

STUDI NILAI TAHANAN KAPAL *FEEDER* 500 DWT DENGAN MENGGUNAKAN METODE NUMERIK DAN PENGUJIAN

Andik Machfudin¹, Ahmad Syafiu Mujahid²

Balai Teknologi Hidrodinamika - BPPT, Surabaya^{1,2}

*and1c.mac@gmail.com*¹, *ahmadsmujahid@gmail.com*²

Abstrak

Faktor penting yang menjadi dasar dalam mendesain suatu kapal adalah mendapatkan suatu rancangan kapal yang hemat energi dengan nilai tahanan kapal yang lebih rendah dan sistem propulsi yang lebih baik. Hal ini untuk memastikan bahwa kapal memiliki kecepatan yang diinginkan dengan daya yang optimal. Dalam rangka untuk mendukung program nasional tol laut Pemerintah Republik Indonesia maka Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi sebagai instansi negara mendesain kapal feeder yang akan digunakan sebagai standarisasi kapal feeder nasional. Pada tulisan ini dilakukan studi dengan menggunakan metode numerik dan metode pengujian mengenai besarnya nilai tahanan dan daya efektif serta besarnya daya mesin yang dibutuhkan pada saat kecepatan dinas kapal yakni 10 knot. Metode numerik yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan teori panel dengan formulasi perhitungan nilai hambatan menggunakan metode holtrop; dan metode pengujian yang digunakan di Kolam Uji Tarik Balai Teknologi Hidrodinamika berdasarkan standar dan ketentuan yang mengacu pada ITTC (International Towing Tank Conference). Tahanan kapal yang diperoleh melalui metode pengujian terdapat selisih hasil sebesar 18.2 % dari hasil perhitungan dengan metode numerik dan daya efektif kapal lebih besar 5.96 % dari hasil perhitungan dengan numerik. Dengan demikian dapat diketahui bahwa untuk mencapai kecepatan 10 knot maka daya mesin kapal yang dibutuhkan sebesar 656.95 hp untuk hasil perhitungan dengan menggunakan metode numerik, sedangkan dengan metode pengujian diperoleh nilai sebesar 698.67 hp.

Kata Kunci: Tahanan kapal, kapal feeder, pengujian tahanan, daya mesin kapal, metode numerik

Abstract

An important factor that is the basis for designing a ship is to obtain an energy-efficient ship design with a lower ship resistance value and a better propulsion system. This is to ensure that the ship has the desired speed with optimal power. In order to support the Tol Laut as a national program of the Government of the Republic of Indonesia, the Agency for the Assessment and Application of Technology as a state agency designs feeder ship which will be used as standardized national feeder ship. In this paper a study was conducted using numerical methods and testing methods regarding the value of the resistance and effective power and the amount of engine power required at the time of the ship service speed of 10 knots. The numerical method used in this study is based on the panel theory with the formulation of the calculation of resistance values using the holtrop method; and the testing method used in the Towing Test Tank of the Laboratory for Hydrodynamic Technology based on the standards and clause referring to ITTC (International Towing Tank Conference). The ship resistance that obtained through the test method there is a difference 18.2% from the results of calculations by numerical methods and the effective power of ships is 5.96% greater than the results of numerical calculations. Thus it can be seen that in order to obtain a speed of 10 knots, the required engine power of the Feeder ship is 656.95 hp from the calculation using a numerical method, whereas with the test method the value is 698.67 hp.

Keywords: Ship resistance, feeder ship, resistance test, ship engine power, numerical method

1. PENDAHULUAN

Untuk mendukung salah satu program maritim pemerintah yakni tol laut maka Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi sebagai Pusat Unggulan Teknologi turut berpartisipasi dengan membuat desain kapal *feeder* yang akan dipakai sebagai standarisasi kapal *feeder* nasional. Kapal *feeder* ini rencananya akan dioperasikan di wilayah Indonesia Timur

untuk menghubungkan pelabuhan yang disinggahi tol laut menuju ke pelabuhan-pelabuhan perintis. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah dihasilkannya keyplan kapal *feeder* yang dapat digunakan sebagai salah satu referensi teknis oleh lembaga manapun jika akan mendesain dan membangun sebuah kapal *feeder*.

