



UNIVERSITAS INDONESIA

**SIMULASI UJI STABILITAS STATIS KAPAL
DENGAN METODE TEORI
KAPAL MODEL**

SKRIPSI

**ANDRE YOHANES HAMONANGAN HUTABARAT
0405080017**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPOK
DESEMBER 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**SIMULASI UJI STABILITAS STATIS KAPAL
DENGAN METODE TEORI
KAPAL MODEL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ANDRE YOHANES HAMONANGAN HUTABARAT
0405080017**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN TEKNIK PERKAPALAN
DEPOK
DESEMBER 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Andre Yohanes Hamonangan Hutabarat

NPM : 0405080017

Tanda Tangan :

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Andre Yohanes Hamonangan Hutabarat
NPM : 0405080017
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul Skripsi : Simulasi Uji Stabilitas Statis Kapal
Dengan Metode Teori Kapal Model

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. M.A. Talahatu, MT ()

Penguji : Ir. Hadi Tresna Wibowo ()

Penguji : Dr. Ir. Sunaryo ()

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

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : Desember 2009

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perkapalan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Bapak M.A. Talahatu, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Bapak Sunaryo, Hadi Tresno Wibowo, dan Bapak Yanuar, selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran pada skripsi ini;
- (3) Orang tua dan keluarga saya tercinta yang telah memberikan bantuan berupa dukungan material, moral, dan doa;
- (4) **Tim kelap –kelip** selaku kelompok seperjuangan dalam meraih kelulusan yang terdiri dari Hilmi dan Pades yang telah sangat membantu penulis mencari, mengumpulkan, dan mengolah data, serta membantu proses penyusunan skripsi ini (terima kasih kawan);
- (5) Rendi Prima (terima kasih bos buat laptop perjuangannya), M Erish 'Kabun' Azhari, Yohanes 'Yobi' Kurniawan, Yohanes 'Killus' ST, Grace Amelda selaku teman satu angkatan kapal 2005 yang berjuang bersama – sama dalam penyelesaian skripsi pada semester yang berat ini;
- (6) Dipta kapal 2006 dan Rofik kapal 2005 yang telah membantu penulis dalam pembuatan desain Maxsurf;
- (7) Para segenap pegawai DTM UI yang telah membantu sehingga percobaan dapat berlangsung dan memberikan dukungan akan pengerjaan skripsi ini;
- (8) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini (laode Moh Isnani);

- (9) Teman-teman teknik mesin angkatan 2005, khususnya teman-teman satu program studi teknik perkapalan 2005; dan
- (10) Semua teman-teman yang sudah dengan suka rela menanyakan kabar dari skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Kupersembahkan skripsi ini kepada Tuhan Yang Maha Esa, serta termakasih kepada orang tua ku tercinta, dan sebagai wujud darma baktiku pada almamater.

Depok, Desember 2009

Andre Yohanes Hamonangan Hutabarat

NPM : 040508000017

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

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

Nama : Andre Yohanes Hamonangan Hutabarat
NPM : 0405080017
Program Studi : Teknik Perkapalan
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

**SIMULASI UJI STABILITAS STATIS KAPAL
DENGAN METODE TEORI KAPAL MODEL**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan 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 : Desember 2009

Yang menyatakan,

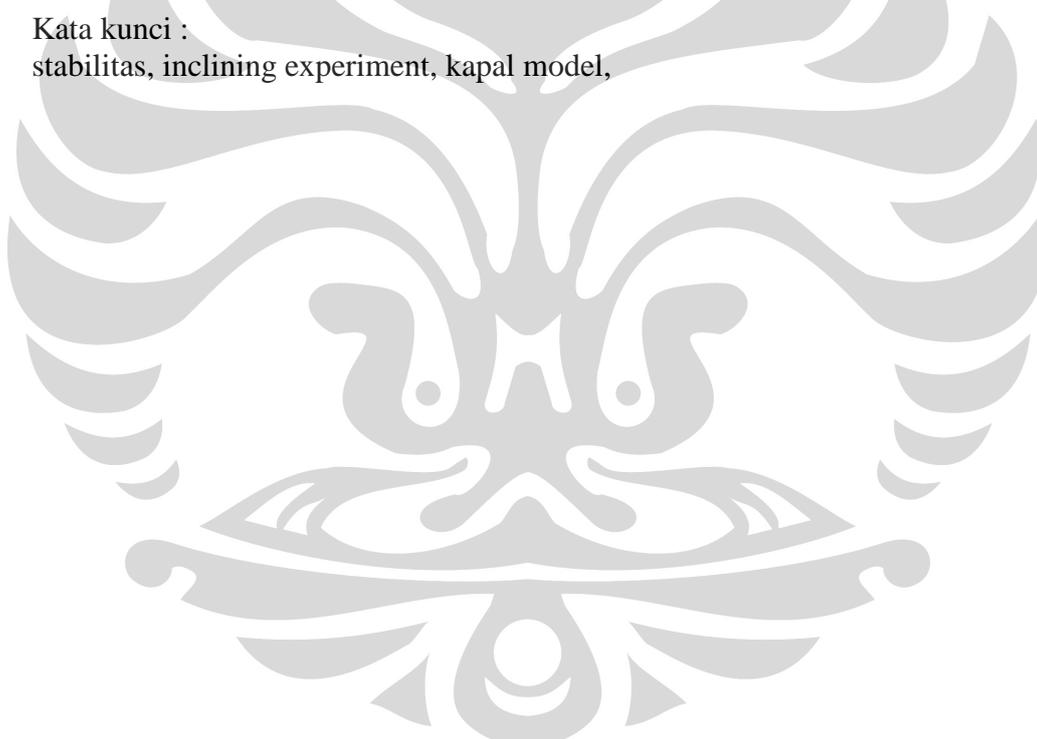
(Andre Yohanes Hamonangan Hutabarat)

ABSTRAK

Nama : Andre Yohanes Hamonangan Hutabarat
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul : Simulasi Uji Stabilitas Kapal Statis Dengan Metode Teori Kapal Model

Adalah hal mutlak faktor keselamatan bagi setiap alat transportasi, tidak terlepas dengan armada transportasi air yaitu kapal. Salah satu faktor yang berpengaruh besar dalam keselamatan adalah kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semula yang disebut stabilitas kapal. Pengujian dimaksudkan untuk mengetahui nilai $MG \sin \alpha$ atau lengan Koppel kapal model milik Teknik Perkapalan DTM FTUI serta sebagai referensi modul pengujian stabilitas statis kapal model pada lab kapal Teknik Perkapalan DTM FTUI. Metode yang dilakukan adalah menggambar kembali desain dari kapal model dengan menggunakan software Auto Cad 2006 dan Maxsurf PRO. Setelah dilakukan perhitungan Hydrostatic Curve dan Cross Curve maka dilakukan inclining experiment. Hasil yang didapat adalah nilai stabilitas statis kapal model DTM FTUI.

Kata kunci :
stabilitas, inclining experiment, kapal model,

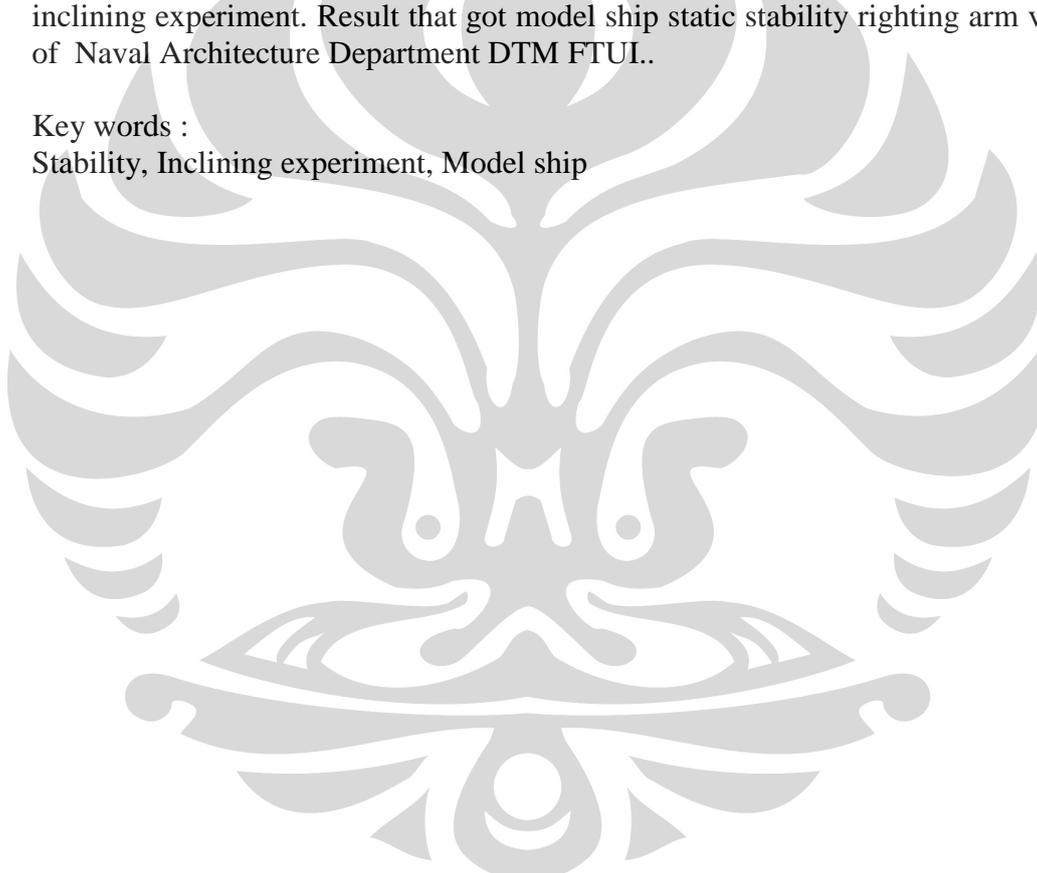


ABSTRACT

Name : Andre Yohanes Hamonangan Hutabarat
Study Program : Naval Architecture
Title : Static Ship Stability Test Simulation Using Model Ship
Method Theory

Safety factor is absolute matter for every transportation , doesn't loose with water transportation fleet that is ship. One of the big influential factor in ship safety is ability to returns to position at first that called ship stability. Testing is meant to determine $MG \sin\alpha$ value or righting arm model ship property of Naval Architecture Department DTM FTUI also used for reference testing static stability model ship in shipping lab. With using by using software Auto Cad 2006 and Maxsurf Pro to redraw model ship property of Naval Architecture Department DTM FTUI. After done calculate Hydrostatic Curve and Cross Curve than doing inclining experiment. Result that got model ship static stability righting arm value of Naval Architecture Department DTM FTUI..

Key words :
Stability, Inclining experiment, Model ship



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Penelitian	2
1.4 Metode Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
2 LANDASAN TEORI	5
2.1 Rencana Garis	5
2.1.1 Dimensi Utama Kapal	5
2.1.2 Bidang – bidang yang Memotong Kapal	7
2.2 Hydrostatic Curve	8
2.3 Cross Curve	9
2.4 Stabilitas Kapal	10
2.4.1 Macam – macam Keadaan Stabilitas	13
2.4.2 Titik Penting dalam Stabilitas	15
2.4.3 Dimensi pokok dalam Stabilitas	17
2.4.4 Peninjauan Stabilitas Statis dan Dinamis	19
2.4.5 Diagram Stabilitas	21
2.4.6 Inclining Test	23
2.5 Toeri Model	24
2.5.1 Hukum Kesamaan Dasar Newton	24
2.5.2 Hukum Kesamaan Froude	24
3 REKONSTRUKSI DESAIN DAN PENGUJIAN	29
3.1 Rekonstruksi Desain	29
3.1.1 Pengukuran Data Pembuatan Lines Plan Kapal Model	29
3.1.2 Pembuatan Desain Kapal Model dengan Program Maxsurf Pro... ..	32
3.2 Peralatan Utama Pengujian	33
3.2.1 General Cargo Vessel Model	33
3.2.2 Flotation Tank	35
3.2.3 Clinometer	35
3.2.4 Pembeban Muatan dan Pengoleng	36
3.3 Pengujian	37
3.3.1 Peralatan Pendukung Pengujian	37
3.3.2 Tujuan Pengujian	37
3.3.3 Prosedur Pengujian Inclining Experiment	37

3.4 Data Pengujian	42
4 PERHITUNGAN DAN ANALISIS	42
4.1 Pembuatan Hydrostatic Curve	42
4.2 Pembuatan Cross Curve	44
4.3 Perhitungan Stabilitas Statis	45
4.4 Pembahasan	50
4.4.1 Analisis Percobaan	50
4.4.2 Analisis Pengolahan Data	51
4.4.3 Analisis Bila Akan Menghitung Stabilitas Kapal Sebenarnya	51
5 PENUTUP.....	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	53
DAFTAR REFERENSI	54



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Ukuran dimensi kapal model satuan dalam mm	32
Tabel 3.2	Offset Table kapal model	33
Tabel 3.4	Hasil pengujian kapal model.	42
Tabel 4.1	Hasil perhitungan <i>HSC</i> kapal model	44
Tabel 4.2	Data percobaan	45
Tabel 4.3	Displacement kapal model setiap variasi draft.....	46
Tabel 4.4	Uraian <i>HSC</i> kapal model setiap variasi draft	46
Tabel 4.5	Perhitungan <i>MG</i> kapal model setiap variasi draft.....	46
Tabel 4.6	Nilai <i>NK Sinα</i> kapal model setiap variasi draft.....	47
Tabel 4.7	Nilai <i>NK Sinα</i> , <i>GK Sinα</i> dan <i>MG Sinα</i> kapal model kondisi kosong	47
Tabel 4.8	Nilai <i>NK Sinα</i> , <i>GK Sinα</i> dan <i>MG Sinα</i> kapal model kondisi Pemuatan 1	48
Tabel 4.9	Nilai <i>NK Sinα</i> , <i>GK Sinα</i> dan <i>MG Sinα</i> kapal model kondisi pemuatan 2	48
Tabel 4.10	Nilai <i>NK Sinα</i> , <i>GK Sinα</i> dan <i>MG Sinα</i> kapal model kondisi pemuatan 3	49
Tabel 4.11	Nilai <i>NK Sinα</i> , <i>GK Sinα</i> dan <i>MG Sinα</i> kapal model kondisi pemuatan full loaded	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Dimensi utama kapal	6
Gambar 2.2 Bidang-bidang yang memotong kapal	8
Gambar 2.3 Tekanan air terhadap benda.....	11
Gambar 2.4 sketsa lengan koppel.....	12
Gambar 2.5 Stabilitas Positif.....	13
Gambar 2.6 Stabilitas Netral	14
Gambar 2.7 Stabilitas Negatif	14
Gambar 2.8 Definisi titik G.....	15
Gambar 2.9 Definisi titik B	16
Gambar 2.10 Titik – titik penting dalam stabilitas.....	16
Gambar 2.11 Dimensi – dimensi pokok dalam stabilitas.....	19
Gambar 2.12 Sketsa lengan Koppel	19
Gambar 2.13 Sketsa lengan Koppel	20
Gambar 2.14 Sketsa kurva stabilitas statis	22
Gambar 2.15 Sketsa kurva stabilitas dinamis dan lengan Koppel	22
Gambar 2.16 Sketsa inclining experiment	23
Gambar 3.1 Bidang-bidang yang memotong kapal.....	29
Gambar 3.2 Pengukuran jarak perpotongan bidang-bidang kapal model	30
Gambar 3.3 Pengukuran dimensi kapal model.....	30
Gambar 3.4 Pengukuran dimensi kapal model.....	30
Gambar 3.5 Lines plan kapal model.....	31
Gambar 3.6 Desain Lines Plan Kapal Model pada program Maxsurf	32
Gambar 3.7 Kapal model	34
Gambar 3.8 Menimbang berat kapal model	34
Gambar 3.9 Flotation tank.....	35
Gambar 3.10 Digi-Pas DWL 80G.....	35
Gambar 3.11 Membungkus dan menimbang pasir sebagai pembeban muatan dan pengoleng.....	36
Gambar 3.12 Sketsa inclining experiment	38
Gambar 3.13 Memasukan Fluida ke dalam tank dengan menggunakan pompa.....	39
Gambar 3.14 Fluida terisi pada flotation tank.....	39
Gambar 3.15 Memasukan kapal model ke dalam flotation tank.....	39
Gambar 3.16 Memasukan beban muatan	40
Gambar 3.17 Pemberian beban penambah displacement	40
Gambar 3.18 Pemberian beban pengoleng	40
Gambar 3.19 Pembacaan derajat clinometer	41
Gambar 3.20 Memberi tanda tiap variasi draft kapal model	41
Gambar 3.21 Mengukur jarak beban pengoleng	41
Gambar 4.1 Kolom <i>draft range</i>	42
Gambar 4.2 Koefisien bentuk kapal model	42
Gambar 4.3 Diagram <i>HSC</i> kapal model I	43
Gambar 4.4 <i>Cross curve</i> kapal rancangan.....	45
Gambar 4.5 Kurva stabilitas kapal model kondisi kosong.....	47

Gambar 4.6 Kurva stabilitas kapal model kondisi 1	48
Gambar 4.7 Kurva stabilitas kapal model kondisi 2	49
Gambar 4.8 Kurva stabilitas kapal model kondisi 3	49
Gambar 4.9 Kurva stabilitas kapal model kondisi full loaded	50



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Adalah hal mutlak faktor keselamatan bagi setiap alat transportasi, tidak terlepas dengan armada transportasi air yaitu kapal. Salah satu faktor yang berpengaruh besar dalam keselamatan adalah kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semula yang disebut stabilitas kapal.

Sejumlah kecelakaan kapal laut terjadi belakangan ini, baik pada perairan sempit atau laut terbuka dan telah merenggut ratusan manusia. Faktor cuaca buruk terutama gelombang yang tinggi yang kemudian menjadi salah satu penyebab musibah tersebut, walau secara teknis faktor desain dan kondisi kapal layak dipertanyakan siapa tahu justru faktor ini penyebab utama yang tidak pernah terungkap karena tidak pernah dilakukan penyelidikan untuk itu.

Cara yang dapat dilakukan untuk mengetahui karakteristik stabilitas kapal adalah dengan melakukan pengujian kapal model di tangki pegujian. Penulis menggunakan tangki kapal inclining test dikarenakan hanya akan menghitung stabilitas statis kapal saja.

