

## PENGARUH *FREE SURFACE* TERHADAP STABILITAS KAPAL PENGANGKUT IKAN HIDUP

Oleh:  
Yopi Novita<sup>1\*</sup>

### ABSTRAK

Muatan utama kapal pengangkut ikan hidup (KPIH) adalah air laut dan ikan yang berenang bebas di dalamnya. Oleh karena itu, maka jenis muatan di dalam palka KPIH adalah merupakan muatan jenis *liquid* (cair). Muatan berbentuk *liquid* mudah berubah bentuk. Terlebih jika permukaan muatan *liquid* tersebut masih dapat bergerak bebas. Pada saat kapal melakukan gerakan, terutama gerakan oleng, maka permukaan muatan *liquid* tersebut akan bebas bergerak ke arah kemiringan kapal selama terjadinya gerakan oleng kapal. Pergerakan ini diduga akan mempengaruhi kualitas stabilitas kapal. Tujuan penelitian ini adalah: 1) untuk mengetahui parameter stabilitas yang dipengaruhi oleh pergerakan *free surface*, dan 2) menghitung perubahan nilai parameter stabilitas yang dipengaruhi oleh pergerakan *free surface*. Metode penelitian dilakukan dengan cara simulasi *numeric* dan dianalisis secara *numeric-comparative*. Dari hasil kajian diketahui bahwa nilai parameter stabilitas kapal yang dipengaruhi oleh pergerakan *free surface* adalah lengan penegak (*righting arm*,  $\overline{GZ}$ ), sudut oleng kapal pada saat menghasilkan lengan penegak maksimal ( $\alpha_{\overline{GZ}_{maks}}$ ), initial  $\overline{GM}$  dan *rolling period*, dengan penurunan nilai parameter stabilitas masing-masing adalah sebesar 10 % untuk  $\overline{GZ}$ , 3,9 % untuk  $\alpha_{\overline{GZ}_{maks}}$ , 10,6 % untuk initial  $\overline{GM}$ . Adapun untuk *rolling period* mengalami peningkatan sebesar 3,9 %.

**Kata Kunci:** *free surface*, stabilitas

### PENDAHULUAN

Muatan utama kapal pengangkut ikan hidup (KPIH) adalah air laut dan ikan yang berenang bebas di dalamnya. Oleh karena itu, maka jenis muatan di dalam palka KPIH adalah merupakan muatan jenis *liquid* (cair). Muatan berbentuk *liquid* mudah berubah bentuk. Terlebih jika permukaan muatan *liquid* tersebut masih dapat bergerak bebas. Permukaan *liquid* yang bebas bergerak ini diistilahkan sebagai *free surface*.

Muatan *liquid* di dalam palka KPIH masih dapat bergerak bebas dikarenakan permukaannya tidak dibatasi. Oleh karena itu, pada saat kapal melakukan gerakan, terutama gerakan oleng, maka permukaan muatan *liquid* tersebut akan bebas bergerak ke arah kemiringan kapal selama terjadinya gerakan oleng kapal. Jika massa air yang bergerak ke arah kemiringan kapal saat kapal oleng berlebihan, maka titik berat muatanpun akan bergeser ke arah kemiringan kapal. Perpindahan titik berat muatan akan mempengaruhi stabilitas kapal. Hal ini dikarenakan perpindahan titik berat muatan tersebut mengakibatkan terjadinya penurunan kemampuan balik kapal setelah oleng. Sehingga kondisi ini mengakibatkan kemampuan stabilitas kapal menurun. Apabila periode oleng kapal sangat lambat, maka kemungkinan kapal akan terbalik dengan menurunnya kemampuan balik kapal dari posisi oleng menjadi lebih besar.

---

<sup>1</sup> Staf pengajar Departemen Pemanfaatan Sumber daya Perikanan IPB

\*Korespondensi: Yop\_Novita@yahoo.com

Tujuan penelitian ini adalah: 1) untuk mengetahui parameter stabilitas yang dipengaruhi oleh pergerakan *free surface*, dan 2) menghitung perubahan nilai parameter stabilitas yang dipengaruhi oleh pergerakan *free surface*.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara simulasi di Laboratorium Desain dan Dinamika Kapal-Bagian Kapal dan Transportasi Perikanan-Departemen PSP, FPIK IPB. Penelitian dilakukan selama bulan Juli 2010.

