



Analisa Hidrodinamika Kapal Container Sarat Rendah

Baharuddin Ali^{1*)}, Nurman Firdaus¹⁾, Nurhadi¹⁾

1)Balai Teknologi Hidrodinamika – BPPT

Jl. Hidrodinamika (komplek ITS) Sukolilo – Surabaya, Indonesia 60111

diajukan pada : 14/08/17

direvisi pada : 28/09/17

diterima pada : 12/10/17

Abstrak

Kapal container sebagai sarana angkutan barang berpengaruh vital terhadap laju percepatan perekonomian nasional. Kondisi perairan Indonesia yang kedalaman dan fasilitas pendukung pelabuhan bervariasi serta efisiensi operasional kapal menjadi pertimbangan dalam mendesain kapal. Penggunaan kapal sarat rendah tipe barge bermesin sebagai pengangkut container, *Self Propelled Container Barge (SPCB)* saat ini banyak menjadi pilihan operator kapal dalam melayani pengiriman barang dengan container. Penelitian ini menyajikan analisis hidrodinamika kapal SPCB 100 TEUs dengan metode pengujian model meliputi *seakeeping*, turning dan zig-zag maneuvering serta resistance test. Dari hasil uji *seakeeping* diketahui bahwa respon gerak kapal pada kondisi gelombang sea-state 4 masih dalam batas toleransi dengan memperhatikan kombinasi kecepatan dan arah heading kapal. Kinerja maneuvering turning dan zig-zag kapal dalam batas aman yang ditetapkan IMO. Dari hasil uji resistance didapatkan kecepatan maksimal yang optimum kapal adalah 12 knot. Selain besaran terukur, uji hidrodinamika dengan model memberikan gambaran fenomena saat kapal beroperasi di laut, sehingga menjadi informasi yang penting dalam desain dan operasional kapal.

Copyright © 2017, **KAPAL**, 1829-8370 (p), 2301-9069(e)

Kata Kunci : Uji Hidrodinamika, SPCB 100 TEUs, Seakeeping, Maneuvering, Resistance

1. PENDAHULUAN

Salah satu aspek penting yang sangat dibutuhkan dalam perpindahan barang antar pulau adalah tersedianya kapal-kapal yang lebih murah dan efisien. Sehingga keberadaan armada tersebut mempunyai peran yang sangat penting dalam menunjang berbagai kegiatan ekonomi. Kapal - kapal dengan sarat rendah atau rasio B/T besar menjadi pilihan beberapa operator pelayaran nasional dengan berbagai pertimbangan efisiensi. Penggunaan kapal tipe barge bermesin sebagai pengangkut container, tipe kapal *Self Propelled Barge (SPB)* saat ini banyak menjadi pilihan operator kapal dalam melayani pengiriman barang (batubara, container, semen, pupuk). Terkait desain SPB, beberapa penelitian telah dilakukan oleh beberapa penulis, kajian resistance dengan metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)* [1]

analisa perhitungan keselamatan dan stabilitas [2] [3] [4], penentuan ukuran utama SPB [5] [6]. Program pemerintah dalam usaha pemerataan pembangunan dengan mencanangkan program pembangunan kapal-kapal container, maka *Self Propelled Container Barge* 100 TEUs bisa menjadi salah satu alternatif.

Karena nilai investasi yang besar dalam pembangunan sebuah kapal maka perhitungan yang cermat serta prediksi operasional yang tepat perlu dilakukan. Dalam tahap desain, selain perhitungan numerik perlu dilakukan pengujian model melalui uji hidrodinamika sebagai acuan utama dalam pembangunan sebuah kapal.

Pembangunan SPCB dalam jumlah besar perlu dukungan kajian kinerja kapal yang memadai sebelum kapal tersebut dibangun. Sebagian besar kajian kinerja kapal menggunakan metode numerik, keakuratan hasil berdasarkan CFD belum bisa menunjukkan fenomena non-linear saat kapal beroperasi di laut. Meskipun

*) Penulis Korespondensi :

Email : baharuddin.ali@bppt.go.id

hasil uji model mempunyai keakuratan lebih dibanding simulasi numerik tidak semua kondisi bisa dilakukan pengujian dikarenakan biaya yang besar dalam melakukan suatu uji model hidrodinamika. Maka pada tulisan ini disajikan hasil uji hidrodinamika model kapal SPCB 100 TEUs *seakeeping*, *manuvering* dan *resistance test* dalam beberapa kondisi tertentu.