Dalam merencanakan sebuah kapal, tahap awal dalam proses teknis adalah menentukan ukuran dan parameter bentuk panjang, lebar,

sarat dan koefisien bentuk. Tahanan kapal berhubungan dengan daya mesin optimal yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan yang diinginkan. Kajian dan prediksi tahanan kapal sangatlah penting dilakukan sebelum kapal tersebut dibangun.

Secara umum sistem propulsi kapal terdiri dari tiga komponen utama, antara lain: Motor Penggerak Utama (*main engine*), Sistem transmisi dan alat gerak (*Propeller*). Ketiga komponen utama ini merupakan suatu kesatuan yang proses perencanaannya tidak dapat ditinjau secara terpisah. Kesalahan didalam perancangan akan membawa konsekuensi yang sangat besar terhadap kecepatan kapal.

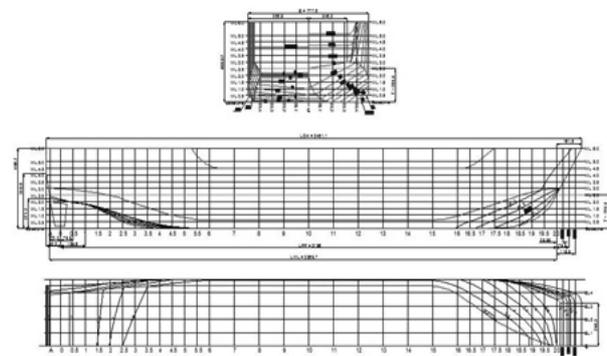
Tulisan ini menitikberatkan pada kajian tahanan Kapal *Feeder* yang merupakan salah satu tahapan kegiatan yang harus dilakukan dalam perancangan kapal *feeder*. Kajian dilakukan dengan melakukan prediksi numerik sebagai pra analisis dan pengujian tahanan di kolam uji Balai Teknologi Hidrodinamika Indonesia BPPT. Perhitungan dan simulasi numerik digunakan untuk memprediksi besaran tahanan pada kapal sehingga dapat menjadi acuan dalam penentuan besaran nilai *load cell* (sensor) yang akan dipakai dalam pengujian, sehingga nilai akuisisi data dari sensor pengujian jauh lebih akurat. Dari hasil pengujian akan diperoleh nilai tahanan kapal yang selanjutnya akan digunakan untuk memprediksi daya mesin kapal.

2. METODE

Tahap pertama dalam uji model adalah penentuan dimensi dan skala model kapal yang sangat dipengaruhi oleh dimensi kolam uji selain juga bentuk serta tipe kapal yang akan diuji. Ukuran dari kolam uji tarik (*towing tank*) yang ada di Balai Teknologi Hidrodinamika BPPT Surabaya adalah: panjang 234.5 m, lebar 11 m dan kedalaman 5.5 m. Sepanjang kanan kiri kolam terdapat rel untuk lintasan *carrige* (kereta tarik) yang digunakan menarik model.

2.1. Dimensi model

Model kapal terbuat dari kayu dengan skala 1:12.857. Model kapal *feeder* dilengkapi dengan *propeller* ganda *type B - series*. Ukuran dari dimensi model kapal dibuat dengan presisi sesuai gambar dengan batas toleransi yang ketat. Oleh karena itu peran QA/QC sangat vital untuk menjaga agar hasil pembuatan model yang akan diuji telah sesuai dengan bentuk yang direncanakan.



Gambar 1. Lines Plan Kapal Feeder 500 DWT

Gambar 1 memperlihatkan bentuk gambar lines plan kapal feeder berupa gambar *body plan*, *half breath plan* dan *sheer plan*. Ketiga gambar tersebut beserta gambar tambahan lainnya seperti *frame section plane* dan *sufting arragement* menjadi dasar gambar kerja yang dibutuhkan dalam pembuatan model uji.

