



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STABILITAS DAN SISTEM TAMBAT  
MODEL *COTTAGE* TERAPUNG DENGAN LAMBUNG SILINDRIS**

**SKRIPSI**

**M. HUDI WIBOWO  
0806338342**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN  
DEPOK  
JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STABILITAS DAN SISTEM TAMBAT  
MODEL *COTTAGE* TERAPUNG DENGAN LAMBUNG SILINDRIS**

**SKRIPSI**

**M. HUDI WIBOWO  
0806338342**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN  
DEPOK  
JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STABILITAS DAN SISTEM TAMBAT  
MODEL *COTTAGE* TERAPUNG DENGAN LAMBUNG SILINDRIS**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**M. HUDI WIBOWO  
0806338342**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN  
DEPOK  
JUNI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : M. Hudi Wibowo**

**NPM : 0806338342**

**Tanda Tangan :** 

**Tanggal : 18 juli 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : M. Hudi Wibowo  
NPM : 0806338342  
Program Studi : Teknik Perkapalan  
Judul Skripsi : Stabilitas dan Sistem Tambat Model *Cottage*  
Terapung dengan Lambung Silindris.

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. Marcus Alberth Talahatu, MT



( )

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



( )

Penguji : Ir. Sunaryo, Ph.D

( )

Penguji : Ir. Hadi Tresno Wibowo, MT



( )

Penguji : Ir. Mukti Wibowo



( )

Ditetapkan di : Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok

Tanggal :

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan anugrah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perkapalan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Dalam penulisan skripsi ini, tentunya banyak pihak yang telah memberikan bantuan baik moril maupun materil. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang tiada hingganya kepada

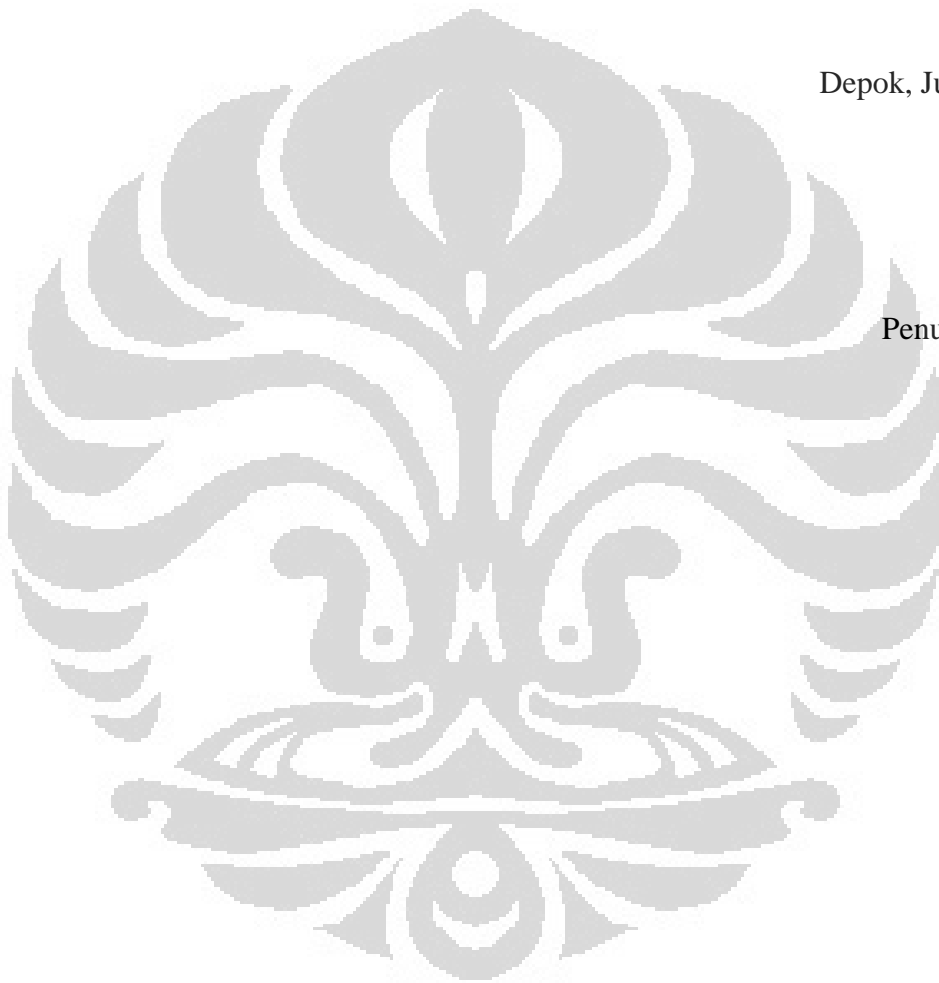
1. Ir. M. A. Talahatu, M.T, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ir. Sunaryo, Ph.D, Ir. Hadi Tresno Wibowo, Ir. Mukti Wibowo, Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M.Eng selaku dosen program studi Teknik Perkapalan yang telah memberikan ilmu dan pengalamannya.
3. Secara khusus penulis ingin memberikan ucapan terima kasih kepada kedua orang tua penulis, atas bantuan dan dukungannya selalu sampai akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
4. Keluarga tercinta kakak-kakak dan adik atas dukungan-nya selama ini.
5. Kak Baqi dan Kak Gunawan atas bantuan dan bimbingannya.
6. Sri Maharani Lestari sebagai teman seperjuangan dikala susah dan senang dalam menyelesaikan skripsi bersama.
7. Teman-teman seperjuangan Zein, Rachmi Satarsyah, Ratna Purnamasari, Candra Dwi Putro, Helmi Dadang Ardiansyah, Iqbal Adi Kumbara, , Edwin Dwi Novianto, Sanlaruska Fathernas, Agus Julianto, Ashar Okta Dwiputra, Retsa Anugrah M, Rio Hidajat, Annisa Nurulyanthi, M. Primadya P, Aji Sokaroni, Adam Landy atas bantuannya dan dukungan moril maupun material.
8. Teman – teman angkatan 2008 Teknik Mesin dan Teknik Perkapalan, terimakasih atas pengalaman dan pelajaran yang berharga selama 4 tahun menjadi mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

9. Para sahabat dan keluarga, serta semua pihak yang telah membantu dalam bentuk doa yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis berharap semoga Tuhan berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat membawa manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juni 2012

Penulis



## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : M. Hudi Wibowo

NPM : 0806338342

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 Rights*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

### **Stabilitas dan Sistem Tambat Model *Cottage* Terapung dengan Lambung Silindris**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 22 Mei 2012

Yang menyatakan,



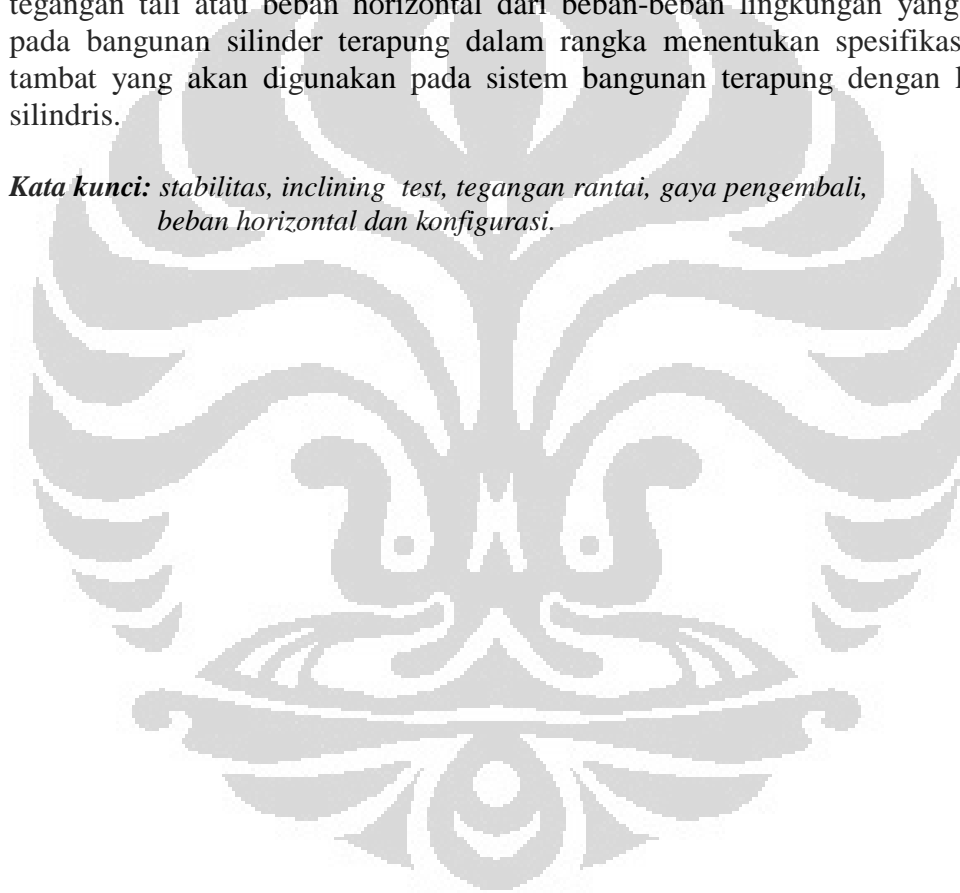
M. Hudi Wibowo



## Abstrak

Bangunan *cottage* terapung dengan lambung silinder mengambil konsep desain dari sebuah tabung silinder yang dalam teori stabilitas memiliki stabilitas di air yang baik. Berangkat dari teori tersebut penelitian ini dilakukan. Untuk membuktikan teori tersebut akan dilakukan percobaan lebih lanjut untuk mendapatkan nilai stabilitas bangunan *cottage* terapung yang memiliki lambung berbentuk silinder. Eksperimen yang akan dilakukan yaitu *Inclining test* untuk mendapatkan nilai stabilitas MG (jarak titik metasentris terhadap titik gravitasi), dan juga simulasi keadaan lingkungan di laut untuk kemudian mengambil data tegangan tali atau beban horizontal dari beban-beban lingkungan yang bekerja pada bangunan silinder terapung dalam rangka menentukan spesifikasi sistem tambat yang akan digunakan pada sistem bangunan terapung dengan lambung silindris.