2. METODE

Pengujian model dilakukan pada model dan body plan SPCB 100 TEUs masing-masing pada Gambar 1 dan 2. Ukuran utama kapal disajikan dan skala model seperti terlihat pada Tabel 1. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan pada kondisi muatan penuh. Pengujian *seakeeping* dan *maneuvering* dilakukan pada fasilitas kolam uji manuevering ocean basin (MOB), sedangkan uji tahanan kapal (*resistance test*) dilakukan pada kolam towing tank (TT) dimana fasilitas kolam uji tersebut milik Laboratorium Hidrodinamika Indonesia – BPPT, Surabaya.[7]

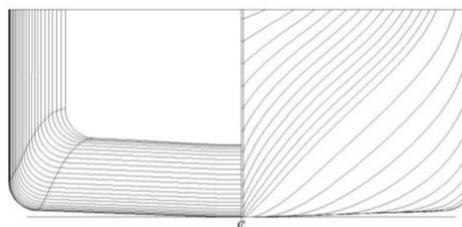
Untuk pengujian *seakeeping* dilakukan pada kondisi gelombang irreguler, tinggi gelombang signifikan $H_s = 2$ m dan peak period $T_p = 6.5$ sec, kondisi ini setara dengan sea-state 4, dengan tipe spektrum Pierson-Moskowitz, arah *heading* 135 deg (*bow quartering seas*) dan 180 deg (*head seas*). Kedua *heading* tersebut kemungkinan besar terjadi saat kapal beroperasi di laut, tetapi *heading* 90 deg memiliki resiko terbesar dan operator kapal dalam operasinya akan menghindarinya. Uji turning manuver dilakukan pada kondisi *calm water* dengan sudut kemudi 35 deg sedangkan manuever zig-zag dengan sudut kemudi 20/20 deg pada kecepatan 11 knot.

Sebelum melakukan pengujian *seakeeping* dan *manuvering*, dilaksanakan pengaturan distribusi berat model sehingga didapatkan titik berat memanjang dan vertikal model kapal sesuai dengan kondisi titik berat kapal. Pengecekan *roll natural period* dilakukan dengan *decay test*.

Simbol (unit)	Dimensi (m)
Lpp (m)	69,20
B (m)	17,20
D (m)	4,90
T (m)	3,50
Δ (ton)	3327
VCG (m)	5,00
LCG dari AP (m)	31,50
Skala	23,067



Gambar 1. Model SPCB 100 TEUs



Gambar 2. Body plan SPCB 100 TEUs

Pengujian *seakeeping* dan *maneuvering* dilakukan dengan menggunakan metode *free running*. Metode ini menggunakan sistem penggerak yang dapat dikendalikan, sehingga model dapat bergerak dalam 6 derajat kebebasan. Untuk mendapatkan data gerak model kapal dilakukan dengan cara menggunakan sistem *wireless optical tracking*. Sensor target yang terpasang pada model akan dideteksi oleh peralatan *motion tracking* yang selanjutnya direkam dalam bentuk data gerakan model sehingga menggambarkan fenomena gerakan kapal tersebut saat beroperasi di lautan.

Untuk mengetahui karakteristik gaya tahanan kapal perlu dilakukan *resistance test* dengan memvariasikan kecepatan kapal sesungguhnya antara $V_s = 9 \sim 14$ knot dalam skala model. Pengujian *resistance* dilakukan dengan menghubungkan model pada lengan penarik yang terhubung ke alat ukur gaya (*load cell*), kemudian ditarik oleh *carriage*. Dari gaya yang terekam itu akan memberikan informasi gaya tahanan akibat gesekan lambung kapal dengan fluida air. Gaya tahanan berkaitan dalam penentuan daya penggerak maupun sistem propulsi kapal untuk mencapai kecepatan tertentu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Seakeeping

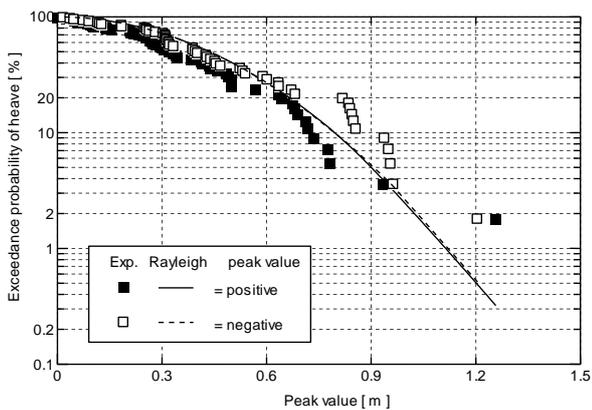
Dari hasil pengujian ini hanya gerak *heave*, *roll* dan *pitch* dilakukan analisa karena mode gerak kapal ini yang dominan terjadi pada kapal dibandingkan mode gerak *surge*, *sway* dan *yaw*.

