

# Analisis Perbandingan Stabilitas Dinamis Barge Menggunakan *Flounder Plate* dengan *Single Lead Pendant* Pada Operasi Towing

Herlambang Satriayoga, Eko Budi Djatmiko dan Mas Murtedjo

Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: ebdjatkiko@oe.its.ac.id

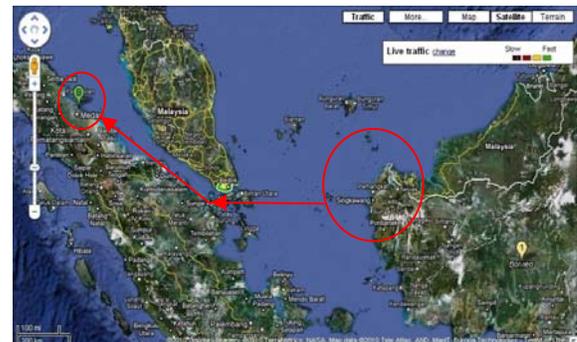
**Abstrak**—Pada tugas akhir ini telah dilakukan analisis perbandingan stabilitas pada operasi *towing CPO Barge* dengan menggunakan *single lead pendant* dan *flounder plate* untuk variasi kondisi muatan penuh, setengah dan kosong. Analisis yang pertama dilakukan adalah menentukan karakteristik gerakan *CPO Barge* (RAO) di atas gelombang reguler dalam domain frekuensi. Hasil yang didapat adalah karakteristik gerakan pada operasi *towing*, yakni untuk gerakan *heave* 0,966 m/m, 0,974 m/m dan 0,954 m/m dengan arah datang gelombang  $0^\circ$ . Untuk respon *roll* 8,836 deg/m, 8,203 deg/m dan 6,654 deg/m dengan arah datang gelombang  $90^\circ$ . Sedangkan untuk respon *pitch* 2,414 deg/m, 2,682 deg/m dan 2,792 deg/m dengan arah datang gelombang  $180^\circ$ , masing – masing untuk setiap variasi muatan penuh, setengah dan kosong. Setelah itu dilakukan analisis terhadap stabilitas dinamis *CPO Barge*, stabilitas dinamis akibat proses *towing* dengan menggunakan *single lead pendant* dengan muatan penuh, setengah dan kosong adalah masing – masing 7311,1 ton.m, 3352,3 ton.m dan 2277,9 ton.m. Sedangkan nilai stabilitas dinamis maksimum dengan menggunakan *flounder plate* untuk muatan penuh, setengah dan kosong adalah 6774,5 ton.m, 2863,9 ton.m dan 1789,5 ton.m.

**Kata Kunci**—barge, *flounder plate*, *single lead pendant*, stabilitas, *towing*.

## I. PENDAHULUAN

BERBERAPA tahun belakangan ini kebutuhan terhadap *Crude palm oil* atau minyak sawit mentah didunia meningkat, terutama di Indonesia sendiri yang berperan sebagai produsen terhadap minyak kelapa sawit tersebut, sehingga dibutuhkan sistem transportasi yang cukup memadai untuk mengangkut minyak mentah tersebut, salah satu sistem transportasi yang memadai untuk mengangkut minyak kelapa mentah adalah menggunakan transportasi laut. Keunggulan menggunakan transportasi laut adalah dapat menampung jumlah muatan yang sangat besar. Oleh karena itu, pertimbangan utama akan ukuran kapal adalah poin penting.

Selama proses pengangkutan minyak oleh *CPO Barge* yang ditarik oleh *tugboat*, tentu akan mengakibatkan *CPO Barge* dalam keadaan yang tidak stabil. Kondisi tersebut sangat mengkhawatirkan, apabila terjadi keolengan yang luar biasa maka Barge akan terbalik dan minyak bisa saja tumpah.



Gambar 1. Alur Perairan *Barge* dari Kalimantan menuju Belawan.

Maka, pada saat perencanaan, salah satu yang perlu diperhatikan adalah stabilitas dari bangunan tersebut. Stabilitas itu sendiri berpengaruh akibat dari respon gerakan bangunan apung pada gelombang reguler dan acak. Barge tersebut akan dapat dikatakan aman jika memiliki stabilitas yang baik. [1]

Barge ini tidak memiliki mesin. Sehingga memerlukan gaya tarik untuk menggerakannya. Selama ditarik inilah perlu diperhitungkan stabilitas barge tersebut. Ada faktor lain yang akan diperhitungkan dalam menghitung stabilitas barge tersebut. Pengaruh *towingline* akan sangat berpengaruh juga terhadap stabilitas *CPO barge*. Rute perjalanan *Barge* adalah Pontianak menuju Belawan. Seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Dalam penelitian ini akan dibahas bagaimana kondisi stabilitas dinamis *barge* jika ditarik dengan menggunakan 2 titik penarik dalam operasinya.