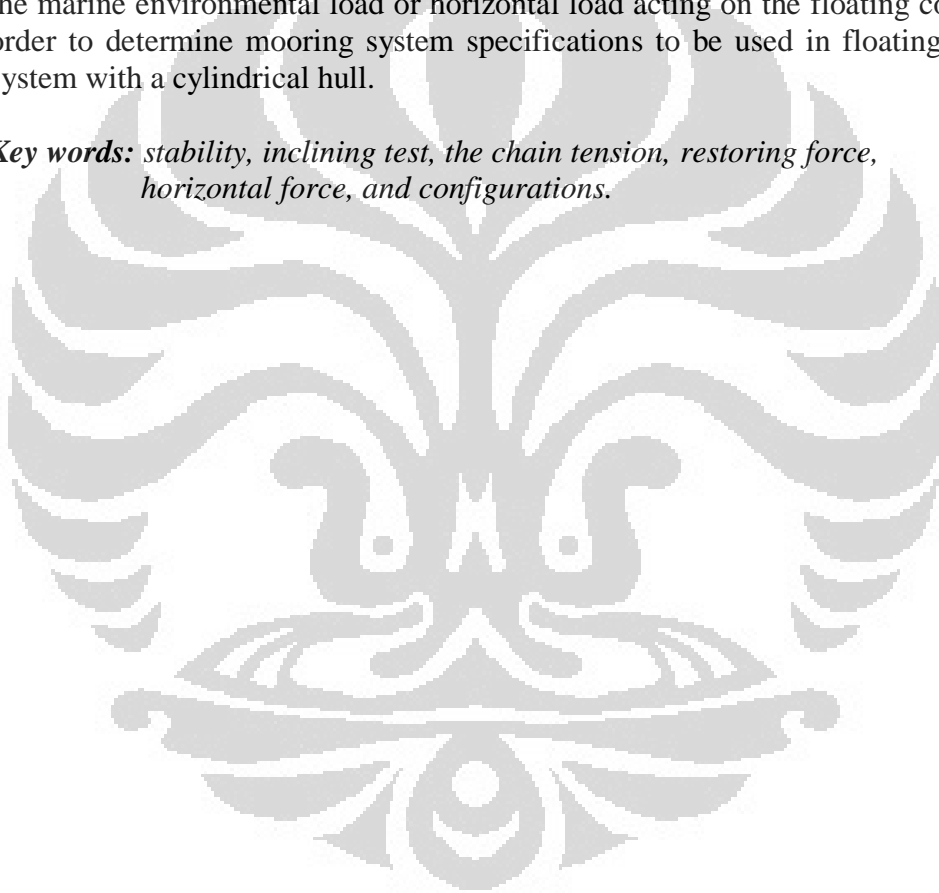
**Kata kunci:** *stabilitas, inclining test, tegangan rantai, gaya pengembali, beban horizontal dan konfigurasi.*



## Abstract

Cylindrical Floating cottage takes the concept design of a cylindrical tube which is in the theory of stability, it have good stability in the water. So depart from that basic theory this research is conduct. To prove the theory, further experiments will be conducted to examine the stability of a floating cottage which has a cylindrical hull. The experiments to be performed are Inclining test to attain the stability value of MG (metacentric point range against gravity), and also simulated marine environmental conditions to retrieve data of chain tension from the marine environmental load or horizontal load acting on the floating cottage in order to determine mooring system specifications to be used in floating cottage system with a cylindrical hull.

**Key words:** *stability, inclining test, the chain tension, restoring force, horizontal force, and configurations.*



## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
<b>BAB1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
<b>2.IStabilitas Kapal.....</b>	<b>7</b>
2.1.0Macam-Macam Keadaan Stabilitas.....	7
2.1.1Titik-Titik Penting Dalam Stabilitas.....	9
2.1.2Momen Penegak.....	10
2.1.3 <i>Inclining Test</i> .....	12
2.1.4Kriteria Stabilitas IMO.....	13
2.2 Teori Model.....	14
2.2.1 Hukum Kesamaan Froude.....	14
<b>2.II Sistem Tambat</b>	
2.3 Teori Gaya.....	15

2.3.1 Gaya dan Vektor Gaya.....	15
2.3.2 Kesetimbangan gaya.....	16
2.3.3 <i>Bouyancy</i> dan titik <i>sistemancy</i> .....	16
2.3.4 Gaya Inersia dan Koefisien Massa.....	17
2.3.5 Gaya Hambat dan Koefisien <i>Drag</i> .....	18
2.3.6 <i>Reynold Number</i> .....	19
2.4 Beban Lingkungan.....	19
2.4.1 Beban angin.....	19
2.4.2 Beban arus.....	21
2.4.3 Beban Gelombang.....	21
2.4.4 Pasang Surut.....	27
2.5 <i>MOORING CHAIN</i> .....	27
2.5.1 Jenis-jenis rantai.....	27
2.5.2 Sifat-sifat rantai.....	28
2.5.3 Sebab kerusakan dan keausan <i>mooring chain</i> .....	28
2.5.4 Standar desain <i>mooring chain</i> .....	29
2.6 <i>STATIKA MOORING LINE</i> .....	30
2.6.1. Teori kesetimbangan pada rantai jangkar.....	30
2.6.2. Efek elastisitas.....	33
2.6.3 Sudut Instalasi.....	34
2.7. <i>PEMILIHAN ANCHOR</i> .....	35
2.7.1. Tipe <i>Anchor</i> .....	35
2.7.2 Pemilihan <i>Anchor</i> .....	36

### **BAB 3 STABILITAS MODEL *COTTAGE***

3.1 RANCANGAN ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN.....	37
3.1.1 Pembuatan Desain Model dengan Program Maxsurf Pro.....	37
3.1.2 Pembuatan Model Uji.....	38
3.2 Rancangan Alat Uji Eksperimen.....	41
3.2.1 Floating Tank.....	41
3.2.2 Clinometer.....	42
3.2.3 Beban Muatan dan Beban Pengoleng.....	43