Analisa *seakeeping* dilakukan dengan menyajikan data dalam bentuk distribusi probabilitas kejadian dan dibandingkan dengan distribusi probabilitas Rayleigh untuk melihat linearitas pola gerakan kapal. Penyajian data

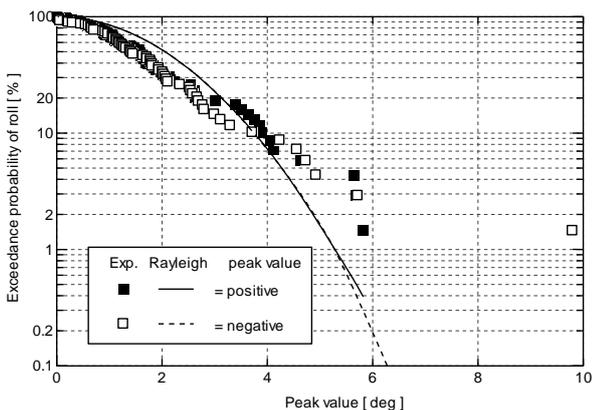
probabilitas dimaksudkan untuk mempermudah pembacaan hasil analisa gerak kapal dengan acuan prosentase kejadian gerak pada waktu tertentu. Sehingga dengan cukup membaca *peak value* dari terkecil hingga terbesar tanpa mengubah besaran yang lain akan terbaca pola kejadian dalam suatu range waktu pengukuran. Persamaan distribusi kumulatif Rayleigh sebagai berikut :

$$P(X \leq x) = 1 - EXP(-x^2/2\sigma^2) \quad (1)$$

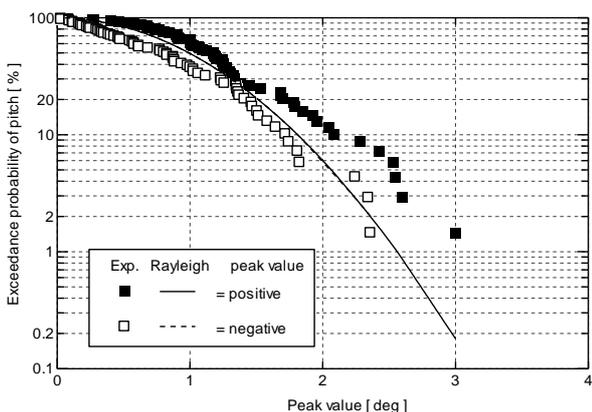
dimana x adalah nilai puncak atau peak value kejadian (positif maupun negatif) setiap cycle kejadian, dan σ adalah standar deviasi data.



Gambar 3. Distribusi probabilitas gerak *heave* pada heading 135 deg



Gambar 4. Distribusi probabilitas gerak *roll* pada heading 135 deg



Gambar 5. Distribusi probabilitas gerak *pitch* pada heading 135 deg

Distribusi probabilitas gerak *heave*, *roll* dan *pitch* masing-masing heading 135 deg dan 180 deg disajikan pada Gambar 3 ~ 8. Penyajian data hasil uji model SPCB 100 TEUs lambang ■ dan □ masing-masing menunjukkan nilai puncak positif dan negatif.

Pada Gambar 3 ~ 8 terlihat bahwa gerakan kapal akan terdistribusi secara normal untuk amplitudo gerakan kecil, namun akan menjadi non-linier manakala respon gerak membesar. Hal ini ditunjukkan pada bagian ujung-ujung yang akan menjauhi distribusi Rayleigh. Prediksi gerak kapal secara numerik akan mengalami deviasi atau berkurangnya keakuratan apabila prediksi dengan kondisi ekstrim, karena perhitungan numerik banyak menggunakan asumsi linier.