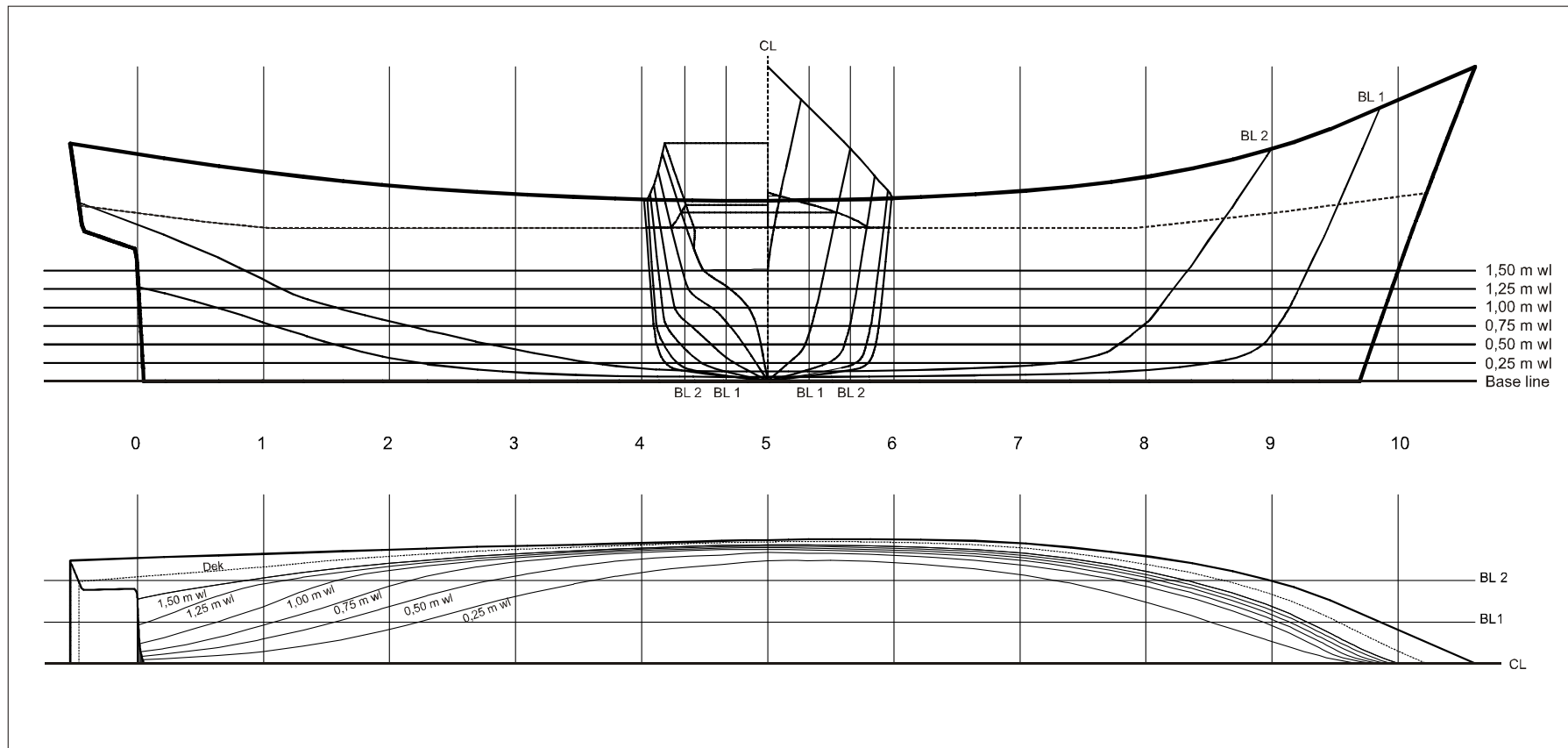
### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 (satu) unit *personal computer* (PC) yang dilengkapi dengan program *microsoft office excel* dan *maxsurf*. Adapun bahan yang digunakan adalah berupa data KPIH yang terdiri dari: data dimensi utama dan *lines plan* kapal. Data dimensi utama dan *lines plan* kapal masing-masing disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 1. Adapun rancangan umum KPIH yang dijadikan objek penelitian disajikan pada Gambar 2.

