

ANALISA ENGINE PROPELLER MATCHING (EPM) PADA KAPAL RESCUE BOAT KARENA PERUBAHAN TAHAP POWERING PROCESS

Muhammad Sawal Baital¹⁾, Ari Bawono Putranto²⁾, Bambang Sri Waluyo¹⁾

¹⁾ Program Studi D-IV Teknik Rekayasa Konstruksi Perkapalan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

²⁾ Program Studi D-IV Teknik Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

ABSTRACT

This study is to investigate compatibility between installed main engine in ship with propeller design using theoretical approach and data series. A triple screw rescue boat conducted hard chain hull was used for study and analyze the effect of the changes in powering process stage by observing the result of open water efficiency based on Wageningen Data Series with cavitation analysis has been neglected. The study is considered using intersection between propeller thrust with thrust coefficient and open water efficiency on Wageningen B-Series for fixed pitch propeller. The result indicated that propeller characteristic B5-76 with 41% of efficiency has compatibility with specification of installed main engine.

Keywords : engine; EPM; propeller; powering process

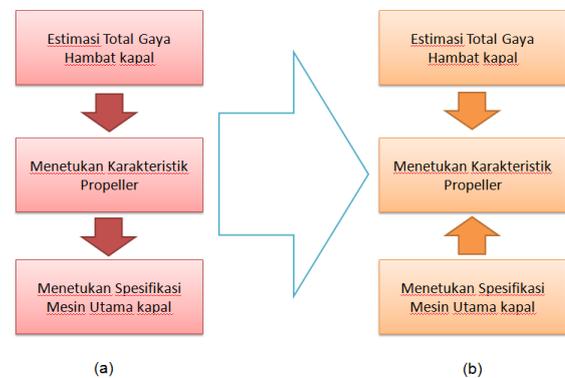
PENDAHULUAN

Pada umumnya kapal yang beroperasi atau bergerak di air pada kecepatan tertentu, akan mengalami *resistance* atau gaya hambat yang bekerja berlawanan arah dengan pergerakan kapal tersebut. Gaya hambat ini, sebisa mungkin harus mampu diatasi oleh *thrust* atau gaya dorong yang dihasilkan oleh putaran propeller yang diteruskan dari mesin utama kapal, sehingga dapat dikatakan bahwa salah satu tahapan penting dalam mendesain sebuah kapal yaitu menganalisa seberapa besar tenaga mesin yang akan di-install ke kapal berdasarkan karakteristik propeller yang juga akan di-install ke kapal. Hal ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa kapal bergerak atau berlayar sesuai dengan kecepatan yang direncanakan.

Menganalisa seberapa besar tenaga mesin yang akan di-install ke kapal dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu dengan eksperimen dan ekstrapolasi, menggunakan data series, teoritik, atau bahkan gabungan antara ketiganya berdasarkan tahapan-tahapan tertentu yang berurutan atau yang biasa disebut dengan *powering process stage* yang dimulai dengan menghitung *resistance* atau gaya hambat kapal pada kecepatan tertentu, mendesain propeller, dan yang terakhir menentukan daya mesin yang akan di-install ke kapal [1]-[2].

Namun dalam perancangan sebuah kapal, tidak menutup kemungkinan tahapan-tahapan tersebut dilaksanakan tidak secara berurutan untuk memangkas waktu produksi atau pembangunan sebuah kapal. Hal seperti ini banyak dilakukan oleh industri perkapalan, dimana sebuah industri perkapalan telah mendatangkan mesin yang akan di-install di kapal tanpa melalui *powering process stage*. Kasus seperti ini akan berdampak pada tidak terpenuhinya kecepatan kapal yang direncanakan, karena tidak adanya kesesuaian antara tenaga mesin yang di-install dengan rancangan propeller.

Propeller digunakan sebagai bilah aktuator yang dapat merubah tekanan dengan seketika sehingga menghasilkan gaya dorong pada bilah propeller. Gaya dorong ini yang kemudian menghasilkan perubahan kecepatan fluida disekitar bilah propeller [3]-[4]. Atas dasar tersebut, mesin yang di-install di kapal harus didasarkan pada karakteristik propeller yang di desain untuk menghasilkan gaya dorong yang mampu melawan gaya hambat kapal.