Kapal model adalah kapal yang dibuat kembali dalam skala ukuran yang lebih kecil dari kapal sebenarnya dan mempunyai bentuk maupun karakteristik yang sama dengan kapal sebenarnya. Berdasarkan hal tersebut dengan adanya kapal model maka akan mendapatkan data pokok untuk arsip lab kapal yang akan dijadikan bahan referensi pada percobaan yang akan datang.

Kapal model yang terdapat pada lab kapal DTM FTUI belum mempunyai desain linesplan dan perhitungan Hydrostatic Curve, Bonjean Curve dan Cross Curve, maka penulis mencoba untuk menggambar kembali desain dari kapal model dengan menggunakan teori bangun kapal yang telah didapat dalam materi kuliah bangun kapal. Semua tahapan pembuatan skripsi ini dibuat dengan harapan dapat digunakan sebagai bahan refensi dalam pelaksanaan uji stabilitas kapal model di lab kapal DTM FTUI.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

- Untuk mengetahui nilai $\overline{MG} \sin \alpha$ atau lengan Koppel kapal model milik Teknik Perkapalan DTM FTUI.
- Sebagai referensi modul pengujian stabilitas statis kapal model pada lab kapal Teknik Perkapalan DTM FTUI.
- Untuk menunjang penelitian program Doctor Ir. Marcus Alberth Talahatu, MT.

1.3 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian dalam skripsi ini adalah :

- Pengujian inclining test kapal model yang berupa lambung kapal untuk mendapatkan nilai MG kapal model pada variasi draft.
- Perhitungan dan analisis stabilitas statis kapal model tanpa memperhitungkan letak muatan yang dipakai sebagai pembeban dalam pencapaian variasi draft.
- Pembuatan lines plan kapal model, penghitungan karakteristik kapal didalam air yaitu Hydrostatic Curve dan Cross Curve.
- Analisis stabilitas kapal model bila akan menghitung stabilitas kapal sebenarnya.

1.4 Metode Penelitian

Metode operasional yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Studi literature

Studi literature dilakukan untuk memperoleh referensi, informasi, dan teori yang bersumber dari buku diktat kuliah, internet, paper, jurnal, IMO dan lain-lain.

2. Pengumpulan data

Pada tahap ini, penulis pertama-tama menyiapkan kelengkapan alat-alat percobaan, lalu membuat lines plan dari kapal model yang telah ada sebelumnya dan membuat Hidrostatic Curve serta Cross Curve. Setelah

membuat data-data yang diperlukan maka dilakukan pengujian kapal model di lab kapal DTM FTUI.

3. Pengolahan data penelitian

Dengan menggunakan software Auto Cad 2006 penulis mendisain lines plan kapal model dan dengan menggunakan software Maxsurf Pro, penulis menghitung Hidrostatic Curve dan Cross Curve. Kemudian, dari variasi yang ada dihitung besarnya lengan Koppel dari setiap variasi draft kapal model.

4. Analisis hasil penelitian

Penulis melakukan analisa terhadap hasil penelitian yang didasarkan pada rumusan dan teori yang telah ada di berbagai literatur.

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penyajian tugas akhir atau skripsi ini yang bermula dari latar belakang masalah sampai pada kesimpulan hasil penelitian, disusun sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini berisi teori-teori sebagai landasan dan pendukung dalam melakukan kegiatan penelitian.

BAB 3 REKONSTRUKSI DESAIN DAN PENGUJIAN

Bab ini menjelaskan tentang persiapan kelengkapan alat-alat percobaan, pembuatan desain lines plan kapal model dengan bantuan software Auto Cad 2006, dan pemodelan dengan menggunakan software Maxsurf Pro. Selain itu dijelaskan pula mengenai langkah-langkah dalam pengambilan data.

BAB 4 PERHITUNGAN DAN ANALISIS HASIL

Bab ini berisi perhitungan dan analisis mengenai hasil yang diperoleh.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan berdasarkan tujuan penelitian dan hasil yang didapat, serta saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.



BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Rencana Garis

Rencana Garis merupakan gambar potongan dan penampang kapal yang di proyeksikan ke bidang diametral, bidang garis air, dan bidang tengah kapal. Gambar Rencana Garis ini menjadi pegangan utama atau merupakan dasar bagi perencana untuk melaksanakan perancangan kapal secara lengkap, mulai dari menghitung karakteristik kapal, menentukan pembagian ruangan di kapal, menentukan daya muat kapal, daya motor induk yang dibutuhkan untuk dapat menggerakkan kapal sesuai dengan kecepatan yang diinginkan, serta menghitung dan memeriksa kemampuan olah gerak kapal dalam pelayarannya

Pada dasarnya, bentuk kapal didasarkan pada dimensi utama kapal, perbandingan dimensi utama kapal, dan koefisien bentuk kapal tersebut. Secara garis besar, dimensi utama kapal dapat dibedakan menjadi panjang kapal (L), lebar kapal (B), tinggi kapal (H), dan sarat tinggi air (d).

Perbandingan dimensi utama kapal yaitu perbandingan antara L/B , L/H , B/d , dan H/d . Untuk koefisien bentuk kapal dibedakan menjadi koefisien blok (C_b), koefisien tengah kapal (C_m), koefisien garis air (C_w) dan koefisien prismatic (C_p).

Penentuan dimensi utama kapal, perbandingan utama kapal, dan koefisien bentuk kapal, harus didasarkan pada pertimbangan-pertimbangan khusus, karena parameter-parameter tersebut berpengaruh terhadap sifat dan karakteristik kapal.

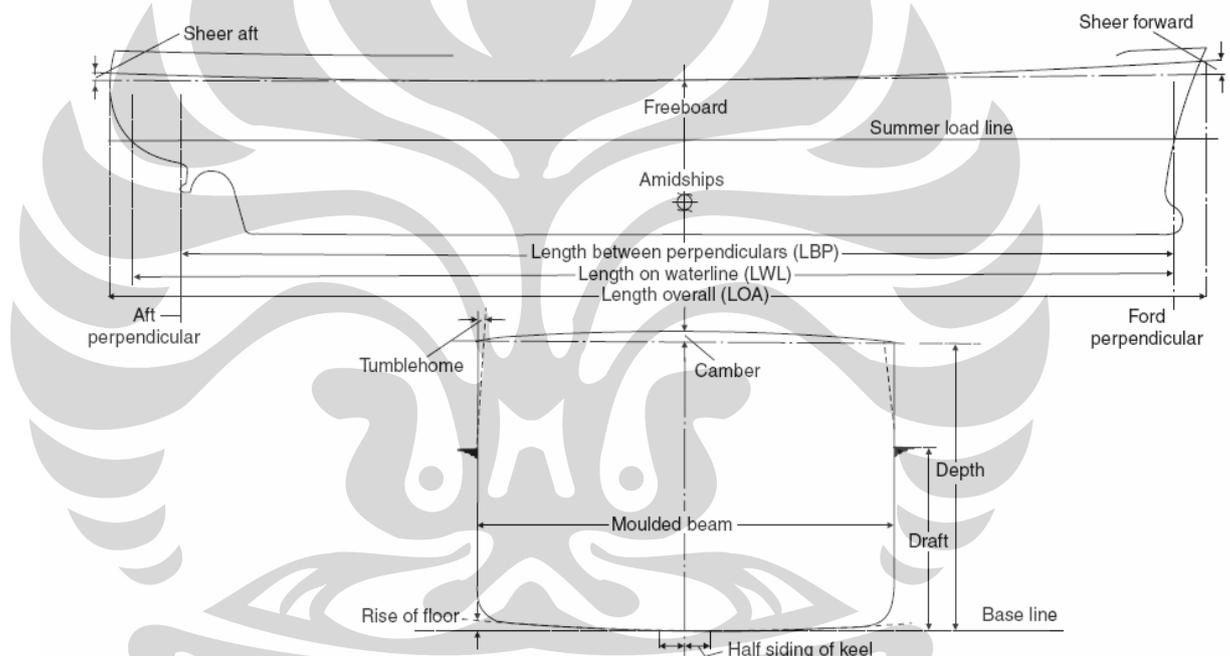
2.1.1 Dimensi Utama Kapal

Dimensi utama kapal merupakan suatu besaran skalar yang menentukan ukuran suatu kapal. Dimensi utama kapal terdiri dari:

1. Panjang Kapal (L)

Dalam penentuan panjang kapal ada tiga macam pengertian panjang kapal yang sering kali dipergunakan dalam perencanaan kapal (seperti terlihat pada gambar dibawah), yaitu:

- Panjang seluruh kapal (Length Over All = LOA) adalah jarak yang mendatar antara ujung depan tinggi haluan sampai dengan ujung belakang tinggi buritan kapal.
- Panjang garis air kapal (Length Water Line = LWL) adalah jarak mendatar sisi belakang tinggi haluan sampai dengan sisi depan tinggi buritan yang diukur pada draft tertinggi (tidak termasuk tebal kulit luar lambung kapal).
- Panjang garis tegak kapal (Length Between Perpendicular = LBP atau LPP) adalah jarak mendatar antara garis tegak haluan sampai dengan garis tegak buritan yang diukur pada garis air muatan penuh.



Gambar 2.1 Dimensi utama kapal

2. Lebar Kapal (B)

Dalam penentuan lebar kapal sering kali dijumpai tiga macam pengertian lebar kapal dalam perencanaan kapal:

- Lebar maksimum kapal (Breadht Maximum = B_{Max}) adalah jarak mendatar antara sisi-sisi luar kulit lambung kapal yang diukur pada lebar kapal terluar.

- Lebar moulded kapal (Breadth Moulded = B_{Mid}) adalah jarak mendatar antara sisi-sisi luar kulit lambung kapal yang diukur pada garis geladak utama atau geladak kekuatan.

3. Tinggi Kapal (H)

Tinggi kapal (Height = H) atau sering juga disebut tinggi terendah geladak kapal (Depth = D) adalah jarak vertikal atau tegak antara garis dasar sampai dengan garis geladak yang terendah, diukur pada pertengahan panjang kapal.

4. Sarat Air Kapal (d)

Sarat air kapal (Draft atau Draught = d, atau terkadang menggunakan notasi T) adalah jarak vertikal antara garis dasar sampai dengan garis air muatan penuh atau tanda lambung timbul untuk garis muat musim panas yang diukur pada pertengahan panjang garis tegak kapal.

2.1.2 Bidang-Bidang Yang Memotong Kapal

Untuk memudahkan memahami bentuk badan kapal, terutama yang berada dibawah permukaan air (tercelup dalam air), kita dapat membagi bidang datar kapal menjadi 3 bagian yang memotong badan kapal, yaitu : bidang diametral, bidang tengah kapal dan bidang garis air.

1. Bidang Diametral.

- Adalah bidang tegak memanjang yang melalui sumbu kapal (centre line), Bidang ini akan memotong kapal tepat ditengah-tengahnya dan akan menunjukkan garis tepi bentuk kapal apabila dipandang dari samping.
- Bila kita buat bidang-bidang yang sejajar dengan bidang diametral ini, maka akan kita peroleh garis-garis bentuk lengkungan badan kapal yang terlihat dari samping, yang keseluruhannya berada didalam lingkup bidang pandangan samping kapal. Garis-garis ini biasa disebut sebagai garis-garis *buttock line*.

2. Bidang Tengah Kapal (*midship*).

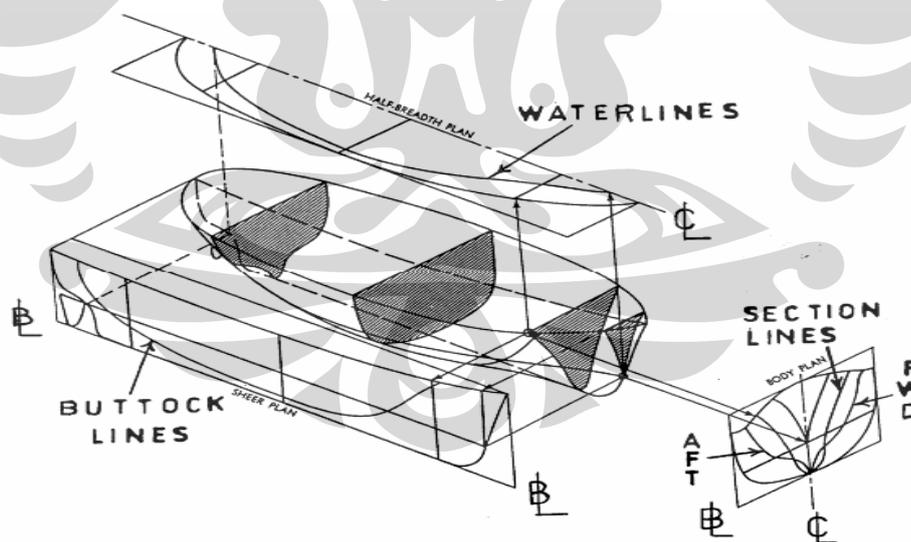
- Adalah bidang tegak melintang yang melalui pertengahan panjang Lpp. Bidang ini akan memotong kapal tepat ditengah-tengah

panjangnya dan akan menunjukkan garis tepi bentuk kapal apabila dipandang dari depan.

- b. Bila kita buat bidang-bidang yang sejajar dengan bidang tengah ini, maka kan kita peroleh garis-garis bentuk lengkungan badan kapal yang terlihat dari depan, yang keseluruhannya berada didalam lingkup bidang pandangan depan kapal. Garis-garis ini biasa disebut garis-garis *body plan*.

3. Bidang Garis Air .

- a. Adalah bidang horizontal yang melalui permukaan air pada saat kapal muatan penuh. Bidang ini akan memotong kapal dan akan menunjukkan garis tepi bentuk kapal apabila dipandang dari atas.
- b. Bila kita buat bidang-bidang yang sejajar dengan bidang garis air ini, maka akan kita peroleh garis-garis bentuk lengkungan badan kapal yang terlihat dari atas pada tinggipermukaan air yang berbeda-beda, yang keseluruhannya berada didalam lingkup bidang pandangan atas kapal. Garis-garis ini biasa disebut sebagai garis-garis *water line*.



Gambar. 2.2. bidang-bidang yang memotong kapal

2.2 Hydrostatic Curve (HSC)

Kurva hidrostatik merupakan penggambaran secara grafik karekteristik dibawah air dari sebuah kapal, yang diperlukan pada saat merancang. Grafik ini

menunjukkan karakteristik dari kapal yang sedang mengapung tegak. Kurva yang digambarkan meliputi :

Luas garis air (Awl)	Volumina (v)
Displacement (Δ)	Titik berat garis air (LCF)
Moment inersia melintang (I_t)	Moment inersia memanjang (I_l)
Titik tekan memanjang (LCB)	Titik tekan meninggi (FK)
Metacentra melintang (MK)	Metacentra memanjang (MLK)
Ton per centimeter (TPC)	Moment to change trim (MCT)

Koefisien-koefisien :

- ~ Koefisien blok (C_b)
- ~ Koefisien midship (C_m)
- ~ Koefisien garis air (C_{wp})
- ~ Koefisien prismatic (C_p)

Perhitungan HSC dibantu dengan menggunakan software Hydromax Pro versi 11.12. Adapun langkah – langkah perhitungannya adalah :

- Klik open Surface kapal yang telah digambar terlebih dahulu dengan software maxsurf.
- Kemudian klik analysis > upright hydrostatic.
- Setelah itu, klik analysis > draft lalu isi range draft yang kita inginkan
- Kemudian klik start analysis, maka hasilnya bisa kita lihat dalam bentuk grafik maupun tabel.

2.3 Cross Curve

Stabilitas suatu kapal dapat ditentukan melalui suatu diagram “ Panto Carena (Cross Curve)”, dimana panto carena ini adalah suatu diagram yang melukiskan hubungan antara displacement dengan nilai KN untuk setiap sudut oleng. Untuk tiap γ (sudut) pada kapal, GK adalah tetap sama jika besaran NK $\sin \gamma$ telah diketahui.

Perhitungan cross curve pun menggunakan hydromax pro 11.12. Langkah – langkah perhitungan cross curve menggunakan hydromax untuk kapal rancangan adalah sebagai berikut :

- Masukkan kapal rancangan kita dengan meng-klik file>open.

- Klik toolbar analysis>set analysis>KN values.
- Kemudian masukkan input data seperti pada gambar berikut (heel,trim, displacement, density, wave form, hog and sag)
- Untuk memulai analisis tinggal klik analysis>start analysis, hasilnya pun akan tampak dalam grafik dan tabel.

2.4 Stabilitas Kapal

Kapal pada posisi tegaknya yaitu sudut oleng $\gamma = 0^0$ Stabilitas kapal terutama tergantung daripada besarnya \overline{MG} (tinggi metasentra terhadap titik berat G) dimana \overline{MG} ini menentukan besarnya lengan Koppel $h = \overline{MG} \sin \gamma$ ($\gamma < 6^0$). Jika titik ini G tidak segaris sebidang dengan titik F maka akan terjadi moment Koppel yang mengakibatkan kapal akan terjadi oleng atau trim.

- Titik G adalah titik berat badan kapal (Centre of Gravity).
- Titik B adalah titik tekan (Center of Buoyancy).

Tekanan air keatas merupakan tekanan yang diderita oleh kapal dari air sekelilingnya atau titik tekan ini dapat dikatakan gaya Rasultan Hydro Statis terhadap kapal.

Pada benda yang terapung dapat dibedakan :

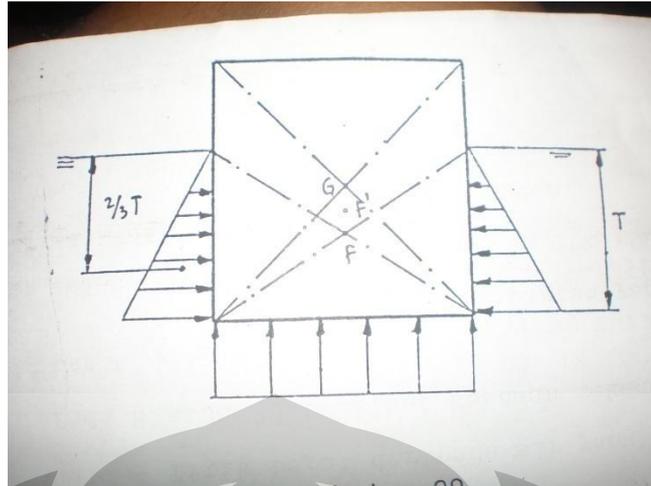
- Titik tekan daripada air yang dipindahkan.
- Titik berat daripada air yang dipindahkan.