Tabel 1. Dimensi utama KPIH

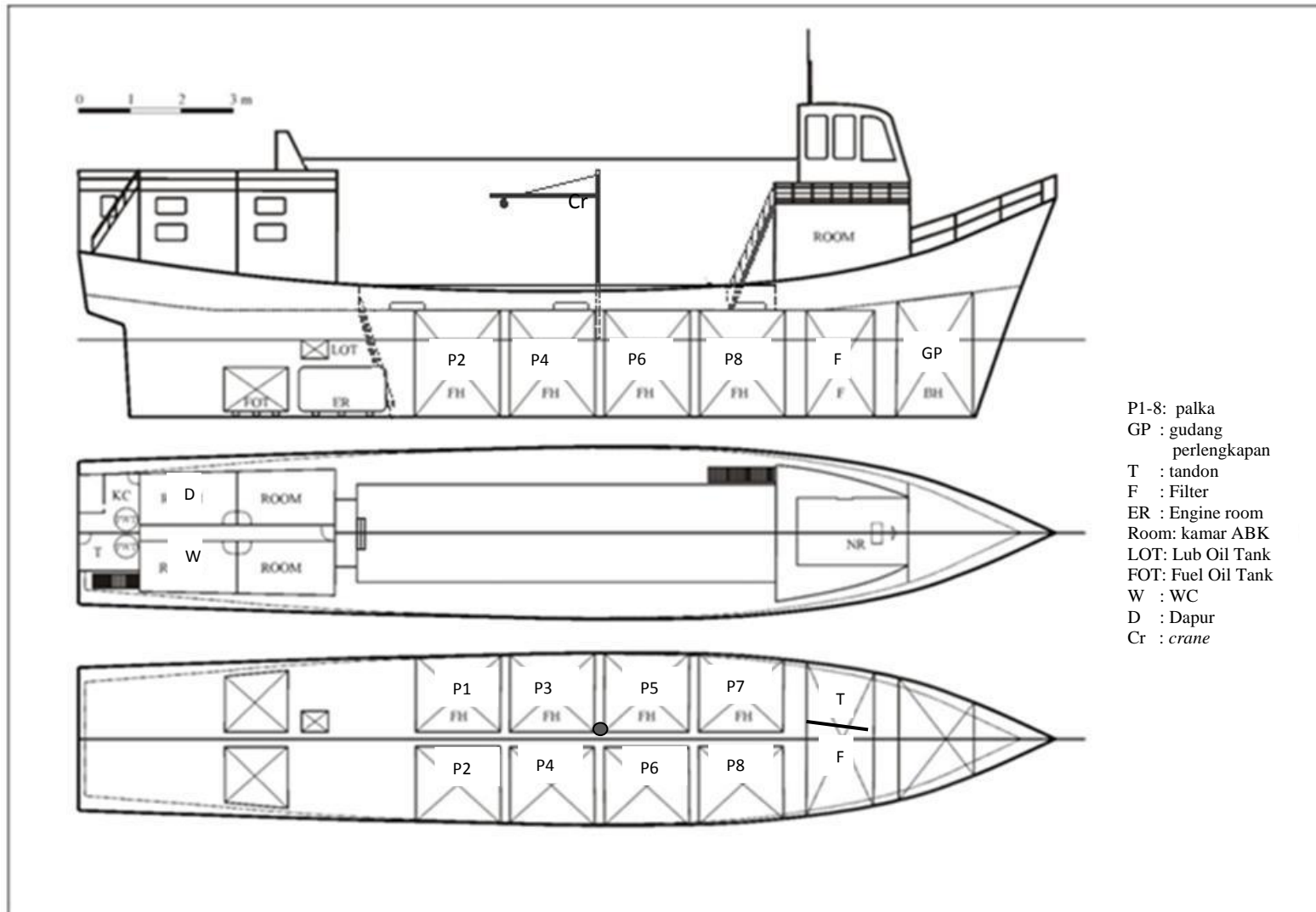
No	Parameter	Ukuran
1.	L/B	5,40
2.	L/D	11,40
3.	B/D	2,10
4.	d/D	0,60
5.	<i>Length Over All</i> (LOA)	19,00 m
6.	<i>Length of Water Line</i> (L <sub>WL</sub> )	17,06 m
7.	<i>Length Between Perpendicular</i> (L <sub>BP</sub> )	18,05 m
8.	Lebar Kapal ( <i>Breadth</i> , B)	3,33 m
9.	Tinggi Kapal ( <i>Depth</i> , D)	1,95 m
10.	<i>Draf</i> (d)	1,50 m
11.	<i>Freeboard</i>	0,45 m
12.	<i>Displacement Volume</i> (V)	50,30 m <sup>3</sup>
13.	<i>Cubic Number</i> (CUNO)	85,21 m <sup>3</sup>
14.	Perkiraan <i>Gross Tonnage</i>	± 30,00 GT