Setelah skala model ditetapkan, maka dapat dilakukan penentuan ukuran model kapal. Penentuan *displacement* dan kecepatan tarik model juga dikonversi dengan mengacu pada skala yang sama. Tabel 1 memperlihatkan dimensi ukuran utama kapal *feeder* dan dimensi ukuran utama model kapal *feeder* yang digunakan dalam pengujian.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal dan Model

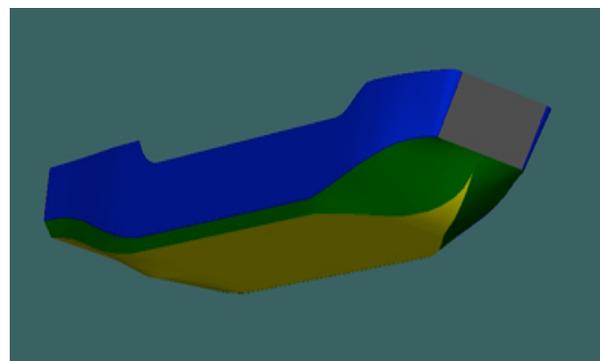
No	Ukuran Utama	Kapal	Model
1	LOA	44.37 m	3451.1 mm
2	LWL	42.04 m	3269.7 mm
3	LPP	41.09 m	3196.0 mm
4	B	10.00 m	778.0 mm
5	H	6.00 m	466.7 mm
6	T	2.50 m	194.4 mm
7	Dispt	833.3 ton	391.7 kg
8	Cb	0.729	0.729
9	Cp	0.802	0.802
10	Kecepatan	10 Knot	1.435 m/s
11	Skala	12.857	

2.2. Metode Numerik

Metode numerik digunakan untuk prediksi nilai tahanan model kapal sebelum diuji, untuk mendapatkan nilai tersebut maka digunakan bantuan komputasi numerik dengan menggunakan perangkat lunak *Maxsurf*. *Maxsurf* adalah salah satu program pemodelan 3 dimensi yang dapat digunakan untuk mendesain bentuk lambung kapal yang memiliki kompleksitas garis-garis dan *surface* yang tinggi, selain itu *Maxsurf* juga dapat digunakan untuk menghitung nilai hidrostatis, stabilitas dan aspek pengaruh hidrodinamika lainnya terhadap kapal. *Maxsurf Pro* adalah program yang digunakan oleh *marine engineer* untuk membuat model kapal (*lines plan*). Pembuatan *lines plan* ini merupakan kunci utama suksesnya desain sebelum dilakukan analisa hidrodinamika, kekuatan struktur, dan analisa lainnya. Seringkali pembuatan model selalu berubah dikarenakan terkadang hasil analisa setelah dilakukan pembuatan model sebelumnya menunjukkan desain tidak memenuhi kriteria atau standar desain. *Maxsurf* menggunakan teknik yang disebut pemodelan permukaan / *surface* untuk mendefinisikan bentuk luar kapal secara tepat. Teknik ini mengasumsikan lambung kapal sebagai bagian yang tipis dan *fleksibilitas editing control point* pada garis-garis desain dalam perangkat lunak ini memudahkan *engineer* untuk melakukan mengolah gambar secara 3 dimensi. Keuntungan menggunakan

teknik ini adalah mampu menghasilkan model kapal yang akurat.

Ada beberapa metode perhitungan tahanan yang digunakan di *maxsurf*. Beberapa metode tahanan yang digunakan untuk pengujian antara lain: *Savitsky Pre-Planing*, *Savitsky planing*, *Latiharju*, *Holtrop*, *Van Oortmerssent*, *Series 60*, dan *Delft I, II, III*. Hasil perhitungan ini akan ditampilkan dalam bentuk angka dan grafik, disamping itu juga *Maxsurf* dapat memprediksi besarnya kecepatan maksimal dan besarnya efisiensi kapal. Pendekatan perhitungan *Maxsurf* yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan Metode *Holtrop* karena Metode *Holtrop* merupakan metode yang tepat digunakan pada kapal yang memiliki *koefisien block* (*Cb*) besar yakni berkisar antara 0.7 sampai dengan 0.9. Metode yang digunakan oleh *Maxsurf* dalam menghitung tahanan model kapal adalah dengan menggunakan metode teori panel, sehingga dibutuhkan gambar model kapal dalam bentuk 3 dimensi seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.