## II. URAIAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan studi literatur dan mengumpulkan data-data terlebih dahulu. Data tug boat dan barge yang dirancang mengacu pada kapal yang telah dirancang oleh PT Citra Mas. Data-data yang digunakan untuk penelitian dapat dilihat pada Tabel 1-4.

Setelah data-data diperoleh, kemudian dilakukan pemodelan numerik. Pemodelan pertama dilakukan dengan memodelkan barge dan tug boat. Kemudian dilakukan validasi model berdasarkan data hidrostatis yang diperoleh. Hasil perbandingan tersaji dalam Tabel 5-6.

Tabel 1.  
Principal dimension dari barge

Deskripsi	Nilai	Satuan
LoA	230	feet
Lebar kapal	70	feet
Tinggi kapal	14	feet
Sarat air	9.845	feet
Kapasitas muatan	3000	MT

Tabel 2.  
Principal dimension dari tug boat

Deskripsi	Nilai	Satuan
LoA	77.08	feet
Lebar kapal	24	feet
Tinggi kapal	10.5	feet
Sarat air	8.86	feet
Kecepatan dinas	10	knot

Tabel 3.  
Data towing equipment

Body	Koordinat poin towing pada tiap kapal (dari stat AP) [meter]		
CPO Barge	71.37	0.00 (single lead)	4.27
	71.37	8 port&star (flounder plate)	4.27
Tug Boat	6.71	0.00	4.75

**Towline**  
 Sudut (XZ plane) = 0.248° (single lead pendant)  
 Sudut (XZ plane) = 60° (flounder plate)  
 Panjang = 180 meter  
 Breaking load = 98 kN  
 Vessel Thrust Single Lead Pendant = 4743 N  
 Vessel Thrust Flounder Plate = 5476 N

Tabel 4.  
Data lingkungan Perairan Aceh

Parameter	Nilai
Kedalaman	90 m
<b>Gelombang :</b>	
Tinggi gelombang signifikan (Hs)	1.16 m
Tinggi gelombang rata-rata	0.73 m
Panjang gelombang rata-rata	24.62 m
Periode rata-rata	4.11 detik
<b>Angin :</b>	
Kecepatan angin	3–15 knot

Tabel 5.  
Validasi model CPO barge

Measurement	Value			Selisih (%)
	Model	Data	Unit	
Displacement	3909.4	3871.00	ton	0.98
Draft to Baseline	3.00	3.00	m	0.00
Immersed depth	3.00	3.00	m	0.00
Lwl	69.92	69.28	m	0.93
Beam wl	21.35	21.35	m	0.00
WSA	1761.33	1725.91	m <sup>2</sup>	2.01
Waterplane area	1405.22	1422.11	m <sup>2</sup>	1.20
Cb	0.86	0.85		0.12
LCB from 0 pt	35.42	34.859	m	1.58
LCF from 0 pt	34.2	34.17	m	0.09

Tabel 6.  
Validasi model tug boat

Measurement	Value			Selisih (%)
	Model	Data	Unit	
Displacement	260.18	258.63	ton	0.59
Draft to Baseline	2.70	2.70	m	0.00
Immersed depth	2.70	2.70	m	0.00
Lwl	23.28	23.23	m	0.24
Beam wl	7.18	7.18	m	0.13
WSA	206.77	210.51	m <sup>2</sup>	1.81
Waterplane area	148.51	146.86	m <sup>2</sup>	1.11
Cb	0.56	0.56		0.36
LCB from 0 pt	12.43	12.24	m	1.53
LCF from 0 pt	11.02	10.86	m	1.51

Hasil validasi menyatakan model layak untuk dianalisa. Kemudian analisa dilakukan dengan analisa dinamis dalam frequency domain. Analisis ini akan digunakan untuk menghitung RAO dari barge pada operasi towing. Persamaan RAO adalah sebagai berikut [3] :

$$RAO = \left( \frac{R_a}{\zeta_a} \right) \tag{1}$$

Dimana :