Gambar 1. (a) *powering process stage*; (b) proses analisa EPM yang tidak mengikuti tahapan *powering process*

Penelitian terdahulu terkait analisa *engine propeller matching* (EPM) difokuskan pada penentuan spesifikasi tenaga mesin yang akan di-install di kapal berdasarkan estimasi total gaya hambat dan karakteristik propeller yang mengacu pada *powering process stage* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1(a)[5]. Dalam penelitian ini, analisa EPM didasarkan pada estimasi total gaya hambat yang bekerja pada kapal dengan spesifikasi mesin utama yang telah ada untuk mendapatkan karakteristik propeller yang sesuai, sehingga tahapan

proses perancangan kapal tidak sesuai dengan *powering process stage* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1(b). Dengan adanya penelitian ini, proses perancangan kapal yang tidak sesuai dengan tahapan pada *powering process stage* tetap dapat dilakukan berdasarkan pertimbangan-pertimbangan teknis yang ada dalam setiap tahapan *powering process stage*. Kasus seperti ini dapat terjadi bahkan sangat sering terjadi di industri perkapalan sebagai salah satu cara untuk mempersingkat waktu pembangunan kapal dikarenakan proses pengadaan mesin bagi kapal dilakukan dengan cara mendatangkan mesin dari luar negeri dengan masa *indent* yang cukup lama sehingga penelitian ini penting dan perlu dilakukan sebagai salah satu referensi ketika tahapan-tahapan proses pembangunan kapal tidak dilakukan secara berurutan tetapi masih berada dalam prosedur perancangan yang tepat.

Analisa *engine propeller matching* (EPM) digunakan untuk menentukan karakteristik propeller yang akan di-install di kapal, sehingga terjadi kesesuaian antara tenaga mesin dengan desain propeller, yang di-indikasi-kan dengan tercapainya kecepatan maksimum yang direncanakan, dalam studi kasus ini yaitu 30 knot tanpa memperhitungkan pengaruh dari kavitas yang akan terjadi pada propeller selama kapal beroperasi.

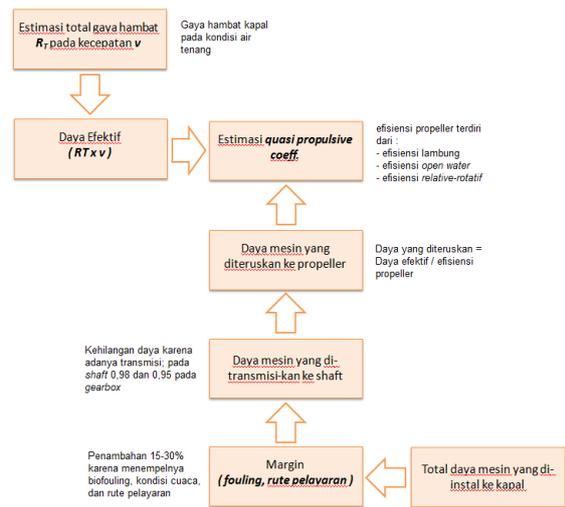
METODE PENELITIAN

Analisa dilakukan pada kapal milik Badan Nasional Pencarian dan Pertolongan dengan dimensi ukuran utama seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, yang merupakan kapal *Rescue Boat* dengan lambung *hard-chine* menggunakan *fixed pitch propeller* dengan tiga susunan propeller atau *triple screw*.

Tabel 1. Dimensi Kapal

Item	Satuan	Nilai
-Panjang keseluruhan	m	41
-Panjang garis air	m	37,56
-Lebar	m	7,8
-Tinggi	m	4,61
-Sarat	m	1,55
-Displacement	ton	157,70
-Volume (Disp.)	m ³	153,83
-Bidang basah	m ²	246,89
- Daya mesin	Hp	3 x 1400
-Putaran Maksimum	Rpm	2100
-Gearbox	rasio	2500 : 1

Analisa EPM untuk mendapatkan karakteristik propeller dilakukan dengan dua cara, yaitu secara teoritikal dan menggunakan series *Wageningen B-Series* [6] yang merupakan data series untuk propeller berjenis *fixed pitch*. Tahapan analisa EPM ini dapat dilihat pada Gambar 2, sedangkan desain kapal ditunjukkan pada Gambar 3.