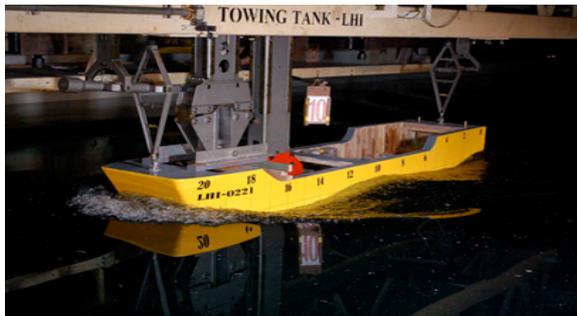
**Gambar 2.** Gambar 3D *Maxsurf* Model

2.3. Pengujian model kapal

Pengujian tahanan di kolam tarik dilakukan dengan menghubungkan model kapal pada lengan penarik yang terhubung ke alat sensor / *loadcell* pengukur gaya, kemudian model ditarik oleh *carriage*. Gaya yang terekam pada alat ukur menunjukkan gaya tahanan badan kapal akibat hambatan terhadap air. Gaya tahanan tersebut menggambarkan gaya yang dibutuhkan kapal untuk mencapai kecepatan tertentu, hal ini berkaitan dalam

penentuan tenaga penggerak kapal. Selain itu melalui uji tarik ini akan diketahui secara visual pola aliran disekitar badan kapal saat melaju dalam berbagai variasi kecepatan pengujian.

Pengujian tahanan dilakukan dengan kondisi *calm water* yakni keadaan air tenang tanpa ada gelombang. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan kapal terhadap karakteristik tahanan, maka dilakukan *resistance test* dengan variasi kecepatan model kapal yang apabila diskala ke nilai kecepatan kapal sesungguhnya berkisar antara kecepatan (V_s) = 4 knot sampai dengan 14 knot. Gambar 3 menunjukkan pengujian tahanan (*resistance test*) dari model kapal *feeder* saat pengujian ke-10 pada kecepatan kapal 8 knot.



Gambar 3. Pengujian Resistance Model Kapal Feeder

2.4 Perhitungan Pengujian Tahanan

Pengujian tahanan pada model kapal feeder menghasilkan output data pengujian berupa gaya model kapal dalam satuan kgf yang mana data hasil pengujian tersebut harus dihitung menggunakan metode ekstrapolasi data untuk mendapatkan nilai tahanan kapal *feeder* yang sesungguhnya pada skala 1:1. Berdasarkan prosedur metode ekstrapolasi *modern* yang mengacu pada MARIN (*Maritime Research Institute Netherlands*). Rumus koefisien tahanan gesek yang diformulasikan oleh ITTC 1957 harus dikombinasikan dengan *Correlation Allowance* (CA) antara model dan kapal dengan *form factor* (1+K) yang besarnya didapat dari nilai pretest. Metode ini mengasumsikan adanya tambahan yang dipasang ke badan model kapal sehingga dapat mengasumsikan adanya aliran

turbulen atas permukaan lambung model kapal. Hambatan plat datar ditentukan oleh rumus-1957 ITTC:

$$F_D = 0.5 \rho V^2 S C_F = 0.5 \rho V^2 S \frac{0.075}{(\log_{10} R_n - 2)^2} \quad (1)$$

Dimana S adalah total luas permukaan basah. Maka efek skala pada tahanan (FD) ditentukan dari :

$$F_D = 0.5 \rho_m V_m^2 S_m \{(1+k)(C_{F_m} - C_{F_s}) - C_A\} \quad (2)$$

Dimana S adalah total luas permukaan basah, 1 + k faktor bentuk relatif lambung kapal berdasarkan ketentuan ITTC (*International Towing Tank Conference*) - 1957, CF adalah koefisien tahanan gesek dan CA adalah koefisien penambahan tahanan korelasi model-kapal. Adapun besarnya koefisien dan form factor tersebut adalah[1]:

