



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISTIK STABILITAS KAPAL ISAP TIMAH PERAIRAN
DANGKAL DI KEPULAUAN BANGKA BELITUNG**

TESIS

MUHAMAD BAQI

1006735712

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JANUARI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISTIK STABILITAS KAPAL ISAP TIMAH PERAIRAN
DANGKAL DI KEPULAUAN BANGKA BELITUNG**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik

MUHAMAD BAQI

1006735712

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

KEKHUSUSAN KONVERSI ENERGI

DEPOK

JANUARI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
Telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Muhamad Baqi

NPM : 1006735712

Tanda Tangan



Tanggal : 19 Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Muhamad Baqi
NPM : 1006735712
Program Studi : Magister Teknik Mesin, Kekhususan Konversi Energi
Judul Skripsi : Karakteristik Stabilitas Kapal Isap Timah Perairan Dangkal di Kepulauan Bangka Belitung

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Kekhususan Konversi Energi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M. Eng ()

Penguji : Ir. Sunaryo, Ph.D ()

Penguji : Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng ()

Penguji : Dr. Ir. Warjito, M.Eng ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 19 Januari 2012

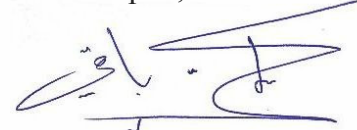
KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, atas berkat rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini tepat waktu. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Program Studi Teknik Mesin-Konversi Energi pada Program Pascasarjana, Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ir. Sunaryo, Ph.D, Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng, Dr. Ir. Warjito selaku dewan penguji dan seluruh Staf Dosen DTM pada program magister teknik mesin yang telah menularkan ilmu dan pengalamannya.
3. Papa dan Mama yang tercinta, Saudara-saudariku : H. A Darwati & istri, Hj. Sri Widiastuti & suami, H. M. Sughlil & istri, Lukman Hakim, S.Kom & istri, Moya Zamzami, dan Muhammad Iqra' atas dukungan moral materil, spiritual dan dengan sabar terus memberikan nasehat sehingga thesis ini dapat terselesaikan.
4. Masturoh, (LP3I), calon istriku tersayang yang selalu sabar dalam menemani dan memberikan semangat baik langsung maupun tidak langsung.
5. Gunawan, rekan seperjuangan dalam penyusunan skripsi ini..
6. Para sahabat, teman dekat dan pihak-pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan di atas. Semoga tesis ini membawa manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 19 Januari 2012



(Muhamad Baqi)

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang beretanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhamad Baqi

NPM : 1006735712

Program Studi : Magister Teknik Mesin, Kekhususan Konversi Energi

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Tesis

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty- Free Rights*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Karakteristik Stabilitas Kapal Isap Timah Perairan Dangkal di Kepulauan Bangka Belitung”

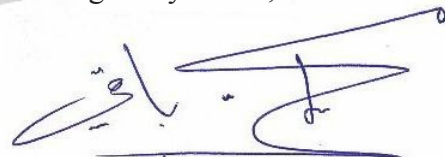
berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 19 Januari 2012

Yang menyatakan,



(Muhamad Baqi)

ABSTRAK

Nama : Muhamad Baqi
Program Studi : Magister Teknik Mesin, Kekhususan Konversi Energi
Judul : Karakteristik Stabilitas Kapal Isap Timah Perairan Dangkal di Kepulauan Bangka Belitung

Kapal isap timah adalah kapal yang dioperasikan untuk masyarakat pertambangan timah di Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia. Dalam penelitian ini, tiga bentuk alternatif yaitu lambung, lingkaran, persegi panjang, dan oval dengan variasi jarak antar lambung (setengah lambung pemisahan, S/L) yaitu 0,14, 0,16, dan 0,18 dianalisis *intact stability* pada gelombang laut. Meskipun di antara bentuk-bentuk yang dianggap memenuhi persyaratan desain, sedikit perbedaan dalam dimensi berat dan utama yang ditemukan dapat dihindari karena karakteristik intrinsik dari bentuk-bentuk yang spesifik. Tujuan dari penelitian ini adalah terkonsentrasi pada efek bentuk lambung dan variasi jarak antar lambung (setengah lambung pemisahan, S/L) melalui penentuan kualitas *Intact Stability* konvensional sebagai standar keselamatan dan kenyamanan untuk operasi kapal di laut. Variasi kondisi pembebanan diperhitungkan untuk menganalisis dampaknya. Model skala alternatif bentuk lambung kapal yang digunakan 1: 4 dalam penelitian ini. Pengujian stabilitas kapal dengan menggunakan tes kemiringan dalam tangki percobaan dengan mengacu pada prosedur ICAS 2004. Perbandingan hasil ditampilkan dalam bentuk grafik yang menggambarkan karakteristik bentuk lambung kapal

Kata kunci:

Intact stability, kapal isap timah mini, katamaran, bentuk lambung

ABSTRACT

Name : Muhamad Baqi
Study Program : Magister Engineering – Conversion Energy
Title : Stability Characteristics of Small Dredger Catamaran for Shallow Water in Bangka Belitung Islands

Small dredger catamaran is a vessel of tin suction is operated for tin mining community in Bangka Belitung Islands, Indonesia. In this paper, three alternative hull form namely, circular, rectangular, and oval with variuos combinations of demi-hulls separations (S/L) i.e. 0,14 , 0,16, and 0,18 have been comparatively analyzed in term of intact stability in beam waves. Although among the hull forms which are considered to comply with design requirements, slight differences in displacement and principle dimensions are found to be inevitable due to the intrinsic characteristics of the spesific forms. The purpose of this study is concentrated on the effect of hull forms and demi-hulls separations (S/L) on determining the quality of conventional intact stability as minimum standard for safety and convenience to operate the ship at sea. Various combinations of loading conditions are taken into account to analyze the effects of them. The scale model ship alternative hull forms are used 1 : 4 in this study. The stability experiment using a inclining test in basin with refers to ICAS 2004 procedure. Comparative results are shown in graphical form illustrating the characteristics of hull forms.

Keywords:

Intact stability, Small Dredger, Catamaran, Hull Forms

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	01
1.2 Perumusan Masalah	07
1.3 Tujuan Penelitian	08
1.4 Manfaat Penelitian	08
1.5 Pembatasan Masalah	08
1.6 Metode Penelitian	08
1.7 Sistematika Penulisan	09
BAB II TINJAUAN LITERATUR	
2.1 Pengertian dan Konsep Geometri Kapal	11
2.2 Stabilitas Kapal	23
2.3 Parameter IMO untuk Stabilitas	34
2.4 Pengujian Kemiringan Kapal (<i>Inclining Test</i>)	35
2.5 Koreksi Stabilitas	36
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Analisa Metode	37
3.2 Komponen dan Peralatan Pendukung Pengujian	37
3.3 Kondisi Saat Pengujian	43
3.4 Prosedur Pengambilan Data	43
3.5 Tahapan Pengujian	44
BAB IV PEMBAHASAN	
4.1 Kriteria IMO untuk Kapal Isap Timah Catamaran	45
4.2 Evaluasi Stabilitas Statis	46

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	.....68
5.2 Saran	.....68

REFERENSI69
-----------	---------



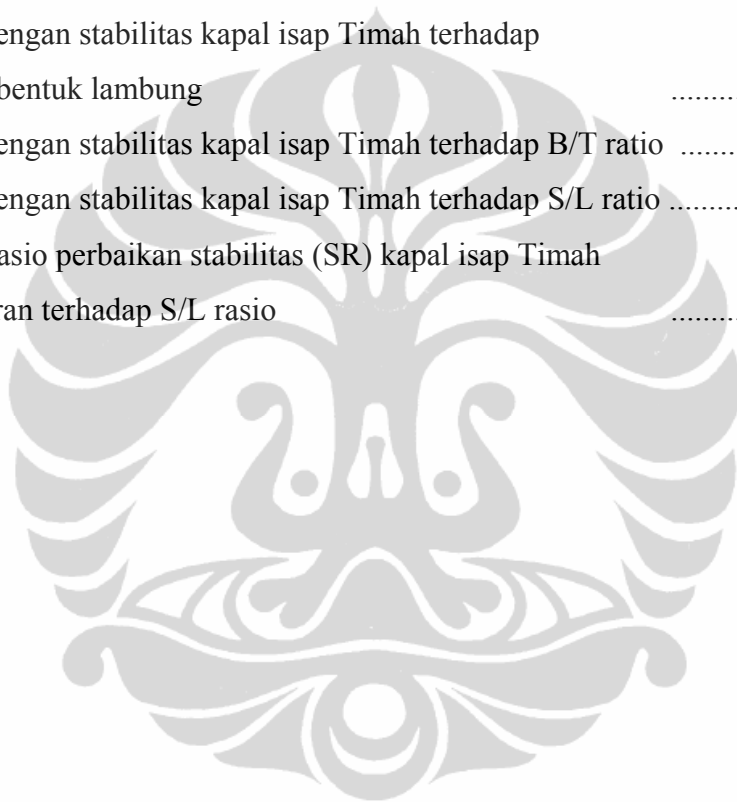
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kegiatan penambangan timah masyarakat di kepulauan bangka belitung	01
Gambar 1.2 Kapal isap timah masyarakat di kepulauan bangka belitung	02
Gambar 1.3 Perbandingan kurva stabilitas catamaran, Monohull, dan weighted log	03
Gambar 1.4 Rancangan kapal isap timah modern masyarakat L = 8 m	04
Gambar 1.5 Uji coba kapal isap timah modern masyarakat L = 8 m	04
Gambar 1.6 Uji coba kapal isap timah modern masyarakat L = 8 m	05
Gambar 1.7 Hasil modifikasi kapal isap L = 10 meter	06
Gambar 1.8. Diagram alir perumusan masalah	07
Gambar 2.1 Bagian Utama dari Kapal (Rawson, 2001)	11
Gambar 2.2 Bidang-bidang pada Kapal (Rawson, 2001)	12
Gambar 2.3 Rencana Garis pada Kapal (Rawson, 2001)	12
Gambar 2.4 Bonjean Curve dan Sectional Area Curve (Rawson, 2001)	13
Gambar 2.5 Titik Pusat Apung (Rawson, 2001) pada pipa bulat	13
Gambar 2.6 Koefisien Blok (Rawson, 2001)	13
Gambar 2.7 Titik Pusat Gravitasi (Rawson, 2001)	14

Gambar 2.8 jenis kapal berdasarkan lambung lebih dari satu (a) catamaran, (b) trimaran, dan (c) pentamaran	15
Gambar 2.9 Pengelompokan kapal berdasarkan garis air yang tercelup	15
Gambar 2.10 Gaya yang bekerja (<i>heeling force</i>) pada catamaran	17
Gambar 2.11 perbandingan rolling pada single, penggunaan keel dan double ponton	18
Gambar 2.12 Pemberian jarak lambung pada ponton	19
Gambar 2.13 Posisi titik pusat apung pada kapal catamaran	19
Gambar 2.14 Jenis-jenis Posisi Kapal (Lewis, 1988)	21
Gambar 2.15 Kurva Hidrostatik (Barrass, 2006)	22
Gambar 2.16 Posisi titik B dan G benda melayang	24
Gambar 2.17 Posisi titik B dan G benda mengapung	25
Gambar 2.18 Faktor-faktor Stabilitas dalam Bidang Melintang (Barras, 2004)	26
Gambar 2.19 Kapal Dalam Posisi <i>Even Keel</i> (Barrass, 2006)	29
Gambar 2.20 Kapal Dalam Posisi <i>Trimming By The Stern</i> (Barrass, 2006)	30
Gambar 2.21 Faktor-faktor Stabilitas dalam Bidang Longitudinal (Barras, 2004)	31
Gambar 2.22 <i>Cross Curve</i> (Barrass, 2006)	32
Gambar 2.23 Kurva Stabilitas Statis (<i>Curve Static Stability</i>) (Barrass, 2006)	33
Gambar 2.24 Diagram Metasentrik (<i>Metacentre Diagram</i>) (Barrass, 2006)	33
Gambar 2.25 Parameter IMO diantara hubungan sudut oleng (<i>heel</i>) dan lengan stabilitas kapal	34
Gambar 3.1 Pengujian eksperimental kemiringan kapal (<i>Inclining Test</i>)	38
Gambar 3.2 Luasan kapal model (1) dan Pengujian kemiringan kapal model dengan lengan pendulum (2)	39
Gambar 3.3 Model kapal isap timah dengan lambung bulat (<i>circular</i>)	40

Gambar 3.4 Model kapal isap timah dengan lambung kotak (rectangular)	41
Gambar 3.5 Model kapal isap timah dengan lambung oval (oval)	41
Gambar 3.6 Variasi jarak lambung tuntutuk ketiga model kapal	41
Gambar 3.7 Contoh data perhitungan hydrostatic curve menggunakan hydromax 12.02	42
Gambar 3.8 Contoh data perhitungan cross curve menggunakan hydromax 12.02	43
Gambar 4.1 Cross curve kapal isap timah catamaran lambung lingkaran dengan $S/L = 0,16$	47
Gambar 4.2 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah lambung lingkaran dengan $S/L = 0,14$	50
Gambar 4.3 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah lambung lingkaran dengan $S/L = 0,16$	50
Gambar 4.4 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah lambung lingkaran dengan $S/L = 0,18$	51
Gambar 4.5 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah lambung lingkaran dengan S/L	52
Gambar 4.6 Cross curve kapal isap timah catamaran lambung kotak dengan $S/L = 0,16$	53
Gambar 4.7 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah lambung kotak dengan $S/L = 0,14$	56
Gambar 4.8 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah lambung kotak dengan $S/L = 0,16$	56
Gambar 4.9 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah lambung kotak dengan $S/L = 0,18$	57
Gambar 4.10 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah lambung kotak dengan S/L	58
Gambar 4.11 Cross curve kapal isap timah catamaran lambung oval dengan $S/L = 0,16$	59

Gambar 4.12 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah lambung oval dengan $S/L = 0,14$	.....62
Gambar 4.13 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah lambung oval dengan $S/L = 0,16$	.....62
Gambar 4.14 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah lambung oval dengan $S/L = 0,18$	.....63
Gambar 4.15 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah lambung kotak dengan S/L	.....64
Gambar 4.16 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah terhadap variasi bentuk lambung	.....65
Gambar 4.17 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah terhadap B/T ratio	.....65
Gambar 4.18 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah terhadap S/L ratio	.....66
Gambar 4.19 Kurva rasio perbaikan stabilitas (SR) kapal isap Timah catamaran terhadap S/L rasio	.....67



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data dimensi kapal permodelan <i>Maxsurf 12.02</i>	40
Tabel 4.1 Persyaratan IMO tentang stabilitas kapal	45
Tabel 4.2 Kondisi pemuatan Kaapal Isap Timah Catamaran	46
Tabel 4.3 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung lingkaran yang didapat dari pengujian kemiringan untuk $S/L = 0,14$	47
Tabel 4.4 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung lingkaran yang didapat dari pengujian kemiringan untuk $S/L = 0,16$	48
Tabel 4.5 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung lingkaran yang didapat dari pengujian kemiringan untuk $S/L = 0,18$	49
Tabel 4.6 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung kotak yang didapat dari pengujian kemiringan untuk $S/L = 0,14$	53
Tabel 4.7 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung kotak yang didapat dari pengujian kemiringan untuk $S/L = 0,16$	54
Tabel 4.8 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung kotak yang didapat dari pengujian kemiringan untuk $S/L = 0,18$	55
Tabel 4.9 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung oval yang didapat dari pengujian kemiringan untuk $S/L = 0,14$	59

Tabel 4.10 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung oval
yang didapat dari pengujian kemiringan untuk $S/L = 0,16$60

Tabel 4.11 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung oval
yang didapat dari pengujian kemiringan untuk $S/L = 0,18$61



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG PERMASALAHAN

Timah merupakan sumber daya alam utama yang dimiliki oleh Kepulauan Bangka Belitung. Kandungan biji timah di kepulauan tersebut merupakan salah satu yang terbesar di Indonesia. Oleh sebab itu, Pemerintah Bangka Belitung telah mengeluarkan peraturan tentang penambangan timah di Kepulauan Bangka Belitung diantaranya Peraturan Daerah Kabupaten Bangka No. 6 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Pertambangan Umum dan Peraturan Daerah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung No. 3 Tahun 2004 Tentang Pengelolaan Usaha Pertambangan Umum. Peraturan tersebut mengizinkan penambangan timah khususnya bagi masyarakat umum baik penambangan timah di darat maupun di laut.

Penambangan timah di daerah perairan Bangka Belitung tidak hanya dilakukan oleh perusahaan, tetapi juga oleh kelompok masyarakat. Kelompok masyarakat tersebut membentuk kelompok kecil kemudian melakukan usaha penambangan timah dengan peralatan sederhana seperti pada gambar 1.1.



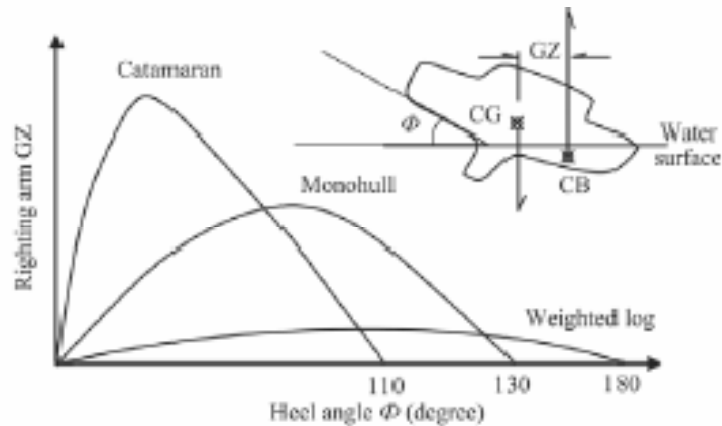
Gambar 1.1 Kegiatan penambangan timah masyarakat di Kepulauan Bangka Belitung

Kegiatan penambangan timah oleh masyarakat dilakukan dengan menggunakan kapal isap timah yang dibuat dengan biaya pembangunan dan operasi yang relatif kecil. Kapal hisap merupakan sarana penambangan masyarakat yang sedang dikembangkan. Kapal hisap yang dibuat oleh masyarakat dibuat menggunakan rangkaian sederhana dengan menyusun drum minyak secara seri pada sisi kiri dan sisi kanan menyerupai bentuk tipe kapal catamaran.



Gambar 1.2 Kapal isap timah masyarakat di Kepulauan Bangka Belitung

Kapal Isap Timah lambung catamaran adalah salah satu jenis kapal yang memiliki lambung lebih dari satu (multi hull) yang terikat menjadi satu. Multi hull terdiri dari berbagai jenis dan memiliki keuntungan, yaitu area operasional deck yang luas, menghasilkan wave making yang kecil, daya angkut yang lebih besar dan stabilitas yang baik serta memiliki garis air (*draft*) yang kecil sehingga cocok diterapkan pada perairan dangkal (penambangan di daerah pantai) bila dibandingkan dengan kapal lambung satu (*monohull*) (Victor Dubrovsky et al, 2005). Catamaran dengan konfigurasi dua lambung sangat cocok bila digunakan sebagai Kapal isap timah lambung catamaran. Ali Sheikhpour Ghasseminia (2008) memperlihatkan hubungan stabilitas kapal pada grafik perbandingan catamaran dan monohull.

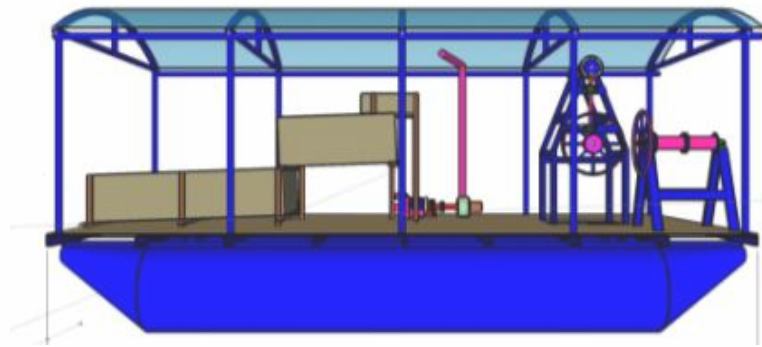


Gambar 1.3 Perbandingan kurva stabilitas catamaran, monohull, dan weighted log [2]

Kapal isap tersebut memiliki beberapa kendala diantaranya olah gerak kapal selama beroperasi karena menggunakan rangkaian drum, beroperasi dengan penyelaman yang menyebabkan banyak terjadinya kecelakaan, beroperasi kurang dari 3 tahun. Selain itu berdampak buruk terhadap pencemaran lingkungan.

Sebuah perusahaan di Kepulauan Bangka Belitung bekerja sama dengan sebuah perguruan tinggi telah membuat coba kapal isap modern dengan ukuran panjang kapal $L = 8$ m dengan mempertimbangkan kekurangan dari kapal tradisional. Konstruksi pengelasan yang dilengkapi dengan alat penghisap, mesin diesel 24 HP sebagai penggerak untuk menggerakkan dua unit pompa isap dan *jig* dan *steering winch* sebagai alat pemisah timah. Konstruksi dasar dari kapal isap timah ini terdiri dari 2 (dua) unit ponton baja dengan ukuran $\varnothing 800 \times 8000$ mm. Adapun struktur utama dari kapal isap timah ini seperti yang ditunjukkan oleh gambar 1.4 adalah :

1. Sistem ponton dan konstruksi pengerukan
2. Sistem pengisapan
3. Sistem pompa isap
4. Sistem pemakanan
5. Sistem penggerak



Gambar 1.4. Rancangan kapal isap timah modern masyarakat L = 8 m

Hasil pengujian kapal isap modern tersebut dalam pengoperasiannya ternyata memiliki kendala yaitu kestabilan kapal yang buruk dengan mengalami kemiringan (*trim*) samping (*port side*) dan buritan (*after peak*) seperti pada gambar 1.5 dan 1.6. Stabilitas kapal adalah kemampuan kapal yang mengapung untuk kembali ke posisi semula. Gaya gravitasi dan bouyancy merupakan gaya vertikal yang bekerja pada setiap objek yang mengapung ^[1]



Gambar 1.5. Uji coba kapal isap timah modern masyarakat L = 8 meter

Keadaan tersebut sangat berpengaruh terhadap operasi kapal. Para awak sangat terganggu mengeluhkan dengan adanya kemiringan tersebut. Mereka sangat tidak nyaman bahkan takut untuk mengoperasikannya secara kontinyu. Hal ini menyebabkan bahwa kapal sewaktu-waktu dapat terbalik dan

membahayakan para penambang sehingga berdampak pada keselamatan dan kenyamanan awak kapal selama beroperasi. Disamping itu, jika kapal terbalik dipastikan minyak yang terdapat dalam motor diesel (genset) akan tumpah sehingga akan mencemari perairan tempat mereka bekerja



Gambar 1.6. Uji coba kapal isap timah modern masyarakat L = 8 meter

IMO, *International Maritime Organization* telah mengatur persyaratan stabilitas dalam pembangunan kapal yang sesuai standar keselamatan dan kenyamanan beroperasi di laut. Kriteria stabilitas adalah persyaratan utama untuk beberapa jenis kapal untuk pelayaran kapal dalam negeri yang diatur dalam IMO, *International Maritime Organization (2002)*. The code on intact stability. Desain kapal yang optimal agar mempunyai stabilitas kapal yang baik dan memenuhi standar IMO sangat diperlukan oleh masyarakat penambang timah sehingga nyaman dan aman sebagai alat penghisap timah di perairan Bangka – Belitung.

Dalam merancang kapal khususnya dalam perbaikan stabilitas kapal, digunakan beberapa metode pendekatan, yaitu :

1. Menganalisis kapal hisap mini yang ada berdasarkan faktor kestabilan yang mengacu kepada analisis hidrostatis dan hidrodinamik kapal.
2. Beberapa analisa alternatif untuk memodifikasi kapal hisap timah mini :

- Memodifikasi perubahan rasio dimensi ukuran utama, L/B, L/T, displacement/B, dll.
- Memodifikasi perubahan letak titik berat, letak titik bouyancy, dan penempatan balast tetap (water balast) berdasarkan pertimbangan tercapainya displacement dan muatan kapal
- Memodifikasi bentuk lambung kapal dan titik berat kapal pada lebar badan kapal yang tetap
- Memodifikasi jarak dengan melebarkan lambung kapal sehingga didapatkan lengan stabilitas (GZ) yang baik

Pendekatan pertamadirancang dengan menggunakan metode spiral sesuai dengan kaidah perancangan kapal pada umumnya. Sedangkan pendekatan kedua diutamakan pada perbaikan atau optimalisasi. **Firly Rosa (2010)** telah mengoptimalkan kapal isap timah menggunakan pendekatan metode kedua yaitu : memodifikasi perubahan rasio dan perubahan letak titik berat. Hasil modifikasi terhadap perubahan rasio $\varnothing 800 \times 8000$ mm menjadi $\varnothing 800 \times 10.000$ mm dapat meningkatkan stabilitas kapal sesuai standar IMO.



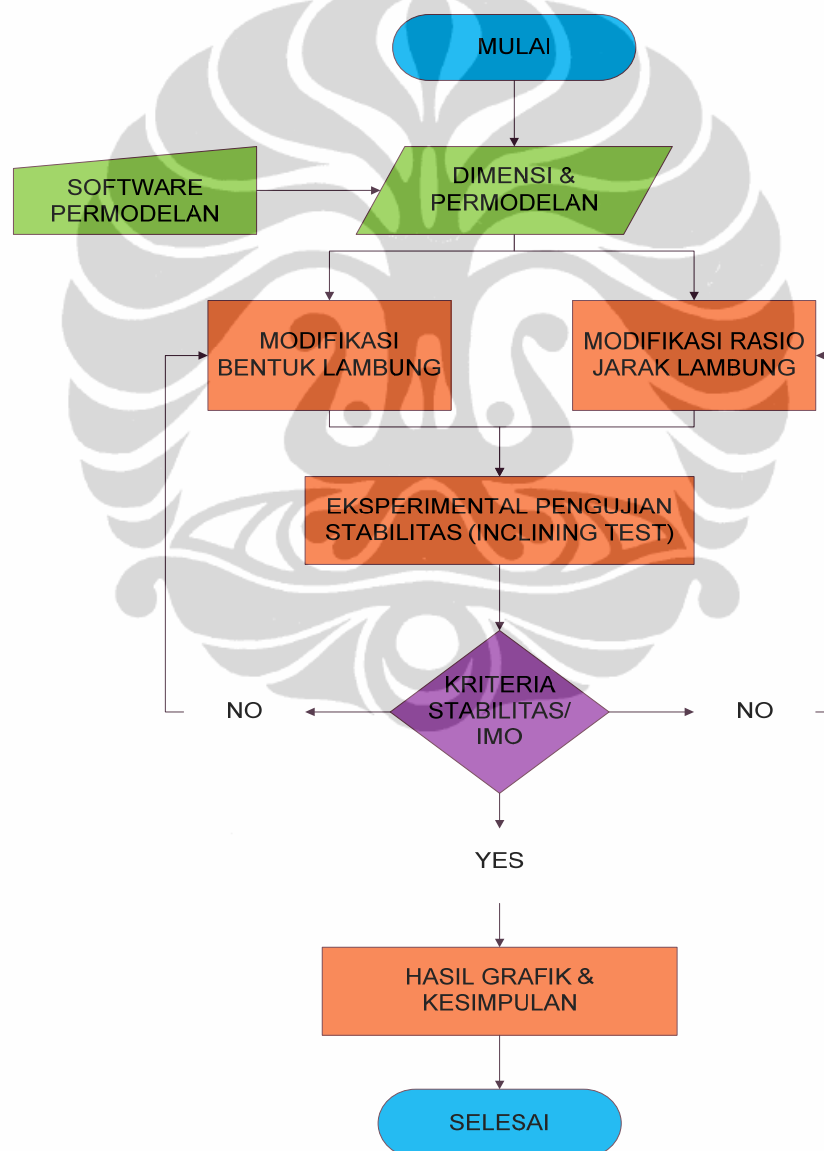
Gambar 1.7. Hasil modifikasi kapal isap L = 10 meter

Pendekatan metode perbaikan stabilitas masih perlu dikaji terhadap perbaikan desain yang mungkin dapat dilakukan dengan biaya yang minimum dan sesuai standar IMO. Untuk itu, metode pendekatan lain akan dianalisa dalam penelitian ini seperti memodifikasi bentuk dan jarak lambung guna meningkatkan performa stabilitas kapal isap timah. Konfigurasi bentuk

lambung (*form factor*) pada catamaran dengan bentuk simetris dan asimetris dapat mempengaruhi karakteristik stabilitas kapal. *Viscous form factor* ($1+\beta k$) pada lambung catamaran memiliki fenomena yang lebih kompleks yang disebabkan oleh adanya pengaruh interferensi dan interaksi diantara dua lambung kapal catamaran (A.F Molland 2004).

