

## ANALISIS SENSITIVITAS PARAMETER UKURAN KAPAL TERHADAP KARAKTERISTIK STABILITAS PADA VARIASI KONDISI MUATAN

Sumardiono<sup>1</sup>, Efandis Risty Anjani<sup>2</sup>

Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya  
Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111

E-mail: sumardiono@ppns.ac.id

### ABSTRAK

Sesuai owner requirement, sebuah kapal Floating Loading Facility (FLF) mengalami modifikasi kapal berupa penambahan parameter panjang kapal sepanjang 30 meter untuk menambah kapasitas loading muatan curah batubara dari kapal tongkang ke kapal kargo. Dengan adanya penambahan ukuran, stabilitas kapal menjadi salah satu hal yang harus diperhatikan untuk menjamin keamanan operasionalnya. Perhitungan berat dan titik berat dilakukan dengan berdasarkan data gambar General Arrangement dan gambar konstruksi, sehingga diperoleh data lightship kapal yang selanjutnya menjadi input perhitungan stabilitas dengan bantuan piranti lunak Maxsurf Stability. Perhitungan setiap kriteria stabilitas dilakukan pada variasi kondisi muatan berbeda sesuai dengan ketentuan yang tercantum pada IMO A. 749 (18) Resolution. Diperoleh hasil bahwa terjadi peningkatan kemampuan stabilitas setelah terjadi modifikasi panjang kapal dimana diantara beberapa kriteria, kondisi muatan kosong secara kuantitas paling baik pemenuhan terhadap nilai minimalnya.

**Kata Kunci:** penambahan panjang, stabilitas, floating loading facility, maxsurf stability

### ABSTRACT

In accordance with the owner's requirements, a Floating Loading Facility (FLF) vessel has been modified in length for a 30 meter addition to increase the loading capacity of coal bulk cargo from barges to cargo ships. With the addition of the parameter, the stability must be considered to ensure the safety of its operations. Calculation of weight and center of gravity is carried out based on General Arrangement and construction drawings, so that lightship is obtained. The data then becomes the input for stability calculations using Maxsurf Stability software. Calculation of each stability criteria is carried out at various loading conditions in accordance with the requirement stated in IMO A. 749 (18) Resolution. It was found that there was an increase by 10% in stability capability after a modification of the ship length.

**Keyword :** length addition, stability, floating loading facility, maxsurf stability

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Floating Loading Facility merupakan jenis kapal yang dirancang untuk pemindahan muatan curah seperti batu bara dari kapal tongkang ke kapal *bulk carrier*/kargo ketika tidak ada dermaga atau pada situasi ketika lahan terminal tidak memungkinkan untuk dilakukan *loading* [1]. Seiring dengan meningkatnya permintaan distribusi batu bara, owner kapal FLF mengajukan permintaan modifikasi kapal berupa penambahan panjang kapal sepanjang 30 meter dengan panjang awal 95 meter menjadi 125 meter untuk menambah kapasitas muatan batu bara dan mempercepat proses *loading*. Dari modifikasi tersebut, kapal FLF yang mulanya dalam sehari bisa melakukan proses *loading* maksimal 17.000 metrik ton, diharapkan bisa menampung dan mendistribusikan maksimal 22.000 metrik ton batu bara setiap harinya. Dengan adanya

penambahan panjang bangunan, nilai titik berat akan berubah dan stabilitas menjadi salah satu nilai yang harus diperhitungkan [2]. Hal ini bertujuan agar pada saat kapal beroperasi dan terjadi trim/kemiringan, kapal bisa kembali ke posisi semula yang stabil dan terhindar dari kecelakaan akibat kapal tidak dapat kembali ke posisi semula, kehilangan keseimbangan dan berisiko tenggelam yang akan merugikan baik dari segi harta benda maupun nyawa manusia. Pada saat nilai kestabilan sebuah kapal sudah memenuhi ketentuan atau *regulation* maka kapal tersebut dapat diberikan izin untuk berlayar. Kestabilan sebuah kapal juga dipengaruhi oleh jumlah muatan yang mampu ditampung oleh masing-masing kapal [3]. Oleh karena itu, peneliti melakukan penelitian tentang analisis stabilitas guna mengetahui bagaimana pengaruh penambahan panjang tersebut terhadap nilai stabilitas kapal yang ada pada beberapa kondisi

muatan berbeda dan nilai keberterimaannya harus memenuhi ketentuan internasional.