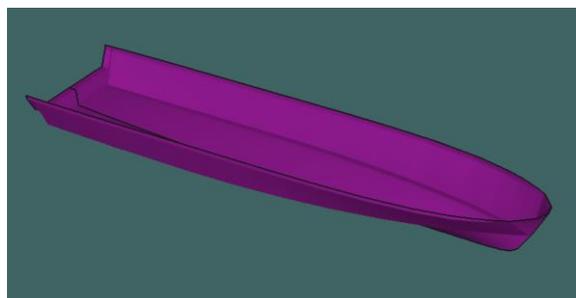
Gambar 2. Tahap penentuan karakteristik propeller kapal dengan analisa EPM

Analisa EPM secara teoritikal yaitu dengan membalik tahapan *powering process stage* dari tahapan paling akhir yaitu spesifikasi mesin utama ke tahapan sebelumnya dengan menggunakan persamaan 1. Dalam tahapannya, tenaga mesin utama yang di-install di kapal di-konversi menjadi tenaga mesin yang ditransmisikan sehingga terjadi kehilangan daya pada sistem transmisi karena adanya *shaft* dan *gearbox*, serta adanya margin yang disesuaikan dengan kondisi rute pelayaran dan penempelan *biofouling*. Kehilangan daya pada transmisi antara mesin utama dan propeller sekitar 0,94 untuk kapal dengan posisi mesin utama berada di buritan kapal, dan 0,94 kehilangan daya pada transmisi melalui *gearbox* (Molland, et al) [5].

Pada tahap estimasi *quasi propulsive coefficient* (QPC), penentuan karakteristik propeller berupa *pitch ratio*, luas bilah propeller A_e/A_o , jumlah bilah, serta putaran (rpm) propeller [7]-[8] menggunakan series *Wageningen B-Series* untuk mendapatkan efisiensi propeller secara keseluruhan dengan menggunakan persamaan 2.

$$P_B = \left(\frac{P_E}{\eta_D} \right) \times \left(\frac{1}{\eta_T} \right) + margin \quad (1)$$

$$QPC = \eta_o \times \eta_H \times \eta_{RR} \quad (2)$$



Gambar 3. Desain Kapal RB-40 *Rescue Boat*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapal yang digunakan sebagai studi kasus merupakan kapal milik Badan Nasional Pencarian dan Pertolongan berjenis *Rescue Boat* dengan lambung *hard-chine* menggunakan *fixed pitch propeller* dengan tiga susunan propeller. Daya mesin yang di-instal di kapal yaitu 3 x 1400 Hp dengan putaran maksimum 2100 rpm.

Berdasarkan *powering process stage* gaya hambat (*resistance*) digunakan sebagai acuan dalam menentukan daya efektif yang dibutuhkan kapal. Dengan menggunakan data pada Tabel 1, perhitungan total gaya hambat yang bekerja pada kapal didasarkan pada metode *Savitsky Pre-Planing* dan *Planing* [9]-[10] serta menggunakan pendekatan secara numerik untuk mendapatkan perbandingan total gaya hambat [11], dimana gaya hambat ini terdiri atas dua yaitu hambatan gesek yang bekerja secara tangensial terhadap lambung kapal dan hambatan tekan yang bekerja secara normal juga terhadap lambung kapal [12]. Secara sederhana total gaya hambat yang bekerja pada kapal ditentukan dengan menggunakan persamaan pendekatan seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 3 dan 4.

Tabel 2. Tabulasi hasil perhitungan total gaya hambat

Kecepatan		Total gaya hambat		
knot	m/s	Pre-Planing	Planing	Numerik
16	8.23	25.45	27.23	34.07
18	9.26	28.45	30.21	35.08
20	10.29	31.35	33.16	39.96
22	11.32	34.05	35.85	42.61
24	12.35	36.15	37.93	44.77
26	13.37	37.75	39.58	46.41
28	14.4	39.58	40.76	47.55
30	15.43	40.48	41.62	47.47
32	16.46	41.28	42.41	49.32
34	17.49	41.98	43.16	49.97
36	18.52	42.68	43.89	50.66

