

B SERIES ENGINE PROPELLER MATCHING

Studi Kasus Kapal Kontainer 100 TEUs

Nurhadi dan Sumarsono

Balai Teknologi Hidrodinamika, BPPT

E-mail: nrhadi@gmail.com

ABSTRACT

The alignment of the propulsion system on the vessel will greatly affect the magnitude of the resulting effectiveness to the speed of the vessel. To get a good system required a synchronization between the performance of propellers with the ship propulsion engine. Alignment that commonly known as engine propeller matching is done by finding the intersection between propeller characteristic graph with Thrust load coefficient at the operational point. The engine is adjusted as needed and can be optimally utilized based on the needs and characteristics of propeller.

This paper will present propeller matching engines of propeller type B-Series 4-65 used on 100 TEUs Container Ships. Based on the load calculation results obtained propeller efficiency at 12 knots speed is only 0.43 far from the maximum efficiency that can be obtained. By using CAT 3516B engine type maximum speed 100% MCR that can be reached is 12 knots in rough hull condition.

Keywords: B-series, propeller, engine matching, container ships

1. PENDAHULUAN

Pengembangan rancang bangun Kapal Kontainer 100 TEUs dalam rangka mendukung program pemerintah di bidang maritim khususnya Tol Laut telah dilakukan beberapa tahun belakangan. Kapal kontainer yang difungsikan sebagai armada penghubung khususnya pada daerah-daerah terpencil tersebut dirancang mampu mengangkut 100 TEUs kontainer berukuran 20 feet, dengan ukuran panjang keseluruhan 79,45 meter,

lebar 17,40 m, *draft* 3 m dan kedalaman 4,5 m. Kapal yang dikembangkan diharapkan mampu beroperasi pada kecepatan maksimum 12 knots.

Pada tahapan desain beberapa metode pengujian model diperlukan untuk memverifikasi hasil perhitungan desain kapal antara lain uji *resistance*, untuk menentukan berapa *resistance* kapal guna menentukan besaran mesin penggerak yang dibutuhkan, uji *open water* untuk mengetahui karakteristik desain *propeller*, uji *self propulsion* untuk mengetahui karakteristik dan pengaruh bentuk lambung kapal terhadap kinerja *propeller* [1].

Selain tahapan-tahapan uji model hal yang tak kalah penting dilaksanakan adalah melakukan *matching point* antara *propeller* yang digunakan dan mesin kapal yang telah dipilih [2], sehingga akan diketahui titik-titik operasional dan beban yang optimal dari mesin kapal yang dipasang pada kapal kontainer 100 TEUs. Dengan adanya grafik *engine propeller matching* akan memudahkan dalam operasional berdasarkan *load engine* dan kecepatan kapal yang diinginkan.

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan sebelumnya, akan dikaji dan dianalisis penggunaan *propeller* B-Series type B4-65 pada kapal kontainer 100 TEUs dengan melakukan *matching point* dengan mesin kapal, sehingga diketahui dan didapatkan grafik *matching point* antara beban, kecepatan dan putaran mesin yang digunakan. Untuk metode, pemilihan serta penentuan type *propeller* B-series yang digunakan pada kapal kontainer tidak dibahas dalam makalah ini.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Saat beroperasi, suatu kapal setidaknya harus memiliki kemampuan untuk mempertahankan kecepatan dinas (V_s) seperti yang sudah direncanakan sejak awal. Hal ini berarti bahwa, kapal yang beroperasi dengan baik haruslah memiliki suatu rancangan sistem penggerak (*propulsion system*) yang dapat mengatasi keseluruhan gaya hambat (*total resistance*) yang terjadi agar tetap dapat mempertahankan kecepatan dinas seperti yang sudah direncanakan [3].

Salah satu tahapan dalam mengevaluasi desain kapal adalah EPM (*Engine Propeller Matching*). *Matching point* merupakan suatu titik operasi dari putaran motor penggerak kapal (*engine speed*) sedemikian hingga tepat (*match*) dengan karakter beban *propeller*, yaitu titik operasi putaran motor dimana tenaga yang diserap oleh *propeller* sama dengan tenaga yang dihasilkan oleh *engine* dan menghasilkan kecepatan kapal yang mendekati/sama dengan kecepatan servis kapal yang direncanakan.