Sumber: Novita *et al.* (2011)



Skala 1 : 75

Gambar 1 *Lines Plan* KPIH (Sumber: Novita *et.al* (2011)).



Gambar 2 Rencana Umum (*General Arrangement*) KPIH (Sumber: Novita *et.al* (2011)).

### Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data dikumpulkan secara simulasi numerik, dimana KPIH dikondisikan dalam dua kondisi muatan, yaitu muatan padat dan muatan cair. KPIH dengan muatan padat berarti tidak memiliki *free surface*, sedangkan KPIH dengan muatan cair berarti memiliki *free surface*.

Selanjutnya data diolah dengan menggunakan persamaan matematika sederhana untuk mengetahui perbedaan antara parameter stabilitas kapal bermuatan padat dengan stabilitas kapal bermuatan cair.

### Analisis Data

Analisis data dilakukan secara *comparative-numeric* antara parameter stabilitas pada KPIH bermuatan tanpa *free surface* dengan KPIH bermuatan *free surface*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Desain KPIH

Menurut Undang-undang No. 45 Tahun 2009 tentang Perubahan Atas Undang-undang No. 31 Tahun 2004 (Pasal 34), KPIH berdasarkan fungsinya termasuk ke dalam kategori kapal pengangkut ikan. Akan tetapi berdasarkan dominansi jenis muatan yang dibawanya, maka kapal pengangkut ikan hidup dikategorikan sebagai kapal *liquid cargo*.

Ditinjau dari gambar *lines plan* KPIH, terlihat bahwa kasko KPIH memiliki bentuk *U-bottom*. Kapal dengan bentuk kasko *U-bottom* memiliki kemampuan stabilitas yang baik. Hal ini dibuktikan dari hasil penelitian Rouf dan Novita (2006) yang membandingkan stabilitas dari beberapa kapal yang memiliki bentuk kasko yang berbeda. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa kapal dengan kasko berbentuk *U-bottom* kualitas stabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan bentuk kasko lainnya.

Berdasarkan gambar rancangan umum KPIH sebagaimana tertera pada Gambar 2, terlihat bahwa di atas dek, dibangun dua buah bangunan. Bangunan pertama berada di bagian haluan kapal yang berfungsi sebagai ruang kemudi dan ruang tidur nahkoda. Adapun bangunan kedua berada di bagian buritan kapal yang berfungsi sebagai ruang tidur ABK serta dapur. Di bawah dek terdapat 8 (delapan) unit palka, dan masing-masing 1 (satu) unit bak filter, ruang mesin, tangki bahan bakar dan oli, dan gudang perlengkapan. Palka ditempatkan di bagian tengah kapal. Hal ini disebabkan karena bagian tengah kapal merupakan bagian kapal dengan volume terbesar. Sehingga diharapkan dapat memuat ikan hidup dalam jumlah yang maksimum. Penempatan muatan yang diperkirakan akan menghasilkan berat yang terbesar, yaitu di bagian tengah kapal, diharapkan tidak mengakibatkan kapal dalam kondisi *trim by bow* (kapal posisi menukik ke arah haluan) atau *trim by stern* (kapal posisi menukik ke arah buritan). Bak filter diletakkan dekat bagian haluan kapal. Palka tempat menyimpan benih ikan selama perjalanan di rancang tidak memiliki tutup. Hal ini dimaksudkan agar tetap terjadi interaksi antara udara dengan permukaan air di dalam palka. Untuk melindungi dari bahaya masuknya air laut ke bawah dek saat kapal berada pada gelombang ekstrim, maka disepanjang lantai dek yang berada tepat di atas palka dipasangkan dinding setinggi 60 cm. Untuk mempermudah pengangkatan bak-bak berisi benih ikan yang dikeluarkan dari dalam palka ke luar kapal, maka di atas kapal pengangkut benih ikan dilengkapi dengan sebuah *crane*.