CA untuk ekstrapolasi : 0.00059
 Form Factor : 1.195

Form Factor diturunkan dari ratio antara koefisien tahanan total dan koefisien tahanan gesek yang didapat dari hasil pengujian tahanan pada kecepatan rendah. Nilai CA mencerminkan pengaruh kekasaran permukaan kapal serta tahanan angin yang timbul akibat gerakan kapal. Perhitungan tahanan model kapal mengacu pada ITTC - 1957 dalam rumus[1]:

$$R_{tm} = 0,075 / \frac{1}{2} m V_m^2 S_m$$

Dimana R_{tm} adalah tahanan model, dan V_m adalah kecepatan model serta S_m adalah permukaan basah model.

Daya efektif kapal (PE) adalah besarnya daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya hambat dari badan kapal (*hull*), agar kapal dapat bergerak dari satu tempat ke tempat yang lain dengan kecepatan service sebesar V_s . Daya efektif ini merupakan fungsi dari besarnya daya hambat kapal (R_{tdinas}) dan kecepatan kapal (V_s).

$$PE = R_{tdinas} \times V_s \quad (3)$$

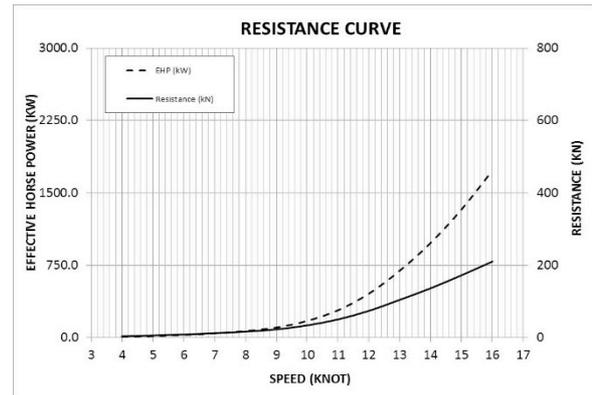
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian tahanan yang dilakukan diperoleh data hasil ekstrapolasi yang mana data menunjukkan besarnya tahanan dan daya efektif baik kapal maupun modelnya. Nilai daya efektif kapal didapat dari nilai tahanan kapal dikalikan dengan kecepatan kapal.

Tabel 2. Hasil Ekstrapolasi data Pengujian

Vs	Vm	Rm	Fd	Rs	Pe
Knot	m/s	N	N	Kn	Kw
4	0.574	3.41	1.13	5	10.2
5	0.717	5.13	1.63	7.6	19.6
6	0.861	7.26	2.21	11	34
7	1.004	10.05	2.85	15.7	56.5
8	1.148	13.8	3.56	22.3	91.8
9	1.291	19	4.32	32	148
10	1.435	26.29	5.14	46.1	237
11	1.578	36.97	6.02	67.4	382
12	1.722	54.29	6.95	103	637
13	1.865	76.57	7.93	150	1000
14	2.009	99.74	8.96	198	1424

Tabel 2 menunjukkan tabel hasil pengujian tarik dan hasil ekstrapolasi data. Dimana (Vs) adalah kecepatan kapal sesungguhnya sedangkan nilai (Vm) pada tabel tersebut menunjukkan kecepatan model yang diperoleh dari kecepatan kapal sesungguhnya (Vs) yang dikalikan dengan skala model. (Rm) menunjukkan tahanan model kapal sedangkan (Rs) adalah nilai tahanan kapal sesungguhnya. (Fd) menunjukkan efek skala pada tahanan. Sedangkan PE adalah *power efektif* atau disebut juga EHP (*effective Horse Power*).