$$R_T = 0,5 \times \rho \times C_T \times S \times v_s^2 \quad (3)$$

$$R_T = \alpha \times v_A^2 \quad (4)$$

Perhitungan total gaya hambat baik menggunakan metode *Savitsky Pre-Planing* dan *Planing* maupun pendekatan secara numerik dilakukan pada rentang kecepatan 12 sampai 40 knot seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2. Tabel 2 merupakan tabulasi hasil perhitungan hambatan kapal menggunakan tiga pendekatan dengan plot kurva seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar 4 merupakan grafik karakteristik gaya hambat kapal berdasarkan hasil perhitungan total gaya hambat yang bekerja. Metode *Savitsky Pre-Planing* dan *Planing* memiliki kemiripan grafik karena pada dasarnya kedua metode ini merupakan metode yang sama, namun memiliki perbedaan dalam penentuan kriteria

bentuk lambung. Sedangkan pendekatan secara numerik adalah pendekatan yang digunakan dengan membagi kapal menjadi bagian-bagian yang kecil sehingga memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi dalam menghitung total gaya yang bekerja pada lambung kapal. Berdasarkan hal tersebut, maka karakteristik gaya hambat yang digunakan sebagai dasar acuan dalam analisa EPM yaitu karakteristik total gaya hambat yang didapatkan berdasarkan pendekatan secara numerik.

Dengan pemahaman bahwa *thrust* atau gaya dorong propeller harus mampu mengatasi total gaya hambat yang bekerja pada kapal, dengan demikian dapat diasumsikan bahwa gaya dorong propeller minimal harus sama dengan gaya dorong kapal pada kondisi yang sangat ideal, serta massa jenis air (α), koefisien hambatan total (C_T) dan luas bidang basah (S) lambung kapal adalah konstan (α) [13]-[16] maka gaya dorong kapal dapat dihitung dengan pendekatan seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 5.

$$T_{ship} = T_{prop}$$

$$\frac{\alpha \times v_A^2}{(1-t)(1-w)^2} = K_T \times \rho \times n^2 \times D^4 \quad (5)$$

Berdasarkan persamaan 5, maka didapatkan kurva karakteristik interaksi antara gaya hambat dan gaya dorong atau koefisien *thrust* yang dihitung berdasarkan perubahan nilai *advance coefficient* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5. Perubahan nilai *advance coefficient* berdampak terhadap perubahan karakteristik propeller seperti putaran dan diameter propeller. Hal ini terjadi karena setiap tipe dari propeller mempunyai kurva kinerja masing-masing seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Gambar 6 merupakan karakteristik propeller 5 bilah dengan rasio luas bilah 0,76 yang didapatkan dari hasil interpolasi antara karakteristik propeller 5 bilah dengan rasio luas bilah 0,75 dengan karakteristik propeller 5 bilah 0,80 pada *Wagenigen B-Series*. Hal ini dilakukan karena dalam data series pada *Wagenigen B-Series* tidak menampilkan karakteristik propeller dengan rasio luas bilah 0,76. Sedangkan Gambar 7 merupakan karakteristik propeller 5 bilah dengan rasio luas bilah 0,76 dengan plot karakteristik gaya dorong kapal. Plot ini dimaksudkan untuk mendapatkan karakteristik propeller dan efisiensi propeller yang sesuai dengan karakteristik kapal dalam hal ini adalah gaya dorong.

Tabel 3. Karakteristik propeller

K_T	Ae/Ao	Z	P/D	η_o
0,225	0,76	5	0,9	0,557

Penentuan titik interseksi didasarkan pada kesesuaian putaran mesin melalui rasio *gearbox* dan diameter maksimum propeller dengan menggunakan persamaan 6.

$$J = v_A / (n \times D) \quad (6)$$

Koefisien *thrust* ini digunakan sebagai acuan dalam melakukan pendekatan untuk menentukan karakteristik propeller kapal. Koefisien *thrust* tersebut diplotkan ke dalam data series *Wageningen B-Series* pada data propeller 3 bilah hingga 7 bilah dengan variasi rasio luas bilah antara 0,5 hingga 1,05 dan pitch rasio antara 0,5 hingga 1,4 untuk mendapatkan karakteristik efisiensi open water, putaran propeller, jumlah bilah, rasio luas bilah, dan rasio pitch propeller seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan interseksi antara koefisien *thrust* dan data series *Wageningen B-Series* tersebut, maka didapatkan karakteristik propeller dengan jumlah bilah 5 dengan rasio luasan bilah 0,76 pada pitch rasio 0,9 seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan data karakteristik propeller seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3, didapatkan efisiensi propeller secara keseluruhan sebesar 0,412 yang kemudian disesuaikan dengan daya mesin yang ter-install di kapal. Penentuan efisiensi propeller secara keseluruhan yang dihitung dengan pendekatan berdasarkan power kapal yang ter-install dilakukan dengan mengkonversi *Power Break* mesin