Pada sketsa 29 terlihat keadaan tekanan air terhadap benda dengan titik :

F' = titik tengah dari bagian yang dipindahkan

F = titik tekan dari air dikelilinginya

G = titik berat dari benda



Gambar. 2.3. tekanan air terhadap benda

Pada keadaan ini, pada bentuk kapal dapat kita ambil titik $F = F'$ sebagai titik berat dari volume air yang dipindahkan atau sebagai titik tekan keatas.

Kapal-kapal yang dalam keadaan seimbang ($\gamma = 0$) itu berarti titik G dan titik F terletak pada satu garis lurus (satu bidang tegak).

Letak titik F adalah sangat penting pada mula/awal perencanaan, sebab titik F ini dipengaruhi oleh bentuk kapal dibawah permukaan air, sedangkan tekanan kapal sangat dipengaruhi oleh bentuk kapal di dalam air juga. Untuk itulah harus ditentukan berapa % daya L , letaknya titik F ini baik dari depan atau belakang \emptyset (midship) kapal.

Umumnya untuk titik F agak kedepan \emptyset terutama untuk kapal – kapal cepat, kita menghendaki titik G dan F ini berada segaris (sebidang) dengan cara mengatur agar letak titik G hal mana dilakukan saat memulai perencanaan. menentukan letak titik G sangat tergantung daripada bentuk perbandingan antara B dan T kapal atau B/T .

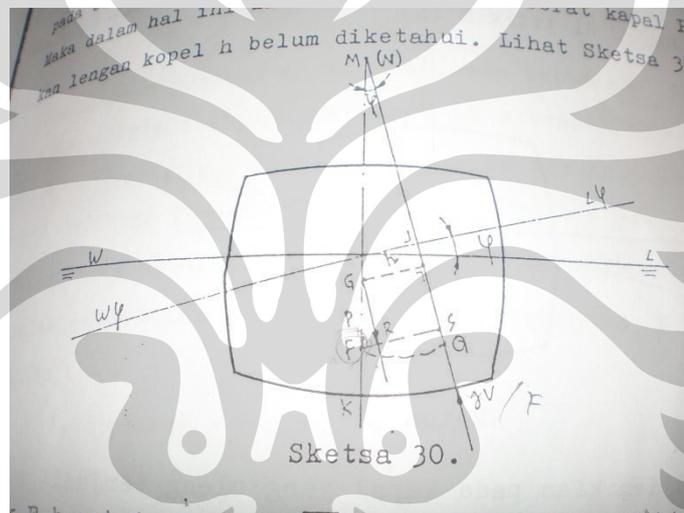
Jika kapal relatif lebih besar, akan memberikan \overline{MG} lebih besar, sehingga mengakibatkan getaran/rolling periode kapal lebih cepat dan mengakibatkan penumpang kapal digetarkan dengan kurang enak atau kapal menjadi kaku.

Demikian juga, jika \overline{MG} yang kecil mengakibatkan rolling periode lebih lambat tapi kurang dapat menjamin keselamatan kapal.

Jadi, Stabilitas ialah setiap usaha untuk mengadakan perubahan kekeselimbangan, maka kapal akan mencoba mengatasi gangguan dari dalam

maupun dari luar agar dapat mempertahankan diri untuk tetap terapung dan tegak kembali.

Dengan demikian maka kapal mendapat suatu kemampuan yang ditimbulkan oleh setiap perubahan keseimbangan akan mengakibatkan pergeseran titik F, jika kapal oleng disebabkan oleh gaya-gaya luar (angin, ombak, arus dan sebagainya) maka dengan bahaya bentuk Carena (dibawah permukaan air) sehingga terjadi perubahan sudut oleng γ sekaligus letak titik F-nya akan berubah pula. Jadi tujuan menghitung stabilitas dari kapal adalah untuk diketahui besarnya moment Koppel/kemampuan kapal pada berbagai sudut oleng γ , untuk dapat tegak kembali. Maka dalam hal ini kita harus ketahui berat kapal P , sedangkan lengan Koppel h belum diketahui. Lihat sketsa 30.



Gambar. 2.4. sketsa lengan koppel

Titik F berubah menjadi FQ dan menyebabkan Vektor $F \downarrow$ dan Vektor $\chi V \uparrow$ memiliki lengan = h . sehingga besar moment Koppel = $P \times h$.(tm).

Umumnya stabilitas kapal ditinjau :

1. Stabilitas statis (statical stability), yaitu ditunjukkan oleh besarnya Righting Moment yang digunakan untuk mengembalikan kapal setelah kemiringan pada sudut γ tertentu.
2. Stabilitas dinamis (dynamical stability), yaitu digunakan oleh besarnya kerja / penambahan inersi potensial yang di timbulkan akibat gerakan kapal turun naik pada Righting Moment selama proses / terjadi kemiringan pada sudut γ tertentu, sehingga

Dynamical Stability adalah hasil integral dari Curve of Statical Stability.

Kemudian pada stabilitas statis kita kenal :

- a. Stabilitas awal / initial stability dimana $\gamma < 6^\circ$ dan pada perhitungan ini titik M sebagai titik metacentra.
- b. Stabilitas lanjut, dimana $\gamma > 6^\circ$ dan pada perhitungan ini titik n dipakai sebagai titik metacentra palsu.

Pada setiap kapal berlaku stabilitas kapal itu dipengaruhi oleh 2 faktor yaitu :

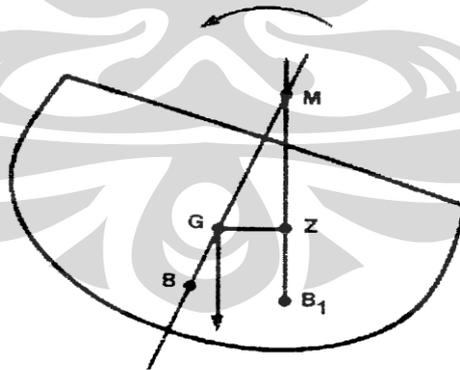
1. Faktor berat (dipengaruhi oleh letak titik G)
2. Factor bentuk (dipengaruhi oleh titik F)

2. 4. 1 Macam – macam Keadaan Stabilitas

Pada prinsipnya keadaan stabilitas ada tiga yaitu Stabilitas Positif (*stable equilibrium*), stabilitas Netral (*Neutral equilibrium*) dan stabilitas Negatif (*Unstable equilibrium*).

- **Stabilitas Positif (*Stable Equilibrium*)**

Suatu keadaan dimana titik G - nya berada di atas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas mantap sewaktu miring pasti memiliki kemampuan untuk menegak kembali.

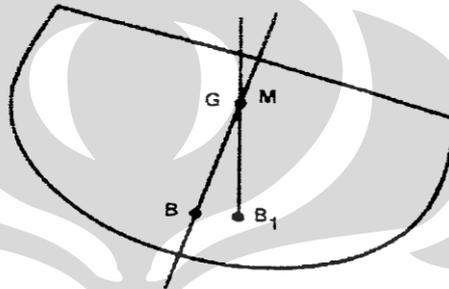


Gambar 2.5 Stabilitas Positif.

(Sumber : www.tc.gc.ca/marinesafety/tp/tp7301/menu.htm)

- **Stabilitas Netral (*Neutral Equilibrium*)**

Suatu keadaan stabilitas dimana titik G - nya berhimpit dengan titik M. Maka momen penegak kapal yang memiliki stabilitas netral sama dengan nol, atau bahkan tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali sewaktu miring. Dengan kata lain bila kapal miring tidak ada momen penerus sehingga kapal tetap miring pada sudut miring yang sama, penyebabnya adalah titik G terlalu tinggi dan berimpit dengan titik M karena terlalu banyak muatan di bagian atas kapal.

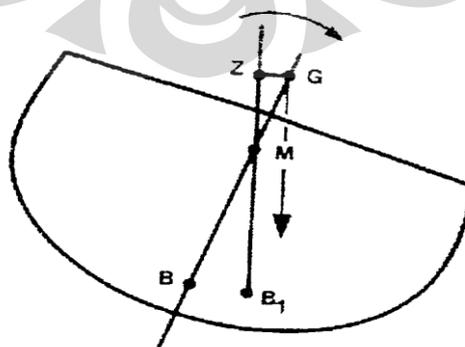


Gambar 2.6 Stabilitas Netral.

(Sumber : www.tc.gc.ca/marinesafety/tp/tp7301/menu.htm)

- **Stabilitas Negatif (*Unstable Equilibrium*)**

Suatu keadaan stabilitas dimana titik G-nya berada di atas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas negatif sewaktu miring tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali, bahkan sudut miringnya akan bertambah besar, yang menyebabkan kapal akan bertambah miring lagi bahkan bisa menjadi terbalik. Atau suatu kondisi bila kapal miring karena gaya dari luar, maka timbullah sebuah momen yang dinamakan MOMEN PENERUS / Heeling moment sehingga kapal akan bertambah miring.



Gambar 2.7 Stabilitas Negatif.

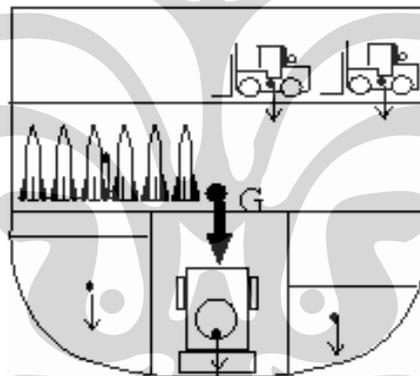
(Sumber : www.tc.gc.ca/marinesafety/tp/tp7301/menu.htm)

2.4.2 Titik – titik Penting dalam Stabilitas

Menurut Hind (1967), titik-titik penting dalam stabilitas antara lain adalah titik berat (G), titik apung (B) dan titik M.

- **Titik Berat (*Centre of Gravity*)**

Titik berat (center of gravity) dikenal dengan titik G dari sebuah kapal, merupakan titik tangkap dari semua gaya-gaya yang menekan ke bawah terhadap kapal. Letak titik G di kapal dapat diketahui dengan meninjau semua pembagian bobot di kapal, makin banyak bobot yang diletakkan di bagian atas maka makin tinggilah letak titik G - nya. Secara definisi titik berat (G) ialah titik tangkap dari semua gaya – gaya yang bekerja kebawah. Letak titik G pada kapal kosong ditentukan oleh hasil percobaan stabilitas. Perlu diketahui bahwa, letak titik G tergantung daripada pembagian berat di kapal. Jadi selama tidak ada berat yang digeser, titik G tidak akan berubah walaupun kapal oleng atau mengangguk.

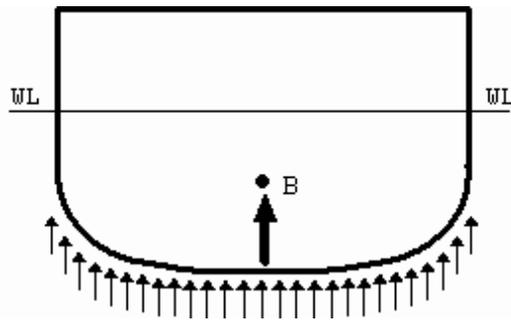


Gambar 2.8 Definisi titik G.

(Sumber : www.tc.gc.ca/marinesafety/tp/tp7301/menu.htm)

- **Titik Apung (*Centre of Buoyance*)**

Titik apung (center of buoyance) dikenal dengan titik B dari sebuah kapal, merupakan titik tangkap dari resultan gaya-gaya yang menekan tegak ke atas dari bagian kapal yang terbenam dalam air. Titik tangkap B bukanlah merupakan suatu titik yang tetap, akan tetapi akan berpindah-pindah oleh adanya perubahan sarat dari kapal. Dalam stabilitas kapal, titik B inilah yang menyebabkan kapal mampu untuk tegak kembali setelah mengalami senget. Letak titik B tergantung dari besarnya senget kapal (bila kemiringan berubah maka letak titik B akan berubah / berpindah. Bila kapal miring maka titik B akan berpindah ke sisi yang rendah.

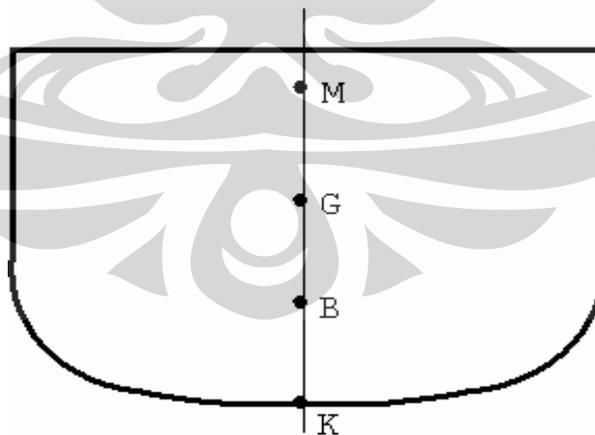


Gambar 2.9 Definisi titik B.

(Sumber : www.tc.gc.ca/marinesafety/tp/tp7301/menu.htm)

- **Titik Metasentris**

Titik metasentris atau dikenal dengan titik M dari sebuah kapal, merupakan sebuah titik semu dari batas dimana titik G tidak boleh melewati di atasnya agar kapal tetap mempunyai stabilitas yang positif (stabil). Meta artinya berubah-ubah, jadi titik metasentris dapat berubah letaknya dan tergantung dari besarnya sudut kemiringan. Apabila kapal miring pada sudut kecil (tidak lebih dari 15^0), maka titik apung B bergerak di sepanjang busur dimana titik M merupakan titik pusatnya di bidang tengah kapal (*centre of line*) dan pada sudut kemiringan yang kecil ini perpindahan letak titik M masih sangat kecil, sehingga masih dapat dikatakan tetap.



Gambar 2.10 Titik – titik penting dalam stabilitas.

(Sumber : www.tc.gc.ca/marinesafety/tp/tp7301/menu.htm)

- Keterangan :
- K = lunas (*keel*)
 - B = titik apung (*buoyancy*)
 - G = titik berat (*gravity*)
 - M = titik metasentris (*metacentris*)

2.4.3 Dimensi Pokok dalam Stabilitas.

- KM (Tinggi titik metasentris di atas lunas)

KM ialah jarak tegak dari lunas kapal sampai ke titik M, atau jumlah jarak dari lunas ke titik apung (KB) dan jarak titik apung ke metasentris (BM), sehingga KM dapat dicari dengan rumus :

$$\overline{KM} = \overline{KB} + \overline{BM}$$

Diperoleh dari diagram metasentris atau *hydrostatical curve* bagi setiap sarat (*draft*) saat itu.

- \overline{KB} (Tinggi Titik Apung dari Lunas)

Letak titik B di atas lunas bukanlah suatu titik yang tetap, akan tetapi berpindah-pindah oleh adanya perubahan sarat atau kemiringan kapal (Wakidjo, 1972). Menurut Rubianto (1996), nilai KB dapat dicari :

- Untuk kapal tipe plat bottom, $\overline{KB} = 0,50d$
- Untuk kapal tipe V bottom, $\overline{KB} = 0,67d$
- Untuk kapal tipe U bottom, $\overline{KB} = 0,53d$

dimana d = draft kapal

Dari diagram metasentris atau kurva hidrostatik, nilai KB juga dapat dicari pada setiap sarat kapal saat itu (Wakidjo, 1972).

- \overline{BM} (Jarak Titik Apung ke Metasentris)

Menurut Usman (1981), BM dinamakan jari-jari metasentris atau metacentris radius karena bila kapal mengoleng dengan sudut-sudut yang kecil, maka lintasan pergerakan titik B merupakan sebagian busur lingkaran dimana M merupakan titik

pusatnya dan \overline{BM} sebagai jari-jarinya. Titik M masih bisa dianggap tetap karena sudut olengnya kecil (10^0 - 15^0). Lebih lanjut dijelaskan Rubianto (1996) :

$$\overline{BM} = b^2/10d,$$

dimana : b = lebar kapal (m)
 d = draft kapal (m)

- \overline{KG} (Tinggi Titik Berat dari Lunas)

Nilai \overline{KB} untuk kapal kosong diperoleh dari percobaan stabilitas (*inclining experiment*), selanjutnya \overline{KG} dapat dihitung dengan menggunakan dalil momen. Nilai \overline{KG} dengan dalil momen ini digunakan bila terjadi pemuatan atau pembongkaran di atas kapal dengan mengetahui letak titik berat suatu bobot di atas lunas yang disebut dengan *vertical centre of gravity* (VCG) lalu dikalikan dengan bobot muatan tersebut sehingga diperoleh momen bobot tersebut, selanjutnya jumlah momen-momen seluruh bobot di kapal dibagi dengan jumlah bobot menghasilkan nilai \overline{KG} pada saat itu.

$$\overline{KG} \text{ total} = \frac{\sum M}{\sum W}$$

dimana,

$\sum M$ = Jumlah momen (ton)

$\sum W$ = jumlah perkalian titik berat dengan bobot benda (m ton)

- \overline{GM} (Tinggi Metasentris)

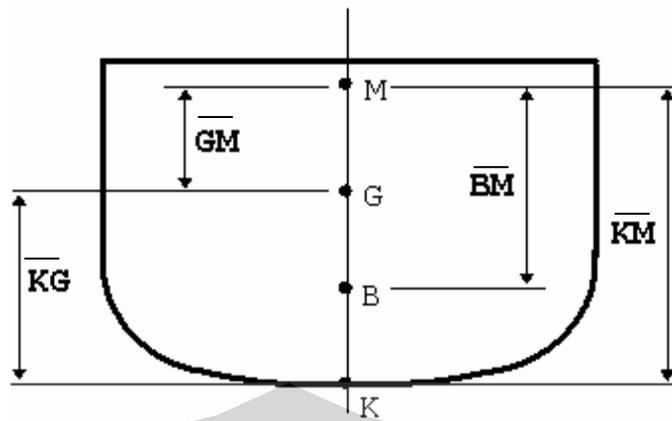
Tinggi metasentris atau *metacentris high* (MG) yaitu jarak tegak antara titik G dan titik M.

