



RANCANG BANGUN MODEL UJI KAPAL *GENERAL CARGO* 8202 DWT UNTUK PENGUJIAN HIDROSTATIS

*Yuni Ari Wibowo, Anas Noor Firdaus, Lulut Alfaris, Nunik Wijayanti
Program Studi Teknologi Kelautan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Pangandaran
*yuniariwibowo@gmail.com

Abstrak

Perkembangan industri maritim Indonesia tidak bisa terlepas dari pertumbuhan sarana transportasi laut, dalam hal ini yaitu pertumbuhan armada kapal. Namun dibalik pertumbuhan tersebut kecelakaan kapal masih menjadi isu yang cukup krusial. Salah satu penyebabnya adalah tenggelam yang diakibatkan buruknya stabilitas kapal. Perpindahan muatan di atas kapal dari aktivitas bongkar-muat (*loading-unloading*) menyebabkan berubahnya stabilitas kapal. Pada umumnya stabilitas kapal dapat dianalisis menggunakan pendekatan numerik dengan analisis hidrostatik, namun untuk mengakomodasi perilaku non-linier dibutuhkan eksperimen model uji. Penelitian ini berfokus pada rancang bangun model uji kapal *General Cargo* 8202 DWT. Model uji dibuat dengan skala 1:60 yang memiliki panjang model (L) 1.80m, lebar (B) 0.3m, tinggi (D) 0.23m dan sarat air (T) 0.12m. Model uji dibuat dengan memodelkan linesplane kemudian menyusunnya menjadi model 3D. Setiap station pada kapal dipolakan pada kayu, dipotong dan disusun membentuk pola kapal, kemudian dilapisi dengan multiplek dan fiber. Prosedur rancang bangun model uji yang dibuat mengacu pada standar *International Towing Tank Conference* (ITTC). Pengujian kolam dilakukan untuk mengidentifikasi sarat air dan kemiringan kapal pada 3 kondisi muatan: *lightweight*, *ballasted load* dan *full load*. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan sarat air yang sesuai dengan desain ukuran utama serta kemiringan yang cenderung stabil.

Kata Kunci: Eksperimen, Hidrostatik, Model uji, Stabilitas.

Abstract

The development of Indonesia's maritime industry cannot be separated from the growth of sea transportation facilities, in this case, namely the growth of the fleet of ships. However, despite this growth, ship accidents are still a crucial issue. One of the causes is sinking caused by poor ship stability. Transfer of cargo on board from loading-unloading activities causes changes in the stability of the ship. In general, ship stability can be analyzed using a numerical approach with hydrostatic analysis, but to accommodate non-linear behavior, model-test experiments are needed. This research focuses on the design of the model test of the General Cargo 8202 DWT ship. The model-test was made with a 1:60 scale which has a model length (L) of 1.80m, breadth (B) of 0.3m, height (D) of 0.23m and a draft (T) of 0.12m. The model-test is designed by modeling the linesplane and then compiling it into a 3D model. Each station on the ship is patterned on wood, cut and arranged to form a ship pattern, then covered with multiplex and fiber. The design procedure for the model-test made refers to the International Towing Tank Conference (ITTC) standard. Pond testing was carried out to identify the draft and inclination of the ship at 3 loading conditions: lightweight, ballasted load and full load. Based on the test results, the model-test's draft was in accordance with the principal dimensions and the inclination tended to be stable.

Keyword: Experiment, Hydrostatic, Model-Test, Stability.

1. PENDAHULUAN

Dunia maritim Indonesia tidak bisa dilepaskan dari kegiatan transportasi logistik melalui perairan Indonesia menggunakan media kapal. Dengan adanya program tol laut, pertumbuhan armada kapal nasional Indonesia tercatat meningkat cukup signifikan secara *year on year* (yoy) dari tahun 2017, yaitu 8,56% di tahun 2018 dengan jumlah armada pemegang SIUPAL dan SIOPSUS mencapai 27.567 armada dan 8.88% di tahun 2019



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

yang mencapai 32.587 armada [1][2]. Namun, dibalik pertumbuhan armada tersebut, kecelakaan kapal di perairan Indonesia tidak serta merta nihil. Sejak tahun 2017 hingga 2022 kecelakaan kapal mencapai 142 kasus dengan rata-rata 23 kasus kecelakaan terjadi tiap tahunnya [3]. Salah satu penyebab kecelakaan adalah tenggelam akibat buruknya stabilitas kapal. Dalam perancangan kapal stabilitas menjadi unsur yang krusial, oleh karena itu diperlukan kajian dengan analisis hidrostatis untuk meng-evaluasi properti hidrostatis seperti *displacement*, *center of gravity*, *center of buoyancy* dan *titik metacenter* [4][5][6].

