

DESIGN EKONOMIS UNTUK PROPELLER KAPAL

Hartono *)

Abstract

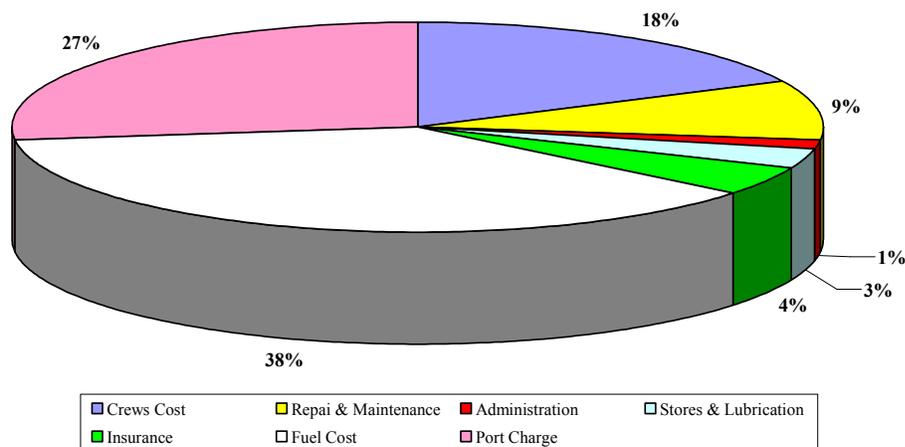
Increase of the price of world oil pushes liner to conduct action is economic from every operational unit in it's ship armada. One other most dominant in usage of fuel is Main engine is working to turn around propeller as ship actuator. On that account ship owner wants design propeller which is economic for it's ship to can reduce usage of fuel of 20% when sailing.

Keywords: Propeller, Design.

Pendahuluan

Peningkatan harga minyak dunia menyebabkan melonjaknya biaya operasional kapal yang harus dikeluarkan oleh perusahaan pelayaran dalam setiap kali kapal berlayar. Biaya operasional yang paling domi-

nan di kapal adalah pemakaian bahan bakar yang dapat mencapai 38% dari seluruh biaya (*operational cost*) yang dibutuhkan untuk mengoperasikan sebuah kapal. Ini dapat dilihat dalam gambaran berikut.



Gambar. Distribusi biaya operasional kapal (*data primer*)

Namun hal ini dapat diminimalisir jika kapal tersebut di rencanakan dengan menggunakan propeller yang dapat dioperasikan pada load engine yang berada pada torsi maksimum dengan memperhatikan karakteristik kerja dari motor induk yang digunakan dikapal. Sehingga pemakaian bahan bakar pada lebih ekonomis ini sangat ditentukan oleh performance propeller saat mendesigannya.

Performance Propeller

Propeller yang dipasang di kapal, dalam kenyataannya mengalami kehilangan tenaga secara mekanik (*mechanical losses*) pada saat tenaga ditransmisikan melalui poros propeller, pada umumnya peningkatan tahanan pada propeller dan bodi 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 rotativ (*relative rotative efficiency*).

Efisiensi propulsi (P_C) secara keseluruhan (*overall propulsive efficiency*) 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 (P_T) dan efisiensi relatif rotativ.:

$$\begin{aligned} P'_E/P_T &= \text{hull efficiency} = \eta_H \\ P_T/P_D &= \text{propeller efficiency} = \eta_O \\ P'_D/P_D &= \text{relative rotative efficiency} = \eta_R \\ P_D/P_S &= \text{shaft transmission efficiency} \\ P_C &= \left(\frac{\eta_H \times \eta_O \times \eta_R}{\text{appendage coefficient}} \right) \times \text{transmission efficiency} \end{aligned}$$

Untuk kondisi eksperimen ,maka perlu di kalikan dengan skala ukuran kapal sesungguhnya, biasanya disebut quasi propulsive coefficient(QPC , \square_D).

Kondisi Aliran Di Sekitar Propeller

Kondisi 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*

*) Staf Pengajar Jurusan D III Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik UNDIP

yang terbentuk akibat bergeraknya kapal di air. Dua bagian yang pertama diatas 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.

Koefisien Fraksi Wake (wake fraction coefficient, w)

Saat kapal bergerak di air maka akan terbentuk lapisan yang bergesekan dengan badan kapal (*boundary layer*) yang biasa 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 dbagian 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 : $V_w = V - V_a$, 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 pengaruhnya 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 bandan 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 menempatkan propeller di dalam nozzle, pelindung propeller, dan design bentuk badan kapal yang memungkinkan untuk memperoleh lapisan wake optimum.