Dari rumus disebutkan :

$$\overline{MG} = \overline{KM} - \overline{KG}$$

$$\overline{MG} = (\overline{KB} + \overline{BM}) - \overline{KG}$$

Nilai \overline{MG} inilah yang menunjukkan keadaan stabilitas awal kapal atau keadaan stabilitas kapal selama pelayaran nanti



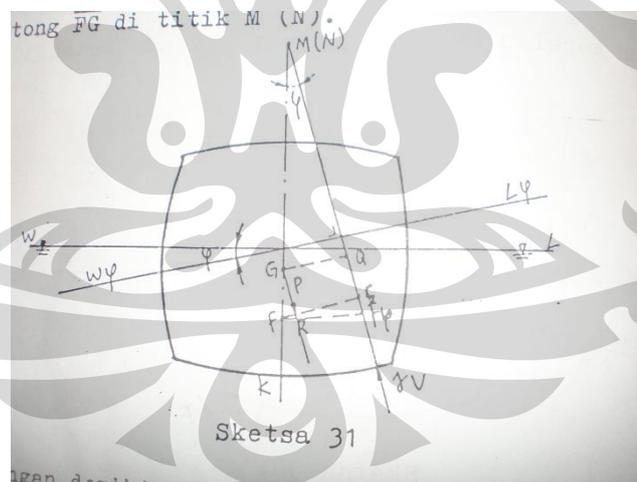
Gambar 2.11 Dimensi – dimensi pokok dalam stabilitas.

(Sumber : www.tc.gc.ca/marinesafety/tp/tp7301/menu.htm)

2.4.4 Peninjauan Stabilitas Statis dan Dinamis

Bila kapal oleng $\gamma = 0^\circ$ titik G akan tetap, sebab displacement kapal (Δ) juga tetap, tapi yang berubah adalah bentuk Carenanya sehingga titik F berubah menjadi F_y .

Garis kerja tekanan keatas γV akan melalui titik F_y dan memotong \overline{FG} di titik M (N).



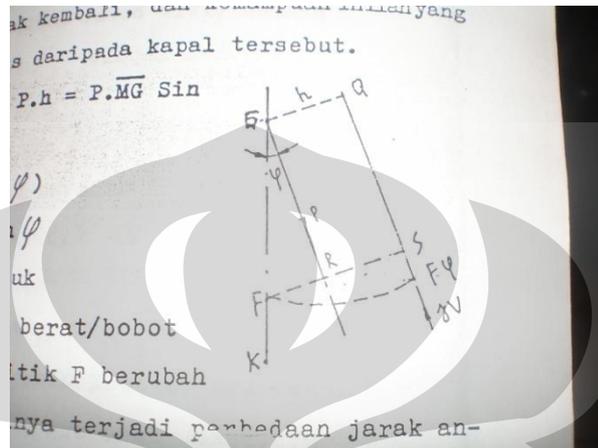
Gambar 2.12 sketsa lengan koppel

Maka dengan demikian pada kapal yang oleng terjadi 2 (dua) kekuatan yang sama besar yaitu $P = \gamma V$, namun berlawanan arah. dari kedua gaya ini terbentuk lengan koppel h , sehingga besarnya Moment Koppel = $P \times h$. untuk kembali ke keadaan semula, maka kapal harus memiliki Moment tersebut, sebagai suatu kemampuan untuk dapat tegak kembali, dan kemampuan inilah yang merupakan stabilitas statis daripada kapal tersebut.

Jadi : Stabilitas Statis = $P \cdot h = P \cdot \overline{MG} \sin \gamma$ atau

$$\begin{aligned} \text{Atau } P \cdot RS &= P (\overline{FS} - \overline{FR}) \\ &= P (\overline{FS} - \overline{GF} \sin \gamma) \\ &= P \cdot \overline{FS} - P \cdot \overline{GF} \sin \gamma \end{aligned}$$

Maka $P \cdot \overline{FS}$ = Stabilitas bentuk dan $P \cdot \overline{GF} \sin \gamma$ = Stabilitas berat/bobot



Gambar 2.13 sketsa lengan koppel

Pada gambar terlihat bahwa titik F berubah menjadi $F\gamma$ dan dengan sendirinya terjadi perbedaan jarak antara \overline{GF} dengan $\overline{QF\gamma}$ yang merupakan suatu “Energi Potensial”, maka dengan adanya energy tambahan ini maka kapal dapat mengembalikan dirinya ke posisi tegak setelah diolengkan. Energi tambahan ($QF\gamma - GF$) inilah disebut energi potensial sebesar :

$$E_p = P \cdot (\overline{QF\gamma} - \overline{GF})$$

dan stabilitas dinamisnya :

$$ED = \int_{\gamma=0}^{\gamma=\gamma'} S_3 d\gamma \quad \text{dimana } S_3 = P \cdot h \text{ (stabilitas statis)}$$

Dalam stabilitas ada 4 titik yang memegang peranan penting yaitu :

- Titik G
Adalah titik berat daripada kapal dan dipengaruhi oleh konstruksi kapal.
- Titik F
Adalah titik tekan air pada kapal dan dipengaruhi oleh bentuk kapal dibawah permukaan air.
- Titik metasentra M (N)
Adalah titik potong vector γV dengan sumbu vertical setelah terjadi oleng, titik M (N) ini suatu hal yang abstrak. Pada sudut oleng $\gamma < 6^\circ$

dianggap titik M adalah tetap, jadi letak metasentra M berubah, sebab perubahan sudut oleng kapal.

d. Titik dasar keel (K)

Dari Hydro Static Curve dapat dilihat bahwa MK adalah sangat bergantung pada T (Draught).

Dari besaran – besaran tersebut di atas dapat disebutkan bahwa stabilitas kapal itu umumnya dapat dipengaruhi oleh bentuk dan berat kapal.

2.4.5 Diagram Stabilitas

Maksud diagram ini ialah untuk mengetahui besarnya lengan Koppel h pada setiap sudut oleng γ , sehingga moment stabilitas = $P \times h$ dapat diketahui. Besarnya \overline{MG} menentukan besarnya lengan h , sebab $h = \overline{MG} \sin \gamma$ dan \overline{MG} inilah yang sangat menentukan stabilitas kapal. Pada kapal – kapal yang lebar \overline{MG} nya besar dan moment inersial-nya juga besar sehingga keamanan / stabilitas kapal terjamin. Kapal dengan muatan tertentu, bila mengalami oleng maka letak titik F_y pada setiap sudut oleng akan berubah – ubah terhadap titik G , hingga lengan h_{\max} tercapai.

Umumnya volume bagian kapal yang tenggelam lebih besar volume bagian kapal yang terapung sehingga perubahan moment inersianya. Dapat kita bayangkan bahwa lengan Koppel h makin membesar maka lengan Koppel h ini akan mengecil hingga $h = 0$ pada $\gamma = \gamma_t$ dan pada sudut oleng t inilah kapal akan tenggelam, sebab moment pengembali tidak ada atau $P \cdot h = 0$.

$\gamma_t = \gamma_R$ adalah daerah kurva stabilitas statis dapat dilihat pada sketsa berikut.

Diagram ini hanya menentukan besarnya lengan h pada sudut oleng tertentu.

Maka untuk \overline{MG} yang kecil :

$$\begin{aligned} \text{Tg } \gamma &= \frac{CC'}{OC'} = \frac{dh}{d\gamma} \\ &= \frac{MG \cdot d\gamma}{d\gamma} = \frac{MG}{1 \cdot \text{Radian}} \quad \text{Integral luasan } h \int_{\gamma=0}^{\gamma=\gamma_R} P \cdot h \cdot d\gamma \text{ merupakan daya} \\ &\text{potensial daripada kapal.} \end{aligned}$$

$$= P (\overline{QF\gamma} - \overline{GF})$$

$$= P \cdot \overline{SF\gamma} \longrightarrow \overline{SF\gamma} = \text{jarak dinamis}$$

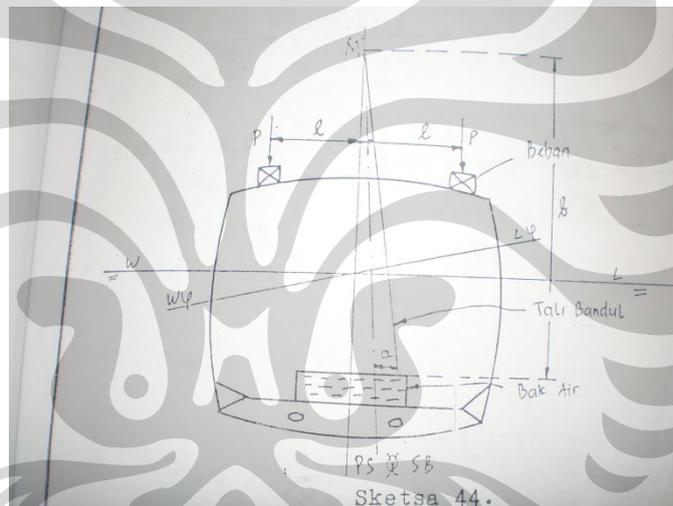
Maka : $\overline{GQ} = h = \overline{NG} \sin \gamma \longrightarrow$ untuk dynamic stability

2.4.6 Inclining Test

Sedangkan untuk mencari \overline{GK} kita melakukan inclining test yaitu sebuah metode menentukan titik G pada posisi vertical kapal sebab : $\overline{MG} = \overline{NK} - \overline{GK}$.

Maka cara memperoleh G sebagai berikut :

1. Kapal tersebut tidak dalam kondisi trim maupun oleng.
2. Diatas kapal terdapat pemberat (beban) P yang dapat dipondahkan kekiri atau kekanan.
3. Baik air dan mistar (meteran) diletakan si atas double bottom.
4. Tali penggantung dan bandul diikatkan pada ketinggian tertentu



Gambar 2.16 sketsa inclining experiment

Misalkan beban p diletakan kanan kapal dengan jarak l dari sumbu kapal. Maka bandul yang digabungkan pada tali setinggi b akan menunjukkan simpangan sebesar a (cm), maka sudut simpangan dapat diketahui yaitu :

$$\text{Tg } \gamma = a/b \longrightarrow \gamma = \text{arc. Tg } a/b$$

Dengan persamaan moment statis maka \overline{Mg} dapat diketahui :

$$P \cdot l = p \cdot a \longrightarrow a = \overline{MG} \cdot \text{tg } \gamma$$

$$P \cdot l = V \cdot \overline{MG} \cdot \text{tg } \gamma$$

$$\text{Jadi : } \overline{MG} = \frac{p \cdot l}{V \cdot \text{tg } \gamma} \longrightarrow \overline{GK} = \overline{MK} - \overline{MG}$$

2.5 Teori Model

Pada percobaan dengan memakai model kapal dapat ditunjukkan bahwa dari hasil pengukuran hambatan total model kapal tersebut, kemudian hambatan total kapal yang dicari akan dapat dihitung. Umumnya model tersebut berdimensi relative lebih kecil dan di ‘operasikan’ di air tawar pada tangki percobaan dengan ukuran terbatas, sedangkan kapal berlayar diperairan luas dan biasanya laut berair asin. Adapun persyaratan kesamaan-kesamaan yang harus dipenuhi adalah :

- Kesamaan Geometris (*geometrical similiarity*)
- Kesamaan kinematis (*kinematical similiarity*)
- Kesamaan dinamis (*dynamical similiarity*)

2.5.1 Hukum Kesamaan Dasar Newton

“Perbandingan harga tiap gaya yang bekerja di titik-titik yang sama (*similar spots*) pada benda-benda berbentuk sama yang berada didalam aliran fluida yang sama, haruslah sama besarnya.”

Berdasarkan hukum Newton tersebut diatas, perbandingan gaya inersia dengan gaya gravitasi di titik A, pada kapal dan titik koresponnya pada model titik A_m , gaya inersia dengan gaya viskositas, gaya inersia dengan gaya tekanan berturut-turut adalah sebagai berikut :

$$\left[\frac{F_i}{F_g} \right]_{kpl} = \left[\frac{F_i}{F_g} \right]_{model} \rightarrow \left[\frac{F_i(s)}{F_g(s)} \right] = \left[\frac{F_i(m)}{F_g(m)} \right] \rightarrow \left[\frac{F_i(s)}{F_i(m)} \right] = \left[\frac{F_g(s)}{F_g(m)} \right]$$

$$\left[\frac{F_i}{F_v} \right]_{kpl} = \left[\frac{F_i}{F_v} \right]_{model} \rightarrow \left[\frac{F_i(s)}{F_v(s)} \right] = \left[\frac{F_i(m)}{F_v(m)} \right] \rightarrow \left[\frac{F_i(s)}{F_i(m)} \right] = \left[\frac{F_v(s)}{F_v(m)} \right]$$

$$\left[\frac{F_i}{F_p} \right]_{kpl} = \left[\frac{F_i}{F_p} \right]_{model} \rightarrow \left[\frac{F_i(s)}{F_p(s)} \right] = \left[\frac{F_i(m)}{F_p(m)} \right] \rightarrow \left[\frac{F_i(s)}{F_i(m)} \right] = \left[\frac{F_p(s)}{F_p(m)} \right]$$

2.5.2 Hukum Kesamaan Froude

Ditinjau sebuah benda bergerak dipermukaan bebas (*free surface*) di suatu fluida ideal (*non viscous fluid*), diselubung dinding luar benda yang bersangkutan pada bagian dibawah permukaan fluida akan terjadi aliran dan gaya-gaya yang timbul adalah gaya inersia, gaya tekanan dan gaya gravitasi. Karena fluidanya diasumsikan sebagai fluida tidak berviskositas, maka tidak terjadi gaya gesekan. Sedangkan kesemua gaya yang bekerja tersebut secara keseluruhan akan merupakan satu keseimbangan (resultan gaya = 0).

Bila Φ_i , Φ_g dan Φ_p masing-masing adalah harga perbandingan gaya inersia kapal dengan modelnya, perbandingan gaya inersia kapal dengan modelnya, perbandingan gaya gravitasi dengan harga perbandingan gaya tekanannya, maka :

$$\bullet \quad \Phi_i = \frac{F_i(s)}{F_i(m)} = \frac{m(s).a(s)}{m(m).a(m)} = \frac{\rho(s).\nabla(s).a(s)}{\rho(m).\nabla(m).a(m)}$$

Maka,

$$\Phi_i = \frac{\rho(s)}{\rho(m)} \frac{\nabla(s)}{\nabla(m)} \frac{a(s)}{a(m)} = \delta . \lambda^3 . \beta$$

Dimana ; δ = perbandingan density

λ = perbandingan ukuran panjang

β = perbandingan percepatan

Bila ε = perbandingan kecepatan $\left(\frac{V(s)}{V(m)}\right)$ dan τ = perbandingan waktu ditempuh, maka :

$$\varepsilon = \frac{V(s)}{V(m)} = \frac{\lambda}{\tau} \rightarrow \tau = \frac{\lambda}{\varepsilon}$$

$$\beta = \frac{\varepsilon}{\tau} = \frac{\varepsilon}{\frac{\lambda}{\varepsilon}} = \frac{\varepsilon^2}{\lambda}$$

$$\Phi_i = \delta . \lambda^3 . \beta = \frac{\delta . \lambda^3 . \varepsilon^2}{\lambda} = \delta . \lambda^2 . \varepsilon^2$$

$$\bullet \quad \Phi_g = \frac{F_g(s)}{F_g(m)} = \frac{m(s).g(s)}{m(m).g(m)} = \frac{\rho(s).\nabla(s).g(s)}{\rho(m).\nabla(m).g(m)}$$

Maka,

$$\Phi_g = \frac{\rho(s)}{\rho(m)} \frac{\nabla(s)}{\nabla(m)} \frac{g(s)}{g(m)} = \delta . \lambda^3 . \zeta$$

Dimana ; ζ = perbandingan gravitasi

Seperti telah dijelaskan berdasarkan hukum newton selain harga-harga perbandingan gaya gravitasi, harga-harga perbandingan gaya inersia dan juga perbandingan gaya tekanan haruslah sama untuk kapal dan modelnya ($\Phi_i = \Phi_g = \Phi_p$), sehingga :

$$\frac{F_g(s)}{F_g(m)} = \frac{F_i(s)}{F_i(m)} = \frac{F_p(s)}{F_p(m)} \rightarrow \frac{F_g(s)}{F_i(s)} = \frac{F_g(m)}{F_i(m)} \rightarrow \frac{F_g(s)}{F_g(m)} = \frac{F_i(s)}{F_i(m)} = \Phi_g = \Phi_i \rightarrow$$

$$\delta . \lambda^3 . \zeta = \delta . \lambda^2 . \varepsilon^2 \rightarrow \lambda . \zeta = \varepsilon^2 \rightarrow \frac{L(s)}{L(m)} \frac{g(s)}{g(m)} = \frac{V(s)^2}{V(m)^2} \rightarrow \frac{V(s)}{\sqrt{g(s).L(s)}} = \frac{V(m)}{\sqrt{g(m).L(m)}} \dots$$

Seperti telah diketahui $\frac{V}{\sqrt{g.L}}$ adalah angka Froude F_n , maka dengan demikian $F_{n_s} = F_{n_m}$ dan apa yang diuraikan diatas kemudian menjadi dasar dari Hukum Kesamaan Froude.