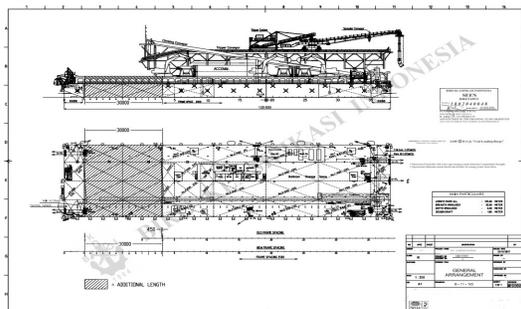
### 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

- Untuk mengetahui berapa berat kapal kosong (LWT) dan dimana titik berat (G) setelah dilakukan penambahan panjang kapal.
- Untuk mengetahui pemenuhan stabilitas kapal terhadap ketentuan.
- Untuk mengetahui kondisi muatan memiliki stabilitas paling baik.

### 1.3 Metodologi

Langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mengidentifikasi metode analisis yang akan digunakan untuk mencari berat kapal kosong LWT, titik berat dan nilai stabilitas [4]. Pengambilan data dilakukan dalam bentuk data ukuran utama kapal, gambar *General Arrangement* (tersaji pada Gambar 1) dan gambar konstruksi kapal.



Gambar 1. *General Arrangement*

Dari data di atas kemudian dilakukan perhitungan LWT dan titik berat menggunakan metode post per post.. Selanjutnya dilakukan pemodelan surface kapal pada software *maxsurf modeller* untuk dijadikan sebagai model analisis stabilitas menggunakan 4 kondisi muatan berbeda, yaitu kondisi muatan kosong/ *lightship*, muatan setengah atau *intermediate 50%*, muatan tiga per empat atau *intermediate 75%* dan muatan penuh/ *full load* yang kemudian hasil analisis tersebut dibandingkan dengan kriteria dari IMO A.749 (18) "*Intact Stability for All Types of Ships*". Setelah diperoleh hasil analisis stabilitas, langkah terakhir adalah penarikan kesimpulan.

### 1.4 Landasan Teori

Parameter Stabilitas berdasarkan IMO A.749 (18) "*Intact Stability for All Types of Ships*" adalah sebagai berikut [5]:

- Luasan di bawah kurva GZ sampai dengan sudut oleng  $\theta = 30^\circ \geq 3.1513 \text{ m. deg}$ .
- Luasan di bawah kurva GZ sampai dengan sudut oleng  $\theta = 40^\circ \geq 5.1566 \text{ m. deg}$ .
- Luasan di bawah kurva GZ antara sudut  $30^\circ < \theta < 40^\circ$  harus lebih dari  $1.7189 \text{ m. deg}$ .
- Sudut pada saat lengan GZ minimal pada sudut oleng  $\theta = 15^\circ$ .

- Lengan GZ maksimal harus lebih dari sama dengan  $0.2 \text{ m}$ .
- Tinggi metrasentra awal (GM) harus lebih dari sama dengan  $0.15 \text{ m}$ .

## 2. PEMBAHASAN

### 2.1 Perubahan Berat dan Titik Berat

Berat dan Titik Berat Kapal FLF. X yang dilakukan modifikasi sedemikian rupa dengan penambahan beberapa peralatan yaitu *conveyor*, *excavator*, *hopper* dan *deck hoe* di bagian *deck* untuk dilakukan dengan menerapkan metode post per post [6].