- R<sub>a</sub> = amplitudo struktur (m atau derajat)
- ζ<sub>a</sub> = amplitudo gelombang (m)

Setelah melakukan perhitungan spektra respon, maka dilakukan perhitungan stabilitas pada operasi towing. Stabilitas sangat dipengaruhi oleh lengan pengembali (GZ). Besar dari GZ adalah [4] :

$$GZ = GM \times \sin \beta \tag{2}$$

Dimana :

- GZ = lengan pengembali (m)
- GM = tinggi metacentre (m)
- β = sudut keolengan (derajat)

Kemudian dapat diketahui dengan momen pengembali (ton.m). Besar dari momen pengembali adalah [5] :

$$\text{Moment penegak} = W \times GZ \tag{3}$$

Dimana :

- W = displacement kapal (ton)

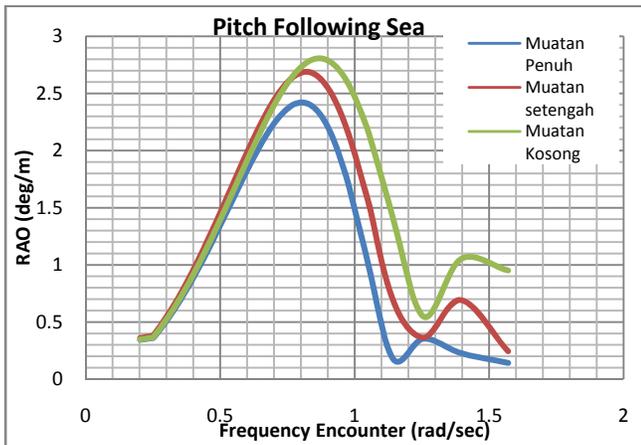
Pengaruh angin terhadap stabilitas barge adalah [6] :

$$LW_1 = \frac{PAZ}{1000g\Delta} \tag{4}$$

$$LW_2 = 1.5 LW_1 \tag{5}$$

Dimana :

- LW<sub>1</sub> = Wind heeling lever (m)
- LW<sub>2</sub> = Gust wind heeling lever (m)
- P = Tekanan angin (504 Pa)
- A = Luas area di atas garis air (m<sup>2</sup>)
- Z = Jarak vertikal dari titik pusat A hingga setengah dari sarat air (m)



Gambar 2. Grafik RAO *pitch* maksimum arah gelombang 0°

$\Delta$  = Displacement (ton)  
 $g$  = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

Pengaruh operasi towing terhadap stabilitas barge adalah [7] :

$$H_{tow} = \frac{T}{g\Delta} [v \cos^n(\theta + \tau) + h \sin(\theta + \tau)] \quad (6)$$

Dimana :

$H_{tow}$  = Heeling lever akibat towing (m)  
 $T$  = Tegangan tali towing (N)  
 $v$  = Jarak vertikal pemasangan tali towing dengan thrust (m)  
 $\Delta$  = displacement kapal (ton)  
 $n$  = power index ( $n = 1$ )  
 $\tau$  = sudut yang dibentuk *towingline*. Diasumsikan sudut ini konstan. (derajat)

Kemudian untuk menghitung stabilitas dinamis adalah sebagai berikut [8] :

$$\text{Stabilitas dinamis} = \int_0^\theta \Delta GZ_\theta d\theta \quad (7)$$

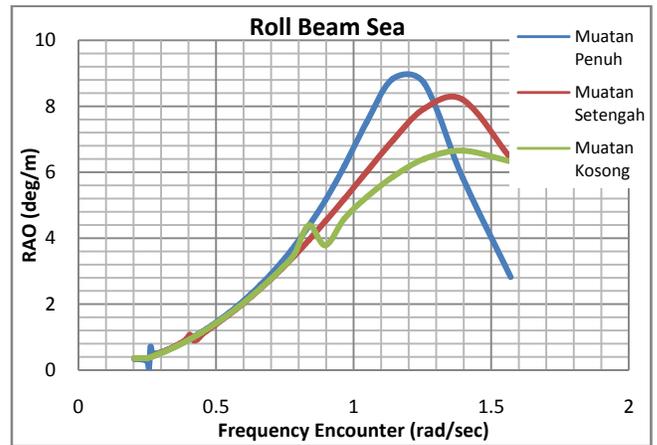
Dimana :

$\Delta$  = displacement kapal (ton)  
 $GZ_\theta$  = lengan pengembali pada sudut tertentu  
 $\theta$  = sudut oleng kapal (derajat)