Pada umumnya analisis hidrostatis dapat dilakukan dengan pendekatan numerik dengan pemodelan komputer [7], namun untuk mengakomodasi perilaku non-linier dibutuhkan eksperimen dengan model uji mengacu pada standar ITTC [8]. Pada penelitian ini difokuskan untuk merancang bangun model uji kapal *General Cargo* 8202 DWT, dimulai dari desain rencana garis/ linesplan, penyusunan model 3D, pembuatan model uji berskala dengan material multiplek berlapis fiber [9][10][11].

Penelitian ini berfokus pada model kapal jenis *General Cargo* 8202 DWT berukuran panjang 108m yang diskalakan ke dalam rasio 1:60 untuk dibuatkan model uji dengan panjang 1.80m . Ukuran utama kapal *General Cargo* 8202 DWT dan model uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran utama kapal *General Cargo* 8202 DWT dan model uji berskala 1:60

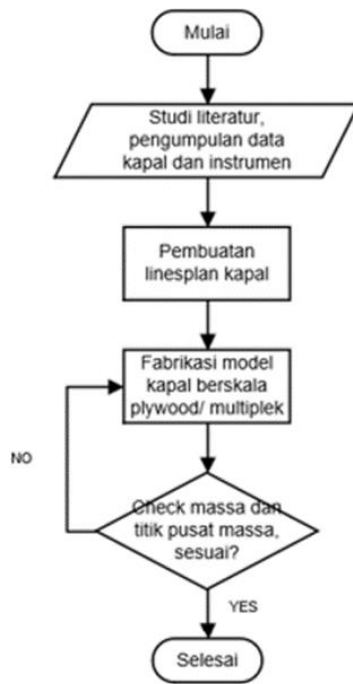
No	Parameter	Ukuran Utama (m)	
		Kapal sebenarnya	Model kapal berskala
1	<i>Length over All (LoA)</i>	108.00	1.80
2	<i>Length Between Perpendiculars (LBP)</i>	100.20	1.67
3	<i>Breadth (B)</i>	18.00	0.30
4	<i>Height (D)</i>	14.00	0.23
5	<i>Draft (T)</i>	7.00	0.12
6	<i>Block Coeff. (Cb)</i>	0.66	0.66
7	<i>LCB length from zero pt. (+ve fwd)</i>	52.87	0.88
8	<i>LCF length from zero pt. (+ve fwd)</i>	48.87	0.80

2. METODE

Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur pembuatan model uji dan pengumpulan data kapal yang meliputi ukuran utama kapal dan intact stability booklet dari *General Cargo* 8202 DWT. Langkah selanjutnya adalah memodelkan linesplan kapal *General Cargo* pada MAXSURF untuk menggambarkan bentuk rancangan kapal dan properti hidrostatisnya. Analisis hidrostatis dilakukan untuk mendapatkan data berupa *displacement*, *center of gravity*, *center of buoyancy* dan *titik metacenter* per ketinggian *waterline*.

Tahapan selanjutnya adalah rescaling linesplan pada MAXSURF dengan skala 1:60. Setelah melalui proses rescaling maka proses masuk ke tahap fabrikasi model uji. Masing-masing station pada desain model uji kemudian dicetak menjadi mal dan ditempelkan pada plywood/ multiplek untuk kemudian dipotong menjadi potongan-potongan station yang siap disusun. Potongan multiplek tersebut dirangkai sesuai dengan desain linesplan dan ditutup kulit menggunakan potongan multiplek. Kulit lambung tersebut diratakan dengan dempul dan dilapisi pada bagian terluarnya dengan resin/ serat fiber. Setelah proses pelapisan fiber selesai, bagian kulit dihaluskan dengan apas untuk kemudian dilakukan pengecatan dan pemberian marking ukuran panjang dan *waterline*.