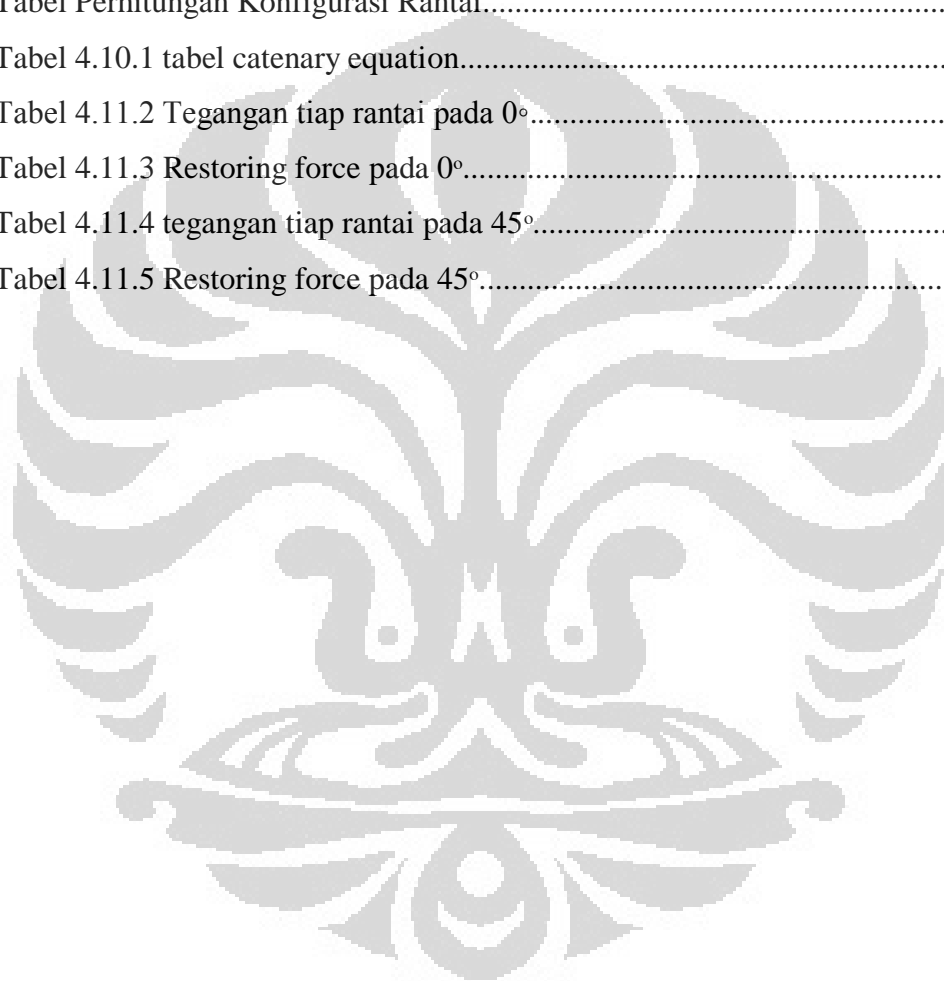
3.3	Prosedur Eksperimen Model Fisik.....	45
3.3.1	Peralatan Pendukung Pengujian Pengujian.....	45
3.3.2	Tujuan pengujian.....	45
3.3.3	Prosedur Pengujian Inclining Experiment.....	45
3.4	Data Pengujian.....	47
3.5	PERHITUNGAN DAN ANALISIS.....	47
3.5.1	Stabilitas Awal.....	47
3.5.2	Pembuatan <i>Hydrostatic Curve</i> .....	52
3.5.3	Pembuatan <i>Cross Curve</i> .....	54
3.5.4	Perhitungan Stabilitas Statis <i>Inclining Test</i> .....	55
3.5.5	Stabilitas Dengan Software Hydromax.....	62
3.5.6	Periode Olong.....	65
3.6	Pembahasan.....	65
3.6.1	Analisa Teori Stabilitas.....	65
3.6.2	Analisis Percobaan.....	66
3.6.3	Analisis Stabilitas <i>Cottage</i> Terapung Sebenarnya.....	67
<b>BAB 4</b>	<b>SISTEM TAMBAT.....</b>	<b>68</b>
4.1	Metode Pemilihan Rantai Tambat.....	68
4.1.1	Pergerakan- <i>Cottage</i> Terapung.....	68
4.1.2	Arah Beban Pada Sistem <i>Cottage</i> Terapung.....	68
4.2	Penyederhanaan Struktur <i>Cottage</i> Terapung.....	68
4.3	Efek Pembebanan Pada <i>Cottage</i> Terapung.....	68
4.4	Data Lingkungan.....	69
4.5	Pemilihan Rantai.....	69
4.5.1	Pemilihan panjang rantai, tegangan awal dan sudut rantai.....	69
4.5.2	Perhitungan konfigurasi 4 Rantai.....	70
4.6	Pengolahan Data dan Analisa Rantai Tambat.....	71
4.6.1	Data Lingkungan.....	71
4.6.2	Data Teknis <i>Cottage</i> Terapung.....	71
4.6.3	Penyederhanaan Struktur <i>Cottage</i> Terapung.....	72
4.7	Rancangan Alat Uji Eksperimen <i>Horizontal Force</i> .....	72

4.7.1 Kolam Gelombang Arus.....	72
4.7.2 Load Cell Transducer.....	73
4.7.3 Beban.....	74
4.7.4 Alat Penyimulasi Beban Angin.....	74
4.7.5 Anemometer.....	74
4.8 Prosedur Eksperimen Model Fisik.....	75
4.9 Pengolahan Data Hasil Eksperimen Model Fisik.....	77
4.9.1 Horizontal Force terhadap Ketinggian Gelombang.....	78
4.9.1 Horizontal Force terhadap Ketinggian Gelombang.....	79
4.10 Perhitungan Analitik Beban Pada <i>Cottage</i> Terapung.....	80
4.10.1 Beban Angin.....	80
4.10.2 Beban Arus.....	81
4.10.3 Beban Gelombang.....	81
4.10.4 Total Beban.....	85
4.11 Perhitungan Konfigurasi Rantai.....	86
4.11.1 Perhitungan S dan $\delta$ maksimum.....	86
4.11.2 Perhitungan Pembebanan Horizontal Terhadap $\delta$ .....	90
4.11.3 Sudut Instalasi Rantai.....	95
4.12 Pemilihan <i>Shackle</i> Dan <i>Arrangement</i> .....	96
4.13 Pemilihan Jangkar.....	98
4.14 Sistem Anchor Windlass.....	99
4.15 Analisa	
4.15.1 Analisa Perbandingan Hasil Eksperimen dan Analitik.....	99
4.15.2 Analisa Percobaan Eksperimen.....	102
4.15.3 Analisa Konfigurasi Tambat.....	102
<b>BAB 5 PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan.....	103
5.2 Saran.....	104
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>105</b>
<b>Lampiran.....</b>	<b>106</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien Massa.....	18
Tabel 2.2. Koefisien drag untuk berbagai geometri.....	18
Tabel 2.3 koefisien Ketinggian.....	20
Tabel 2.4 Klasifikasi Gelombang.....	23
Tabel 2.5 Asimptot nilai hiperbola.....	24
Tabel 2.6. Sifat-sifat mekanik rantai berdasarkan grade.....	28
Tabel 2.7. Sudut rantai terhadap horizontal force*.....	34
Tabel 3.1 dimensi cottage terapung.....	38
Tabel 3.2 dimensi cottage terapung.....	43
Tabel 3.3 Tabel data hasil pengujian model.....	47
Tabel 3.4 nilai h hasil pembacaan grafik prohaska.....	49
Tabel 3.5 tabel perhitungan luas kurva stabilitas statis.....	50
Tabel 3.6 tabel koreksi stabilitas statis kriteria IMO recommendation.....	51
Tabel 3.7 Data Percobaan Model.....	55
Tabel 3.8 Displacement model draft LWT / DWT.....	55
Tabel 3.9 Uraian HSC model LWT / DWT.....	55
Tabel 3.10 Perhitungan MG kapal model setiap variasi draft.....	59
Tabel 3.11 Nilai NK sin kapal model setiap variasi draft.....	59
Tabel 3.12 MG sin $\alpha$ pada Kondisi KOSONG (LWT).....	60
Tabel 3.13 tabel koreksi stabilitas statis kriteria IMO recommendation.....	60
Tabel 3.14 MG sin $\alpha$ pada kondisi FULL (LWT+DWT).....	61
Tabel 3.15 tabel koreksi stabilitas statis kriteria IMO recommendation.....	61
Tabel 3.16 Load Case pada kondisi kosong.....	63
Tabel 3.17 tabel koreksi stabilitas statis kriteria IMO recommendation.....	63
Tabel 3.18 Load Case pada kondisi FULL.....	64
Tabel 3.19 tabel koreksi stabilitas statis kriteria IMO recommendation.....	64
Table 4.6.1 Data Lingkungan. Sumber: website BMKG.....	71
Table 4.6.2 Dimensi Cottage Terapung.....	71
Tabel 4.8.1 Data Lingkungan dalam skala.....	77
Tabel 4.8.2 Hasil Eksperimen.....	78

Tabel 4.9.3 nilai horizontal force terhadap ketinggian gelombang.....	78
Tabel 4.9.4 tabel nilai horizontal force terhadap panjang gelombang.....	79
Tabel beban angin.....	80
Tabel beban arus.....	81
Tabel 4.9.5 Beban Gelombang.....	84
Tabel Amplitudo gelombang.....	85
Tabel total beban.....	85
Tabel Perhitungan Konfigurasi Rantai.....	86
Tabel 4.10.1 tabel catenary equation.....	87
Tabel 4.11.2 Tegangan tiap rantai pada $0^\circ$ .....	90
Tabel 4.11.3 Restoring force pada $0^\circ$ .....	91
Tabel 4.11.4 tegangan tiap rantai pada $45^\circ$ .....	93
Tabel 4.11.5 Restoring force pada $45^\circ$ .....	94