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Perumusan masalah yang dilakukan dalam penelitian ini mengikuti diagram alir dibawah ini :



Gambar 1.8. Diagram alir perumusan masalah

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini menganalisa bentuk lambung dan variasi jarak melintang antar lambung (S/L) terhadap peningkatan stabilitas kapal isap timah lambung catamaran sesuai dengan standar IMO tentang keselamatan dan kenyamanan operasi kapal di laut.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat penelitian ini memastikan peningkatan yang mungkin dilakukan dalam perbaikan stabilitas kapal isap timah untuk kelangsungan dan menjadi pertimbangan ke depan dalam pembuatan kapal isap timah lambung catamaran inidi masa depan.

1.5 PEMBATASAN MASALAH

Penelitian ini hanya bertujuan untuk menganalisis hasil perbaikan stabilitas kapal dengan modifikasi bentuk dan jarak lambung pada kapal isap timah lambung catamaran.

1.6 METODE PENELITIAN

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis melakukan beberapa metode, yaitu:

1. Konsultasi dengan dosen pembimbing

Tujuan daripada konsultasi dengan dosen pembimbing untuk merumuskan tema yang akan dibahas dalam thesis ini serta alat uji yang harus dibuat untuk mendukung penelitian dan memperoleh informasi mengenai dasar teori yang digunakan dalam pengolahan data yang akan dilakukan serta hasil yang hendak diperoleh dari penelitian tersebut.

2. Membuat alat uji di laboratorium

Membuat alat uji laboratorium sesuai dengan rancangan awal yang telah dikonsultasikan dengan dosen pembimbing serta mengenai bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini.

3. Pengumpulan data

Data-data yang diperoleh dari penelitian ini selanjutnya dibandingkan dengan dasar teori yang telah dijelaskan oleh dosen pembimbing, data-data

dan keterangan didapat dari studi percobaan (data percobaan), studi literature (dari sumber-sumber yang berhubungan dengan penelitian) serta melakukan diskusi dengan dosen pembimbing.

4. Pengolahan data

Data mentah dari penelitian kemudian dimasukkan ke dalam persamaan-persamaan yang terdapat pada dasar teori sehingga didapatkan data yang dibutuhkan yang kemudian digunakan untuk melakukan analisis dan proses selanjutnya.

5. Analisis data

Data-data dari pengolahan digunakan untuk menganalisa bentuk lambung dan variasi jarak melintang antar lambung (S/L) terhadap peningkatan stabilitas kapal isap timah lambung catamarandiharapkan dengan modifikasi tersebut dapat sesuai dengan standar IMO tentang keselamatan dan kenyamanan operasi kapal di laut sehingga menjadi pertimbangan ke depan dalam pembuatan kapal isap timah lambung catamaran ini.

1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan tugas akhir ini meliputi beberapa bab, yaitu:

BAB I : Bab ini membahas mengenai latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, metode penelitian, batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini, metode penulisan dalam hal ini bagaimana penulis mendapatkan informasi mengenai penelitian ini serta sistematika penulisan.

BAB II : Bab ini menjelaskan tentang landasan teori, jenis lambung kapal, karakteristik stabilitas kapal, dan persamaan umum yang digunakan dalam stabilitas kapal.

BAB III : Bab ini menjelaskan tentang rancangan alat uji, peralatan-peralatan pendukung dalam pengujian, kondisi dalam pengujian serta prosedur pengujian dan pengambilan data.

BAB IV : Bab ini menjelaskan tentang pengolahan data, menampilkan data penelitian, grafik yang didapat dari pengujian, hasil dari pengujian serta analisis dari hasil penelitian.

BAB V : Bab ini merupakan bab penutup, pada bab ini diberikan kesimpulan serta saran seandainya penelitian ini akan dilanjutkan suatu saat sehingga memperoleh hasil yang lebih akurat.

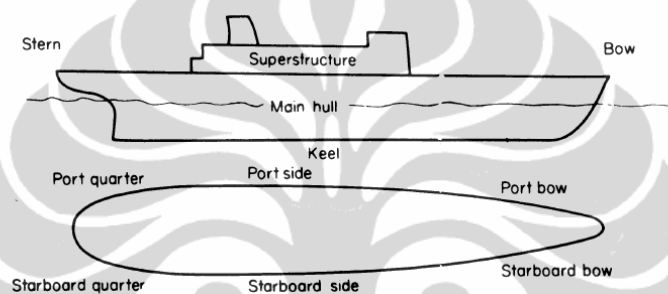


BAB II

TINJAUAN LITERATUR

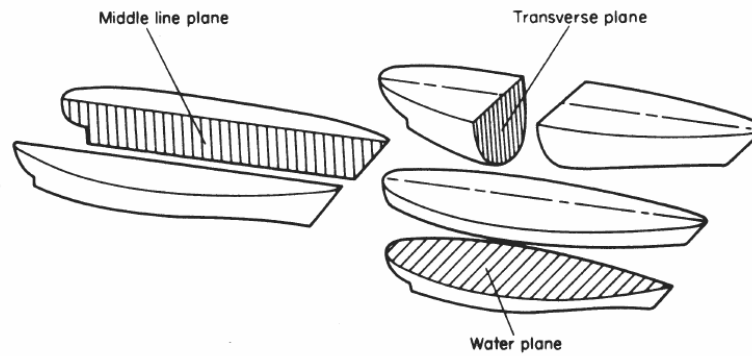
2.1 PENGERTIAN DAN KONSEP GEOMETRI KAPAL

Kapal (*ship*) adalah kendaraan pengangkut penumpang di laut, pada semua daerah yang mempunyai perairan tertentu (Sofi'i, 2008). Bagian utama dari beberapa kapal dengan bagian-bagian yang penting dapat dilihat pada gambar 2.1



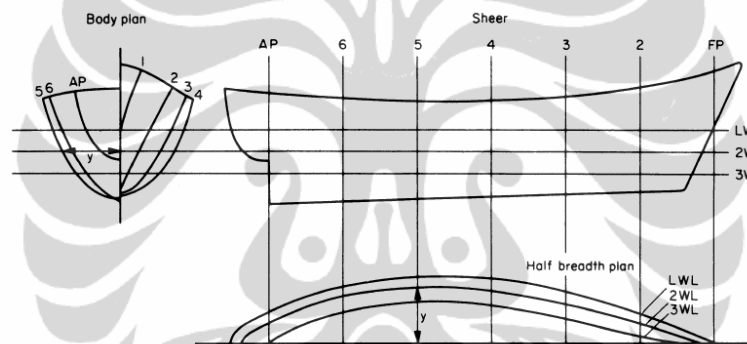
Gambar 2.1 Bagian Utama dari Kapal (Rawson, 2001)

Kebanyakan kapal hanya memiliki satu bidang simetri, yang disebut dengan garis bidang tengah (*middle line plane*) yang merupakan bidang prinsip referensi (*principle plane of reference*). Bagian kapal yang terpotong oleh bidang ini disebut sebagai *sheer plane*. Bidang yang tegak lurus terhadap garis bidang tengah disebut dengan rancangan bidang air (*design waterplane*). Bidang yang tegak lurus terhadap garis bidang tengah dan rancangan bidang air disebut dengan bidang melintang (*transverse plane*) dan potongan-potongan dari bidang melintang umumnya simetri terhadap garis tengah (*middle line*). Bidang yang membentuk sudut ke kanan terhadap garis bidang tengah dan sejajar dengan rancangan bidang air disebut dengan bidang air (*waterplanes*), walaupun berada atau tidak dalam air, umumnya simetri terhadap garis tengah. Bidang air tidak harus sejajar dengan dasar kapal (*keel*). Bidang-bidang tersebut dapat dilihat pada gambar 2.2.



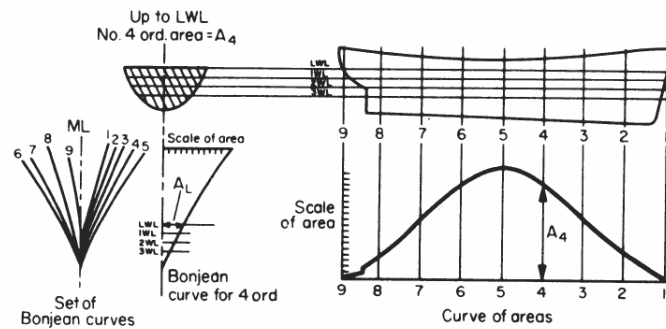
Gambar 2.2 Bidang-bidang pada Kapal (Rawson, 2001)

Dalam pembuatan kapal, perlu dilakukan pembuatan bentuk lambung kapal yang digambarkan dengan garis-garis menurut tiga bidang referensi seperti terlihat pada gambar 2.3.



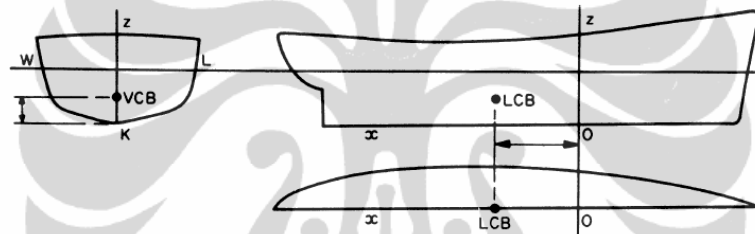
Gambar 2.3 Rencana Garis pada Kapal (Rawson, 2001)

Dari rencana garis pada kapal dan luas bidang pada kapal maka akan terbentuk kurva bonjean dan kurva *sectional area* yang menunjukkan luas penampang melintang kapal pada posisi-posisi dengan interval tertentu sepanjang arah memanjang kapal seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.4.



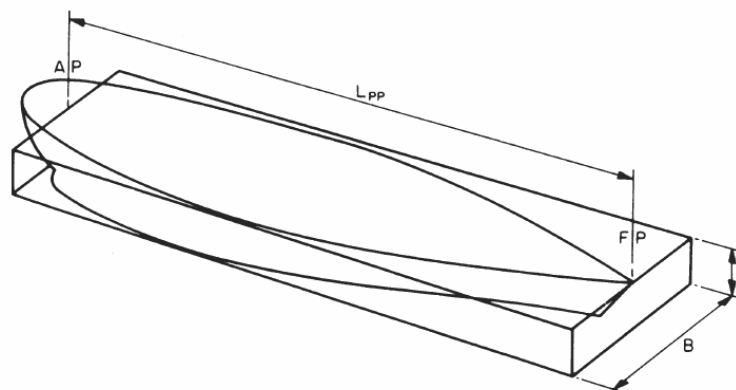
Gambar 2.4 Bonjean Curve dan Sectional Area Curve (Rawson, 2001)

Dari luas bidang kapal pada kurva *sectional area* akan didapatkan titik pusat apung pada arah melintang maupun arah memanjang seperti yang terlihat pada gambar 2.5



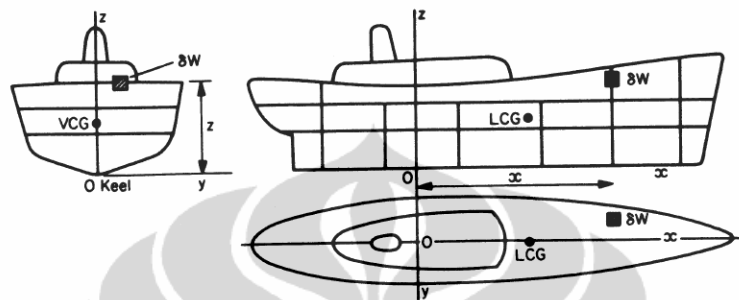
Gambar 2.5 Titik Pusat Apung (Rawson, 2001)

Dengan mengetahui luas bidang kapal, maka akan didapatkan perbandingan antara volume air yang dipindahkan dengan volume bagian kapal tenggelam yang disebut dengan koefisien blok (*block coefficient*) seperti pada gambar 2.6 dengan nilai C_b adalah 0.36 – 0.92 (Lewis, 1988).



Gambar 2.6 Koefisien Blok (Rawson, 2001)

Kestabilan kapal tergantung kepada titik pusat gravitasi akibat berat kapal tersebut yang terdiri dari titik pusat gravitasi melintang (*transversal center of gravity*), titik pusat gravitasi memanjang (*longitudinal center of gravity*) dan titik pusat gravitasi vertikal (*vertical center of gravity*) yang diukur dari dasar kapal seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Titik Pusat Gravitasi (Rawson, 2001)

2.1.1 Konsep Dasar Lambung Ganda (*Multi Hull*)

Kapal dengan konfigurasi multihull adalah kapal yang mempunyai lebih dari satu badan kapal (*hull*) dihubungkan dengan lebar kapal (*beams/ struts*). Desain dan nama multihull berasal dari orang Polynesian, yang telah membangun kapal layar multihull lebih dari 4000 tahun yang lalu. Walaupun orang Inggris, William Dampier yang telah melakukan perjalanan bisnis mengelilingi dunia pada tahun 1690s. Beliau menemukan jenis kapal dari perairan tenggara India. Seperti pada kapal yang mempunyai lambung dua lambung (*catamaran*), lambung tiga (*trimaran*), lambung lima (*pentamaran*).



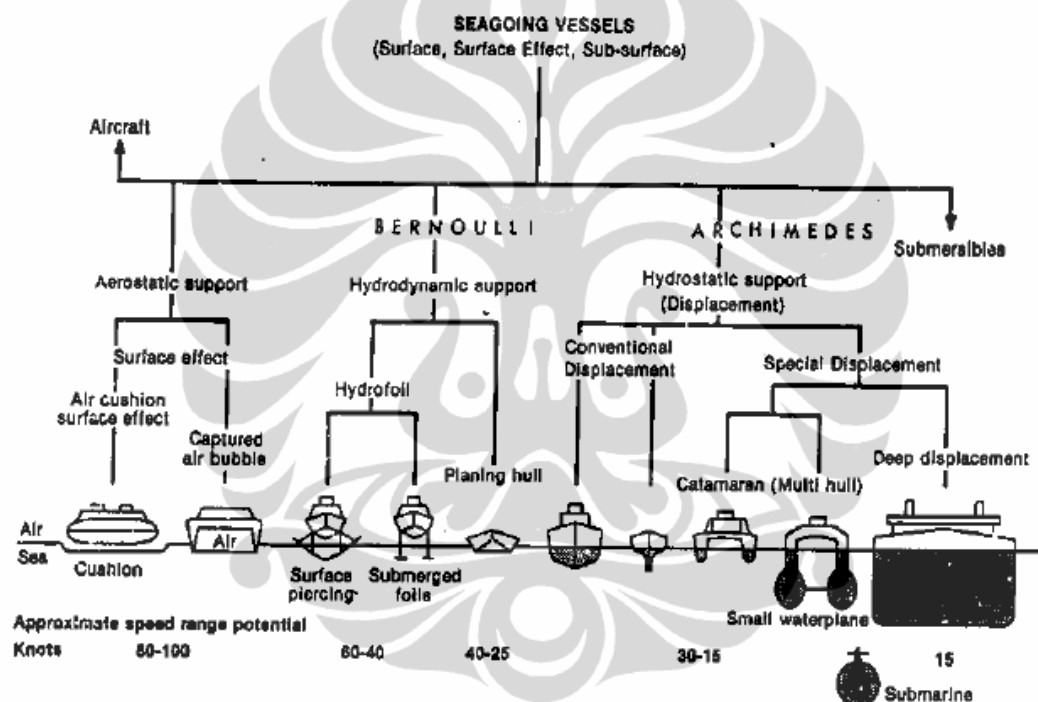
(a)

(b)



(c)

Gambar 2.8 jenis kapal berdasarkan lambung lebih dari satu (a) catamaran, (b) trimaran, dan (c) pentamaran



Gambar 2.9 Pengelompokan kapal berdasarkan garis air yang tercelup

2.1.2 Keuntungan dan Kekurangan Multihull

Meskipun kemungkinan untuk catamaran dan trimaran untuk terbalik, jarang sekali dibandingkan dengan satu lambung (*monohull*) karena hambatan lebih besar untuk bergulir. Kebanyakan desain monohull dianggap hampir tidak dapat tenggelam bahkan ketika diisi dengan air, gaya apung monohull secara lateral cukup untuk menjaga seluruh bagian kapal mengapung. Oleh karena stabilitas dan keamanan kapal

dengan multihull telah menjadi sangat populer dikalangan pelaut untuk mobilitas pada perairan terbatas.

Kecepatan yang lebih besar dibandingkan dengan monohull menjadi sangat penting untuk keamanan ketika berada di daerah cuaca buruk/berbahaya karena kapal dengan multihull bisa meninggalkan area tersebut lebih cepat. Garis air untuk rasio lebar yang besar, memungkinkan lambung yang tipis dapat melalui air pada kecepatan yang lebih tinggi karena masing-masing lambung bekerja secara independen.

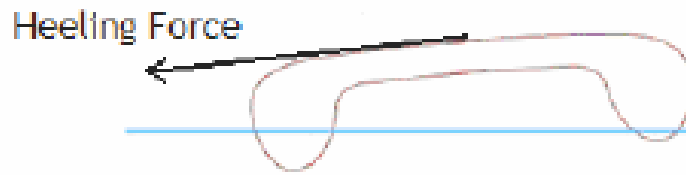
Melihat dari sisi kekurangan, kapal dengan multihull ketika terbalik (*capsizes*) lebih cenderung tipe posisi angguk (*pitch*) – pole dibanding gulir (*rolling*) untuk satu sisi dalam kaitannya dari sisi stabilitas dan kecepatan (*speed*). Catamaran/ trimaran lebih sulit untuk mengubah posisi tegak dan terbalik bila dibandingkan dengan monohull. Secara ekonomis, lebar kapal multihull sering kali menjadi masalah, terutama ketika docking akan lebih mahal bila dibandingkan dengan monohull dengan panjang kapal yang sama.

(a) Performa

Melihat performa kapal multi hull, daya jelajah (*cruising range*) lebih cepat dan kemungkinan crew kapal mengalami kelelahan dalam perjalanan. Terutama dapat lebih cepat menghindari badai dan daerah berbahaya.

(b) Stabilitas

Kapal harus dapat bertahan dari gelombang dan angin yang dapat melempar kapal dari posisi semula. Kapal harus stabil dalam menghadapi berbagai macam kondisi dari yang baik sampai yang menakutkan, yaitu kombinasi hidrodinamika dan aerodinamika, dan semua gaya yang mengganggu keseimbangan, kapal harus cukup kuat untuk kembali pada posisi semula. Kapal dengan multihull dapat meminimalkan gaya-gaya tersebut sehingga akan cukup stabil bila dibandingkan dengan monohull. Stabilitas merupakan syarat penting badi kapal.

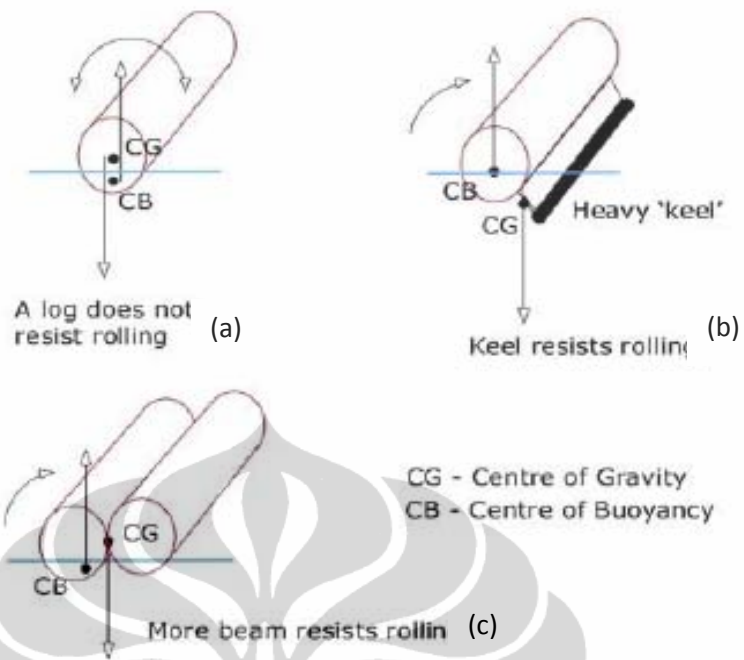


Gambar 2.10 Gaya yang bekerja (*heeling force*) pada catamaran

Stabilitas statis adalah pengukuran yang sangat berguna bagaimana kapal akan berperilaku dan perform tetapi sering diabaikan efek penting dari kapal dan pergerakan air, hanya mengungkapkan bagian dari kelayakan umum kapal. Untuk mendapatkan gambaran lebih tentang kelayakan juga memerlukan pengertian tentang stabilitas dinamika.

-Zero power to carrying anything (*static stability*)

Ilustrasi digambarkan pada ponton yang mengapung seperti gambar 2.11 (a). Jika seseorang tanpa keahlian yang luar biasa dan keseimbangan dengan berdiri diatas ponton, ponton akan ceat tergulir kedalam air sebelum mereka mengambil keuntungan dari stabilitas ponton tersebut. Lain halnya dengan double ponton seperti pada gambar 2.11 (c), meskipun ponton ditambahkan orang tersebut masih memiliki daya apung yang cukup. Sistem ini adalah *statically unstable*.



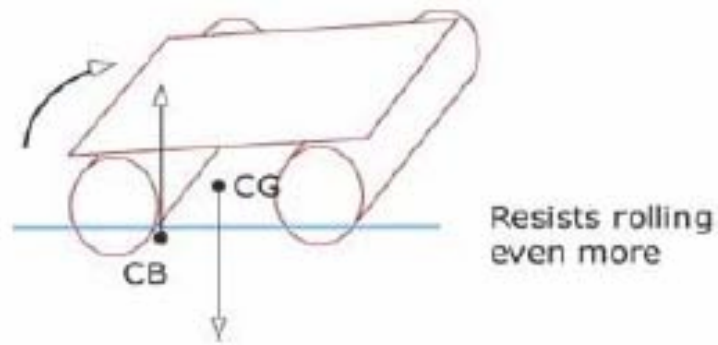
Gambar 2.11 perbandingan rolling pada single, penggunaan keel dan double ponton

-Peningkatan stabilitas statik dengan penambahan keel

Jika kita memberikan pelat datar dan berat dibagian bawah ponton seperti pada gambar 2.11 (b), kita tidak hanya mampu berdiri tetapi juga membawa muatan. Pemberian keel akan memberikan gaya pemulih yang lebih baik sehingga dapat meningkatkan stabilitas ponton. Penambahan keel selalu dilakukan pada tipe kapal layar.

-Peningkatan stabilitas statik dengan peningkatan lebar kapal

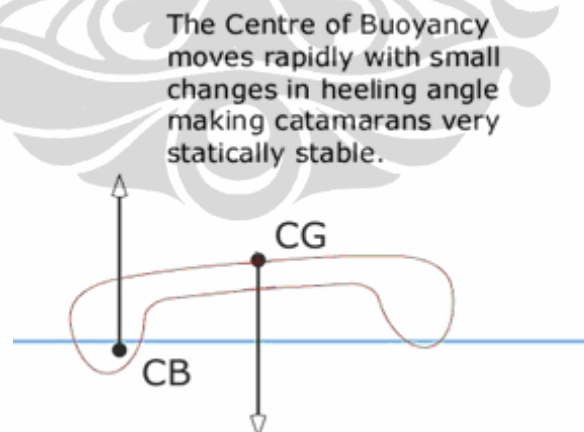
Metode lain untuk meningkatkan stabilitas ponton dengan jarak lambung seperti gambar 2.12. Selama titik pusat bouyancy bergerak diluar garis vertikal dari titik pusat gravitasi, kita akan mendapatkan keuntungan dari stabilisasi gay yang bekerja.



Gambar 2.12 Pemberian jarak lambung pada ponton

Pada kapal catamaran, titik pusat gaya apung secara dramatis bergerak cepat dan sangat ekstrim. Hal ini menunjukkan kepada kita stabilitas yang tak terbatas selama kita terus meningkatkan jarak lambung.

Seperti pada kasus monohull, ada batas-batas secara praktis jika kita ingin mempertahankan kelayakan yang baik. Namun, dengan multihull, kita memiliki potensi lebih untuk mengeksploitasi stabilitas karena daya apungnya sendiri dan tetap mempertahankan kelayakan yang sangat baik.



Gambar 2.13 Posisi titik pusat apung pada kapal catamaran

(c) Kenyamanan pada multihull (*comfort in multihulls*)

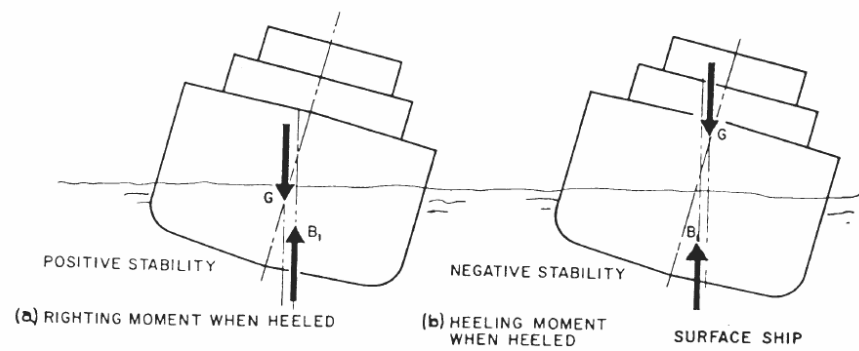
Meskipun tujuan awalnya kapal multihull untuk mengeksploitasi kecepatannya, 50 tahun terakhir ini pengembangan multihull telah

membuktikan bahwa multihull memiliki manfaat dalam kenyamanan untuk kondisi cuaca yang berbeda-beda.