Angka gravitasi di tangki percobaan biasa diasumsi sama dengan gravitasi di perairan laut dimana kapal akan beroperasi ($\zeta = 1$), sehingga dengan harga angka Froude kapal sama dengan modelnya, maka :

$$F_n(s) = F_n(m) \rightarrow \frac{V(s)}{\sqrt{g(s).L(s)}} = \frac{V(m)}{\sqrt{g(m).L(m)}} \rightarrow \frac{V(s)}{\sqrt{L(s)}} = \frac{V(m)}{\sqrt{L(m)}}$$

$$\rightarrow V(m) = \frac{V(s)}{\sqrt{\frac{L(m)}{L(s)}}} = \lambda^{-\frac{1}{2}}.V(s) \quad g = \delta . \lambda^3 . \zeta = \delta . \lambda^3 =$$

$$\frac{\rho(s)}{\rho(m)} \frac{\nabla(s)}{\nabla(m)} = \frac{\rho(s).\nabla(s)}{\rho(m).\nabla(m)} \quad \Phi_g = \Phi_i = \Phi_p = \frac{\rho(s).\nabla(s)}{\rho(m).\nabla(m)} \dots$$

Gaya gravitasi dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$F_g(s) = C_w . \frac{1}{2} \rho(s) . S(s) . V(s)^2$$

$$F_g(m) = C_w . \frac{1}{2} \rho(m) . S(m) . V(m)^2$$

Dimana : C_w = konstanta yang harganya bebas terhadap pengaruh harga skala yang dipilih

S = Luas permukaan basah (*wetted surface area* WSA)

Bila γ = berat jenis (*specific weight*), *density* $\rho = \gamma/g$, *displacement* $\Delta = \gamma . \nabla$ dan dengan angka gravitasi $g_m = g_s$ atau harga $\zeta = 1$, maka :

$$\Phi_g = \Phi_i = \Phi_p = \frac{\gamma(s) . \nabla(s)}{\gamma(m) . \nabla(m)} = \frac{\Delta(s)}{\Delta(m)}$$

Φ_g adalah berkaitan dengan perbandingan hambatan gelombang yang timbul pada kapal dan modelnya. Sedangkan Φ_p terkait dengan hambatan

tekanan, sehingga Φ_g , Φ_p dan Φ_i secara keseluruhan terkait dengan perbandingan hambatan sisa (*residual resistance*) kapal dengan modelnya.

Bila air di kolam towing tank diasumsikan sebagai fluida ideal (sehingga gaya viskositas yang terkait dengan hambatan gesekan tidak diperhitungkan) dan model dijalankan dengan kecepatan $V_m = \lambda^{-1/2} \cdot V_s$, yang mana badan model tersebut bergerak dengan diselubungi aliran fluida yang memenuhi persamaan Froude, maka semua gaya-gaya yang bekerja terkait dengan hambatan sisa, besarnya bila dihadapkan dengan apa yang terjadi pada kapal yang sebenarnya adalah sebanding dengan *displacement*-nya. Dengan demikian, apabila komponen hambatan gesek dipisahkan dari hambatan total sehingga yang ditinjau hanya komponen hambatan sisanya saja dan model dibuat geometris sama dengan kapal serta memiliki angka Froude sama ($F_{n_m} = F_{n_s}$ yakni model dijalankan dengan kecepatan $V_m = \lambda^{-1/2} \cdot V_s$) maka akan berlaku kesimpulan di atas.

Apa yang telah diuraikan di atas dikenal dengan sebagai Hukum Perbandingan (*law of comparison*) atau Hukum Kesamaan (*law of similarity*) dari Froude yang diberlakukan untuk menghubungkan model dengan kapalnya dalam percobaan *resistance test* di tangki percobaan seperti sebagai berikut :

Apabila model dan kapal geometris sama dan memiliki angka Froude sama, maka besarnya hambatan sisa berbanding lurus dengan besarnya *displacement*.

$$\begin{aligned} V(m) &= \lambda^{-\frac{1}{2}} \cdot V(s) \rightarrow Rr(s) = Rr(m) = \frac{\Delta(s)}{\Delta(m)} \\ &= \left(\frac{\rho(s)}{\rho(m)} \right) \cdot \lambda^3 \end{aligned}$$

Dimana : $\rho(s)$ dan $\rho(m)$ masing-masing adalah *density* dari air laut dan air tawar di *towing tank*;

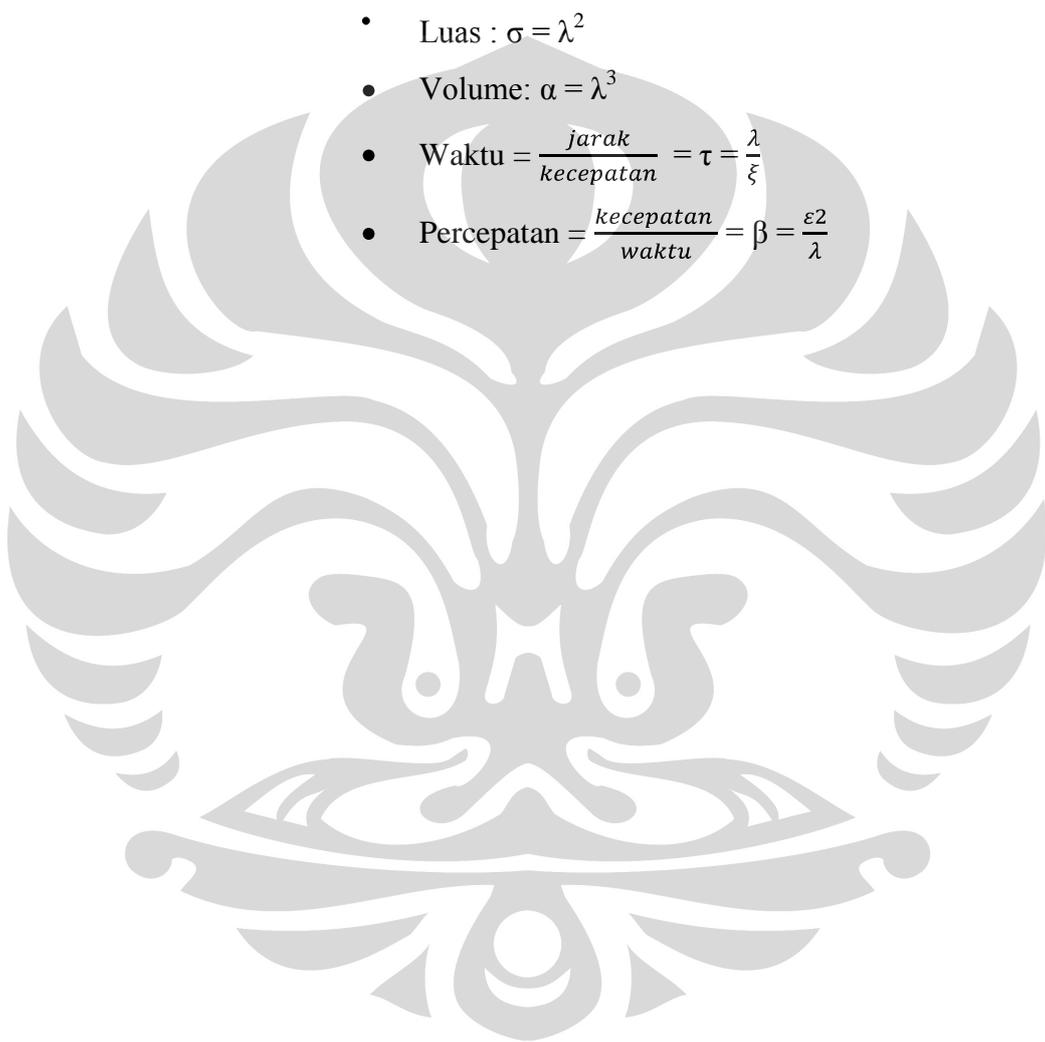
λ = skala model terhadap kapalnya (*linear ratio*)

Prinsip Froude tersebut sampai sekarang masih dianut untuk percobaan hambatan kapal dengan menggunakan model di *towing tank*.

Sehingga dapat dirangkum sebagai berikut :

- Gaya : $\emptyset = \frac{F_s}{F_m}$ ket: S = ship M = model
- Massa : $\mu = \frac{M_s}{M_m}$

- Panjang : $\lambda = \frac{ls}{lm}$
- Kecepatan : $\varepsilon = \frac{Vs}{Vm}$; (ratio)
- Waktu : $T = \frac{ts}{tm}$
- Massa jenis : $\delta = \frac{\rho s}{\rho m}$
- Gravitasi : $\gamma = \frac{gs}{gm}$
- Luas : $\sigma = \lambda^2$
- Volume: $\alpha = \lambda^3$
- Waktu = $\frac{\text{jarak}}{\text{kecepatan}} = \tau = \frac{\lambda}{\xi}$
- Percepatan = $\frac{\text{kecepatan}}{\text{waktu}} = \beta = \frac{\varepsilon^2}{\lambda}$



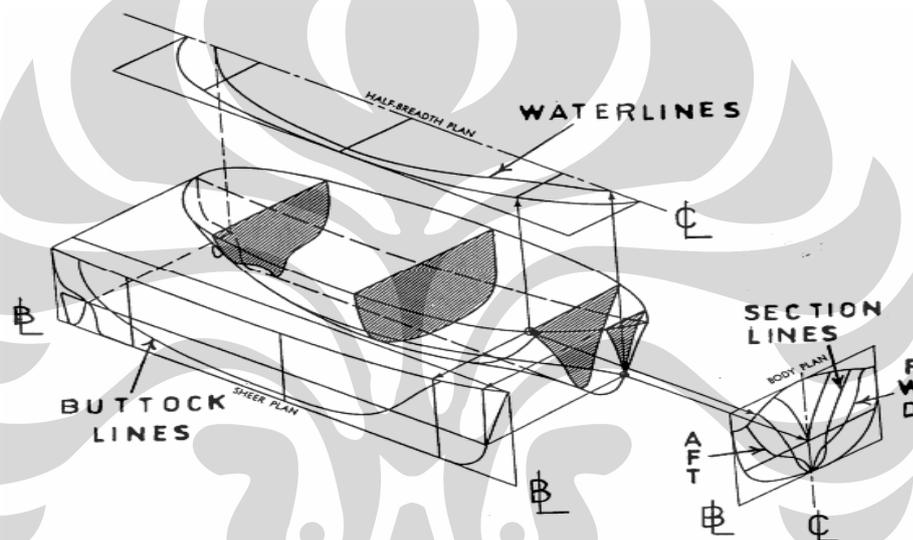
BAB 3

REKONSTRUKSI DESAIN DAN PENGUJIAN

3.1 Rekonstruksi Desain

3.1.1 Pengukuran Data Pembuatan Lines Plan Kapal Model.

Kapal model yang dipakai penulis sebagai alat yang dipakai dalam uji stabilitas belum mempunyai gambar lines plan, oleh karena itu penulis bersama tim kelap - kelip merekonstruksi kembali gambar lines plan dengan menggunakan teori bangunan kapal.



Gambar. 3.1. bidang-bidang yang memotong kapal

Penulis dan tim kelap – kelip pertama – tama mengukur jarak – jarak utama kapal lalu mengukur perpotongan garis tiap – tiap waterline dan frame kapal model.



Gambar. 3.2. pengukuran jarak perpotongan bidang-bidang kapal model

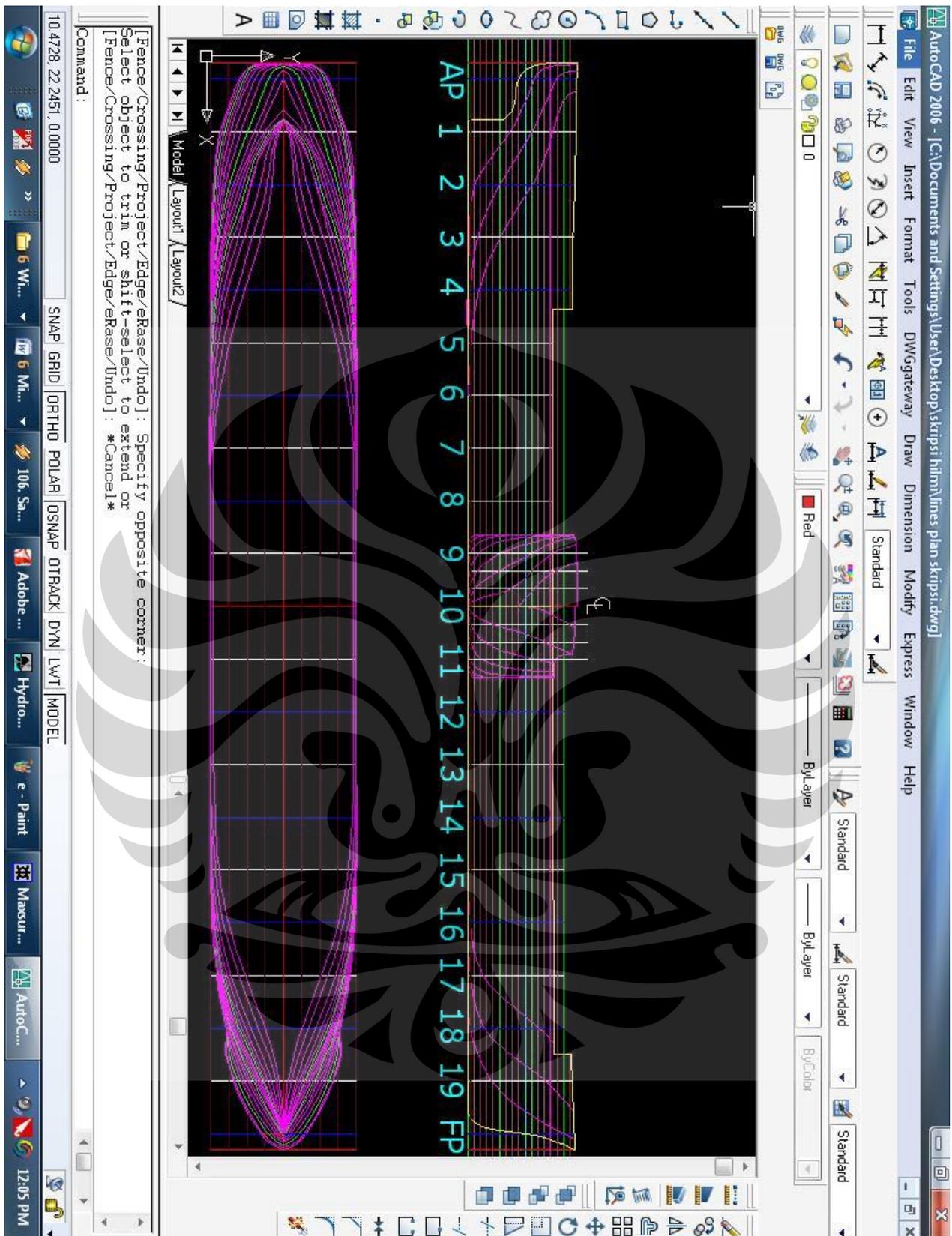


Gambar. 3.3. pengukuran dimensi kapal model



Gambar. 3.4. pengukuran dimensi kapal model

Dengan konsep pengukuran diatas maka didapat gambar lines plan dengan menggunakan software Auto Cad 2006 untuk kapal model sebagai berikut :



Gambar. 3.5. lines plan kapal model

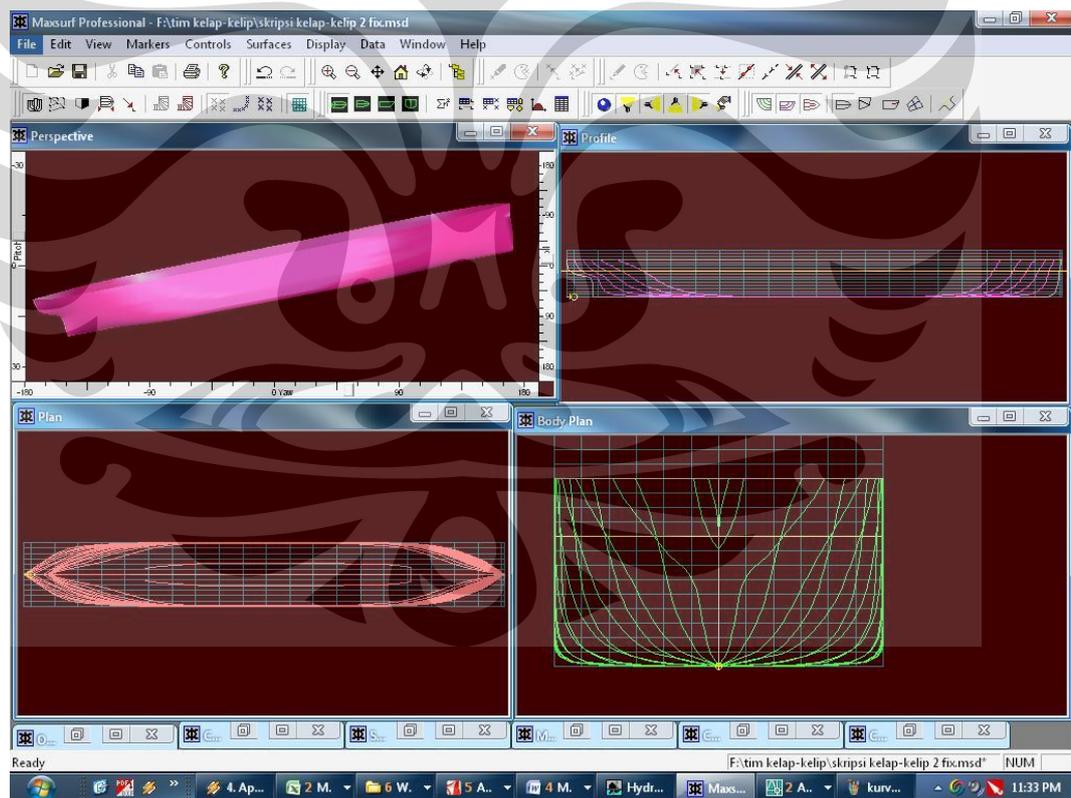
Tabel 3.1 ukuran dimensi kapal model satuan dalam mm

Lbp	2385
Loa	2458.7
B	323
draft	128.7
Tinggi	185.5
jarak antar wl	14.3
jumlah wl	16
jarak antar gdg	119.3
jumlah gdg	20

3.1.2 Pembuatan Desain Kapal Model dengan Program Maxsurf Pro

Setelah mendapatkan gambar lines plan dengan menggunakan software Auto Cad 2006 maka didapatkan table offset yang kemudian akan dimasukkan kedalam software *maxsurf* versi 11.12.