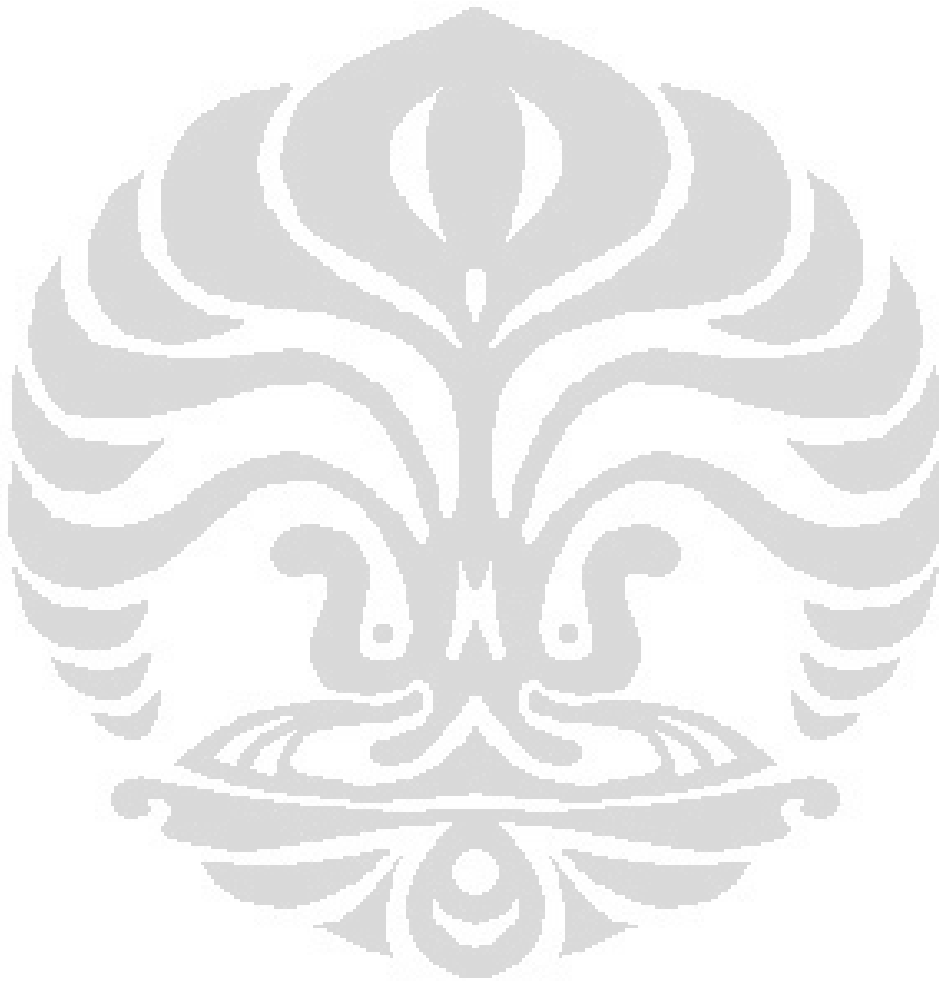


## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Rata-rata tahunan kenaikan air laut global.....	1
Gambar 1.2 Diagram Alir Metode Penelitian.....	5
Gambar 2.1 Ilustrasi titik - titik utama stabilitas.....	7
Gambar 2.2 Kedudukan B, M, G pada suatu kapal.....	9
Gambar 2.3 Momen penegak.....	10
Gambar 2.4 Contoh Kurva Lengan Stabilitas.....	10
Gambar 2.5 sketsa inclining experiment.....	11
Gambar 2.6 Hubungan sudut oleng dengan lengan stabilitas.....	11
Gambar 2.1.1 gaya dan vector gaya.....	15
Gambar 2.1.2 Sistemancy.....	16
Gambar 2.1.3 Karakteristik gelombang.....	22
Gambar 2.1.4 Bentuk gelombang berdasarkan kedalaman.....	22
Gambar 2.1.5 klasifikasi beban gelombang.....	26
Gambar 2.1.6 Geometri rantai.....	28
Gambar 2.1.7. Statika mooring line.....	30
Gambar 2.1.8 Defleksi pada mooring line.....	33
Gambar 2.1.9 danforth anchor dan stato anchor.....	36
Gambar 2.1.10 bagian-bagian anchor.....	36
Gambar 3.1 Body Plan Cottage terapung.....	37
Gambar 3.2 Sheer Plan Cottage terapung.....	37
Gambar 3.3 Half Breadth Plan Cottage terapung.....	37
Gambar 3.4 Desain lines plan kapal model pada program Maxsurf.....	38
Gambar 3.5 model cottage pada program 3DS MAX & AutoCAD.....	39
Gambar 3.6 Model Cottage Terapung (stainless steel).....	40
Gambar 3.7 Watertight bulkhead pada ballast tank.....	40
Gambar 3.8 Menimbang berat model.....	41
Gambar 3.9 Floating Tank.....	41
Gambar 3.10 Clinometer Digital.....	42
Gambar 3.11 pasir sebagai beban muatan dan pengoleng.....	43
Gambar 3.12 memasukan beban ke dalam model.....	46

Gambar 3.13 cottage terapung diatas air dengan clinometer.....	46
Gambar 3.14 Sketsa pengujian Inclining.....	46
Gambar 3.15 Grafik Prohaska.....	49
Gambar 3.17 Kurva stabilitas statis dengan Prohaska.....	50
Gambar 3.18 Grafik koefisien bentuk model.....	52
Gambar 3.19 Hydrostatic Curve Model.....	53
Gambar 3.20 Cross Curve cottage rancangan.....	54
Gambar 3.21 Kurva Stabilitas Cottage terapung kondisi kosong.....	60
Gambar 3.22 Kurva Stabilitas Cottage terapung kondisi FULL.....	61
Gambar 3.23 Grafik Stabilitas Kondisi Kosong (numerik).....	63
Gambar 3.24 Grafik Stabilitas Kondisi Full (numerik).....	64
Gambar 4.3.1 <i>Restoring force/horizontal force</i> .....	69
Gambar 4.6.3 Sketsa <i>Cottage</i> Terapung.....	72
Gambar 4.7.1 Kolam Simulasi Gelombang.....	72
Gambar 4.7.2 Load cell.....	73
Gambar 4.7.3 Interface / instrument.....	73
Gambar 4.7.4 Laptop (Komputer).....	73
Gambar 4.7.5 Beban displacement dengan pasir.....	74
Gambar 4.7.5 Anemometer.....	74
Gambar 4.7.6 Ilustrasi Eksperimen.....	76
Gambar 4.7.7 Mengisi Kolam simulasi dan pengukuran gelombang.....	76
Gambar 4.7.8 meletakkan model uji diatas air kolam gelombang.....	76
Gambar 4.7.9 simulasi beban angin dan pengukurannya.....	76
Gambar 4.9.1 Grafik Horizontal Force vs Ketinggian Gelombang.....	79
Gambar 4.9.2 Grafik perbandingan Horizontal force& panjang gelombang....	80
Gambar 4.9.3 grafik beban gelombang.....	85
Gambar 4.9.4 Grafik Iterasi Nilai H terhadap defleksi.....	89
Gambar 4.9.5 sketsa sudut displacement 0° pada koordinat Cartesian.....	90
Gambar 4.9.6 Grafik tegangan tiap rantai pada displacement 0°.....	91
Gambar 4.9.7 Grafik total restoring force sudut displacement 0°.....	92
Gambar 4.9.8 sketsa displacement 45° pada koordinat Cartesian.....	92
Gambar 4.9.9 Grafik tegangan tiap rantai pada displacement 45°.....	93

Gambar 4.10.1 Grafik total restoring force pada displacement $45^\circ$ .....	94
Gambar 4.10.2 perbandingan restoring force $0^\circ$ dan $45^\circ$ .....	95
Gambar 4.12.1 rangkaian mooring chain.....	97
Gambar 4.12.2 Ilustrasi Sistem Tambat pada Cottage terapung.....	99
Gambar 4.14.1 grafik perbandingan ketinggian gelombang.....	100
Gambar 4.14.2 grafik perbandingan panjang gelombang.....	100
Gambar 4.14.3 grafik perbandingan iterasi berbagai kondisi nilai h .....	101



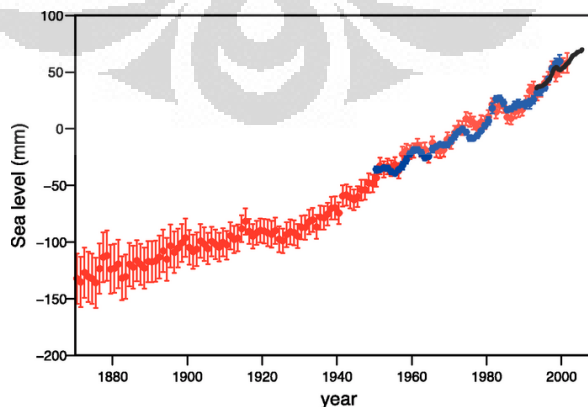
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara maritim dan kepulauan terbesar di dunia (17.504 pulau, Departemen Dalam Negeri 2004), memiliki luas total wilayah laut 2/3 dari luas daratannya, seluas 7.900.000 km<sup>2</sup>. Indonesia juga salah satu Negara yang memiliki garis pantai terpanjang di dunia (95.181 km, PBB 2008). oleh karena itu, memanfaatkan wilayah perairan seluas itu merupakan hal yang tidak terhindarkan lagi dan pemikiran masyarakatnya untuk mengarah ke pemanfaatan wilayah perairan harus dimulai sedini mungkin agar tidak terlambat dengan negara-negara lain.

Seperti yang kita ketahui bersama bahwa global warming yang makin terasa efeknya seiring dengan berjalannya waktu, menyebabkan hal-hal buruk terhadap bumi kita seperti cuaca ekstrim yang sudah mulai dapat dirasakan, dan juga mencairnya batu es di antartika dapat menyebabkan bergeser naiknya garis pantai kita yang menyebabkan menyempitnya wilayah daratan. Kenaikan permukaan air laut ini telah terjadi sejak pertengahan abad ke-19 sejalan dengan makin meningkatnya aktifitas manusia dan industri dunia. Selama abad ke-20, permukaan laut naik sekitar 15-20 sentimeter (sekitar 1,5-2,0 mm / tahun), dengan tingkat di akhir abad ini lebih besar dari awal abad. Untuk itu gerakan-gerakan antisipasi dari akan terjadinya hal tersebut harus segera direncanakan dan dilakukan.