2.1.3 Keseimbangan Kapal

Benda yang mengapung dinyatakan seimbang kalau titik berat/pusat gravitasi (G) dan titik tekannya/titik pusat apung (B) berada pada satu garis yang tegak lurus dengan permukaan air (Sofi'i, 2008). Perhitungan benda apung dalam keadaan setimbang dengan mengasumsikan beberapa gaya atau momen yang menyebabkan perubahan pada posisi benda. 3 (tiga) situasi dapat terjadi pada saat gaya atau momen berhenti beraksi (Biran, 2003), yaitu

1. Benda kembali ke posisi awal, sebab gaya apung keatas dan gaya berat benda (kapal) merupakan Koppel yang menyebabkan benda tersebut akan kembali berdiri tegak lagi yang disebut dengan kondisi kesetimbangan stabil atau disebut dengan stabilitas positif (*positive stability*) yang ditunjukkan pada gambar 2.14(a).
2. Posisi benda berubah-ubah secara terus menerus. Kesetimbangan ini disebut dengan kondisi tidak stabil yang berarti benda dalam keadaan terbalik atau disebut dengan stabilitas negatif (*negatif stability*) yang ditunjukkan pada gambar 2.14(b).
3. Benda masih dalam posisi berubah sampai dengan gangguan kecil yang menyebabkan perubahan kembali ke posisi awal atau melanjut berpindah dari posisi awal. Hal ini disebabkan garis gaya apung dan garis gaya berat benda tidak membentuk momen koppel karena terletak berimpit (momen koppel = 0). Kondisi ini disebut kesetimbangan netral.

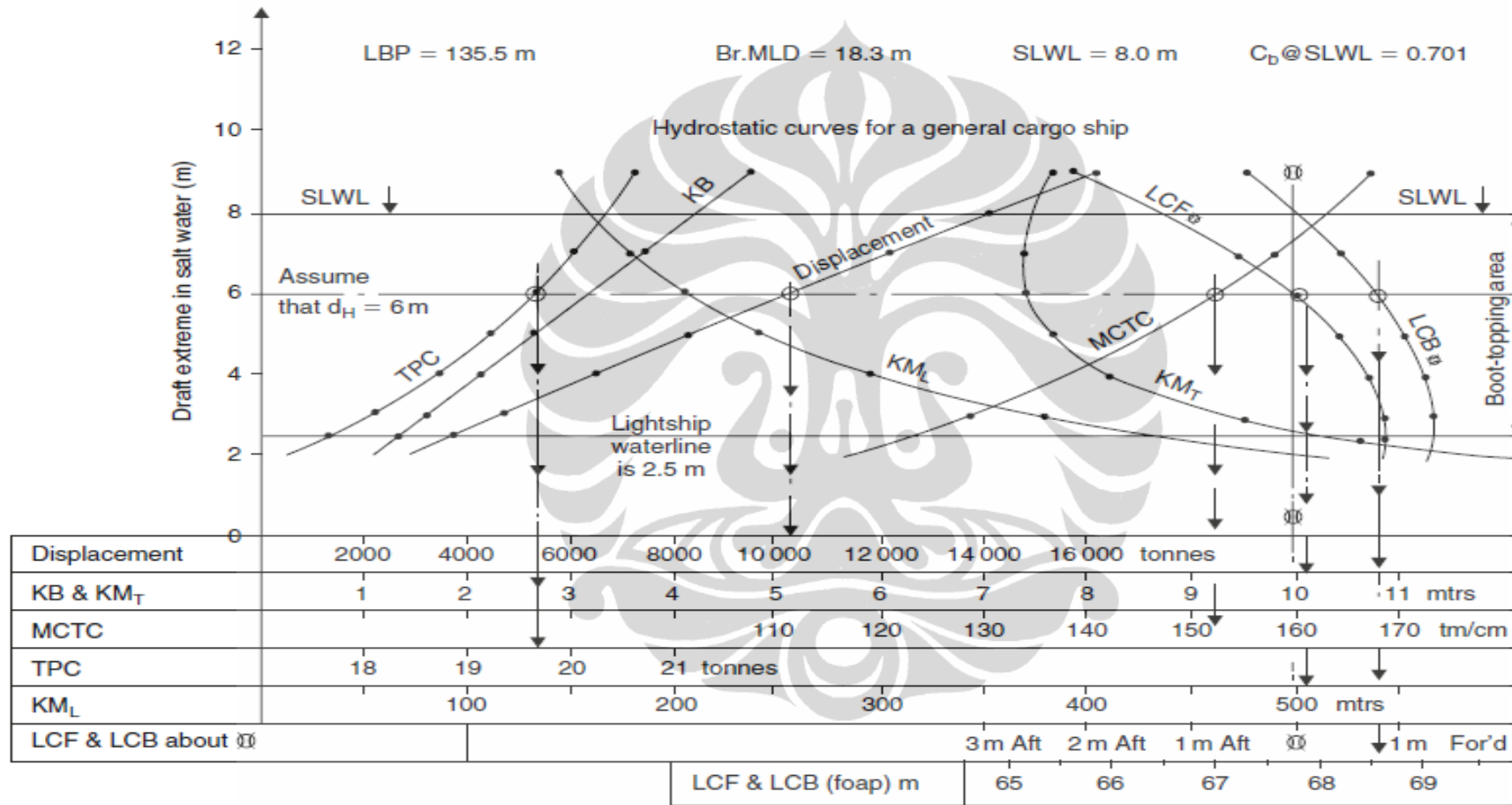


Gambar 2.14 Jenis-jenis Posisi Kapal (Lewis, 1988)

2.1.4 Data Hidrostatik

Perhitungan hidrostatik kapal isap timah yang terdiri dari dua lambung dilakukan dengan perhitungan model katamaran (*catamaran*). Dalam perhitungan hidrostatik akan didapatkan nilai-nilai berikut ini:

- KB
- KM
- LCB
- LCF
- Displacement (Δ)
- TPC
- KML
- KMT
- MCT



Gambar 2.15 Kurva Hidrostatik (Barrass, 2006)

2.2 STABILITAS KAPAL

2.2.1 Definisi Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal dapat dibagi menjadi 2 (Samosir, 1997), yaitu:

1. Stabilitas statis (*statical stability*), berlaku untuk kapal yang diam dan mengalami kemiringan sampai sudut tertentu yang ditentukan oleh besarnya momen pengembali. Stabilitas statis terdiri dari:
 - a. Stabilitas awal (*initial stability*), tinjauan dilakukan terhadap stabilitas berdasarkan pada titik metasentrik (dinotasikan dengan M) terhadap titik pusat gravitasi (dinotasikan dengan G) dan juga jarak antara titik pusat gravitasi dengan titik metasentrik (yang dinotasikan dengan GM). Tinjauan ini berlaku untuk sudut inklinasi yang kecil, dimana titik metasentrik diasumsikan tetap
 - b. Stabilitas lanjut (*large stability*), tinjauan dilakukan dengan sudut kemiringan yang besar, di mana posisi titik M tidak tetap, dan yang menentukan stabilitas kapal adalah besar lengan momen pengembali (*righting arm*) GZ.
2. Stabilitas dinamis (*dynamic stability*), stabilitas yang ditunjukkan oleh besarnya kerja atau penambahan energi potensial yang ditimbulkan oleh gerakan naik turun pada momen pengembali selama proses terjadinya kemiringan pada sudut tertentu.

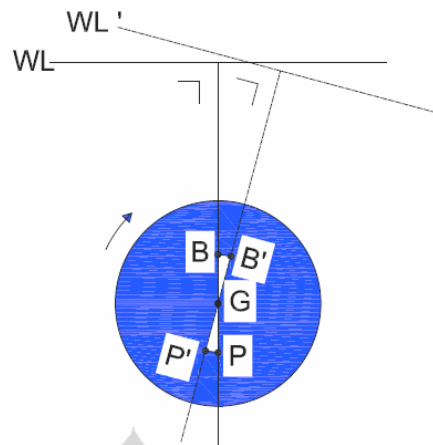
Analisa stabilitas pada penelitian ini hanya menggunakan stabilitas statis.

2.2.2 Macam – Macam Keseimbangan

Secara umum berberapa macam keseimbangan benda adalah :

2.2.2.1 Keseimbangan Benda Melayang

Menurut **I Gusti made santoso (1982)**, dalam *teori bangunan kapal jilid II* 1982, sebagai berikut :



Gambar 2.16 Posisi titik B dan G benda melayang

Keterangan :

- WL : garis air (waterline)
- WL' : garis air setelah miring
- B : titik pusat apung benda (bouyancy)
- G : titik pusat gravitasi (gravity)
- P : gaya tekan ke atas

❖ Titik B diatas G

Kondisi ini disebut stabil karena terjadi momen kopel antara titik tekan ke atas dan titik tekan ke bawah.

❖ Titik B dan titik G berada dalam satu titik

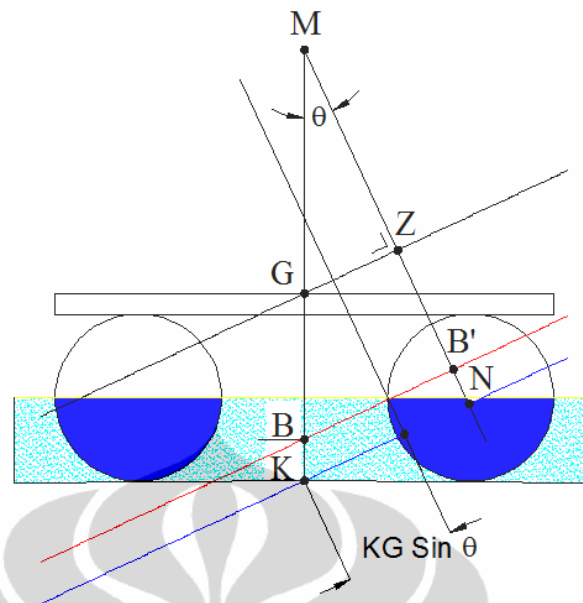
Kondisi ini disebut indeferen karena titik tekan ke atas dan ke bawah dalam satu titik sehingga tidak terjadi momen kopel.

❖ Titik B berada di bawah titik G

Kondisi ini labil karena momen kopel yang terjadi semakin memperbesar kemiringan kapal.

2.2.2.2 Keseimbangan Benda Melayang

Menurut **V. Semyonov-Tyan-Shansky**, dalam “teory of Bouyancy, stability and lauching sebagai berikut :



Gambar 2.17 Posisi titik B dan G benda mengapung

- WL : garis air (waterline)
- WL' : garis air setelah miring
- B : titik pusat apung benda (bouyancy)
- G : titik pusat gravitasi (gravity)
- G' atau Z : titik pusat gravitasi setelah miring (gravity)
- M : titik metacentra kapal

❖ Titik M berada di atas titik G dan titik B

Pusat daya apung (titik B) terletak di bawah titik berat (titik G) tetapi ketika kapal dimiringkan maka titik berat akan bergeser sejauh jarak metacentra (titik M) terletak di atas titik berat (titik G) dan couple yang dibentuk oleh gaya berat dan gaya ke atas akan mengembalikan kapal ke arah posisi tegak sehingga kapal stabil. Posisi dari titik M, G, dan B seperti ini banyak ditemui.

❖ Titik M berada di bawah titik G dan titik B dibawah titik G

Pusat a=dari daya apung (B) terletak di bawah titik berat (G). Ketika kapal dimiringkan maka B berpindah sesuai jarak titik M yang berada dibawah titik berat (G) sehingga couple yang dibentuk oleh gaya berat dan gaya keatas

memutar kapal ke arah dari kemiringan tersebut, dalam kondisi ini kapal tidak stabil.

- ❖ Titik M berada dititik G dan titik B di bawah titik G

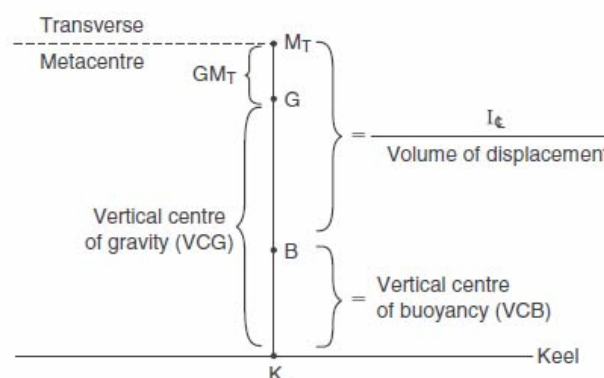
Diposisi awal lusat dari daya apung (B) terletak di bawah titik berat (G). Ketika kapal dimiringkan maka pusat metacentra (M) sam dengan titik berat (G) sehingga momen terjadi adalah nol dan kapal akan mengapung dikedudukan tetap miring. Kondisi tersebut maka kapal bisa dikatakan tidak stabil.

2.2.3 Stabilitas Awal

2.2.3.1 Stabilitas Melintang (*Transverse Stability*)

Kapal dikatakan dalam keadaan stabil jika mengalami kemiringan, akan cenderung kembali ke posisi awal (Barras, 2006). Hal ini menghasilkan titik pusat gravitasi harus berada di bawah titik metasentrik, untuk itu kapal harus mempunyai tinggi titik metasentrik bernilai positif ($GM > 0$), di mana umumnya nilai standar $GM > 0.15 \text{ m}$ (Schneekluth, 1998).

Untuk stabilitas bidang melintang, metasentrik melintang (dinotasikan dengan M_T) adalah titik pertemuan garis vertikal yang melalui titik pusat apung pada bidang melintang. Jarak vertikal antara titik pusat gravitasi dengan metasentrik bidang melintang disebut dengan tinggi metasentrik bidang transversal (dinotasikan dengan GM_T) yang dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Faktor-faktor Stabilitas dalam Bidang Melintang (Barras, 2004)

Tinggi metasentrik bidang melintang di atas titik pusat apung (dinotasikan dengan \overline{BM}) dihitung berdasarkan persamaan (Barrass, 2006), (Lewis, 1988):

$$\overline{BM} = \frac{I}{\nabla} \quad (2.1)$$

dimana:

I = momen inersia bidang air di titik pusat apung

∇ = volume bagian benda yang dipindahkan

Untuk kapal dengan model katamaran, maka perhitungan momen kedua berdasarkan persamaan momen inersia luas bidang air terhadap garis tengah kapal:

$$I_{\tau} = I_x + Ah^2 \quad (2.2)$$

dimana:

I_x = momen inersia luas bidang air terhadap garis tengah labung

A = luas masing-masing lambung

h = jarak antara titik pusat lambung

Sedangkan jarak antara dasar kapal dengan titik pusat apung (dinotasikan dengan \overline{KB}) menggunakan persamaan:

$$\overline{KB} = \frac{1}{3} \times \left(\frac{5T}{2} - \frac{\nabla}{A_w} \right) \quad (2.3)$$

Untuk menghitung jarak antara dasar kapal dengan titik metasentrik bidang melintang (dinotasikan dengan \overline{KM}) dengan menggunakan persamaan:

$$\overline{KM} = \overline{KB} + \overline{BM} \quad (2.4)$$

Untuk menghitung jarak antara titik pusat gravitasi dengan titik metasentrik bidang melintang (dinotasikan dengan \overline{GM}) dengan menggunakan persamaan:

$$\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG} \quad (2.5)$$

Pada saat kondisi miring maka persamaan menjadi :

$$MG \sin \theta = MK \sin \theta - KG \sin \theta \quad (2.6)$$

$$GZ = KN - KG \sin \theta \quad (2.7)$$

dimana:

\overline{KG} = jarak antara dasar kapal dengan titik pusat gravitasi (z_G)

$$KN = KM_T \sin \theta \quad (2.8)$$

$$GZ = MG \sin \theta \quad (2.9)$$

Berdasarkan IMO bagian Instruments Resolution A.749 (18) Amended by MSC.75 (69) *International Maritime Organization*, maka nilai GM minimum yang diijinkan sebesar 150 mm.

2.2.3.2 Stabilitas Membujur (*Longitudinal Stability*)

Trim dalam unit derajat merupakan perbedaan ketinggian sarat bagian haluan kapal dan buritan kapal. Ada 3 (tiga) jenis *trim*, yaitu:

1. *Trim* dengan sudut 0° yang disebut dengan kapal posisi dalam *even keel* seperti yang terlihat pada gambar 2.19.
2. Tinggi sarat bagian haluan kapal lebih tinggi dibandingkan dengan tinggi *sarat* bagian buritan yang disebut dengan kemiringan oleh haluan kapal (*trimming by the bow*).

3. Tinggi *draft* bagian haluan kapal lebih rendah dibandingkan dengan tinggi *draft* bagian buritan yang disebut dengan kemiringan oleh buritan kapal (*trimming by the stern*) yang dapat dilihat pada gambar 2.20.

Metasentrik bidang longitudinal (dinotasikan dengan M_L) adalah titik pertemuan antara garis vertikal yang melalui posisi titik pusat apung pada bidang longitudinal. Jarak vertikal antara titik pusat gravitasi dengan metasentrik bidang longitudinal disebut dengan tinggi metasentrik bidang longitudinal (dinotasikan dengan \overline{GM}_L) yang dapat dilihat pada gambar 2.21.

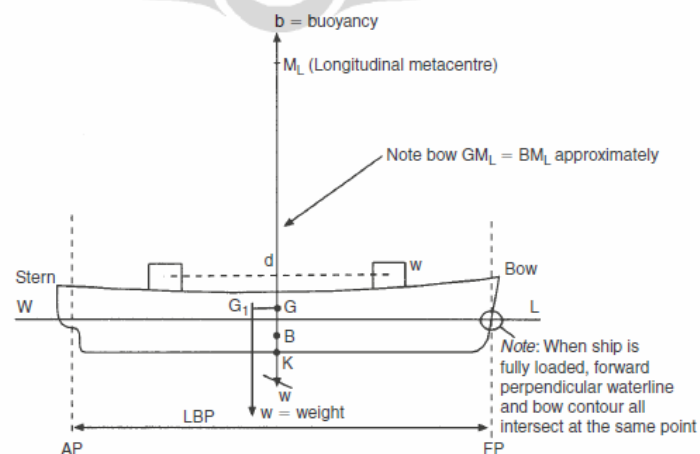
Tinggi metasentrik bidang longitudinal di atas titik pusat apung (dinotasikan dengan \overline{BM}_L) dihitung berdasarkan persamaan (Barrass, 2006), (Lewis, 1988):

$$\overline{BM}_L = \frac{I_L}{\nabla} \quad (2.10)$$

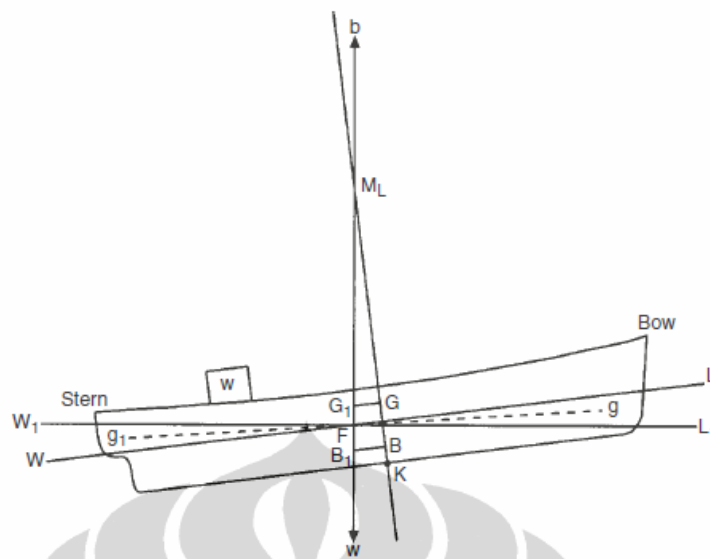
dimana:

I_L = momen kedua bidang air longitudinal di titik pusat apung

∇ = volume bagian benda yang dipindahkan



Gambar 2.19 Kapal dalam Posisi *Even Keel* (Barrass, 2006)



Gambar 2.20 Kapal dalam Posisi *Trimming By The Stern*
(Barrass, 2006)

Untuk bidang air yang berbentuk persegi panjang, maka perhitungan momen kedua berdasarkan persamaan:

$$I_L = \frac{B_o L^3}{12} \quad (2.11)$$

dimana:

B_o = lebar total bidang air

Untuk menghitung jarak antara dasar kapal dengan titik metasentrik bidang longitudinal (dinotasikan dengan \overline{KM}_L) dengan menggunakan persamaan:

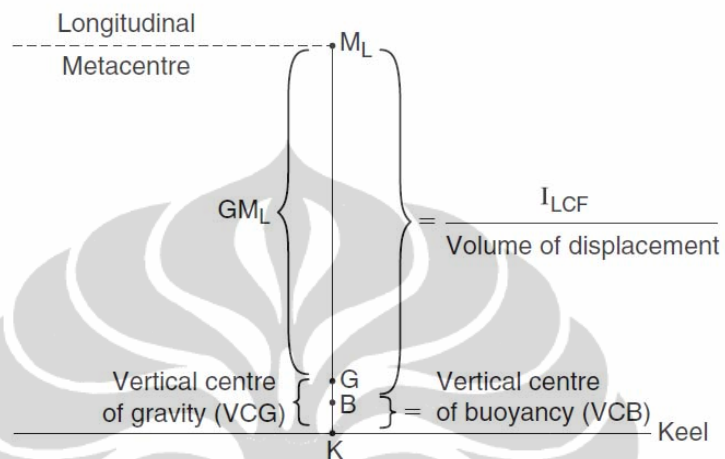
$$\overline{KM}_L = \overline{KB} + \overline{BM}_L \quad (2.12)$$

Untuk menghitung jarak antara titik pusat gravitasi dengan titik metasentrik bidang longitudinal (dinotasikan dengan \overline{GM}_L) dengan menggunakan persamaan:

$$\overline{GM}_L = \overline{KM}_L - \overline{KG} \quad (2.13)$$

dimana:

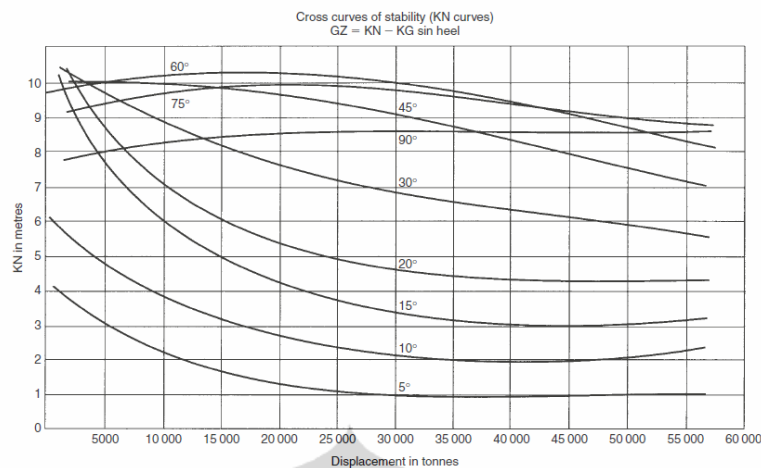
\overline{KG} = jarak antara dasar kapal dengan titik pusat gravitasi (z_G)



Gambar 2.21 Faktor-faktor Stabilitas dalam Bidang Longitudinal (Barras, 2004)

2.2.4 Stabilitas Lanjut (*Large Angle Stability*)

Stabilitas lanjut digunakan untuk mendapatkan besaran nilai momen pengembali yang kemudian dibandingkan dengan standar karakteristik stabilitas IMO dengan posisi seperti pada gambar 2.17. Stabilitas lanjut didapatkan dari nilai GM terhadap variasi sudut kemiringan melintang (*heel*) seperti kurva yang dapat dilihat pada gambar 2.22.

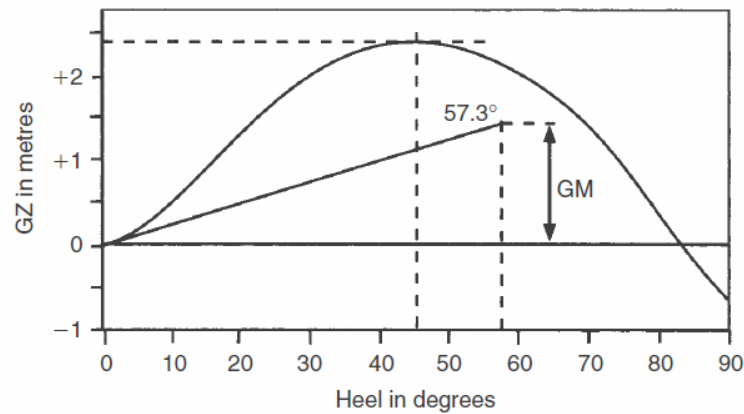


Gambar 2.22 *Cross Curve* (Barrass, 2006)

Dari *cross curve* didapatkan bahwa semakin banyak massa yang dipindahkan maka nilai GZ akan semakin turun. Namun semakin tinggi sudut kemiringan kapal arah melintang (*heel*) maka nilai GZ akan semakin turun. Berdasarkan IMO bagian Instruments Resolution A.749(18) Amended by MSC.75(69) (International Maritime Organization), sudut kemiringan kapal arah melintang adalah $30^\circ - 40^\circ$ dengan nilai GZ minimum sebesar 200 mm.

Nilai lengan momen pengembali (GZ) didapatkan dari nilai GM yang diinginkan dikalikan dengan kemiringan kapal arah melintang (*heel*) seperti pada gambar 2.23 dengan persamaan 2.5 – 2.9.

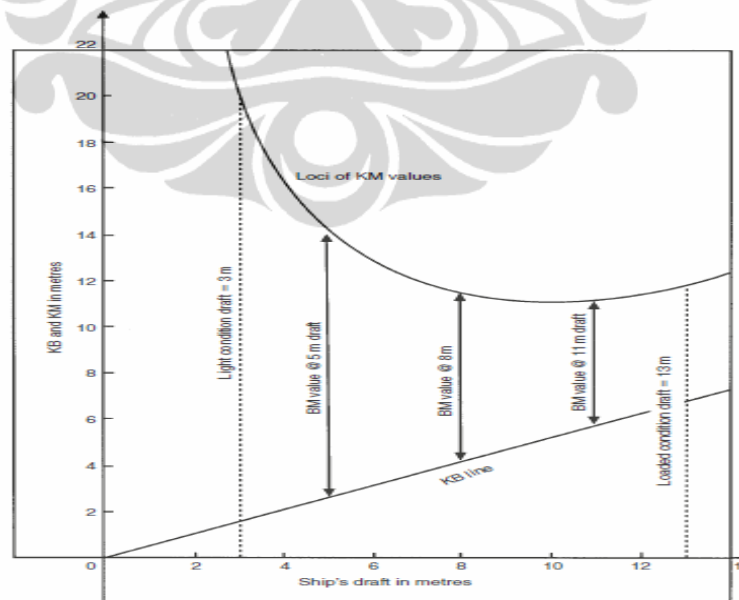
Diagram perbandingan antara GZ dengan variasi sudut kemiringan kapal melintang pada gambar 2.23 akan menunjukkan nilai maksimum sudut kemiringan kapal yang akan menyebabkan kapal kembali ke posisi semula



Gambar 2,23 Kurva Stabilitas Statis (*Curve Static Stability*) (Barrass, 2006)

2.2.5 Diagram Metasentrik

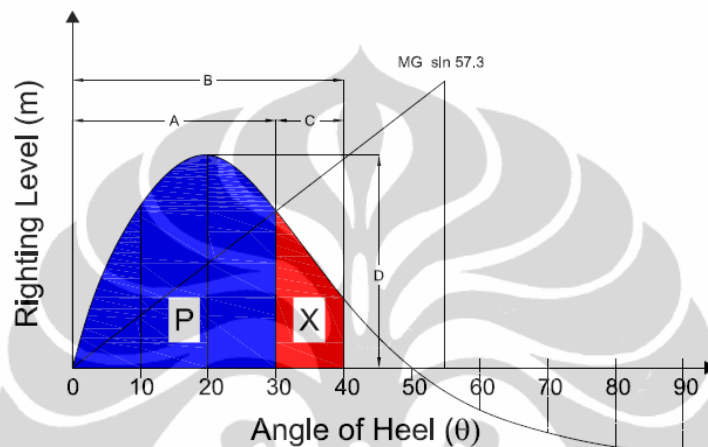
Diagram metasentrik digunakan untuk mendapatkan besar GM yang dibandingkan dengan tinggi sarat. Dari diagram pada gambar 2.24 didapatkan bahwa makin tinggi sarat maka nilai GM akan semakin rendah, semakin tinggi sarat maka tinggi titik pusat apung akan semakin tinggi dan akan menurunkan jarak BM.