Hasil pengujian model menunjukkan adanya non-linieritas gerakan kapal dan akan mendekati kondisi sesungguhnya. Pada pengujian *seakeeping* SPCB 100 TEUs heading 135 deg dan 180 deg tidak terlihat efek greenwater terhadap badan kapal. Sehingga penelitian ini tidak menjelaskan pengaruh kejadian greenwater terhadap kapal SPCB 100 TEUs.

Pada kondisi perairan ekstrim sea-state 4 ini, gerakan SPCB 100 TEUs memiliki kecenderungan tidak simetris antara kiri dan kanan pada kondisi heading 135 deg dibandingkan pada kondisi 180 deg. Hal ini dimungkinkan akibat gelombang datang dari salah satu sisi kapal secara *bow quartering* saat heading 135 deg. Fenomena ini dapat terlihat jelas dengan adanya pengujian hidrodinamika.

Pada gerak *heave* untuk kedua kondisi heading cenderung linear dengan probabilitas maximum dibawah 2% untuk amplitudo *heave* setengah dari sarat kapal. *Heaving* adalah gerakan vertikal keatas maupun kebawah sebuah kapal terhadap titik pusat gravitasinya dan biasanya berhubungan dengan *couple pitching*. Gerakan porpoising yang besar (*couple heaving* dan *pitching*) kemungkinan akan mengakibatkan parametric *rolling*, yaitu gerak *roll* berlebihan dalam arah *head seas* (180 deg).

Maximum *pitch* pada heading 135 deg adalah 3 deg dan pada heading 180 deg adalah 5.2 deg, dengan masing-masing probabilitas kejadian 1.5%. Pengaruh gerak *pitching* ini berpengaruh juga terhadap *slamming*, *deck wetness* dan *vertical acceleration*. Dalam standard criteria [8] NORDFORSK 1987 untuk golongan *merchant ship*, RMS (*Root Mean Square*, $RMS = 4 \sigma$) gerak *pitch* diberikan limit 1.5 deg. Dari hasil pengujian

didapatkan hasil 0.674 deg untuk *heading* 180 deg dan 0.844 deg untuk 135 deg.

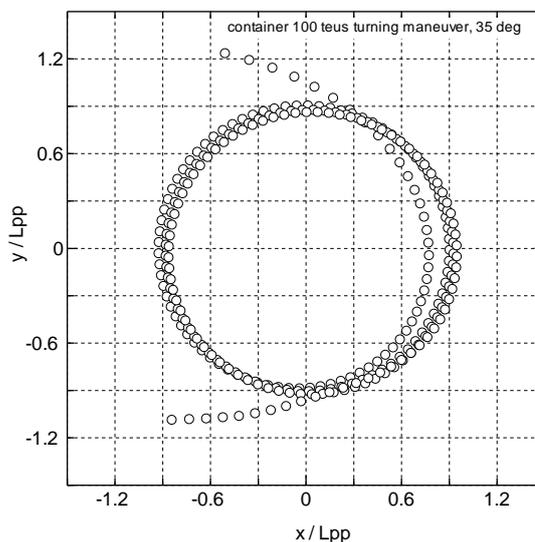
Salah satu mode gerak kapal yang vital adalah gerak *roll*, karena mode gerak ini berhubungan dengan stabilitas kapal. Hasil uji model pada Gambar 4 dan 7 menunjukkan respon maksimum *roll* pada heading 180 deg terlihat lebih kecil 75% dibandingkan saat *heading* 135 deg. Hal ini menunjukkan bahwa sudut *heading* kapal berpengaruh pada respon gerak *roll* kapal. Pada kedua *heading* diketahui non-linieritas terjadi dengan kejadian maksimal 10%. Dari hasil pengujian ini diketahui bahwa RMS pada heading 180 deg adalah 1.246 deg, sedangkan pada heading 135 deg adalah 1.749 deg, *standard criteria* NORDFORSK 1987 untuk golongan merchant ship, RMS gerak *roll* diberikan limit 6 deg.

3.2. Maneuvering

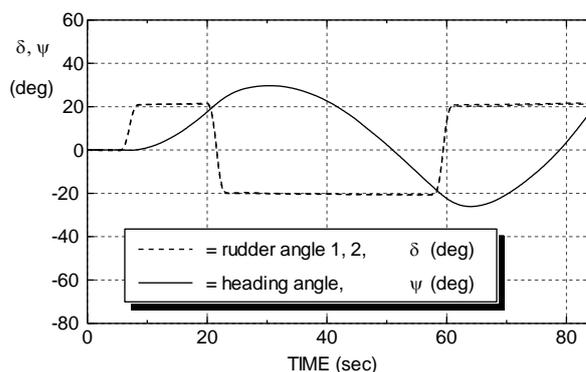
Salah satu ketentuan dalam regulasi kapal yang disyaratkan IMO Resolution A.751(18) tahun 1993 [9] serta IMO Resolution MSC.137(36) tahun 2002 [10] adalah kemampuan manuverabilitas kapal. Kemampuan manuver *turning circle* dan zig-zag menjadi sangat penting bagi sebuah kapal karena terkait pada keselamatan pelayaran.