**Gambar 1.1** Rata-rata tahunan kenaikan air laut global. Kurva merah menunjukkan bidang permukaan laut yang direkonstruksi sejak 1870 (updated from Church and White, 2006); kurva biru menunjukkan pengukuran pasut pantai

*sejak 1950 (from Holgate dan Woodworth, 2004) dan kurva hitam didasarkan pada satelit altimetri (Leuliette et al, 2004) dan kurva hitam adalah deviasi dari rata-rata dari kurva merah untuk periode 1993-2001. Error bar menunjukkan interval kepercayaan 90%.*

Pemanfaatan wilayah perairan di Indonesia dapat kita mulai dari bagian pesisir pantai, tidak jauh dari garis pantai merupakan wilayah perairan laut yang dangkal dengan air yang tenang, khususnya di wilayah perairan laut Jawa cocok untuk dimanfaatkan untuk wilayah kompleks residential diatas air (floating). Untuk masyarakat maritim tentu tidaklah asing untuk bermukim diatas air, selain prestise yang didapatkan oleh pemilik, ketenangan dan kenyamanan yang didapatkan juga merupakan satu hal yang menjadi unggulan dari bermukim di wilayah perairan pesisir pantai. Tentu hal tersebut masih terasa janggal untuk sebagian masyarakat di dunia, karena belum terlalu kuat alasan untuk bermukim di atas air karena masih tersedianya lahan didaratan. Tetapi dimasa depan manusia selalu menginginkan hal-hal baru yang tidak pernah terpikirkan atau dilakukan sebelumnya. Kenapa tidak untuk bermukim di wilayah perairan?

Banyak konsep untuk manusia dapat bermukim di wilayah perairan pesisir, sudah banyak pula insinyur maupun desainer-desainer di dunia membuat konsep-konsepnya agar manusia dimungkinkan untuk bermukim di atas air, mulai dari skala besar sampai yang terkecil sekalipun, seperti *floating city*, platform-platform diatas air dan bangunan-bangunan terapung lainnya. Penulis kali ini memiliki ide untuk membuat konsep desain bangunan terapung dengan bentuk silinder karena beberapa alasan tertentu.

Bangunan terapung (*Floating residence*) dengan desain silinder memiliki keunggulan-keunggulan-nya tersendiri yaitu memiliki stabilitas yang baik dengan gerakan respon dari alam yang minim, faktor keamanan yang baik, mudah dalam proses pembuatannya dan juga perawatannya (*maintenance*). Untuk itu sangat penting menerapkan prinsip-prinsip desain bangunan terapung agar aspek-aspek tersebut dapat terpenuhi. Keunggulan inilah yang membuat tim penulis percaya dengan konsep desain ini dapat tercipta pemanfaatan wilayah perairan yang baik dan dapat dinikmati oleh masyarakat.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan paparan di atas maka permasalahan yang dapat diambil yaitu :

- a. Bagaimanakah stabilitas yang dihasilkan oleh *cottage* terapung yang berbentuk silinder.
- b. Bagaimanakah sistem tambat yang aman untuk *cottage* terapung yang berbentuk silinder.

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Menghitung stabilitas dari Bangunan Silinder Terapung dalam beberapa kondisi pemuatan.
2. Merancang sistem tambat dari Bangunan Silinder Terapung

## 1.4 Batasan Penelitian

Batasan penelitian dalam pembuatan desain *floating residence*, penulis hanya akan membahas tentang sistem tambat konfigurasi rantai 4-4, dan stabilitas statis pada model.

## 1.5 Metodologi Penelitian

### 1.5.1 Studi Literatur

Studi Pustaka dilakukan dengan mencari referensi baik dari buku, internet, Jurnal, dan *Rules* mengenai proses perancangan *cottage* terapung, stabilitas dan sistem tambat dengan metode analitik dan juga numerik menggunakan software.

### 1.5.2 Perancangan Model

Penelitian ini akan dilakukan dalam dua metode, yaitu metode numerik dan metode eksperimen. Perancangan model dilakukan untuk kedua metode tersebut, dimana penggunaan program MaxsurfPro diterapkan untuk metode numerik. Perancangan dengan program MaxsurfPro mengacu pada dimensi model yang telah dicetak terlebih dahulu.

### 1.5.3 Pengumpulan Data

Dilakukan pengumpulan data-data yang diperlukan dalam melakukan perancangan *cottage* terapung. Seperti data lingkungan laut (kedalaman, arus, pasang surut, kecepatan angin, ketinggian gelombang), data profile konstruksi yang ada dipasaran, berat baja, berat akomodasi, berat penumpang, berat *ballast*, keadaan *seabed* di lokasi untuk sistem, dan lain-lain.

### 1.5.4. Pengolahan Data Penelitian

Stabilitas

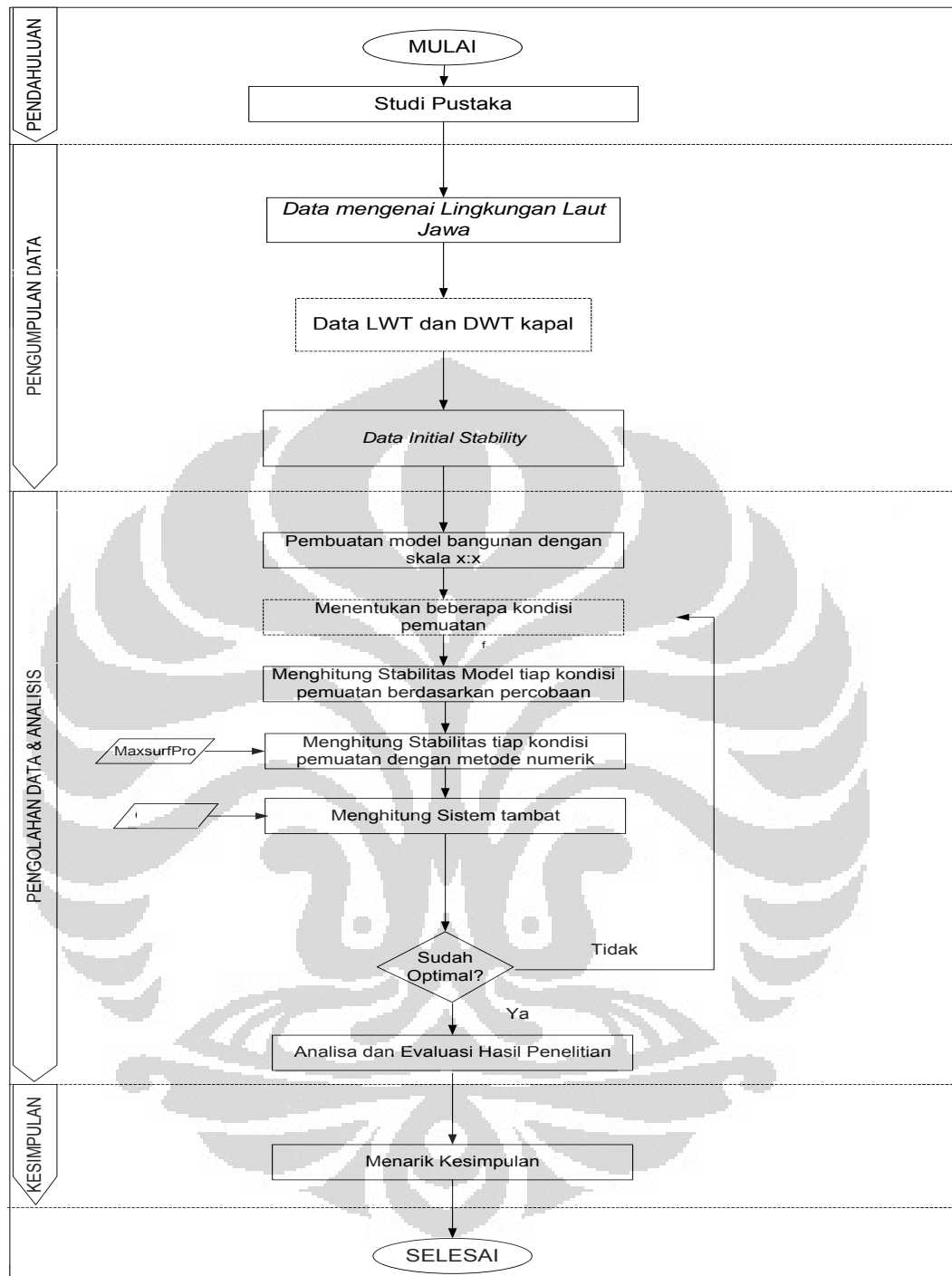
1. Mengumpulkan data LWT + DWT
2. Menghitung *Initial stability (Hydrostatic Curve dan Cross Curve)*
3. Menentukan beberapa kondisi pemuatan.
4. Menghitung stabilitas tiap kondisi pemuatan dengan metode analitik / percobaan dengan rumus-rumus yang ada.
5. Pembuatan Model dengan bahan *stainless steel*
6. Percobaan/pengujian model
7. Pengumpulan data
8. Pengolahan data

### 1.5.5. Analisis Hasil Penelitian

Pada tahap ini dilakukan analisis mengenai konsep desain dan hasil perhitungan kekuatan konstruksi baik dengan metode analitik maupun dengan metode numerik.

### 1.5.6 Tahap Penarikan Kesimpulan

Pada tahap kesimpulan dapat diketahui kestabilan Bangunan Silinder Terapung ini dan juga sistem tambat yang tepat untuk struktur Bangunan Silinder Terapung.



**Gambar 1.2** Diagram Alir Metode Penelitian



## **1.6 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**

Di Bab ini latar belakang mengenai latar belakang penulisan dijelaskan beserta tujuan dari penulisan, dan batasan masalah yang akan dibahas. Selain itu metode penelitian dan sistematika penulisan dijabarkan agar dapat diketahui proses yang dilakukan oleh penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

### **BAB 2. LANDASAN TEORI**

Bab ini berisi tinjauan pustaka yang digunakan sebagai referensi untuk melakukan penelitian.