Gambar 2.24 Diagram Metasentrik (*Metacentre Diagram*) (Barrass, 2006)

2.3 PARAMETER IMO UNTUK STABILITAS

Untuk menjamin keselamatan dan keamanan operasi kapal di laut. Lembaga internasional seperti IMO, *International Maritiem Organization* dalam *Instruments Resolution A.749 (18) Amended by MSC.75 (69) static stability*, mengatur tentang minimum kriteria untuk semua kapal khususnya untuk monohull melalui hubungan lengan stabilitas, *GZ (righting level)* dengan sudut kemiringan kapal (*angle of heel*) sebagai berikut :



Gambar 2.25 Parameter IMO diantara hubungan sudut oleng (heel) dan lengan stabilitas kapal

Keterangan gambar :

- A atau P = luasan di bawah kurva stabilitas statis pada sudut sampai 30° tidak boleh kurang dari 0,055 meter-radians
- B = luasan di bawah kurva stabilitas statis pada sudut sampai 40° tidak boleh kurang dari 0,09 meter-radians
- C atau x = luasan di bawah kurva stabilitas statis antara sudut 30° sampai 40° tidak boleh kurang dari 0,03 meter-radians
- D = Tinggi metacentra awal, nilai $GM \geq 0,15$ meter
- $GZ @ 30^\circ$ = tinggi lengan stabilitas $GZ = GM \sin 30^\circ > 0,2$ meter
- $GZ \max$ = untuk monohull, maksimum harga GZ harus terjadi pada sudut lebih dari 30° tetapi tidak boleh kurang dari 25° sedangkan untuk multihull seperti catamaran diatur oleh " multihull craft, HSC 2.1.3.4 of the code" dimana $GZ \max \geq 10^\circ$.

2.4 PENGUJIAN KEMIRINGAN KAPAL (*INCLINING TEST*)

Pada kapal bangunan baru maupun kapala bukan bangunan baru yang mengalami modifikasi besar, tes kemiringan mutlak perlu dilaksanakan. Prosedur tes ini diatur dalam “Procedure of Inclining Test” oleh ICAS 2004. Tes tersebut digunakan untuk menentukan nilai titik berat (VCG atau KG) baik secara melintang maupun memanjang. Uji coba di laboratorium tentang inclining test juga didasari prosedur tersebut. (akan dibahas pada BAB III). Pengujian stabilitas dengan menggunakan model di towing tank mengikuti persamaan :

$$GM = \frac{P \times i}{\tan \theta \times \Delta} \quad (2.14)$$

Dimana ;

P = Beban muatan (kg)

i = Jarak muatan ke tengah kapal, midship (m)

Δ = berat atau displacement kapal (kg)

Tan θ = sudut kemiringan bandul pengujian bandul

Pengujian dengan bandul yang diletakan di tengah kapal mengikuti persamaan berikut :

$$\tan \theta = \frac{x}{l} \quad (2.15)$$

Dimana;

x = jarak defleksi kemiringan bandul pada kapal (m)

l = panjang tiang bandul (m)

Perhitungan mengenai nilai yang akan diambil dalam hydrostatic curve dan cross curve seperti KN dilakukan dengan perbandingan non dimensi

$$L_1 = L_2 x_3 \sqrt{\frac{\Delta_1}{\Delta_2}} \quad (2.16)$$

Dimana ;

L_1 = Panjang dimensi kapal model [m]

- L_2 = Panjang dimensi kapal [m]
 Δ_1 = Displacement kapal model [kg]
 Δ_2 = Displacement kapal model [kg]

2.5 KOREKSI STABILITAS

Perhitungan tentang stabilitas dilakukan dengan menggunakan persamaan yang telah disebutkan di atas. Dalam penelitian ini, penggunaan nilai GZ menjadi parameter utama dalam pemenuhan kriteria IMO. Penggunaan modifikasi akan dinilai seberapa besar nilai peningkatan perubahan GZ lengan stabilitas kapal dengan menggunakan persamaan :

$$SR(\%) = \left| \frac{GZ - GZ_o}{GZ_o} \right| \times 100\% \quad (2.17)$$

Gz_o = lengan stabilitas sebelum dimodifikasi (meter)

GZ = lengan stabilitas setelah dimodifikasi (meter)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 ANALISA METODE

Dalam mendesain kapal isap timah model catamaran baik bangunan baru atau pun modifikasi selalu menjadi tantangan besar karena ada begitu banyak parameter yang terlibat dalam sebagian besar waktu serta berada dalam konflik satu sama lain. **De Kat dan Pauling (1989)** menyatakan bahwa aspek hidrodinamika dan hidrostatik pada desain baru merupakan hal yang penting karena secara langsung berkaitan dengan persyaratan operasional dan misi kapal. Dalam memenuhi aspek tersebut, beberapa pengujian dilakukan untuk memenuhi standar keamanan dalam beroperasi. **Bucher (1980)** memberikan contoh telah menginvestigasi pengaruh bentuk lambung pada stabilitas melintang kapal (*transverse stability of ship*). **M.Taylan (2001)** telah menganalisa alternatif bentuk lambung, yaitu round bottom dan deep V pada kapal perang (corvette) terhadap performa stabilitas melalui intact, damage stability, dan performa roling pada beam waves. Oleh karena itu, untuk dapat menganalisa performa stabilitas pada kapal isap timah catamaran akan dilakukan pengujian dan menganalisa alternatif bentuk dan jarak lambung terhadap analisa stabilitas secara statis. Pengujian dilakukan di tangki percobaan dengan menggunakan kapal model skala 1 : 4 dengan $L = 2500$ mm , $B = 600$ mm, dan $T = 100$ mm.

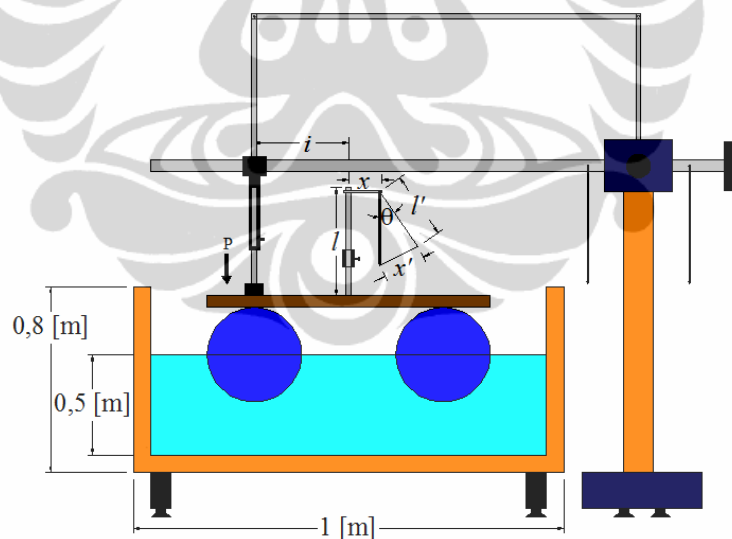
3.2 KOMPONEN DAN PERALATAN PENDUKUNG PENGUJIAN

Komponen pengujian pada penelitian ini terdiri dari pengujian kemiringan dan gulir kapal (Inclining and Roliing Test) serta menggunakan permodelan bentuk lambung dengan menggunakan program package seperti *Maxsurf 12.02*. Pengujian kemiringan digunakan untuk menentukan titik berat kapal (KG) dan pengujian rolling digunakan untuk mengetahui respon kapal terhadap rolling natural kapal. Data karakteristik kapal dalam beberapa kurva, yaitu hidrostatic curve dan cross curve didapatkan dari berbagai perhitungan

dan metode dalam ilmu perancangan, *Naval Architecture* yang terdapat dalam program package tersebut.

3.2.1 Pengujian Kemiringan (inclining Test) dan Gulir (Rolling)

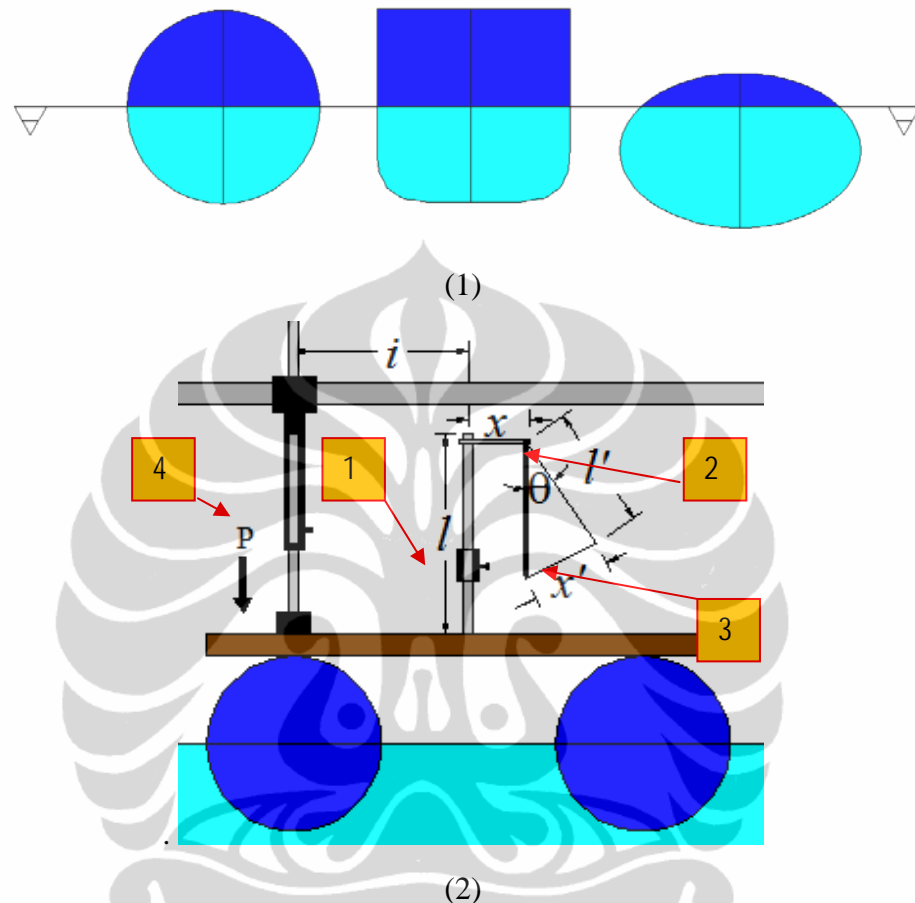
- **Scheltema De Heere**, "*Bouyancy and Stability of Ships*" dimana pengujian kemiringan bertujuan untuk menentukan nilai titik berat (KG) baik secara melintang (VCG) maupun memanjang (LCG). Juga **SNAME (1989)**, "*Principles of Naval Architecture*", dimana pengujian kemiringan mengandung arti bahwa kemiringan kapal pada sudut yang kecil oleh pergerakan berat yang diketahui setelah diletakan. Tegak lurus pada titik centerline plane kapal yang diukur melalui jarak, kemudian membiarkan kapal untuk settle sampai momen pengembali atau heeling moment mengembalikan ke posisi awal kapal. Pengujian dilakukan dengan menggunakan standar pengujian kemiringan (inclining test) yang mengikuti prosedur ICAS 2004 dalam "*Procedure of Inclining Test*".



Gambar 3.1 Pengujian eksperimental kemiringan kapal (Inclining Test)

Pengujian eksperimental terlihat pada gambar 3.2 dimana kapal model dengan skala 1 : 4, panjang $l = 2500$ mm, lebar $B_{\text{overall}} = 600$ mm, tinggi sarat air disesuaikan dengan luasan kedalaman air yang tercelup. Untuk

bentuk lingkaran $T = 100 \text{ mm}$, bentuk kotak dan oval $T = \pm 98,3 \text{ mm}$. Kapal model ditempatkan dalam tangki percobaan dengan $L = 4000 \text{ mm}$, $B = 1000 \text{ mm}$, $H = 800 \text{ mm}$ dengan kedalaman air $T = 500 \text{ mm}$



Gambar 3.2 Luasan kapal model (1) dan Pengujian kemiringan kapal model dengan lengan pendulum (2)

Gambar 3.2 pada kapal model dipasang lengan sejenis batang (1) dengan panjang $l = 520 \text{ mm}$ (1) dan lengan (2) $x = 44 \text{ mm}$ yang dilengkapi dengan pendulum (3) sejenis bandul dan diberikan beban dengan pembeban (4) $P = 0,2 \text{ kg}$ pada jarak $i = 200 \text{ mm}$ dimana kapal model tercelup sesuai dengan draft pada saat pemuatan pada kapal.

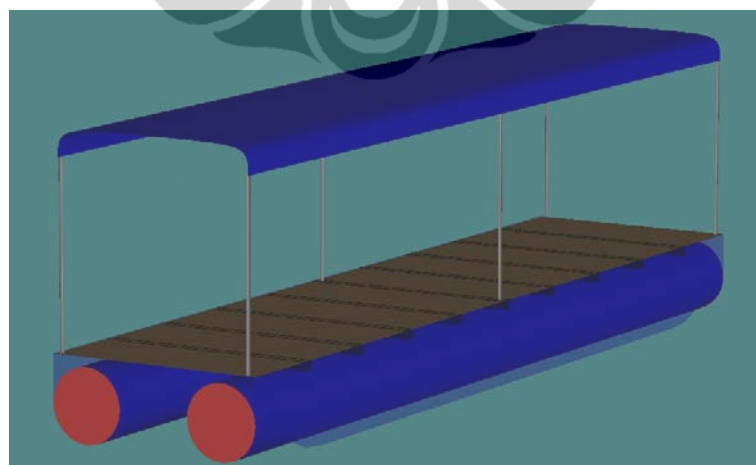
3.2.1 Permodelan geometris 3D kapal dengan program *Maxsurf 12.02*

Permodelan geometris 3D dilakukan untuk dapat memudahkan analisa mengenai karakteristik kapal. Pembuatan model dengan data dimensi

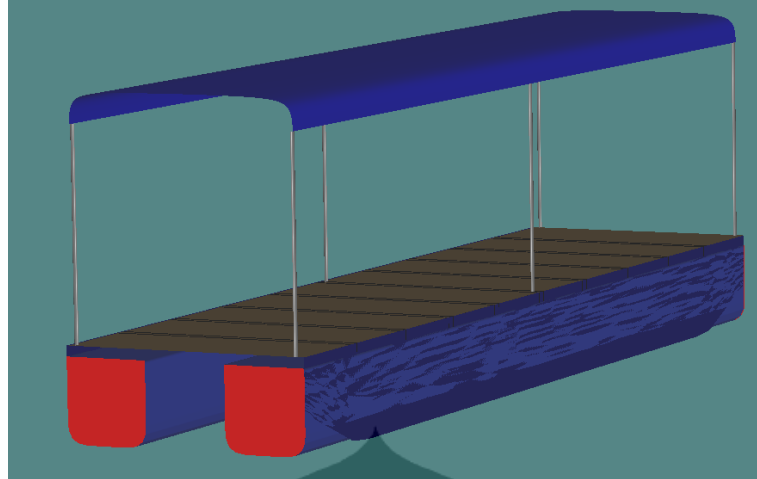
yang diketahui seperti pada tabel 3.1 dengan mengikuti *user manual Maxsurf 12.02* untuk setiap bentuk lambung catamaran kapal isap timah. Pembuatan model dilakukan untuk ketiga variasi bentuk lambung, yaitu bulat (circular), kotak (rectangular), dan oval. Dari ketiga permodelan tersebut dilakukan variasi jarak lambung $S/L = 0,14$, $0,16$, dan $0,18$ seperti pada gambar 3.4 – 3.6.

Tabel 3.1 Data dimensi kapal permodelan *Maxsurf 12.02*

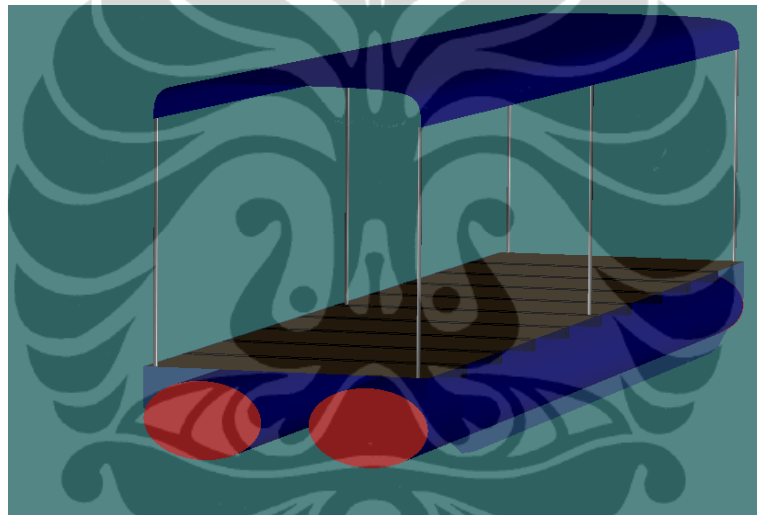
Main Item									
Item/ Dimension	Circular			Recangular			Oval		
	S/L = 0,14	S/L = 0,16	S/L = 0,18	S/L = 0,14	S/L = 0,16	S/L = 0,18	S/L = 0,14	S/L = 0,16	S/L = 0,18
Displ.[ton]	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27
V [m ³]	9,05	9,05	9,05	9,05	9,05	9,05	9,05	9,05	9,05
Lwl [m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B overall [m]	2,2	2,4	2,6	2,2	2,4	2,6	2,2	2,4	2,6
H [m]	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
T [m]	0,4	0,4	0,4	0,393	0,393	0,393	0,394	0,394	0,394
WPA [m ²]	23,99	23,99	23,99	23,99	23,99	23,99	23,99	23,99	23,99
Cp	0,953	0,953	0,953	0,969	0,969	0,969	0,968	0,968	0,968
Cb	0,943	0,943	0,943	0,959	0,959	0,959	0,958	0,958	0,958
Cm	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99



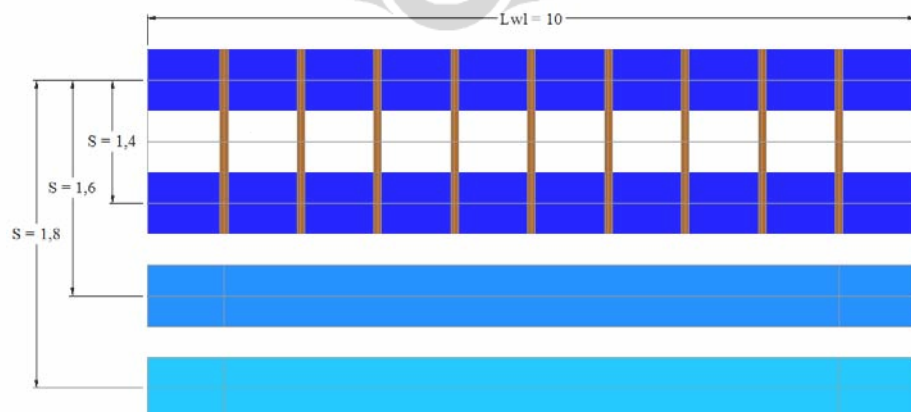
Gambar 3.3 Model kapal isap timah dengan lambung bulat (circular)



Gambar 3.4 Model kapal isap timah dengan lambung kotak (rectangular)



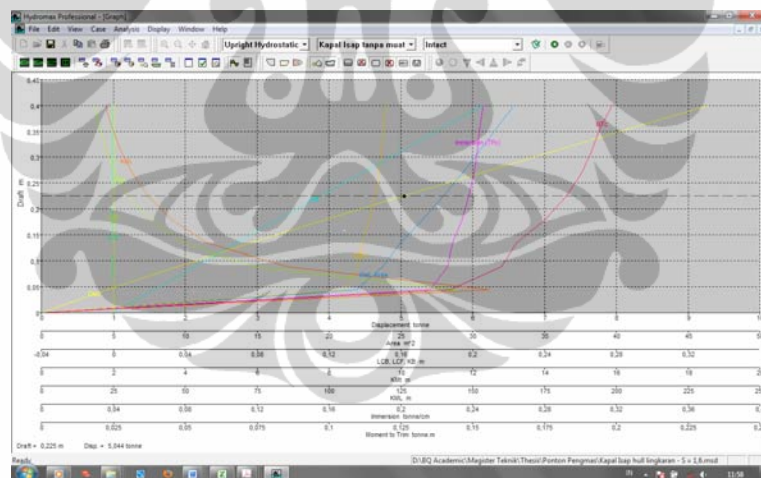
Gambar 3.5 Model kapal isap timah dengan lambung oval (oval)



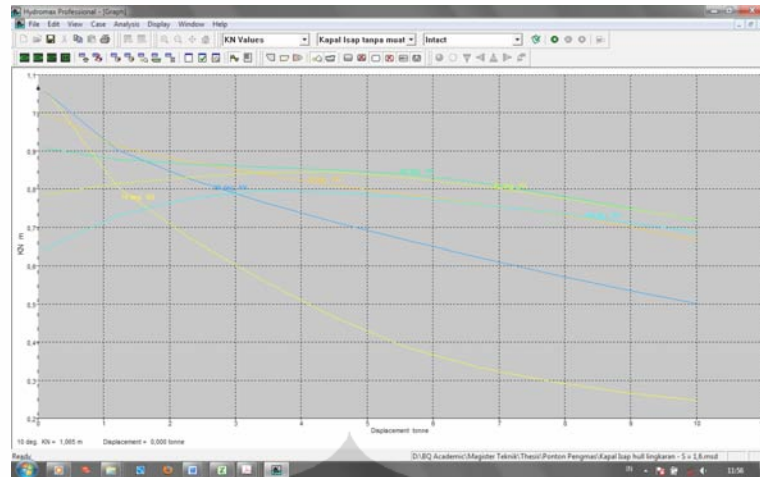
Gambar 3.6 Variasi jarak lambung tuntut ketiga model kapal

3.2.2 Permodelan kurva karakteristik kapal dengan program *Hydromax12.02*

Setelah melakukan permodelan geometris 3D menggunakan *Maxsurf 12.02* selanjutnya dilakukan model perhitungan untuk mendapatkan data-data karakteristik kapal seperti *hydrostatic curve* pada gambar 3.7 dan *cross curve* pada gambar 3.8. **Scheltema De Heere, *Bouyancy and Stability of Ships*[11]** kurva hidrostatik dan cross curve berkaitan tentang data karakteristik lambung kapal sangat penting dalam proses desain kapal, pengerjaan perbaikan kapal dan pemuatan kapal serta peluncuran kapal. ini menjadi alasan bahwa kurva tersebut harus dihitung dan diketahui. Untuk mempersingkat dan mempercepat perhitungan maka dilakukan dengan menggunakan program package *Maxsurf 12.02* yaitu *Hydromax 12.02*. dengan mengikuti *User Manual Hydromax 12.02*.



Gambar 3.7 Contoh data perhitungan hydrostatic curve menggunakan hydromax 12.02



Gambar 3.8 Contoh data perhitungan cross curve menggunakan hydromax 12.02

3.3 KONDISI SAAT PENGUJIAN

Sebelum melakukan pengujian biarkan fluida dalam tangki percobaan akibat peletakan model kapal tidak stabil. Tujuannya adalah agar perhitungan nilai defleksi x tidak fluktuatif bergeser. 3 buah variasi muatan dalam displacement yaitu kapal kosong, kapal dengan muatan 50%, dan kapal dengan muatan 100% yang muatannya telah diskalakan dengan draft kapal dengan menggunakan kurva hidrostatik.

3.4 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

Kapal model yang telah diskalakan ukurannya dimasukkan ke dalam tangki percobaan. Ikat bandul pada kapal dengan peletakan panjang batang yang diketahui dan diberikan pendulum untuk menghitung defleksi setelah terjadi kemiringan dengan menggunakan persamaan 2.15. Untuk kondisi muatan 50%, kapal diberi beban sesuai dengan berat displacement kapal dengan muatan tersebut yang telah diskalakan ukuran beratnya. Berat muatan tersebut dibagi menjadi 2, yaitu $P = 0,2$ kg dibebankan pada bagian samping kapal untuk mendapatkan kemiringan kapal. sisanya diletakan pada kapal sebelum kapal mengalami kemiringan akibat beban P tersebut. Kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan 2.16 untuk mendapatkan nilai

jarak metacentra kapal ke titik gravity kapal (GM). Lakukan pengujian untuk variasi kondisi, bentuk lambung dan jarak antar lambung.

3.5 TAHAPAN PENGUJIAN

Tahapan pengujian untuk ekperimental kemiringan kapal, yaitu :

1. Siapkan kapal model yang telah diberikan sejenis batang yang telah diberikan pendulum pada bagian tengah kapal.
2. Tentukan kapal ingin dicoba pada kondisi muatan berapa, misal 50 % sehingga dapat ditentukan berat kapal dengan berat 50% tersebut.
3. Gunakan kurva hidrostatis untuk mendapatkan draft kapal sebenarnya kemudian skalakan non dimensi draft tersebut menjadi draft kapal model.
4. Atur pembebanan berat sampai batas draft kapal model tersebut. Sisakan $P = 0,2$ kg untuk diletakan pada jarak (i) pada bagian samping kapal sehingga kapal akan mengalami kemiringan.
5. Setelah kapal mengalami kemiringan, ukur defleksi nilai x yaitu jarak pendulum dengan barang panjang.
6. Gunakan persamaan 2.15 untuk mendapatkan nilai $\tan \theta$ dari parameter panjang batang dengan defleksi x akibat kemiringan kapal
7. Gunakan persamaan 2.16 untuk mendapatkan nilai GM kapal pada kondisi tersebut.
8. Gunakan kurva cross curve pada kondisi pemuatan atau displacement kapal misalnya 50% yang telah dskalakan non dimensi untuk mendapatkan nilai KN dimana $KN = KM \sin \theta$.
9. Untuk mendapatkan titik berat kapal maka gunakan persamaan 2.6
10. Ulangi percobaan pada variasi muatan, bentuk lambung dan jarak antar lambung.

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 KRITERIA IMO UNTUK KAPAL ISAP TIMAH CATAMARAN

Dari percobaan kemiringan kapal model yang telah dilakukan, didapatkan data untuk dapat mengetahui titik berat kapal model (KG) dengan mendapatkan nilai defleksi (x) setelah dilakukan pemberian beban muatan. Penggunaan persamaan 2.14 dan 2.15 dapat menghasilkan nilai *metracentra* (MG) kapal model untuk setiap variasi muatan, variasi bentuk lambung catamaran, dan variasi jarak antar lambung.

4.1.1 Kapal Isap Timah Catamaran terhadap kriteria IMO

Pada tabel 4.1 menunjukkan persyaratan IMO, hal tersebut bertujuan untuk menjamin keselamatan dan keamanan operasi kapal di laut. Lembaga internasional seperti **IMO (2002)**, *International Maritiem Organization* dalam *Instruments Resolution A.749 (18) Amended by MSC.75 (69) static stability*, mengatur tentang minimum kriteria untuk semua kapal khususnya untuk monohull melalui hubungan lengan stabilitas, GZ (*righting level*) dengan sudut kemiringan kapal (*angle of heel*).