Hasil pengujian model *turning circle* manuver dan zig-zag manuver SPCB 100 TEUs masing-masing disajikan pada Gambar 9 dan 10. Karakteristik gerakan memutar kapal untuk putaran pertama akan memotong lintasan awal saat membentuk satu lingkaran, dan putaran berikutnya mengikuti pola gerakan putaran pertama. Dari hasil pengujian *turning circle* diketahui SPCB 100 TEUs memiliki diameter putar 1.75 x Lpp, *tactical diameter* 2.19 x Lpp dan *advance diameter* 2.10 x Lpp. Nilai tersebut dalam batas aman yang ditetapkan oleh IMO dimana maksimum *advance diameter* 4.50 x Lpp dan *tactical diameter* 5.00 x Lpp.

Uji zig-zag manuver dilakukan dengan memprogram secara autopilot sistem penggerak model sesuai prosedur uji zig-zag manuver. Kemudian bergerak 20 deg ke kanan saat pertama dan ke kiri 20 deg setelah *heading* model kapal mencapai *heading* yang dimaksud. Dari hasil pengujian zig-zag, lihat Gambar 10, didapatkan hasil *first overshoot angle* sebesar 13.26 deg. Nilai tersebut masih dalam batas aman, karena dibawah ketentuan IMO maksimum 25 deg.



Gambar 9. Hasil uji *turning circle* manuver SPCB 100 TEUs, rudder 35 deg

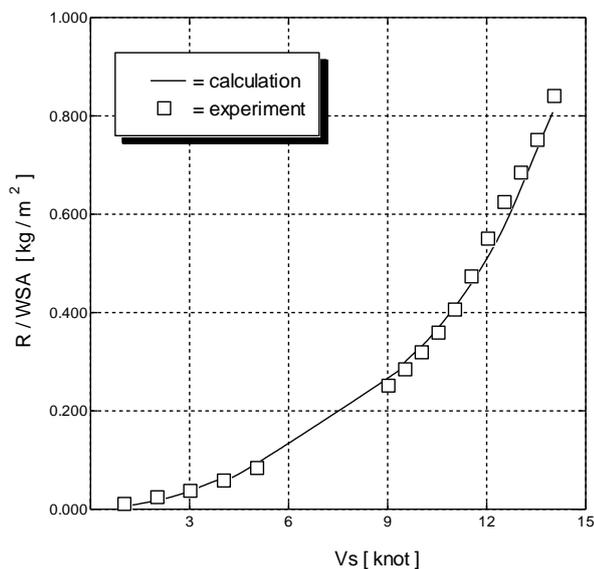


Gambar 10. Hasil uji zig-zag manuver SPCB 100 TEUs, rudder 20/20 deg

3.3. Tahanan Kapal

Gaya tahanan kapal berhubungan dengan daya mesin yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan kapal yang diinginkan. Sehingga uji tahanan kapal sangat penting untuk perencanaan pembangunan kapal.

Hasil pengujian tahanan kapal SPCB 100 TEUs disajikan pada Gambar 11. Perhitungan numerik gaya tahanan kapal juga dilakukan dengan metode Holtrop, karena metode ini diketahui bisa digunakan untuk bentuk badan kapal standar dengan froude number rendah, namun perlu diperhatikan dalam penentuan *form factor* (1+k) pada metode tersebut. Hasil tahanan kapal dinyatakan dalam bentuk non-dimensional yaitu dibagi dengan luasan permukaan basah kapal WSA, untuk kapal ini pada sarat *full load* mempunyai nilai luasan permukaan basah 1412.16 m². Pada grafik terlihat bahwa gaya tahanan kapal meningkat dengan naiknya kecepatan kapal.