### **BAB 3. STABILITAS BANGUNAN SILINDER TERAPUNG**

Bab ini menjelaskan tentang perancangan dan pembuatan model, prosedur pengujian, perhitungan stabilitas desain Bangunan Silinder Terapung dilengkapi dengan analisis dari hasil penelitian.

### **BAB 4. SISTEM TAMBAT BANGUNAN SILINDER TERAPUNG**

Bab ini menjelaskan tentang peralatan-peralatan pendukung dalam pengujian, kondisi dalam pengujian serta prosedur pengujian dan pengambilan data. menjelaskan tentang pengolahan data, menampilkan data penelitian, grafik yang didapat dari pengujian, hasil dari pengujian serta analisis dari hasil penelitian Sistem Tambat Bangunan Silinder Terapung.

### **BAB 5. PENUTUP**

Bab ini merupakan bab penutup, pada bab ini diberikan kesimpulan serta saran seandainya penelitian ini akan dilanjutkan suatu saat sehingga memperoleh hasil yang lebih akurat. Selain itu terdapat juga saran kedepannya untuk penelitian ini.

### **DAFTAR PUSTAKA**

Bagian ini memuat sumber data dan referensi yang digunakan sebagai acuan pembuatan skripsi ini.

## BAB II

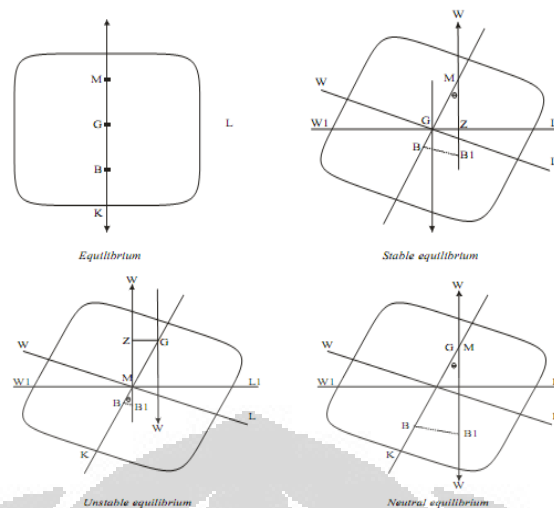
### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 STABILITAS

##### 2.1 Stabilitas Kapal

Stabilitas adalah kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semula setelah mengalami kemiringan akibat gaya yang berasal dari dalam maupun luar kapal. Menurut Taylor (1977) stabilitas dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

- 1) Keseimbangan stabil (*Stable equilibrium*) adalah kondisi dimana kapal mampu kembali ke posisi tegak semula setelah mengalami olengan akibat gaya-gaya gangguan yang terjadi. Kondisi ini adalah pada saat titik pusat gravitasi (G) berada di bawah titik *metacenter* (M) atau dapat dikatakan kapal memiliki metasenter positif dengan lengan penegak (GZ) positif sehingga mampu mengembalikan kapal ke posisi semula.
- 2) Keseimbangan netral (*Neutral equilibrium*) adalah kondisi dimana kapal tidak mengalami kemiringan akibat gaya yang bekerja dan kondisi ini tetap tidak berubah ke posisi semula ataupun bergerak ke arah kemiringan. Pada kondisi ini, posisi titik (G) berimpit dengan titik *metacenter*(M) di satu titik (zero GM) dan tidak dihasilkan lengan kopel GZ. Kondisi ini juga disebut list.
- 3) Keseimbangan tidak stabil (*Unstable equilibrium*) adalah kondisi ketika kapal tidak mampu kembali ke posisi semula setelah kapal miring akibat gaya-gaya yang bekerja padanya. Pada kondisi ini kapal akan bergerak terus ke arah kemiringannya. Hal ini dapat terjadi apabila pusat gravitasi (G) lebih tinggi dari titik *metacenter* (M) atau kapal memiliki tinggi *metacenter* (GM) negatif dan lengan penegak (M) negative meneruskan gerak ke arah kemiringan kapal.



**Gambar 2.1** Ilustrasi posisi ketiga titik utama yang mempengaruhi kondisi stabilitas.

Ditinjau dari sifatnya, stabilitas kapal dibedakan menjadi dua jenis yaitu stabilitas dinamis dan stabilitas statis. 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 kondisi semula setelah mengalami kemiringan secara membujur oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya. Stabilitas melintang kapal dapat dibagi menjadi sudut kecil ( $0^\circ - 15^\circ$ ) dan sudut besar ( $>15^\circ$ ). Akan tetapi untuk perhitungan stabilitas awal pada umumnya diperhitungkan hanya untuk kemiringan  $< 15^\circ$  dan pada stabilitas melintang saja.

Sedangkan stabilitas dinamis diperuntukkan bagi kapal-kapal yang sedang oleng atau mengangguk ataupun saat miring besar. Pada umumnya kapal hanya miring kecil saja. Jadi kemiringan besar misalnya melebihi  $20^\circ$  bukanlah hal yang biasa dialami. Kemiringan-kemiringan besar ini disebabkan oleh beberapa keadaan seperti badai atau olengan besar maupun gaya dari dalam antara lain MG yang negative.

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

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

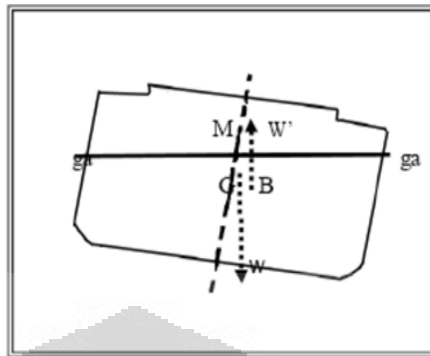
Oleh karena itu stabilitas erat hubungannya dengan bentuk kapal, muatan, draft, dan ukuran dari nilai MG. Posisi M hampir tetap sesuai dengan style kapal, pusat B (*bouyancy*) digerakkan oleh draft sedangkan pusat grafitai bervariasi posisinya tergantung pada muatan. Sedangkan titik M (*metasentrum*) adalah tergantung dari bentuk kapal, hubungannya dengan bentuk kapal yaitu lebar dan tinggi kapal, bila lebar kapal besar maka posisi M (*metasentrum*) bertambah tinggi begitu juga sebaliknya.

### 2.1.1 Titik- Titik Penting Dalam Stabilitas Kapal

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

- 1) Titik *metacenter*(M) adalah titik semu dari batas dimana titik G tidak boleh melewati di atas titik M agar kapal tetap mempunyai stabilitas positif (*stable equilibrium*). Titik metacenter dapat berubah- ubah sesuai dengan sudut kemiringan kapal. Apabila kapal miring dengan sudut kecil (kurang dari  $15^\circ$ ), maka titik apung bergerak di sepanjang busur dimana titik M merupakan titik pusatnya yang terletak dibidang tengah kapal (*centre of line*) akan mengalami sudut kemiringan yang sangat kecil sehingga titik M masih dianggap tetap.
- 2) Titik berat (G) adalah titik tangkap semua gaya- gaya yang menekan ke bawah terhadap kapal. Letak titik G di kapal dapat diperoleh dengan menghitung letak pembebanan muatan di kapal. Sehingga dapat dikatakan bahwa titik berat tidak akan berubah selama tidak ada perubahan peletakan pembebanan muatan walau kapal dalam kondisi miring.
- 3) Titik apung (B) adalah titik tangkap semua gaya- gaya yang menekan ke atas terhadap pembebanan kapal. Berbeda dengan titik berat yang tidak berubah pada saat kapal dalam kondisi miring, pada titik apung akan berubah bergantung pada perubahan permukaan yang terendam di dalam air. Titik apung akan berpindah mengikuti arah kemiringan kapal untuk

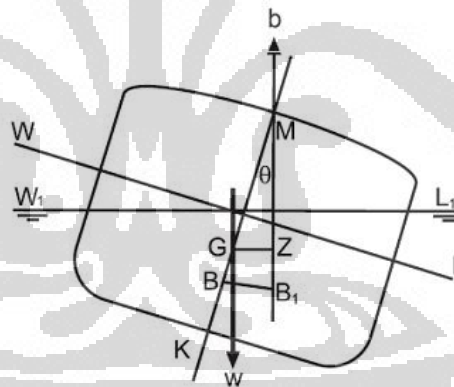
memberikan gaya balik keatas agar kapal tegak kembali setelah mengalami kemiringan.



Gambar 2.2 Kedudukan B, M, G pada suatu kapal

### 2.1.2 Momen Penegak

Momen penegak adalah momen yang akan mengembalikan kapal ke posisi semula setelah mengalami kemiringan karena gaya dari luar dan gaya tersebut tidak bekerja lagi (Rubianto,1996).



