



UNIVERSITAS INDONESIA

RANCANG BANGUN ULANG ALAT UJI STABILITAS KAPAL

SKRIPSI

**WAWAN GUNAWAN
04 05 08 02 54**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

RANCANG BANGUN ULANG ALAT UJI STABILITAS KAPAL

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

WAWAN GUNAWAN

04 05 08 02 54

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

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

Nama : Wawan Gunawan

NPM : 04 05 08 02 54

Tanda Tangan :

Tanggal : 26 Juni 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Wawan Gunawan
NPM : 04 05 08 02 54
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul Skripsi : Rancang bangun ulang alat uji stabilitas kapal

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 : Dr. Ir. Sunaryo ()
Penguji : Prof. Yanuar ()
Penguji : Ir. Hadi Tresno ()
Penguji : Ir. M. A. Talahatu, M.T ()

Ditetapkan di :

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala, karena berkat rahmat dan petunjuk-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ungkapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Sunaryo selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini;
2. Orang tua dan keluarga di rumah yang selalu memberikan dukungan moral dan material sehingga skripsi ini dapat selesai;
3. Mas Syarif, mas Suryadi, mba Yani dan para segenap pegawai DTM UI yang telah membantu sehingga percobaan dapat berlangsung.
4. Pradipta Susanto atas bantuannya selama percobaan berlangsung.
5. Mba Lusi (FKM '04) atas pinjaman laptopnya.
6. Tego (Teknik Metalurgi '05) atas pinjaman komputernya.
7. Titi Sahida F (Psikologi '05) atas pinjaman timbangan dan dukungannya.
8. Teman seperjuangan Rofiq, Dyas, Laode, Rendi dan Gunawan atas penyarannya bahwa dengan 24 SKS dan menggabungkan TMK 2 dan skripsi pada semester yang sama membutuhkan mental yang besar.
9. Teman satu atap di Depok Alfian (Teknik Metalurgi '05), Ricky (Teknik Industri '05), Ibad (Teknik Kimia '05), Ibnu (FE '05) atas nasihat, dukungan dan rasa khawatir yang diberikan. Dengan selesainya skripsi ini tepat pada waktunya, membuktikan kekhawatiran kalian jelas tidak terbukti.

10. Teman seperjuangan Busan, Budi, Yahya, Grace, Farry, Eraz, Adin, Ibun, Kabun, Yobi, Killus, Phadez, Mochi, Hilmi, Andri, dan Aris atas bantuan, dukungan dan semangat selama 4 tahun ini.
11. Rineka, Yayang (Psikologi '05), Fahnia (FISIP '05), Rinamon (Psikologi '05), Dita (FE'05), Edwin (Psikologi '04), Hary (Psikologi '04), Aha (FE '04), Al (FE '04) Indra (FIB '04), Wiwik (FISIP '06), Natha (FISIP '07), Ani (FISIP '07), Yudha (Teknik Elektro '06), Rani (FISIP '06), Syilfi (FISIP '07), Amriy (FIK '07), Sandra (FIK '07) atas semangat yang diberikan.
12. Mba Witri (FKM '04), mba Dahl (Psikologi '04), dan perempuan yang selalu baik dan tidak enakan kepada semua orang; Octa (FKM '05) atas usahanya untuk selalu mengatakan "iya" terhadap semua permohonan bantuan penulis.
13. Ust. Abu Zubeir atas ceramahnya yang sangat, sangat menginspirasi dan memberi semangat bahwa yang paling penting dalam sebuah usaha bukanlah apa yang kita miliki untuk memulai usaha tersebut, tetetapi perjuangannya.

Akhirnya penulis berharap agar skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan kepada rekan-rekan dan dosen Teknik Perkapalan.

Depok, 13 Juli 2009

Penulis

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

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

Nama : Wawan Gunawan
NPM : 04 05 08 02 54
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 :

Rancang Bangun Ulang Alat Uji Stabilitas Kapal

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 : 26 Juni 2009
Yang menyatakan

(Wawan Gunawan)

ABSTRAK

Nama : Wawan Gunawan

Program Studi : Teknik Perkapalan

Judul : Rancang Bangun Ulang Alat Uji Stabilitas Kapal

Alat uji stabilitas merupakan alat yang mempermudah mahasiswa dalam memahami stabilitas kapal. Pengujian dilakukan pada model kapal dengan sudut kecil yaitu tidak lebih dari 5 derajat. Prosedur pengujian dimulai dengan meletakkan beban yang sama pada *starboard side* dan *port side* masing-masing 3 buah dan kemudian memindahkan satu persatu beban ke sisi sebaliknya, lalu beban tersebut dikembalikan ke posisi awal. Penggantian *dynamometer* dengan *clinometer* digital membuat besar sudut pengujian bisa langsung terbaca. *Righting arm* hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari *cross curve*. *Righting arm* yang diperoleh menunjukkan pengujian dengan *clinometer* digital harus disempurnakan lagi.

Keyword: alat uji kemiringan, *righting arm*, *clinometer* digital

ABSTRACT

Name : Wawan Gunawan

Study program : Naval Architecture

Title : Redesign of ship stability testing device

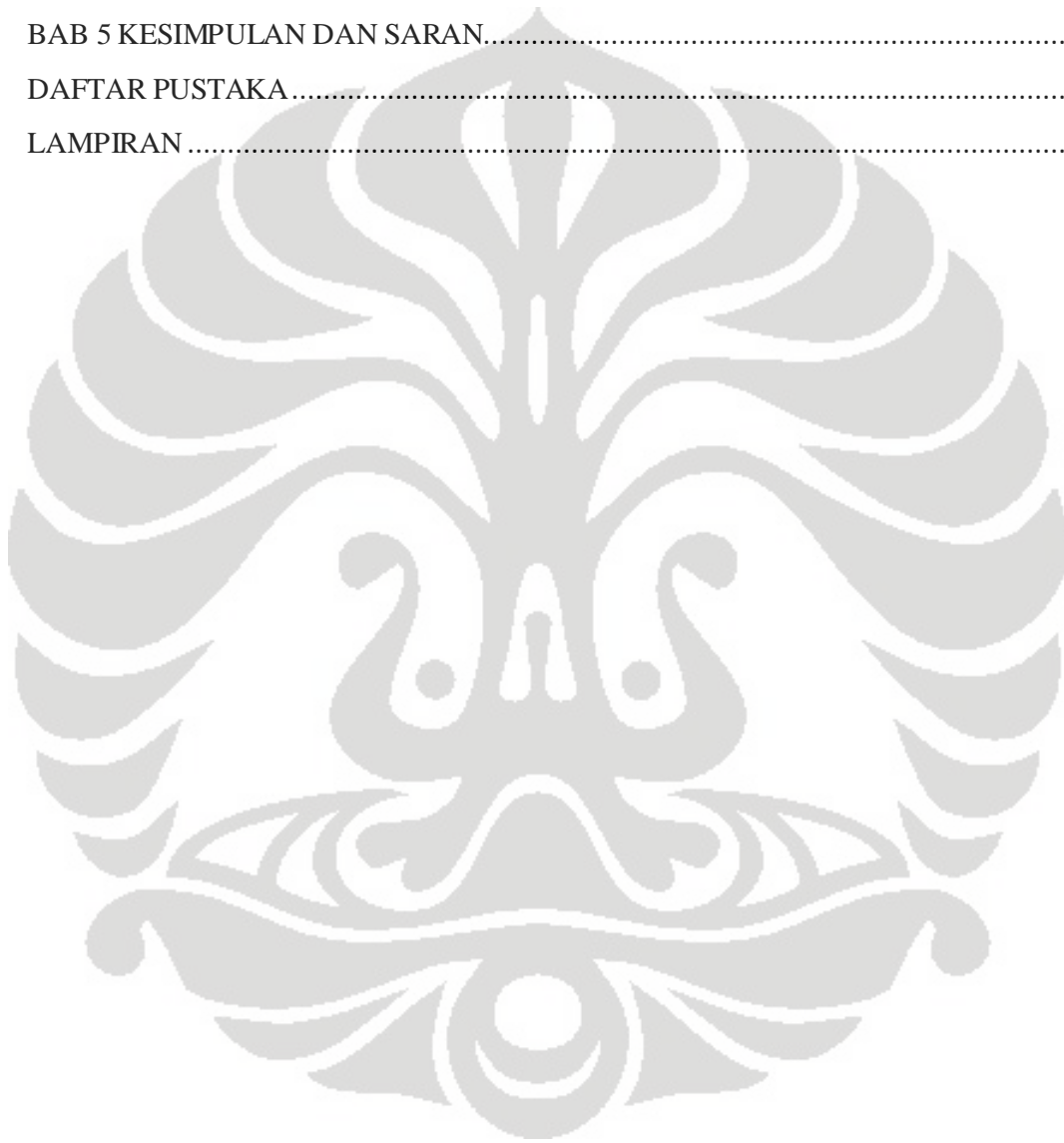
Ship stability testing device is a kind of device that help student in understanding ship stability. Experiment is done to the model with small angle degree which is not greater than 5 degrees. Procedure experiment is start by putting three weights on start board side and port side. Then weights are moved to opposite side one by one and then it moves back to origin position. Changing dynamometer with clinometer make experiment result can read instantly. Righting arm which is result of experiment then compared with calculation from cross curve. The result shows that inclining test experiment using clinometer need improvement.

Keyword: ship stability testing device, righting arm, digital clinometer

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan pengujian	1
1.3 Batasan masalah	2
1.4 Metodologi pengujian	2
1.5 Sistematika penulisan.....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Laws of flotation.....	4
2.2 Stabilitas	7
2.2.1 Dimensi pokok dalam stabilitas	8
2.2.2 Macam-macam keadaan stabilitas.....	11
2.2.3 <i>Moments of statical Stability</i>	14
BAB 3 DESKRIPSI ALAT DAN PROSEDUR PENGUJIAN	17
3.1 Peralatan pengujian.....	17
3.1.1 <i>General cargo vessel model</i>	17
3.1.2 <i>Clinometer</i>	18
3.1.3 <i>Flotation tank</i>	19
3.2 Prosedur pengujian	20
3.2.1 <i>Inclining experiment</i>	20

3.2.2	Perhitungan	24
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		27
4.1	Data Hasil Pengujian.....	27
4.2	Perbandingan data hasil pengujian dan data dari Cross Curve yang tersedia	29
4.3	Pembahasan.....	30
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		31
DAFTAR PUSTAKA		32
LAMPIRAN		34