Tabel 4.1 Persyaratan IMO tentang stabilitas kapal

Kode IMO	Criteria	Nilai yang disyaratkan
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	200
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ shall not be less than (\geq)	25
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt spec. heel angle 0° shall not be less than (\geq)	150

Persyarat ini diberlakukan untuk type kapal secara umum namun, hanya untuk kapal multihull, **HSC 2000 [13]**, *stability of Multihull Craft Annex 7* menambahkan bahwa sudut maksimum untuk lengan stabilitas $GZ_{max} \geq 10$ derajat.

4.1.2 Kondisi Pemuatan

Pada tabel 4.2 menunjukkan variasi pemuatan yang digunakan untuk setiap variasi bentuk dan jarak lambung kapal isap timah catamaran. Kondisi pemuatan pada pengujian ini dilakukan untuk menentukan letak titik gravity yang akan sangat berpengaruh terhadap jarak lengan stabilitas kapal GZ dari kapal isap timah catamaran.

Tabel 4.2 Kondisi pemuatan Kaapal Isap Timah Catamaran

Iten Name	Weight [ton]	Quantity [%]		
		Case 1	Case 2	Case 3
Ponton	1,169	100	100	100
Rangka, Deck, Pagar, dan Atap	1,309	100	100	100
Saringan	0,234	100	100	100
Struktur Winch Gerakan Samping	0,1345	100	100	100
Struktur Winch Bandul	0,1523	100	100	100
Dudukan dan Mesin Pendukung	0,3594	100	100	100
Muatan Timah	1	0	50	100

4.2 EVALUASI STABILITAS STATIS

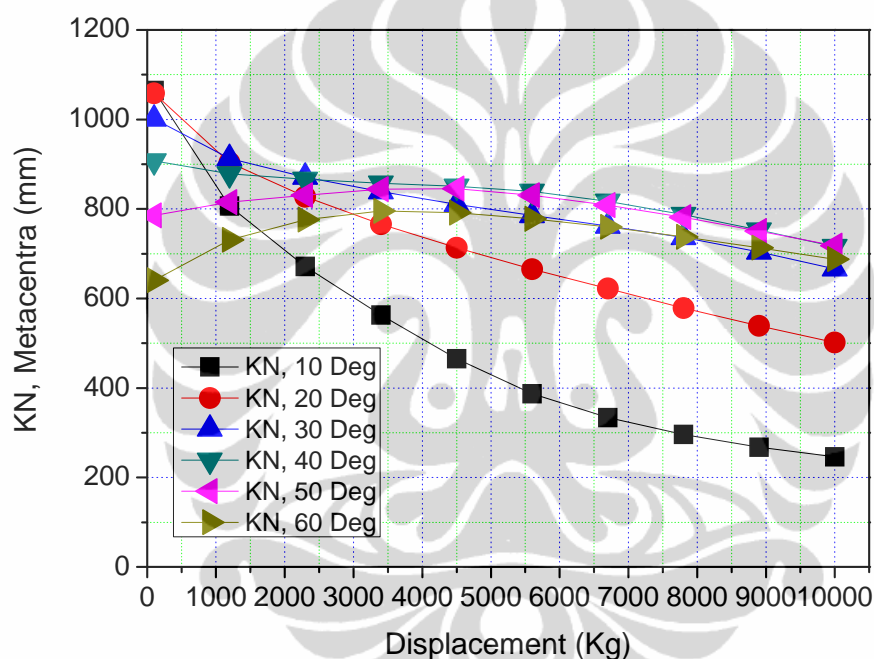
Pertanyaan yang timbul dari keuntungan dan kerugian antara kapal isap timah dengan lambung lingkaran, kotak dan oval satu sama lain. Ada beberapa area perbandingan yang dapat dibuat. Secara praktis, dengan bentuk lambung kotak relatif akan membutuhkan biaya konstruksi, pengerjaan dan bentuk geometri yang mudah.

4.2.1 Kapal Isap Timah Lambung Catamaran dengan bentuk Lingkaran (circular)

- a. Perhitungan Cross curve menggunakan program package Hydromax 12.02

Dalam perhitungan untuk dapat mencari grafik lengan stabilitas terhadap sudut kemiringan kapal isap catamaran untuk lambung bentuk lingkaran diperlukan nilai KN dimana nilai ini diproyeksikan posisi kapal pada kondisi muatan misalnya pada kondisi pemuatan 50% pada $\Delta = 8770$ kg untuk data kapal dengan $S/L = 0,16$ yaitu :

θ	10	20	30	40	50	60
KN [mm]	271	543	707	757	754	716



Gambar 4.1 Cross curve kapal isap timah catamaran lambung lingkaran dengan $S/L = 0,16$

b. Perhitungan Metracentra (GM) pada pengujian kemiringan

Dari pengujian di tangki percobaan didapatkan nilai GM untuk setiap kondisi pengujian.

Tabel 4.3 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung lingkaran yang didapat dari pengujian kemiringan untuk $S/L = 0,14$

Lightship		$S/L = 0,14$	
GM [mm]	3,66	GM [m]	0,70
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
I [mm]	520,00	P [kg]	0,20

x [mm]	44,02	l [mm]	200,00
tan θ	0,08	θ	4,84
Muatan 50%		S/L = 0,14	
GM [mm]	3,51	GM [m]	0,67
Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
l [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	43,25	l [mm]	200,00
tan θ	0,08	θ	4,75
Muatan 100%		S/L = 0,14	
GM [mm]	3,36	GM [m]	0,65
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
l [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	42,74	l [mm]	200,00
tan θ	0,08	θ	4,70

Tabel 4.4 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung lingkaran yang didapat dari pengujian kemiringan S/L = 0,16

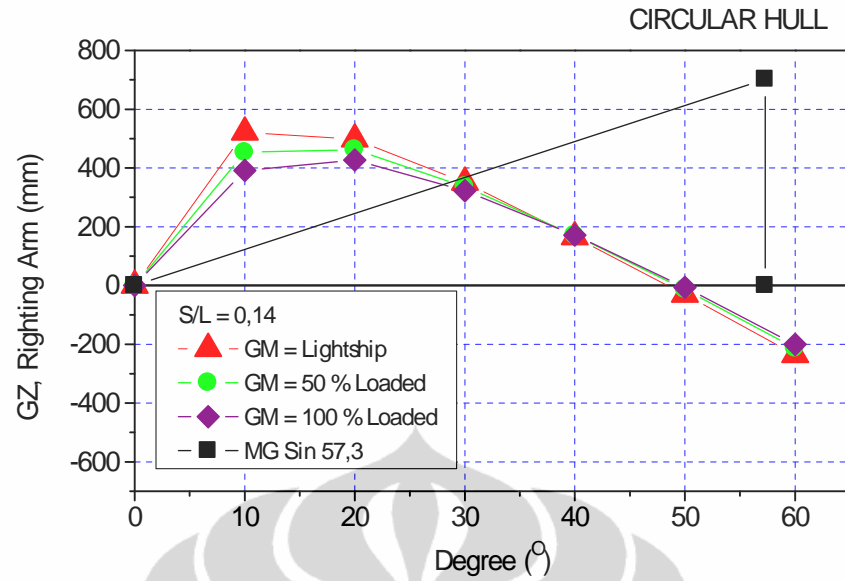
Lightship		S/L = 0,16	
GM [mm]	3,55	GM [m]	0,68
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
l [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	45,30	l [mm]	200,00
tan θ	0,09	θ	4,98
Muatan 50%		S/L = 0,16	
GM [mm]	3,55	GM [m]	0,68
Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
l [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	42,72	l [mm]	200,00
tan θ	0,08	θ	4,70
Muatan 100%		S/L = 0,16	
GM [mm]	3,40	GM [m]	0,65
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
l [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	42,25	l [mm]	200,00
tan θ	0,08	θ	4,65

Tabel 4.5 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung lingkaran yang didapat dari pengujian kemiringan $S/L = 0,18$

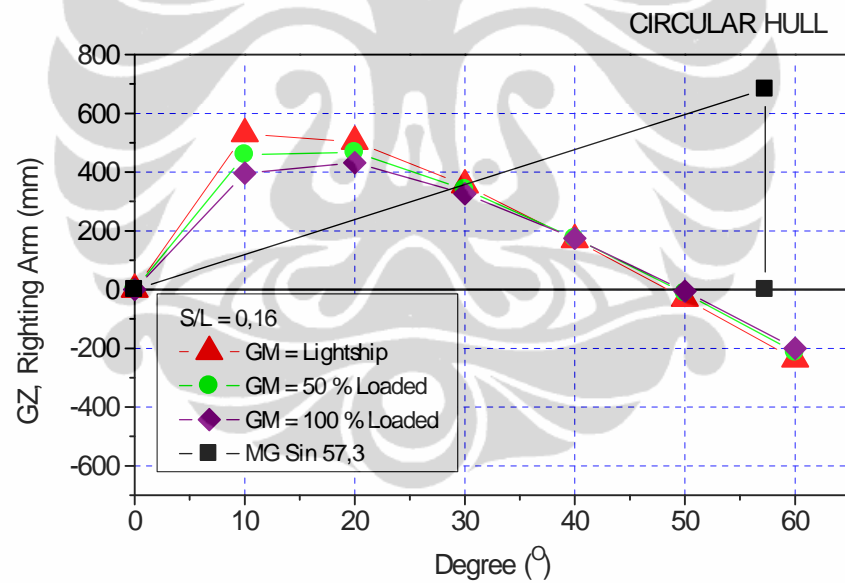
Lightship		$S/L = 1,8$	
GM [mm]	4,61	GM [m]	0,88
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
I [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	34,95	I [mm]	200,00
$\tan \theta$	0,07	θ	3,84
Muatan 50%		$S/L = 1,8$	
GM [mm]	4,46	GM [m]	0,86
Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
I [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	34,07	I [mm]	200,00
$\tan \theta$	0,07	θ	3,75
Muatan 100%		$S/L = 1,8$	
GM [mm]	4,30	GM [m]	0,83
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
I [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	33,39	I [mm]	200,00
$\tan \theta$	0,06	θ	3,67

- c. Perhitungan lengan stabilitas GZ terhadap kemiringan kapal Isap Timah

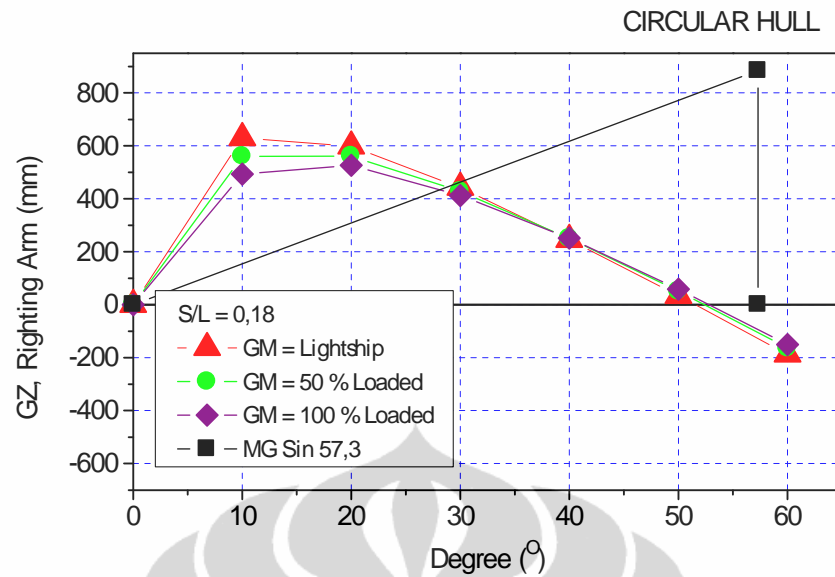
Pada point a didapatkan nilai KN kemudian pada point b didapatkan nilai GM. Kemudian dengan persamaan 2.6 maka didapatkan lengan stabilitas.



Gambar 4.2 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah lambung lingkaran dengan $S/L = 0,14$

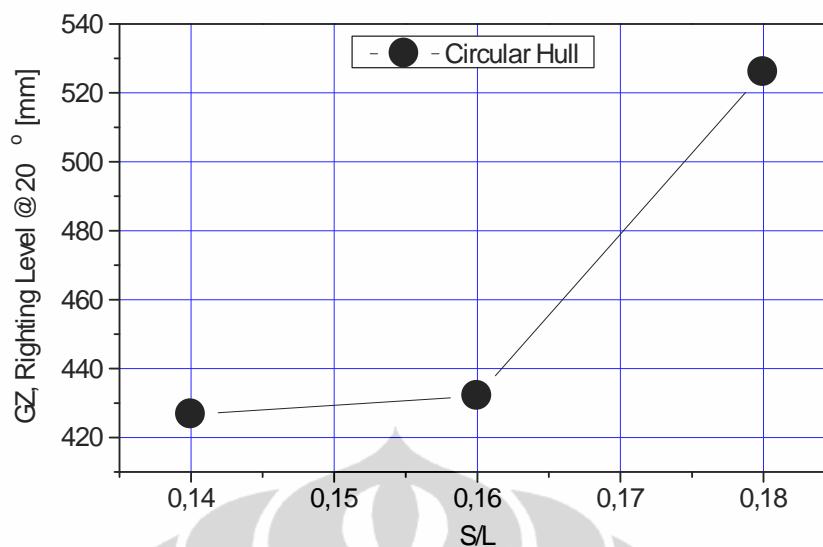


Gambar 4.3 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah lambung lingkaran dengan $S/L = 0,16$



Gambar 4.4 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah lambung lingkaran dengan $S/L = 0,18$

Pada gambar 4.2 – 4.3 menunjukkan lengan stabilitas GZ terhadap variasi muatan. Semakin besar muatan yang diangkut oleh kapal isap timah catamaran dengan bentuk lambung lingkaran maka titik gravity kapal berangsur naik sehingga membuat metacentra kapal semakin menurun sehingga lengan stabilitas juga akan semakin menurun.



Gambar 4.5 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah lambung lingkaran dengan S/L

Pada gambar 4.5 menunjukkan hubungan rasio jarak antar lambung (S/L) terhadap lengan stabilitas kapal isap timah lambung lingkaran pada kondisi muatan penuh (100% loaded) diambil pada sudut 20 derajat atau pada sudut dimana GZ_{max} . Peningkatan lengan stabilitas berarti meningkatkan stabilitas kapal, secara signifikan terjadi pada S/L 0,18. Ini menunjukkan bahwa peningkatan stabilitas terbaik untuk kapal isap timah dengan bentuk lambung lingkaran..

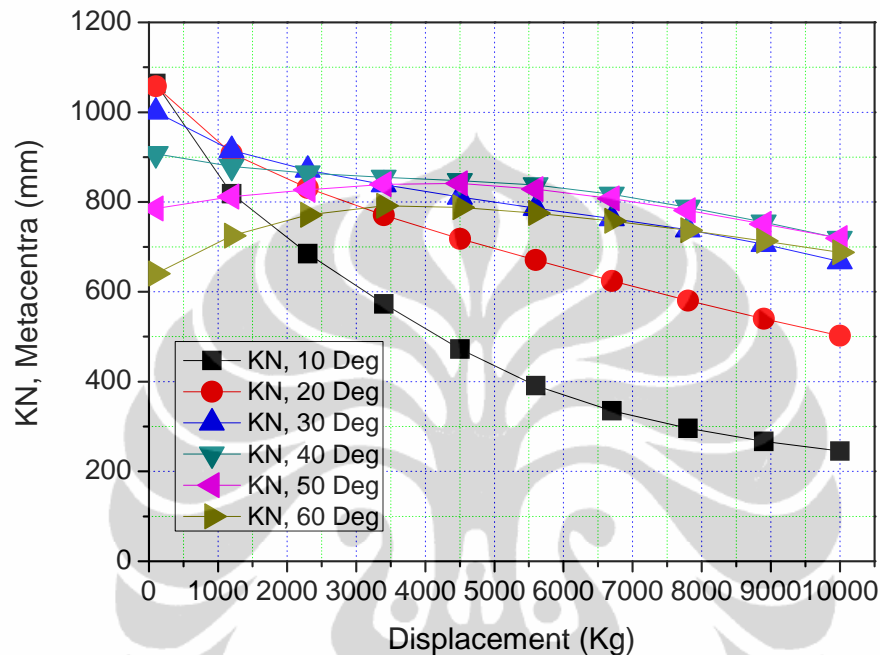
4.2.2 Kapal Isap Timah Lambung Catamaran dengan bentuk kotak (*rectangular*)

- a. Perhitungan Cross curve menggunakan program package Hydromax 12.02

Seperti pada bagian sebelumnya hal yang sama juga terjadi pada bentuk lambung kotak. Dalam perhitungan untuk dapat mencari grafik lengan stabilitas terhadap sudut kemiringan kapal isap catamaran untuk lambung kotak diperlukan nilai KN dimana nilai ini diproyeksikan posisi kapal pada kondisi muatan misalnya pada

kondisi pemuatan 50% pada $\Delta = 8770$ kg untuk data kapal dengan $S/L = 0,16$ yaitu :

θ	10	20	30	40	50	60
KN [mm]	273	548	713	762	758	718



Gambar 4.6 Cross curve kapal isap timah catamaran lambung kotak dengan $S/L = 0,16$

- b. Perhitungan Metracentra (GM) pada pengujian kemiringan
 Dari pengujian di tangki percobaan didapatkan nilai GM untuk setiap kondisi pengujian.

Tabel 4.6 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung kotak yang didapat dari pengujian kemiringan untuk $S/L = 0,14$

Lightship		$S/L = 1,4$	
GM [mm]	3,64	GM [m]	0,70
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
I [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	44,21	I [mm]	200,00
$\tan \theta$	0,09	θ	4,86
Muatan 50%		$S/L = 1,4$	
GM [mm]	3,50	GM [m]	0,67

Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
I [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	43,38	I [mm]	200,00
$\tan \theta$	0,08	θ	4,77
Muatan 100%		$S/L = 1,4$	
GM [mm]	3,36	GM [m]	0,64
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
I [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	42,80	I [mm]	200,00
$\tan \theta$	0,08	θ	4,71

Tabel 4.7 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung kotak yang didapat dari pengujian kemiringan $S/L = 0,14$

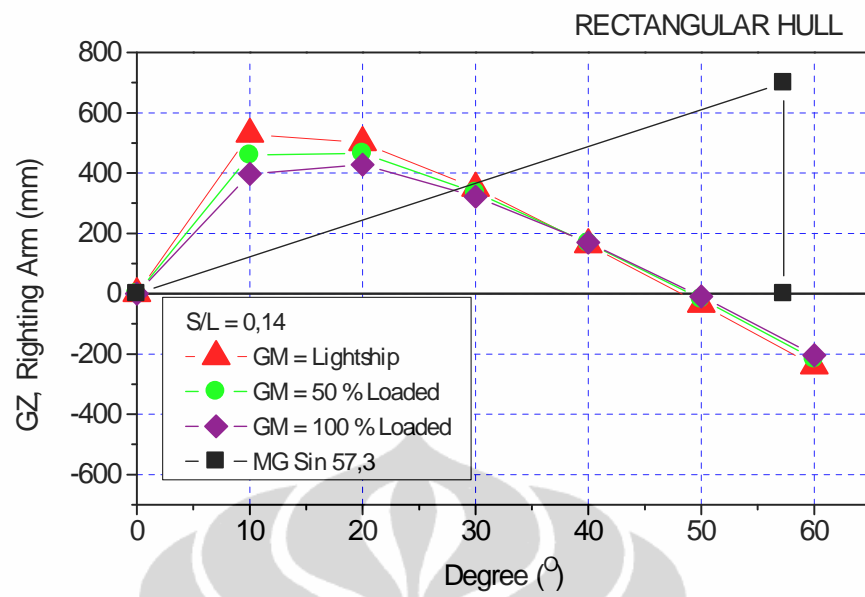
Lightship		$S/L = 1,6$	
GM [mm]	3,70	GM [m]	0,71
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
I [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	43,46	I [mm]	200,00
$\tan \theta$	0,08	θ	4,78
Muatan 50%		$S/L = 1,6$	
GM [mm]	3,56	GM [m]	0,68
Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
I [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	42,67	I [mm]	200,00
$\tan \theta$	0,08	θ	4,69
Muatan 100%		$S/L = 1,6$	
GM [mm]	3,41	GM [m]	0,65
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
I [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	42,15	I [mm]	200,00
$\tan \theta$	0,08	θ	4,63

Tabel 4.8 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung kotak yang didapat dari pengujian kemiringan $S/L = 0,18$

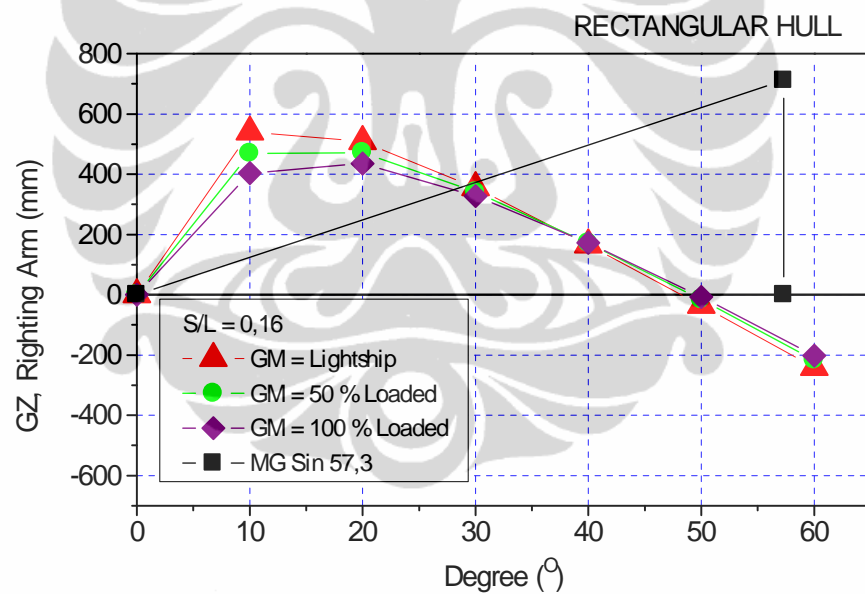
Lightship		S/L = 1,8	
GM [mm]	4,61	GM [m]	0,88
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
I [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	34,95	I [mm]	200,00
$\tan \theta$	0,07	θ	3,84
Muatan 50%		S/L = 1,8	
GM [mm]	4,46	GM [m]	0,86
Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
I [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	34,04	I [mm]	200,00
$\tan \theta$	0,07	θ	3,74
Muatan 100%		S/L = 1,8	
GM [mm]	4,31	GM [m]	0,83
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
I [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	33,32	I [mm]	200,00
$\tan \theta$	0,06	θ	3,67

c. Perhitungan lengan stabilitas GZ terhadap kemiringan kapal Isap Timah

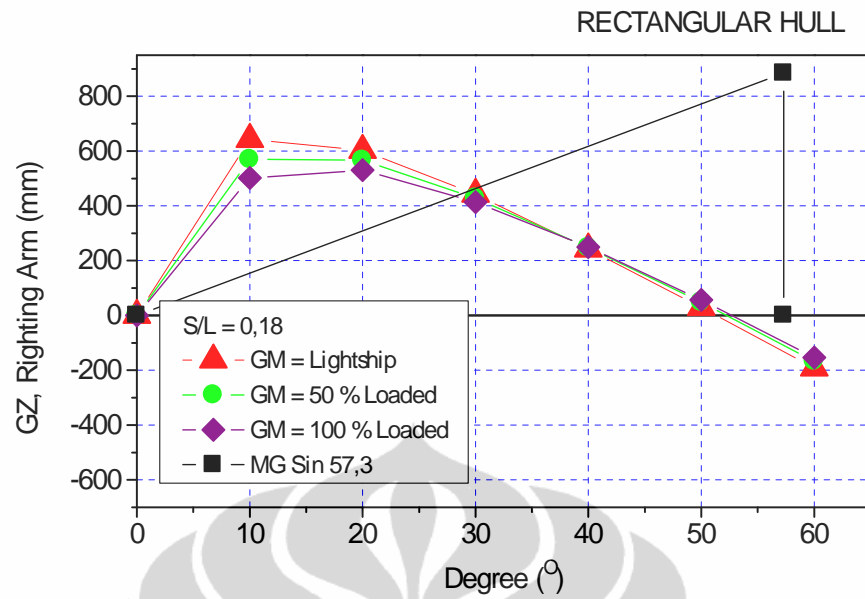
Pada point a didapatkan nilai KN kemudian pada point b didapatkan nilai GM. Kemudian dengan persamaan 2.6 maka didapatkan lengan stabilitas.



Gambar 4.7 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah kotak pada $S/L = 0,14$

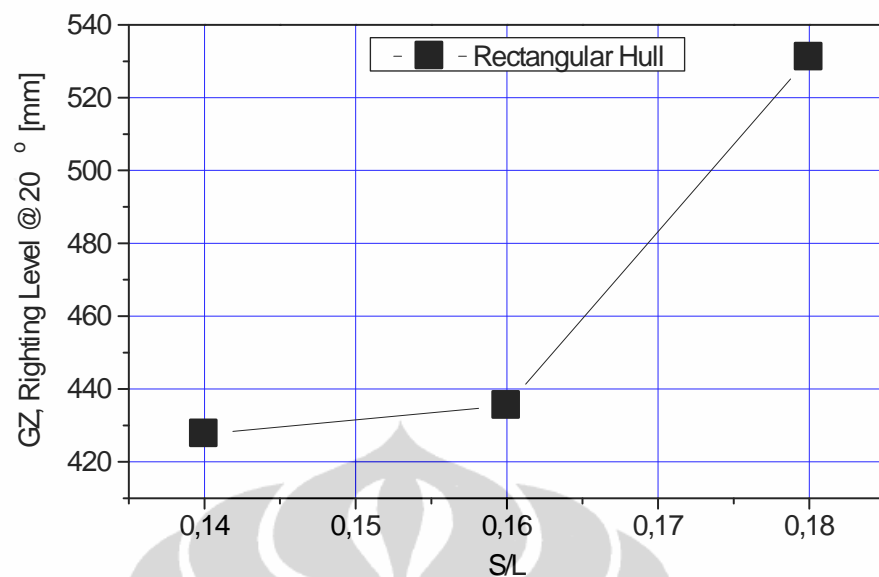


Gambar 4.8 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah kotak pada $S/L = 0,16$



Gambar 4.9 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah kotak pada $S/L = 0,18$

Pada gambar 4.7 – 4.9 menunjukkan lengan stabilitas GZ terhadap variasi muatan. hal sama terjadi pada bentuk lambung kotak karena pengaruh variasi muatan. Semakin besar muatan yang diangkut oleh kapal isap timah catamaran dengan bentuk lambung kotak maka titik gravity kapal berangsur naik sehingga metacentra kapal semakin menurun sehingga lengan stabilitas juga akan semakin menurun.



Gambar 4.10 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah lambung kotak dengan S/L

Pada gambar 4.10 menunjukkan hubungan rasio jarak antar lambung (S/L) terhadap lengan stabilitas kapal isap timah lambung kotak pada kondisi muatan penuh (100% loaded) diambil pada sudut 20 derajat atau pada sudut dimana GZ_{max} . Hal yang sama juga terjadi pada bentuk lambung ini. Peningkatan lengan stabilitas berarti meningkatkan stabilitas kapal, secara signifikan terjadi pada S/L 0,18. Ini menunjukkan bahwa peningkatan stabilitas terbaik untuk kapal isap timah dengan bentuk lambung kotak.

