rotative efficiency} = \eta_R$$

$$P_D/P_S = \text{shaft transmission efficiency}$$

$$P_C = \left(\frac{\eta_H \times \eta_O \times \eta_R}{\text{appendage coefficient}} \right) \times \text{transmission efficiency}$$

Untuk kondisi eksperimen, maka perlu dikalikan dengan skala ukuran kapal sesungguhnya, biasanya disebut *quasi propulsive coefficient* (QPC , η_D).

Parameter Aliran di Sekeliling Propeller

Parameter aliran disekitar propeller biasa dikenal dengan *wake*. *Wake* merupakan interaksi antara kapal dengan air yang memiliki kecepatan relatif terhadap kapal. *Wake* terbagi atas tiga bagian, : *Kecepatan air di sekeliling badan kapal, lapisan air antara tahanan aliran air di sekitar dengan badan kapal, gelombang yang terbentuk akibat bergeraknya kapal di air*. Dua bagian yang pertama di atas akan mengurangi kecepatan air yang masuk ke propeller, sedangkan bagian ketiga dapat menaikkan dan mengurangi kecepatan tergantung pada gelombang yang terbentuk (apakah puncak atau palung) pada propeller.

Parameter Koefisien Fraksi Wake (*wake fraction coefficient*, w)

Kapal yang bergerak di air, akan membentuk lapisan yang bergesekan dengan badan kapal (*boundary layer*), biasanya dikenal dengan *friction belt*. Dalam lapisan gesekan ini kecepatan air di permukaan badan kapal sama dengan kecepatan kapalnya, dan kecepatan ini menurun pada lapisan luar atau lapisan yang berada pada jarak dengan badan kapal, bahkan kecepatan bisa nol untuk yang paling jauh.

Lebar/ketebalan lapisan gesekan ini tidak sama di sepanjang badang kapal, dimana ukurannya bertambah besar pada bagian

belakang, tipis pada bagian depan, serta sama/proporsional pada bagian tengah kapal. Ini berarti pengaruh kecepatan wake sepanjang kapal berbeda. Ditambah lagi dengan terbentuknya gelombang karena badan kapal yang bergerak di bagian depan dan belakang kapal. Semua hal di atas akan berpengaruh pada propeller yang bekerja pada daerah *wake*.

Kecepatan *wake* yang efektif pada propeller ini adalah V_w , yang memiliki arah sama dengan kecepatan kapal V , sehingga kecepatan air yang sampai ke propeller, V_a (*speed of advance of propeller*), kecepatan rata-rata aliran di disk propeller V_w , lebih rendah dari kecepatan kapal V .

Kecepatan *wake* efektif pada propeller : $V_w = V - V_a$, parameter koefisien fraksi *wake* di definisikan oleh Taylor sebagai berikut :

$$w = \frac{V_w}{V} = \frac{V - V_a}{V} \dots \text{akan diperoleh} \dots \frac{V_a}{V} = 1 - w$$

Besar koefisien *wake* fraksi ini tergantung pada bentuk badan kapal, juga lokasi atau penempatan dan dimensi propeller, hal ini banyak berpengaruh terhadap efisiensi propeller.

Diameter propeller atau perbandingan antara diameter propeller dengan ukuran panjang kapal, L_{WL} . juga berpengaruh pada koefisien fraksi *wake*, d/L_{WL} , mengindikasikan tingkat kerja propeller dalam lapisan *wake* badan kapal. Karena itu perbandingan d/L_{WL} yang besar menyebabkan w lebih kecil. Koefisien fraksi *Wake* ini akan bertambah jika badan kapal kasar (*fouled*).

Kapal dengan single propeller memiliki koefisien fraksi *wake* antara : 0,20 s/d 0,45, berhubungan dengan kecepatan aliran ke propeller V_a , 0,80 s/d 0,55 kecepatan kapal V . Koefisien blok besar, koefisien fraksi *wake* lebih besar. Pada kapal yang memiliki dua propeller, biasanya penempatan propeller di luar daerah lapisan gesek (*friction belt/boundary layers*) sehingga w akan lebih rendah.

Koefisien fraksi *wake* yang tinggi dapat menyebabkan propeller mengalami resiko kavitasi, karena kecepatan aliran yang tidak rata di sekitar propeller.

Wake yang homogen disekitar propeller dapat meningkatkan *advance velocity*, V_a , hal ini dapat menguntungkan dan dapat diperoleh dengan menenpatkan propeller di dalam *nozzle*, pelindung propeller, dan design bentuk badan

kapal yang memungkinkan untuk memperoleh lapisan wake optimum.