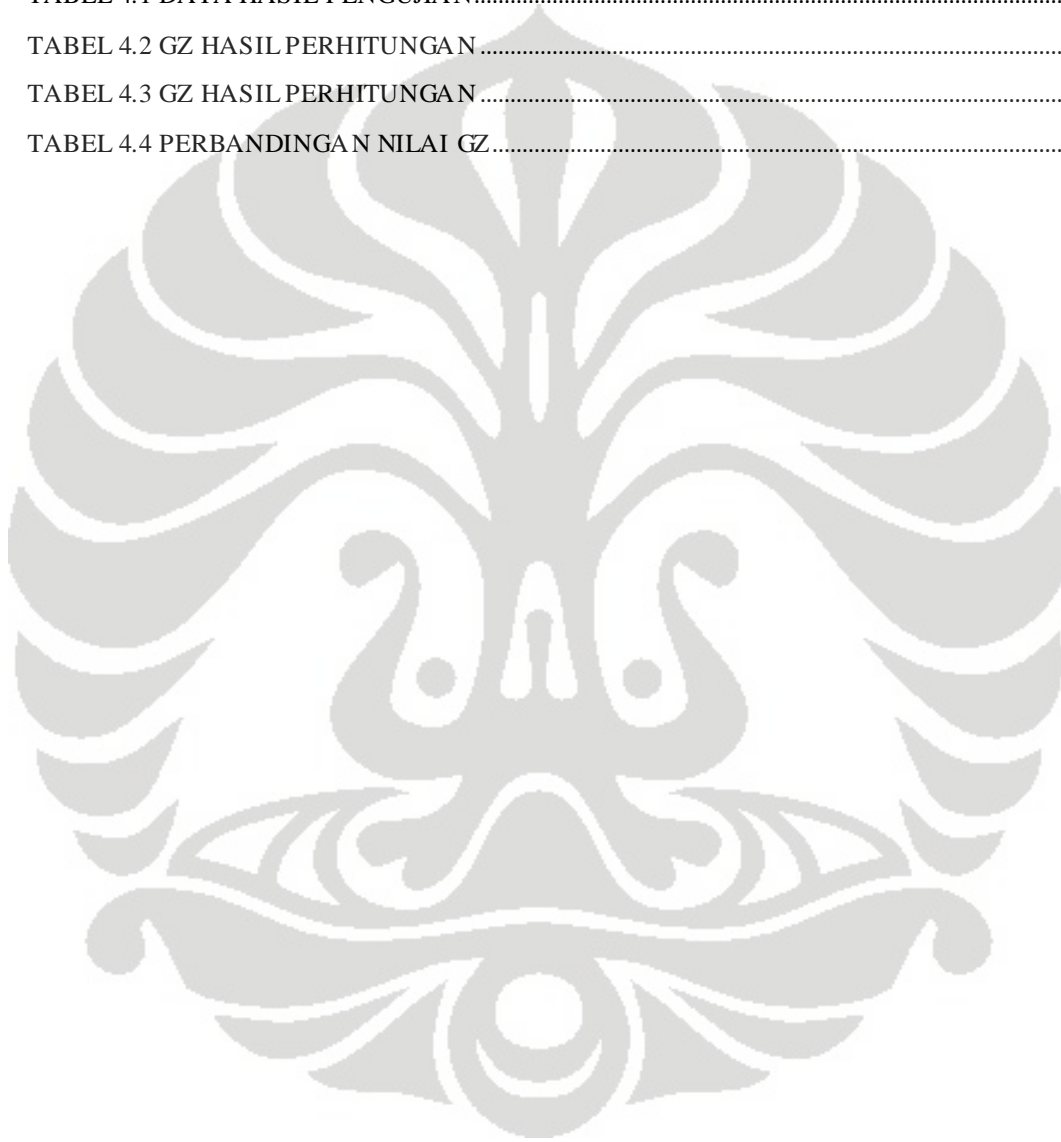


DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 2.1 PUSAT TITIK MASSA	4
GAMBAR 2.2 PERBANDINGAN BERAT	5
GAMBAR 2.3 RISE EQUILIBRIUM WEIGHT	6
GAMBAR 2.4 <i>RISE EQUILIBRIUM</i>	7
GAMBAR 2.5 <i>NETRAL EQUILIBRIUM</i>	11
GAMBAR 2.6 <i>UNSTABLE EQUILIBRIUM</i>	12
GAMBAR 2.7 <i>TRANSVERS STABILITY</i>	13
GAMBAR 2.8 <i>SMALL ANGLE STABILITY</i>	14
GAMBAR 2.9 <i>LARGE ANGLE STABILITY</i>	16
GAMBAR 3.1 KAPAL MODEL	17
GAMBAR 3.2 DIGI-PAS DWL 80G	18
GAMBAR 3.3 <i>FLOTATION TANK</i>	19
GAMBAR 3. 4 POSISI AWAL BEBAN	20
GAMBAR 3.6 PERPINDAHAN BEBAN B	21
GAMBAR 3.5 PERPINDAHAN BEBAN A	21
GAMBAR 3.7 PERPINDAHAN BEBAN C	22
GAMBAR 3.8 PERPINDAHAN BEBAN A, B DAN C	22
GAMBAR 3.9 PERPINDAHAN BEBAN D	23
GAMBAR 3.10 PERPINDAHAN BEBAN E	23
GAMBAR 3.11 PERPINDAHAN BEBAN F	24
GAMBAR 3.12 PERPINDAHAN BEBAN D, E DAN F	24

DAFTAR TABEL

TABEL 3.1 CONTOH TABEL DATA PENGUKURAN BESAR SUDUT	25
TABEL 4.1 DATA HASIL PENGUJIAN.....	27
TABEL 4.2 GZ HASIL PERHITUNGAN	28
TABEL 4.3 GZ HASIL PERHITUNGAN	29
TABEL 4.4 PERBANDINGAN NILAI GZ.....	30



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Stabilitas kapal adalah salah satu kemampuan kapal yang terpenting dalam berlayar dan penyebab kecelakaan kapal di laut ,baik yang terjadi di laut lepas maupun ketika di pelabuhan, adalah peranan dari para awak kapal yang tidak memperhatikan perhitungan stabilitas kapalnya sehingga dapat mengganggu kesetimbangan secara umum yang akibatnya dapat menyebabkan kecelakaan fatal seperti kapal tidak dapat dikendalikan, kehilangan kesetimbangan dan bahkan tenggelam yang pada akhirnya dapat merugikan harta benda, kapal, nyawa manusia bahkan dirinya sendiri. Oleh karena itu kita terus belajar untuk mengantisipasi kecelakaan yang akan terjadi selanjutnya.

Sedemikian pentingnya pengetahuan menghitung stabilitas kapal untuk keselamatan pelayaran, maka sebagai mahasiswa teknik perkapalan harus dibekali dengan seperangkat pengetahuan dalam stabilitas kapal. Berdasarkan keadaan diatas dan didorong oleh kebutuhan adanya alat-alat praktikum yang berhubungan dengan stabilitas kapal, maka penulis mencoba memperbaiki alat praktikum uji kemiringan kapal dan mengganti komponennya yang disfungsi. Peralatan ini sangat dibutuhkan karena dapat menunjang mahasiswa dalam memahami proses pembelajaran dikelas.

Inclining test merupakan alat uji kemiringan model kapal yang telah dimiliki oleh program studi teknik perkapalan sejak dulu. Tetapi karena suatu hal komponennya ada yang hilang. Oleh karena itu penulis mencoba untuk mengganti alat yang hilang/rusak tersebut dan mengambil data

1.2 Tujuan pengujian

Tujuan yang ingin dicapai dari skripsi ini.

1. Menjadikan kondisi alat uji lemiringan layak digunakan untuk praktek uji kemiringan kapal dengan kapal model yang tersedia.
2. Membuat modul praktikum.

Dan setelah alat ini sudah bisa untuk digunakan mahasiswa mampu mengidentifikasi titik penting dan memahami dimensi pokok stabilitas kapal sebagai bagian dari menghitung stabilitas kapal sehingga titik-titik penting yang mempengaruhi stabilitas kapal

1.3 Batasan masalah

Pada pengujian ini, diambil batasan masalah berdasarkan kondisi berikut:

- Fluida yang digunakan adalah air tawar
- Kapal model yang digunakan adalah general cargo dengan 6 *compartment cargo hold*
- Beban yang digunakan beratnya 200 gram berjumlah 6 buah.

1.4 Metodologi pengujian

Metodologi pengujian yang dilakukan yaitu merancang instalasi alat pengujian yang digunakan dalam pengambilan data dan data yang diperoleh dianalisa pada pengukuran stabilitas sudut kecil dan hasilnya dibandingkan dengan hasil yang dari *CrossCurve* yang telah tersedia

1.5 Sistematika penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang pengujian, tujuan, batasan masalah, metodologi pengujian serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat teori-teori yang menunjang dalam membahas masalah ini, yaitu tentang persamaan-persamaan yang berhubungan dengan momentum linear untuk fluida.

BAB III PERALATAN DAN PROSEDUR PENGUJIAN

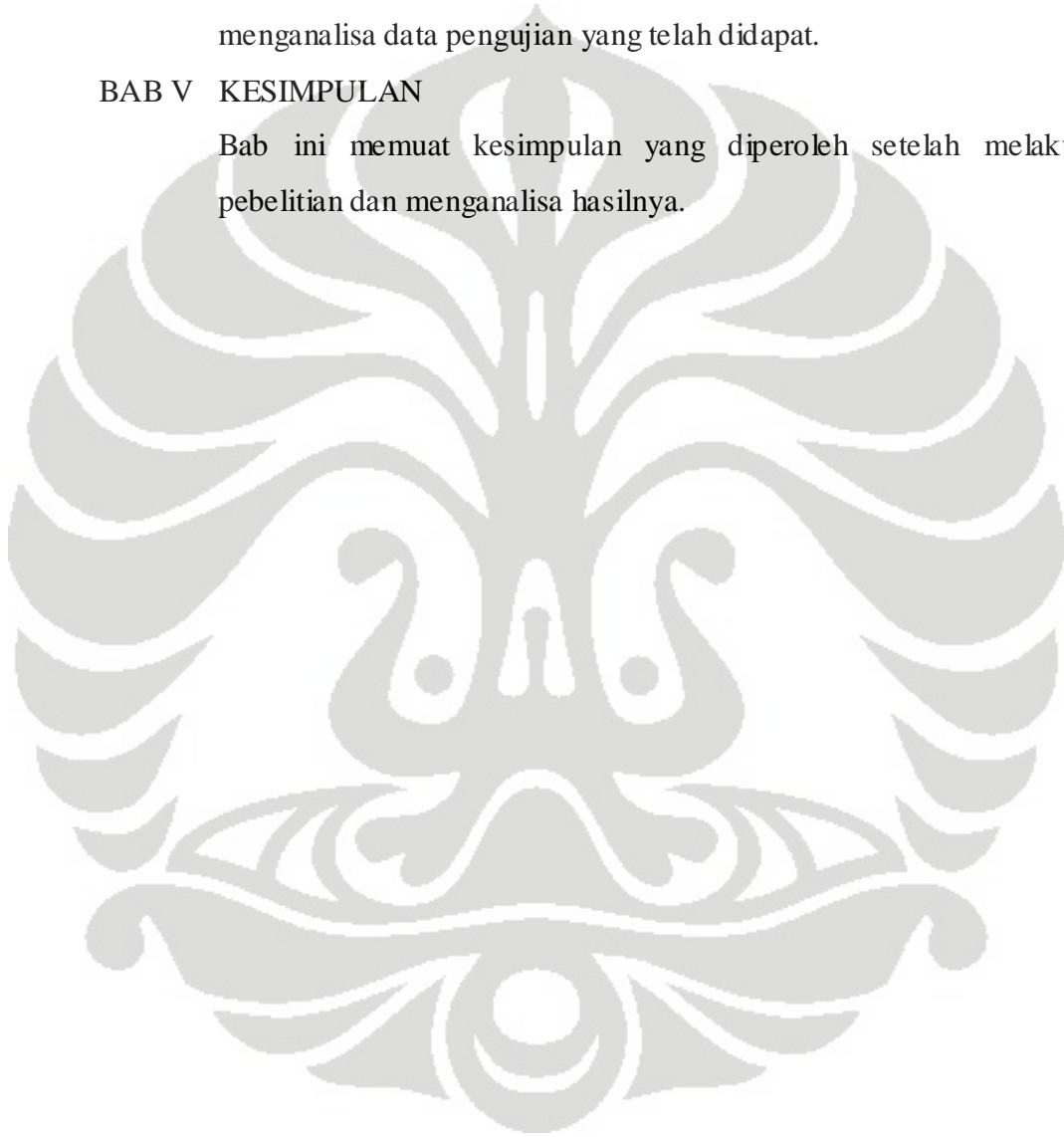
Bab ini membahas tentang peralatan-peralatan yang dipakai dalam pengujian, instalasi peralatan, prosedur pengujian dan pengambilan data

BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA

Pada bab ini dibahas tentang proses-proses perhitungan data serta menganalisa data pengujian yang telah didapat.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini memuat kesimpulan yang diperoleh setelah melakukan pebelitian dan menganalisa hasilnya.