Berdasarkan dimensi palka, maka luasan *free surface* pada masing-masing palka baik pada KPIH bermuatan cair maupun KPIH bermuatan padat disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Luasan *free surface* pada masing-masing palka

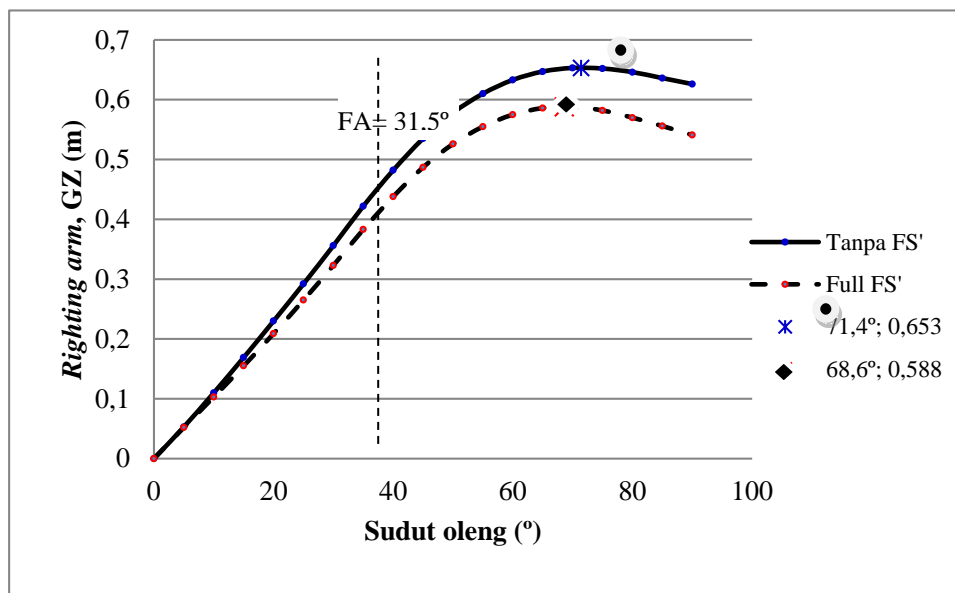
Palka	Volume muatan (m <sup>3</sup> )	KPIH bermuatan padat		KPIH bermuatan cair	
		Jenis muatan	Luas FS (m <sup>2</sup> )	Jenis muatan	Luas FS (m <sup>2</sup> )
Palka 1	4,004	Padat	0,00	<i>Liquid</i>	2,32
Palka 2	4,004	Padat	0,00	<i>Liquid</i>	2,32
Palka 3	4,238	Padat	0,00	<i>Liquid</i>	2,32
Palka 4	4,238	Padat	0,00	<i>Liquid</i>	2,32
Palka 5	4,192	Padat	0,00	<i>Liquid</i>	2,32
Palka 6	4,192	Padat	0,00	<i>Liquid</i>	2,32
Palka 7	3,810	Padat	0,00	<i>Liquid</i>	2,32
Palka 8	3,810	Padat	0,00	<i>Liquid</i>	2,32
<b>Total</b>			0,00		20,38

\* FS = *free surface*

Luasan *free surface* pada palka KPIH bermuatan cair adalah sama dengan luas permukaan palka yang diisi oleh muatan cair. Adapun pada KPIH bermuatan padat, tidak memiliki *free surface* dikarenakan muatan padat tidak memiliki *free surface*. Total luas *free surface* pada KPIH bermuatan cair adalah sebesar 20,38 m<sup>2</sup>. Sedangkan pada KPIH bermuatan padat tidak memiliki *free surface*.