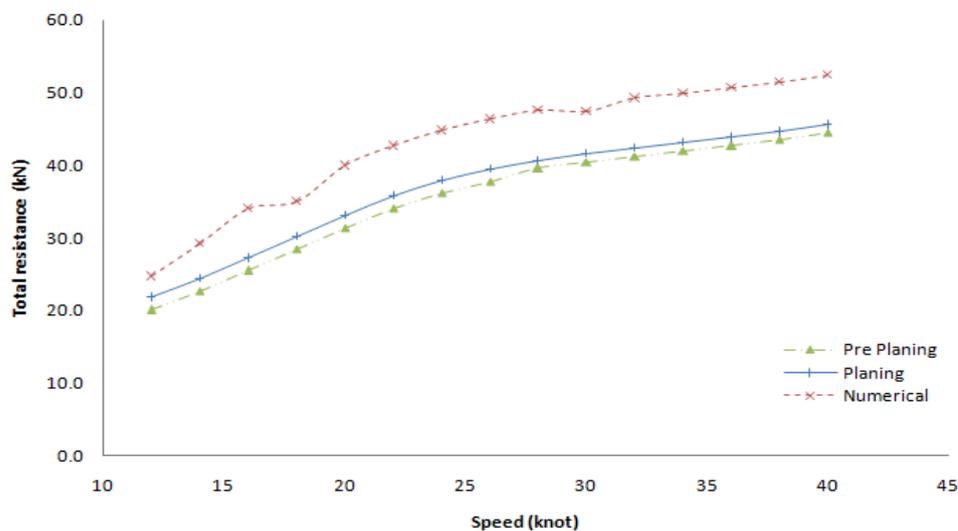
menjadi *Power Shaft* dan *Power Delivered* yang dilakukan dengan menggunakan persamaan 7.