Secara umum kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, maka akan mengalami gaya hambat (*resistance*) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya gaya hambat yang terjadi harus mampu diatasi oleh gaya dorong kapal (*thrust*) yang dihasilkan dari kerja alat gerak kapal (*propulsor*). Daya yang disalurkan (*Delivered Power/PD*) ke alat gerak kapal adalah berasal dari Daya Poros (*Shaft Power / PS*), sedangkan Daya Poros sendiri bersumber dari Daya Rem (*Brake Power / PB*) yang merupakan daya luaran motor penggerak kapal [4].

Karakteristik *Propeller* pada *Open Water*

Gaya dan momen yang dihasilkan oleh *propeller* dapat digambarkan dalam bentuk besaran pokok, yang disajikan dalam serangkaian karakteristik tak bersatuan (*nondimensional*). Karakteristik ini digunakan untuk menggambarkan secara umum performa dari suatu *propeller* [5].

Karakteristik tersebut adalah :

Thrust Coefficient:

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (1)$$

Torque Coefficient:

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (2)$$

Coefficient Advance:

$$J = \frac{V_a}{nD} \quad (3)$$

Cavitation number:

$$\sigma = \frac{P_0 - e}{\frac{1}{2}\rho V^2} \quad (4)$$

dimana:

D = Diameter *propeller*

K_T = Koefisien *trust*

K_Q = Koefisien *torque*

J = Koefisien *advance*

V_a = Kecepatan *advance* aliran fluida

n = Kecepatan putar *propeller*

ρ = Massa jenis fluida

$P_0 - e$ = Tekanan statis fluida di daun *propeller*

Interaksi Lambung Kapal dengan *Propeller*

Interaksi lambung kapal dan *propeller* (*Hull & Propeller Interaction*) merupakan upaya-upaya pendekatan *diatas kertas* untuk mendapatkan karakteristik kinerja *propeller* saat beroperasi untuk kondisi di belakang kapal (*behind the ship*) [6]. Metode perhitungan digunakan dengan rumusan berikut:

Dari sisi tahanan kapal, diketahui bahwa:

$$R_T = 0.5 \rho C_T S V_S^2 \quad \text{dengan} \quad \alpha = 0.5 \rho C_T S$$

Bahwa gaya dorong kapal dapat dihitung dengan rumus:

$$T = \frac{R}{(1-t)}; \quad T = \frac{\alpha V_S^2}{(1-t)} \quad \text{dengan} \quad w = 1 - (V_a/V_S)$$

$$T_{ship} = \frac{\alpha V a^2}{(1-t)(1-w)^2} \quad (5)$$

$$T_{prop} = Kt \times \rho \times n^2 \times D^4$$

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

$$K_T = \frac{\alpha V a^2}{(1-t)(1-w)^2 \rho \times n^2 \times D^4} \quad (6)$$

$$\text{Maka : } K_T = \frac{\alpha V_A^2}{(1-t)(1-w)^2 \rho n^2 D^4} \quad \text{jika } \beta = \frac{\alpha}{(1-t)(1-w)^2 \rho D^2}$$