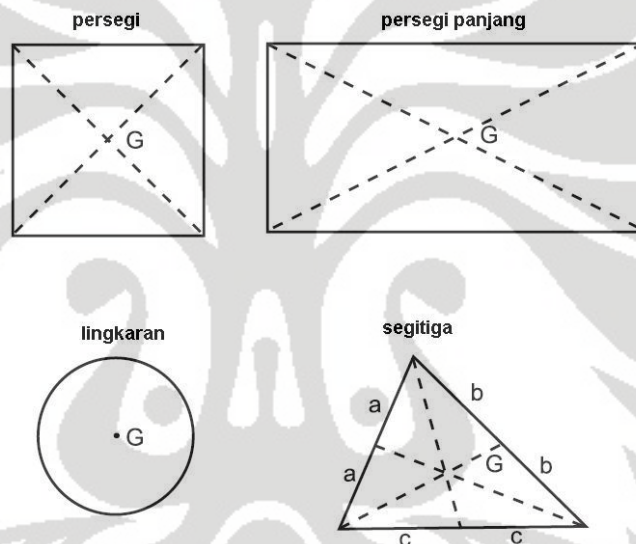


BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Laws of flotation*

Centroid dari sebuah area adalah pusat dari geometri yang terletak ditengah. Pada setiap gambar berikut, “G” mewakili *centroid*, dan setiap area yang digantungkan pada titik ini akan seimbang.



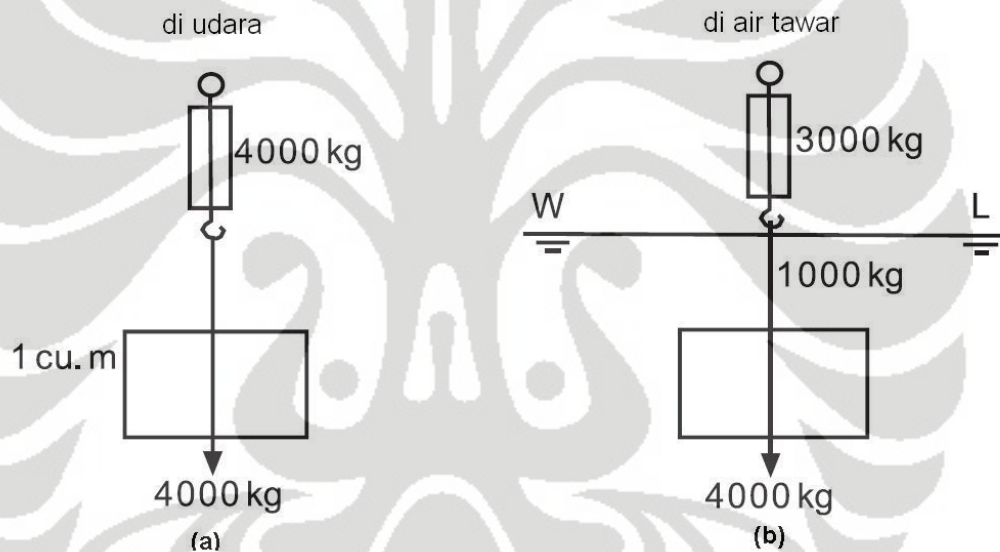
Gambar 2.1 pusat titik massa

(sumber: Captain D. R. Derrett)

Center of Gravity (G) adalah sebuah titik dimana semua massa dari benda bisa diasumsikan terkonsentrasi disana dan titik dimana gaya gravitasi dianggap bereaksi vertikal kebawah dengan gaya yang sama dengan berat dari benda tersebut. Juga bisa disebut titik keseimbangan benda.

Dan Hukum Archimedes menyatakan bahwa bila sebuah benda tercelup sepenuhnya atau sebagian ke dalam sebuah fluida maka benda tersebut akan

mengalami kehilangan massa sebesar massa fluida yang dipindahkan. Massa jenis air tawar adalah 1000 kg per m^3 . Oleh karena itu, ketika sebuah benda tercelup ke dalam air tawar maka ia akan kehilangan massa sebesar 1000 kg setiap 1 m^3 dari air yang dipindahkannya. Ketika sebuah box dengan ukuran 1 m^3 dengan massa 4000 kg dicelupkan ke dalam air tawar maka benda tersebut akan mengalami kehilangan massa sebesar 1000 kg . Jika benda tersebut digantungkan ke sebuah timbangan maka, angka pada timbangan tersebut akan menunjukkan massa sebesar 3000 kg



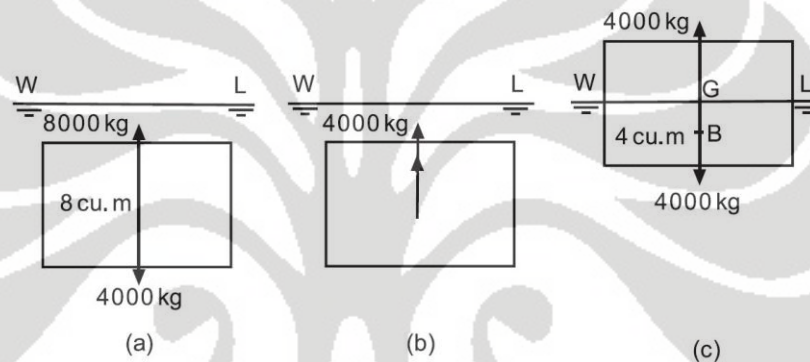
Gambar 2.2 perbandingan berat

(sumber: Captain D. R. Derrett)

Selama massa dari box tersebut tidak berubah, pasti ada suatu gaya yang arahnya vertikal keatas yang terlihat jelas bahwa box kehilangan massa sebesar 1000 kg . Gaya ini disebut *force of buoyancy* dan arah gayanya vertikal keatas pada titik yang disebut *center of buoyancy*.

Pada box yang ditunjukkan pada gambar 2.3a juga memiliki massa 4000 kg tetapi dengan volume 8 m^3 . Jika box tersebut seluruhnya ditenggelamkan kedalam

air maka air yang dipindahkan juga sebesar 8 m^3 , dan oleh karenanya massa air tersebut adalah 8000 kg, maka akan ada dorongan keatas atau *force of buoyancy* yang menyebabkan kehilangan massa sebesar 8000 kg. Sehingga gaya resultannya menjadi 4000 kg. Ketika dilepaskan, box akan bergerak naik sampai keadaan seimbang tercapai, yaitu ketika *buoyancy* sama dengan massa box. Agar massa box berkurang 4000 kg maka box harus memindahkan 4 m^3 air tawar. Hal ini terjadi saat box terapung dengan setengah volumenya tercelup, dan resultan gaya yang bekerja pada box adalah nol. Seperti yang ditunjukkan gambar 2.3c.

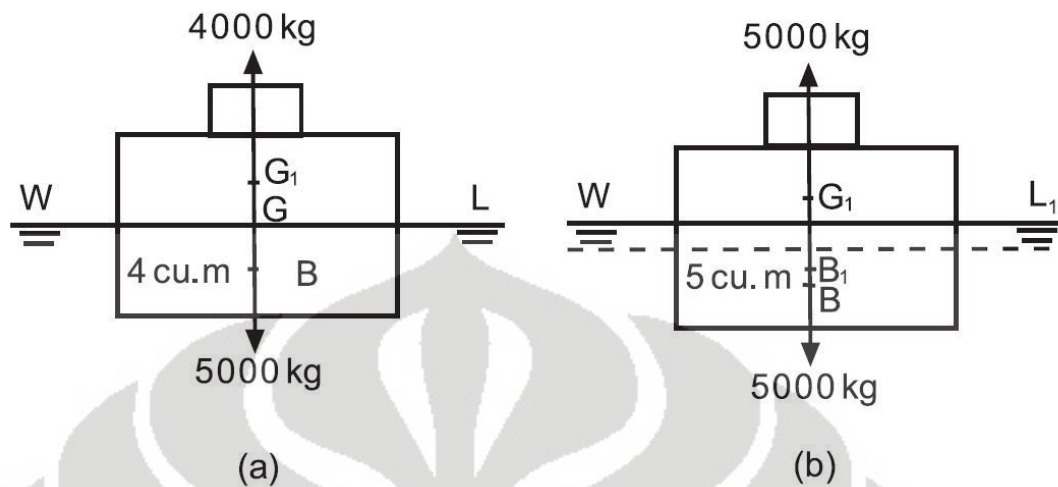


Gambar 2.3 rise equilibrium weight

(sumber: Captain D. R. Derrett)

Ketika box terapung pada air tawar dengan setengah dari volumenya tercelup seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3c dan sebuah massa sebesar 1000 kg diletakkan di atasnya seperti ditunjukkan pada gambar 2.4a, maka massanya akan menjadi 5000 kg, dan karena massanya berlebih sebesar 1000 kg, box tersebut akan bergerak kebawah. Gaya kebawah tersebut akan terus berlanjut sampai *buoyancy*-nya sama dengan massa box seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4b

Kesimpulan yang dapat diambil dari uraian diatas adalah untuk benda yang terapung diam pada air tenang bahwa massanya akan sama dengan massa air yang dipindahkannya dan *center of gravity* pasti terletak vertikal tepat dibawah atau diatas *center of buoyancy*.



Gambar 2.4 rise equilibrium

(sumber: Captain D. R. Derrett)

2.2 Stabilitas

Stabilitas adalah keseimbangan dari kapal, merupakan sifat atau kecenderungan dari sebuah kapal untuk kembali kepada kedudukan semula setelah mendapat kemiringan yang disebabkan oleh gaya-gaya dari luar (Rubianto, 1996). Sama dengan pendapat Wakidjo (1972), bahwa stabilitas merupakan kemampuan sebuah kapal untuk menegak kembali sewaktu kapal miring oleh karena kapal mendapatkan pengaruh luar, misalnya angin, ombak dan sebagainya.

Secara umum hal-hal yang mempengaruhi keseimbangan kapal dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok besar yaitu :

- Faktor internal yaitu tata letak barang/cargo, bentuk ukuran kapal, kebocoran karena kandas atau tubrukan
- Faktor eksternal yaitu berupa angin, ombak, arus dan badai

Oleh karena itu maka stabilitas erat hubungannya dengan bentuk kapal, muatan, *draft*, dan ukuran dari nilai GM. Posisi M (*Metasentra*) hampir tetap sesuai dengan *style* kapal, pusat B (*Bouyancy*) digerakkan oleh *draft* sedangkan

pusat gravitasi bervariasi posisinya tergantung pada muatan. Sedangkan titik M (*Metasentra*) adalah tergantung dari bentuk kapal, hubungannya dengan bentuk kapal yaitu lebar dan tinggi kapal, bila lebar kapal melebar maka posisi M (*Metasentra*) bertambah tinggi dan akan menambah pengaruh terhadap stabilitas.

Kaitannya dengan bentuk dan ukuran, maka dalam menghitung stabilitas kapal sangat tergantung dari beberapa ukuran pokok yang berkaitan dengan dimensi pokok kapal.

Ukuran-ukuran pokok yang menjadi dasar dari pengukuran kapal adalah panjang (*length*), lebar (*breadth*), tinggi (*depth*) serta sarat (*draft*). Sedangkan untuk panjang di dalam pengukuran kapal dikenal beberapa istilah seperti LOA (*Length Over All*), LBP (*Length Between Perpendicular*) dan LWL (*Length Water Line*). Beberapa hal yang perlu diketahui sebelum melakukan perhitungan stabilitas kapal yaitu :

- Berat benaman (isi kotor) atau *displacement* adalah jumlah ton air yang dipindahkan oleh bagian kapal yang tenggelam dalam air.
- Berat kapal kosong (*Light Displacement*) yaitu berat kapal kosong termasuk mesin dan alat-alat yang melekat pada kapal.
- *Operating Load* (OL) yaitu berat dari sarana dan alat-alat untuk mengoperasikan kapal dimana tanpa alat ini kapal tidak dapat berlayar.

$$\text{displacement} = LD + OL + \text{muatan} \quad (2.1)$$

$$DWT = OL + \text{muatan} \quad (2.2)$$

2.2.1 Dimensi pokok dalam stabilitas

2.2.1.1 KM (Tinggi titik metacentra 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 metacentra (BM), sehingga KM dapat dicari dengan rumus :

$$KM = KB + BM \quad (2.3)$$

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

2.2.1.2 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 senget kapal.