Gambar 4. Grafik kombinasi Kecepatan, Tahanan dan daya Efektif Kapal

Dari hasil grafik di Gambar 4 menunjukkan bahwa perubahan tahanan kapal dan daya efektif kapal mengalami pergerakan secara linier hingga kecepatan 8 knot, dan kemudian mengalami peningkatan secara signifikan pada kecepatan kapal 9 knot dan terus meningkat secara tajam membentuk kurva eksponensial seiring dengan peningkatan kecepatan kapal *Feeder*. Hal ini mengindikasikan bahwa Kapal *Feeder* dengan desain ini kurang efektif apabila dioperasikan pada kecepatan tinggi di atas 10 knot.

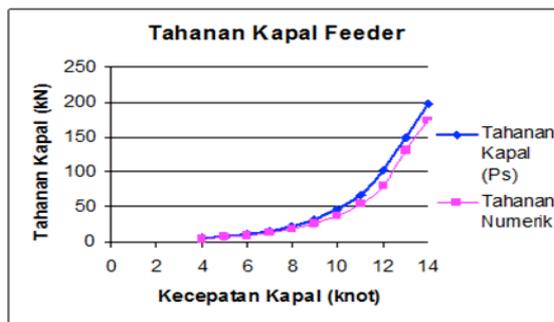
Dari data tersebut diketahui untuk mencapai kecepatan dinas yang direncanakan yakni 10 knot maka dibutuhkan daya efektif sebesar 237 kW atau setara dengan 317,82 Hp.

3.1 Komparasi hasil pengujian dan numerik

Tabel 3. menunjukkan tabel hasil perhitungan numerik dengan menggunakan Metode *Holtrop* dibandingkan dengan hasil pengujian. Dari data tersebut terlihat bahwa nilai tahanan dari hasil eksperimen menunjukkan nilai yang lebih besar dari pada perhitungan numerik, sedangkan hasil daya efektif (EHP) kapal dari perhitungan numerik dan hasil pengujian menunjukkan nilai yang relatif mendekati sama.

Tabel 3. Komparasi nilai tahanan dan daya efektif kapal feeder 500 DWT

VS	RS	EHP	RS	EHP
Kapal	Kapal	Kapal	Numerik	Numerik
Knot	kN	kW	kN	kW
4	5	10.2	4.4	10.323
5	7.6	19.6	6.6	19.652
6	11	34	9.4	33.518
7	15.7	56.5	13	53.928
8	22.3	91.8	18	85.326
9	32	148	25.6	136.181
10	46.1	237	37.7	222.853
11	67.4	382	53.7	349.542
12	103	637	79.7	565.63
13	150	1000	131.3	1009.475
14	198	1424	173.5	1436.314

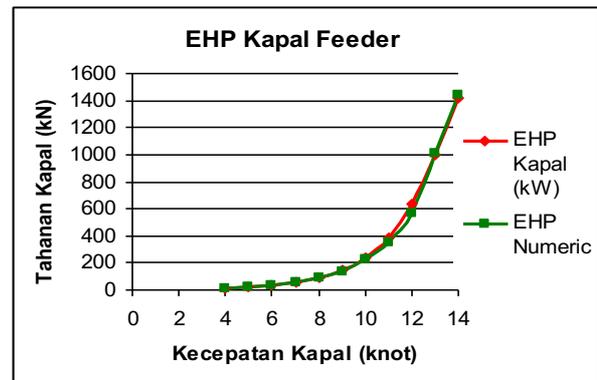


Gambar 5. Grafik tahanan kapal metode pengujian dan numerik

Grafik pada Gambar 5 memperlihatkan pola kenaikan tahanan kapal yang sama antara hasil numerik dengan hasil pengujian model dan mulai mengalami perbedaan yang meningkat setelah kecepatan 9 knot. Pada saat Kapal *Feeder* menempuh kecepatan 10 knot maka hasil pengujian menunjukkan nilai sebesar 8,4 kN atau 18,2% lebih besar dari nilai tahanan hasil metode numerik.

Gambar 6 menunjukkan bahwa daya efektif kapal hasil numerik dan eksperimen mempunyai nilai yang mendekati sama, namun terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada kecepatan 12 knot. Besarnya perbedaan nilai daya efektif antara kedua metode adalah 14,15 kW atau 5,96%, dimana nilai hasil eksperimen

(pengujian) jauh lebih besar dari hasil perhitungan numerik.