$$K_T = \beta \frac{V_A^2}{n^2 D^2}; \quad K_T = \beta J^2$$

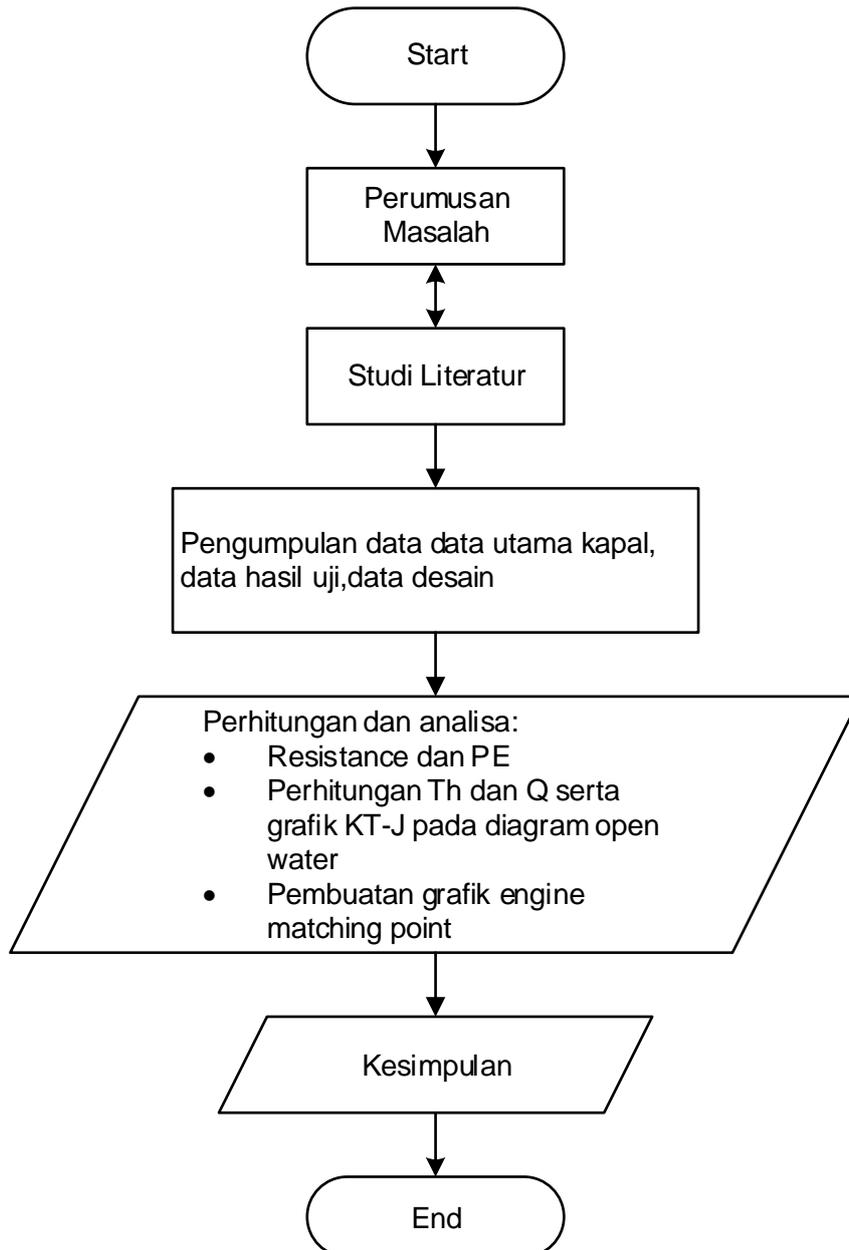
Dari rumusan diatas dapat dihitung nilai $\alpha = Vs^2/RTs$ dan nilai $\beta = \frac{\alpha}{(1-t)(1-w)^2 \rho D^2}$

dimana:

- T_{ship} = gaya yang dibutuhkan kapal
- T_{prop} = gaya yang dihasilkan *propeller*
- KT = Koefisien trust
- t = *Trust deduction factor*
- w = *Wake factor*
- α = $0.5 \cdot \rho \cdot C_T \cdot S$
- C_T = *Total resistance coefficient*
- S = *Ship wetted surface area*
- n = Kecepatan putar *propeller*

3. METODOLOGI

Dalam penelitian ini akan digunakan analisis data berdasarkan hasil pengujian model yang didapatkan. Dari data tersebut akan dicari persamaan *engine* yang sesuai dengan kebutuhan untuk dilakukan *matching* dengan data perhitungan hasil pengujian. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam diagram berikut ini:



