

ANALISIS PERHITUNGAN BALLAST MATI PADA KAPAL KN. KALAWAI

Stephen H.P.L.Hutagalung¹, E. R. de FRETES², Fella Gaspersz³

¹ Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: paskahhutagalung99@gmail.com

² Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: defretesera@gmail.com

³ Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon 97233

E-mail: fella.gsp73@gmail.com

Abstrak. Pada tahun 2012 kapal KN. KALAWAI terbalik saat peluncuran sehingga pihak galangan menambahkan ballast mati, tetapi belum memasukkan mesin induk dan perlengkapannya. Seterusnya berdasarkan informasi dari ABK kapal sewaktu selesai reparasi di Dok pacific ambon, saat peluncuran kapal mengalami kemiringan sebesar 13° ke arah kiri kapal (sudah ditambahkan mesin induk). Tujuan dari penulisan ini adalah untuk menstabilkan kapal dengan cara penambahan ballast mati, supaya mereduksi kemiringan tersebut. Dengan memperhatikan kriteria dari IMO mengenai stabilitas kapal. Penelitian ini menggunakan metode komputasi dengan memvariasikan loadcase dan menggunakan metode trial and error untuk mendapatkan posisi stabilitas TCG sama dengan nol, sehingga kapal memenuhi standart stabilitas. Hasil yang diperoleh dari perhitungan penambahan ballast mati di tangki lain yang kosong dengan berat 16,530 Ton pada posisi water ballast tank 1 starboard (W.B.T.1.S) dari jarak AP 22 m, sehingga kriteria yang dipakai pada semua kondisi stabilitasnya memenuhi kriteria dari IMO, dengan penambahan ballast mati maka kapal berada pada posisi tegak sempurna.

Kata Kunci: Ballast, Peluncuran, Stabilitas, Simulasi komputasi, IMO.

Abstract. In 2012 the KN. KALAWAI ship capsized during launch so the shipyard added dead ballast, but did not include the main engine and its equipment. So on based on information from the ship's crew when repairs were completed at the Pacific Ambon Dock, when the launch of the ship experienced a slope of 13° to the left of the ship (the main engine had been added). The purpose of this paper is to stabilize the ship by adding dead ballast, in order to reduce the slope. With due observance of the IMO criteria regarding ship stability. This study uses a computational method by varying the loadcase and using the trial and error method to get the TCG stability position equal to zero, so that the ship meets stability standards. The results obtained from the calculation of the addition of dead ballast in another empty tank weighing 16,530 tons at the position of water ballast tank 1 starboard (W.B.T.1.S) from a distance of 22 m AP, so that the criteria used in all stability conditions meet the criteria of IMO, with the addition of dead ballast the ship is in a perfectly upright position.

Keywords: Ballast, Launch, Stability, Computational Simulation, IMO

1. PENDAHULUAN

Pada tahun 2012 kapal KN. KALAWAI terbalik saat peluncuran sehingga pihak galangan menambahkan ballast mati sekitar 18 ton yang posisinya berada di tangki belakang bagian kiri, sebelum memasukan mesin induk, akan tetapi pada reparasi tahunan yang dilakukan kapal KN. KALAWAI pada bulan November tahun 2021, Kapal tersebut melakukan pengedokan kapal di dok pacific. Setelah

kapal KN. KALAWAI melakukan peluncuran dengan berat kapal kosong, berdasarkan informasi yang diterima dari ABK kapal tersebut mengalami kemiringan sekitar 13° ke arah kiri kapal. Sehingga untuk mengatasinya dihitung ballast mati di tangki lain yang kosong. Stabilitas kapal adalah factor penting dalam menjaga keselamatan kapal dari kecelakaan kapal oleh faktor ketidaksetimbangan. Kajian lebih lanjut diperlukan terutama terkait

penentuan spesifikasi kapal yang tidak berubah dan penempatan ballast mati sebagai perhitungan komponen titik berat dan parameter stabilitas kapal.

Adapun tujuan dari penelitian ini ialah Untuk dapat menentukan besar perhitungan ballast mati yang dipakai pada kapal KN. KALAWAI.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal merupakan kemampuan sebuah kapal untuk kembali ke posisi semula setelah mengalami keolengan. Stabilitas kapal terkait erat dengan distribusi muatan dan perhitungan nilai lengan penegak (GZ). Perbedaan distribusi muatan yang terjadi pada setiap kondisi pemuatan akan mengakibatkan terjadinya perubahan pada nilai KG, yaitu jarak vertikal antara titik K (Keel) dan titik G (Centre of Gravity) yang selanjutnya akan mempengaruhi nilai lengan penegak (GZ) yang terbentuk [1],[2].

2.2. Sistem Ballast

Sistem ballast merupakan sistem yang digunakan untuk melakukan pengaturan terhadap kondisi kapal yang tidak stabil meliputi kemiringan, trim, dan draft yang kecil, tangki ballast berfungsi untuk menjaga kestabilan kapal baik saat berlayar maupun saat kapal melakukan bongkar muat.

2.3. Titik-titik penting dalam stabilitas kapal

Menurut [3], [4], titik-titik penting dalam stabilitas antara lain adalah titik metacenter (M), titik berat (G), dan titik apung (B).

1. Titik metasenter (M) adalah titik semu dari batas dimana titik G tidak boleh melewati di atas titik M agar kapal tetap mempunyai stabilitas positif.
2. Titik berat (G) adalah titik tangkap semua gaya-gaya yang menekan ke bawah terhadap kapal.
3. Titik apung (B) adalah titik tangkap semua gaya-gaya yang menekan ke atas terhadap pembebanan kapal.