Pada tahapan ini dilakukan kalibrasi massa model uji dan posisi pusat massa apakah sudah sesuai dengan pengujian hidrostatis. Kalibrasi dilakukan dengan meletakkan model uji ke dalam air untuk melihat ketinggian sarat air beserta kemiringan ke arah longitudinal maupun transversal (*trim* dan *heel*). Penyesuaian massa dan posisi titik pusat massa dilakukan dengan menambahkan massa tambahan (muatan) ke dalam model uji sehingga kondisinya menjadi sama dengan properti hidrostatisnya. Tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat pada bagan alir yang ditunjukkan pada Gambar 1.

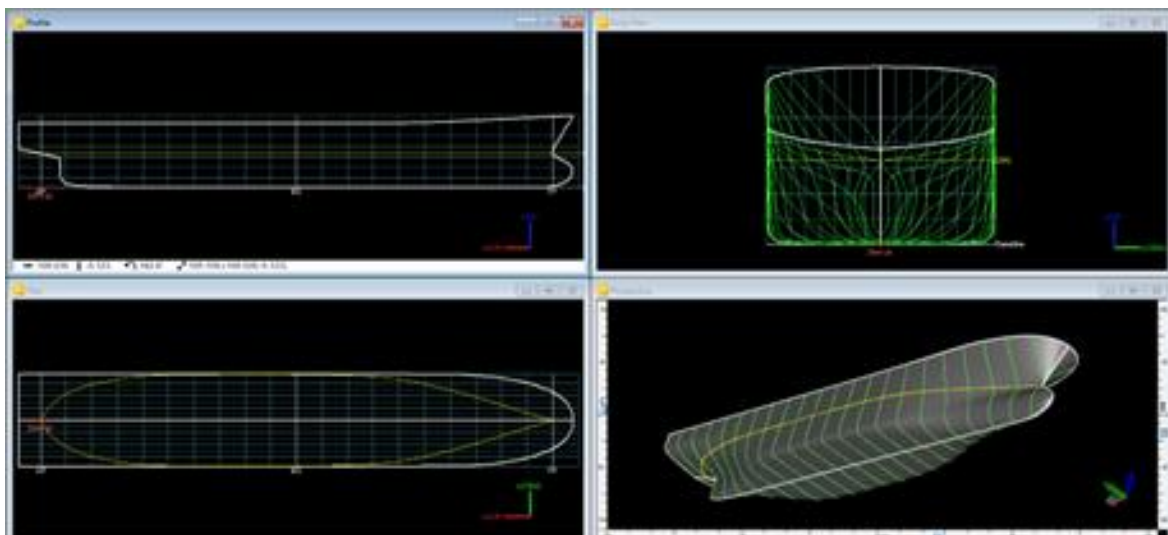


Gambar 1. Tahapan pembuatan rancang bangun model uji dari kapal General Cargo 8202 DWT

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Desain Linesplane

Linesplan kapal General Cargo 8202 DWT dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak MAXSURF dengan menampilkan penampang memanjang (sheer plan), penampang melintang (body plan) dan penampang vertikal (half breadth plan) sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2. Desain linesplan ini bertujuan untuk menggambarkan rancangan model beserta dengan properti hidrostatisnya.



Gambar 1. Linesplan General Cargo: sheer plan, body plan, half breadth plan dan isometric 3D view

3.2 Properti Hidrostatik

Properti hidrostatik didapatkan dengan melakukan analisis hidrostatik untuk mendapatkan hasil yang mencakup draft (T), kemiringan kapal (*trim dan heel*), *displacement* (Δ), *center of buoyancy*, *water plan area*