Gambar 1. Diagram alur metodologi pengujian

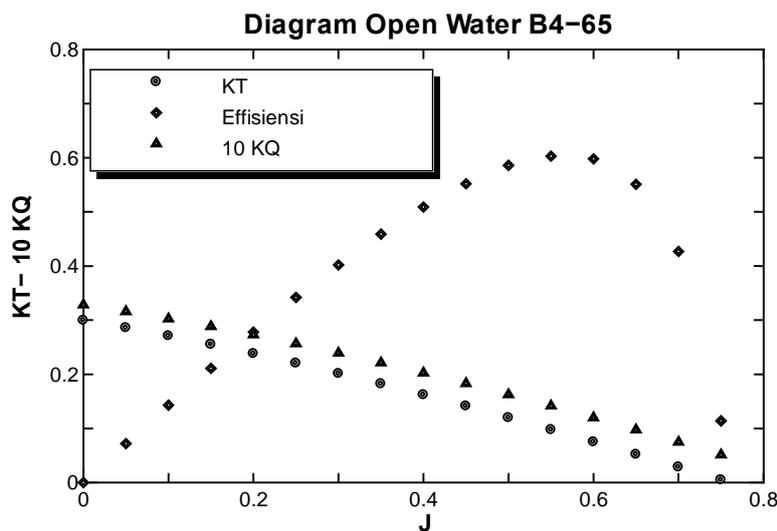
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam suatu desain kapal, dalam menentukan perkiraan kebutuhan mesin penggerak adalah dengan mengetahui prediksi besarnya nilai *resistance* dari kapal [7]. Nilai tersebut dapat diperoleh baik melalui pendekatan numerik maupun uji model kapal di kolam uji [8]. Berdasarkan hasil uji *resistance* model kapal kontainer 100 TEUs dididapatkan nilai *resistance* sebagaimana tertera pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai *resistance* kapal dan prediksi PE

VS	VM	FN	RS	PE
knots	m/s		kN	KW
10	1.071	0.195	76	391
11	1.178	0.214	98	556
12	1.285	0.234	140	863

Untuk diagram *open water* dari *propeller* type B-series dapat dilihat pada diagram *Open water* B-series Wageningen [9] maupun juga bisa didapatkan dari uji *open water* model *propeller* yang digunakan. Gambar 1, adalah grafik hasil running *software* dari *open water* B4-65 yang akan digunakan dalam perhitungan [10].



Gambar 1. Grafik uji *open water* B4-65

Dengan data *resistance* dan *open water* langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *KT-J* dari beban *propeller* kapal untuk diplotkan pada grafik *open water*.

Untuk masing-masing kecepatan dilakukan perhitungan nilai α , β dengan rumus-rumus yang ada sehingga didapatkan hasil sesuai tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Alpha, Beta tiap Kecepatan

VS	RS	RTs /2	w	t	1-t	1-w	α	β	
knots	kN	kN					Rts/Vs ²	Clean	Sm-15%
10	76	38	0.205	0.252	0.748	0.795	1427.29	1.151	1.323
11	98	49	0.2005	0.271	0.729	0.7995	1521.863	1.245	1.431
12	140	70	0.195	0.343	0.657	0.805	1818.587	1.628	1.872

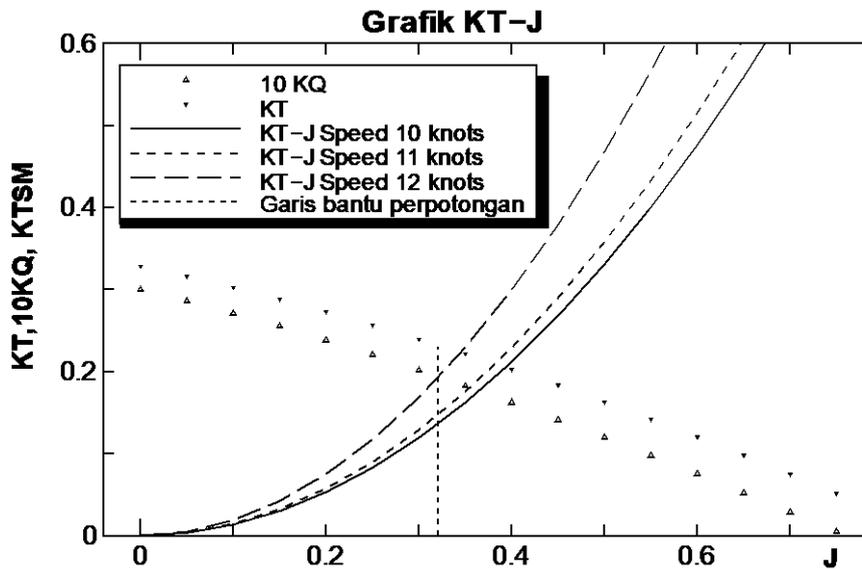
Nilai RTs pada tabel 2 dibagi dengan 2, dikarenakan kapal berjenis *twin screw* (dua *propeller* penggerak), sehingga untuk perhitungan satu *propeller* maka beban total *resistance* dari kapal dibagi rata menjadi dua.