4.2.3 Kapal Isap Timah Lambung Catamaran dengan bentuk oval (*oval*)

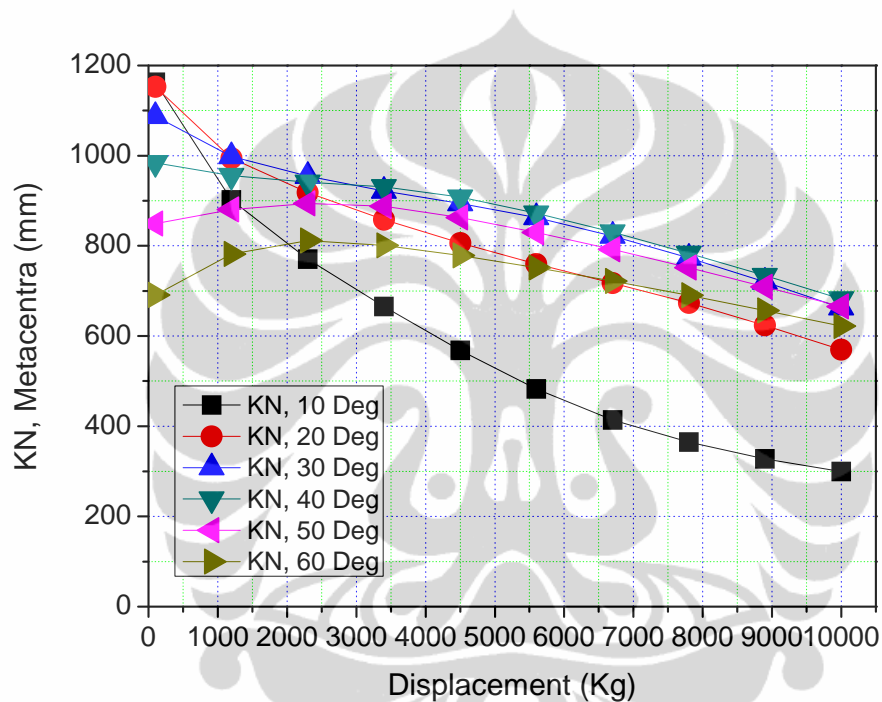
Pada kondisi kapal dengan lambung bentuk oval terjadi pelebaran kesamping sehingga mengalami perkecilan S/L jika ingin dipertahankan besar lebar kapal tetapi jika disesuaikan dengan rasio jarak lambung akan membuat lambung kapal melebihi lebar.

- a. Perhitungan Cross curve menggunakan program package Hydromax 12.02

Seperti pada bagian sebelumnya hal yang sama juga terjadi pada bentuk lambung oval. Dalam perhitungan untuk dapat mencari

grafik lengan stabilitas terhadap sudut kemiringan kapal isap catamaran untuk lambung oval diperlukan nilai KN dimana nilai ini diproyeksikan posisi kapal pada kondisi muatan misalnya pada kondisi pemuatan 50% pada $\Delta = 8770$ kg untuk data kapal dengan $S/L = 0,16$ yaitu :

θ	10	20	30	40	50	60
KN [mm]	273	548	713	762	758	718



Gambar 4.11 Cross curve kapal isap timah catamaran lambung oval dengan $S/L = 0,16$

b. Perhitungan Metracentra (GM) pada pengujian kemiringan

Dari pengujian di tangki percobaan didapatkan nilai GM untuk setiap kondisi pengujian.

Tabel 4.9 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung oval yang didapat dari pengujian kemiringan $S/L = 0,14$

Lightship		$S/L = 1,4$	
GM [mm]	3,67	GM [m]	0,70
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
I [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	43,90	I [mm]	200,00

tan θ	0,08	θ	4,83
Muatan 50%		S/L = 1,4	
GM [mm]	3,52	GM [m]	0,68
Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
l [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	43,15	l [mm]	200,00
tan θ	0,08	θ	4,74
Muatan 100%		S/L = 1,4	
GM [mm]	3,33	GM [m]	0,64
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
l [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	43,11	l [mm]	200,00
tan θ	0,08	θ	4,74

Tabel 4.10 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung oval yang didapat dari pengujian kemiringan S/L = 0,16

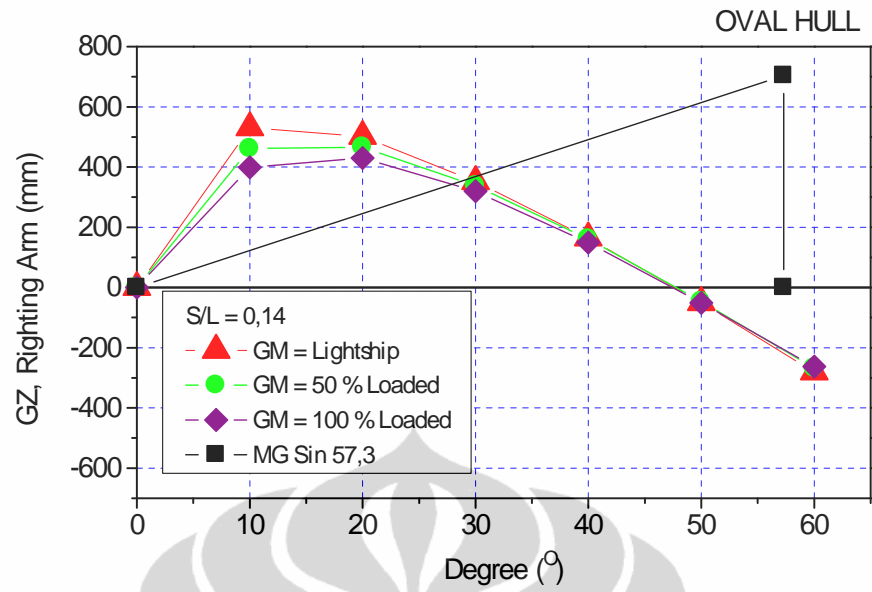
Lightship		S/L = 1,6	
GM [mm]	4,57	GM [m]	0,88
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
l [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	35,23	l [mm]	200,00
tan θ	0,07	θ	3,88
Muatan 50%		S/L = 1,6	
GM [mm]	4,42	GM [m]	0,85
Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
l [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	34,35	l [mm]	200,00
tan θ	0,07	θ	3,78
Muatan 100%		S/L = 1,6	
GM [mm]	4,23	GM [m]	0,81
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
l [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	33,92	l [mm]	200,00
tan θ	0,07	θ	3,73

Tabel 4.11 Nilai Metracentra kapal isap timah lambung oval yang didapat dari pengujian kemiringan $S/L = 0,18$

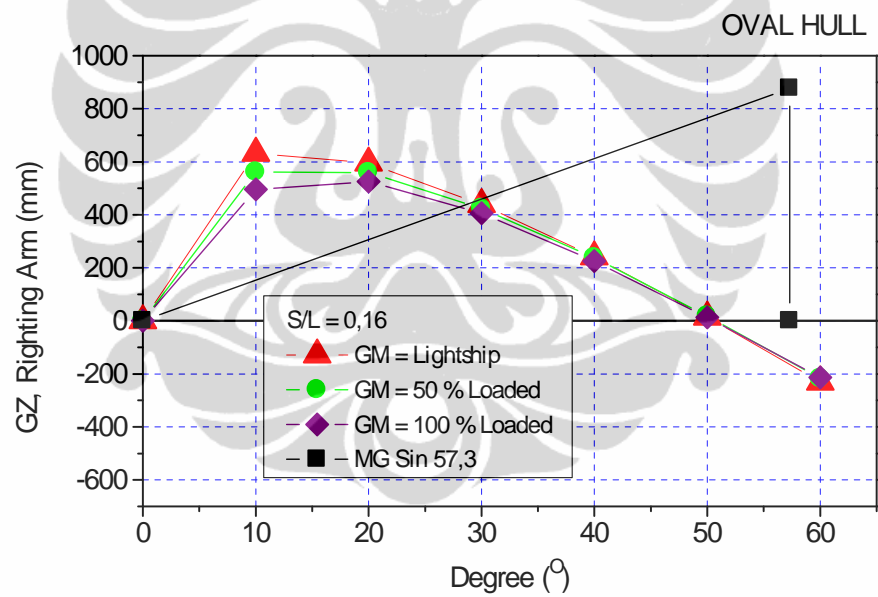
Lightship		S/L = 1,8	
GM [mm]	5,47	GM [m]	1,05
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
I [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	29,42	I [mm]	200,00
$\tan \theta$	0,06	θ	3,24
Muatan 50%		S/L = 1,8	
GM [mm]	5,32	GM [m]	1,02
Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
I [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	28,52	I [mm]	200,00
$\tan \theta$	0,05	θ	3,14
Muatan 100%		S/L = 1,8	
GM [mm]	5,13	GM [m]	0,99
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
I [mm]	520,00	P [kg]	0,20
x [mm]	27,97	I [mm]	200,00
$\tan \theta$	0,05	θ	3,08

- c. Perhitungan lengan stabilitas GZ terhadap kemiringan kapal Isap Timah

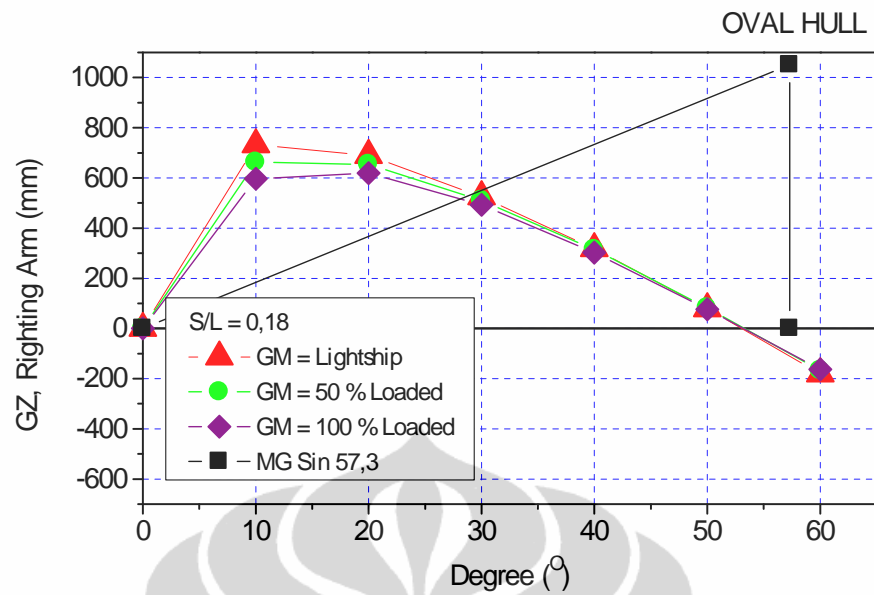
Pada point a didapatkan nilai KN kemudian pada point b didapatkan nilai GM. Kemudian dengan persamaan 2.6 maka didapatkan lengan stabilitas.



Gambar 4.12 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah oval pada
S/L = 0,14

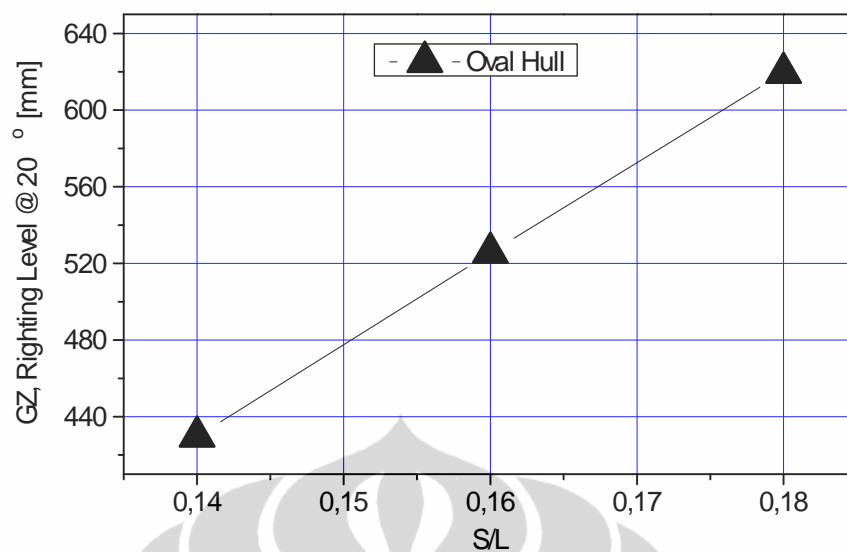


Gambar 4.13 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah oval pada
S/L = 0,16



Gambar 4.14 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah oval pada $S/L = 0,18$

Pada gambar 4.12 – 4.14 menunjukkan lengan stabilitas GZ terhadap variasi muatan. hal sama terjadi pada bentuk lambung oval karena pengaruh variasi muatan. Semakin besar muatan yang diangkut oleh kapal isap timah catamaran dengan bentuk lambung oval maka titik gravity kapal berangsur naik sehingga membuat metacentra kapal semakin menurun sehingga lengan stabilitas juga akan semakin menurun.

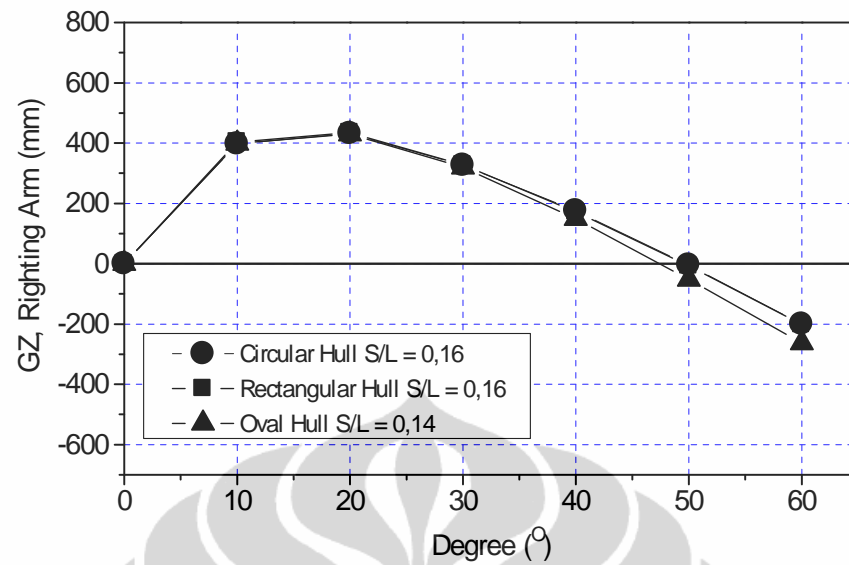


Gambar 4.15 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah dengan pada S/L

Pada gambar 4.15 menunjukkan hubungan rasio jarak antar lambung (S/L) terhadap lengan stabilitas kapal isap timah lambung oval pada kondisi muatan penuh (100% loaded) diambil pada sudut 20 derajat atau pada sudut dimana GZ_{max} . Hal yang berbeda terjadi pada bentuk lambung ini. Peningkatan lengan stabilitas berarti meningkatkan stabilitas kapal, tidak terjadi peningkatan yang signifikan seperti pada bentuk lambung lingkaran dan kotak yang terjadi pada S/L 0,18. Ini menunjukkan bahwa rasio jarak lambung pada bentuk oval terjadi peningkatan secara linier atau hanya efek penambahan lebar yang membuat terjadinya peningkatan stabilitas pada bentuk ini.

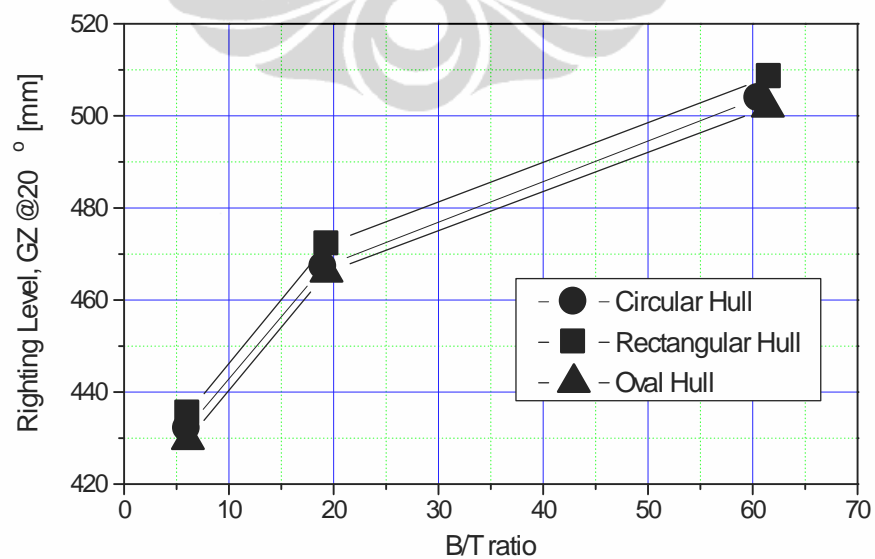
4.2.4 Perbandingan karakteristik bentuk lambung pada kapal isap timah catamaran

Selain alasan secara praktis, analisa lain harus dilakukan dalam hal ini bertujuan untuk dapat dibandingkan dan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan dan memilih perencanaan bentuk lambung kapal isap catamaran karena peningkatan kestabilan kapal dapat menunjang keamanan dan kenyamanan dalam beroperasi di laut.



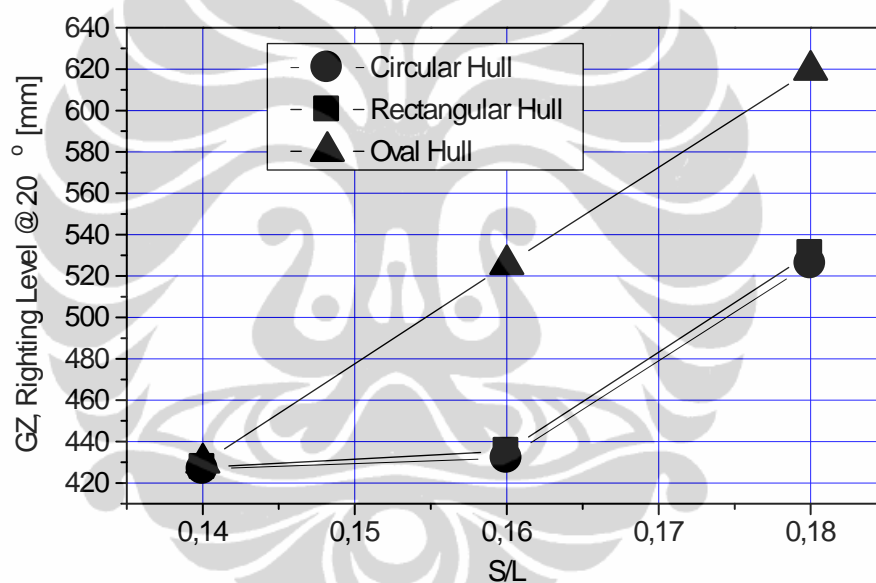
Gambar 4.16 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah terhadap variasi bentuk lambung

Pada gambar 4.16 menunjukkan lengan stabilitas terhadap variasi bentuk lambung pada muatan 100% kapal. Perubahan bentuk lambung lingkaran dengan bentuk kotak dan oval dapat meningkatkan lengan stabilitas kapal ini menunjukkan adanya perbaikan terhadap stabilitas kapal isap timah. Kapal dengan lambung kotak memeperlihatkan area yang besar di bawah kurva GZ menunjukkan sejumlah residual energi potensial untuk mengatasi efek kemiringan kapal.



Gambar 4.17 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah terhadap B/T ratio

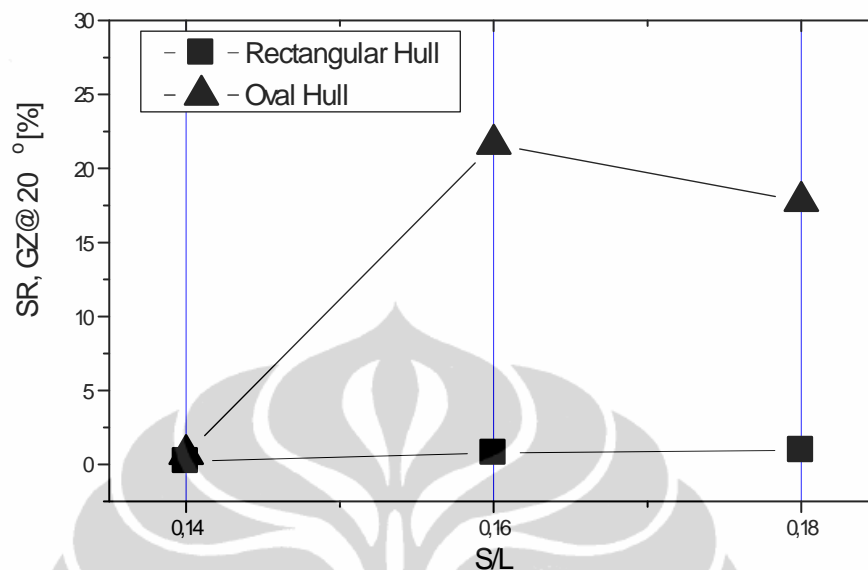
Pada gambar 4.17 lengan stabilitas maksimum terjadi pada 20° untuk persyaratan IMO dan **HSC 2000**, mensyaratkan bahwa lengan stabilitas untuk kapal catamaran harus lebih besar dari 10° , terlihat dapat dipenuhi oleh ketiga bentuk lambung. B/d ratio pada kapal monohull mungkin dapat diabaikan tetapi untuk catamaran, pusat titik apung (COB) bergerak signifikan dari sisi bagian bawah sehingga peningkatan lengan momen akan bergerak secara efektif [5]. Karakteristik stabilitas pada bentuk lambung kotak terlihat lebih tinggi bila dibandingkan dengan bentuk bulat dan oval. Ini mengindikasikan bahwa peningkatan stabilitas dengan menggunakan lambung kotak menunjukkan hasil yang lebih baik..



Gambar 4.18 Kurva lengan stabilitas kapal isap Timah terhadap S/L ratio

Pada gambar 4.18 menunjukkan variasi lambung (S/L) yang digunakan terhadap sudut kemiringan kapal pada setiap bentuk lambung. Data tersebut diambil pada sudut kemiringan 20° . Terlihat bahwa peningkatan jarak lambung juga akan meningkatkan lengan stabilitas GZ. Peningkatan yang linier terjadi hanya pada lambung oval hal ini menunjukkan bahwa peningkatan rasio S/L tidak berbanding lurus terhadap peningkatan lengan stabilitas kapal. Kemudian terlihat juga pada grafik kapal dengan bentuk lambung oval menunjukkan hasil yang terbaik. Ini terjadi karena

efek penambahan lebar dengan $\phi_1 = 1000$ mm and $\phi_2 = 640$ mm pada kapal dengan bentuk lambung oval.



Gambar 4.19 Kurva rasio perbaikan stabilitas (SR) kapal isap Timah catamaran terhadap S/L rasio

Pada gambar 4.19 menunjukkan bahwa efek pemberian rasio jarak antar lambung dapat meningkatkan koreksi perbaikan (SR) lengan stabilitas kapal. Koreksi perbaikan stabilitas menggunakan persamaan (8) pada kasus ini mencapai $\pm 22\%$ untuk lambung bentuk oval sedangkan pada bentuk lambung kotak mencapai $\pm 2,5\%$.

Pada bentuk lambung kotak peningkatan rasio S/L akan meningkatkan stabilitas kapal, tetapi pada bentuk lambung oval pada rasio S/L = 0,16 terjadi peningkatan yang signifikan tetapi pada S/L = 0,18 tidak seiring dengan peningkatan stabilitas yang signifikan seperti pada lambung kotak. Ini menunjukkan bahwa dengan membesarkan rasio (S/L) tidak terus meningkat stabilitas kapal tersebut, ada kecenderungan pada saat tertentu akan turun. Secara keseluruhan peningkatan jarak lambung akan meningkatkan lengan stabilitas sehingga dapat meningkatkan stabilitas kapal.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Analisa pada penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa stabilitas statis dari variasi bentuk dan jarak antar lambung sehingga dapat menjadi pertimbangan dalam mendesain kapal isap timah lambung catamaran. Ketiga bentuk lambung terlihat mendekati dan sedikit perbedaan terjadi pada hasil analisa intact statical stability, dan memenuhi persyaratan kriteria stabilitas menurut IMO. Kapal dengan lambung kotak memperlihatkan area yang besar di bawah kurva GZ menunjukkan sejumlah residual energi potensial untuk mengatasi efek kemiringan kapal. Modifikasi bentuk diameter ponton dari Lingkaran ($\phi = 800$ mm) menjadi bentuk oval ($\phi_1 = 1000$ mm & $\phi_2 = 640$ mm) dan bentuk kotak ($B = 800$ mm) dan rasio jarak lambung (S/L) dapat meningkatkan stabilitas kapal.

5.2 SARAN

Dari penelitian ini ada beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, antara lain adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada pengujian bentuk lambung dengan stabilitas statis. Optimasi juga dibutuhkan untuk mengoptimalkan alat kerja dan pendukung pada kapal isap timah ini.
2. Analisa stabilitas sangat menarik untuk dikaji untuk itu perlu adanya analisa lanjutan berupa roll motion terhadap variasi jenis lambung.

DAFTAR REFERENSI

- Victor Dubrovsky et al. 2005, *New types of sea-going multi hull with superior comfort level and safety*, Passenger Vessels for The New Millennium, Joint Meeting of Pasific Region Sections, California.
- Ali Sheikhpour Ghasseminia, Ali Fajari. *Storm Resistance Boat Designing Based on the Geometry and Movement of Water Stider*. Journal of Bionic Engineering. Sciene Direct. 2008
- IMO. *Code On Intact Stability For All Types of ships*.2002.Res.A.749(18) as amaended by Res.MSC.75(69).
- R Firlya, Yanuar, et al. *Analisa stabilitas kapal isap model catamaran*. Tesis. Institut Teknologi Bandung. 2010.
- A.F. Molland, P.A wilson, D.J. Tauton, S. Chandraprabha and P.A. ghani.*Resistance and Wash Wave Measurements on a Series of High Speed Displcement Monohull and Catamaran Forms in Shallow Water*. International Journal of Maritime Engineering. RINA.2004
- Ir. I Gusti Made Santoso, Jusuf J. *Teori Bangunan Kapal Jilid II*. Percetakan PT. Indah Kalam Karya. Edisi 1982
- V. Semyonov, Tyan, Shansky. *Theory of Bouyancy, Stability, and Launching*. Peace Publishers.Moscow
- De Kat, J.O Paulling et al. *The simulation of ship motion and capsizing in servere seas*. Transactions SNAME 99, 147-175. 1989
- Burcher R.K. *the influence of hull shape on transverse stability*. Transactions SNAME 97, 139-168. 1980
- Taylan, M. *Overall stability performance of alternative hull forms*. Ocean Engineering. 29. 1663 – 1681. 2001
- Shecltema De Heere. *Bouyancy and Stability of Ships*. London Toronto Wellington Sydney.
- SNAME. *Principles of Naval Architecture.Vol. I* Jersey City, NJ. 1989
- HSC 2000, Stability of Multihull Craft. ANNEX 7. REV 1.01



Stability Characteristics of Small Dredger Catamaran for Shallow Waters in Bangka Belitung Islands

Journal:	<i>Naval Engineers Journal</i>
Manuscript ID:	Draft
Manuscript Type:	Journal: Original Article
Date Submitted by the Author:	n/a
Complete List of Authors:	ANWAS, YANUAR; University of Indonesia,
Keywords:	Intact stability, Small Dredger, Hull Forms, Catamaran

SCHOLARONE™
Manuscripts

View

YANUAR¹⁾, BAQIM²⁾, FIRLYA.R³⁾, A.JAMALUDDIN⁴⁾

¹⁾Department of Mechanical Engineering, University of Indonesia, Depok, Indonesia

²⁾Master Student of Mechanical Engineering, University of Indonesia, Depok, Indonesia

³⁾Department of Mechanical Engineering, University of Bangka Belitung, Pangkal Pinang, Indonesia

⁴⁾Indonesian Hydrodynamic Laboratory, Surabaya, Indonesia

Stability Characteristics of Small Dredger Catamaran for Shallow Waters in Bangka Belitung Islands

ABSTRACT

Small dredger catamaran is a vessel of tin suction is operated for tin mining community in Bangka Belitung Islands, Indonesia. In this paper, three alternative hull form namely, circular, rectangular, and oval with various combinations of demi-hulls separations (S/L) i.e. 0,14 , 0,16, and 0,18 have been comparatively analyzed in term of intact stability in beam waves. Although among the hull forms which are considered to comply with design requirements, slight differences in displacement and principle dimensions are found to be inevitable due to the intrinsic characteristics of the specific forms. The purpose of this study is concentrated on the effect of hull forms and demi-hulls separations (S/L) on determining the quality of conventional intact stability as minimum standard for safety and convenience to operate the ship at sea. Various combinations of loading conditions are taken into account to analyze the effects of them. The scale model ship alternative hull forms are used 1 : 4 in this study. The stability experiment using a inclining test in basin with refers to ICAS 2004 procedure. Comparative results are shown in graphical form illustrating the characteristics of hull forms.