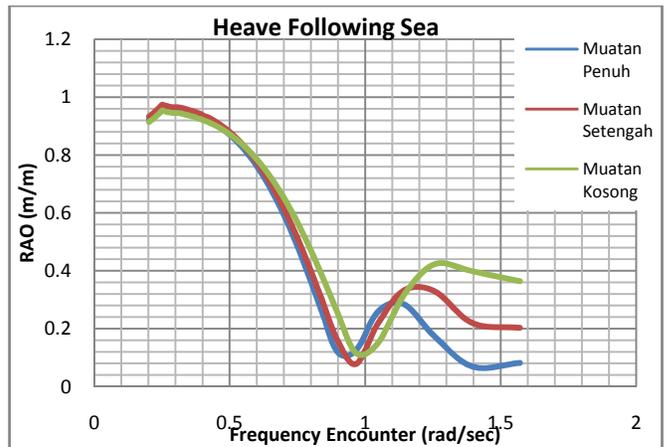
### III. HASIL DAN DISKUSI

Berikut adalah hasil yang telah didapat dari analisa yang telah dilakukan. Hasilnya berupa RAO (*response amplitude operator*) barge ketika operasi *towing*, stabilitas barge ketika operasi *towing*, serta stabilitas dinamis dari barge.

Pada Gambar 2 merupakan grafik RAO untuk respon gerakan *pitch* maksimum yang mencapai 2,762 deg/m pada frekuensi *encounter* 0.892 rad/sec pada kondisi kosong. Pada tampilan.



Gambar 3. Grafik RAO *roll* maksimum arah gelombang 90°

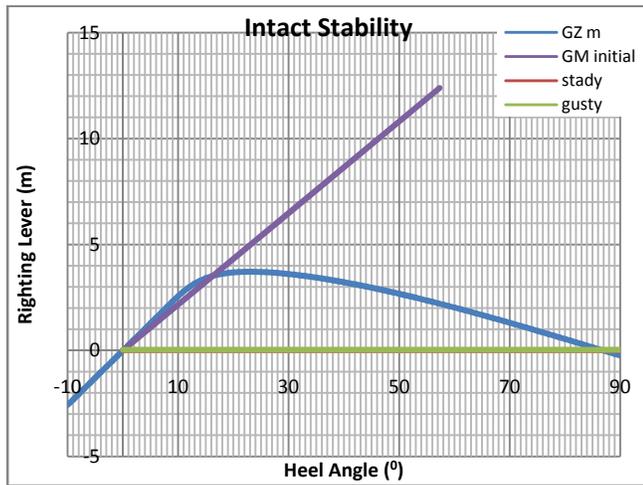


Gambar 4. Grafik RAO *heave* maksimum arah gelombang 0°

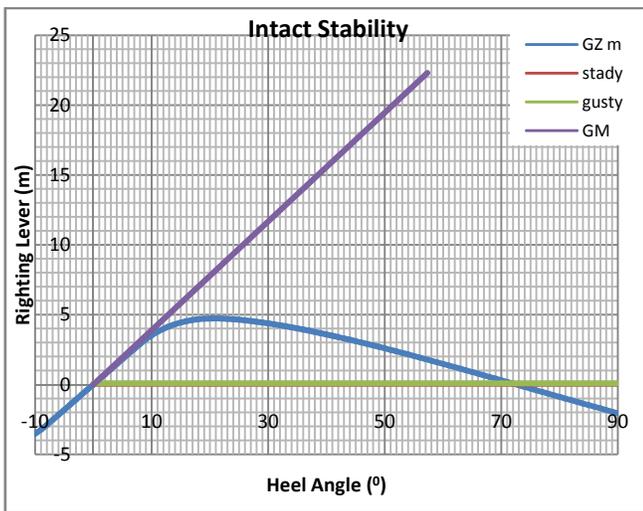
Gambar 3 gerakan *roll* adalah yang paling signifikan pada CPO Barge. Puncak tertinggi terdapat pada gerakan *roll* memiliki nilai RAO mencapai 6,654 deg/m pada frekuensi *encounter* 1,392 rad/sec.

Pada Gambar 4 adalah grafik RAO untuk respon *heave*, Dimana nilai RAO nya mencapai 0,975 m/m pada frekuensi *encounter* 0,251 rad/sec. Nilai maksimum dari *response amplitude operator* (RAO) selalu terjadi saat *barge* pada kondisi kosong, hal ini sangatlah normal, karena muatan kosong lebih mudah terhempas dibandingkan dengan muatan penuh dan setengah penuh.