Parameter Deduksi Daya Dorong (*thrust deduction coefficient, t*)

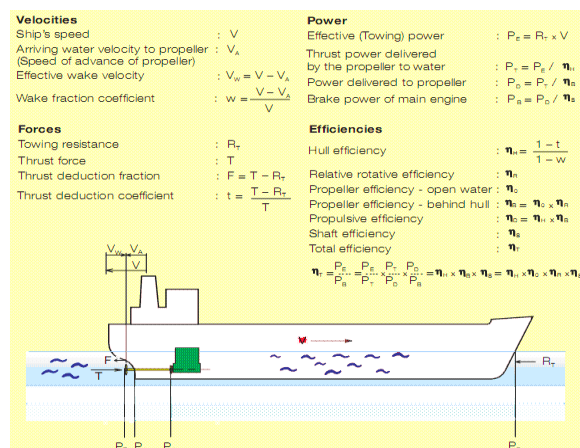
Putaran propeller menyebabkan air di bagian depannya terhisap ke arah belakang propeller. Hal ini akan menghasilkan tahanan ekstra badan kapal yang biasa disebut dengan *augment of resistance* atau dalam hubungannya dengan daya dorong total T (*total thrust*), yang dibutuhkan propeller adalah *thrust deduction fraction, F*. Ini berarti ada sebagian dari daya dorong yang hilang (R_T tahanan kapal dan F *loss thrust*).

Hubungan antara fraksi deduksi daya dorong F dengan koefisien deduksi daya dorong t adalah :

$$t \dots = \frac{F}{T} = \frac{T - R_T}{T} \dots \text{akan diperoleh} \dots \frac{R_T}{T} = 1 - t$$

Parameter t ini dapat diperoleh melalui percobaan dari berbagai bentuk badan kapal. Nilai parameter t sejalan dengan koefisien w , biasanya dipengaruhi dari bentuk badan kapal. Misalnya untuk kapal yang memiliki *bulbous stem* dapat mengurangi harga parameter t .

Nilai koefisien deduksi daya dorong ini, t , untuk kapal dengan single propeller antara 0,12 s/d 0,30 kapal yang memiliki blok koefisien besar akan memiliki t yang besar juga.



Gambar. 2. Parameter penting pada kapal

Parameter Efisiensi Propulsi

Badan kapal sangat berpengaruh dalam efisiensi propulsi, ada beberapa parameter efisiensi yang harus di ketahui sebelum mendesain sebuah propeller, antara lain :

Parameter Efisiensi Badan Kapal (*Hull efficiency, ηH*)

Parameter efisiensi badan kapal ini merupakan perbandingan antara tenaga efektif (*effective towing power, PE = RT x V*) dan power daya dorong propeller terhadap air (*thrust power, PT = T x Va*) :

$$\eta_H = \frac{P_E}{P_T} = \frac{R_T \times V}{T \times V_A} = \frac{R_T / T}{V_A / V} = \frac{1 - t}{1 - w}$$

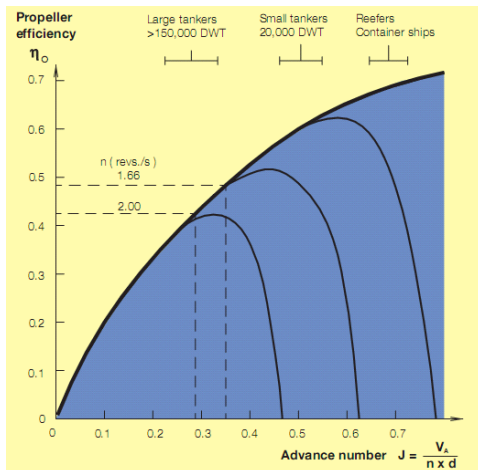
Biasanya untuk kapal dengan single propeller memiliki efisiensi badan kapal η_H antara 1,1 s/d 1,4, dengan *blok koefisien, Cb* yang besar. Untuk kapal dengan dua propeller dan bentuk buritan konvensional nilai parameter efisiensi badan kapalnya berkisar antara 0,95 s/d 1,05 nilai tertinggi untuk koefisien blok yang besar. Untuk *twin-skeg ship*-dua propeller nilai parameter efisiensi badan kapal hampir sama dengan kapal single propeller.

Parameter Propeller Pada Air Terbuka (*Open Water Prop Efficiency, ηo*)

Propeller yang bekerja dalam air terbuka (bukan di belakang kapal) memperoleh *wake* yang homogen (tanpa turbulen, gelombang, dll). Sehingga parameter efisiensi propeller tergantung pada *Advance velocity Va*, *Thrust force T*, *Laju putaran n*, dan *diameter propeller d*, serta *bentuk design propeller*, jumlah *daun*, perbandingan *luasan daun propeller*, perbandingan *pitch dengan diameter propeller*. Biasanya parameter efisiensi propeller η_o ini bervariasi antara 0,35 s/d 0,75, gambar di bawah ini, memperlihatkan hubungan antara efisiensi propeller η_o fungsi dari advance velocity V_a yang didefinisikan sebagai berikut :

$$J = \frac{V_A}{n \times d}$$

J , merupakan propeller *advance number*



Gambar.3. Hubungan antara J dan η_0

Parameter Relativ Rotativ (Relative Rotative Efficiency, η_R)

Laju aliran air yang melewati propeller apabila berada di belakang kapal tidak konstan tetapi alirannya berotasi/memutar (*rotational flow*), oleh karena itu jika dibandingkan dengan propeller yang bekerja pada air terbuka maka efisiensi propellernya dipengaruhi oleh faktor η_R , (yang dikenal dengan *relative rotative efficiency*).