Dengan memfariasikan nilai J dari 0 - 0.75 maka akan dapat dihitung diagram KT-J pada kondisi *clean hull* dan kondisi *sea margin* 15% kita dapatkan hasil sesuai tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan KT kondisi *Clean Hull* dan *Sea Margin* pada beberapa kecepatan

No	J	KT Clean Hull			KT Sea Margin 15%		
		10 knots	11 knots	12 knots	10 knots	11 knots	12 knots
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.05	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004	0.005
2	0.10	0.012	0.012	0.016	0.013	0.014	0.019
3	0.15	0.026	0.028	0.037	0.030	0.032	0.042
4	0.20	0.046	0.050	0.065	0.053	0.057	0.075
5	0.25	0.072	0.078	0.102	0.083	0.089	0.117
6	0.30	0.104	0.112	0.147	0.119	0.129	0.168
7	0.35	0.141	0.152	0.199	0.162	0.175	0.229
8	0.40	0.184	0.199	0.260	0.212	0.229	0.300
9	0.45	0.233	0.252	0.330	0.268	0.290	0.379
10	0.50	0.288	0.311	0.407	0.331	0.358	0.468
11	0.55	0.348	0.377	0.492	0.400	0.433	0.566
12	0.60	0.414	0.448	0.586	0.476	0.515	0.674
13	0.65	0.486	0.526	0.688	0.559	0.605	0.791
14	0.70	0.564	0.610	0.798	0.648	0.701	0.917
15	0.75	0.647	0.700	0.916	0.744	0.805	1.053

Hasil plotting antara beban *propeller* pada beberapa kecepatan pada diagram *open water propeller* dapat dilihat pada gambar 2 berupa grafik KT-J.



Gambar 2. Grafik KT- J beban *propeller* kondisi *sea margin*

Pembacaan beban *propeller* pada gambar 2. Grafik KT-J pada kondisi *sea margin* adalah:

- Pada kecepatan 12 knots dari grafik KT-J dan *open water* diketahui bahwa pada perpotongan garis KT-J dengan grafik *open water* adalah berpotongan dengan garis KT pada nilai $J = 0.32$ dimana nilai KT adalah 0.195 dan nilai 10KQ pada nilai 0.23
- Nilai tersebut selanjutnya dicari juga untuk kecepatan 11 dan 12 knots.
- Dengan mengetahui nilai J maka dapat dihitung berapa putaran optimum dari *propeller* dimana :

$$J = \frac{V_A}{nD} \quad \text{atau} \quad n = \frac{V_A}{J.D}$$

Dengan $V_a = V_s * (1-w)$ dan D diameter dari *propeller*, maka nilai Q *propeller* dihitung dengan rumus :

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad Q = K_Q \rho n^2 D^5$$

Perhitungan DHP dan BHP

Didalam mengembangkan karakteristik beban *propeller*, variabel yang terlibat adalah *propeller torque* dan *propeller speed*. Untuk *propeller torque* merupakan hasil pengolahan secara grafis dari *hull & propeller interaction*. Sedangkan Perhitungan Daya yang dibutuhkan dihitung dengan rumus $P = 2 \cdot \pi \cdot Q \cdot n$

Hasil Perhitungan dari rumusan-rumusan di atas maka untuk tiap-tiap kecepatan pada kondisi clean hull pada tabel 4 dan kondisi sea margin pada tabel 5.