Gambar 2.3 Momen penegak

Momen stabilitas statis =  $W \times GZ$

Dari segitiga stabilitas GZM diperoleh  $GZ = GM \sin \theta^\circ$

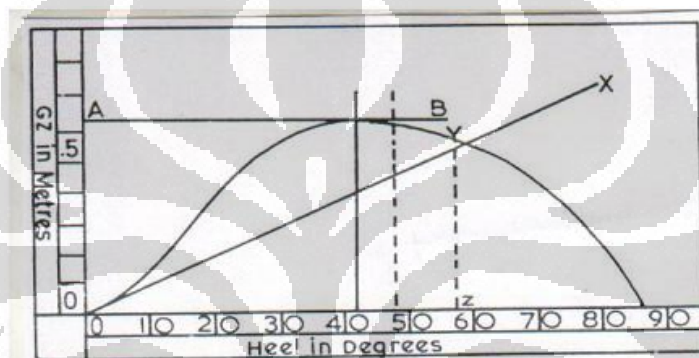
Momen stabilitas statis =  $W \times GM \times \sin \theta^\circ$

$GZ = KN - KG \sin \theta$

$GZ = GM \sin \theta$

$KG = KM - GM$

Nilai GZ merupakan bagian yang sangat penting dalam menentukan stabilitas statis kapal. Fyson (1985), menjelaskan pembahasan mengenai stabilitas statis kapal terkait erat dengan perhitungan nilai GZ atau lengan penegak pada kapal. Persyaratan dan rekomendasi untuk stabilitas berhubungan erat dengan pembahasan kurva GZ dalam arti pencegahan air masuk ke dalam kapal (Fyson 1985). Kurva GZ menunjukkan hubungan antara lengan penegak GZ pada berbagai variasi sudut kemiringan pada perubahan berat yang konstan. Menurut Derrett (1984) kurva stabilitas statis sebuah kapal memuat nilai lengan pengembali (GZ) yang dibandingkan terhadap sudut kemiringan.



**Gambar 2.4** Contoh Kurva Lengan Stabilitas

( Sumber: *ship stability for master and Mates edisi 5* )

Dari kurva stabilitas statis GZ dapat diperoleh informasi mengenai kondisi beberapa kriteria stabilitas. Antara lain yaitu :

1. Selang stabilitas ( *The range of stability* ), yaitu sudut selang dimana kapal memiliki nilai GZ positif;
2. *The angel of vanishing stability*, yaitu sudut kemiringan dimana nilai GZ kembali nol atau sebesar sudut dimana nilai GZ berubah dari positif menjadi negative;
3. Nilai maksimum GZ ( *the maximum GZ* ) merupakan nilai pada sumbu x pada puncak tertinggi pada kurva stabilitas;
4. Tinggi metacentra (GM), pada gambar di atas ditunjukkan oleh tinggi YZ. Dimana titik Z bernilai  $1 \text{ rad } \left( \frac{180}{\pi} \right)$ ; dan

5. Area dibawah kurva menggambarkan kemampuan kapal untuk menyerap energy yang diberikan oleh angin, gelombang dan gaya eksternal lainnya.
6. Luas di bawah kurva merupakan indikasi dari kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semula / stabil. Semakin besar luas di bawah kurva maka semakin besar pula kemampuan kapal untuk mengatasi gaya-gaya yang membuat kapal terbalik.
7. Lengan kopel maksimum merupakan indikasi dari kemampuan kapal untuk kembali ke posisi stabil pada sudut oleng tertinggi.

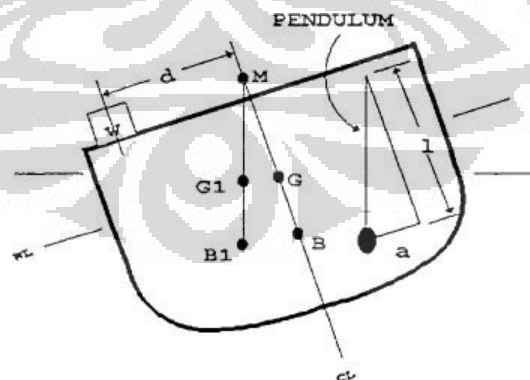
### 2.1.3 Inclining Test

Sedangkan untuk mencari nilai  $\overline{GK}$  kita perlu melakukan inclining test yaitu sebuah metode menentukan titik G pada posisi vertical kapal sebab

$$\overline{MG} = \overline{MK} - \overline{GK}$$

Maka cara memperoleh G sebagai berikut :

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



Gambar 2.5 sketsa inclining experiment

Misalkan beban p diletakan kanan kapal dengan jarak I 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 :

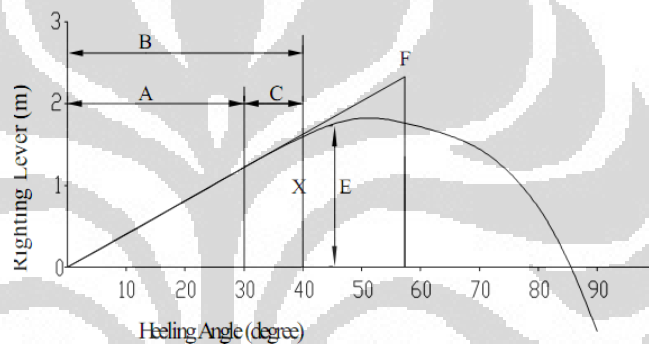
$$P \cdot l = p \cdot a \longrightarrow a = \overline{MG} \cdot \text{tg } \gamma$$

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

$$\text{Jadi : } \overline{MG} = \text{---} \longrightarrow \overline{GK} = \overline{MK} - \overline{MG}$$

#### 2.1.4 Kriteria Stabilitas IMO

Untuk menjamin keselamatan kapal dalam hal stabilitas, maka standar IMO harus dipenuhi.



**Gambar 2.6** Hubungan sudut oleng dengan lengan stabilitas

Keterangan Gambar :

A = Luasan di bawah kurva stabilitas statis pada sudut sampai 300 tidak boleh kurang dari 0.055 meter-radian.

X = Luasan di bawah kurva stabilitas statis pada sudut antara 300 sampai 400 tidak boleh kurang dari 0.055 meter radian.

B = Luasan di bawah kurva GoZ sampai dengan X0 harus kurang dari 0.09 meter-radian.

C = Luasan antara 300 dan X0 harus kurang dari 0.03 meter-radian.

E = Maksimum harga kurva GZ harus terjadi pada sudut lebih dari 300 tetapi tidak boleh kurang dari 250.

F = Tinggi metasentra awal (GM) tidak boleh kurang dari 0.15 m.



## 2.2 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 padatangki percobaan dengan ukuran terbatas, sedangkan kapal berlayar diperairan luas dan biasanya laut berair asin. Adapun persyaratan kesamaan-kesamaan yang harus dipenuhi adalah :

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

### 2.2.1 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 inersiq 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).

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

Sehingga dapat dirangkum sebagai berikut :

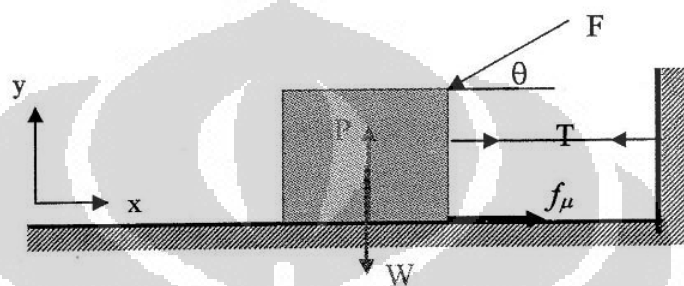
- Gaya :  $\phi = \frac{Fs}{Fm}$       ket: S = ship    M = model
- Massa :  $\mu = \frac{Ms}{Mm}$
- Panjang :  $\lambda = \frac{ls}{lm}$
- Kecepatan :  $\varepsilon = \frac{Vs}{Vm}$  ; (ratio)
- Waktu :  $T = \frac{ts}{tm}$
- Massa jenis :  $\delta = \frac{\rho s}{\rho m}$
- Gravitasi :  $\gamma = \frac{gs}{gm}$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

## II.II Sistem Tambat

### 2.3 TEORI GAYA

#### 2.3.1 Gaya dan Vektor Gaya

Ketika kita mendorong atau menarik sebuah benda dikatakan kita sedang memberikan gaya kepada benda tersebut. Gaya yang terjadi pada sebuah benda mempunyai suatu besaran atau nilai dan juga arah atau vektor gaya. Hal ini dapat digambarkan ketika mendorong sebuah benda seperti gambar berikut :



Gambar 2.1.1 gaya dan vector gaya

Apabila kita mendorong seperti gambar diatas maka dapat disebutkan juga bahwa kita memberikan sumbu  $x$  dan  $y$  sebesar :

$$F_y = F \cdot \sin \theta \quad \dots \dots \dots (2.3.1)$$

$$F_x = F \cdot \cos \theta \quad \dots \dots \dots (2.3.2)$$

Kemudian dengan adanya gesekan (*friction*) dengan permukaan bidang geser maka akan terjadi arah gaya berlawanan sebesar :

$$F_f = -\mu \cdot W \quad \dots \dots \dots (2.3.3)$$

dimana  $\mu$ , menunjukkan koefisien gesek permukaan bidang geser;  $w$ , menunjukkan berat dari benda tersebut. Sementara tanda negatif menunjukkan arah gaya yang berlawanan dengan gaya dorong.

Dimana  $\mu$ , menunjukkan koefisien gesek permukaan bidang geser;  $W$ , menunjukkan berat dari benda tersebut. Sementara tanda negatif menunjukkan arah gaya yang berlawanan dengan gaya dorong.