Gambar 6. Grafik daya efektif kapal metode pengujian dan numerik

Besarnya daya mesin Kapal *Feeder* yang dibutuhkan untuk berlayar di kecepatan 10 knot yang diperoleh dari hasil pengujian dan metode numerik tercantum pada Tabel 4 dengan asumsi efisiensi propulsi adalah sebesar 0,56.

Tabel 4. Daya efektif dan daya mesin kapal

No	Model Kapal	Daya Efektif (Hp)	Daya Mesin (Hp)
1	Numerik	298.85	656.95
2	Pengujian	317.82	698.66

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut. Besar nilai tahanan kapal *feeder* dari hasil metode eksperimen adalah 237 kN (317,82 hp) lebih besar 18,2 % dari metode numerik. Tahanan kapal yang diperoleh dengan metode eksperimen dan metode numerik mempunyai trend yang mirip dan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan sehingga metode numerik dapat digunakan dalam menghitung tahanan Kapal *Feeder* untuk variasi pengujian lainnya. Daya mesin yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan 10 knot adalah 698,66 Hp dengan perencanaan

kapasitas daya mesin kapal terpasang yakni 2 x 500 Hp

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada seluruh rekan-rekan BTH – BPPT yang telah mendukung suksesnya kegiatan pengujian hambatan model kapal feeder.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ITTC, *Recommended Procedures and Guidelines, Testing and Extrapolation Methods in Resistance Towing Tank Tests*, ITTC 7,5-02-02-02, 2002.
- [2] Journee, JMJ. and Pinkster, J, *Introduction in Ship Hydromechanics*, Lecture Notes, Delf University of Technology, Netherlands, 2002.
- [3] Lewis, E.V., *Principles of Naval Architecture, Vol. III: Motions in Waves and Controllability*, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, USA, 1989.
- [4] Molland, A.F., *A Guide to Ship Design, Construction and Operation*, The Maritime Engineering Reference Book, Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2008.
- [5] Molland, A.F., Turnock, S.R., dan Hudson, D.A., *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power*, Cambridge University Press, New York, USA, 2011.
- [6] Rosmani, A.Haris Muhammad, Muh.Algan, *Prediksi Tahanan Kapal Cepat Dolpin dengan Metode Eksperimen*, diterbitkan ILTEK Volume 8, April, Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Makassar, 2013.
- [7] Sahlan, Baharuddin Ali, Wibowo HN, A. Bisri, Berlian A, *Kajian Disain Kapal Pengaruh Bentuk lambung Kapal Terhadap Aliran dan Powering pada Kapal Perairan Sungai dan Laut*, Unit Pelaksana Teknis Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika BPPT Surabaya, Diterbitkan oleh KAPAL Volume 13, Februari, Universitas Diponegoro Semarang, 2016.
- [8] Andi Jamaluddin, *Analisa dan Evaluasi Faktor-faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Olah Gerak (Manuver) Kapal*, UPT Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika, BPPT, Surabaya, 2002.
- [9] Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika, *Observasi Pengaruh Arah Gelombang dan Kecepatan Kapal*, BPPH Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Surabaya, 2009.
- [10] Samudro dkk, *Laporan Akhir Kegiatan Kajian dan Analisa Teknis Hidrodinamika Untuk Keselamatan Operasional Kapal Cepat Angkut Penumpang Barang*. Program Insentif Terapan KRT tahun 2008-2010.
- [11] Ridwan Utina, *Kajian Pengaruh Gelombang Irregular terhadap added Resistance pada Kapal Patroli Cepat*, Jurnal Wave Volume 5, Desember diterbitkan oleh UPT Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika, BPPT, Surabaya, 2011.
- [12] Ro smani, Syamsul Asri, Wahyuddin, Aziz Abdul Karim, Imelda Rombe Allo D, *Pengaruh Bentuk Lambung Kapal Terhadap Tahanan Kapal*, Volume 7, Desember, Jurusan Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hassanuddin, Makassar, 2013.