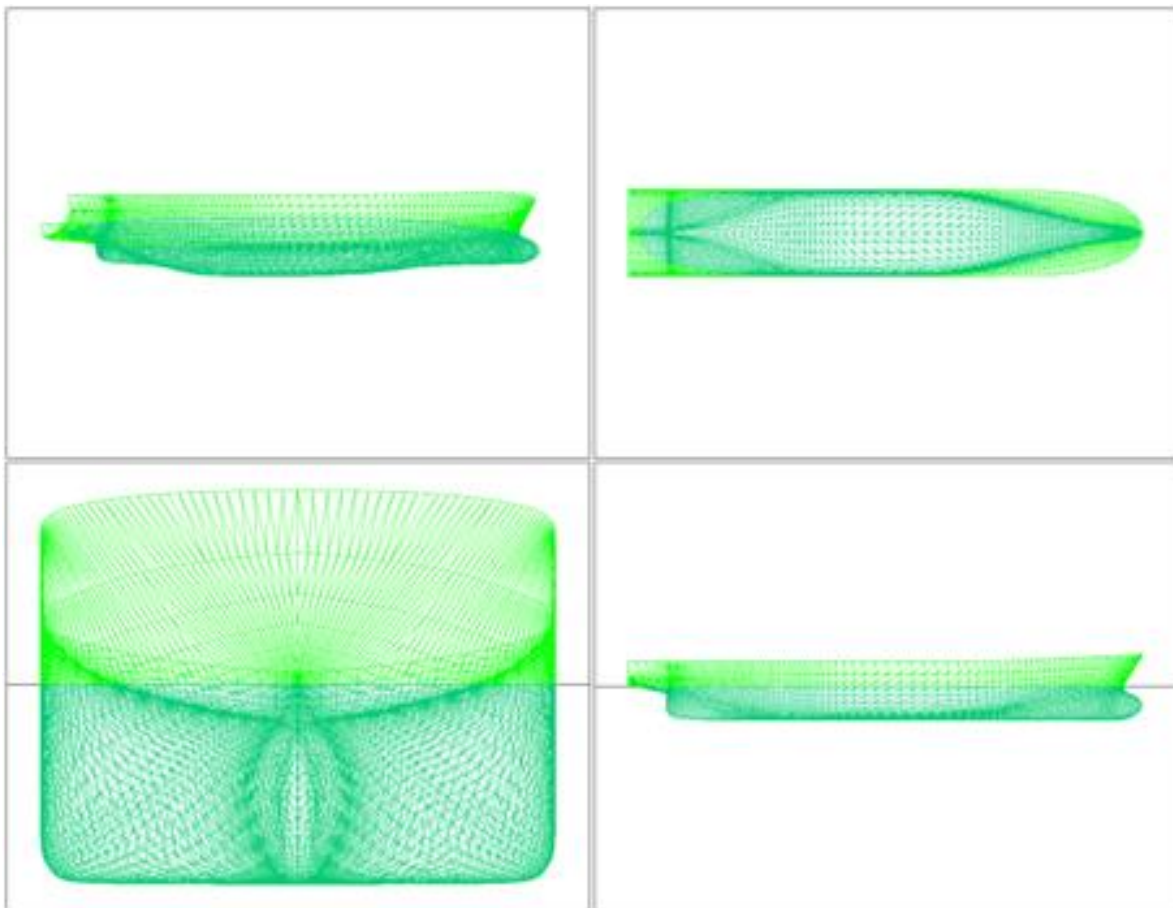


copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

(WPA) dan tinggi metacenter, baik longitudinal maupun transversal (KML, KMT, BML dan BMT). Properti hidrostatis dari kapal *General Cargo* tersebut ditunjukkan pada Tabel 2 yang disajikan per ketinggian waterline. Properti hidrostatis kapal *General Cargo* 8202 DWT pada Tabel 2 disajikan ke dalam 15 waterline sesuai dengan sarat air kapal sebesar 7.00m dengan increment sebesar 0.5m. Didapati kemiringan kapal arah longitudinal dan transversal (trim dan heel) sebesar 0.00 deg dan displacement kapal pada sarat air 7.00m sebesar 8624.52 m-Ton.

3.3 Model 3D

Linesplan *General Cargo* 8202 DWT direscale ke rasio 1:60 untuk menjadi model uji. Berdasarkan linesplan tersebut kemudian digenerate dalam bentuk 3D untuk memodelkan kulit lambung dari model uji (Gambar 3).