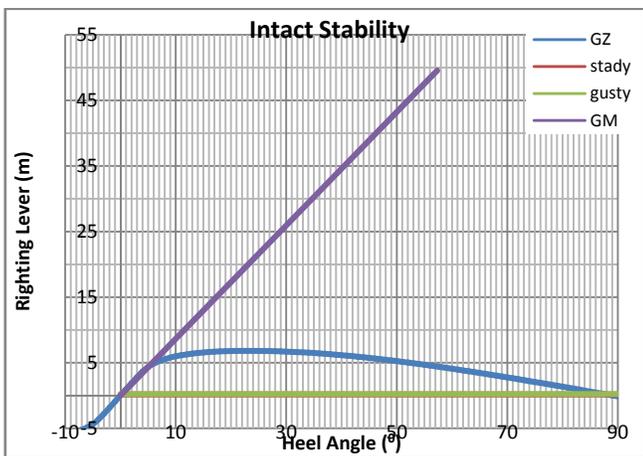
Dari hasil perhitungan stabilitas akibat gaya gelombang serta gaya angin yang terjadi didapatkan kurva stabilitas yang berisi garis jarak titik gravitasi terhadap titik metacenter (GM) dimana suatu kapal nilai GM maksimum harus bernilai maksimum pada sudut 57°, lengan oleng akibat angin pada saat kondisi perairan tenang dan perairan badai, serta kurva lengan pengembali, dimana lengan ini ditentukan oleh besarnya pergeseran titik gravitasi akibat adanya sudut oleng yang terjadi pada kapal. Hasil perhitungan terhadap stabilitas *barge* disajikan dalam Gambar 5 (a) – (c).



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Kurva stabilitas CPO barge (a) muatan penuh; (b) muatan setengah; (c) muatan kosong.

Bila kurva – kurva tersebut diamati, maka dapat dilihat besarnya nilai lengan pengembali berbanding terbalik dengan jumlah muatan yang diangkut, semakin sedikit muatan maka nilai lengan pengembali yang dibutuhkan semakin besar.

Tabel 7.  
Kriteria IMO A.749 dengan stabilitas CPO barge

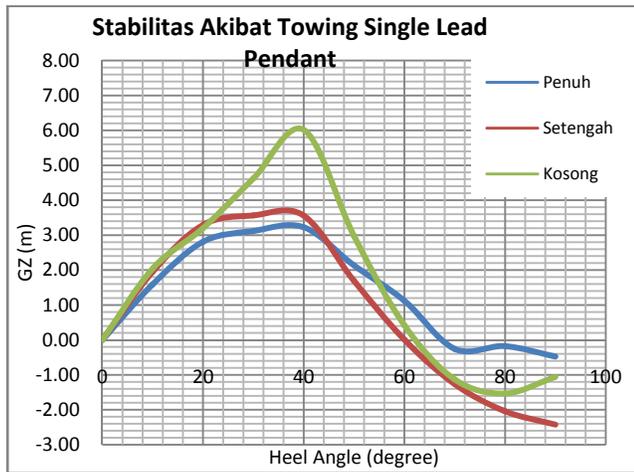
Item	Unit	Nilai IMO	Kondisi			Status
			Penuh	Setengah	Kosong	
Nilai luasan area lengan Pengembali sudut 0° - 30	m.radian	0,055	1,44	1,87	2,94	PASS
Nilai luasan area lengan Pengembali sudut 0° - 40	m.radian	0,09	2,03	2,56	4,06	PASS
Nilai luasan area lengan Pengembali sudut 30° - 40	m.radian	0,03	0,59	0,69	1,11	PASS
Nilai luasan area lengan minimum pada sudut > 30	m	min. 0.200	3.58	4.351	6,62	PASS
Sudut maksimum lengan stabilitas	Degree	> 15°	2,9	3,6	4,8	PASS
Jarak titik gravitasi - titik metacentre	m	> 0.15	12,39	22,33	49,55	PASS
<b>Stabilitas Angin</b>						
Sudut oleng Perbandingan area B dengan area A	derajat	< 16	0	0.1	0.1	PASS
	m.radian	B > A	13,37 > 0,22	3,63 > 0,31	6,97 > 0,33	PASS

Hal ini terjadi karena tinggi metacentre terhadap titik berat barge yang semakin besar ketika muatan semakin sedikit. Kurva di atas juga menunjukkan stabilitas akibat pengaruh angin. Nilai untuk lengan akibat angin juga berbeda tiap muatan, saat jumlah muatan makin besar maka semakin kecil nilai luasan bangunan diatas permukaan kapal yang terkena beban angin. Secara otomatis pengaruh stabilitas akibat angin juga akan semakin kecil.