2.4. Dimensi Pokok Dalam Stabilitas Kapal

1. Tinggi titik metasentris di atas lunas (KM) KM merupakan jarak vertical dari dasar kapal (lunas) hingga titik M. KM dapat diperoleh dengan menjumlahkan jarak dari lunas ke titik apung (KB) dan jari-jari metasenter kapal (BM). Nilai KB dapat dicari dengan rumus berikut:

$$KM = KB + BM \quad (1)$$
2. Tinggi Titik Apung dari Lunas (KB) KB merupakan jarak dari titik K ke titik B. Dikarenakan letak titik B yang selalu berpindah-

pindah karena adanya perubahan sarat. Oleh karena itu nilai KB pun akan berubah-ubah sesuai tinggi sarat, nilai KB dapat dicari dengan rumus berikut:

- 1) Untuk Flat Bottom

$$KB = 0,5 \times \text{Draft} \quad (2)$$

- 2) Untuk V Bottom

$$KB = 0,535 \times \text{Draft} \quad (3)$$

- 3) Untuk U Bottom

$$KB = 2/3 \times \text{Draft} \quad (4)$$

3. Jarak Titik Apung ke Metasentris (BM)

BM merupakan jari-jari metasenter yang mana pada saat kapal mengalami oleng. Maka lintasan pergerakan titik B akan membentuk busur lingkaran yang mana titik M menjadi titik pusatnya, nilai BM dapat dicari dengan rumus berikut:

$$BM = b^2/10d \quad (5)$$

Dimana :

b = lebar kapal (m)

d = draft kapal (m)

4. Tinggi Titik Berat dari Lunas (KG)

KG dapat dihitung dengan menggunakan dalil momen. Nilai KG dengan dalil momen ini digunakan bila terjadi pemuatan atau pembongkaran di atas kapal dengan mengetahui letak titik berat suatu bobot di atas lunas yang disebut dengan vertical centre of gravity (VCG) lalu dikalikan dengan bobot muatan tersebut sehingga diperoleh momen bobot tersebut.

5. Tinggi Metasentris (GM)

Tinggi metasentris atau metacentris high (GM) yaitu jarak tegak antara titik G dan titik M. Dari rumus disebutkan :

$$GM = (KB + BM) - KG \quad (6)$$

Nilai GM inilah yang menunjukkan keadaan stabilitas awal kapal atau keadaan stabilitas kapal selama pelayaran nanti. (Ansanay, 2015).

2.5. Kriteria Stabilitas

Analisis yang dilakukan adalah sesuai dengan kriteria stabilitas yang terdapat pada Resolution MSC.267(85)-Adoption of the International Code on Intact Stability, 2008 (2008 IS Code)-(Adopted on 4 December 2008)- Part A for Mandatory Criteria (Ch. 2 General Criteria) dan Resolution MSC.267(85)-Adoption of the International Code on Intact Stability, 2008 (2008 IS Code)-(Adopted on 4 December 2008)-Part A for Mandatory Criteria (Ch. 3 Special Criteria for Certain Ships) yang mensyaratkan ketentuan-ketentuan sebagai berikut [5],[6]:

1. Section MSC.267(85) Chapter 2, General Criteria, 2.2.1:

- a. Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudu oleng 0°- 30° (deg) tidak boleh kurang dari 0.055 m.deg.
 - b. Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng 0°- 40° (deg) tidak boleh kurang dari 0.09 m.deg.
 - c. Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut kapal oleng 30°- 40° (deg) tidak boleh kurang dari 0.03 m.deg.
2. Section MSC.267(85) Chapter 2, General Criteria 2.2.2: Nilai GZ maksimum yang terjadi pada sudut sama atau lebih dari 30° tidak boleh kurang atau sama dengan 0.2 m [7].
 3. Section MSC.267(85) Chapter 2, General Criteria 2.2.3: Sudut pada nilai GZ maksimum tidak boleh kurang atau sama dengan 25° (deg).
 4. Section MSC.267(85) Chapter 2, General Criteria 2.2.4 : Nilai GM awal pada sudut 0° (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0.15 m. [8].

2.6. Metode Analisis

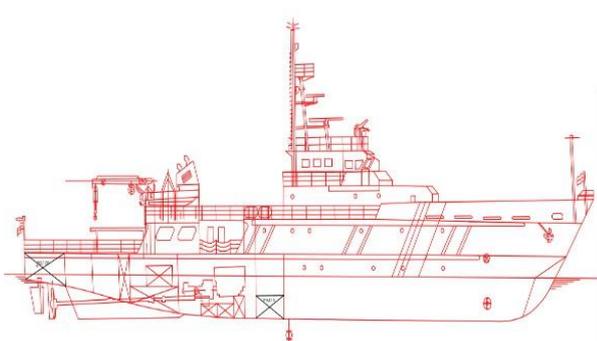
Penelitian ini menggunakan metode komputasi dengan memvariasikan uji loadcase yaitu membuat model kapal KN. KALAWAI di maxsurf modeler, kemudian membuka maxsurf stability, setelah itu dimasukkan penempatan tangki-tangki sesuai dengan rencana umum kapal.

Data yang digunakan adalah data primer berupa dimensi utama kapal untuk kapal purse. Teknik yang digunakan adalah interview (wawancara), observasi (pengamatan) terhadap kapal dan dokumentasi untuk mendapatkan foto kapal KN. KALAWAI.

Prosedur penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu: tahan persiapan, tahapan desain model kapal, tahapan penempatan tangki- tangki, tahapan uji loadcase, analisis stabilitas kapal, dan tahapan analisis kriteria IMO dengan menggunakan beberapa bantuan aplikasi komputer.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapal yang digunakan sebagai objek penelitian merupakan kapal KN. KALAWAI.



Gambar 1. KN. Klawai

Tabel 1. Data kapal KN. KALAWAI

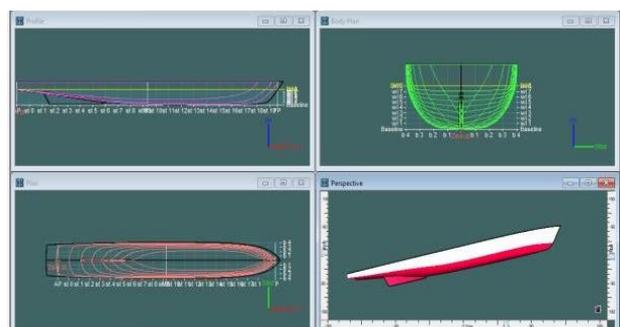
Parameter Kapal	
Nama	KN. KALAWAI
Tipe	Special vessel
Tanda kelas	Det Norske Veritas - DNV
Pemilik	Kementrian Perhubungan
Panjang Seluruh	61 m
Panjang Antara Garis Tegak	55 m
Lebar	8,50 m
Tinggi Geladak	4,50 m
Tinggi Sarat	3 m
Koefisien Blok	0,6
Kecepatan Servis	20
Mesin Induk	2
Merek	CATERPILLAR
Tipe	3516C
Daya Maksimum (MRO)	2 X 2525 BHP
Putaran Maksimum	1940 RPM