INTRODUCTION

One of the intermediate ships that operate mining at the sea is dredger. Manufacturing costs is become a main problem for building a dredger. Dredger is a ship that has special equipment to do the dredging. For Bangka Belitung community islands, small dredger catamaran has been built is used with a economy operationg cost. It has a length of small dredger is 10 meters with circular catamaran hull (figure 1).



Figure 1 : Small dredger catamaran in Bangka Belitung

Multi-hull like catamaran is used on the small dredger is more efficeint. **Victor Dubrovsky et al [1]**, Multi-hull vessel of various types have inherently larger deck area, higher safety, and better seaworthiness than conventional monohulls. Comply with **Stefano et al [2]**, in particular, catamaran configurations are very attractive because of their excellent performances with respect to speed, safety, resistance, and transverse stability. According to **Insel and Molland [3]**, their particular area of proliferation is the short sea shipping where they show considerable superiority over competitive designs in attributes such as space availability and seakeeping quality.

A greater variety of possible stability characteristics on small dredger allows us to design vessels suited for specific operationl requirement. Recent accidents have pointed out the importance of careful consideration of stability characteristics before small dredger catamaran is put in service. **De Kat and Pauling [4]**, Hydrodynamic and hydrostatic aspects of a new design are of paramount importance since they are directly related to the operational and mission requirements of a ship. Besides, hull

forms is also very influential on the shipbuilding fabrication.

Stability against capsizing in heavy seas is one of the fundamental requirements in ship design. **B Deakin et al [5]**, the method described here offers a very simple means of using static stability to estimate the safety of an intact and damaged vessel, while recognizing that safety also depends on the size of the vessel in relation to the operational conditions at sea. This is the right way to ensure both the survival and a meaningful evolution of small dredgers in the future.

The main concern with small dredger ship design relates to stability characteristics. It is vital that a rational approach to safety is demonstrated, validated, and adopted. The effort in correcting the ship stability with changes in hull form and enlarging the configuration of the hull to get a lever of stability. There can be found similar studies in the literature taking into account different aspects of the problem. **Bucher [6]**, for example, has investigated the influence of hull shape on the transverse stability of ships. His analysis was based on the so-called quasi-static method neglecting the dynamic effects. Also **M. Taylan [6]**, for example, has analyzed the overall stability performance of alternative hull forms for the Navy's corvette design project. Another was analyzed by **Molland et al [7]**, are investigated being focused on the effect of the separation distance, length over beam, length over displacement and breadth over draught ratios for a systematic series of high speed displacement catamarans. The purpose of this study is concentrated on the effect of hull forms and demi-hull separations (S/L) on three alternative hull form candidates, namely circular, rectangular, and oval with various combinations of demi-hull separations (S/L) i.e. 0,14, 0,16, and 0,18 are analyzed in terms of static stability. Damage stability was not analyzed because the vessel was operated in shallow water and did not support by tank. The small dredger catamaran 10 m with scale model 1 : 4 are used in this study. The dimension of small dredger catamaran model L = 2500 mm, B = 600 mm and T = 100 mm is used in this research. The stability experiment is used an inclining test in basin with refer to ICAS

2004 procedure. Comparative results are shown in graphical form illustrating the characteristics of hull forms.

As was mentioned earlier, for catamaran hull was not clear used to stability standard minimum. HSC 2000 for multihull and IMO 2002 stability standards are employed for compliance check. For the intact condition, the standards require the following :

1. Static heel angle will not exceed 10° for HSC 2000 multihull.
2. At a 30° heel angle, at least 0,2 meter positive righting level will exist for IMO 2002.

Both of the above requirements are met for loading condition and hull forms by quite comfortable margins.

EXPERIMENTAL SETUP

A series of model tests was conducted at the basin. The basin has a length of 5 meters and width of 1 meter, and the water depth was maintained at a constant depth of 0,5 meters. The experiments of inclining test with refer to ICAS 2004 procedure and were conducted for angle of heel up to 60.

Table 1 : Main characteristics a small dredger catamaran with hull forms and demi-hull separations (S/L)

Main Dimension	Circular			Rectangular			Oval		
	S/L= 0,14	S/L= 0,16	S/L= 0,18	S/L= 0,14	S/L= 0,16	S/L= 0,18	S/L= 0,14	S/L= 0,16	S/L= 0,18
Δ [ton]	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27
∇ [m ³]	9,05	9,05	9,05	9,05	9,05	9,05	9,05	9,05	9,05
L [m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B _{overall} [m]	2,2	2,4	2,6	2,2	2,4	2,6	2,4	2,6	2,8
H [m]	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
T [m]	0,4	0,4	0,4	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
WPA [m ²]	23,9	23,9	23,9	23,8	23,8	23,8	23,9	23,9	23,9
C _p	0,94	0,94	0,94	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
C _b	0,94	0,94	0,94	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
C _m	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

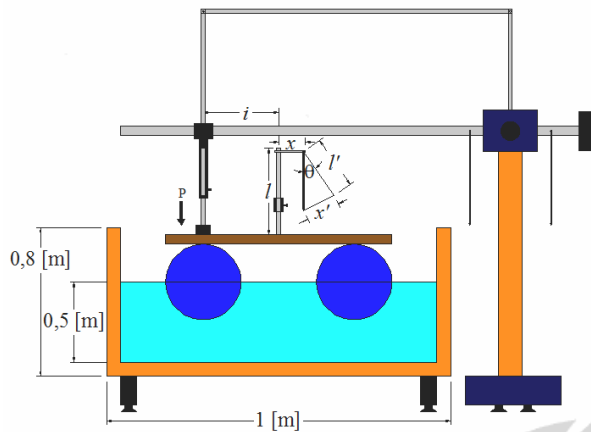


Figure 2 : Experimental setup

Figure 2. This setup consists of small dredger catamaran models, inclining test equipments, and plumbine is located at the midships of small dredger catamaran models. Table 1 obtained the characteristic hull foams. As known, an inclining test is performed on a ship to determine its stability, lightship weight, and the coordinates of its center gravity (KG) models. Various combinations of loading conditions loaded is shifted transversely across the upper deck of models. During inclining test, load is located on center of gravity (COG). The difference of KG are caused by various combination of loading conditions. The model is pulled (P) by the one of inclining test equipment variation with the distance of load is (i) are used to GM calculations. In each condition, the plumbine to move across the batten. The deflection is measured. The deflection is defined (x) and length of plumbine is defined (l) are using Eq. (2) and (3). A mean deflection is then used in the GM calculation. The model test is conducted in order to have metacentric values of the ship model (GM) at various angles of heel conditions (degree). Whereas to get various KG models values are using non dimensional Eq (7). The characteristics of small dredger information such as hydrostatic and cross curve information i.e. MK, KB, BM, and KN are using *Maxsurf 12.02 Software*. Inclining change of ship model test are define as the correction of ship stability are using Eq. (8).

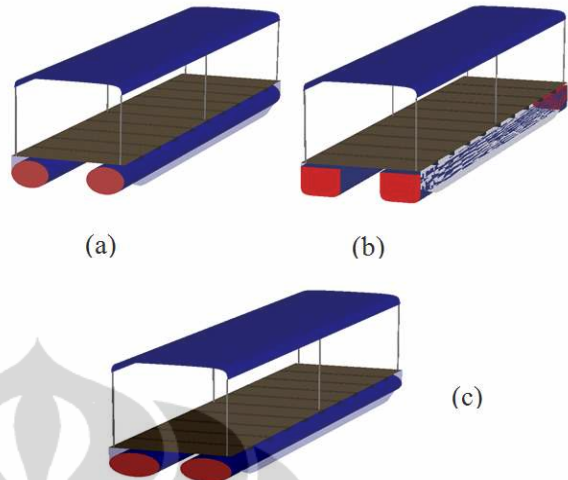


Figure 3 : Design model of Small dredger catamaran (a) circular (b) rectangular, and (c) oval, hull forms with Maxsurf Software Release 12.02

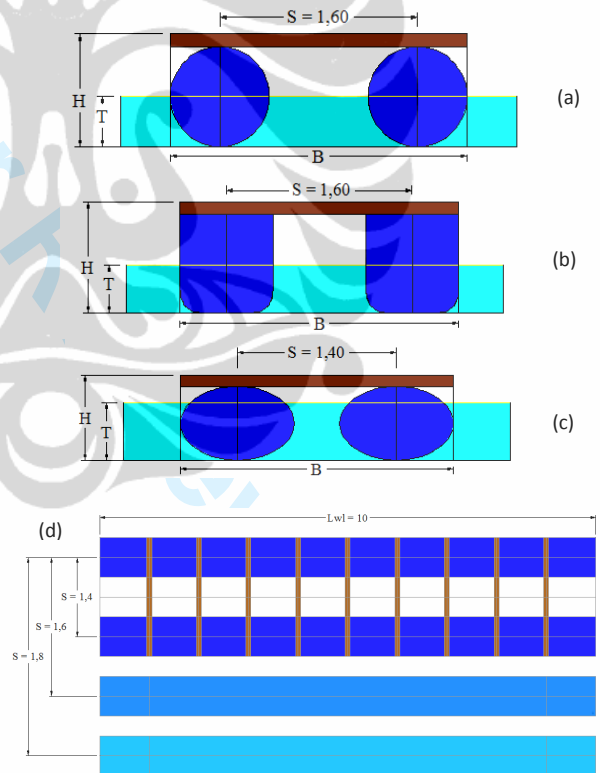


Figure 4 : Small dredger catamaran with full forms i.e. (a) circular (b) rectangular, (c) oval and (d) different demi-hulls separation (S/L) tested

Figure 3 & 4. Shows that design model of small dredger catamaran with hull forms and demi-hulls separation tested are using a maxsurf software release 12.02 was provided hydrostatic

dan characteristic information such as displacement and MK for the small dredger catamaran. The configuration of hull models are used displacement catamaran type (Δ) with symmetrical hull. The hull forms, circular ($\phi = 800$ mm), rectangular ($B = 800$ mm), and oval ($\phi_1 = 1000$ mm and $\phi_2 = 640$ mm). Main characteristics a small dredger catamaran with hull forms and different demi-hulls separation tested in the following table 1.

TEST ANALYZES

Small dredger catamaran in a stable condition if able to return to it's original position when subjected to inclined. A non linear equation of roll motion with quadratic nonlinear damping and quintic representation of nonlinear restoring is suggested by **Taylan [10]** a using Eq. (1).

$$(I_{xx} + A_{xx})\ddot{\phi} + B_{xx}(\dot{\phi}, \phi) + \Delta GZ(\phi) = \omega_e \alpha_m I_{xx} \cos \omega_e t \quad (1)$$

Here, $(I_{xx} + A_{xx})$ is the virtual moment of roll and B_{xx} is damping moment coefficeint, and ω_e is encountering frequency, α_m is maximum wave slope.

From the experimental in basin results, for the models the metracentric point have been calculated as :

$$\tan \theta = \frac{x}{l} \quad (2)$$

$$GM = \frac{P \times i}{\tan \theta \times \Delta} \quad (3)$$

Here, $\tan \theta$ is ship models while inclined and x is deflexion of plumbine and l is length of plumbine. (P) is pulled by the one of inclining test equipment variation, (i) is the distance of P and Δ is displacement of ship model.

To calculate a distance between the bottom ship with a transverse field is used metracentric point. The formula as follows :

$$KM = KB + BM - GM \quad (4)$$

Here, KM is distance from keel to metracentric point, KB, BM for hydrostatic calculation on

Maxsurf 12.02 software, GM is distance from center of gravity to metracentric point and KG is keel to center of gravity point for depends on loading characteristics of the ship.

The distance calculations a transverse field for the ship as inclined using a formula as follows :

$$KM \sin \theta = GM \sin \theta + KG \sin \theta \quad (5)$$

Here, $KM \sin \theta$ is distance from keel to metracentric point for the ship as inclined (θ), $GM \sin \theta$ is distance from center of gravity to metracentric point for the ship as inclined (θ) and $KG \sin \theta$ is keel to center of gravity point for depends on loading characteristics of the ship as inclined (θ).

While the stability characteristics can be determined by the following formulas the value of righting level complies with a base on minimum standars:

$$GZ = KN - GK \sin \theta \quad (6)$$

Here, GZ lever can be expressed in terms of metacentric point, i.e. $GZ = GM \sin \theta$. $KN = KM \sin \theta$ is see cross curve information will give the displacement of the ship.

whereas KG value are using non dimensional equation :

$$KG_2 = KG_1 \times \sqrt[3]{\frac{\Delta_2}{\Delta_1}} \quad (7)$$

Here, 1 is index for models and 2 is index for ship.

Inclining change of ship model test are define as the correction of ship stability with hull forms modification as :

$$SR(\%) = \left| \frac{GZ - GZ_o}{GZ_o} \right| \times 100\% \quad (8)$$

GZ_o is righting level before hull forms modification

RESULTS AND DISCUSSIONS

A comparison of catamaran hull forms applied for the small dredger catamaran ship model was made to evaluate the stability characteristics as shown in Figure 5-11.

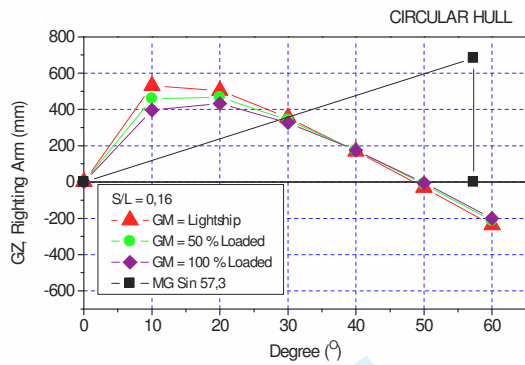


Figure 5 : The righting level of small dredger catamaran with circular catamaran hull

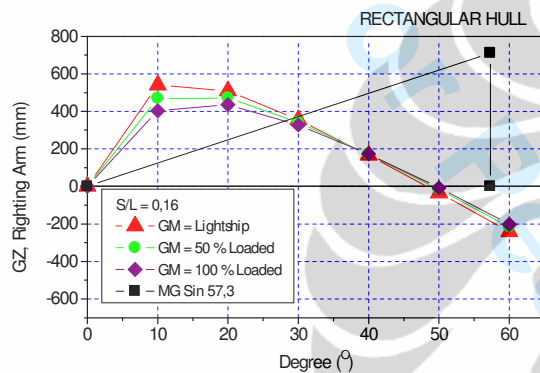


Figure 6 : The righting level of small dredger catamaran with rectangular catamaran hull

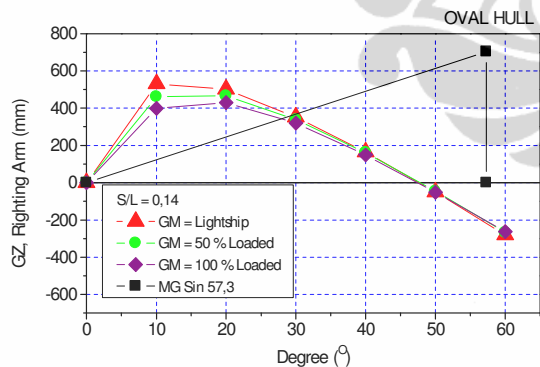


Figure 7 : The righting level of small dredger catamaran with oval catamaran hull

Figure 5, 6, & 7 shows that the relationship between angle of heel and righting level (GZ) on the different metacentric GM conditions for small dredger with various hull forms. It appears that for small dredger catamaran ship models by using various hull forms at a various of loading conditions. When the angle of heel further increased, values of GZ are smaller. Increasing of loading condition, have a value of GM is

relatively smaller. It can be said of the effects seen where the ship model become more stable up to lose bouyancy. It happens in each other hull forms. The distance above the base line of the point where the vertical line and the tangent intersect is the GM and it's indicates the righting level at 1 radian or $\theta = 57.3^\circ$.

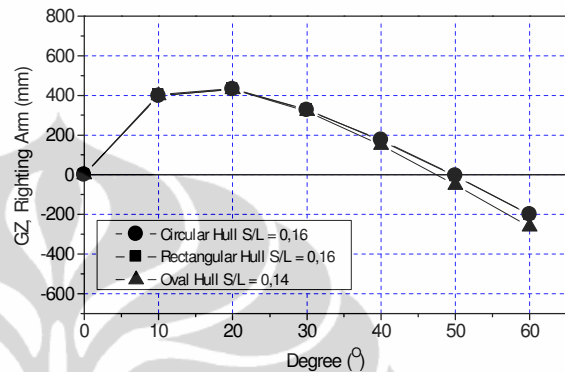


Figure 8 : The righting level of small dredger catamaran with hull forms in 100% loaded condition

Figure 8 shows that the comparison of hull forms as function of full loaded condition. The horizontal axis is angle of heel in terms of the angle of heeled ship models inclined. The ship model with three alternative hull forms. It appears that for the ship model by rectangular catamaran hull has a value of righting level is relatively higher when compared with circular and oval catamaran hull. It can be said of the effects seen where rectangular catamaran hull become more stable and have the best performance with others. However, the areas under the GZ curves are almost comparable. That means, among the hull forms posses the same amount of residual potential energy to surmount the heeling effects.

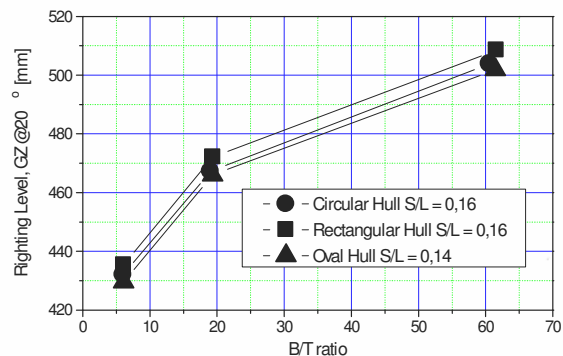


Figure : 9 Variation of righting level when heeled at 20°, with beam/draft ratio

Figure 9 shows that the relationship between righting level with a various of loading conditions and beam/draft ratio. For the purposes of stability assessment. However, it is the righting level about centre of bouyancy (COB) that generates the righting moment. For a monohull the difference is negligible, but for a catamaran the centre of bouyancy moves significantly towards the leeward side, and the increase in effective level must be taken into account. The stabilitiy characteristics for rectangular slightly higher than circular and oval catamaran hull. It is indicated that rectangular is the best hull form for small dredger catamaran to increase the stability characteristic that occurred. This presents the data for 20 degrees of heel.

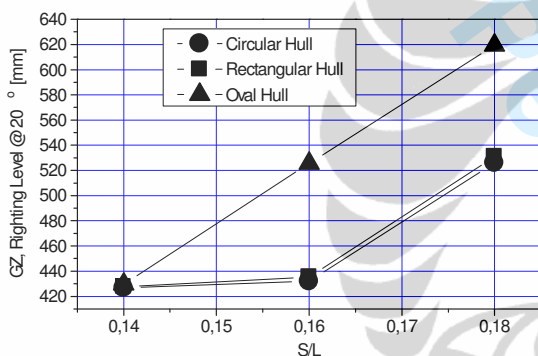


Figure : 10 Variation of righting level when heeled at 20°, with separation hull ratio

Figure 10 shows that variuos combinations of demi-hulls separations (S/L) are used on hull forms i.e. rectangular, oval, and circular catamran hull. This presents the data for 20 degrees of heel. It appears that increasing of demi-hulls separations futher increased, have a value of righting lever GZ is relatively higher. It can be said that for the ship model by oval catamaran hull have a value of righting level GZ is relatively higher on increasing of demi-hulls separations are compared with rectangular and circular catamaran hull. Increased linear which occurs only on oval catamaran hull this suggests that an increased demi-hulls separations is not directly proportional to an increased a value of righting lever GZ. Then on firgure 10 that on oval catamaran hull shows the best results. This occurs by addition of width with effect $\phi_1 = 1000$ mm and $\phi_2 = 640$ mm on oval catamaran hull..

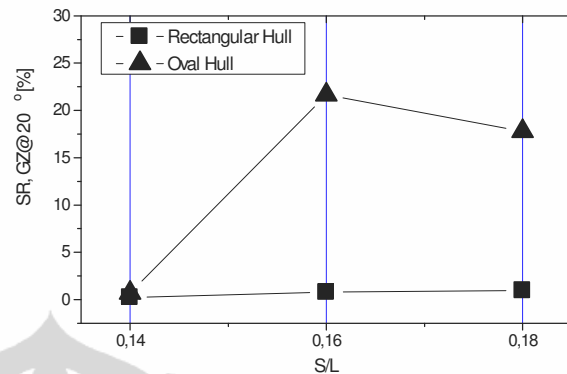


Figure : 11 Variation of righting level when heeled at 20°, with the correction of ship stability with hull forms modification ratio and demi-hulls separations ratio

Figure 11 shows that the effect of demi-hulls separations ratio can increase the correction of a value of righting lever GZ. Using a Eq. (8) can be gained for this study is up to $\pm 22\%$ for oval catamaran hull while on rectangular catamaran hull is up $\pm 2,5\%$. Increased demi-hulls separations (S/L) on rectangular catamaran hull will increase the stability of ship but on oval catamaran hull at ratio S/L = 0,16 there was a significant increased then also S/L = 0,18 was not a significant increased like on rectangular catamaran hull. This shows that by raising the ratio of demi-hulls separations didnt continue to increase the stability of ship. Overall increased demi-hulls separations (S/L) so it can be increased the righting level will increase the ship stability. This presents the data for 20 degrees of heel.

CONCLUSIONS

Considering of the experimental model test results was to compare statical and dynamical stability qualities of three hull forms considered for a smal dredger catamaran. These three nearly identical forms in terms of dimensions showed relatively small differences in terms of intact statical stability, both satisfying the selected stability criteria. The following conclusions can be stated that rectangular catamaran hull was seen that the areas under the GZ curves are almost comparable. Also, among amount of residual potential energy to surmount the heeling effects. Then a increasing of demi-hulls

separations can change significantly and are found to be positive influences on the ship stability characteristics. The test results found that the correction of ship stability using a hull form changes can be achieved up to $\pm 2, 5 \%$ on rectangular catamaran hull. Thus, using a demi-hulls separations changes can be achieved up to $\pm 22 \%$. Using a rectangular catamaran hull is the best hull form to get correction of ship stability.

ACKNOWLEDGMENTS

This work is supported by the Directorate for Research and Community Service, University of Indonesia (RUUI Research Community Service 2011), Jakarta. Indonesia.

REFERENCES

- [1] **Victor Dubrovsky et al.** 2005, *new types of sea-going multi hull with superior comfort level and safety*, Passenger Vessels for The New Millennium, Joint Meeting of Pasific Region Sections, and California.
- [2] **Lewis EV.** 1988, *Principles of Naval Architecture*, Vol 1, Society of Naval Architecture and Engineers, New york.
- [3] **De.kat J.O Pulling JR.** 1989, *the simulation of ship motions and capsizing in severe seas*. Transactions SNAME 97, 174-175.
- [4] **IMO**, *International Maritime Organization*. Code On Intact Stability For All Types of ships.2002.Res.A.749(18) as amaended by Res.MSC.75(69).
- [5] **Burcher R.K.** 1980, *the influence of hull shape on transverse stability*. Transactions RINA 122, 111-128.
- [6] **Taylan,M.** 2002, *Overall stability performance of alternative hull forms*. Ocean Engineering 29. Elsevier. 1663 - 1681.
- [7] **Molland.A.F**, et al. 1996, *Resistance Experiments on a Systematic Series of High Speed Displacement Catamaran Forms : Variations of Length-Displacement Ration and Breadth-Draught Ratio*. Vol 138, RINA Transaction.
- [8] **Taylan,M.** 1996, *Nonlinear roll motion of ships in beam waves*. *Bulletin of the Technical University of Istambul* 49. 459 – 479
- [9] **Taylan,M.** 1999. *Solution of the nonlienaar roll model by generalized asymptotic methode* . Ocean Engineering 26. Elsevier. 1169 - 1181
- [10] **Taylan,M.** 2000, *The effect of nonlinear damping and restoring in ship rolling*. Ocean Engineering 27. Elsevier. 921 - 932.

AUTHOR BIOGRAPHIES

Yanuar received his B.S. degree in Mechanical Engineering from Indonesia University, Indonesia, in 1986. He then received his Master of Eng. and Doctor of Eng. in Mechanical Engineering from University of Tokyo Metropolitan, Japan, in 1995 and 1998, respectively. Professor at Mechanical Engineering at University of Indonesia in Jakarta, Indonesia.

E-mail : yanuar@eng.ui.ac.id

Baqi,M received his B.S. degree in Naval Architecture Study Program, Mechanical Engineering Department from Indonesia University, Indonesia, in 2010. He has been Master of Eng Student in Mechanical Engineering from Indonesia University, Indonesia.

E-mail : baqi@eng.ui.ac.id

Firlya R received her Master of Eng. in Mechanical Engineering from Bandung Institute of Technologi, Bandung, Indonesia, in 2011.

E-mail : firlya@ubb.ac.id

Andi Jamaluddin received his M.Sc in Marine Technology from the university of Strathclyde, Glasgow, U.K in 1991. He now holds the current position of senior researcher at the Indonesian Hyrodynamics Laboratory (IHL). He has extensive experience with various research areas of ships and offshore structures.