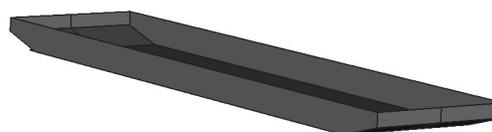
Tabel 1. Berat dan titik berat kapal

Item	Sebelum	Sesudah
LWT	5.556 Ton	6.787 Ton
LCG	79,978 m	70,155 m
VCG	15,935 m	11,529 m

Dengan adanya penambahan panjang kapal dari 95 meter menjadi 125 meter, Tabel 1 menunjukkan nilai LWT, LCG dan KG dari dua kondisi tersebut.

### 2.2 Pemodelan Kapal

Pemodelan dilakukan dengan 2 ukuran kapal yang berbeda, yaitu 95 meter (sebelum ditambah panjang) dan 125 meter (sesudah ditambah panjang). Hasil pemodelan dengan menggunakan *Maxsurf Modeler* disajikan pada Gambar 2 dilakukan dengan menyesuaikan variabel-variabel data ukuran utama kapal seperti zero point, base line, after peak (AP), fore peak (FP), DWL dan LWL serta melalui tahapan validasi untuk memperoleh hasil tabel *hydrostatic*. Validasi dilakukan untuk memastikan bahwa model kapal yang dibuat ukurannya sama dengan ukuran kapal asli.



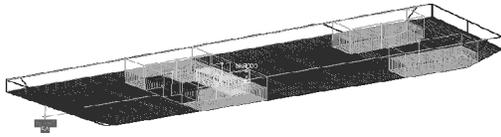
Gambar 2. Hasil pemodelan FLF

### 2.3 Perencanaan Tangki

Jenis tangki yang ada di kapal FLF. X adalah tangki *water ballast*, tangki *fuel oil*, tangki *fresh water* dan tangki *void* dengan detail informasi setiap tangki disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 3.

Tabel 2. Data tangki kapal

No.	Jenis Tangki	Lokasi	Kapasitas [Ton]
1.	WBT-1	P/S	1777,76
2.	WBT-2	P/S	1792,64
3.	FOT	P/S	467,34
4.	FWT	P/S	471,26



Gambar 3. Rencana tangki

## 2.4 Penentuan Variasi Loadcase

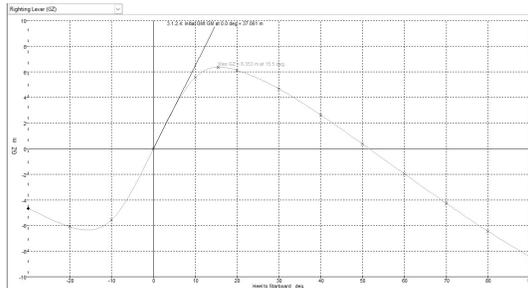
Cakupan kondisi muatan bervariasi disesuaikan dengan ketentuan IMO dan operasional kapal, yaitu kondisi kapal kosong, kondisi muatan penuh dan 2 (dua) kondisi operasional. Kondisi muatan yang terakhir tersebut meliputi muatan 50% dan 75%.

## 2.5 Analisis Stabilitas

### 2.5.1 Kondisi Lightship

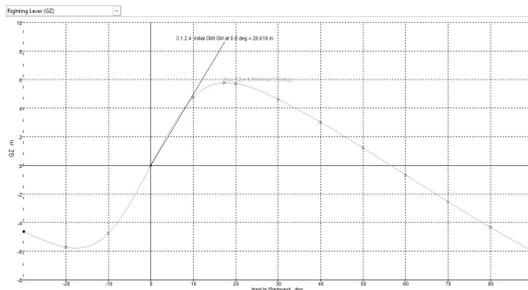
Gambar 4 menunjukkan hasil stabilitas kapal FLF.x pada saat kondisi muatan kosong (0%), dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Area 0° sampai 30° adalah 146.93 m.deg
- Area 0° sampai 40° adalah 183.63 m.deg
- Area 30° sampai 40° adalah 36.69 m.deg
- Sudut pada saat lengan GZ maksimal adalah 15.5 deg
- Tinggi GM awal adalah 37.06 meter
- Lengan GZ maksimal adalah 4.66 meter