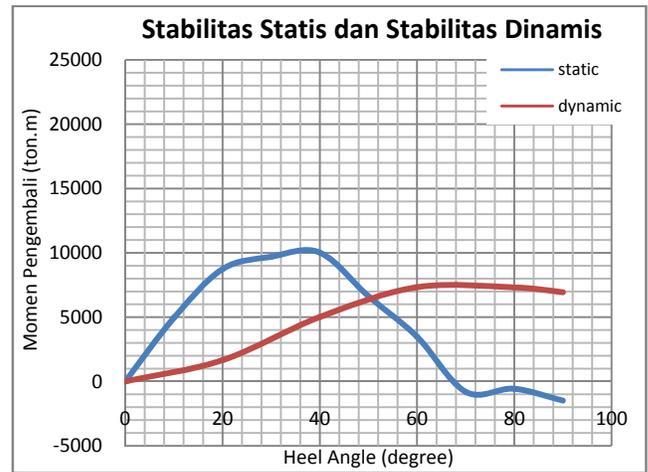
Dari hasil analisis stabilitas kemudian ditampilkan dan dibandingkan dengan kriteria IMO A.749, untuk indikasi terhadap kriteria yang berlaku dapat dilihat pada Tabel 7.

Dari tabel 7 dapat diamati bahwa nilai stabilitas akibat angin serta gelombang pada barge masih dapat dikatakan aman dan masih memenuhi syarat yang telah ditentukan IMO A.749.

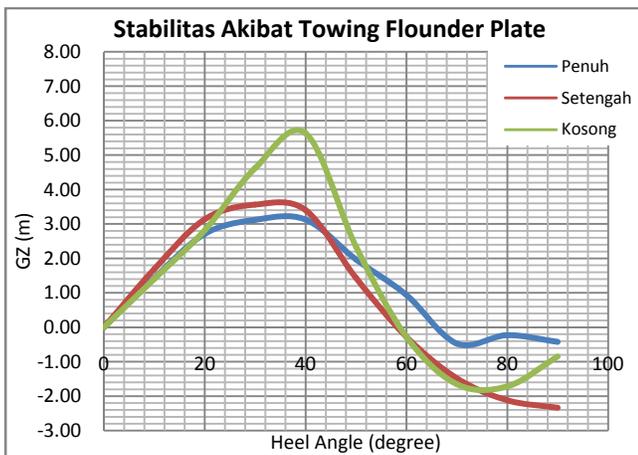
Dalam operasi *towing*, juga diperlukan perhitungan terhadap stabilitas akibat proses *towing* tersebut. Pada kasus ini, diperhitungkan lengan pengembali stabilitas akibat *towing* antara sistem *single lead pendant* dan *flounder plate*, dimana lengan pengembali ini dipengaruhi oleh adanya gaya tarik yang terjadi pada *towing equipment* atau gaya dorong yang disebabkan oleh *tug boat* yang menarik barge tersebut. Selain itu juga, sudut yang terbentuk pada *towingline*. Berikut adalah kurva besarnya nilai lengan pengembali terhadap sudut keolengan barge akibat *towing* dengan *single lead pendant* dan *flounder plate*.



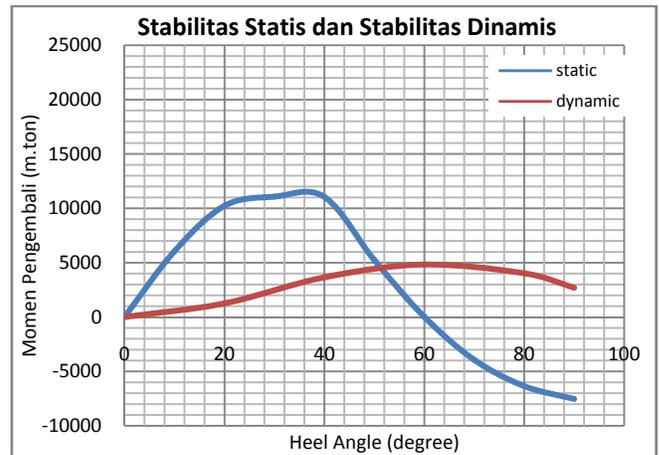
(a)