Nilai KB dapat dicari :

Untuk kapal tipe plat bottom, $KB = 0,50d$

Untuk kapal tipe V bottom, $KB = 0,67d$

Untuk kapal tipe U bottom, $KB = 0,53d$

dimana d = draft kapal

Dari diagram metacentra atau lengkung hidrostatis, dimana nilai KB dapat dicari pada setiap sarat kapal saat itu.

2.2.1.3 BM (Jarak Titik Apung ke Metacentra)

BM dinamakan jari-jari metacentra atau metacentra 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 BM sebagai jari-jarinya. Titik M masih bisa dianggap tetap karena sudut olengnya kecil (10^0 - 15^0).

Lebih lanjut dijelaskan:

$$BM = \frac{b^2}{10d} \quad (2.4)$$

dimana :

b = lebar kapal (m)

d = draft kapal (m)

Dilihat dari sifatnya, stabilitas atau keseimbangan kapal dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu stabilitas statis dan stabilitas dinamis. Stabilitas statis diperuntukkan bagi kapal dalam keadaan diam dan terdiri dari stabilitas melintang dan membujur. Stabilitas melintang adalah kemampuan kapal untuk tegak sewaktu mengalami kemiringan dalam arah melintang yang disebabkan oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya, sedangkan *stabilitas membujur* adalah kemampuan kapal untuk kembali ke kedudukan semula setelah mengalami kemiringan dalam arah yang membujur oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya. Stabilitas melintang kapal dapat dibagi menjadi sudut kemiringan kecil (0^0 - 15^0) dan sudut kemiringan besar ($>15^0$). Akan tetapi untuk stabilitas awal pada umumnya diperhitungkan hanya hingga 15^0 dan pada pembahasan stabilitas melintang saja.

Sedangkan stabilitas dinamis diperuntukkan bagi kapal-kapal yang sedang oleng atau mengguguk ataupun saat dalam kemiringan besar. Pada umumnya kapal hanya miring kecil saja. Jadi kemiringan yang besar, misalnya melebihi 20^0 bukanlah hal yang biasa dialami. Kemiringan-kemiringan besar ini disebabkan oleh beberapa keadaan umpamanya badai atau oleng besar ataupun gaya dari dalam antara lain GM yang negatif. Dalam teori stabilitas dikenal juga istilah stabilitas awal yaitu stabilitas kapal pada kemiringan kecil (antara 0^0 - 15^0). Stabilitas awal ditentukan oleh 3 buah titik yaitu titik berat (Center of gravity) atau biasa disebut titik G, titik apung (*Center of buoyance*) atau titik B dan titik metasentra atau titik M.

2.2.2 Macam-macam keadaan stabilitas

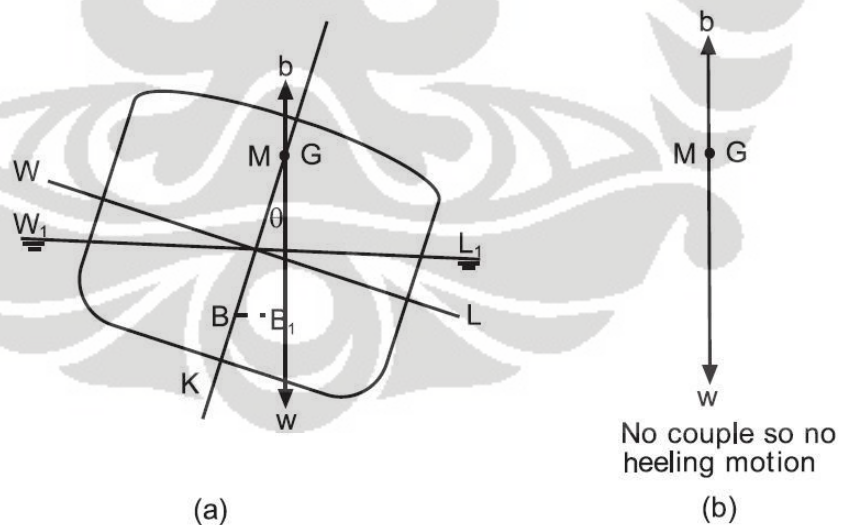
Pada prinsipnya keadaan stabilitas ada tiga yaitu Stabilitas Positif (*stable equilibrium*), stabilitas Netral (*Neutral equilibrium*) dan stabilitas Negatif (*Unstable equilibrium*).

2.2.2.1 Stabilitas Positif (*Stable Equilibrium*)

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

2.2.2.2 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 kemiringan tidak ada MP maupun momen penerus

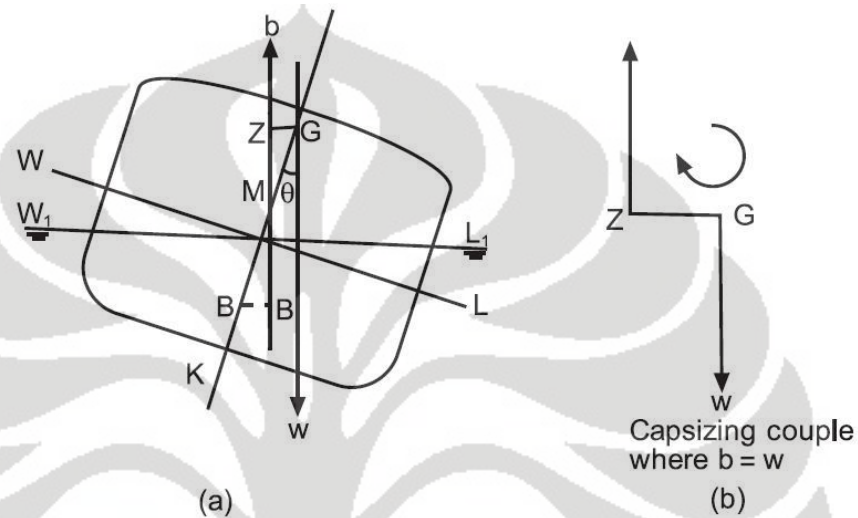


Gambar 2.5 *netral equilibrium*

(sumber: Captain D. R. Derrett)

sehingga kapal tetap miring pada sudut kemiringan yang sama, penyebabnya adalah titik G terlalu tinggi dan berimpit dengan titik M karena terlalu banyak muatan di bagian atas kapal.

2.2.2.3 Stabilitas Negatif (*Unstable Equilibrium*)



Gambar 2.6 *unstable equilibrium*

(sumber: Captain D. R. Derrett)

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 kemiringannya 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/Heiling moment sehingga kapal akan bertambah miring.

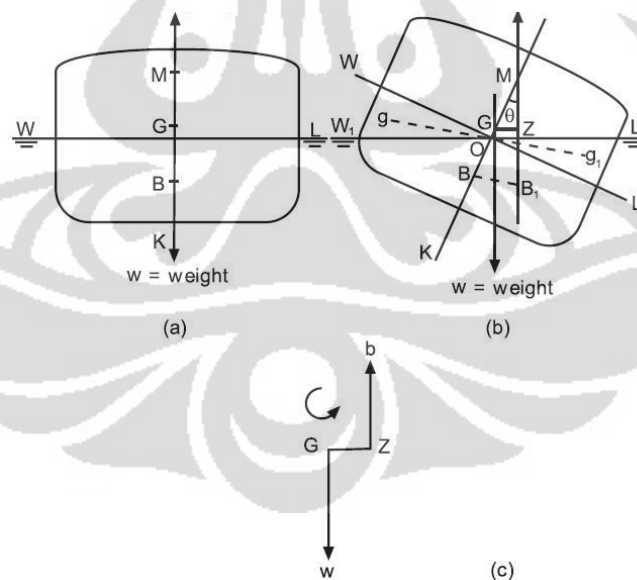
2.2.2.4 *Transverse statical stability*

Ketika kapal terapung diatas air seperti yang ditunjukkan gambar 2.6a dan gambar 2.6c menunjukkan *righting couple*-nya, maka GZ adalah lengan *couple*-nya. Ketika kapal miring oleh gaya dari luar dengan sudut kemiringan kecil θ seperti yang ditunjukkan gambar 2.6b. Karena tidak ada perubahan

pada distribusi berat maka *center of gravity* akan tetap berada di G dan berat kapal (W) bisa dianggap bekerja vertikal kebawah melewati titik ini.

Ketika terjadi kemiringan, segitiga WOW_1 sama dengan LOL_1 dan mempunyai *center of gravity* pada g dan g_1 . *Center of buoyancy* menjadi pada volume dibawah air (B) akan berpindah ke B_1 . Dan BB_1 berpararell dengan bb_1 sehingga $BB_1 = \frac{v \times gg_1}{V}$ dimana v adalah volume sudut yang dipindahkan dan V adalah volume *displacement* kapal

Garis vertikal menembus melewati center line kapal dan membuat 2 sudut kemiringan yang berseberangan yang saling berurutan pada titik yang disebut *metacentra*. Untuk sudut sekitar 15° garis vertikal yang melewati *center of buoyancy* memotong garis tengah kapal pada titik yang disebut *metacentra* awal. (M pada gambar 2.7b). Tinggi metacentra awal diatas *keel* (KM) tergantung bentuk lambung dibawah air.



Gambar 2.7 *transvers stability*

(sumber: Captain D. R. Derrett)

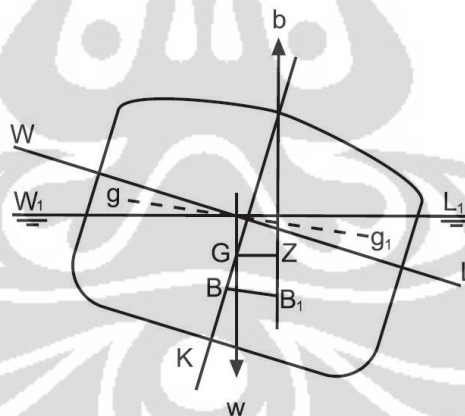
Jarak antara G dan M adalah tinggi metacentra. Jika G dibawah M maka kapal dikatakan memiliki tinggi *metacentra* yang positif dan jika G diatas M maka tinggi *metacentra* dikatakan negatif.

2.2.3 Moments of statical Stability

Adalah momen yang akan mengembalikan kapal ke kedudukan tegaknya setelah kapal miring karena gaya-gaya dari luar dan gaya-gaya tersebut tidak bekerja .

2.2.3.1 The moment of statical stability at a small angle of heel

Pada sudut kemiringan yang kecil, gaya *buoyancy* melakukan kerja vertikal keatas melewati titik yang disebut metacentra awal (M). Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.8 dimana kapal mengalami kemiringan dengan sudut kecil (θ derajat).



Gambar 2.8 *small angle stability*

(sumber: Captain D. R. Derrett)

$$\text{moment of statical stability} = W \times GZ \quad (2.5)$$

Tetapi pada segitiga GZM :

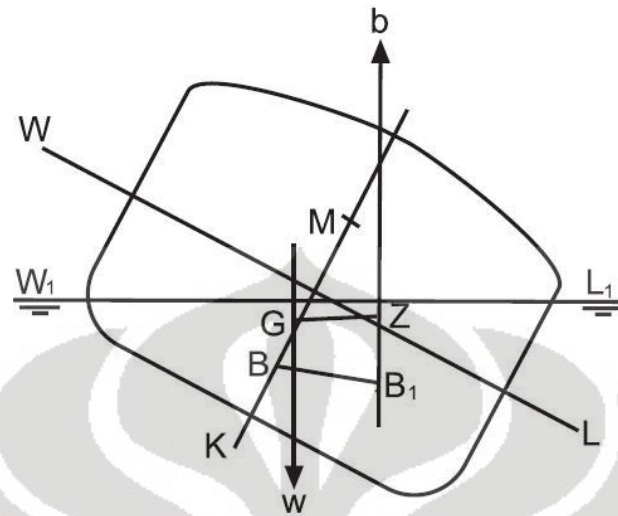
$$GZ = GM \sin\theta \quad (2.6)$$

$$\therefore \text{moment of statical stability} = W \times GM \times \sin \theta \quad (2.7)$$

Dari formula diatas dapat dilihat bahwa untuk *displacement* apapun pada sudut kecil, *righting moment*-nya akan menunjuk *metacentra* (GM). Sebab itu, jika kapal memiliki GM yang besar, kapal tersebut akan cenderung “*stiff*”, sedangkan nilai GM yang kecil akan membuat kapal “*tender*”. Bagaimanapun stabilitas kapal tidak hanya bergantung pada GM atau GZ saja tetapi tergantung juga pada *displacement*. Walaupun ada dua kapal dengan nilai GM identik, jika satu kapal dalam keadaan kosong dan satu lagi dalam keadaan *full loaded*. Maka kapal dalam kondisi kedua akan lebih kaku dari kapal dengan keadaan pertama.