Tabel 2. Berat Total Kapal

Perhitungan LWT			
No	Komponen	Nilai	Satuan
1	Berat Lambung Kapal (Wst)	447,216	ton
2	Berat Permesinan (Wm)	17,510	ton
3	Berat Perlengkapan kapal (Wo)	143,170	ton
4	Berat Margin	17,420	ton
Jumlah		625,316	ton
Perhitungan DWT			
No	Komponen	Nilai	Satuan
1	Berat Bahan Bakar Mesin Induk (Wfo)	136,84	ton
2	Berat Bahan Bakar Mesin Bantu (Wfb)	27,368	ton
3	Berat Minyak Pelumas (Wlo)	0,940	ton
4	Berat Air Tawar (Wfw)	2,800	ton
5	Berat Provisi (Wp)	0,140	ton
6	Berat Crew (Wcrew)	3,750	ton
Jumlah		171,838	ton
Berat total kapal LWT + DWT		797,154	ton
Displacement Δ		798,600	ton

3.1. Pemodelan kapal

Model kapal KN. KALAWAI dibuat dengan software Maxsurf Modeller Advanced berdasarkan data kapal yang sudah diperoleh, yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model kapal KN. KALAWAI

3.2. Load Case Kapal KN. KALAWAI

Insert loadcase dari maxsurf dibuat berdasarkan berat dan titik berat tiap elemen yang sudah dihitung. Adapun yang harus dipersiapkan sebelum melakukan perhitungan stabilitas di software Maxsurf Stability ialah komponen berat kapal, kapasitas tangki-tangki, dan letak titik berat dalam arah longitudinal, transversal, dan juga arah vertikal. analisis *loadcase* dalam tiga kondisi yaitu:

- 1) Kondisi 1 adalah kondisi kapal kosong (Belum ditambahkan mesin induk).
- 2) Kondisi 2 adalah kondisi pada saat peluncuran diwaktu perbaikan tahunan (Sudah ditambahkan mesin induk).
- 3) Kondisi 3 adalah kondisi kapal setelah ditambahkan ballast mati.

Kondisi Load case 1

Kondisi loadcase 1 dengan berat kapal kosong dan belum ditambahkan mesin induk, penggunaan ballast mati pada posisi water ballast tank 2 Portside (W.B.T.2.P) 17,370 Ton.

Tabel 3. Kondisi loadcase 1

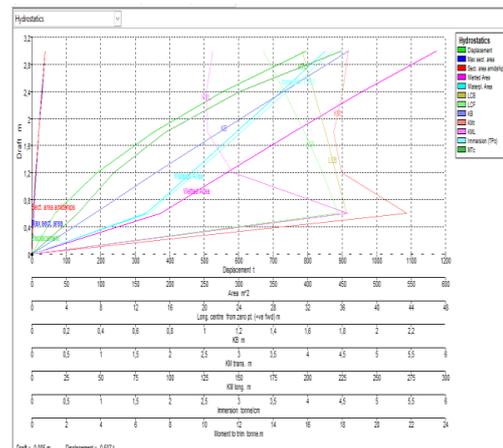
	Item Name	Quantity	Unit	Total	Unit	Long.	Trans.	Vert.	Total	FSM	FSM Ty
			Mass	Mass	Volume	Arm	Arm	Arm	FSM		
			tonne	tonne	m³	m	m	m	tonne.m		
1	Berat Lambun	1	447,216	447,216		26,483	1,300	3,000	0,000	User	
2	Berat Pemesin	1	0,000	0,000		18,670	0,900	1,000	0,000	Maxim	
3	Berat Perleengk	1	143,170	143,170		27,905	1,000	2,500	0,000	Maxim	
4	Margin	1	17,420	17,420		0,000	0,000	0,000	0,000	Maxim	
5	Total LWT		607,806	607,806		26,059	1,192	2,796	0,000		
6	Berat Provisi	1	0,140	0,140		42,070	0,000	5,710	0,000	User	
7	Berat Crew	5	0,075	0,375		24,480	0,000	4,060	0,000	User	
8	F.O.T.1.P	0%	7,280	0,000	7,709	0,000	38,162	-0,501	0,028	0,000	Maxim
9	F.O.T.1.S	0%	7,280	0,000	7,709	0,000	38,162	0,501	0,028	0,000	Maxim
10	F.O.T.2.P	0%	9,368	0,000	9,920	0,000	35,391	-0,501	0,028	0,000	Maxim
11	F.O.T.2.S	0%	9,368	0,000	9,920	0,000	35,391	0,501	0,028	0,000	Maxim
12	F.O.T.3.P	0%	0,253	0,000	0,268	0,000	10,432	-0,058	0,200	0,000	Maxim
13	F.O.T.3.S	0%	0,253	0,000	0,268	0,000	10,432	0,058	0,200	0,000	Maxim
14	F.O.T.4.P	0%	10,926	0,000	11,571	0,000	4,886	-0,301	2,396	0,000	Maxim
15	F.O.T.4.S	0%	10,926	0,000	11,571	0,000	4,886	0,301	2,396	0,000	Maxim
16	F.O.T. ME DAI	0%	3,470	0,000	3,675	0,000	12,186	-3,000	1,858	0,000	Maxim
17	F.O.T. ME DAI	0%	3,470	0,000	3,675	0,000	12,186	3,000	1,858	0,000	Maxim
18	F.O.T. DG. P	0%	0,260	0,000	0,276	0,000	5,298	-0,801	2,361	0,000	Maxim
19	F.O.T. DG. S	0%	0,260	0,000	0,276	0,000	5,298	0,801	2,361	0,000	Maxim
20	F.P.T	0%	12,519	0,000	12,213	0,000	52,516	0,000	0,110	0,000	Maxim
21	W.B.T. 1. P	0%	5,377	0,000	5,246	0,000	27,456	-0,500	0,101	0,000	Maxim
22	W.B.T. 1. S	0%	16,530	0,000	7,514	0,000	27,456	0,500	0,101	0,000	Maxim
23	W.B.T. 2. P	100%	17,370	17,370	7,896	7,896	-0,009	-2,941	3,571	0,000	Maxim
24	W.B.T. 2. S	0%	6,383	0,000	6,228	0,000	2,310	2,201	2,743	0,000	Maxim
25	FOAM TK. (SG)	0%	4,053	0,000	4,053	0,000	8,295	1,800	2,044	0,000	Maxim
26	CHEMICAL TK.	0%	1,096	0,000	1,096	0,000	8,295	-3,300	2,267	0,000	Maxim
27	DIRTY OIL (SG)	0%	11,045	0,000	11,697	0,000	21,989	0,000	0,228	0,000	Maxim
28	F.W.T. 1. P	0%	7,283	0,000	7,283	0,000	31,803	-0,501	0,043	0,000	Maxim
29	F.W.T. 2. S	0%	7,283	0,000	7,283	0,000	31,803	0,501	0,043	0,000	Maxim
30	SEWAGE TK.	0%	8,363	0,000	8,159	0,000	42,834	-0,501	0,031	0,000	Maxim
31	SEWAGE TK.	0%	8,363	0,000	8,159	0,000	42,834	0,501	0,031	0,000	Maxim
32	L.O.T. DB. C.	0%	8,123	0,000	8,602	0,000	18,473	0,000	0,100	0,000	Maxim
33	Total Loadca		625,691	625,691	162,264	7,896	25,338	1,076	2,819	0,000	