Gambar 3. Model 3D kulit dari model uji: isometric view, top view, front view dan side view

3.4 Station Model Uji

Pengaturan jarak antar station pada model uji disesuaikan dengan kebutuhan proses fabrikasi dan memperhatikan juga detail bentuk dari lambung kapal. Pengaturan jarak antar station dimulai dari sisi paramidle body, atau bagian lambung kapal yang memiliki lebar yang sama. Kemudian dilanjutkan pada bagian depan dan belakang kapal dengan jarak station yang semakin rapat agar dapat mengakomodasi bentuk lekukan lambung kapal. Jarak station pada model uji dibagi ke dalam 28 potongan secara memanjang ditunjukkan pada Gambar 4.

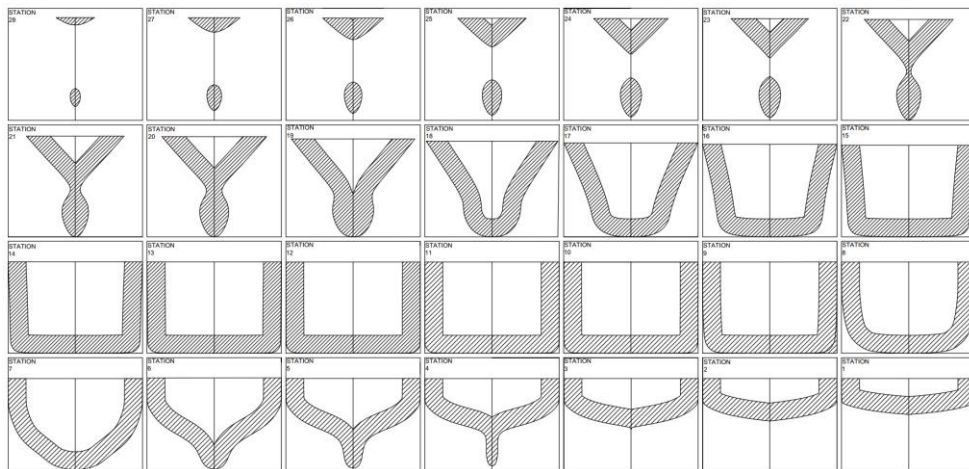
Tabel 1. Properti hidrostatis kapal *General Cargo* 8202 DWT

Draft	Trim	Heel	Displacement	Center of Buoyancy [m]			WPA	KMT	KML	BMT	BML
[m]	[deg]	[deg]	[m-Tons]	x	y	z	[m ²]	[m]	[m]	[m]	[m]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	0.00	0.00	423.42	54.46	0.00	0.27	968.22	42.88	835.09	42.61	834.82



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Draft	Trim	Heel	Displacement	Center of Buoyancy [m]			WPA	KMT	KML	BMT	BML
1.00	0.00	0.00	947.28	54.18	0.00	0.54	1065.31	22.86	461.87	22.32	461.33
1.50	0.00	0.00	1508.01	54.03	0.00	0.80	1119.17	15.87	327.10	15.07	326.29
2.00	0.00	0.00	2091.32	53.92	0.00	1.07	1156.08	12.41	256.34	11.34	255.27
2.50	0.00	0.00	2691.17	53.86	0.00	1.33	1184.35	10.44	211.99	9.10	210.66
3.00	0.00	0.00	3304.17	53.84	0.00	1.60	1207.75	9.22	181.48	7.62	179.88
3.50	0.00	0.00	3928.14	53.87	0.00	1.86	1227.53	8.43	158.67	6.58	156.81
4.00	0.00	0.00	4561.74	53.94	0.00	2.12	1245.30	7.93	141.01	5.80	138.89
4.50	0.00	0.00	5204.16	54.05	0.00	2.38	1262.45	7.60	126.95	5.22	124.56
5.00	0.00	0.00	5855.58	54.22	0.00	2.65	1280.87	7.42	115.83	4.77	113.18
5.50	0.00	0.00	6517.51	54.42	0.00	2.91	1304.31	7.33	107.99	4.42	105.08
6.00	0.00	0.00	7194.32	54.67	0.00	3.18	1340.85	7.33	104.97	4.15	101.79
6.50	0.00	0.00	7894.41	54.96	0.00	3.45	1393.98	7.41	106.74	3.96	103.29
7.00	0.00	0.00	8624.52	55.30	0.00	3.73	1457.55	7.55	110.92	3.82	107.19



Gambar 2. Potongan 28 station dari model uji

3.5 Fabrikasi Model Uji

Station pada bagian Gambar 4 kemudian dicetak dan ditempelkan pada papan multiplek atau kayu sehingga membentuk mal, kemudian papan dipotong mengikuti alur dari mal yang terbentuk (Gambar 5). Mal disusun berdasarkan jarak antar station pada landasan dasar dan ditautkan antara satu mal dengan mal yang lain sehingga membentuk sebuah rangka kapal (Gambar 6).