Gambar 4. Stabilitas pada kondisi lightship

### 2.5.2 Kondisi Muatan 50%



Gambar 5. Stabilitas pada kondisi muatan 50%

Gambar 5 menunjukkan hasil stabilitas kapal FLF.X pada saat kondisi muatan intermediate (50%), dapat dijelaskan sebagai berikut:

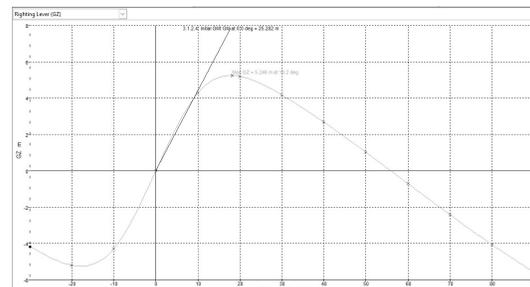
- Area 0° sampai 30° adalah 133.66 m.deg
- Area 0° sampai 40° adalah 171.99 m-deg
- Area 30° sampai 40° adalah 38.33 m-deg

- Sudut pada saat lengan GZ maksimal adalah 17.3 deg
- Tinggi GM awal adalah 28.61 meter
- Lengan GZ maksimal adalah 4.61 meter

### 2.5.3 Kondisi Muatan 75%

Gambar 6 menunjukkan hasil stabilitas kapal FLF.X pada saat kondisi muatan intermediate (75%), dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Area 0° sampai 30° adalah 121.00 m.deg
- Area 0° sampai 40° adalah 155.33 m.deg
- Area 30° sampai 40° adalah 34.32 m.deg
- Sudut pada saat lengan GZ maksimal adalah 18.2 deg
- Tinggi GM awal adalah 25.28 meter
- Lengan GZ maksimal adalah 4.16 meter

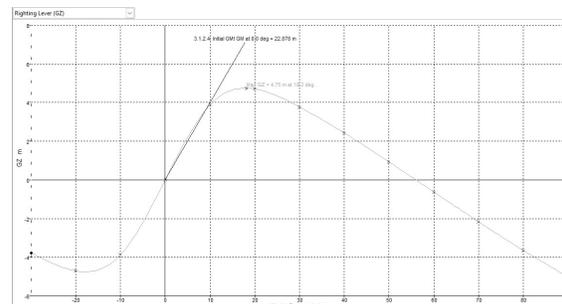


Gambar 6. Stabilitas pada kondisi muatan 75%

### 2.5.4 Kondisi Muatan Penuh

Gambar 7 menunjukkan hasil stabilitas kapal FLF.x pada saat kondisi muatan penuh (100%), dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Area 0° sampai 30° adalah 109.55 m.deg
- Area 0° sampai 40° adalah 140.67 m.deg
- Area 30° sampai 40° adalah 22.87 m.deg
- Sudut pada saat lengan GZ maksimal adalah 18.2 deg
- Tinggi GM awal adalah 22.87 meter
- Lengan GZ maksimal adalah 3.76 meter



Gambar 7. Stabilitas pada kondisi muatan penuh

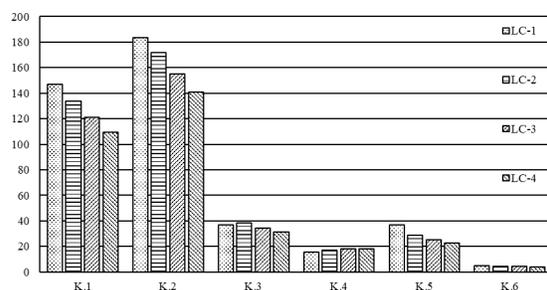
## 2.6 Pembahasan

Tabel 3 menunjukkan hasil rekapitulasi analisis stabilitas kapal yang telah dibandingkan dengan kriteria IMO section A.749 (18).