Berdasarkan Gambar 4, diperoleh hasil yaitu: Kondisi 1 yang dilakukan di maxsurf untuk mendapatkan $GZ = 0$ terdapat pada kemiringan 70, akan tetapi berdasarkan informasi yang didapat dari ABK di lapangan kemiringan nya berada di 130.

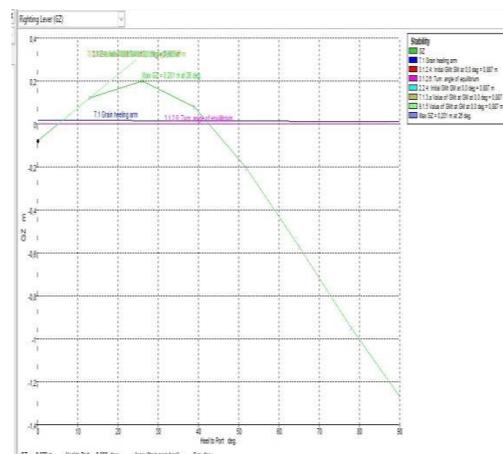
1. GZ maksimum : 0,201 m.
2. Sudut GZ max : 24,5 deg.

Tabel 4. Resume Parameter Hidrostatik kondisi 1

	Draft Amidships m	0,000	2,600
1	Displacement t	0,000	630,6
2	Heel deg	0,0	0,0
3	Draft at FP m	0,000	2,600
4	Draft at AP m	0,000	2,600
5	Draft at LCF m	0,000	2,600
6	Trim (+ve by stern) m	0,000	0,000
7	WL Length m	0,000	53,366
8	Beam max extents on WL m	0,000	8,081
9	Wetted Area m²	0,000	514,624
10	Waterpl. Area m²	0,000	383,922
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,000	0,707
12	Block coeff. (Cb)	0,000	0,550
13	Max Sect. area coeff. (Cm)		0,791
14	Waterpl. area coeff. (Cwpl)	0,000	0,890
15	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	0,000	32,276
16	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	0,000	28,475
17	KB m	0,000	1,585
18	KG m	3,000	3,000
19	BMT m	0,000	2,970
20	BML m	0,000	126,454
21	GMT m	-3,000	1,555
22	GML m	-3,000	125,040
23	KMT m	0,000	4,555
24	KML m	0,000	128,040
25	Immersion (TPc) tonne/cm	0,000	3,935
26	MTC tonne. m	0,000	13,875
27	RM at 1deg = Gmt,Disp.sin(1) tonne.	0,000	17,119
28	Max deck inclination deg	0,000	0,000
29	Trim angle (+ve by stern) deg	0,000	0,000



Gambar 3. Kurva hidrostatik kondisi 1 KN. Kalawai



Gambar 4. Kurva GZ kondisi 1 KN. Kalawai

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
91	spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
92	to the lesser of					
93	spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
94	first downflooding angle	n/a	deg			
95	angle of vanishing stability	74,6	deg			
96	shall not be less than (≥)	1,7189	m.deg	13,9910	Pass	+714,00
97						
98	267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater			Pass	
99	in the range from the greater of					
100	spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
101	to the lesser of					
102	spec. heel angle	90,0	deg	90,0		
103	angle of max. GZ	24,5	deg			
104	shall not be less than (≥)	0,200	m	1,465	Pass	+632,50
105	Intermediate values					
106	angle at which the GZ occurs		deg	30,0		
107						
108	267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ			Fail	
109	shall not be less than (≥)	25,0	deg	24,5	Fail	-1,02
110						
111	267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMt			Pass	
112	spec. heel angle	0,0	deg			
113	shall not be less than (≥)	0,150	m	1,454	Pass	+669,33
114						

Gambar 5. Criteria IMO 267(85) Ch2-General Criteria

Berdasarkan Gambar 5 diperoleh hasil yaitu:

1. Sudut GZ max yang didapat : 24,5 deg
2. Sudut GZ max sesuai kriteria : 25,0 deg

Hasil kriteria diatas dinyatakan *failed* atau tidak sesuai kriteria IMO.

Kondisi Load case 2

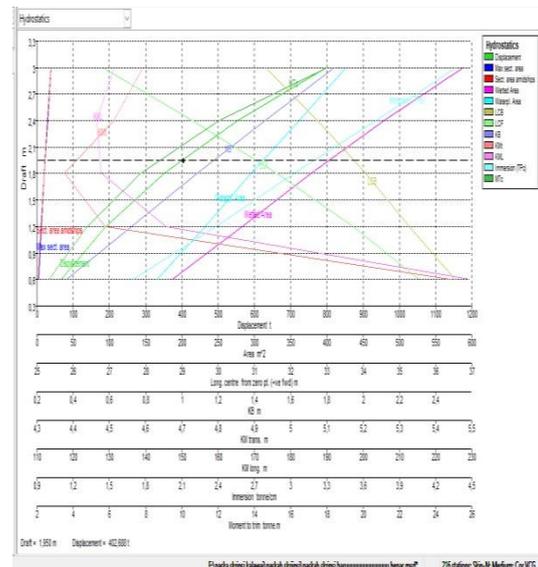
Kondisi loadcase 2 dengan berat kapal kosong dan sudah ditambahkan mesin induk, penggunaan ballast mati pada posisi water ballast tank 2 portside (W.B.T.2.P) 17,370 Ton.