2.2.3.2 *The moment of statical stability at a large angle of heel*

Pada sudut kemiringan kapal yang besar gaya *buoyancy* tidak bekerja vertikal keatas melewati titik *metacentra* (M). hal ini ditunjukkan pada gambar 2.8 dimana kapal mengalami kemiringan lebih dari 15°. *Buoyancy* bergerak ke sisi luar yang jauh dan mengarah vertikal keatas dan tidak melewati *metacentra*. Lengan momennya adalah GZ yang tegak lurus dengan vertikal B₁ dan vertikal G. Momen statikal stabilitas-nya sama dengan $W \times GZ$.



Gambar 2.9 *large angle stability*

(sumber: Captain D. R. Derrett)

Tetapi sekarang GZ tidak sama dengan $GM \sin \theta$ tetapi GZ menggunakan persamaan *Wall-sided formula*, yaitu:

$$GZ = \left(GM + \frac{1}{2} BM \tan^2 \theta \right) \times \sin \theta \quad (2.9)$$

BAB 3

DESKRIPSI ALAT DAN PROSEDUR PENGUJIAN

3.1 Peralatan pengujian

Alat *inclining test* ini merupakan buatan Armfield (Inggris) dan secara garis besar peralatan yang digunakan untuk pengujian ini adalah sebagai berikut:

3.1.1 *General cargo vessel model*

Model ini replika dari sebuah *general cargo motor vessel* yang terbuat dari *fiberglass* dengan skala 1: 70 dengan dimensi utama kapal sebagai berikut:

LBP	=	2385	mm
B	=	323	mm
T	=	100	mm
H	=	185,5	mm



Gambar 3.1 kapal model

(sumber : telah diolah kembali)

Kapal model ini merupakan replika dari kapal dengan *engines aft* dan dengan LBP sebesar 167 meter, *full load displacement* sebesar 28215 ton dan DWT-nya 21512 ton, dengan *summer draught* sebesar 9,403 meter.

3.1.2 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 3.2 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.

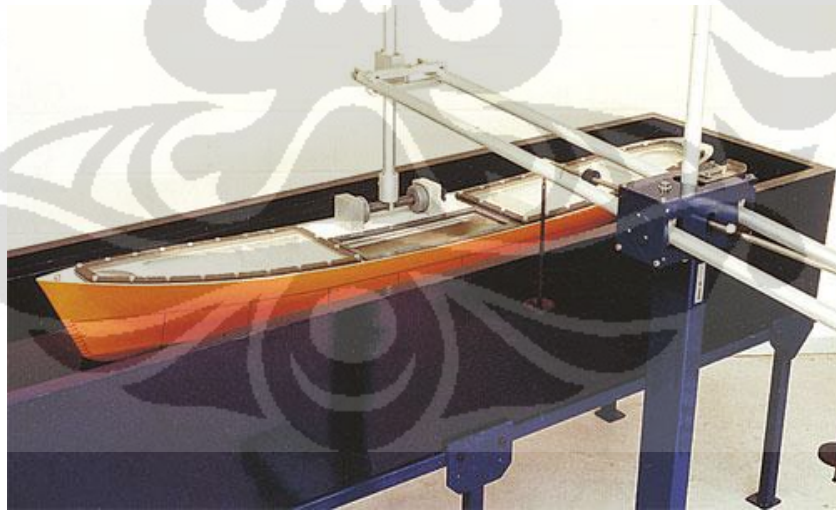
Alat ini mempunyai sumber tenaga baterai 2 pipih dengan masing-masing voltage 3 Volt. *Clinometer* ini terdiri dari 4 buah tombol; tombol pertama berwarna merah merupakan tombol *on/off*, tombol kedua adalah

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.

3.1.3 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.



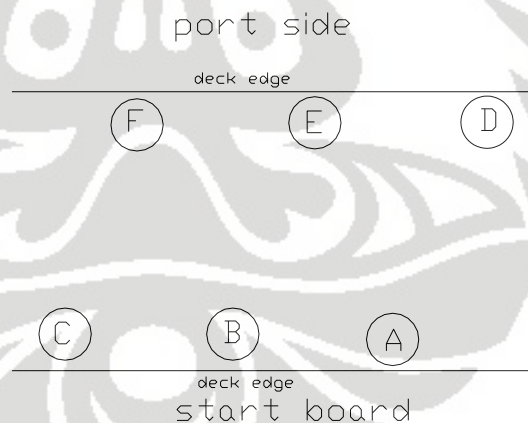
Gambar 3.3 *flotation tank*

3.2 Prosedur pengujian

3.2.1 *Inclining experiment*

Prosedur pengujian dikelompokkan menjadi dua tahap

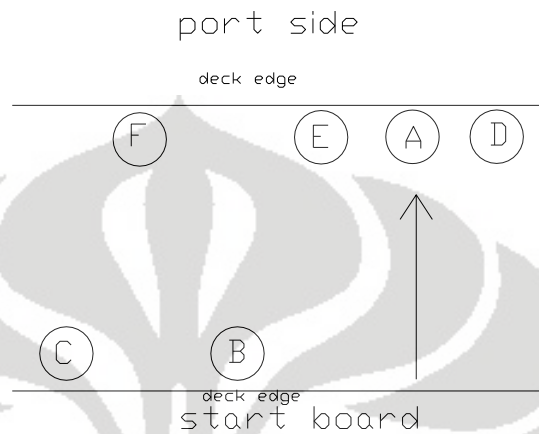
- Tahap persiapan:
 1. Mengisi fluida kedalam *flotation tank*
 2. Menyiapkan semua perlengkapan seperti beban pemberat
 3. Memastikan model kapal terapung dengan bebas, artinya tidak ada *mooring* yang terlalu kencang sehingga menghambat gerakan kapal selama pengujian.
 4. Memastikan tidak ada genangan air dalam *compartment* model.
- Tahap pengoperasian dan pengambilan data
 1. Pengujian no. 0: letakkan keenam beban dengan posisi 3 buah di *starboard side* dan 3 buah di *portside*. Lihat nilasudutnya pada *clinometer*.



Gambar 3. 4 posisi awal beban

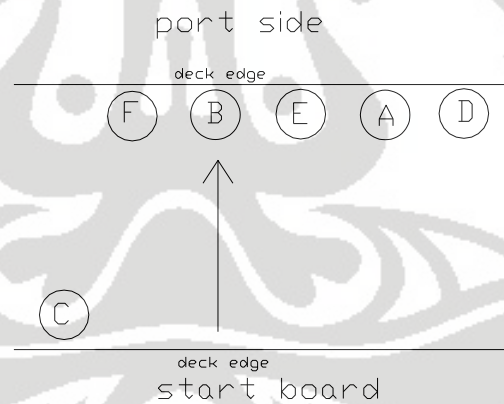
(sumber : telah diolah kembali)

- Pengujian no.1: pindahkan beban A ke posisi *portside* dan lihat nilai sudutnya pada *clinometer*.



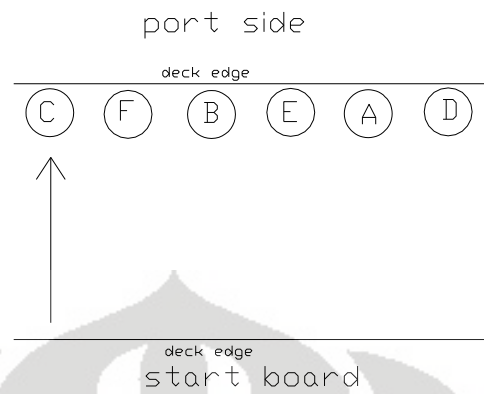
Gambar 3.5 perpindahan beban A

- Pengujian no.2: pindahkan beban B ke posisi *portside* dan lihat nilai sudutnya pada *clinometer*.



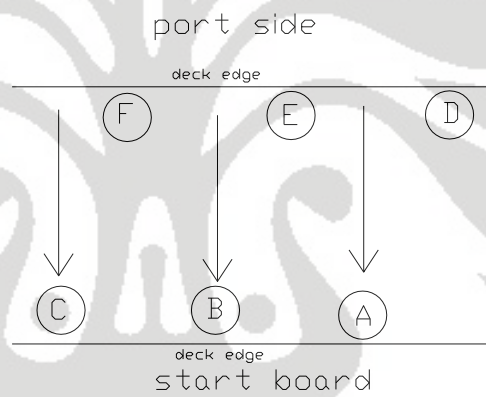
Gambar 3.6 perpindahan beban B

- Pengujian no.3: pindahkan beban C ke posisi *portside* dan lihat nilai sudutnya pada *clinometer*.