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

Propeller yang berputar menyebabkan air di bagian depannya terhisap kearah 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 , yang dibutuhkan pada 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 :

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

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

Velocities

Ship's speed	: V
Arriving water velocity to propeller (Speed of advance of propeller)	: V_A
Effective wake velocity	: $V_w = V - V_A$
Wake fraction coefficient	: $w = \frac{V - V_A}{V}$

Forces

Towing resistance	: R_T
Thrust force	: T
Thrust deduction fraction	: $F = T - R_T$
Thrust deduction coefficient	: $t = \frac{T - R_T}{T}$

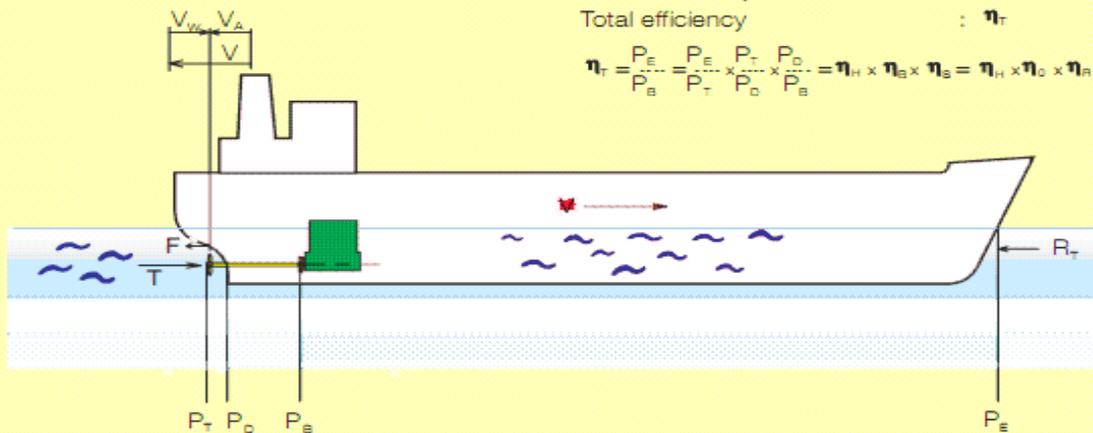
Power

Effective (Towing) power	: $P_E = R_T \times V$
Thrust power delivered by the propeller to water	: $P_T = P_E / \eta_H$
Power delivered to propeller	: $P_D = P_T / \eta_B$
Brake power of main engine	: $P_B = P_D / \eta_S$

Efficiencies

Hull efficiency	: $\eta_H = \frac{1-t}{1-w}$
Relative rotative efficiency	: η_R
Propeller efficiency - open water	: η_O
Propeller efficiency - behind hull	: $\eta_B = \eta_O \times \eta_R$
Propulsive efficiency	: $\eta_P = \eta_H \times \eta_B$
Shaft efficiency	: η_S
Total efficiency	: η_T

$$\eta_T = \frac{P_E}{P_B} = \frac{P_E}{P_T} \times \frac{P_T}{P_D} \times \frac{P_D}{P_B} = \eta_H \times \eta_B \times \eta_S = \eta_H \times \eta_O \times \eta_R \times \eta_S$$



Effisiensi Propulsi

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

Effisiensi Badan Kapal (Hull efficiency, η_H)

Effisiensi badan kapal ini merupakan perbandingan antara tenaga efektif (*effective towing power*, $P_E = R_T \times V$) dan power daya dorong propeller terhadap air (*thrust power*, $P_T = T \times V_A$):

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

Biasanya untuk kapal dengan single propeller memiliki efisiensi badan kapal η_H antara 1,1 s/d 1,4, dengan blok koefisien yang besar. Untuk kapal dengan dua propeller dan bentuk buritan konvensional nilai 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 efisiensi badan kapal hampir sama dengan kapal single propeller.

Effisiensi Propeller Pada Air Terbuka

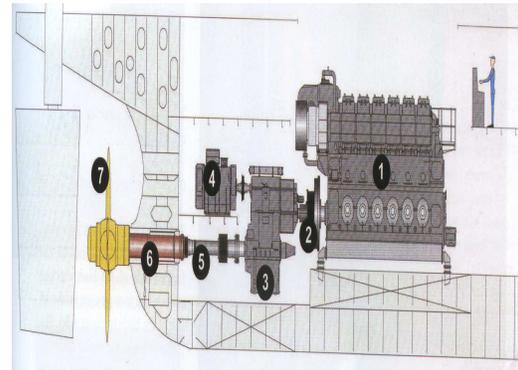
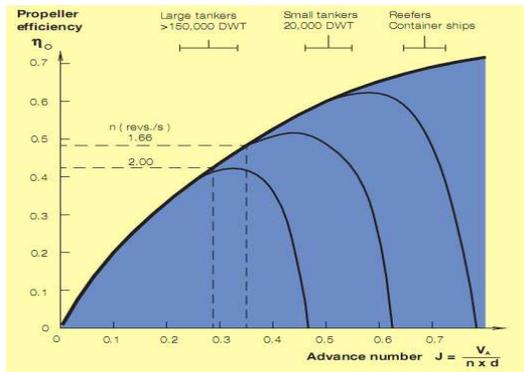
(Open Water Prop Efficiency, η_O)