Gambar 11. Hasil uji tahanan kapal SPCB 100 TEUs

Dari Gambar 11 terlihat uji *resistance* model dilakukan pada kecepatan 9 ~ 14 knot. Dari grafik pengujian terlihat tahanan kapal naik secara perlahan, namun pada kecepatan di atas 12 knot terlihat kenaikan tahanan yang lebih besar untuk tiap knot dibandingkan kecepatan di bawahnya. Fenomena perubahan tahanan pada kecepatan di atas 12 knot tidak terlihat pada hasil perhitungan numeric. Fenomena menunjukkan bahwa pengujian hidrodinamika tidak hanya mampu mendapatkan besaran nilai uji, namun juga didapatkannya gambaran karakteristik gelombang yang ditimbulkan oleh bentuk badan kapal. Hal ini menjadi informasi penting dalam desain dan operasional kapal.

Dari hasil pengujian *resistance* bisa diketahui kecepatan optimum SPCB 100 TEUs pada kecepatan antara 9 ~12 knot. Informasi ini menjadi penting dalam perencanaan desain sistem propulsi dan rencana operasional kapal dalam penentuan kecepatan kapal yang optimum.

Dari pembahasan hasil uji model di atas diperoleh gambaran karakteristik Kapal SPCB 100 TEUs dari sisi hidrodinamika. Sehingga studi ini dapat menjadi referensi yang penting dalam pertimbangan desain dan operasional, sehingga dihasilkan sebuah kapal container sarat rendah yang optimum dan layak.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian hidrodinamika model kapal sarat rendah diperoleh kesimpulan, bahwa uji model hidrodinamika memberikan gambaran fenomena secara visual sebagaimana sangat mempengaruhi kinerja kapal. Hasil penelitian ini menjadikan informasi yang penting dalam desain

dan operasional kapal. Selain itu, hasil terukur dari uji *seakeeping* Kapal SPCB 100 TEUs menunjukkan karakteristik gerakan kapal pada kondisi sea-state 4 masih dalam batas toleransi meskipun masih perlu memperhatikan kombinasi kecepatan dan arah *heading* kapal guna mendapatkan respon gerak minimal. Untuk kemampuan *manuvering turning* dan zig-zag kapal masih dalam batas aman yang ditetapkan IMO. Dari uji *resistance*, diketahui kecepatan maksimal yang optimum kapal tersebut adalah 12 knot.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada manajemen dan rekan-rekan BTH-BPPT yang telah bersama-sama mendukung menyelesaikan kegiatan pengujian model kapal container 100 TEUs.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Purwana dan A. W. Husodo, "Total Resistance Prediction of Self Propelled Coal Barge (SPCB) Using Computational Fluid Dynamic", *KAPAL*, Vol. 12, No. 2, pp. 97-105, 2015
- [2] B. Ali, "Evaluasi Bertin's Coefficient Pada Prediksi Roll Kapal Sarat Rendah Dalam Weather Criterion", Prosiding Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan, ITS, Surabaya, 2011.
- [3] M. Zaky dan B. Ali, "Kajian Awal Lambung Timbul dan Tinggi Haluan Minimum Kapal Untuk Wilayah Perairan RI", *Jurnal Warta Penelitian Perhubungan*, Balitbang Kemenhub, Jakarta, Vol. 25, No. 5, pp. 310-317, 2013.
- [4] S. Karana, Analisis Keselamatan Self Propelled Barge 6000DWT Sebagai Sarana Transportasi Batubara, *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, BPPT, Jakarta, Vol. 10 No. 2, pp. 137-148, 2016.
- [5] A. T. Pratista dan D. Manfaat, "Perancangan Self Propelled Container Barge (SPCB) Sebagai Alternatif Angkutan Container Pelayaran Pantura Untuk daerah Jawa Timur", *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 1, No. 3, pp. 367-371, 2012.
- [6] N. B. Prayoga dan W. D. Aryawan, "Desain Self-Propelled Oil Barge (SPOB) Untuk Distribusi Crude Oil di Kabupaten Sorong,

Papua Barat”, *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 5, No. 1, pp. 19-24, 2016.

- [7], Pengujian Model Kapal SPB Container 100 TEUs, Laporan Internal Balai Teknologi Hidrodinamika, BPPT, Surabaya, 2016.
- [8] O. M. Faltinsen, *Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicle*, Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [9], “Manoeuvrability of Ships and Manoeuvring Standards”, IMO Resolution A.751(18)”, International Maritime Organization, London, 1993.
- [10], “Standards for ship maneuverability”, IMO Resolution MSC 137 (36)”, International Maritime Organization, London, 2002.