$$P_B = \frac{P_s}{\eta_{gear\ box}}$$

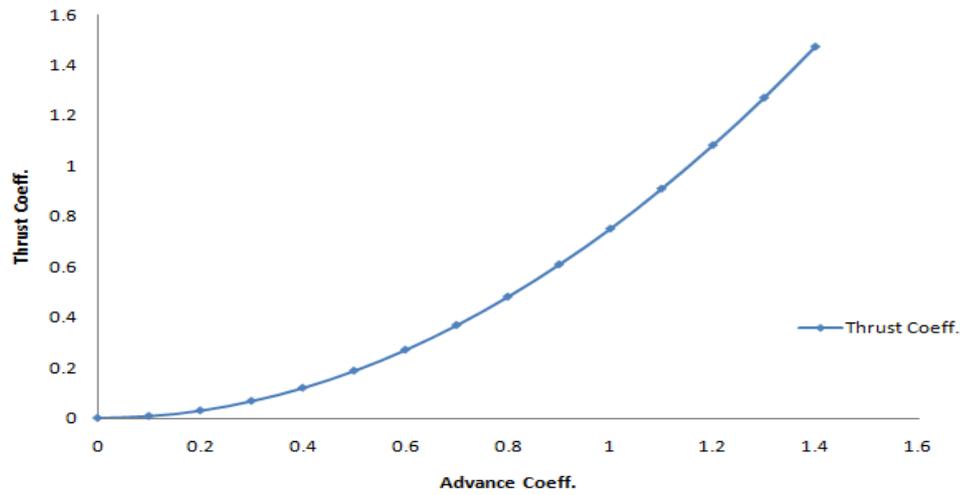
$$P_s = \frac{P_D}{shaft\ efficiency}$$

$$P_D = P_E / QPC \quad (7)$$

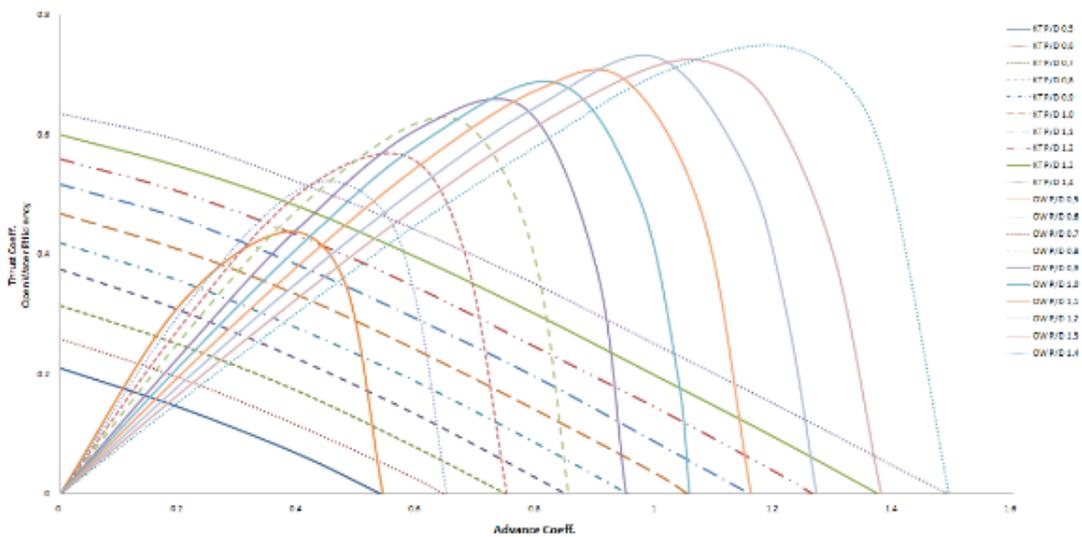
Dengan *Power break* sebesar 3 x 1400 Hp atau 4200 Hp dan kehilangan daya pada gear box dengan efisiensi sebesar 94%, maka didapatkan *Power Shaft* sebesar 4228 Hp. Kemudian *Power Shaft* dikonversi menjadi *Power Delivered* dengan kehilangan daya pada transmisi dengan efisiensi sebesar 94%, maka didapatkan *Power Delivered* sebesar 3991 Hp. Berdasarkan data tersebut dan karakteristik gaya hambat kapal, maka didapatkan nilai *Quasi Propulsive Coefficient* (QPC) sebesar 0,413 yang disesuaikan dengan QPC yang didapatkan dari interaksi antara gaya dorong kapal dan gaya dorong propeller sebesar 0,412 dengan *margin error* sebesar 1 %.



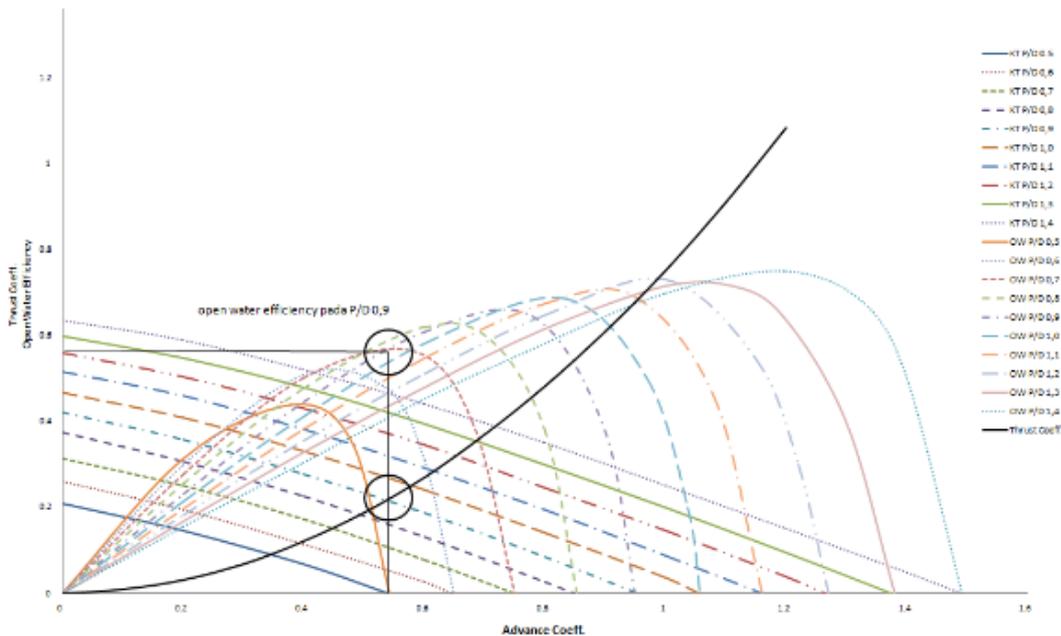
Gambar 4. Total gaya hambat dengan pendekatan metode Savitsky Pre-Palning dan Planing serta pendekatan numerik