Sehingga mendapatkan gambar sebagai berikut :



Gambar 3.6. Desain Lines Plan Kapal Model pada program Maxsurf

Tabel 3.2. Offset Table kapal model

OFFSET TABLE																		
No. Gading	WL 0	WL 1/2	WL 1	WL 2	WL 3	WL 4	WL 5	WL 6	WL 7	WL 8	WL 9	WL 10	WL 11	WL 12	WL 13	WL 14	WL 15	WL 16
AP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	34	50	63	74	82	89	94
1	0	10	13	18	22	26	30	35	43	53	65	80	95	107	118	126	131	136
2	0	25	36	52	63	72	80	88	96	104	112	120	128	135	142	147	151	154
3	0	50	68	88	101	111	120	126	131	136	141	145	148	152	155	157	159	160
4	0	86	104	123	134	141	146	150	153	155	156.6	158	159	160	160	161	161	161
5	0	119	133	146	153	157	159	160	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
6	0	143	152	159	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
7	0	155	160	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
8	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
9	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
10	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
11	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
12	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
13	0	155	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
14	0	155	158	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
15	0	143	151	158	160	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	-	-
16	0	122	133	144	150	153	155	156	156	157	157	157	157	157	158	158	-	-
17	0	84	99	116	125	131	135	138	140	142	144	145	146	147	148	148	-	-
18	0	41	55	72	83	92	98	103	107	111	114	117	120	123	126	114	120	126
19	0	10	17	27	35	41	46	50	54	58	63	68	73	79	86	93	101	108
FP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	11	17	25	34	45

3.2 Peralatan Utama Pengujian

3.2.1 General Cargo Vessel Model

Model ini replika dari sebuah *general cargo motor vessel* yang terbuat dari *fiberglass* dengan dimensi utama kapal sebagai berikut:

Dengan berat kapal model : 13.920 kg

Lbp	2385 mm
Loa	2458.7mm
B	323 mm
draft	128.7 mm
Tinggi	185.5 mm



Gambar. 3.7. kapal model



Gambar. 3.8. menimbang berat kapal model

3.2.2 Flotation Tank

Adalah tanki tempat penampungan air dimana model kapal diapungkan selama pengujian. Tanki ini terbuat dari *fiberglass* mempunyai Panjang 250 cm , lebar 80 cm dan tinggi 40 cm.



Gambar 3.9. *flotation tank*

3.2.3 Clinometer

Clinometer adalah sebuah alat yang presisi dengan sumber tenaga baterai, alat elektronik pengukur digital yang mengukur kemiringan dari model kapal. Nilai dari besar sudut kemiringan dapat langsung terbaca dilayar dalam satuan derajat dengan resolusi 0.1 derajat dan dapat mengukur pada interval 0 sampai dengan 90 derajat.



Gambar 3.10. Digi-Pas DWL 80G

Clinometer adalah sebuah alat yang presisi yang harus dipakai dengan hati-hati. Setiap hentakkan dapat membuat *clinometer* perlu untuk dikalibrasi dan bila hentakkannya keras dapat merusak alat tersebut.

Clinometer bukan sebuah alat yang anti air, sehingga harus dijaga agar jangan sampai terjatuh kedalam *flotation tank* atau membuat model kapal terbalik ketika *clinometer* terpasang.

Alat ini mempunyai sumber tenaga baterai 2 pipih dengan masing-masing voltage 3 Volt. *Clinometer* ini terdiri dari 4 buah tombol; tombol pertama berwarna merah merupakan tombol *on/off*, tombol kedua adalah tombol hold, tombol ini digunakan ketika derajat yang muncul dilayar LCD ingin ditahan kemunculannya. Tombol yang ketiga adalah tombol *mode*, tombol ini digunakan ketika ingin mengubah sensitifitas dan mode alat ini. Pada keadaan *default* resolusi alat ini adalah 0,1 derajat, bila tombol ini ditekan sekali lagi maka resolusinya akan menjadi 0,5 derajat. Bila ditekan lagi maka resolusinya akan menjadi 1 derajat. Dan bila ditekan sekali lagi maka tampilannya akan berubah menjadi persentase kemiringan. Untuk mengembalikan tampilannya maka tombol ini perlu ditekan sekali lagi.

Tombol yang terakhir adalah tombol calibrasi. Tombol ini dipakai ketika *clinometer* sudah tidak presisi lagi. Hal ini terjadi saat baterainya mulai lemah atau ketika alat ini mengalami guncangan atau terjatuh.

3.2.4 Pembeban Muatan dan Pengoleng

Penulis menggunakan pasir yang dibungkus oleh plastik dan ditimbang beratnya sebagai pembeban dalam mendapatkan variasi draft kapal serta sebagai beban pengoleng kapal model dalam melaksanakan inclining test.



Gambar 3.11. membungkus dan menimbang pasir sebagai pembeban muatan dan pengoleng

Selain itu penulis juga menggunakan dacin sebagai beban pembuat kondisi kapal dalam keadaan 0° .

3.3 Pengujian

3.3.1 Peralatan Pendukung Pengujian

Peralatan pendukung yang digunakan dalam pengujian ini antara lain :

- | | |
|-----------------------|----------|
| a. Penggaris | (2 buah) |
| b. Pompa air listrik | (1 buah) |
| c. Dacin (@ 200 gram) | (6 buah) |
| d. Selang | (1 buah) |
| e. Perkat alumunium | (1buah) |
| f. Timbangan | (1 buah) |
| g. Kamera | (1 buah) |
| h. Spidol | (1 buah) |

3.3.2 Tujuan Pengujian

Tujuan dari pengujian inclining experiment ini adalah :

- Mencari nilai MG kapal model pada setiap variasi draft kapal model.

3.3.3 Prosedur Pengujian Inclining Experiment

- Tahap persiapan :
 1. Mengisi fluida kedalam *flotation tank* dengan menggunakan pompa air listrik.
 2. Menyiapkan semua perlengkapan seperti beban pemberat, penggaris, clinometers.
 3. Memastikan model kapal terapung dengan bebas, artinya tidak ada mooring yang terlalu kencang sehingga menghambat gerakan kapal selama pengujian.
 4. Memastikan tidak ada genangan air dalam compartment model.
- Tahap pengujian dan pengambilan data :

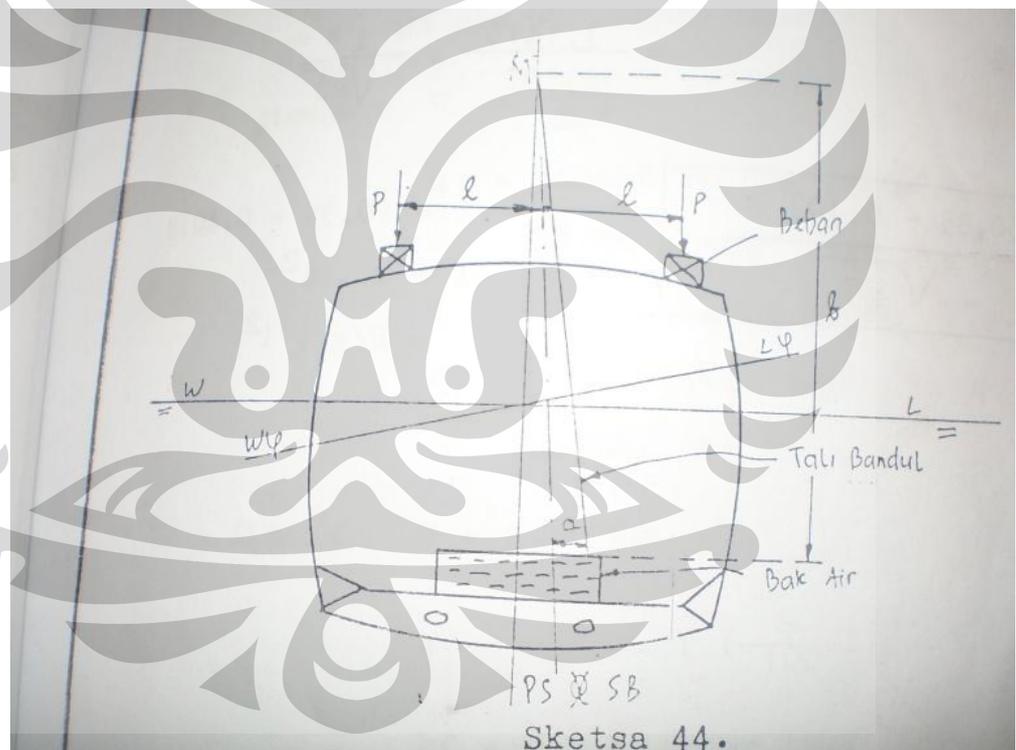
Untuk kapal model kosong :

1. Kapal model tersebut tidak dalam kondisi trim maupun oleng dengan pengecekan menggunakan clinometer.
2. Mencatat draft kapal model pada kondisi tersebut.
3. Memberi beban oleng (p) pada satu sisi kapal model.

4. Mengukur jarak titik berat (l) beban pengoleng ke tengah lebar kapal.
5. Meletakkan clinometer pada tengah dek kapal tepat berada di sebelah beban oleng.
6. Menyalakan clinometer dan mencatat derajat kemiringannya.
7. Matikan clinometers, merapikan peralatan untuk pengujian berikutnya.

Untuk kapal dengan variasi draft :

- Melakukan tahapan yang sama seperti pada kondisi diatas, hanya saja pencatatan draft setelah penambahan beban kapal model dilakukan setelah kapal benar – benar dalam kondisi bebas trim dengan pengecekan menggunakan clinometer.



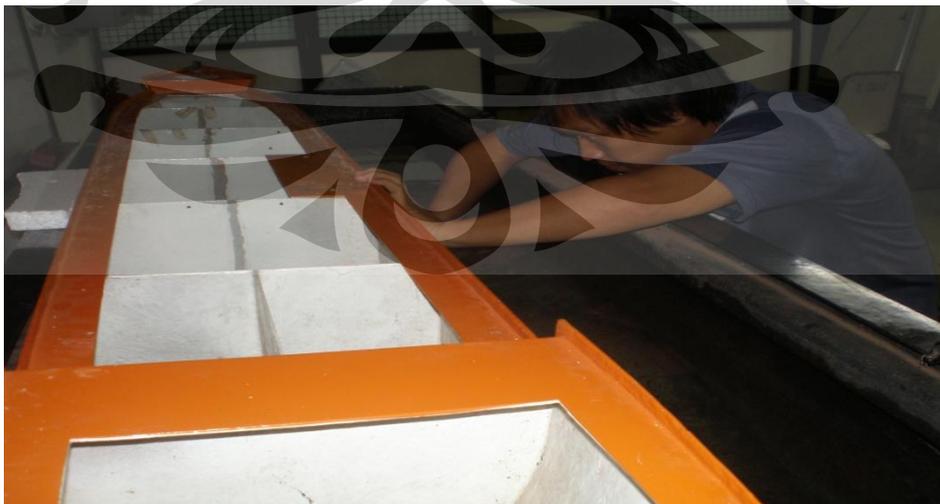
Gambar 3.12. Sketsa inclining experiment



Gambar 3.13. Memasukan Fluida ke dalam tank dengan menggunakan pompa



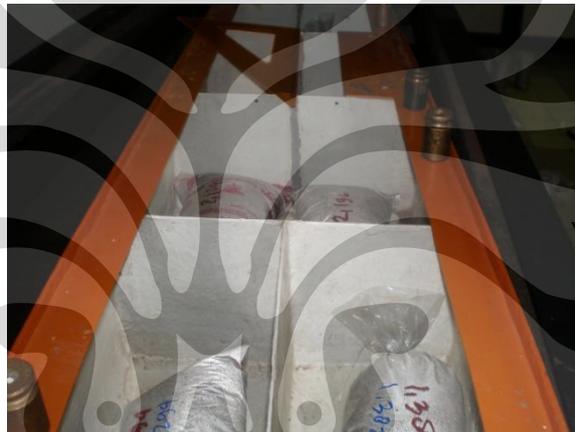
Gambar 3.14 Fluida terisi pada flotation tank



Gambar 3.15. Memasukan kapal model ke dalam flotation tank



Gambar 3.16. Memasukan beban muatan



Gambar 3.17. Pemberian beban penambah displacement



Gambar 3.18. Pemberian beban pengoleng



Gambar 3.19 Pembacaan derajat clinometer



Gambar 3.20. Memberi tanda tiap variasi draft kapal model

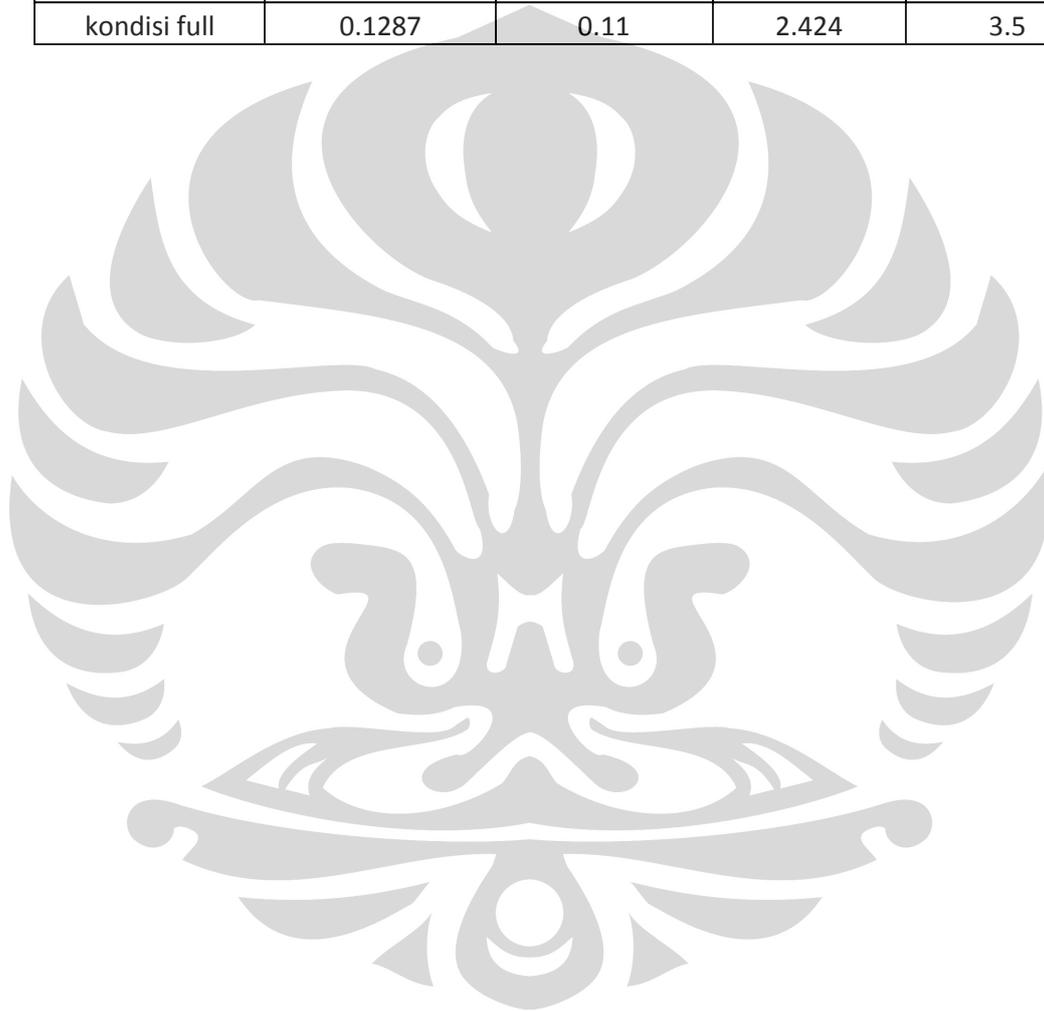


Gambar 3.21 .Mengukur jarak beban pengoleng

3.4 Data Pengujian

Tabel 3.4 Tabel hasil pengujian kapal model.

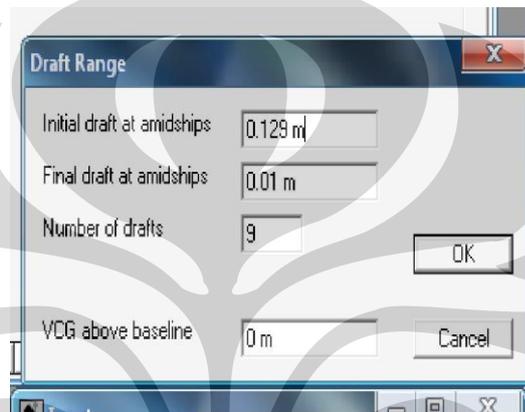
kondisi kapal	draft (satuan m)	jarak i (satuan m)	beban P (satuan kg)	sudut (satuan derajat)
kapal kosong	0.025	0.11	2.424	5
kondisi 1	0.059	0.11	2.424	4.5
kondisi 2	0.087	0.11	2.424	3.9
kondisi 3	0.117	0.11	2.424	3.6
kondisi full	0.1287	0.11	2.424	3.5



BAB 4 PERHITUNGAN DAN ANALISIS

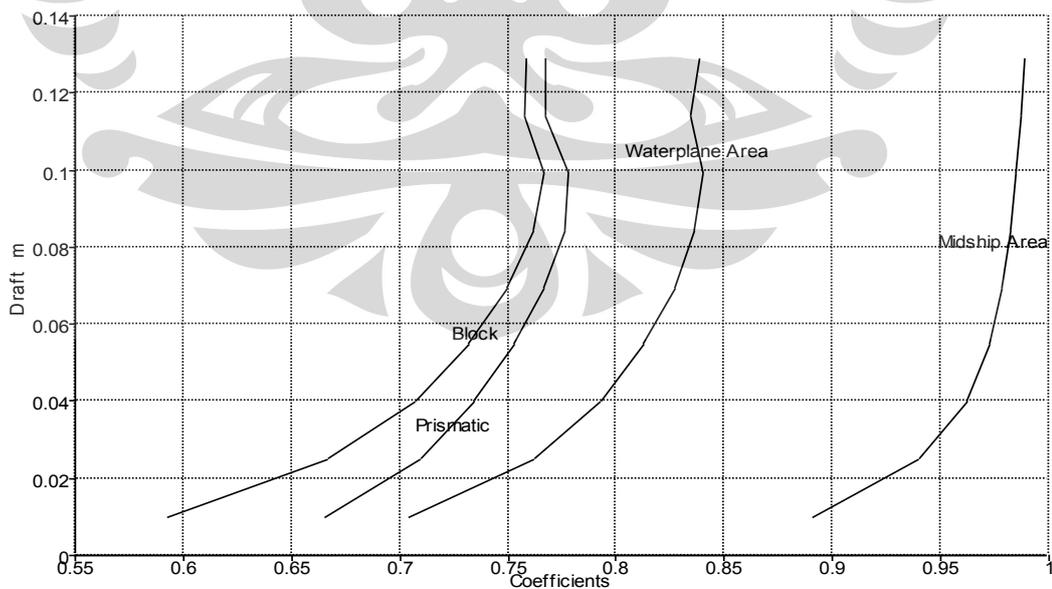
4.1 Pembuatan Hydrostatic Curve.