Tabel 5. Kondisi loadcase 2

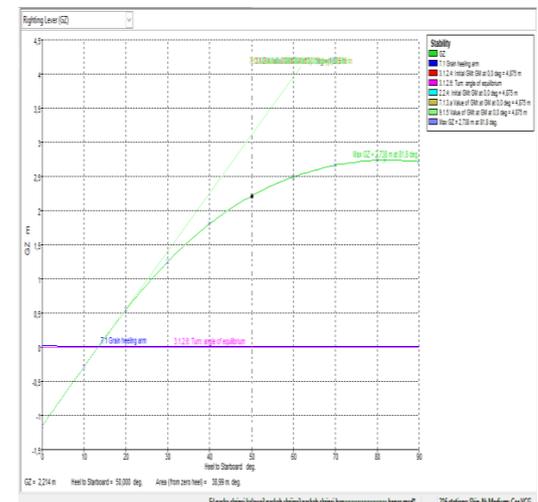
Item Name	Quantity	Unit	Total Mass	Unit	Total Volume	Long. Arm	Trans. Arm	Vert. Arm	Total FSM	FSM Ty	
		tonne	tonne	m³	m³	m	m	m	tonne.m		
1	Berart Lambun	1	447,216	447,216		26,483	1,300	0,000	0,000	User	
2	Berat Pemesina	1	17,510	17,510		18,670	1,300	0,000	0,000	Maxim	
3	Berat Perleengk	1	143,170	143,170		27,905	1,300	0,000	0,000	Maxim	
4	Margin	1	17,420	17,420		0,000	0,000	0,000	0,000	Maxim	
5	Total LWT		625,316			25,852	1,264	0,000	0,000		
6	Berat Provisi	1	0,140	0,140		42,070	0,000	5,710	0,000	User	
7	Berat Crew	5	0,075	0,375		24,480	0,000	4,060	0,000	User	
8	F.O.T.1.P	0%	7,280	0,000	7,709	0,000	37,949	-0,501	0,028	0,000	Maxim
9	F.O.T.1.S	0%	7,280	0,000	7,709	0,000	37,949	0,501	0,028	0,000	Maxim
10	F.O.T.2.P	0%	9,368	0,000	9,920	0,000	32,443	-0,501	0,028	0,000	Maxim
11	F.O.T.2.S	0%	9,368	0,000	9,920	0,000	32,443	0,501	0,028	0,000	Maxim
12	F.O.T.3.P	0%	0,253	0,000	0,268	0,000	8,321	-0,059	0,200	0,000	Maxim
13	F.O.T.3.S	0%	0,253	0,000	0,268	0,000	8,321	0,059	0,200	0,000	Maxim
14	F.O.T.4.P	0%	10,926	0,000	11,571	0,000	4,886	-0,301	2,396	0,000	Maxim
15	F.O.T.4.S	0%	10,926	0,000	11,571	0,000	4,886	0,301	2,396	0,000	Maxim
16	F.O.T. ME DAI	0%	3,470	0,000	3,675	0,000	12,186	-3,000	1,858	0,000	Maxim
17	F.O.T. ME DAI	0%	3,470	0,000	3,675	0,000	12,186	3,000	1,858	0,000	Maxim
18	F.O.T. DG P.	0%	0,260	0,000	0,276	0,000	5,298	-0,801	2,361	0,000	Maxim
19	F.O.T. DG S.	0%	0,260	0,000	0,276	0,000	5,298	0,801	2,361	0,000	Maxim
20	F.P.T	0%	12,519	0,000	12,213	0,000	52,516	0,000	0,110	0,000	Maxim
21	W.B.T. 1. P.	0%	5,377	0,000	5,246	0,000	24,384	-0,500	0,101	0,000	Maxim
22	W.B.T. 1. S.	0%	16,530	0,000	7,514	0,000	23,434	0,500	0,101	0,000	Maxim
23	W.B.T. 2. P.	100%	17,370	17,370	7,896	7,896	-0,009	-2,941	3,571	0,000	Maxim
24	W.B.T. 2. S.	0%	6,383	0,000	6,228	0,000	2,310	2,201	2,743	0,000	Maxim
25	FOAM TK. (SG)	0%	4,053	0,000	4,053	0,000	8,295	1,800	2,044	0,000	Maxim
26	CHEMICAL TK.	0%	1,096	0,000	1,096	0,000	8,295	-3,300	2,267	0,000	Maxim
27	DIRTY OIL (SG)	0%	11,045	0,000	11,697	0,000	20,825	0,000	0,228	0,000	Maxim
28	F.W.T. 1. P.	0%	7,283	0,000	7,283	0,000	27,558	-0,500	0,043	0,000	Maxim
29	F.W.T. 2. S.	0%	7,283	0,000	7,283	0,000	27,558	0,500	0,043	0,000	Maxim
30	SEWAGE TK.	0%	8,363	0,000	8,159	0,000	42,834	-0,501	0,031	0,000	Maxim
31	SEWAGE TK.	0%	8,363	0,000	8,159	0,000	42,834	0,501	0,031	0,000	Maxim
32	L.O.T. DB. C.	0%	8,123	0,000	8,602	0,000	18,385	0,000	0,100	0,000	Maxim
33	Total Loada		643,201	162,264	7,896	25,156	1,149	0,100	0,000		