Gambar 3. Potongan multiplek berdasarkan desain mal station



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



Gambar 4. Penyusunan potongan station pada landasan dasar dan ditautkan antar station

3.6 Pemasangan Kulit pada Model Uji

Tahapan yang dilakukan setelah rangka kapal mulai terbentuk adalah pemasangan kulit lambung pada rangka model uji. Kulit lambung dibuat dari potongan memanjang multiplek dengan lebar yang tipis agar mudah dilengkungkan untuk menutupi seluruh bagian rangka kapal. Potongan memanjang tersebut kemudian direkatkan antara satu potongan dengan potongan yang lain pada rangka kapal dengan menggunakan lem. Setelah kulit tertempel pada rangka model uji, dilakukan proses pendempulan untuk meratakan bentuk lambung kapal. Proses pendempulan yang dilakukan untuk melapisi kulit lambung dilakukan untuk menjaga bentuk lambung kapal sesuai dengan desain yang *streamline*, sehingga aliran yang melewati model kapal dapat berpropagasi secara halus, mengurangi gaya friksi akibat tidak beraturannya model yang tidak *streamline*. Setelah dilakukan pendempulan tahapan yang dilakukan adalah menghaluskan dempul dengan menggunakan amplas (Gambar 7).



Gambar 5. Proses pendempulan pada kulit lambung model uji

3.7 Laminasi Fiber

Setelah proses pendempulan dilakukan, bagian terluar dari kulit dilapisi dengan laminasi fiber. Laminasi fiber merupakan proses pelapisan kapal dengan merekatkan serat *fiberglass* pada lambung kapal. Hal ini bertujuan agar lambung kapal menjadi kedap air, sehingga tidak ada air yang keluar masuk dari atau ke dalam bagian kapal, selain itu juga dapat memperkuat konstruksi antar kulit di lambung kapal (Gambar 8).



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Setelah proses laminasi fiber, dilakukan proses pengecatan dan pemberian *marking*. Pengecatan dilakukan dengan menyemprotkan *paint spray* ke bagian luar lambung kapal. Warna yang digunakan adalah warna kuning sesuai dengan standar pengujian. Setelah cat kering dibuatkan marker ukuran baik secara memanjang maupun vertikal agar memudahkan dalam proses pengukuran saat pengujian.



Gambar 6. Proses laminasi fiberglass pada kulit lambung model uji

3.8 Kalibrasi Massa dan Posisi Pusat Massa

Pengujian awal dilakukan dengan mengkalibrasi massa dan posisi pusat massa pada model uji. Kalibrasi dilakukan dengan meletakkan model uji pada bak air dan dilakukan pengamatan visual pada sarat air (*draft*) model uji dan kemiringan kapal baik dari sumbu longitudinal maupun transversal (kondisi *trim* dan *heel*) (Gambar 9). Penambahan massa sebagai muatan tambah dilakukan untuk menyesuaikan sarat air (indikator massa) dan kemiringan *trim* serta *heel* (indikator posisi pusat massa).



Gambar 7. Pengujian awal dengan kalibrasi massa dan posisi pusat massa

3.9. Pengujian di Kolam

Pengujian model uji di kolam dilakukan dengan tujuan menguji sarat air dan kemiringan kapal (*heel* dan *trim*) jika diberi kondisi pembebanan (*Load Condition/ LC*) yang meliputi *selfweight* (LC100), *ballast loaded*



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

(LC200) dan *full loaded* (LC300) (Gambar 10). Sarat air yang terbentuk dari masing-masing pengujian beserta kemiringannya kemudian diukur dan diidentifikasi sebagaimana terlihat pada Tabel 3.