Kapal dengan single propeller harga η_R berada antara 1,0 s/d 1,07. Hal ini menandai bahwa η_R memberi pengaruh yang menguntungkan. Untuk kapal yang memiliki dua propeller namun dengan bentuk buritan konvensional maka harga η_R berkisar 0,98.

Parameter Propeller Di Belakang Kapal η_B

Perbandingan daya dorong yang diberikan propeller ke air P_T , dengan tenaga yang ada di propeller P_D , merupakan efisiensi propeller yang bekerja di belakang kapal.

$$\eta_B = \frac{P_T}{P_D} = \eta_0 \times \eta_R$$

Parameter Efisiensi Propulsi (Propulsive Efficiency, η_D)

Parameter propulsi efisiensi merupakan perbandingan antara *efektif power* P_E dengan power yang ada pada propeller P_D :

$$\begin{aligned} \eta_D &= \frac{P_E}{P_D} = \frac{P_E}{P_T} \times \frac{P_T}{P_D} \\ &= \eta_H \times \eta_B = \eta_H \times \eta_0 \times \eta_R \end{aligned}$$

Nilai efisiensi propulsi ini akan tinggi jika propeller bekerja pada *wake* yang homogen.

Parameter Efisiensi Poros (Shaft Efficiency, η_S)

Shaft efficiency ini tergantung pada kelurusan poros, dan pelumasan pada bantalan poros dan reduction gear box. Parameter efisiensi ini sama dengan perbandingan P_D dan *power brake* P_B yang keluar dari *main engine*.

$$\eta_S = \frac{P_D}{P_B}$$

Biasanya nilai parameter efisiensi poros ini berkisar 0,985 atau mulai dari 0,96 s/d 0,995.

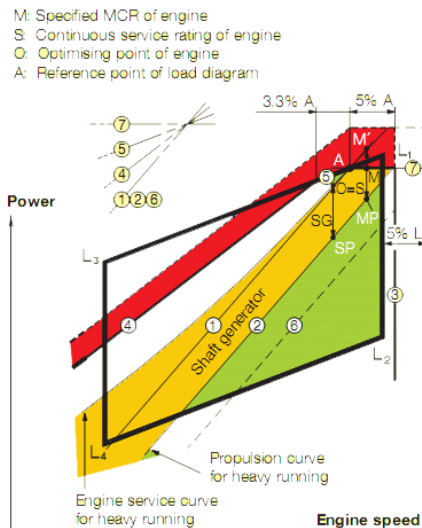
Parameter Efisiensi Total (Total Efficiency, η_T)

Efisiensi total ini merupakan perbandingan power efektif P_E dengan *power brake* P_B .

$$\begin{aligned} \eta_T &= \frac{P_E}{P_B} = \frac{P_E}{P_D} \times \frac{P_D}{P_B} \\ &= \eta_D \times \eta_S = \eta_H \times \eta_0 \times \eta_R \times \eta_S \end{aligned}$$

Parameter Load Diagram

Propeller harus dapat dioperasikan sampai maksimum *load engine*, hal ini dapat dilaksanakan saat uji *sea trial* kapal. diagram *load engine* dapat dilihat dalam gambar berikut.



Gambar. 4. Engine load diagram (MAN b&w)

Pada titik O diperoleh perbandingan injeksi bahan bakar dengan udara masuk yang paling baik dalam mengoperasikan sebuah motor induk, sehingga bahan bakar yang masuk dapat terbakar cara maksimal. Pada titik ini ditempatkan batasan maksimum pengoperasian motor selama pelayaran (*service continuous rating, SCR*) yang berada pada 85% s/d 100% dari daya motor. Titik O menjadi acuan pengoperasian propeller atau yang bisa dikenal *engine matching*. Daya motor dapat ditambahkan lagi jika kondisi sangat membutuhkan tambahan tenaga yang ditandai oleh titik M berada pada 110% daya motor.