(a)



(b)



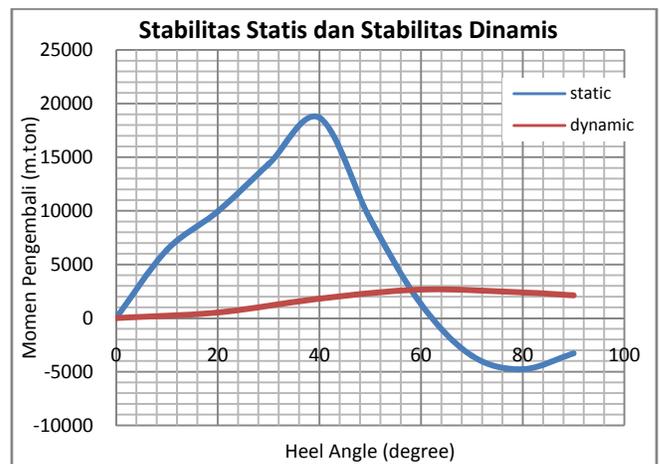
(b)

Gambar 6. Kurva stabilitas akibat towing dengan (a) *Single Lead Pendant* (b) *Flounder Plate*

Berdasarkan Gambar 6 (a) dan (b), dapat dilihat bahwa nilai lengan pengembali maksimum yang dibutuhkan oleh *single lead pendant* lebih besar dibandingkan dengan lengan pengembali maksimum jika *barge* ditarik dengan metode *flounder plate*, hal ini dikarenakan oleh *barge* saat ditarik dengan *flounder plate* terdapat 2 titik penarik yang membuat gaya penarik lebih terdistribusi pada bagian *portside* dan *starboard* pada *barge* dibandingkan dengan *single lead pendant* yang hanya menggunakan 1 titik penarik, dimana titik penarikan berada hanya pada *centerline* dari *barge*..

Stabilitas tidak bisa hanya ditentukan dengan lengan pengembali saja. Setelah diketahui nilai lengan pengembali untuk setiap sudut oleng, maka nilai momen pengembali dapat diperhitungkan, dimana ini adalah hal terpenting dari stabilitas adalah adanya momen pengembali untuk mampu mengembalikan kapal dalam keadaan normal ketika mengalami keolengan. Seperti yang telah dijelaskan pada Gambar 4.

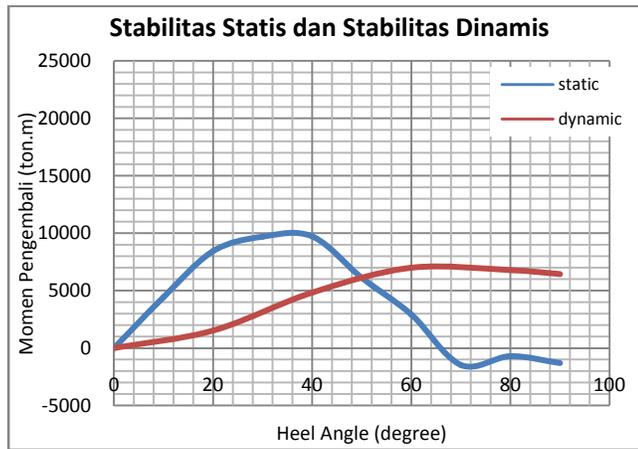
Pada Gambar 7 (a) hingga (c) menunjukkan perubahan nilai momen pengembali pada setiap sudut oleng untuk setiap kondisi muatan pada operasi *towing* dengan metode *single lead pendant*.



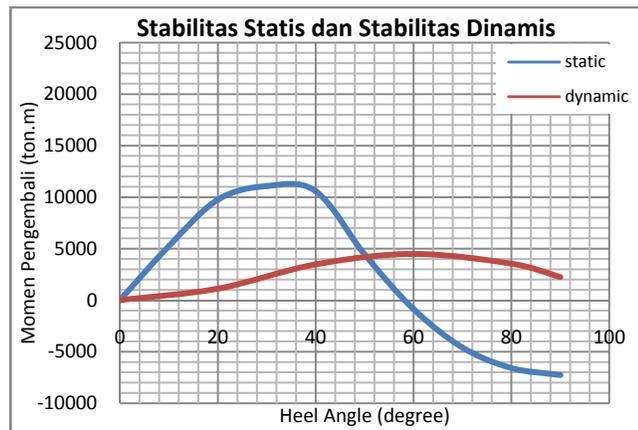
(c)