Gambar 8. Pengujian model uji di kolam untuk kondisi pembebanan *selfweight*, *ballast* dan *full loaded*

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3 dapat diidentifikasi bahwa saat kapal pada kondisi muatan penuh (*full loaded*) sarat air (*draft*) berada pada 0.12m sesuai dengan desain ukuran utama. Kemiringan kapal terhadap sumbu transversal (*heel*) cenderung stabil, yaitu berada di bawah +/- 1.00 deg untuk ketiga kondisi muatan. Kemiringan terhadap longitudinal kapal (*trim*) cenderung bergerak ke trim by bow (bernilai positif) pada semua kondisi pembebanan.

Tabel 2. Hasil pengujian model uji di kolam

No	Load Cond (LC)	Deskripsi LC	Sarat Air (m)			Penambahan Muatan (kg)	Kemiringan kapal (deg)	
			T1	T2	T3		Heel (+Stbd)	Trim (+Bow)
			(Bow)	(Mid)	(Stern)			
1	100	<i>Lightship</i>	0.06	0.07	0.08	0.00	0.33	0.67
2	200	<i>Ballast Loaded</i>	0.09	0.08	0.07	1.80	0.86	1.58
3	300	<i>Full Loaded</i>	0.12	0.12	0.12	18.00	-0.57	1.11

4. KESIMPULAN

Industri maritim Indonesia berkembang sejalan dengan pertumbuhan armada kapal sebagai sarana utama transportasi laut. Kecelakaan kapal, khususnya tenggelam, menjadi isu serius karena kurangnya stabilitas kapal akibat perubahan muatan selama proses bongkar-muat. Untuk mengatasi perilaku non-linier, perlu dilakukan eksperimen dengan model uji kapal. Penelitian ini menitikberatkan pada pembuatan model uji *General Cargo* 8202 DWT dalam skala 1:60, mengikuti standar *International Towing Tank Conference* (ITTC). Pengujian dilakukan di kolam untuk mengidentifikasi tingkat sarat air dan kemiringan kapal dalam tiga kondisi muatan berbeda: *lightweight*, *ballasted load*, dan *full load*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa stabilitas kapal relatif stabil sesuai dengan desain utama kapal.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. P. RI, “Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2015 Tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2015-2019.” Jakarta, 2014.
- [2] D. Hubla, “Laporan Tahunan 2020 Direktorat Jenderal Perhubungan Laut.” Jakarta, 2020.
- [3] K. N. K. Transportasi, “Statistik Investigasi Kecelakaan Transportasi KNKT 2022,” Jakarta, 2022.
- [4] Z. Ren, X. Han, A. S. Verma, J. A. Dirdal, and R. Skjetne, “Sea state estimation based on vessel motion responses: Improved smoothness and robustness using Bézier surface and L1 optimization,” *Mar. Struct.*, vol. 76, no. June 2020, p. 102904, 2021, doi: 10.1016/j.marstruc.2020.102904.
- [5] Y. Wang, J. Liu, W. Liu, Y. Liu, and Z. Yuan, “Data-driven methods for detection of abnormal ship behavior: Progress and trends,” *Ocean Eng.*, vol. 271, no. 6, 2023, doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.113673.
- [6] F. M. Dewadi *et al.*, *Desain Penelitian Bidang Teknik*. Padang: Get Press Indonesia, 2023.
- [7] P. R. of Shipping, “Computer Software for Onboard Stability Calculations.” Gdansk, 2021.
- [8] ITTC, “Recommended Procedures and Guidelines, Model Manufacture: Ship Models.” Zurich, 2017.
- [9] R. Japri, “Perancangan Konstruksi Profil Pada Kapal General Cargo Dengan Menggunakan Metode Ship Comparative,” *Zo. Laut J. Inov. Sains Dan Teknol. Kelaut.*, vol. 2, no. 2, pp. 26–34, 2021, doi: 10.20956/zl.v2i2.14367.
- [10] C. B. Barrass and D. R. Derrett, *Ship Stability for Masters and Mates*. Oxford: ELsevier, 2012.
- [11] M. Martelli and M. Figari, “A design framework for combined marine propulsion control systems: From conceptualisation to sea trials validation,” *Ocean Eng.*, vol. 254, 2022, doi: 10.1016/j.oceaneng.2022.111282.