Titik-titik yang ditandai dengan L_1, L_2, L_3, L_4 , merupakan batasan pengoperasian sebuah motor induk (*engine envelope*). Dimana garis L_1-L_3 dan L_2-L_4 dibatasi oleh tekanan efektif rata-rata (*mean effective pressure, mep*), serta L_1-L_2 dan L_3-L_4 , dibatasi oleh kecepatan atau putaran motor. Garis-garis yang menandai batas pengoperasian propeller diantaranya adalah :

- a. Garis 3, merupakan batas operasional kecepatan maksimum, yang berada pada 105% dari titik A/M, selama sea trial boleh dinaikan sampai 107% pada batas garis 9. walau masih diperbolehkan sampai 109 % namun hal ini tergantung dari kondisi getaran torsional motor.
- b. Garis 4, merupakan batasan di sebabkan oleh penyediaan atau suplai udara yang cukup untuk melakukan pembakaran bahan bakar di dalam

mesin, dan merupakan batas maksimum kombinasi antara torsi dan kecepatan.

- c. Garis 5, merupakan batas tekanan efektif rata-rata mesin (mep) saat oprasional secara kontinius. Garis 5 ini sama dengan 100 % mep-line, yang berhubungan dengan indeks pemakaian bahan bakar motor.
- d. Garis 7, merupakan maksimum daya atau power mesin yang disediakan untuk operasional secara kontinius.

Daya propeller bekerja pada area yang dibatasi oleh garis 4,5,7 dan 3 seperti yang terlihat pada gambar diagram di atas. Untuk propeller dengan pitch yang tetap jika beroperasi pada perairan tenang dan badan kapal bersih sebaiknya bekerja pada kurva 6 yang merupakan propeller load diagram efektif. Namun saat badan kapal sudah kotor maka kurva propeller ini akan bergeser di sebelah kiri garis 6 sampai mendekati garis 2, sehingga dibutuhkan tenaga tambahan dan propeller bekerja lebih keras. Pada kondisi cuaca yang tenang ternyata propeller bekerja lebih berat, maka ada kemungkinan kontoran yang menempel pada badan kapal dan propeller sudah harus dibersihkan, serta propeller dilapisi dengan anti fouling.

Area yang terdapat pada garis 4 dan 1, dapat digunakan untuk operasional kapal saat kondisi pelayaran dangkal, cuaca jelek dan membutuhkan akselerasi.

Sangat dianjurkan untuk mendesign propeller dengan kecepatan tinggi, agar dapat mengurangi penurunan effisiensi dan penambahan margine engine, yang akhirnya hal ini dapat menjadi faktor pemborosan bahan bakar.

KESIMPULAN

Dengan memperhatikan sebagai parameter design propeller diharapkan propeller dapat dioperasikan secara terus menerus sesuai batas-batas pengoperasian motor induk, yang dapat dilihat dari *load engine diagram*.

Parameter effisiensi propulsi dapat berubah setelah kapal mengalami penambahan tahananannya selama kapal berlayar, terutama akibat fouling, sehingga untuk lebih lanjut perlu diperhatikan batas penyediaan power motor induk dengan memperhatikan prameter : performance propulsi yang menggambarkan distribusi power yang dibutuhkan untuk

propulsi kapal tergantung pada kondisi laut tempat kapal dioperasikan.

Parameter wake dan thrust deduction factor sangat tergantung pada aliran air yang masuk propeller, ini dipengaruhi oleh parameter bentuk badan kapal dan penempatan propeller, serta parameter propulsi lainnya.

Dengan memperhatikan siklus operasional propeller sepanjang periode operasionalnya, akan diperoleh karakteristik power yang dibutuhkan oleh propeller untuk dapat bekerja secara optimal, sehingga dengan menenpatkan tiap load propeller yang dipertimbangkan saat perhatian pada parameter load engine, secara keseluruhan akan diperoleh pemakaian bahan bakar yang seimbang dengan power yang dihasilkan motor induk, lebih kurang dapat menghemat hampir 20% dari total kebutuhan bahan bakarnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Mueller, T. J. 1985. Low Reynolds Number Vehicles. Neuilly-Sur-Seine, France: Advisory Group for Aerospace Research and Development. NTIS, AGARDograph No. 288
2. Mcghee, R.J. And B.J. Walker And B.F. Millard. 1988. Experimental Results for the Eppler 387 Airfoil at Low Reynolds Numbers in the Langley Low- Turbulence Pressure Tunnel. Washington, D.C. NASA TM-4062.
3. Pauley, L.L. And P. Moin And W.C. Reynolds. 1989. The Instability of Two-Dimensional Laminar Separation. In Low Reynolds Number Aerodynamics: Proceedings of the Conference in Notre Dame, Indiana. June 5-7, 1989 by Springer-Verlag, 82-92. New York: Springer-Verlag
4. Streckwall, H.: (1997): Description of a Vortex Lattice Method for Propellers in Steady and Non Steady Flow, HSVA Report No. CFD 18 / 97, Hamburg