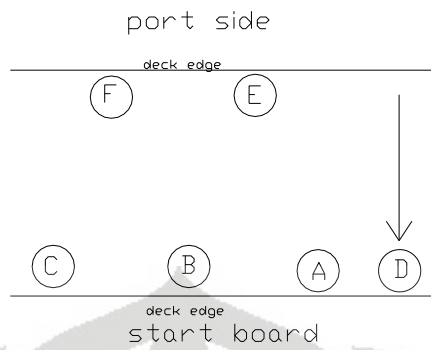
Gambar 3.7 perpindahan beban C

5. Pengujian no.4: pindahkan beban A, B, dan C ke posisi awal. lihat nilai sudutnya pada *clinometer*.



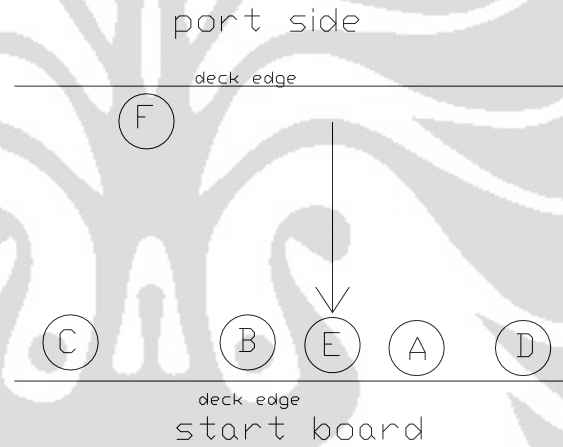
Gambar 3.8 perpindahan beban A, B dan C

6. Pengujian no.5: pindahkan beban D ke *start board* dan lihat nilai sudutnya pada *clinometer*.



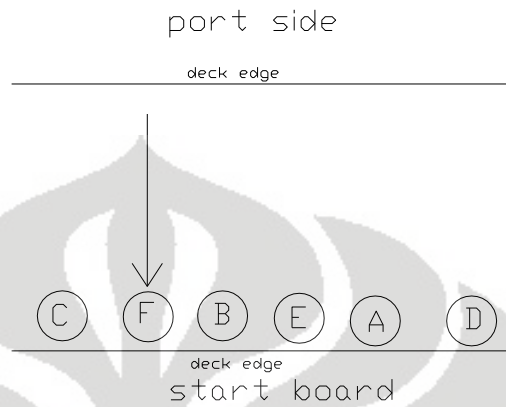
Gambar 3.9 perpindahan beban D

7. Pengujian no.6: pindahkan beban E ke *start board* dan lihat nilai sudutnya pada *clinometer*.



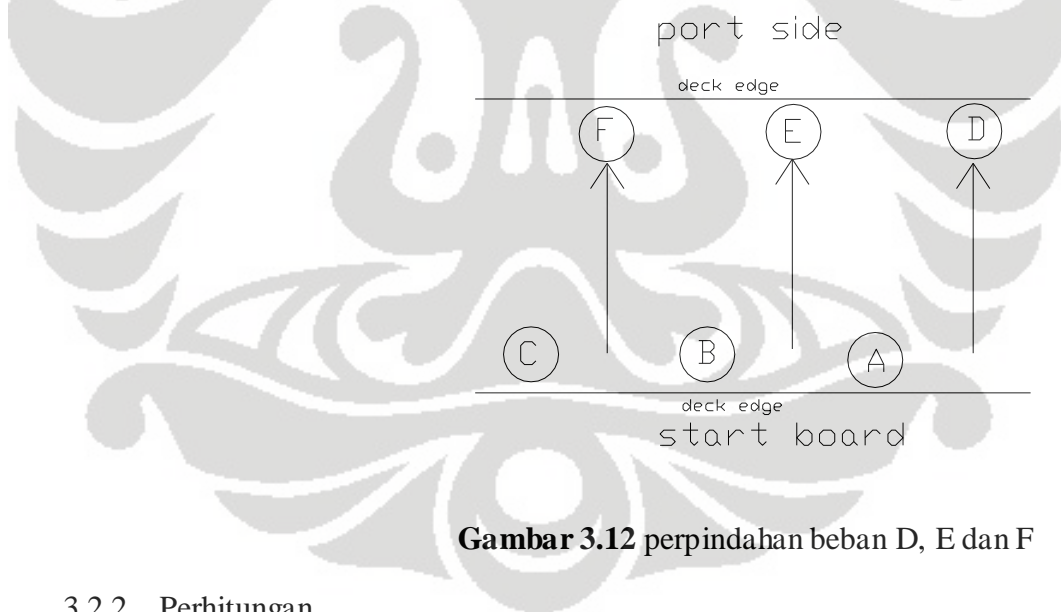
Gambar 3.10 perpindahan beban E

8. Pengujian no.7: pindahkan beban F ke start board dan lihat nilai sudutnya pada clinometer.



Gambar 3.11 perpindahan beban F

9. Pengujian no.8: pindahkan beban D, E, dan F ke posisi awal.



Gambar 3.12 perpindahan beban D, E dan F

3.2.2 Perhitungan

Pada pengujian diatas didapat data sebagai berikut

Berat per beban = 0,2 kg

Displacement model = 14 kg

$$\begin{aligned}
 \text{Berat displacement total} &= \text{displacement model} + \text{berat total beban} \\
 &= 14 \text{ kg} + (0,2 \times 6) \\
 &= 15,2 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{Jarak perpindahan beban} = 0.3 \text{ meter}$$

Kemudian besar sudut tiap pergerakan beban dicatat pada label dibawah ini

no. pengujian	nilai sudut	perubahan besar sudut
0		-
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
Total		

Tabel 3 1 contoh tabel data pengukuran besar sudut

(sumber : telah diolah kembali)

Setelah itu dicari nilai rata-rata besar sudut untuk satu beban;

$$\text{nilai rata - rata } \theta = \frac{\text{total perubahan besar sudut}}{12} \quad (3.1)$$

Kemudian menghitung nilai GM,

$$GM = \frac{w \times d}{\Delta \times \tan \theta} \quad (3.2)$$

Dimana,

w = massa satu beban

d = jarak perpindahan beban

Δ = *displacement*

$\tan \theta$ = nilai tangen dari sudut rata-rata



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian didapatkan:

no. pengujian	nilai sudut	perubahan besar sudut
0	1,1	-
1	0,1	1
2	-0,9	1
3	-1,8	0,9
4	1	2,8
5	2	1
6	3	1
7	4	1
8	1,1	2,9
Total		11,6

Tabel 4.1 data hasil pengujian

(sumber : telah diolah kembali)

$$\begin{aligned} \text{nilai rata - rata } \theta &= \frac{11,6^\circ}{12} \\ &= 0,97 \end{aligned}$$

$$GM = \frac{0,2 \times 300 \text{ mm}}{15,2 \times \tan 0,97^\circ}$$

$$GM = 233,94 \text{ mm}$$

Dengan metode interpolasi dengan displacement 15,2 kg menggunakan lampiran table I didapatkan KB dan BM ;

$$KB = \left[\left(\frac{(15,2 - 14,51)}{(14,516 - 14,51)} \right) \times (22,7 - 15,3) \right] + 15,3$$

$$KB = 15,92$$

$$BM = \left[\left(\frac{(15,2-14,51)}{(14,516-14,51)} \right) \times (191,9 - 286,6) \right] + 286,6$$

$$BM = 278,7 \text{ mm}$$

Kemudian dicari nilai MK;

$$MK = KB + BM \quad (3.3)$$

$$MK = 15,92 \text{ mm} + 278,7 \text{ mm}$$

$$MK = 294,62 \text{ mm}$$

Sehingga didapatkan nilai KG;

$$KG = MK - GM \quad (3.4)$$

$$KG = 294,62 - 233,94$$

$$KG = 60,68 \text{ mm}$$

Lalu nilai-nilai diatas dimasukkan ke dalam tabel untuk mencari GZ seperti yang terdapat pada buku Meancang Kapal karangan Ir. Marcus A. T

θ	5	10	15	30	45	60	75	90
$\sin \theta$	0.09	0.17	0.26	0.50	0.71	0.87	0.97	1.00
MK $\sin \theta$	25.68	51.16	76.25	147.31	208.33	255.15	284.58	294.62
GK $\sin \theta$	5.29	10.54	15.70	30.34	42.90	52.55	58.61	60.68
GZ	20.39	40.62	60.55	116.97	165.42	202.60	225.97	233.94

Tabel 4.2 GZ hasil perhitungan

(sumber : telah diolah kembali)

4.2 Perbandingan data hasil pengujian dan data dari *Cross Curve* yang tersedia

GZ hasil perhitungan:

θ	5	10	15
$\sin \theta$	0.09	0.17	0.26
MK $\sin \theta$	25.68	51.16	76.25
GK $\sin \theta$	5.29	10.54	15.70
GZ	20.39	40.62	60.55

Tabel 4.3 GZ hasil perhitungan

(sumber : telah diolah kembali)

Interpolasi dari *Cross Curve* pada $\Delta=15,2$ kg

$$@ 5^\circ, G_oZ = 23.76 \text{ mm}$$

$$@ 10^\circ, G_oZ = 41.35 \text{ mm}$$

$$@ 15^\circ, G_oZ = 54.97 \text{ mm}$$

Kemudian G_AZ hasil perhitungan dibandingkan dengan GZ dari *Cross Curve* yang telah dikoreksi menurut persamaan:

$$GZ = G_oZ - G_o G_A \sin \theta$$

Dimana;

$$KG_o \text{ dari } Cross \text{ Curve} = 60.96 \text{ mm}$$

$$KG_A \text{ yang didapatkan dari pengujian} = 60,68 \text{ mm}$$

$$\text{Nilai } G_o G_A = 0,284 \text{ mm}$$

θ	GoZ	$\sin \theta$	GoGa sin θ	GaZ	GZ hitungan	persentase
5	23.76	0.09	0.02	23.73	20.39	16.41
10	41.35	0.17	0.05	41.30	40.62	1.67
15	54.97	0.26	0.07	54.90	60.55	10.29

Tabel 4.4 perbandingan nilai GZ

(sumber : telah diolah kembali)

4.3 Pembahasan

Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan data berupa sudut kemiringan dari 6 buah beban yang dipindahkan yang menghasilkan rata-rata nilai sudut per beban. Besar sudut tersebut sangat dipengaruhi oleh berat beban itu sendiri. Semakin berat beban yang dipakai semakin besar sudut yang dihasilkan. Tetapi selama sudut tersebut bernilai kecil, titik M akan selalu pada posisi yang sama. Dan panjang BM akan selalu bernilai sama pula dimana BM merupakan *metacentric radius*. Sehingga beban yang dipakai harus dijaga agar sudut yang dihasilkan tidak terlalu besar, yaitu tidak melebihi 15 derajat. Dari nilai GM yang didapat dari pengujian, lalu dengan menjumlahkan KB dan BM dari interpolasi *Cross Curve* didapat nilai KM yang nantinya didapat untuk mencari GK.

Dari nilai GK kini didapat GZ yang dibandingkan dengan GZ dari *Cross Curve*. Toleransi persentase error yang paling besar terdapat pada sudut 5 derajat yaitu sebesar 16,41%. Sedangkan toleransi error yang terapat pada buku manual yang disediakan Armfield adalah 2,5%. Tetapi hasil pengujian yang dibandingkan pada manual yang tersedia adalah hasil pengujian yang menggunakan *dynamometer* yang mempunyai tingkat presisi yang lebih tinggi dikarenakan kestabilannya. Sedangkan *clinometer* yang dipakai oleh penulis merupakan *clinometer* digital yang sangat sensitif tetapi alat ini tidak punya tempat dudukan sendiri, tetapi hanya diletakkan di *bottom midship*

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari data hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa:

- Prosedur dan alat yang digunakan dapat menunjukkan nilai GM pada model yang digunakan.
- Prosedur dan alat yang digunakan telah dapat menunjukkan proses pengujian kemiringan kapal.
- Besar sudut yang dihasilkan berbanding lurus dengan berat beban yang diberikan.
- Persentase error yang didapatkan menunjukkan alat uji perlu disempurnakan kembali.

5.2 Saran

- Untuk melakukan pengujian sebaiknya *dynamometer* difungsikan kembali agar mendapatkan hasil yang lebih akurat.
- Bila memungkinkan untuk dibuat jenis-jenis beban untuk dibebankan ke model kapal untuk mendapatkan variasi stabilitas pada kapal model.

DAFTAR PUSTAKA

Dage, J. L. (1956). *Stability And Trim for The Ship's Officer* (2nd ed.). Canada: D. Van Nostrand Company, Ltd.

Derrett, D. R., & Barrass, C. B. (Ed.). (1999). *Ship Stability for Masters and Mates* (5th ed.). Woburn: Butterworth-Heinemann.

Talahatu, M. A. (1986). *Merancang Kapal*.

Townsin, R. L. (2001). *Instruction Manual: Large Angle Ship Stability Dynamometer and Inclining Model*. Hampshire : Armfield

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

<http://aleydoank18.googlepages.com/Stabiitas-ISIMODUL.doc>, diakses: 16 Juni 2009



LAMPIRAN

LAMPIRAN

MODUL PRAKTIKUM UJI KEMIRINGAN KAPAL

1.1 Tujuan

- Mengamati phenomena, memvisualisasi dari prinsip stabilitas
- Mengetahui pengaruh beban terhadap besar sudut kemiringan kapal
- Mengetahui proses inclining test
- Menemukan nilai titik M
- Membandingkan nilai GZ yang diperoleh

1.2 Dasar Teori

Stabilitas adalah keseimbangan dari kapal, merupakan sifat atau kecenderungan dari sebuah kapal untuk kembali kepada kedudukan semula setelah mendapat kemiringan yang disebabkan oleh gaya-gaya dari luar (Rubianto, 1996). Sama dengan pendapat Wakidjo (1972), bahwa stabilitas merupakan kemampuan sebuah kapal untuk menegak kembali sewaktu kapal miring oleh karena kapal mendapatkan pengaruh luar, misalnya angin, ombak dan sebagainya.

Oleh karena itu maka stabilitas erat hubungannya dengan bentuk kapal, muatan, *draft*, dan ukuran dari nilai GM. Posisi M (*Metasentra*) hampir tetap sesuai dengan *style* kapal, pusat B (*Bouyancy*) digerakkan oleh *draft* sedangkan pusat gravitasi bervariasi posisinya tergantung pada muatan. Sedangkan titik M (*Metasentra*) adalah tergantung dari bentuk kapal, hubungannya dengan bentuk kapal yaitu lebar dan tinggi kapal, bila lebar kapal melebar maka posisi M (*Metasentra*) bertambah tinggi dan akan menambah pengaruh terhadap stabilitas.

Kaitannya dengan bentuk dan ukuran, maka dalam menghitung stabilitas kapal sangat tergantung dari beberapa ukuran pokok yang berkaitan dengan dimensi pokok kapal.