Tabel 4. Hasil Perhitungan putaran *propeller*, DHP dan BHP pada variasi kecepatan kondisi *clean hull*

Speed		Kt Margin			Va	n-prop		Q-clean hull	DHP-clean hull	BkW-clean hull	BHP-clean hull
Knots	m/s	J	KT	10KQ	m/s	rps	rpm	kN	kW	kW	HP
10.0	5.14	0.383	0.168	0.208	4.090	5.79	347	15.27	554.9	584	782
11.0	5.66	0.372	0.172	0.212	4.524	6.59	396	20.19	835.6	879	1178
12.0	6.17	0.338	0.188	0.261	4.969	7.97	478	36.32	1817.6	1912	2562

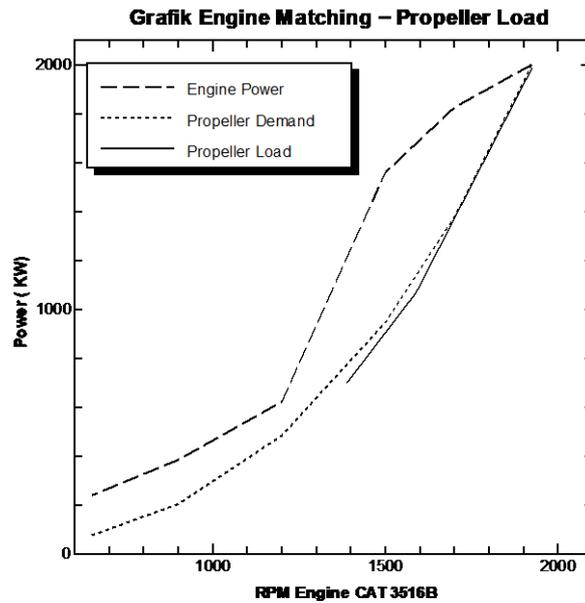
Tabel 5. Hasil Perhitungan putaran *propeller*, DHP dan BHP pada variasi kecepatan kondisi sea margin

Speed		Kt Margin			Va	n-prop		Q-Sea margin	DHP-Sea margin	BkW-Sea margin	BHP-Sea margin
Knots	m/s	J	KT	10KQ	m/s	rps	rpm	kN	kW	kW	HP
10.0	5.14	0.365	0.178	0.216	4.090	6.1	364	17.46	665.8	700	939
11.0	5.66	0.353	0.18	0.22	4.524	6.9	417	23.26	1014.9	1068	1431
12.0	6.17	0.32	0.195	0.23	4.969	8.4	505	35.71	1887.5	1986	2661

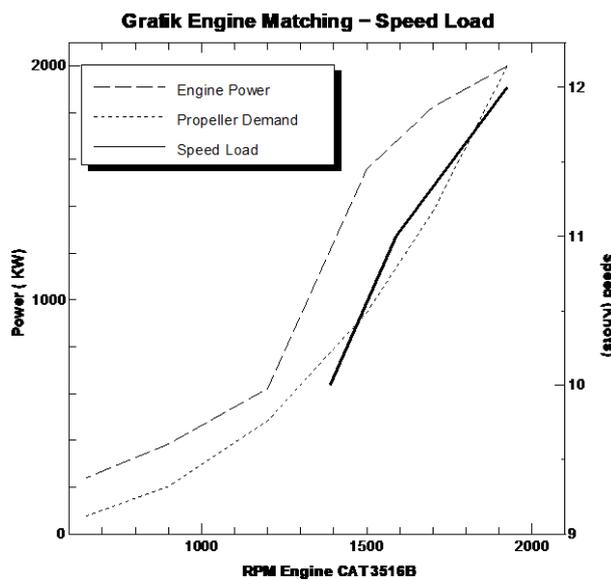
Engine Propeller Matching

Berdasarkan data yang ada, pada kecepatan 12 knots *sea margin* akan membutuhkan daya sebesar 1986 BkW atau sebesar 2661 BHP. Data mesin pada perhitungan ini digunakan Caterpillar C3516B yang mampu menghasilkan daya sampai 2000 BkW pada 1925 Rpm [11] sehingga digunakan gear box dengan ratio 3.82: 1. Berdasarkan

hasil perhitungan yang ada dibuatkan plot antara grafik *engine* dengan beban *propeller* untuk melihat karakteristik *engine* jika dibebani sebagaimana terlihat dalam gambar 4. Pada gambar 4 ditunjukkan kebutuhan daya *propeller load* masih dibawah kapasitas maksimum yang dihasilkan *engine* dan berhimpit dengan *propeller demand*.