Tabel 6. Resume parameter hidrostatis kondisi 2

	Draft Amidships m	0,000	1,325	2,650
1	Displacement t	0,000	220,6	650,4
2	Heel deg	0,0	0,0	0,0
3	Draft at FP m	0,000	1,325	2,650
4	Draft at AP m	0,000	1,325	2,650
5	Draft at LCF m	0,000	1,325	2,650
6	Trim (+ve by stern) m	0,000	0,000	0,000
7	WL Length m	0,000	49,082	53,832
8	Beam max extents on WL m	0,000	6,797	8,111
9	Wetted Area m²	0,000	302,757	523,430
10	Waterpl. Area m²	0,000	245,476	389,239
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,000	0,634	0,706
12	Block coeff. (Cb)	0,000	0,489	0,550
13	Max Sect. area coeff. (Cm)		0,786	0,792
14	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,000	0,736	0,891
15	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	0,000	35,036	32,157
16	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	0,000	33,325	28,281
17	KB m	0,000	0,797	1,617
18	KG m	3,000	3,000	3,000
19	BMT m	0,000	3,638	2,947
20	BML m	0,000	138,770	126,669
21	GMT m	-3,000	1,435	1,564
22	GML m	-3,000	136,568	125,286
23	KMT m	0,000	4,435	4,564
24	KML m	0,000	139,568	128,286
25	Immersion (TPC) tonne/cm	0,000	2,516	3,990
26	MTC tonne.m	0,000	5,300	14,340
27	RM at 1deg = GMT.Disp.sin(1) tonne	0,000	5,523	17,754
28	Max deck inclination deg	0,000	0,000	0,000
29	Trim angle (+ve by stern) deg	0,000	0,000	0,000



Gambar 6. Kurva hidrostatis kondisi 2 KN. Kalawai



Gambar 7. Kurva GZ kondisi 2 KN. Kalawai

Berdasarkan grafik diatas diperoleh hasil sebagai berikut: Kondisi kapal pada saat peluncuran diwaktu perbaikan tahunan dengan menambahkan mesin induk untuk mendapatkan $GZ = 0$ terdapat pada kemiringan 130.

1. GZ maksimum : 2,738 m
2. Sudut GZ max : 81,8 deg

Kondisi Load case 3

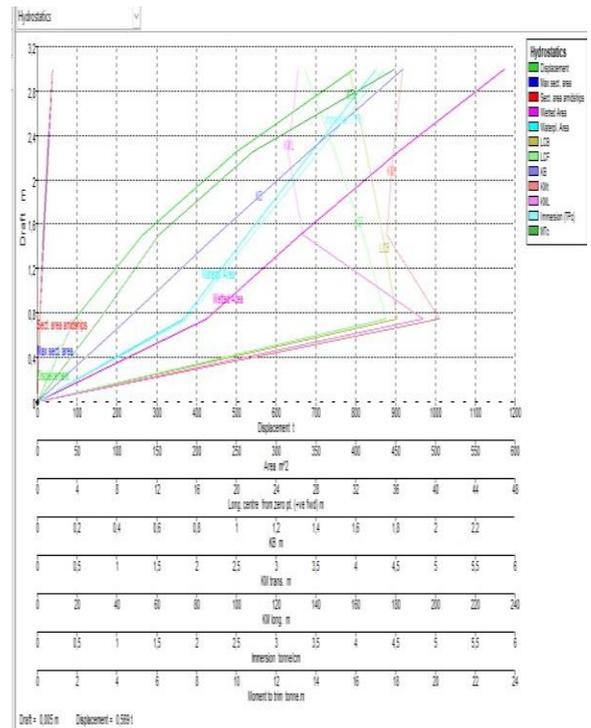
Kondisi load case 3 dilakukan penambahan ballast mati dengan berat 16,530 Ton pada posisi water ballast tank 1 starboard (W.B.T.1.S) untuk membuat kapal menjadi stabil.

Tabel 7. Kondisi loadcase 3

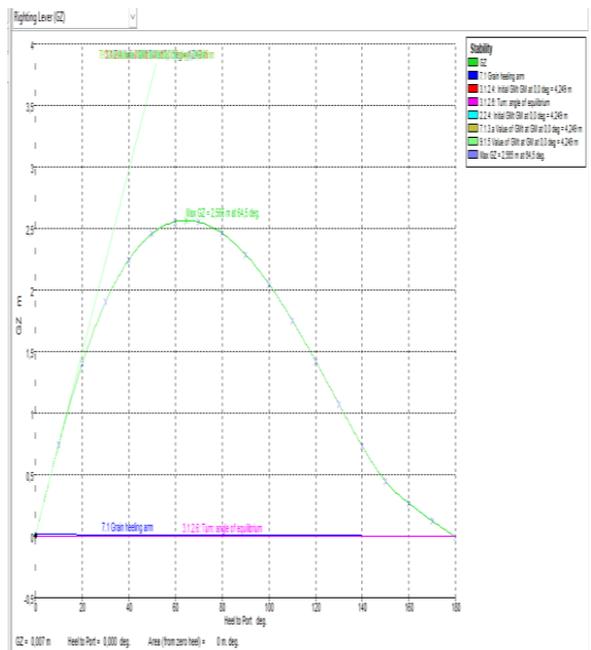
Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Typ
Berat Lambun	1	447,218	447,218			26,493	0,000	0,000	0,000	User S
Berat Permesin	1	17,510	17,510			19,870	0,900	0,000	0,000	Maxi
Berat Perlangk	1	143,170	143,170			27,905	0,000	0,000	0,000	Maxi
Margin	1	17,420	17,420			0,000	0,000	0,000	0,000	Maxi
Total LWT		625,316	625,316			25,852	0,025	0,000	0,000	0,000
Berat Provisi	1	0,140	0,140			42,070	0,000	5,710	0,000	User S
Berat Crew	50	0,075	3,750			24,480	0,000	4,060	0,000	User S
F.O.T.1.P	95%	7,280	6,918	7,709	7,324	39,994	-1,537	0,561	5,601	Maxi
F.O.T.1.S	95%	7,280	6,918	7,709	7,324	39,994	1,537	0,561	5,601	Maxi
F.O.T.2.P	95%	9,368	8,899	9,920	9,424	35,143	-1,545	0,569	7,700	Maxi
F.O.T.2.S	95%	9,368	8,899	9,920	9,424	35,143	1,545	0,569	7,700	Maxi
F.O.T.3.P	95%	0,253	0,240	0,268	0,255	10,403	-0,055	0,479	0,001	Maxi
F.O.T.3.S	95%	0,253	0,240	0,268	0,255	10,403	0,055	0,479	0,001	Maxi
F.O.T.4.P	95%	10,928	10,380	11,571	10,992	3,895	-2,013	3,275	9,067	Maxi
F.O.T.4.S	95%	10,928	10,380	11,571	10,992	3,895	2,013	3,275	9,067	Maxi
F.O.T. ME. DA	95%	3,470	3,297	3,675	3,491	11,022	-3,448	3,024	0,189	Maxi
F.O.T. ME. DA	95%	3,470	3,297	3,675	3,491	11,022	3,448	3,024	0,189	Maxi
F.O.T. DG. P.	95%	0,280	0,247	0,276	0,262	5,151	-1,099	3,154	0,005	Maxi
F.O.T. DG. S.	95%	0,280	0,247	0,276	0,262	5,151	1,099	3,154	0,005	Maxi
F.P.T	95%	12,519	11,893	12,213	11,603	53,577	0,000	1,668	9,607	Maxi
W.B.T. 1. P.	95%	5,377	5,108	5,246	4,983	25,703	-1,470	0,644	5,134	Maxi
W.B.T. 1. S	100%	16,530	16,530	7,514	7,514	24,938	1,478	0,889	0,000	Maxi
W.B.T. 2. P.	100%	17,370	17,370	7,896	7,896	-0,009	-2,941	3,571	0,000	Maxi
W.B.T. 2. S	95%	6,383	6,064	6,228	5,916	-0,018	-2,839	3,482	0,985	Maxi
FOAM TK. (SG)	95%	4,053	3,851	4,053	3,851	7,853	2,826	3,326	0,799	Maxi
CHEMICAL TK.	95%	1,098	1,041	1,098	1,041	7,354	-3,812	3,460	0,026	Maxi
DIRTY OIL (SG)	95%	11,045	10,493	11,697	11,112	21,071	0,000	1,820	2,305	Maxi
F.W.T. 1. P.	95%	7,283	6,918	7,283	6,918	29,734	-1,522	0,596	6,450	Maxi
F.W.T. 2. S.	95%	7,283	6,918	7,283	6,918	29,734	1,522	0,596	6,450	Maxi
SEWAGE TK.	95%	8,383	7,945	8,159	7,751	45,139	-1,437	0,568	3,964	Maxi
SEWAGE TK.	95%	8,383	7,945	8,159	7,751	45,139	1,437	0,568	3,964	Maxi
L.O.T. DB. C.	95%	8,123	7,717	8,602	8,172	19,260	0,000	1,482	2,152	Maxi
Total Loadcase		798,958	162,264	154,922	25,428	0,007	0,000	0,380	87,039	
FS correction								0,109		
VCG fluid								0,489		