Propeller yang bekerja dalam air terbuka (bukan di belakang kapal) memperoleh wake yang homogen (tanpa turbulen, gelombang, dll). Sehingga efisiensi propeller tergantung pada Advance velocity V_A , 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 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. Hubungan motor induk, badan kapal dan propeller

Efisiensi 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 popeller namun dengan bentuk buritan konvensional maka harga η_R berkisar 0,98.

Efisiensi 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.

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

Efisiensi Propulsi (Propulsive Efficiency, η_D)

Propulsi efisiensi merupakan perbandingan antara efektif power P_E dengan power yang ada pada propeller P_D :

$$\eta_D = \frac{P_E}{P_D} = \frac{P_E}{P_T} \times \frac{P_T}{P_D} = \eta_H \times \eta_B = \eta_H \times \eta_O \times \eta_R$$

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

Efisiensi Poros (Shaft Efficiency, η_S)

Shaft efisiensi ini tergantung pada kelurusan poros, dan pelumasan pada bantalan poros, reduction gear box. 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 efisiensi poros ini berkisar 0,985 atau mulai dari 0.96 s/d 0.995

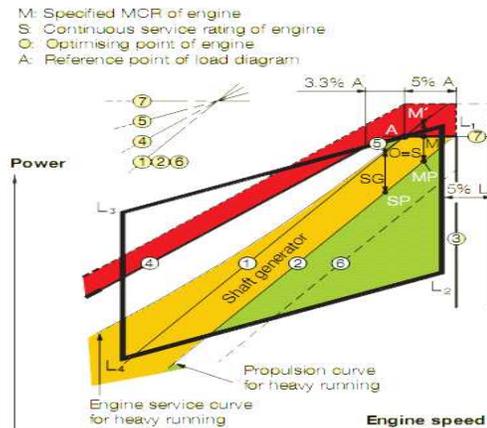
Efisiensi Total (Total Efficiency, η_T)

Efisiensi totla ini merupakan perbandingan power efektif P_E dengan power brake P_B .

$$\eta_T = \frac{P_E}{P_B} = \frac{P_E}{P_D} \times \frac{P_D}{P_B} = \eta_D \times \eta_S = \eta_H \times \eta_O \times \eta_R \times \eta_S$$

Optimum Load Diagram

Diharapkan design propeller yang akan dibuat dapat dioperasikan pada titik maksimum (O) atau paling optimal dalam operasional motor induk yang akan digunakan, dapat dilihat dalam diagram berikut.



Pada titik O ini diperoleh perbandingan injeksi bahan bakar dengan udara masuk yang paling baik dalam mengoperasikan mesin. Sehingga pada titik ini ditempatkan batasan maksimum pengoperasian motor selama pelayaran (SCR) yang berada pada 85% - 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 dimana berada pada 110% daya motor.

Titik-titik yang ditandai dengan L₁,L₂,L₃,L₄, merupakan batasan pengoperasian sebuah motor induk. Dimana garis L₁-L₃ dan L₂-L₄ dibatasi oleh tekanan efektif rata-rata (mean effective pressure, mep), serta L₁-L₂ dan L₃-L₄, dibatasi oleh kecepatan atau putaran motor. Garis-garis yang menandai batas pengoperasian propeller diantaranya adalah :

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.

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.

Garis 5, merupakan batas tekanan efektif rata-rata mesin (mep) saat oprasional secara kontinuis. Garis 5 ini sama dengan 100 % mep-line, yang berhubungan dengan indeks pemakaian bahan bakar motor.

Garis 7, merupakan maksimum daya atau power mesin yang disediakan untuk operasional secara kontinuis.

Kesimpulan

Design propeller yang baik seharusnya dapat diope-
rasionalkan secara terus menerus pada batas-batas pengoperasian motor induk, yang dapat dilihat dari standar performan engine.

Serta harus diperhatikan adalah effisiensi propulsi yang 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 kondisi laut tempat kapal dioperasikan.

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 menepel 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 efisiensi dan penambahan margine engine, yang akhirnya hal ini dapat menjadi faktor pemborosan bahan bakar.

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