Ukuran-ukuran pokok yang menjadi dasar dari pengukuran kapal adalah panjang (*length*), lebar (*breadth*), tinggi (*depth*) serta sarat (*draft*). Sedangkan untuk

panjang di dalam pengukuran kapal dikenal beberapa istilah seperti LOA (*Length Over All*), LBP (*Length Between Perpendicular*) dan LWL (*Length Water Line*). Beberapa hal yang perlu diketahui sebelum melakukan perhitungan stabilitas kapal yaitu :

- **KM (Tinggi titik metacentra 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 metacentra (BM), sehingga KM dapat dicari dengan rumus :

$$KM = KB + BM \quad (2.3)$$

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

- **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 senget kapal.

Nilai KB dapat dicari :

Untuk kapal tipe plat bottom, $KB = 0,50d$

Untuk kapal tipe V bottom, $KB = 0,67d$

Untuk kapal tipe U bottom, $KB = 0,53d$

dimana d = draft kapal

Dari diagram metacentra atau lengkung hidrostatis, dimana nilai KB dapat dicari pada setiap sarat kapal saat itu.

- **BM (Jarak Titik Apung ke Metacentra)**

BM dinamakan jari-jari metacentra atau metacentra 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 BM sebagai jari-jarinya. Titik M masih bisa dianggap tetap karena sudut olengnya kecil (10^0 - 15^0).

Lebih lanjut dijelaskan:

$$BM = \frac{b^2}{10d}$$

dimana :

b = lebar kapal (m)

d = draft kapal (m)

Dilihat dari sifatnya, stabilitas atau keseimbangan kapal dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu stabilitas statis dan stabilitas dinamis. Stabilitas statis diperuntukkan bagi kapal dalam keadaan diam dan terdiri dari stabilitas melintang dan membujur. Stabilitas melintang adalah kemampuan kapal untuk tegak sewaktu mengalami kemiringan dalam arah melintang yang disebabkan oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya, sedangkan *stabilitas membujur* adalah kemampuan kapal untuk kembali ke kedudukan semula setelah mengalami kemiringan dalam arah yang membujur oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya. Stabilitas melintang kapal dapat dibagi menjadi sudut kemiringan kecil (0^0 - 15^0) dan sudut kemiringan besar ($>15^0$). Akan tetapi untuk stabilitas awal pada umumnya diperhitungkan hanya hingga 15^0 dan pada pembahasan stabilitas melintang saja.

Sedangkan stabilitas dinamis diperuntukkan bagi kapal-kapal yang sedang oleng atau mengangguk ataupun saat dalam kemiringan besar. Pada

umumnya kapal hanya miring kecil saja. Jadi kemiringan yang besar, misalnya melebihi 20^0 bukanlah hal yang biasa dialami. Kemiringan-kemiringan besar ini disebabkan oleh beberapa keadaan umpamanya badai atau oleng besar ataupun gaya dari dalam antara lain GM yang negatif. Dalam teori stabilitas dikenal juga istilah stabilitas awal yaitu stabilitas kapal pada kemiringan kecil (antara 0^0-15^0). Stabilitas awal ditentukan oleh 3 buah titik yaitu titik berat (Center of gravity) atau biasa disebut titik G, titik apung (*Center of buoyance*) atau titik B dan titik metasentra atau titik M.

- **Macam-macam keadaan stabilitas**

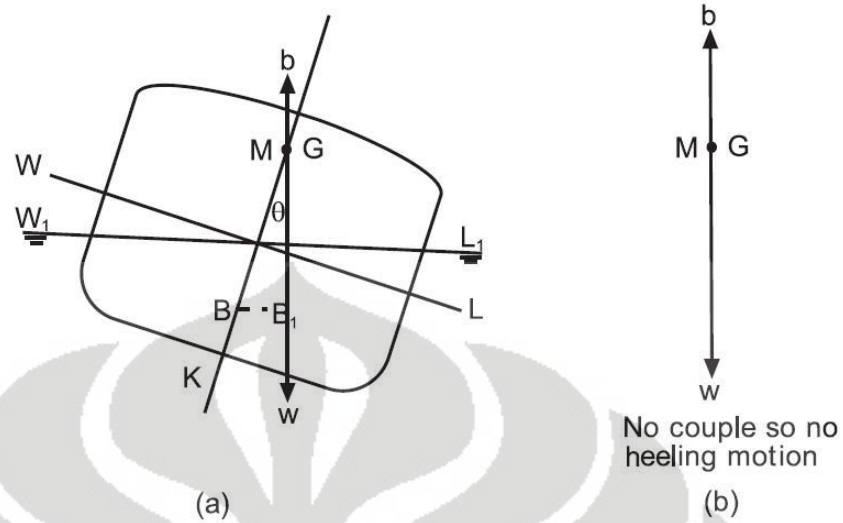
Pada prinsipnya keadaan stabilitas ada tiga yaitu Stabilitas Positif (*stable equilibrium*), stabilitas Netral (*Neutral equilibrium*) dan stabilitas Negatif (*Unstable equilibrium*).

- **Stabilitas Positif (Stable Equilibrium)**

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

- **Stabilitas Netral (Neutral Equilibrium)**

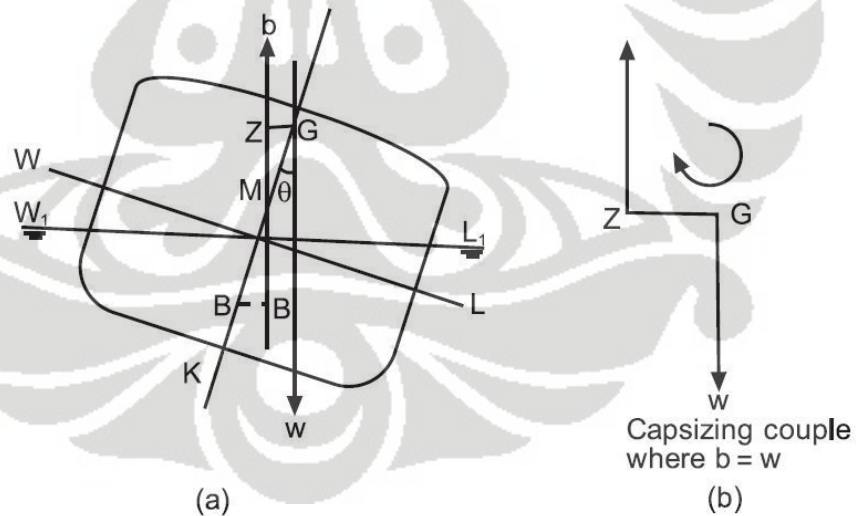
Suatu keadaan stabilitas dimana titik G-nya berhimpit dengan titik M. Maka momen penegak kapal yang memiliki stabilitas netral sama dengan nol, atau bahkan tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali sewaktu miring. Dengan kata lain bila kapal kemiringan tidak ada MP maupun momen penerus



netral equilibrium

sehingga kapal tetap miring pada sudut kemiringan yang sama, penyebabnya adalah titik G terlalu tinggi dan berimpit dengan titik M karena terlalu banyak muatan di bagian atas kapal.

o **Stabilitas Negatif (Unstable Equilibrium)**



unstable equilibrium

Suatu keadaan stabilitas dimana titik G-nya berada di atas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas negatif sewaktu miring tidak

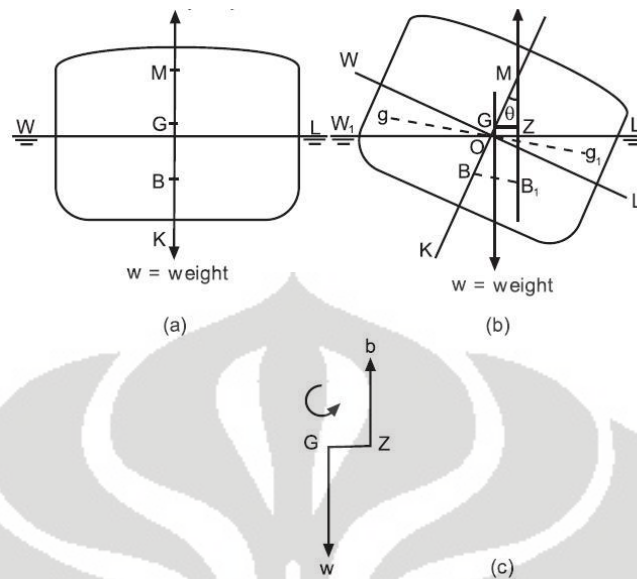
memiliki kemampuan untuk menegak kembali, bahkan sudut kemiringannya akan bertambah besar, yang menyebabkan kapal akan bertambah miring lagi bahkan bisa menjadi terbalik. Atau suatu kondisi bila kapal miring karena gaya dari luar, maka timbullah sebuah momen yang dinamakan MOMEN PENERUS/Heiling moment sehingga kapal akan bertambah miring.

- **Transverse statical stability**

Ketika kapal terapung diatas air seperti yang ditunjukkan gambar 1a dan gambar 1c menunjukkan *righting couple*-nya, maka GZ adalah lengan *couple*-nya. Ketika kapal miring oleh gaya dari luar dengan sudut kemiringan kecil θ seperti yang ditunjukkan gambar 1b. Karena tidak ada perubahan pada distribusi berat maka *center of gravity* akan tetap berada di G dan berat kapal (W) bisa dianggap bekerja vertikal kebawah melewati titik ini.

Ketika terjadi kemiringan, segitiga WOW_1 sama dengan LOL_1 dan mempunyai *center of gravity* pada g dan g_1 . *Center of buoyancy* menjadi pada volume dibawah air (B) akan berpindah ke B_1 . Dan BB_1 berparalel dengan bb_1 sehingga $BB_1 = \frac{v \times gg_1}{V}$ dimana v adalah volume sudut yang dipindahkan dan V adalah volume *displacement* kapal

Garis vertikal menembus melewati center line kapal dan membuat 2 sudut kemiringan yang berseberangan yang saling berurutan pada titik yang disebut *metacentra*. Untuk sudut sekitar 15° garis vertikal yang melewati *center of buoyancy* memotong garis tengah kapal pada titik yang disebut *metacentra* awal. (M pada gambar 1b). Tinggi *metacentra* awal diatas *keel* (KM) tergantung bentuk lambung dibawah air.

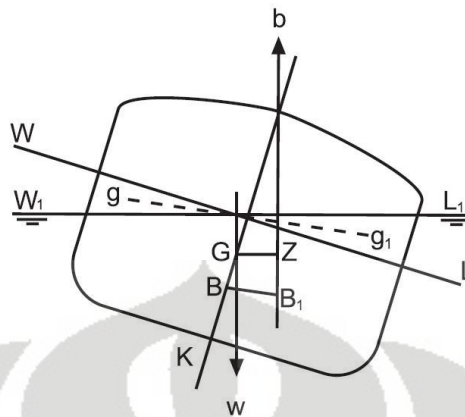


Gambar 1 *transvers stability*

(sumber: Captain D. R. Derrett)

Jarak antara G dan M adalah tinggi metacentra. Jika G dibawah M maka kapal dikatakan memiliki tinggi *metacentra* yang positif dan jika G diatas M maka tinggi *metacentra* dikatakan negatif.

Pada sudut kemiringan yang kecil, gaya *buoyancy* melakukan kerja vertikal keatas melewati titik yang disebut metacentra awal (M). Hal ini ditunjukkan pada gambar 2 dimana kapal mengalami kemiringan dengan sudut kecil (θ derajat).