Gambar 5. Karakteristik interaksi antara gaya dorong kapal dan gaya dorong propeller



Gambar 6. Karakteristik Propeller 5 bilah dengan rasio luas bilah 0,76 (B5-76)



Gambar 7. Plot karakteristik gaya dorong kapal pada B5-76

KESIMPULAN

Perubahan *powering process stage* dapat dilakukan untuk menganalisa *Engine Propeller Matching* dengan memperhatikan interseksi antara total gaya hambat kapal dengan *open water efficiency* dan *thrust coefficient* dari setiap series propeller. Berdasarkan hasil analisa *Engine Propeller Matching* dengan mengubah alur perhitungan, maka karakteristik propeller yang sesuai dengan data kapal dan data mesin untuk mencapai kecepatan yang direncanakan adalah propeller dengan karakteristik B5-76 atau propeller dengan rasio luas bilah 0,76 pada pitch rasio 0,9 serta 5 buah bilah dengan total efisiensi propeller secara keseluruhan sebesar 41,2% dengan margin error 1 % dengan efisiensi propeller yang dihitung dengan mengkonversi *Power Break* menjadi *Power Delivered*. Penentuan karakteristik propeller ini dengan mengabaikan masalah kavitasi yang akan terjadi pada saat propeller beroperasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sangat besar kepada Badan Nasional Pencarian dan Pertolongan yang telah memberikan izin untuk menggunakan data kapal RB-40 sebagai objek penelitian dalam menganalisa EPM karena perubahan *powering process stage*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Taylor, D.W. 1943. The Speed and Power of Ships. U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 1943
2. Molland, A.F. (ed.) 2008. The Maritime Engineering Reference Book. Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 2008.
3. Rankine, W. J. M. On the mechanical principles of the action of propellers. Transactions of the Institution of Naval Architects, Vol. 6, 1865, pp. 13–39.
4. Froude, R.E. On the part played in propulsion by differences in fluid pressure. Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, Vol. 30, 1889, pp.390–405.
5. Molland, A. F., Turnock, S. R., & Hudson, D. A. 2011. Ship resistance and propulsion practical estimation of ship propulsive power. Cambridge University Press.
6. Van Lammeren, W. P. A., Van Manen, J. D. & Oosterveld, M. W. C. 1969. The Wageningen B-screw series. Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 77, 1969, pp. 269–317.
7. Van Manen, J.D. 1966. The choice of propeller. Marine Technology, SNAME, Vol. 3, No. 2, April 1966, pp. 158–171.
8. Burrill, L.C. 1960. Propellers in action behind a ship. Transactions of the North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders, Vol. 76, 1960, pp. 25–44.
9. Savitsky, D., DeLorme, M. F. & Datla, R. 2007. Inclusion of whisker spray drag in performance prediction method for high-speed planing hulls. Marine Technology, SNAME, Vol. 44, No. 1, 2007, pp. 35–36.

10. Bonebakker, J. W. 1951. The application of statistical methods to the analysis of service performance data. Transactions of the North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders, Vol. 67, 1951, pp. 277–296.
11. Radojcic, D. 1991. An engineering approach to predicting the hydrodynamic performance of planing craft using computer techniques. Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, Vol. 133, 1991, pp. 251–267.
12. Townsin, R. L., Moss, B., Wynne, J. B. & Whyte, I. M. 1975. Monitoring the speed performance of ships. Transactions of the North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders, Vol. 91, 1975, pp. 159–178.
13. O'Brien, T.P. 1969. The Design of Marine Screw Propellers. Hutchinson and Co., London, 1969.
14. Carlton, J.S. 2007. Marine Propellers and Propulsion, 2nd Edition. Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.
15. Newton, R. N. & Rader, H. P. 1961. Performance data of propellers for highspeed craft. Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, Vol. 103, 1961, pp. 93–129.
16. Emerson, A. & Sinclair, L. 1978. Propeller design and model experiments. Transactions North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders, Vol. 94, No. 6, 1978, pp. 199–234.