### Stabilitas KPIH

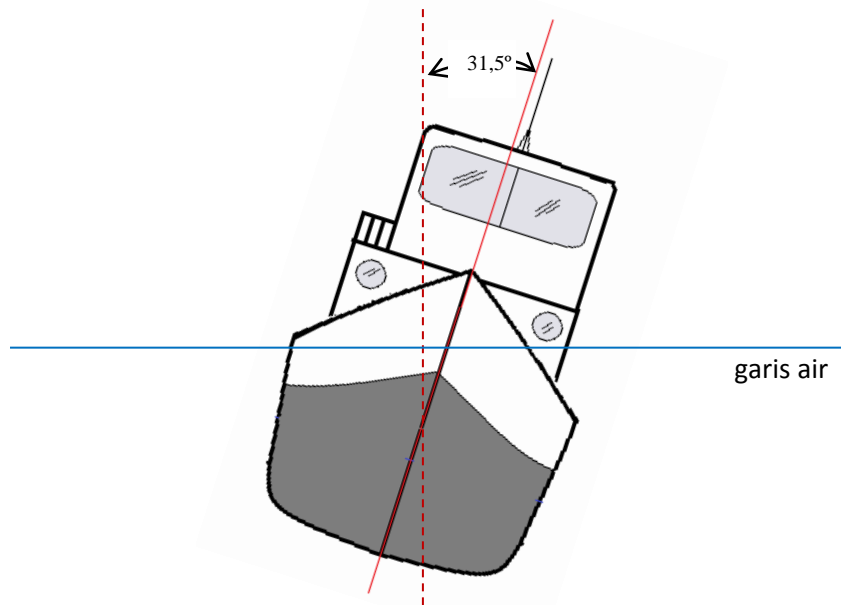
Pada Gambar 3 disajikan kurva stabilitas statis KPIH bermuatan padat dan bermuatan cair.



Keterangan: FS = *free surface*; FA = *Flooding angle*; Sirdam = sirip peredam

Gambar 3 Kurva stabilitas statis KPIH bermuatan cair dan bermuatan padat.

Pada Gambar 3 terlihat adanya nilai  $FA = 31,5^\circ$ . Nilai ini menunjukkan bahwa KPIH memiliki *Flooding Angle* (FA) sebesar  $31,5^\circ$ . *Flooding angle* adalah sudut kemiringan kapal yang menjadi batas saat masuknya air laut ke atas dek kapal. Ilustrasi *flooding angle* disajikan pada Gambar 4. Apabila KPIH mengalami kemiringan lebih dari  $31,5^\circ$ , maka dapat dipastikan lantai dek kapal akan mulai kebanjiran air laut, dan jika kondisi ini dibiarkan lambat laun kapal akan terbalik.



Gambar 4 Ilustrasi kondisi *flooding angle* KPIH

Gambar 3 memperlihatkan bahwa garis kontinyu yang disimbolkan dengan 'tanpa *FS*' adalah merupakan kurva stabilitas statis dari KPIH bermuatan padat. Adapun garis putus-putus yang disimbolkan dengan '*Full FS*' adalah merupakan kurva stabilitas statis KPIH bermuatan cair. Jika dibandingkan antara kurva stabilitas statis KPIH bermuatan padat dengan bermuatan cair, terlihat bahwa lengan penegak ( $\overline{GZ}$ ) pada kurva stabilitas statis KPIH saat bermuatan cair mengalami pengurangan pada saat kapal oleng. Selain itu terlihat bahwa sudut oleng kapal yang menghasilkan lengan penegak ( $\overline{GZ}$ ) maksimum lebih kecil bila dibandingkan dengan saat KPIH bermuatan padat. Secara rinci, nilai-nilai parameter stabilitas kapal yang terdiri dari *righting arm* maksimum atau lengan penegak maksimum yang disimbolkan dengan  $\overline{GZ}_{maks}$ , sudut oleng pada  $\overline{GZ}_{maks}$ , *initial GM*, dan  $\overline{GZ}$  pada FA, disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai parameter stabilitas KPIH bermuatan padat dan bermuatan cair