Gambar 7. Kurva stabilitas statis dan dinamis akibat towing *single lead pendant* (a) penuh (b) setengah (c) kosong

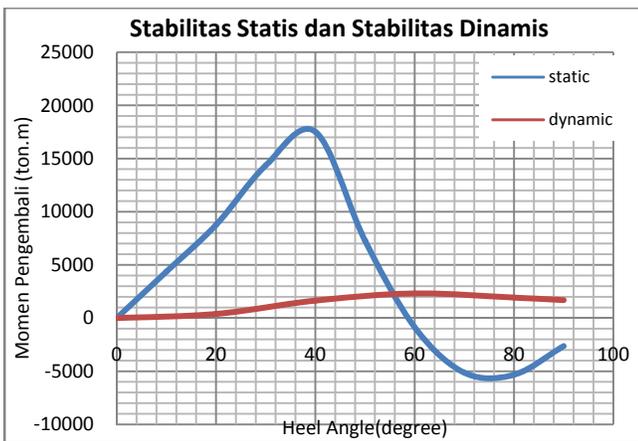
Besaran momen pengembali sangat ditentukan oleh lengan pengembali serta muatan kapal. Berdasarkan gambar yang ditampilkan di atas, besaran momen pengembali semakin kecil ketika muatan juga semakin kecil.



(a)



(b)



(c)

Gambar 8. Kurva stabilitas statis dan dinamis akibat *towing flounder plate*; (a) penuh; (b) setengah; (c) kosong

Demikian halnya juga stabilitas dinamis. Stabilitas dinamis juga sangat dipengaruhi oleh momen pengembali. Ketika momen pengembali bernilai negatif maka besaran stabilitas dinamis pun akan mengecil. Hal ini berlaku untuk semua muatan.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

*CPO barge* memiliki karakteristik gerakan di atas gelombang regular dengan respons *pitch* maksimum, untuk arah gelombang  $0^0$  sebesar 2.762 deg/m. Serta gerakan *roll* maksimum untuk arah gelombang  $90^0$  adalah sebesar 6,65 deg/m dan *heave* maksimum pada arah gelombang datang  $0^0$  dengan nilai 0,975 m/m. Nilai stabilitas dinamis maksimum akibat proses *towing* dengan menggunakan *single lead pendant* dengan muatan penuh, setengah dan kosong adalah masing – masing 9776,0 ton.m, 5770,3 ton.m dan 4495,9 ton.m. Sedangkan nilai stabilitas dinamis maksimum dengan menggunakan *flounder plate* untuk muatan penuh, setengah dan kosong adalah 9605,4 ton.m, 5415,0 ton.m dan 4340,6 ton.m. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa besarnya nilai momen pengembali yang dibutuhkan dengan menggunakan *flounder plate* lebih kecil yang menandakan barge berjalan lebih stabil dan akan kembali ke posisi semula lebih *smooth* dibandingkan dengan menggunakan *single lead pendant*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT CITRA MAS selaku perusahaan yang telah menyediakan data lengkap untuk melakukan analisa stabilitas ini. Serta kepada dikti. Terima kasih juga diberikan kepada Dr.Eng Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng sebagai kepala laboratorium Operasional Riset dan Perancangan yang telah menyediakan tempat untuk melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N.A. Prasetyo, "Analisa Stabilitas Dinamis *Ecogreen barge* pada Operasi *towing*", *Tugas Akhir SI*, Jurusan Teknik Kealutan ITS, (2012).
- [2] PT. Citra Mas Surabaya
- [3] B. Rameswar, *Dynamic of Marine Vehicles*, John Wiley and Sons Inc., (1978).
- [4] M. Murtedjo, *Teori Bangunan Apung*, Surabaya
- [5] E. Tupper, *Introduction to Naval Architecture*, Butterworth Heinemann : Oxford, (2002).
- [6] IMO A.749, *Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments*. IMO Publication : London, (2002).
- [7] US Navy DDS – 079
- [8] K.J. Rawson, and R.C. Tupper, *Basic Ship Theory*. Butterworth Heinemann : Oxford, (1968).
- [9] B. Adrian, *Ship Hydrodynamics and Stability*. Butterworth Heinemann : Oxford, (2003).
- [10] F.G. Matthew, *Principal of Naval Architecture*. The Society of Naval Architects & Marine Engineers : New York, (1967).