Perhitungan *HSC* menggunakan bantuan *software Hydromax Pro* versi 11.12. *Surface* kapal yang telah digambar terlebih dahulu dengan *software maxsurf* dibuka pada *hydromax*. Kemudian klik *analysis > upright hydrostatic*. Setelah itu, klik *analysis > draft* lalu isi seperti berikut ini

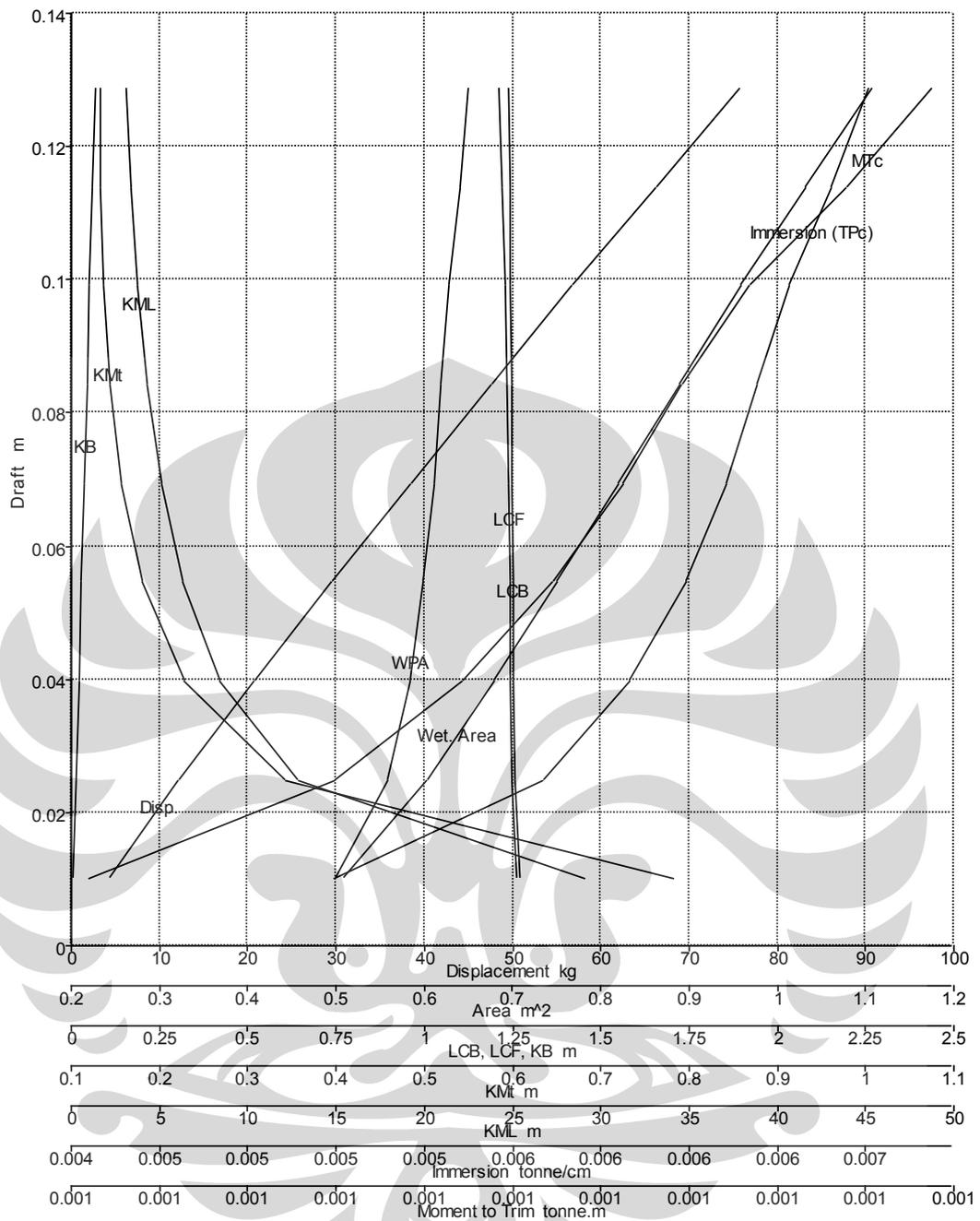


Gambar 4. 1 Kolom *draft range*.

kemudian klik *start analysis*, maka akan muncul grafik sebagai berikut :



Gambar 4. 2 Koefisien bentuk kapal model.



Gambar 4. 3 Diagram HSC kapal model.

Tabel 4. 1 Tabel hasil perhitungan *HSC* kapal model.

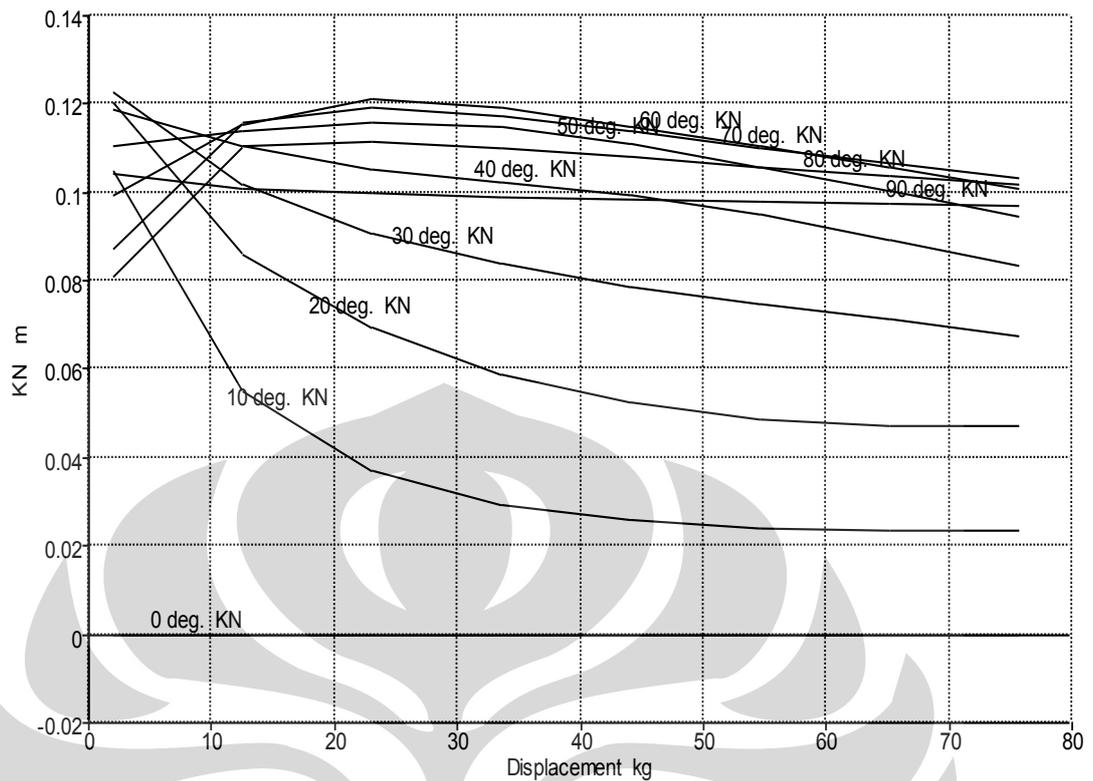
Draft Amidsh. m	0.129	0.097	0.064	0.032	0.000
Displacement kg	75.75	55.19	35.34	16.29	0.0000
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	0.129	0.097	0.064	0.032	0.000
Draft at AP m	0.129	0.097	0.064	0.032	0.000
Draft at LCF m	0.129	0.097	0.064	0.032	0.000
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
WL Length m	2.403	2.309	2.285	2.275	2.228
WL Beam m	0.323	0.323	0.323	0.323	0.000
Wetted Area m ²	1.106	0.947	0.797	0.641	0.000
Waterpl. Area m ²	0.651	0.627	0.607	0.572	0.000
Prismatic Coeff.	0.767	0.779	0.762	0.723	0.000
Block Coeff.	0.758	0.767	0.744	0.689	0.000
Midship Area Coeff.	0.988	0.984	0.977	0.953	0.000
Waterpl. Area Coeff.	0.838	0.840	0.823	0.779	0.000
LCB from zero pt. m	1.238	1.244	1.249	1.256	0.018
LCF from zero pt. m	1.210	1.231	1.240	1.246	0.018
KB m	0.068	0.051	0.034	0.017	0.000
KG m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BMT m	0.066	0.086	0.129	0.255	0.000
BML m	3.064	3.765	5.406	10.138	0.000
GMT m	0.133	0.137	0.163	0.272	0.000
GML m	3.131	3.816	5.440	10.155	0.000
KMt m	0.133	0.137	0.163	0.272	0.000
KML m	3.131	3.816	5.440	10.155	0.000
Immersion (TPc) tonne/cm	0.007	0.006	0.006	0.006	0.000
MTc tonne.m	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
RM at 1deg = GMT.Disp.sin(1)	0.176	0.132	0.100	0.077	0.000
Max deck inclination deg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

4. 2 Pembuatan *Cross Curve*

Proses Pembuatan *cross curve* juga menggunakan bantuan software *hydromax pro 11.12*. Langkah – langkah Perhitungan *cross curve* menggunakan *hydromax* untuk kapal rancangan ini adalah sebagai berikut :

1. Masukkan kapal rancangan kita dengan meng-klik *file > open*.
2. Klik toolbar *analysis > set analysis > KN values*.
3. Kemudian masukkan *input data* seperti *heel,trim, displacement, density, wave form, hog and sag*.
4. Untuk memulai analisis tinggal klik *analysis>start analysis*.

Sehingga didapatkan *cross curve* sebagai berikut :



Gambar 4. 4 *Cross curve* kapal rancangan.

4.3 Perhitungan Stabilitas Statis

Dengan menggunakan persamaan pada dasar teori untuk menghitung MG yaitu: $P \cdot l = p \cdot a$ $a = MG \cdot \text{tg } \gamma$

$$P \cdot l = V \cdot MG \cdot \text{tg } \gamma$$

$$\text{Jadi : } \overline{MG} = \frac{p \cdot l}{V \cdot \text{tg } \gamma} \longrightarrow \overline{GK} = \overline{MK} - \overline{MG}$$

Maka berdasarkan data hasil percobaan :

Tabel 4. 2 Data percobaan.

kondisi kapal	draft (satuan m)	jarak i (satuan m)	beban P (satuan kg)	sudut (satuan derajat)
kapal kosong	0.025	0.11	2.424	5
kondisi 1	0.059	0.11	2.424	4.5
kondisi 2	0.087	0.11	2.424	3.9
kondisi 3	0.117	0.11	2.424	3.6
kondisi full	0.1287	0.11	2.424	3.5

Kita dapat menghitung nilai MG, dengan bantuan Hidrostatic Curve untuk mendapatkan nilai displacement kapal model pada setiap variasi draftnya.

Tabel 4. 3 Displacement kapal model setiap variasi draft

kondisi kapal	displ total (satuan kg)	draft (satuan m)
kapal kosong	12.22	0.025
kondisi 1	32.11	0.059
kondisi 2	49.28	0.087
kondisi 3	68.24	0.117
kondisi full	75.75	0.1287

Tabel 4. 4 uraian HSC kapal model setiap variasi draft

kondisi kapal	Draft (m)	Displacement (kg)	TPC	MCT	LWL (m)	LCB from	LCG from
			(ton/cm)	(ton.m)		zero pt. (m)	zero pt. (m)
kapal kosong	0.025	12.22	0.005593	0.000655	2.27683	1.258	1.248
kondisi 1	0.059	32.11	0.006035	0.000794	2.28508	1.249	1.241
kondisi 2	0.087	49.28	0.006219	0.000863	2.2956	1.245	1.234
kondisi 3	0.117	68.24	0.006436	0.00096	2.38524	1.24	1.217
kondisi full	0.1287	75.8	0.006516	0.000999	2.40367	1.237488	1.21

Sehingga nilai MG setiap kondisi variasi draft :

Tabel 4. 5 Perhitungan MG kapal model setiap variasi draft

kondisi kapal	displ total (satuan kg)	draft (satuan m)	jarak i (satuan m)	beban P (satuan kg)	sudut (satuan derajat)	tan a	MG (satuan m)
kapal kosong	12.22	0.025	0.11	2.424	5	0.08748 8664	0.24940 3367
kondisi 1	32.11	0.059	0.11	2.424	4.5	0.07870 1707	0.10551 1754
kondisi 2	49.28	0.087	0.11	2.424	3.9	0.06817 3161	0.07936 7221
kondisi 3	68.24	0.117	0.11	2.424	3.6	0.06291 4667	0.06210 6117
kondisi full	75.75	0.1287	0.11	2.424	3.5	0.06116 262	0.05755 1491

Dengan bantuan Cross Curve, maka kita dapat pula mendapatkan nilai NK $\sin \alpha$ pada setiap variasi draft :

Tabel 4. 6 Nilai NK Sin α kapal model setiap variasi draft

kondisi kapal	NK Sin 10	NK Sin 20	NK Sin 30	NK Sin40	NK Sin 50	NK Sin60	NK Sin70	NK Sin 80	NK Sin 90
kapal kosong	0.056	0.087	0.103	0.111	0.114	0.115	0.115	0.111	0.101
kondisi 1	0.03	0.06	0.085	0.103	0.115	0.12	0.118	0.111	0.099
kondisi 2	0.025	0.05	0.077	0.098	0.109	0.113	0.112	0.107	0.098
kondisi 3	0.023	0.047	0.07	0.088	0.099	0.104	0.106	0.103	0.097
kondisi full	0.023	0.047	0.068	0.083	0.094	0.101	0.103	0.102	0.097

Setelah mendapatkan nilai MG dan NK Sin α maka kita dapat menentukan nilai

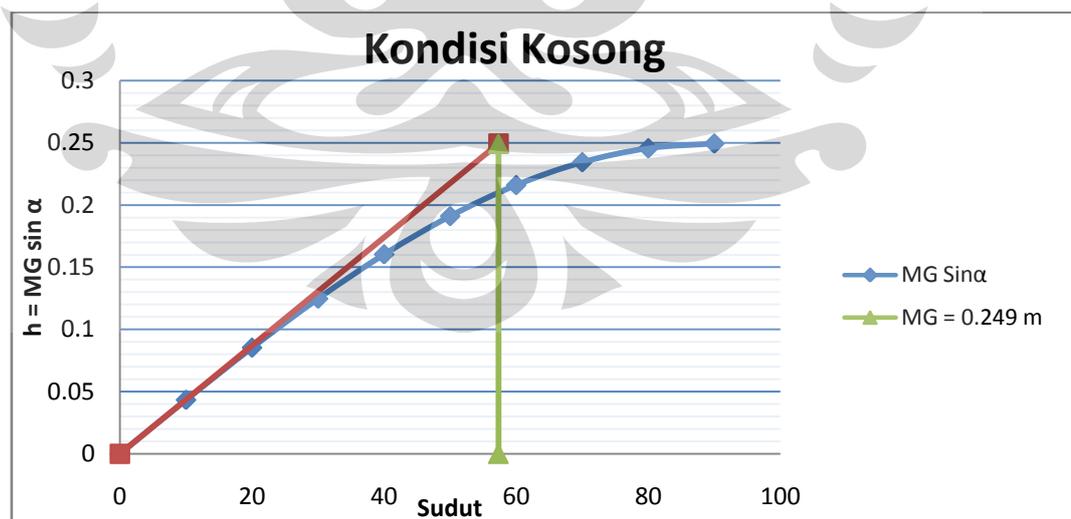
GK dengan formula : $GK = NK - MG$ sehingga untuk

- kapal model kondisi kosong :

Tabel 4. 7 Nilai NK Sin α , GK Sin α dan MG Sin α kapal model kondisi kosong

α	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Sin α	0	0.174	0.342	0.500	0.643	0.766	0.866	0.940	0.985	1.000
NK Sin α	0	0.056	0.087	0.103	0.111	0.114	0.115	0.115	0.111	0.101
GK Sin α	0	0.013	0.002	-0.022	-0.049	-0.077	-0.101	-0.119	-0.135	-0.148
MG sin $\alpha = h$	0	0.043	0.085	0.125	0.160	0.191	0.216	0.234	0.246	0.249

Dan gambar kurva stabilitas statisnya menjadi :



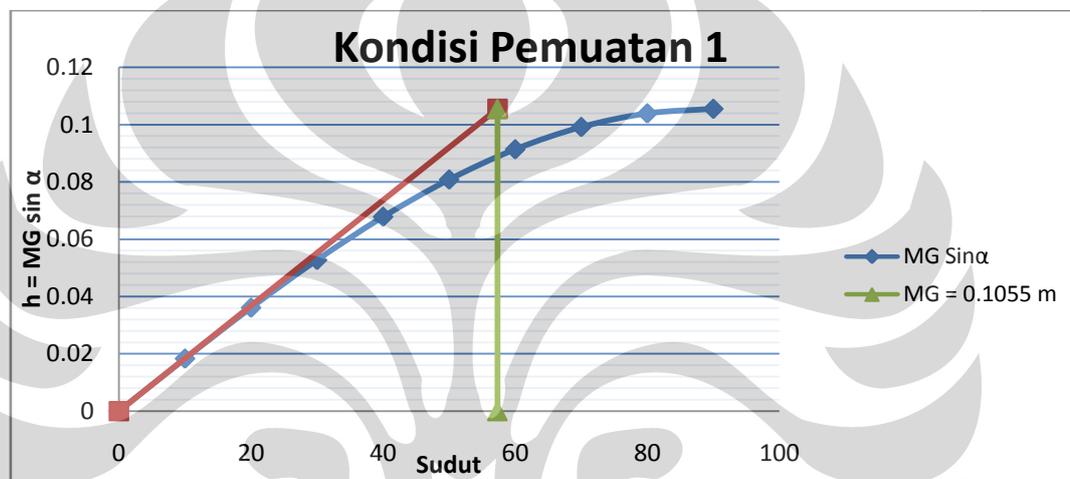
Gambar 4.5 Kurva stabilitas kapal model kondisi kosong