Gambar 4. Grafik *engine matching* CAT 3516B dengan *propeller load* pada kondisi *sea margin*



Gambar 5. Grafik *engine matching* CAT 3516B dengan kecepatan kapal pada kondisi *sea margin*

Selain itu, dibuat pula hubungan antara RPM, daya dan kecepatan sebagaimana ditampilkan dalam gambar no 5, dimana pada kecepatan tertentu dapat diketahui kebutuhan daya dan rpm *engine*. Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa pada kecepatan 11 knots dibutuhkan rpm mesin sekitar 1600 rpm dan daya mesin yang dibutuhkan adalah 1200 kW dari 1600 kW yang mampu dihasilkan *engine*.

5. KESIMPULAN

Dari pembahasan dan perhitungan *Engine-Propeller Matching* pada kapal 100 TEUs dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa:

1. Dengan desain untuk 12 knots dibutuhkan Rpm *propeller* 506 rpm pada kondisi *sea margin* dengan daya sebesar 1986 BkW.
2. Effisiensi *propeller* pada kecepatan 12 knots tersebut pada $J = 0.32$ hanya sebesar 0.43 jauh dari effisiensi maksimum yang mungkin didapat dan akan berakibat kebutuhan daya *engine* yang besar untuk mencapai kecepatan tersebut, sehingga perlu dipertimbangkan pemakaian *propeller* B4-65 pada kapal kontainer 100 TEUs.
3. Dari hasil perhitungan dengan *engine* CAT 3516B untuk digunakan pada kecepatan 12 knots *sea margin* masih dapat terpenuhi karena masih dibawah daya maksimum yang mungkin dihasilkan *engine*.
4. Dalam setiap desain kapal *engine – propeller matching* sangat penting diperhatikan untuk melihat hubungan desain *propeller*, *load*, dan *engine* yang digunakan terkait kecepatan dan tentunya nilai ekonomis dari *engine* yang akan digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ITTC (2002) 'Testing and Extrapolation Methods Propulsion, Propulsor Open Water Test', (Revision 01), p. 7.5-02-03-02.1.
- [2] Setyo L (2015) 'Sinkronisasi Propeller Dengan Mesin Induk Pada Kapal Ikan Untuk Meningkatkan Efisiensi dan Kinerja' *Wave*, Vol. 9 (No 02), pp. 19–24.
- [3] Habibi and Nurhadi (2016) 'Analisa Pemilihan Propeller Tipe B- Series Pada Kapal Feri Ro-Ro 600 Gt Dengan Menggunakan Aplikasi Matchpro', *Wave*, Vol. 10 (No 02), pp. 75–81.

- [4] Abidin, M. Z., Adji, S. W. and Arief, I. S. (2012) 'Analisa Performance Propeller B-Series dengan Pendekatan Structure dan Unstructure Meshing', *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), pp. 241–246.
- [5] Kristensen, H. O. and Lützen, M. (2012) 'Prediction of resistance and propulsion power of ships', *Project no. 2010-56*, Report 4 - Resistance and Propulsion Power - FINAL - October 2012.pdf.
- [6] Carlton, J. (2012) *Marine Propellers and Propulsion*, second edition, Elsevier, Oxford.
- [7] Ventura, M. (2010) 'Estimation Methods for Basic Ship Design', *202.114.89.60*, pp. 1–61.
- [8] Specialist Committee of 23rd ITTC (2002) 'Testing and Extrapolation Methods Resistance Uncertainty Analysis, Example for Resistance Test', (Revision 01), p. 7.5-02-02-02 page1-18.
- [9] Bernitsas, M. M., Kinley, P. and Ray, D. (1981) '*KT, KQ and Efficiency Curves for The Wageningen B-Series Propellers*', Michigan.
- [10] Journée, J. M. J. (2000) '*Program Propol*'. Wageningen.
- [11] <http://www.bmgs.com.tr/doc/GucSistemleri/Marin/Marine-Engines/3516B/3516B-2000-BKW-1925-RPM-SPEC.pdf> diunduh pada Oktober 2017.

Halaman ini sengaja dikosongkan