Tabel 8. Resume parameter hidrostatik kondisi 3

	Draft Amidships m	0,000	0,600	1,200	1,800	2,400	3,000
1	Displacement t	0,000	66,92	190,0	352,2	554,2	796,7
2	Heel deg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	Draft at FP m	0,000	0,600	1,200	1,800	2,400	3,000
4	Draft at AP m	0,000	0,600	1,200	1,800	2,400	3,000
5	Draft at LCF m	0,000	0,600	1,200	1,800	2,400	3,000
6	Trim (+ve by stern) m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	WL Length m	0,000	47,859	48,898	49,736	51,577	52,249
8	Beam max extents on WL m	0,000	5,475	6,600	7,379	7,939	8,281
9	Wetted Area m²	0,000	187,395	283,119	378,457	479,156	587,462
10	Waterpl. Area m²	0,000	165,599	232,241	295,460	361,585	425,763
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,000	0,549	0,622	0,676	0,712	0,695
12	Block coeff. (Cb)	0,000	0,419	0,481	0,522	0,551	0,548
13	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,000	0,775	0,785	0,790	0,789	0,801
14	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,000	0,632	0,720	0,805	0,883	0,898
15	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	0,000	36,543	35,279	34,075	32,744	31,311
16	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	0,000	35,545	33,729	31,613	29,292	26,833
17	KB m	0,000	0,365	0,722	1,086	1,459	1,839
18	KG m	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
19	Bllt m	0,000	5,075	3,766	3,290	3,053	2,752
20	BML m	0,000	228,978	144,927	126,614	125,056	129,489
21	GMt m	-3,000	2,440	1,488	1,376	1,512	1,592
22	GML m	-3,000	226,343	142,649	124,700	123,515	128,328
23	KMlt m	0,000	5,440	4,488	4,376	4,512	4,592
24	KML m	0,000	229,343	145,649	127,700	126,515	131,328
25	Immersion (TPC) tonne/cm	0,000	1,697	2,380	3,028	3,706	4,364
26	MTC tonne.m	0,000	2,666	4,768	7,729	12,045	17,992
27	RM at 1deg = GMT.Disp.sin(1) tonne.	0,000	2,850	4,934	8,460	14,627	22,135
28	Max deck inclination deg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
29	Trim angle (+ve by stern) deg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000



Gambar 8. Kurva hidrostatik kondisi 3 KN. Kalawai



Gambar 9. Kurva GZ kondisi 3 KN. Kalawai

Berdasarkan grafik diatas diperoleh hasil sebagai berikut: Kondisi load case 3 dilakukan penambahan ballast mati dengan berat 16,530 Ton pada posisi water ballast tank 1 starboard (W.B.T.1.S) $GZ = 0,007$.

1. GZ maksimum : 2,566 m
2. Sudut GZ max : 64,5 deg

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
42	shall not be less than (≥)	1,7189	m.deg	20,8365	Pass	+112,31
43						
44	A.749(10) Ch3 - Design criteria applicable	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater			Pass	
45		in the range from the greater of				
46		spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
47		to the lesser of				
48		spec. heel angle	90,0	deg		
49		angle of max. GZ	64,5	deg	64,5	
50		shall not be less than (≥)	0,200	m	2,565	Pass
51		intermediate values				+1182,50
52		angle at which this GZ occurs		deg	64,5	
53						
54	A.749(10) Ch3 - Design criteria applicable	3.1.2.3: Angle of maximum GZ			Pass	
55		shall not be less than (≥)	25,0	deg	64,5	Pass
56						+158,10
57	A.749(10) Ch3 - Design criteria applicable	3.1.2.4: Initial GMT			Pass	
58		spec. heel angle	0,0	deg		
59		shall not be less than (≥)	0,150	m	4,249	Pass
60						-2732,67
61	A.749(10) Ch3 - Design criteria applicable	3.1.2.6: Turt: angle of equilibrium			Equilibrium	
62		Turn arm $a \times v^2 / (R \cdot g \cdot \sin \theta \cos^3 \theta)$				
63		constant: $a =$	0,9996			
64		vessel speed: $v =$	0,000	in		
65		turn radius, R , as percentage of L or l	510,00	%		
66		$\theta = KC - \text{mean draft} / 2$	-1,056	m		
67		cosine power: $n =$	0			
68		shall not be greater than (≤)	10,0	deg		Equilibrium
69		intermediate values				
70		Heel arm amplitude		m	0,000	
71						
72	267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30			Pass	
73		from the greater of				
74		spec. heel angle	0,0	deg	0,0	
75		to the lesser of				

Gambar 10. Criteria IMO 267(85) Ch2-General Criteria

Berdasarkan Gambar 10, diperoleh hasil yaitu:

1. Sudut GZ max yang didapat : 25,0 deg
2. Sudut GZ max sesuai kriteria : 64,5 deg

Hasil kriteria diatas dinyatakan *pass* atau sesuai dengan kriteria IMO.