- Kapal model kondisi pemuatan 1 :

Tabel 4. 8 Nilai $NK \sin \alpha$, $GK \sin \alpha$ dan $MG \sin \alpha$ kapal model kondisi pemuatan 1

α	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\sin \alpha$	0	0.174	0.342	0.500	0.643	0.766	0.866	0.940	0.985	1.000
$NK \sin \alpha$	0	0.030	0.060	0.085	0.103	0.115	0.120	0.118	0.111	0.099
$GK \sin \alpha$	0	0.012	0.024	0.032	0.035	0.034	0.029	0.019	0.007	-0.007
$MG \sin \alpha = h$	0	0.018	0.036	0.053	0.068	0.081	0.091	0.099	0.104	0.106

Dan gambar kurva stabilitas statisnya menjadi :



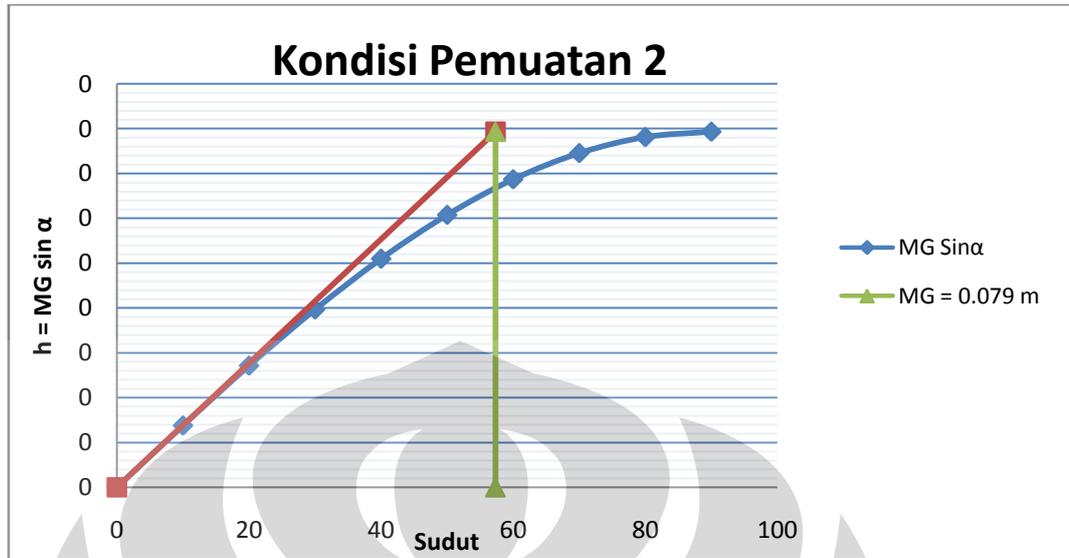
Gambar 4.6 Kurva stabilitas kapal model kondisi 1

- Kapal model kondisi pemuatan 2 :

Tabel 4. 9 Nilai $NK \sin \alpha$, $GK \sin \alpha$ dan $MG \sin \alpha$ kapal model kondisi pemuatan 2

α	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\sin \alpha$	0	0.174	0.342	0.500	0.643	0.766	0.866	0.940	0.985	1.000
$NK \sin \alpha$	0	0.025	0.050	0.077	0.098	0.109	0.113	0.112	0.107	0.098
$GK \sin \alpha$	0	0.011	0.023	0.037	0.047	0.048	0.044	0.037	0.029	0.019
$MG \sin \alpha = h$	0	0.014	0.027	0.040	0.051	0.061	0.069	0.075	0.078	0.079

Dan gambar kurva stabilitas statisnya menjadi :



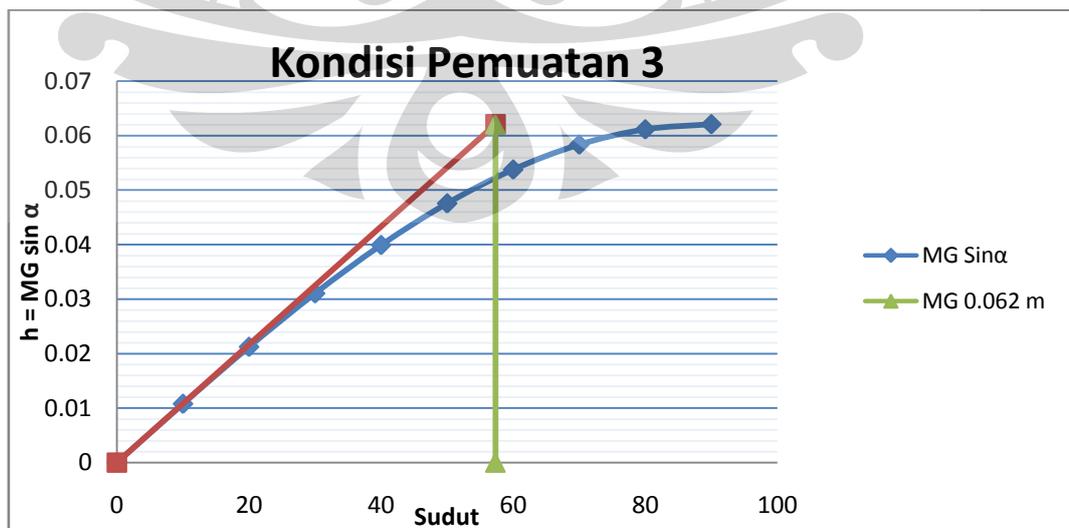
Gambar 4.7 Kurva stabilitas kapal model kondisi 2

- Kapal model kondisi pemuatan 3 :

Tabel 4. 10 Nilai NK Sin α , GK Sin α dan MG Sin α kapal model kondisi pemuatan 3

α	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Sin α	0	0.174	0.342	0.500	0.643	0.766	0.866	0.940	0.985	1.000
NK Sin α	0	0.057	0.088	0.103	0.111	0.114	0.115	0.115	0.110	0.101
GK Sin α	0	0.046	0.067	0.072	0.071	0.066	0.061	0.057	0.049	0.039
MG sin $\alpha = h$	0	0.011	0.021	0.031	0.040	0.048	0.054	0.058	0.061	0.062

Dan gambar kurva stabilitas statisnya menjadi :



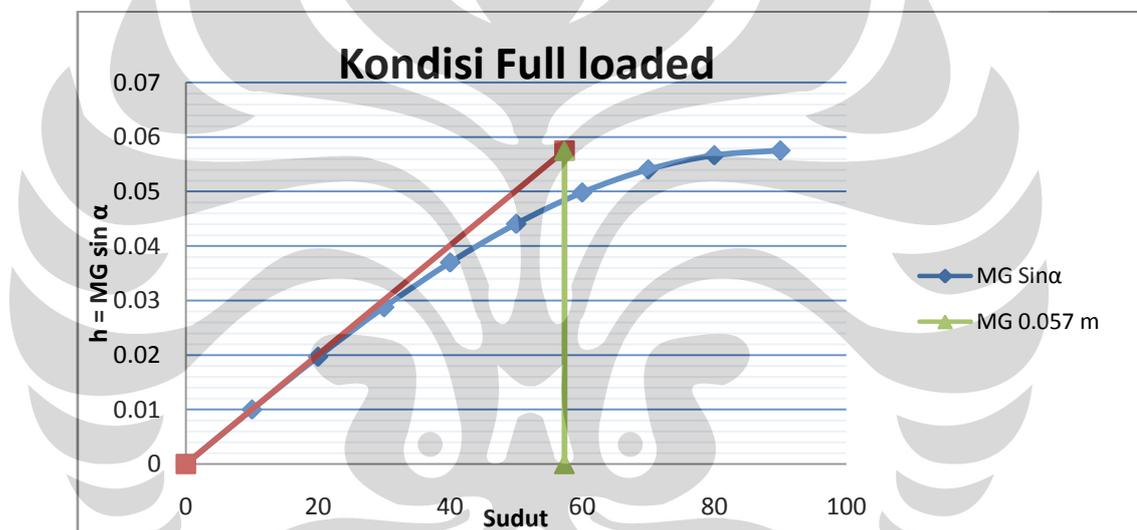
Gambar 4.8 Kurva stabilitas kapal model kondisi 3

- Kapal model kondisi pemuatan 4 :

Tabel 4.11 Nilai $NK \sin \alpha$, $GK \sin \alpha$ dan $MG \sin \alpha$ kapal model kondisi pemuatan full loaded

α	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\sin \alpha$	0	0.174	0.342	0.500	0.643	0.766	0.866	0.940	0.985	1.000
$NK \sin \alpha$	0	0.023	0.047	0.068	0.083	0.094	0.101	0.103	0.102	0.097
$GK \sin \alpha$	0	0.013	0.027	0.039	0.046	0.050	0.051	0.049	0.045	0.039
$MG \sin \alpha = h$	0	0.010	0.020	0.029	0.037	0.044	0.050	0.054	0.057	0.058

Dan gambar kurva stabilitas statisnya menjadi :



Gambar 4.9 Kurva stabilitas kapal model kondisi full loaded

4.4 Pembahasan

4.4.1 Analisis Percobaan

Dari pengujian yang telah dilakukan didapat data berupa sudut kemiringan, jarak titik berat beban oleng ke center line kapal model, serta berat beban oleng tersebut. Besar sudut tersebut sangat dipengaruhi oleh berat beban itu sendiri dan variasi draft kapal model tersebut. Kondisi kapal model saat sebelum peletakan beban pengoleng harus dikontrol dengan teliti untuk meminimalisasi trim kapal untuk mencegah koreksi nilai sudut kemiringan saat pelaksanaan percobaan. Berat beban pengoleng yang dipakai konstan pada setiap variasi draft untuk melihat

perbandingan sudut kemiringan pada poses inclining experiment. Ternyata sudut yang dihasilkan pada setiap variasi penambahan draft menunjukkan sudut kemiringan yang semakin kecil. Untuk menentukan nilai MG dari inclining experiment sangat ditentukan oleh perhitungan $MG = \frac{p.l}{V.tg \gamma}$ sehingga dalam percobaan, peletakan clinometer harus sebidang dengan dengan letak titik berat beban oleng kapal seperti konsep segitiga yang benar untuk mendapat nilai MG yang akurat.

4.4.2 Analisis Pengolahan Data

Setelah mendapatkan nilai MG pada setiap variasi draft kita dapat menghitung nilai GK dari formula $GK = NK - MG$. Penulis menggunakan nilai NK setiap variasi kemiringan dikarenakan dalam Cross Curve diberikan nilai $NK \sin \alpha$ dan displacement kapal model tanpa memperhitungkan letak dan berat muatan yang dipakai sebagai penambah berat untuk mencapai variasi draft yang diinginkan.

Dari perhitungan Tabel 4. 5 Nilai $NK \sin \alpha$, $GK \sin \alpha$ dan $MG \sin \alpha$ kapal model kondisi kosong didapat nilai GK untuk sudut $30^\circ - 90^\circ$ adalah negative, berarti letak titik GK berada dibawah keel kapal model. Hal ini disebabkan kapal model yang digunakan hanya terdiri dari lambung kapal saja tanpa adanya ballast, bangunan atas, kamar mesin dan beban geladak.

Sedangkan untuk kurva stabilitas statisnya menunjukkan nilai lengan Koppel atau $MG \sin \alpha$ yang positif, hal ini membuktikan bahwa lambung kapal model milik lab kapal DTM FTUI mempunyai stabilitas statis yang baik

4.4.3 Analisis Bila Akan Menghitung Stabilitas Kapal Sebenarnya

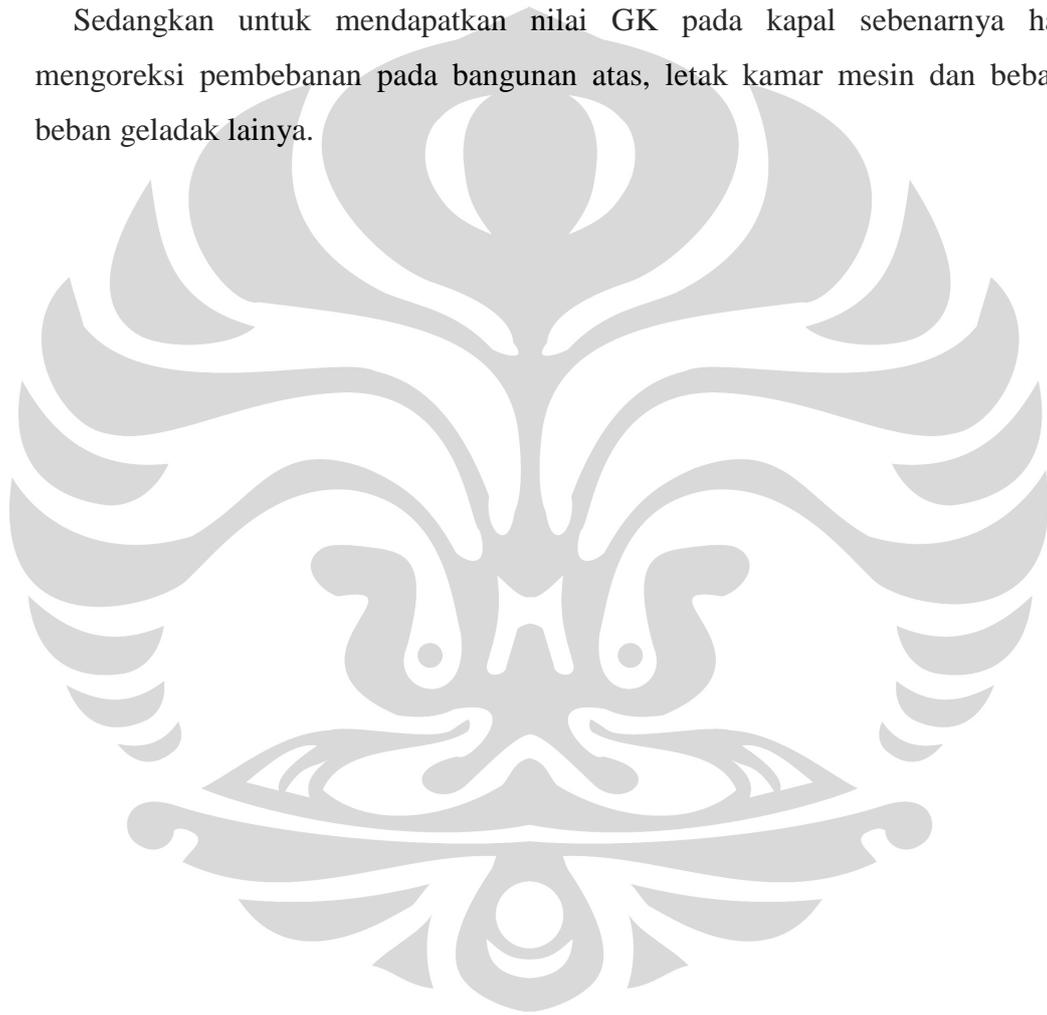
Sesuai definisi kapal model yaitu kapal yang dibuat kembali dalam skala ukuran yang lebih kecil dari kapal sebenarnya dan mempunyai bentuk maupun karakteristik yang sama dengan kapal sebenarnya. Dengan definisi tersebut dan menurut persamaan dan teori model yang dikembangkan Froude maka kita dapat memprediksi stabilitas kapal tersebut pada kapal sebenarnya.

Berhubung kapal model yang dimiliki oleh lab kapal DTM FTUI hanya sebatas lambung kapal saja sehingga kita hanya dapat memprediksi kelakuan

kapal yang tercelup air saja karena karakteristik kapal kapal model sama dengan dengan kapal sebenarnya.

Untuk mengetahui mengetahui nilai MG pada kapal sebenarnya harus dilakukan inclining experiment ulang dikarenakan kondisi kapal model berbeda dengan kondisi kapal sebenarnya, tetapi untuk sudut yang sama seperti yang didapat pada percobaan kapal model maka akan mendapatkan nilai MG sama pula.

Sedangkan untuk mendapatkan nilai GK pada kapal sebenarnya harus mengoreksi pembebanan pada bangunan atas, letak kamar mesin dan beban – beban geladak lainnya.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penjelasan yang sudah dijabarkan pada bab sebelumnya, penulis menarik beberapa kesimpulan, diantaranya:

1. Karakteristik kapal model sama dengan dengan kapal sebenarnya pada bagian kapal yang tercelup air.
2. Hasil simulasi inclining experiment pada kapal model tidak bisa langsung dipakai sebagai hasil pada kapal sebenarnya
3. Nilai negative pada GK tidak berarti membuat kapal tersebut kehilangan stabilitasnya..
4. Penentuan nilai GK sangat tergantung dengan kondisi bangunan atas, letak kamar mesin dan beban – beban geladak lainnya.
5. Dengan meggunakan kapal model kita dapat memperkirakan kelakuan kapal sebenarnya dengan beberapa koreksi sebagai pembatas penelitian.

5.2 Saran

Saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut yang dapat penulis berikan, antara lain:

1. Penguasaan program komputer lebih ditingkatkan.
2. Memperhitungkan lebih jauh efek letak pemuatan untuk memprediksi stabilitas kapal pada kondisi pemuatan yang berbeda.
3. Terdapat banyak variasi pemuatan yang dapat diujikan. Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan perhitungan beban bangunan atas, letak kamar mesin dan beban – beban geladak lainnya dapat dilakukan hingga tahap detail stabilitas dinamis.

DAFTAR REFERENSI

H.Phoels.*Ship Design and Ship Theory*.

Istopo. 1972. *Stabilitas Kapal Untuk Perwira Kapal Niaga*.

IMO Regulation *about Ship Stability*.

John La Dage dan Lee Van Gemert. *Stability and Trim for The Ship's Officer*.

Talahatu, M.A. 1978. *Teori Merancang Kapal*. Departemen Teknik Mesin FTUI:
Depok.

Talahatu, M.A.*Hydromekanika Kapal 1 dan 2*. Departemen Teknik Mesin FTUI:
Depok.

Practical Design Ships Floating Structures VOLUME 1.

Stokoe, E. A. 1975. *Ship Construction for Marine Students*. Principle Lecture in
Naval Architecture at South Shields Marine and Technical College..

Wakidjo, P. 1972. *Stabilitas Kapal Jilid II. Penuntun Dalam Menyelesaikan
Masalah*.