Gambar 2. *small angle stability*
(sumber: Captain D. R. Derrett)

$$\text{moment of statical stability} = W \times GZ \quad (2.5)$$

Tetapi pada segitiga GZM :

$$GZ = GM \sin \theta \quad (2.6)$$

$$\therefore \text{moment of statical stability} = W \times GM \times \sin \theta \quad (2.7)$$

1.3 Deskripsi alat

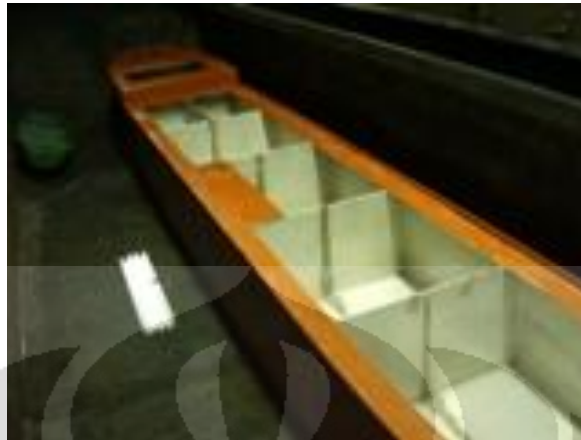
1.3.1 Peralatan pengujian

Alat *inclining test* ini merupakan buatan Armfield (Inggris) dan secara garis besar peralatan yang digunakan untuk pengujian ini adalah sebagai berikut:

1.3.2 General cargo vessel model

Model ini replika dari sebuah *general cargo motor vessel* yang terbuat dari *fiberglass* dengan skala 1: 70 dengan dimensi utama kapal sebagai berikut:

LBP	=	2385	mm
B	=	323	mm
T	=	100	mm
H	=	185,5	mm



kapal model

Kapal model ini merupakan replika dari kapal dengan *engines aft* dan dengan LBP sebesar 167 meter, *full load displacement* sebesar 28215 ton dan DWT-nya 21512 ton, dengan *summer draught* sebesar 9,403 meter.

1.3.3 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.



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.

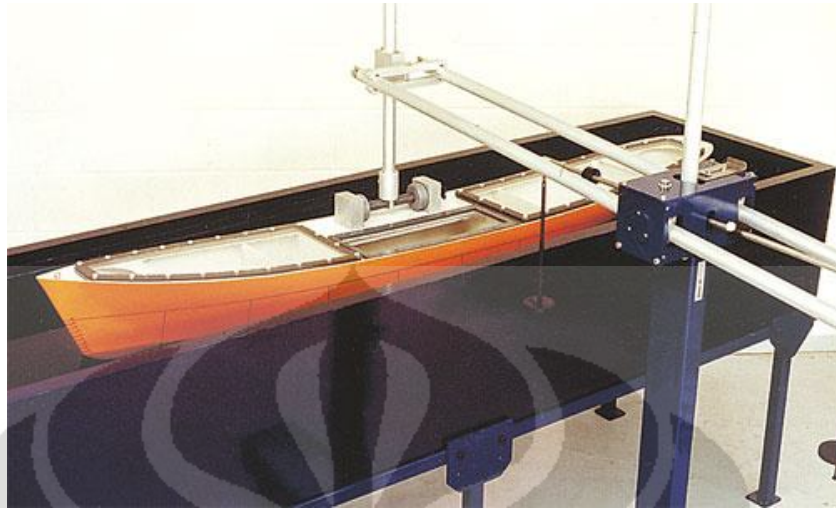
Clinometer bukan sebuah alat yang anti air, sehingga harus dijaga agar jangan sampai terjatuh kedalam *flotation tank* atau membuat model kapal terbalik ketika *clinometer* terpasang.

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.

1.3.4 *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.



flotation tank

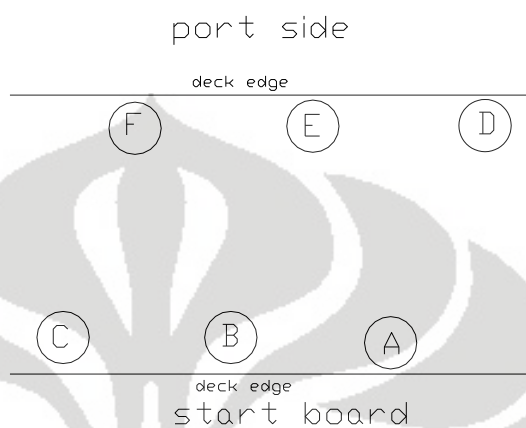
1.4 Prosedur pengujian

1.4.1 *Inclining experiment*

Prosedur pengujian dikelompokkan menjadi dua tahap

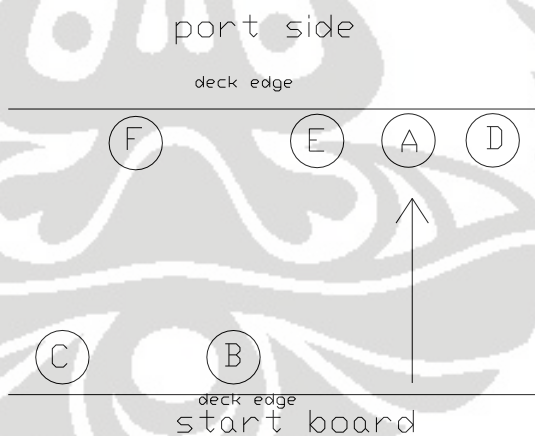
- Tahap persiapan:
 5. Mengisi fluida kedalam *flotation tank*
 6. Menyiapkan semua perlengkapan seperti beban pemberat
 7. Memastikan model kapal terapung dengan bebas, artinya tidak ada *mooring* yang terlalu kencang sehingga menghambat gerakan kapal selama pengujian.
 8. Memastikan tidak ada genangan air dalam *compartment* model.
- Tahap pengoperasian dan pengambilan data

10. Pengujian no. 0: letakkan keenam beban dengan posisi 3 buah di *startboard side* dan 3 buah di *portside*. Lihat nilasudutnya pada *clinometer*.



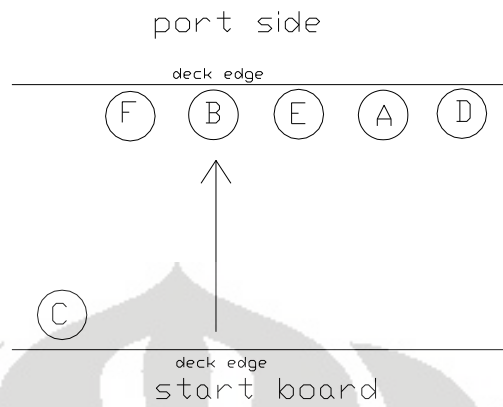
posisi awal beban

11. Pengujian no.1: pindahkan beban A ke posisi *portside* dan lihat nilai sudutnya pada *clinometer*.



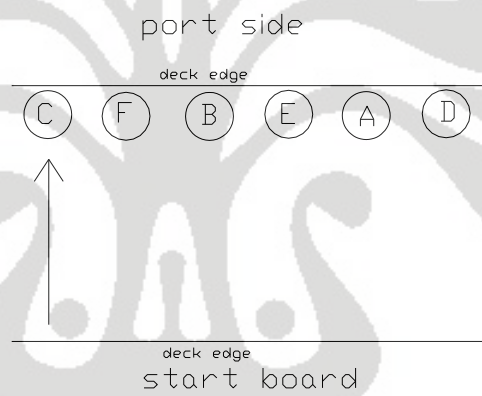
perpindahan beban A

12. Pengujian no.2: pindahkan beban B ke posisi *portside* dan lihat nilai sudutnya pada *clinometer*.



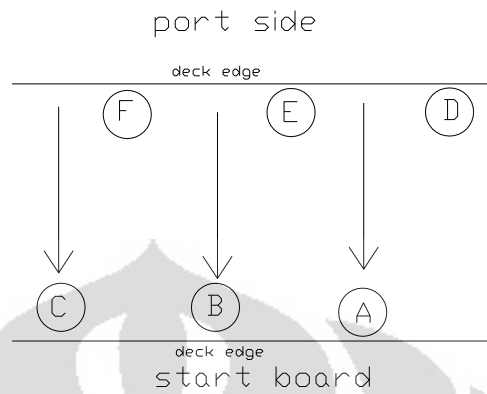
perpindahan beban B

13. Pengujian no.3: pindahkan beban C ke posisi portside dan lihat nilai sudutnya pada *clinometer*.



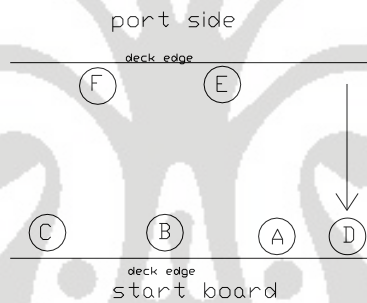
perpindahan beban C

14. Pengujian no.4: pindahkan beban A, B, dan C ke posisi awal. lihat nilai sudutnya pada *clinometer*.



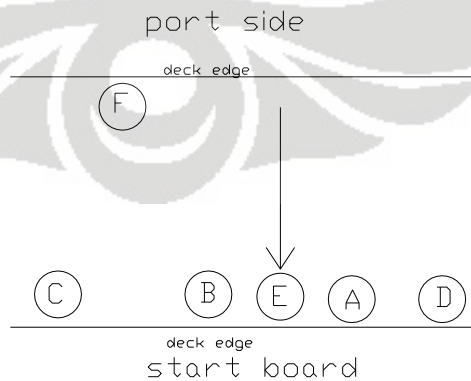
perpindahan beban A, B dan C

15. Pengujian no.5: pindahkan beban D ke *start board* dan lihat nilai sudutnya pada *clinometer*.



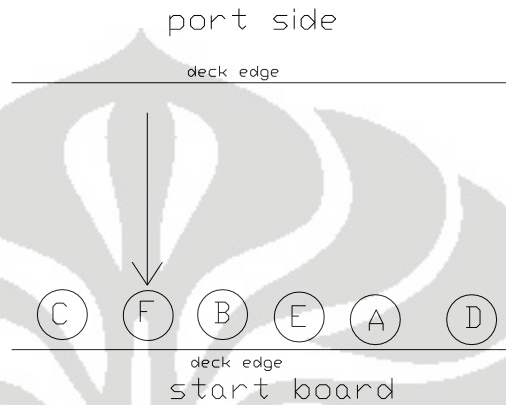
perpindahan beban D

16. Pengujian no.6: pindahkan beban E ke *start board* dan lihat nilai sudutnya pada *clinometer*.



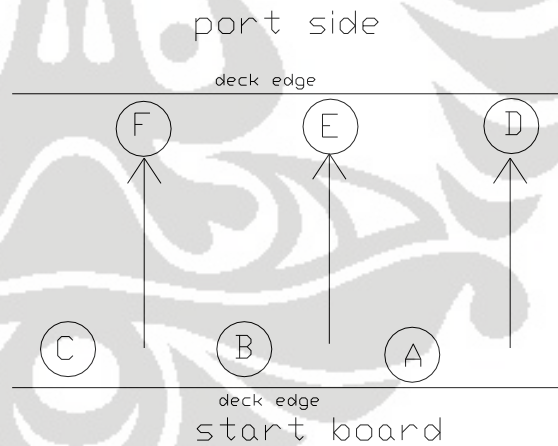
perpindahan beban E

17. Pengujian no.7: pindahkan beban F ke start board dan lihat nilai sudutnya pada clinometer.



perpindahan beban F

18. Pengujian np.8: pindahkan beban D, E, dan F ke posisi awal. Lihat nilai *inclinometer*



perpindahan beban D, E dan F

Kemudian besar sudut tiap pergerakan beban dicatat pada label dibawah ini

no. pengujian	nilai sudut	perubahan besar sudut
0		-
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
	total	

tabel data pengujian

Setelah itu dicari nilai rata-rata besar sudut untuk satu beban;

$$\text{nilai rata-rata } \theta = \frac{\text{total perubahan besar sudut}}{12} \quad (3.1)$$

Kemudian menghitung nilai GM,

$$GM = \frac{w \times d}{\Delta \times \tan \theta} \quad (3.2)$$

Dimana,

w = massa satu beban

d = jarak perpindahan beban

Kemudian $G_A Z$ hasil perhitungan dibandingkan dengan GZ dari Cross Curve yang telah dikoreksi menurut persamaan:

$$GZ = G_o Z - G_o G_A \sin \theta$$

Dimana;

$$KG_o \text{ dari Cross Curve} = 60.96 \text{ mm}$$

KG_A yang didapatkan dari pengujian = mm

Nilai G_oG_A = mm

θ	GoZ	$\sin \theta$	GoGa $\sin \theta$	GaZ	GZ hitungan	persentase
5						
10						
15						

perbandingan nilai GZ

1.5 Analisa