Terlihat juga pada Gambar 8 bahwa pada kondisi *loadcase* 1 atau kapal dalam keadaan muatan 0% adalah kondisi yang paling baik stabilitasnya. Penilaian ini dilihat dari segi jumlah kriteria yang nilainya paling tinggi disparitasnya terhadap ketentuan minimal. Untuk *loadcase* 3 dan 4 terlihat paling baik pada kriteria sudut lengan GZ dengan nilai 18.2°. Semakin tinggi lengan GZ, semakin besar pula momen pengembali kapal sehingga kapal dapat kembali ke posisi semula setelah mengalami kemiringan. Sedangkan untuk *loadcase* 2 menghasilkan nilai paling tinggi pada kriteria area di bawah kurva GZ 30° sampai 40° sebesar 38.33 m.deg.

**Tabel 3. Rekapitulasi stabilitas antar loadcase**

Kode	Kriteria	LC 1	LC 2	LC 3	LC 4
K.1	Area di bawah kurva 0° - 30° [m.deg]	146.93	133.6	121.0	109.55
K.2	Area di bawah kurva 0° - 40° [m.deg]	183.63	171.9	155.33	140.67
K.3	Area di bawah kurva 30° - 40° [m.deg]	36.69	38.33	34.32	31.11
K.4	Sudut pada lengan GZ maks. [deg.]	15.5	17.3	18.2	18.2
K.5	GM Awal [m]	37.06	28.61	25.28	22.87
K.6	Lengan GZ maks. [m]	4.66	4.61	4.16	3.76



**Gambar 8. Perbandingan stabilitas loadcase**

### 3. KESIMPULAN

Karakteristik stabilitas kapal dipengaruhi oleh perubahan ukuran kapal. Besar kecilnya pengaruh yang terjadi tergantung dari parameter yang berubah. Penambahan panjang pada kapal FLF.X meningkatkan kemampuan stabilitas meskipun

secara kuantitas dari nilai setiap kriteria yang diperoleh tidak menunjukkan disparitas yang ekstrem. Sebagai pendukung justifikasi ini perlu dilakukan perhitungan lanjutan mengenai gaya geser dan momen lengkung sebagai satu kesatuan analisis kekuatan memanjang kapal.

### PUSTAKA

- [1] Prasetyo, I. A. dkk., "Studi Karakteristik Buckling pada Kolom Crane Kapal Floating Loading Facility (FLF) Berbasis Finite Element Method (FEM)", Jurnal Teknik Perkapalan Vol. 4, No. 4. Fakultas Teknik, Departemen Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro, 2016.
- [2] Hidayatulloh, A., "Analisis Probabilistik Damage Stability Tongkang Tipe Ballastable", Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [3] Ramadhan, W. dkk., "Analisa Teknis Penambahan Panjang Kapal untuk Menambah Kapasitas Muatan KMP. Roditha", Prosiding SEMINTAN II Vol. 2, No., Jurusan Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, 2020.
- [4] Nisa', E. K., "Analisis Perubahan Stabilitas Kapal Akibat Penambahan Crane Kontainer pada KM. X". Program Studi Desain dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 2018.
- [5] IMO Instruments, Code on Intact Stability for All Types of Ships. A. 749 (18), Chapter 3 'Design Criteria Applicable to All Ships', 1993.
- [6] Zamzami, M. R., "Perencanaan Sistem Mekanis Pengatur Stabilitas Kapal Barge Pengangkut Lumpur saat Melakukan Proses Unloading", Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.