E-mail : andi99@engineer.com

EKSPERIMENTAL SETUP

Skala	1	4
	Kapal	Model
Lwl [m]	10	2,50
B overall [m]	2,4	0,60
H [m]	0,9	0,23
T [m]	0,4	0,10
S [m]	1,6	0,40

Beban [Kg]	Kapal [kg]	Model [kg]
	5000	78,125
	10000	156,250

Main Item									
Item/ Dimension	Circular			Recangular			Oval		
	S/L = 0,14	S/L = 0,16	S/L = 0,18	S/L = 0,14	S/L = 0,16	S/L = 0,18	S/L = 0,14	S/L = 0,16	S/L = 0,18
Δ [ton]	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27
V [m ³]	9,05	9,05	9,05	9,05	9,05	9,05	9,05	9,05	9,05
Lwl [m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B overall [m]	2,2	2,4	2,6	2,2	2,4	2,6	2,2	2,4	2,6
H [m]	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
T [m]	0,4	0,4	0,4	0,393	0,393	0,393	0,394	0,394	0,394
WPA [m ²]	23,99	23,99	23,99	23,99	23,99	23,99	23,99	23,99	23,99
Cp	0,953	0,953	0,953	0,969	0,969	0,969	0,968	0,968	0,968
Cb	0,943	0,943	0,943	0,959	0,959	0,959	0,958	0,958	0,958
Cm	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

CIRCULAR**Skala Perbandingan Weight (kg)**

Δ (kg)	Kapal [kg]	Model [kg]
0 / 0 kg	8270	129,219
50/ 5000kg	8770	137,031
100/ 10000 kg	9270	144,844

Circular S/L = 0,14

Skala Perbandingan Metracentra - Keel

KM	Kapal [m]	Model [mm]
0	1,606	8,363
50	1,542	8,031
100	1,478	7,698

Data Hydrostatic

Δ [ton]	9,279	8,190	7,109	6,038	4,977	3,931	2,901	1,891	0,917
V [m ³]	9,053	7,990	6,936	5,891	4,856	3,835	2,830	1,845	0,895
T [m]	0,4	0,356	0,311	0,267	0,222	0,178	0,133	0,089	0,044
Lwl [m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B overall [m]	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
			30,455	29,211	27,9	26,503	24,988	23,763	21,915
Wetted Area [m ²]	32,883	31,643							
Waterpl. Area [m ²]	24	23,801	23,662	23,467	23,199	22,828	22,312	22,048	21,106
Prismatic Coeff.	0,953	0,945	0,938	0,929	0,919	0,908	0,893	0,873	0,847
Block Coeff.	0,943	0,936	0,929	0,92	0,91	0,899	0,884	0,864	0,839
Midship Area Coeff.	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
KB [m]	0,206	0,183	0,16	0,137	0,114	0,091	0,068	0,045	0,023
KG [m]	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
BMt [m]	1,273	1,433	1,643	1,921	2,306	2,875	3,807	5,762	11,354
BML [m]	22,097	24,428	27,671	31,833	37,401	45,323	57,747	85,531	155,934
GML [m]	0,578	0,716	0,903	1,158	1,52	2,066	2,976	4,908	10,477
GML [m]	21,403	23,71	26,931	31,07	36,615	44,515	56,915	84,677	155,057
KMt [m]	1,478	1,616	1,803	2,058	2,42	2,966	3,876	5,808	11,377
KML [m]	22,303	24,61	27,831	31,97	37,515	45,415	57,815	85,577	155,957
Immersion (TPc) [ton/cm]	0,246	0,244	0,243	0,241	0,238	0,234	0,229	0,226	0,216
MTc [ton/cm]	0,199	0,194	0,191	0,188	0,182	0,175	0,165	0,16	0,142
Inersia x [m ⁴]	11,524	11,450	11,395	11,316	11,197	11,026	10,775	10,630	10,160

Circular S/L = 0,16

Skala Perbandingan Metacentra - Keel

KM	Kapal [m]	Model [mm]
0	1,607	8,372
50	1,541	8,024
100	1,474	7,677

Data Hydrostatic

Δ [ton]	9,279	8,190	7,109	6,038	4,977	3,931	2,901	1,891	0,917
V [m ³]	9,053	7,990	6,936	5,891	4,856	3,835	2,830	1,845	0,895
T [m]	0,4	0,356	0,311	0,267	0,222	0,178	0,133	0,089	0,044
Lwl [m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B overall [m]	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Wetted Area [m ²]	32,883	31,643	30,455	29,211	27,9	26,503	24,988	23,763	21,915
Waterpl. Area [m ²]	24	23,801	23,662	23,467	23,199	22,828	22,312	22,048	21,106
Prismatic Coeff.	0,953	0,945	0,938	0,929	0,919	0,908	0,893	0,873	0,847
Block Coeff.	0,943	0,936	0,929	0,92	0,91	0,899	0,884	0,864	0,839
Midship Area Coeff.	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
KB [m]	0,202	0,179	0,157	0,135	0,112	0,09	0,067	0,045	0,022
KG [m]	0,785	0,785	0,785	0,785	0,785	0,785	0,785	0,785	0,785
BMt [m]	1,272	1,438	1,654	1,942	2,342	2,935	3,905	5,808	11,617
BML [m]	22,023	24,667	28,16	32,732	38,938	47,839	61,78	87,684	166,773
GMt [m]	0,688	0,832	1,026	1,291	1,669	2,24	3,187	5,068	10,854
GML [m]	21,44	24,061	27,531	32,081	38,265	47,144	61,063	86,944	166,01
KMt [m]	1,474	1,618	1,811	2,076	2,455	3,025	3,973	5,853	11,639
KML [m]	22,225	24,847	28,317	32,866	39,05	47,929	61,848	87,729	166,795
Immersion (TPc) [ton/cm]	0,246	0,245	0,244	0,243	0,242	0,239	0,235	0,228	0,221
MTc [ton/cm]	0,199	0,198	0,197	0,195	0,192	0,187	0,179	0,165	0,153
Inersia x [m ⁴]	11,515	11,490	11,471	11,440	11,372	11,256	11,052	10,715	10,395

Circular S/L = 0,18

Skala Perbandingan Metracentra -Keel

KM	Kapal [m]	Model [mm]
0	2,106	10,968
50	1,905	9,924
100	1,705	8,880

Data Hydrostatic

Δ [ton]	10,020	8,836	7,668	6,510	5,366	4,238	3,128	2,039	0,990
V [m ³]	9,776	8,620	7,481	6,351	5,235	4,135	3,052	1,989	0,966
T [m]	0,4	0,356	0,311	0,267	0,222	0,178	0,133	0,089	0,044
Lwl [m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B overall [m]	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
Wetted Area [m ²]	34,884	33,594	32,374	31,092	29,734	28,284	26,709	25,483	23,568
Waterpl. Area [m ²]	26	25,752	25,581	25,348	25,033	24,609	24,032	23,769	22,759
Prismatic Coeff.	0,948	0,941	0,934	0,925	0,915	0,903	0,889	0,869	0,844
Block Coeff.	0,939	0,932	0,925	0,916	0,906	0,894	0,88	0,86	0,836
Midship Area Coeff.	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
KB [m]	0,206	0,183	0,16	0,137	0,114	0,091	0,068	0,045	0,023
KG [m]	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
BMt [m]	1,499	1,697	1,952	2,29	2,76	3,453	4,588	6,921	13,614
BML [m]	22,178	24,435	27,627	31,707	37,152	44,893	57,043	84,652	154,211
Gmt [m]	1,215	1,389	1,622	1,937	2,384	3,055	4,166	6,477	13,147
GML [m]	21,894	24,128	27,297	31,354	36,776	44,494	56,621	84,207	153,744
KMt [m]	1,705	1,879	2,112	2,427	2,874	3,545	4,656	6,967	13,637
KML [m]	22,384	24,618	27,787	31,844	37,266	44,984	57,111	84,697	154,234
Immersion (TPc) [ton/cm]	0,267	0,264	0,262	0,26	0,257	0,252	0,246	0,244	0,233
MTc [ton/cm]	0,219	0,213	0,209	0,204	0,197	0,189	0,177	0,172	0,152
Inersia x [m ⁴]	14,654	14,629	14,603	14,544	14,449	14,277	14,001	13,768	13,149

RECTANGULAR**Skala Perbandingan Weight (kg)**

Δ (kg)	Kapal [ton]	Model [kg]
0 / 0 kg	8270	129,219
50/ 5000kg	8770	137,031
100/ 10000 kg	9270	144,844

Rectangular S/L = 0,14

Skala Perbandingan Metracentra - Keel

KM	Kapal [m]	Model [mm]
0	1,600	8,333
50	1,536	7,997
100	1,471	7,661

Data Hydrostatic

Δ [ton]	9,277	8,208	7,147	6,093	5,048	4,011	2,982	1,962	0,962
V [m ³]	9,051	8,008	6,973	5,944	4,925	3,913	2,909	1,914	0,939
T [m]	0,393	0,349	0,306	0,262	0,218	0,175	0,131	0,087	0,044
Lwl [m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B overall [m]	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
			30,94	29,721	28,452	27,134	25,765	24,307	23,057
Wetted Area [m ²]	33,293	32,11							
Waterpl. Area [m ²]			23,679	23,523	23,338	23,114	22,84	22,429	22,183
	23,96	23,803							
Prismatic Coeff.	0,969	0,965	0,960	0,955	0,949	0,942	0,934	0,922	0,904
Block Coeff.	0,959	0,955	0,95	0,945	0,94	0,933	0,925	0,913	0,895
Midship Area Coeff.	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
KB [m]	0,2	0,178	0,155	0,133	0,111	0,089	0,066	0,044	0,022
KG [m]	0,884	0,884	0,884	0,884	0,884	0,884	0,884	0,884	0,884
BMt [m]	1,272	1,43	1,636	1,91	2,292	2,864	3,815	5,702	11,466
BML [m]	21,993	24,382	27,584	31,765	37,533	46,058	60,124	87,34	172,636
GMT [m]	0,587	0,723	0,907	1,159	1,519	2,068	2,998	4,862	10,604
GML [m]	21,309	23,675	26,855	31,014	36,76	45,262	59,307	86,5	171,773
KMt [m]	1,471	1,608	1,792	2,043	2,403	2,952	3,882	5,746	11,488
KML [m]	22,193	24,559	27,739	31,898	37,644	46,147	60,191	87,385	172,658
Immersion (TPc) [ton/cm]	0,246	0,244	0,243	0,241	0,239	0,237	0,234	0,23	0,227
MTc [ton/cm]	0,198	0,194	0,192	0,189	0,186	0,182	0,177	0,17	0,165
Inersia x [m ⁴]	11,513	11,451	11,407	11,354	11,288	11,207	11,099	10,914	10,762

Rectangular S/L = 0,16

Skala Perbandingan Metacentra - Keel

KM	Kapal [m]	Model [mm]
0	1,607	8,368
50	1,540	8,020
100	1,473	7,672

Data Hydrostatic

Δ [ton]	9,277	8,208	7,147	6,093	5,048	4,011	2,982	1,962	0,962
V [m ³]	9,051	8,008	6,973	5,944	4,925	3,913	2,909	1,914	0,939
T [m]	0,393	0,349	0,306	0,262	0,218	0,175	0,131	0,087	0,044
Lwl [m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B overall [m]	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Wetted Area [m ²]	33,293	32,11	30,94	29,721	28,452	27,134	25,765	24,307	23,057
Waterpl. Area [m ²]	23,96	23,803	23,679	23,523	23,338	23,114	22,84	22,429	22,183
Prismatic Coeff.	0,969	0,965	0,960	0,955	0,949	0,942	0,934	0,934	0,934
Block Coeff.	0,959	0,955	0,95	0,945	0,94	0,933	0,925	0,925	0,925
Midship Area Coeff.	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
KB [m]	0,2	0,178	0,155	0,133	0,111	0,089	0,066	0,044	0,022
KG [m]	0,884	0,884	0,884	0,884	0,884	0,884	0,884	0,884	0,884
BMt [m]	1,273	1,438	1,65	1,934	2,333	2,93	3,928	5,905	11,84
BML [m]	21,993	24,382	27,584	31,765	37,533	46,058	60,124	87,34	172,636
GMt [m]	0,588	0,731	0,921	1,183	1,559	2,135	3,111	5,065	10,978
GML [m]	21,309	23,675	26,855	31,014	36,76	45,262	59,307	86,5	171,773
KMt [m]	1,473	1,615	1,805	2,067	2,443	3,019	3,995	5,949	11,863
KML [m]	22,193	24,559	27,739	31,898	37,644	46,147	60,191	87,385	172,658
Immersion (TPc) [ton/cm]	0,246	0,244	0,243	0,241	0,239	0,237	0,234	0,23	0,227
MTc [ton/cm]	0,198	0,194	0,192	0,189	0,186	0,182	0,177	0,17	0,165
Inersia x [m ⁴]	11,522	11,515	11,505	11,496	11,490	11,466	11,428	11,303	11,113

Rectangular S/L = 0,18

Skala Perbandingan Metacentra - Keel

KM	Kapal [m]	Model [mm]
0	2,106	10,968
50	1,905	9,924
100	1,705	8,880

Data Hydrostatic

Δ [ton]	10,020	8,836	7,668	6,510	5,366	4,238	3,128	2,039	0,990
V [m ³]	9,776	8,620	7,481	6,351	5,235	4,135	3,052	1,989	0,966
T [m]	0,393	0,349	0,306	0,262	0,218	0,175	0,131	0,087	0,044
Lwl [m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B overall [m]	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
Wetted Area [m ²]	34,884	33,594	32,374	31,092	29,734	28,284	26,709	25,483	23,568
Waterpl. Area [m ²]	26	25,752	25,581	25,348	25,033	24,609	24,032	23,769	22,759
Prismatic Coeff.	0,948	0,941	0,934	0,925	0,915	0,903	0,889	0,869	0,844
Block Coeff.	0,939	0,932	0,925	0,916	0,906	0,894	0,88	0,86	0,836
Midship Area Coeff.	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
KB [m]	0,206	0,183	0,16	0,137	0,114	0,091	0,068	0,045	0,023
KG [m]	0,884	0,884	0,884	0,884	0,884	0,884	0,884	0,884	0,884
BMt [m]	1,499	1,697	1,952	2,29	2,76	3,453	4,588	6,921	13,614
BML [m]	22,178	24,435	27,627	31,707	37,152	44,893	57,043	84,652	154,211
GMt [m]	0,821	0,995	1,227	1,543	1,99	2,66	3,772	6,083	12,753
GML [m]	21,5	23,734	26,902	30,959	36,382	44,1	56,227	83,813	153,349
KMt [m]	1,705	1,879	2,112	2,427	2,874	3,545	4,656	6,967	13,637
KML [m]	22,384	24,618	27,787	31,844	37,266	44,984	57,111	84,697	154,234
Immersion (TPc) [ton/cm]	0,267	0,264	0,262	0,26	0,257	0,252	0,246	0,244	0,233
MTc [ton/cm]	0,215	0,21	0,206	0,202	0,195	0,187	0,176	0,171	0,152
Inersia x [m ⁴]	14,654	14,629	14,603	14,544	14,449	14,277	14,001	13,768	13,149

OVAL 0,8865

Skala Perbandingan Weight (kg)

Δ (kg)	Kapal [ton]	Model [kg]
0 / 0 kg	8270	129,219
50/ 5000kg	8770	137,031
100/ 10000 kg	9270	144,844

Oval S/L = 0,12

Skala Perbandingan Metracentra - Keel

KM	Kapal [m]	Model [mm]
0	1,602	8,345
50	1,537	8,006
100	1,472	7,667

Data Hydrostatic

Δ [ton]	9,284	8,210	7,139	6,073	5,013	3,962	2,924	1,903	0,919
V [m ³]	9,058	8,010	6,965	5,925	4,891	3,865	2,853	1,857	0,897
T [m]	0,394	0,35	0,306	0,263	0,219	0,175	0,131	0,088	0,044
Lwl [m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B overall [m]	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
			30,707	29,526	28,297	26,994	25,563	23,918	22,384
Wetted Area [m ²]	32,998	31,852							
Waterpl. Area [m ²]	23,977	23,899	23,837	23,74	23,581	23,323	22,9	22,22	21,586
Prismatic Coeff.	0,968	0,963	0,957	0,949	0,940	0,928	0,914	0,893	0,862
Block Coeff.	0,958	0,953	0,947	0,94	0,931	0,919	0,905	0,884	0,853
Midship Area Coeff.	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
KB [m]	0,202	0,179	0,157	0,135	0,112	0,09	0,067	0,045	0,022
KG [m]	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886
BMt [m]	1,27	1,43	1,639	1,916	2,301	2,87	3,803	5,641	11,363
BML [m]	22,023	24,667	28,16	32,732	38,938	47,839	61,78	87,684	166,773
GMt [m]	0,586	0,723	0,909	1,164	1,526	2,073	2,983	4,8	10,499
GML [m]	21,338	23,96	27,43	31,98	38,163	47,043	60,961	86,842	165,909
KMt [m]	1,472	1,61	1,796	2,051	2,413	2,96	3,87	5,686	11,386
KML [m]	22,225	24,847	28,317	32,866	39,05	47,929	61,848	87,729	166,795
Immersion (TPc) [ton/cm]	0,246	0,245	0,244	0,243	0,242	0,239	0,235	0,228	0,221
MTc [ton/cm]	0,198	0,197	0,196	0,194	0,191	0,186	0,178	0,165	0,153
Inersia x [m ⁴]	11,503	11,454	11,415	11,352	11,254	11,094	10,849	10,473	10,190

Oval S/L = 0,14

Skala Perbandingan Metracentra -Keel

KM	Kapal [m]	Model [mm]
0	1,610	8,385
50	1,542	8,031
100	1,474	7,677

Data Hydrostatic

Δ [ton]	9,284	8,210	7,139	6,073	5,013	3,962	2,924	1,903	0,919
V [m ³]	9,058	8,010	6,965	5,925	4,891	3,865	2,853	1,857	0,897
T [m]	0,394	0,35	0,306	0,263	0,219	0,175	0,131	0,088	0,044
Lwl [m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B overall [m]	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
			30,707	29,526	28,297	26,994	25,563	23,918	22,384
Wetted Area [m ²]	32,998	31,852							
Waterpl. Area [m ²]	23,977	23,899	23,837	23,74	23,581	23,323	22,9	22,22	21,586
Prismatic Coeff.	0,968	0,963	0,957	0,949	0,940	0,928	0,914	0,893	0,862
Block Coeff.	0,958	0,953	0,947	0,94	0,931	0,919	0,905	0,884	0,853
Midship Area Coeff.	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
KB [m]	0,202	0,179	0,157	0,135	0,112	0,09	0,067	0,045	0,022
KG [m]	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886
BMt [m]	1,272	1,438	1,654	1,942	2,342	2,935	3,905	5,808	11,617
BML [m]	22,023	24,667	28,16	32,732	38,938	47,839	61,78	87,684	166,773
GMt [m]	0,588	0,732	0,925	1,19	1,569	2,139	3,087	4,967	10,753
GML [m]	21,339	23,961	27,431	31,98	38,164	47,043	60,962	86,843	165,909
KMt [m]	1,474	1,618	1,811	2,076	2,455	3,025	3,973	5,853	11,639
KML [m]	22,225	24,847	28,317	32,866	39,05	47,929	61,848	87,729	166,795
Immersion (TPc) [ton/cm]	0,246	0,245	0,244	0,243	0,242	0,239	0,235	0,228	0,221
MTc [ton/cm]	0,198	0,197	0,196	0,194	0,191	0,186	0,178	0,165	0,153
Inersia x [m ⁴]	11,521	11,518	11,520	11,506	11,454	11,345	11,140	10,783	10,418

Oval S/L = 0,16

Skala Perbandingan Metracentra - Keel

KM	Kapal [m]	Model [mm]
0	1,610	8,385
50	1,542	8,031
100	1,474	7,677

Data Hydrostatic

Δ [ton]	9,284	8,210	7,139	6,073	5,013	3,962	2,924	1,903	0,919
V [m ³]	9,058	8,010	6,965	5,925	4,891	3,865	2,853	1,857	0,897
T [m]	0,394	0,35	0,306	0,263	0,219	0,175	0,131	0,088	0,044
Lwl [m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B overall [m]	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Wetted Area [m ²]	32,998	31,852	30,707	29,526	28,297	26,994	25,563	23,918	22,384
Waterpl. Area [m ²]	23,977	23,899	23,837	23,74	23,581	23,323	22,9	22,22	21,586
Prismatic Coeff.	0,968	0,963	0,957	0,949	0,940	0,928	0,914	0,893	0,862
Block Coeff.	0,958	0,953	0,947	0,94	0,931	0,919	0,905	0,884	0,853
Midship Area Coeff.	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
KB [m]	0,202	0,179	0,157	0,135	0,112	0,09	0,067	0,045	0,022
KG [m]	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
BMt [m]	1,272	1,438	1,654	1,942	2,342	2,935	3,905	5,808	11,617
BML [m]	22,023	24,667	28,16	32,732	38,938	47,839	61,78	87,684	166,773
GMt [m]	0,574	0,718	0,911	1,176	1,555	2,125	3,073	4,953	10,739
GML [m]	21,325	23,947	27,417	31,966	38,15	47,029	60,948	86,829	165,895
KMt [m]	1,474	1,618	1,811	2,076	2,455	3,025	3,973	5,853	11,639
KML [m]	22,225	24,847	28,317	32,866	39,05	47,929	61,848	87,729	166,795
Immersion (TPc) [ton/cm]	0,246	0,245	0,244	0,243	0,242	0,239	0,235	0,228	0,221
MTc [ton/cm]	0,198	0,197	0,196	0,194	0,191	0,186	0,178	0,165	0,152
Inersia x [m ⁴]	11,521	11,518	11,520	11,506	11,454	11,345	11,140	10,783	10,418

Oval S/L = 0,18

Skala Perbandingan Metracentra - Keel

KM	Kapal [m]	Model [mm]
0	0,968	5,041
50	1,458	7,596
100	1,949	10,151

Data Hydrostatic

Δ [ton]	10,730	9,481	8,238	7,002	5,777	4,565	3,370	2,195	1,063
V [m ³]	10,468	9,250	8,037	6,831	5,636	4,454	3,288	2,141	1,037
T [m]	0,394	0,35	0,306	0,263	0,219	0,175	0,131	0,088	0,044
Lwl [m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B overall [m]	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
Wetted Area [m ²]	36,979	35,754	34,546	33,288	31,966	30,556	29,004	27,224	25,691
Waterpl. Area [m ²]	27,958	27,801	27,676	27,502	27,251	26,885	26,342	25,527	24,892
Prismatic Coeff.	0,959	0,953	0,945	0,938	0,928	0,917	0,903	0,882	0,855
Block Coeff.	0,949	0,943	0,936	0,929	0,919	0,908	0,894	0,873	0,846
Midship Area Coeff.	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
KB [m]	0,202	0,18	0,157	0,135	0,112	0,09	0,067	0,045	0,022
KG [m]	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886	0,886
BMt [m]	1,747	1,977	2,274	2,671	3,224	4,042	5,38	8,006	15,989
BML [m]	22,188	24,704	28,073	32,447	38,353	46,804	60,06	84,823	162,43
GMt [m]	1,063	1,27	1,546	1,92	2,45	3,246	4,562	7,165	15,125
GML [m]	21,504	23,998	27,344	31,696	37,579	46,008	59,241	83,982	161,566
KMt [m]	1,949	2,156	2,432	2,806	3,336	4,132	5,448	8,051	16,011
KML [m]	22,39	24,884	28,23	32,582	38,465	46,894	60,127	84,868	162,452
Immersion (TPc) [ton/cm]	0,287	0,285	0,284	0,282	0,279	0,276	0,27	0,262	0,255
MTc [ton/cm]	0,231	0,228	0,225	0,222	0,217	0,21	0,2	0,184	0,172
Inersia x [m ⁴]	18,288	18,287	18,276	18,246	18,171	18,002	17,688	17,145	16,582

Circular

Lightship		S/L = 1,4	
GM [mm]	4	GM [m]	0,70
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	44	l [mm]	200
tan θ	0,08	θ	4,84

Lightship		S/L = 1,6	
GM [mm]	4	GM [m]	0,68
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	45	l [mm]	200
tan θ	0,09	θ	4,98

Lightship		S/L = 1,8	
GM [mm]	5	GM [m]	0,88
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	35	l [mm]	200
tan θ	0,07	θ	3,84

Muatan 50%		S/L = 1,4	
GM [mm]	4	GM [m]	0,67
Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	43	l [mm]	200
tan θ	0,08	θ	4,75

Muatan 50%		S/L = 1,6	
GM [mm]	4	GM [m]	0,68
Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	43	l [mm]	200
tan θ	0,08	θ	4,70

Muatan 50%		S/L = 1,8	
GM [mm]	4	GM [m]	0,86
Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	34	l [mm]	200
tan θ	0,07	θ	3,75

Muatan 100%		S/L = 1,4	
GM [mm]	3	GM [m]	0,65
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	43	l [mm]	200
tan θ	0,08	θ	4,70

Muatan 100%		S/L = 1,6	
GM [mm]	3	GM [m]	0,65
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	42	l [mm]	200
tan θ	0,08	θ	4,65

Muatan 100%		S/L = 1,8	
GM [mm]	4	GM [m]	0,83
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	33	l [mm]	200
tan θ	0,06	θ	3,67

Kotak

Lightship		S/L = 1,4	
GM [mm]	4	GM [m]	0,70
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	44	l [mm]	200
tan θ	0,09	θ	4,86

Lightship		S/L = 1,6	
GM [mm]	4	GM [m]	0,71
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	43	l [mm]	200
tan θ	0,08	θ	4,78

Lightship		S/L = 1,8	
GM [mm]	5	GM [m]	0,88
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	35	l [mm]	200
tan θ	0,07	θ	3,84

Muatan 50%		S/L = 1,4	
GM [mm]	3	GM [m]	0,67
Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	43	l [mm]	200
tan θ	0,08	θ	4,77

Muatan 50%		S/L = 1,6	
GM [mm]	4	GM [m]	0,68
Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	43	l [mm]	200
tan θ	0,08	θ	4,69

Muatan 50%		S/L = 1,8	
GM [mm]	4	GM [m]	0,86
Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	34	l [mm]	200
tan θ	0,07	θ	3,74

Muatan 100%		S/L = 1,4	
GM [mm]	3	GM [m]	0,64
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	43	l [mm]	200
tan θ	0,08	θ	4,71

Muatan 100%		S/L = 1,6	
GM [mm]	3	GM [m]	0,65
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	42	l [mm]	200
tan θ	0,08	θ	4,63

Muatan 100%		S/L = 1,8	
GM [mm]	4	GM [m]	0,83
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	33	l [mm]	200
tan θ	0,06	θ	3,67

Oval

Lightship	S/L = 1,4		
GM [mm]	4	GM [m]	0,70
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	44	l [mm]	200
tan θ	0,08	θ	4,83

Lightship	S/L = 1,6		
GM [mm]	5	GM [m]	0,88
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	35	l [mm]	200
tan θ	0,07	θ	3,88

Lightship	S/L = 1,8		
GM [mm]	5	GM [m]	1,05
Δ [kg]	129,22	Δ [kg]	8270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	29	l [mm]	200
tan θ	0,06	θ	3,24

Muatan 50%	S/L = 1,4		
GM [mm]	3,52	GM [m]	0,68
Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	43	l [mm]	200
tan θ	0,08	θ	4,74

Muatan 50%	S/L = 1,6		
GM [mm]	4,42	GM [m]	0,85
Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	34	l [mm]	200
tan θ	0,07	θ	3,78

Muatan 50%	S/L = 1,8		
GM [mm]	5,32	GM [m]	1,02
Δ [kg]	137,03	Δ [kg]	8770,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	29	l [mm]	200
tan θ	0,05	θ	3,14

Muatan 100%	S/L = 1,4		
GM [mm]	3,33	GM [m]	0,64
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	43	l [mm]	200
tan θ	0,08	θ	4,74

Muatan 100%	S/L = 1,6		
GM [mm]	4,23	GM [m]	0,81
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	34	l [mm]	200
tan θ	0,07	θ	3,73

Muatan 100%	S/L = 1,8		
GM [mm]	5,13	GM [m]	0,99
Δ [kg]	144,84	Δ [kg]	9270,00
l [mm]	520	P [kg]	0,20
x [mm]	28	l [mm]	200
tan θ	0,05	θ	3,08