Kondisi muatan KPIH	Nilai parameter stabilitas			
	$\overline{GZ}_{maks}$ (m)	Sudut oleng pada $\overline{GZ}_{maks}$ ( $^\circ$ )	Initial $\overline{GM}$ (m)	$\overline{GZ}$ pada FA (m)
Bermuatan padat	0,653	71,4	0,644	0,379
Bermuatan cair	0,588	68,6	0,576	0,339

Tabel 3 terlihat bahwa KPIH bermuatan cair menghasilkan nilai  $\overline{GZ}_{maks}$  pada sudut oleng  $68,6^\circ$  dan KPIH bermuatan padat pada sudut oleng  $71,4^\circ$ . Sudut kemiringan kapal yang memiliki lengan penegak (*righting arm*,  $\overline{GZ}$ ) terbesar untuk selanjutnya disimbolkan dengan  $\alpha_{\overline{GZ}_{maks}}$ . Pada sudut kemiringan kapal yang lebih besar dari sudut  $\alpha_{\overline{GZ}_{maks}}$ , lengan penegak kapal ( $\overline{GZ}$ ) akan mulai mengalami pengurangan hingga pada akhirnya tidak lagi terdapat lengan penegak atau  $\overline{GZ} = 0$ . Pada kondisi  $\overline{GZ} = 0$ , kapal sudah tidak dapat kembali ke posisi tegak semula. Mengacu pada nilai  $\alpha_{\overline{GZ}_{maks}}$ , terlihat bahwa keberadaan *free surface* dapat memperkecil sudut  $\alpha_{\overline{GZ}_{maks}}$ . Pada kondisi riil, KPIH yang dikaji tidak akan mencapai sudut  $\alpha_{\overline{GZ}_{maks}}$ . Hal ini disebabkan karena KPIH tersebut dibatasi oleh FA yaitu  $31,5^\circ$ .

Selain mengurangi sudut oleng kapal yang menghasilkan  $\overline{GZ}_{maks}$  ( $\alpha_{\overline{GZ}_{maks}}$ ), keberadaan *free surface* juga mengurangi nilai  $\overline{GZ}$ . Hal ini terlihat dari nilai  $\overline{GZ}$  pada KPIH bermuatan cair yang lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai  $\overline{GZ}$  pada KPIH bermuatan padat. Pengurangan nilai  $\overline{GZ}$  dan  $\alpha_{\overline{GZ}_{maks}}$  saat KPIH bermuatan cair jika dibandingkan dengan saat KPIH bermuatan padat, menunjukkan terjadinya penurunan kualitas stabilitas kapal. Pengurangan kedua nilai tersebut terjadi disebabkan karena pergerakan *free surface* pada saat kapal mengalami oleng. Pergerakan *free surface* ini mengakibatkan pergeseran titik berat (G) kapal ke arah atas. Pergeseran titik G kapal ke atas mengakibatkan  $\overline{GZ}$  yang terjadi menjadi lebih kecil dibandingkan dengan yang seharusnya terjadi.

Tabel 3 terlihat bahwa, keberadaan *free surface* tidak saja menurunkan nilai  $\overline{GZ}$ , akan tetapi juga mempengaruhi nilai *initial GM*. Keberadaan *free surface* juga mengakibatkan nilai *initial GM* mengecil.

Selain mempengaruhi nilai  $\overline{GZ}$  dan *initial GM*, keberadaan *free surface* juga mempengaruhi periode *rolling* kapal. Informasi tentang periode *rolling* juga dapat dijadikan sebagai indikator tingkat kestabilan kapal yang berkaitan dengan keselamatan kapal. Pada kondisi fisik gelombang yang sama, apabila terdapat dua kapal dengan periode *rolling* yang berbeda, maka kapal dengan periode *rolling* lebih besar memiliki ancaman keselamatan yang lebih besar dibandingkan dengan kapal yang memiliki periode *rolling* lebih kecil.