3.3. PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dalam pengaplikasian Maxsurf, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Kondisi ke 1 kapal KN. Kalawai yang dilakukan dimaxsurf untuk mendapatkan GZ = 0 terdapat pada kemiringan 70, akan tetapi berdasarkan informasi yang didapat dari ABK di lapangan kemiringan nya berada di 130 ke arah kiri kapal hal ini mengakibatkan penggunaan ballast mati pada posisi water ballast tank 2 Portside (W.B.T.2.P) dengan berat 17,370 Ton. Dimana kapal ini tidak memiliki GZ yang memenuhi syarat Criteria IMO 267(85) Ch2-General Criteria, Titik berat LCG memiliki nilai 25,338 m, Titik berat TCG memiliki nilai 1,076 m, Titik berat VCG memiliki nilai 2,819 m.
2. Kondisi ke 2 kapal KN. Kalawai dengan ditambahkan mesin induk memiliki nilai Titik berat LCG memiliki nilai 25,156 m, Titik berat TCG memiliki nilai 1,149 m, Titik berat VCG memiliki nilai 0,100 m.
3. Untuk Membuat kapal stabil dilakukan kondisi ke 3 penambahan ballast mati pada posisi water ballast tank 1 starboard (W.B.T.1.S) dengan berat 16,530 Ton supaya GZ memenuhi syarat dari Criteria IMO 267(85) Ch2-General Criteria, Titik berat LCG memiliki nilai 25,428 m, Titik berat

TCG memiliki nilai 0,007 m, Titik berat VCG memiliki nilai 0,380 m.

4. Adapun nilai-nilai parameter stabilitas setelah dilakukan kondisi modifikasi yaitu:

- KB = 1,839 m
- GM = 1,592 m
- BM = 2,752 m
- KG = 3,0 m

4. PENUTUP

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang diperoleh sebagai berikut:

1. Kondisi kapal kosong (Belum ditambahkan mesin induk) yang dilakukan di maxsurf untuk mendapatkan GZ = 0 terdapat pada kemiringan 70, akan tetapi berdasarkan informasi yang didapat dari ABK di lapangan kemiringan nya berada di 130 dengan penambahan ballast mati sebesar 17,370 ton.
2. Kondisi kapal pada saat peluncuran diwaktu perbaikan tahunan (sudah ditambahkan mesin induk untuk mendapatkan GZ = 0 terdapat pada kemiringan 130.
3. Kondisi kapal setelah penambahan ballast mati pada kapal KN. Kalawai dengan berat 16,530 Ton pada posisi water ballast tank 1 starboard (W.B.T.1.S) dari jarak AP 22 m, hasil ini didapat agar dapat menstabilkan kapal, sehingga kriteria yang dipakai pada semua kondisi stabilitasnya memenuhi kriteria dari IMO.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arif M.S., Hesti A.K, Misbah M.N, 2016, “Analisis Teknis Dan Ekonomis Pemilihan Manajemen Air Ballast Pada Kapal (ship ballast water management) Di Indonesia, Jurnal Ilmu Pengatahuan dan teknologi Kelautan, Vol 13 No 3, DOI: <https://doi.org/10.14710/kpl.v13i3.12351>, Universitas Diponegoro
- [2] Basuki, Juli 2020, “model pengolahan air ballast kapal akibat deballasting di pelabuhan teluk lamong berbasis risiko”. Proceeding Seminar Teknologoi Kebumihan dan Kelautan (SEMATAN), ITS, Surabaya, vol.2 No.1
- [3] Yulianti M. L, Muliarto I.P, Santosa A.W.B, 2017, “Analisis Stabilitas Kapal Perintis 500 DWT Setelah Penambahan Variasi Posisi Sudut dan Lebar Bilga Keel”, Jurnal Teknik Perkapalan, Vol5 No 4, Dec. 2017. Universitas Diponegoro, .
- [4] Saputra et al., 2017, “ Analisis pengaruh Beban Terhadap Stabilitas Statis Kapal Patroli 28 Meter Untuk Pengawasan Perairan di

- Kepulauan Riau” Journal Integrasi, Politeknik Negeri Batam, Vol 9 No 2.
- [5] Ichsan L.M., Parokah D, 2013, “Kriteria Stabilitas Kapal Yang Beroperasi Di Perairan Indonesia” Celebes Ocean Science and Engineering Seminar (COSES), Makasar
 - [6] Muhammad R.A, Wahidin A., Nugroho P.N.A, 2021 ”kajian pengaruh penambahan ballast tetap pada kapal tugboat 16 m” Jurnal teknologi Maritim, DOI : 10.33863/jtm.v4i1.1815
 - [7] Novita P, Martiyani N, Ariyani R. E., 2014, “Kualitas Stabilitas Kapal Payang Palabuhanratu Berdasarkan Distribusi Muatan” Jurnal IPTEKS. PSP, Vol 1 pp 28-39., ISSN: 2355-729X
 - [8] Risky, Usman A.L., 2021“Penggunaan ballast untuk stabilitas setelah bongkar muat di mv. meratus medaN”, Skripsi, Politenik Negeri Medan.
 - [9] Tumpal & Sinaga, 2017, “Kajian Analisis Teori Pengaruh Ballast Terhadap Gerakan Pitch Pada Kapal Selam Mini 22M” Prosiding, Seminar Nasional sains dan teknologi, Fakultas Teknik Universitas Muhamadiyah, Jakarta ISSN 2407-1846, e-ISSN 2460-8416.