Berdasarkan periode *rolling* yang diperoleh dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (IMO, 1995):

$$T = \frac{2CB}{\sqrt{GM}} \dots\dots\dots (1)$$

dimana  $T$  = *rolling period* (detik),  $C = 0,373 + 0,023 (B/d) - 0,043 (L/100)$ ,  $GM$  = *radius metacentric* (m), dan  $B$  = lebar kapal (m), diketahui *rolling period* untuk KPIH bermuatan padat dan cair masing-masing adalah sebesar 2,96 dan 3,08 detik. Dari kedua nilai *rolling period* tersebut terlihat bahwa pada KPIH bermuatan padat, memiliki periode *rolling* yang lebih kecil dibandingkan dengan kondisi KPIH bermuatan cair. Pada kondisi KPIH bermuatan cair, terjadi penambahan periode *rolling* sebesar 0,12 detik (4,1 %) dibandingkan saat KPIH bermuatan padat. Lebih lamanya periode *rolling* kapal yang memiliki *free surface* pada muatannya dibandingkan dengan periode *rolling* kapal yang tidak memiliki *free surface* pada muatannya, diduga karena adanya *sloshing*. Lee *et.al* (2005) mendefinisikan *sloshing* sebagai suatu istilah yang menunjukkan fenomena saat *free surface* membentur dinding palka saat kapal mengalami oleng. Berdasarkan definisi tersebut, maka saat *free surface* membentur dinding palka atau terjadi *sloshing*, maka timbulah *moment* tumbukan yang mengakibatkan gerakan balik kapal tertahan lebih lama pada posisi kemiringannya. Setelah *moment* tumbukan berkurang atau bahkan hilang, maka barulah kapal tersebut melakukan gerakan oleng ke arah yang berlawanan. *Sloshing* inilah yang mengakibatkan periode *rolling* kapal yang memiliki *free surface* menjadi lebih lama.



Berdasarkan pemaparan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa stabilitas kapal akan semakin memburuk apabila terdapat *free surface* di atas kapal tersebut. Hal ini ditandai dengan terjadinya penurunan nilai  $\overline{GZ}$ , *initial  $\overline{GM}$* , sudut oleng pada  $\overline{GM}$  maksimum dan peningkatan *rolling period* yang terjadi.

## KESIMPULAN

1. Nilai parameter stabilitas yang dipengaruhi oleh pergerakan *free surface* adalah lengan penegak (*righting arm*,  $\overline{GZ}$ ), sudut oleng kapal pada saat menghasilkan lengan penegak maksimal ( $\alpha_{\overline{GZ}_{maks}}$ ), *initial  $\overline{GM}$*  dan *rolling period*,
2. Penurunan nilai parameter stabilitas yang dipengaruhi oleh pergerakan *free surface* adalah 10 % untuk  $\overline{GZ}$ , 3,9 % untuk  $\alpha_{\overline{GZ}_{maks}}$ , 10,6 % untuk *initial  $\overline{GM}$* . Adapun untuk *rolling period* mengalami peningkatan sebesar 3,9 %.

## DAFTAR PUSTAKA

- IMO, 1995. Code on Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments. Resolution A.749 (18). International Maritime Organization. 14-28.
- Lee, S.K., S. Surendran dan G. Lee. 2005. Roll Performance of Small Fishing Vessel with Live Fish Tank. *Ocean Engineering* 32 (2005): 1873-1885.
- Novita, Y., B.H. Iskandar, B. Murdiyanto, B. Wiryawan dan Haryanto. 2011. Desain Palka Kapal Pengangkut Ikan Ditinjau dari Aspek Teknis, Mitigasi Risiko dan Ketahanan Hidup Ikan. [Disertasi]. Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB.
- Rouf, A.R.A. dan Y. Novita. 2006. Studi Tentang Bentuk Kasko Kapal Ikan di Beberapa Daerah di Indonesia. *Jurnal Torani*. No. 4, Vol. 16, Desember 2006. Hal: 51-62.