Karena gaya yang bekerja pada sistem adalah jumlah (resultan) dari gaya-gaya sebidang maka total ( $F_T$ ) gaya yang berlaku pada sistem tersebut adalah :

$$\sum F_x = F_x - F_f \dots\dots\dots(2.3.4)$$

$$\sum F_y = F_y - W - P \dots\dots\dots(2.3.5)$$

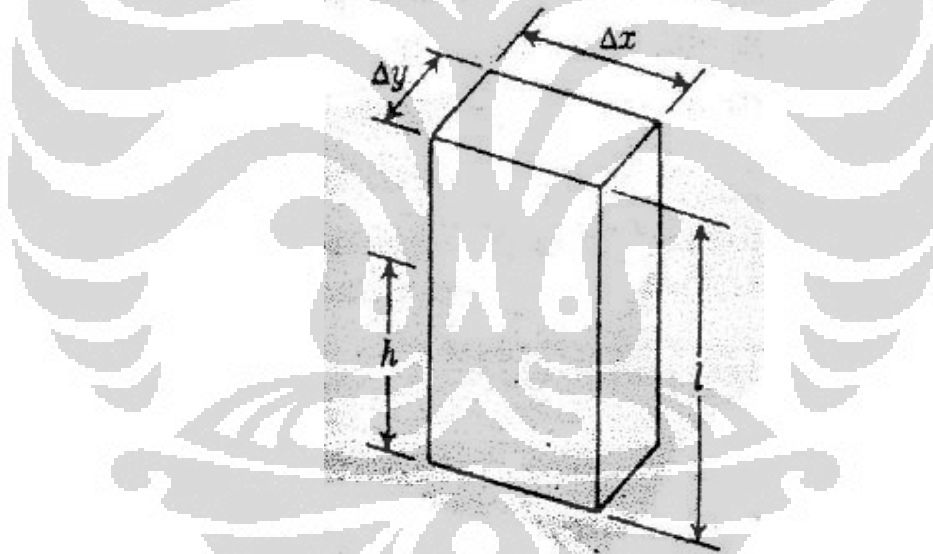
dimana P adalah gaya reaksi dari tanah akibat beban w dan gaya Fr; Maka dapat diketahui besar tegangan T yang terjadi pada tali adalah sama dengan total gaya pada arah x yaitu :

$$T = \sum F_y \dots\dots\dots(2.3.6)$$

### 2.3.2 Keseimbangan gaya

Ketika resultan gaya dalam arah x dan arah y pada Gambar 2.3.1. sama dengan 0 ( $\sum F_x = 0$  dan  $\sum F_y = 0$ ), maka terjadilah keseimbangan gaya pada fase pertama.

### 2.3.3 *Bouyancy dan titik sistemancy*



Gambar 2.1.2 Sistemancy

Pada benda diam yang terapung sesuai dengan prinsip Archimedes akan bekerja resultan gaya-gaya yang besarnya sama dengan nol. Gaya-gaya yang bekerja tersebut adalah resultan dari gaya gravitasi dalam arah vertikal dan gaya tekan fluida di seluruh permukaan terendam dari segala arah. Komponen gaya tekan vertikal akibat fluida yang terjadi di seluruh permukaan terendam dari benda tersebut disebut dengan gaya apung atau gaya *sistemancy* (B).

Besarnya gaya *sistemancy* tersebut adalah :

$$F_y = \int -P \cos \theta \, dA \quad \dots\dots\dots(2.3.7)$$

Gaya tekan P bertanda negatif menunjukkan arah yang berlawanan dengan arah percepatan gravitasi ( $g \cos$  bernilai nol untuk tekanan dalam arah 'horizontal sementara gaya tekan dalam arah vertikal berasal'dari udara ( $P_{air}$ ) dan cairan ( $P_{liquid}$ ), sehingga :

$$F_y = (P_{liquid} - P_{air}) \Delta x \Delta y \quad \dots\dots\dots(2.3.8)$$

Sementara :

$$(P_{liquid} - P_{air}) = \rho_{liquid} gh + \rho_{air} g(l - h) \quad \dots\dots\dots(2.3.9)$$

Dengan substitusi didapatkan :

$$F_y = \rho_{liquid} g V_{liquid} + \rho_{air} g V_{air} \quad \dots\dots\dots(2.3.10)$$

Dimana  $V_{liquid}$  adalah volume benda yang terendam  $V_{air}$ , adalah volume benda yang tidak terendam. Namun biasanya gaya tekanan akibat udara diabaikan karena nilainya kecil dibandingkan dengan gaya tekanan akibat cairan.

Selain memiliki titik berat, benda yang terapung juga memiliki titik apung atau disebut juga titik *systemancy* (B). Bila benda yang terapung memiliki bentuk kubus, maka titik *systemancy* ada di tengah-tengah volume kubus yang terendam.




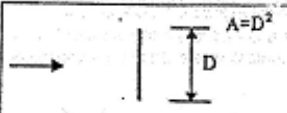
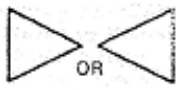

### 2.3.4 Gaya Inersia dan Koefisien Massa

Gaya inersia adalah gaya dalam arah aliran fluida yang disebabkan karena adanya percepatan partikel air ( $\dot{u}$ ) yang melewati sebuah benda. Besarnya gaya ini dipengaruhi oleh bentuk atau geometri dari benda yang dilewati fluida, sehingga untuk bentuk geometri tertentu memiliki koefisien massa atau koefisien inersia. ( $C_M$ ) tertentu. Besarnya gaya inersia yang berlaku sepanjang nilai  $z$  diberikan sebagai berikut.

$$F_i = \rho C_M A \int_{-z}^0 \dot{u} \, dz \quad \dots\dots\dots(2.3.10)$$

Sementara nilai  $C_M$  didapat dari hasil pengujian di laboratorium, namun untuk geometri standar nilai  $C_M$  dapat diperoleh melalui persamaan :

Tabel 2.1 Koefisien Massa

Section shape	$C_m$
	2.0
	2.5
	2.5
	1.6
	2.2
	2.1

Sumber : Ciria Underwater Engineering.

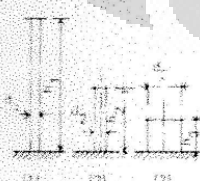





### 2.3.5 Gaya Hambat dan Koefisien Drag

Gaya hambat adalah gaya yang ditimbulkan karena adanya aliran *steady* fluida melalui sebuah benda. Besarnya gaya hambat sepanjang nilai  $z$  dapat diperoleh melalui persamaan :

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho D \int_{-z}^0 |u| dz \tag{2.3.12}$$

Besarnya gaya hambat pada benda tergantung dari koefisien drag ( $C_D$ ) benda yang nilainya sangat bergantung dengan nilai *Reynold number*. Namun untuk geometri benda yang standar nilai  $C_D$  dapat diperoleh dari tabel berikut :

Tabel 2.2. Koefisien drag untuk berbagai geometri

Struktur	Bentuk Potongan	Penjelasan	$C_D$			$C_L$
			1	2	3	
 <p>(1) <math>h_1/d_1 = 25</math>                      (2) <math>h_2/d_2 = 7</math>                      (3) <math>h_3/d_3 = 1</math></p>		Permukaan halus, metal kayu, beton.	0,45	0,5	0,9	0
		Permukaan kasar.	0,7	0,8	0,9	0
		Permukaan sangat kasar.	0,8	1,0	1,2	0
		Permukaan halus ujung tumpul.	1,0	1,2	1,4	0
		Permukaan halus bujur siku siku.	1,6	1,8	2,0	0,2

Sumber : Perencanaan Pelabuhan

### 2.3.6 Reynold Number

Bilangan *Reynold* merupakan bilangan non-dimensional yang menunjukkan karakteristik aliran fluida, apakah aliran tersebut laminar, transisi maupun turbulen. Besarnya bilangan Reynold juga dipengaruhi oleh viskositas ( $\nu$ ) atau kekentalan dari fluida. Semakin kental fluida maka semakin besar kemampuan fluida untuk menahan tegangan geser yang bekerja pada fluida tersebut. Bilangan Reynold didapat melalui persamaan :

$$Rn = \frac{VD}{\nu} \dots\dots\dots (2.3.13)$$

Dimana :  $V$  = kecepatan aliran fluida.

Seperti halnya kapal, maka *Cottage* Terapung akan mengalami pergerakan dengan 6 derajat kebebasan yaitu :

- a. Surging (searah sumbu x)
- b. Swaying (searah sumbu y)
- c. Heaving (searah sumbu z)
- d. Rolling (rotasi pada sumbu x)
- e. Pitching (rotasi pada sumbu y)
- f. Yawing (rotasi pada sumbu z)

## 2.4 Beban Lingkungan

### 2.4.1 Beban angin

Karena letak bumi terhadap matahari yang berbeda-beda dan berubah-ubah sepanjang tahun, maka terjadilah perbedaan temperatur di beberapa bagian bumi dan menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan udara di beberapa bagian bumi tersebut. Karena adanya perbedaan tekanan tersebut maka udara dari tempat yang bertekanan tinggi akan mengalir ke tempat yang bertekanan lebih rendah, dan gerakan udara ini disebut dengan angin.

Pada struktur *cottage* terapung efek dari angin sangat diperhitungkan karena angin memberikan gaya-gaya horizontal terhadap struktur dan juga mengakibatkan timbulnya gelombang laut yang juga memberikan gaya-gaya horizontal bagi sistem. Pada aliran angin yang tetap (*steady flow*) tekanan statis angin dapat dirumuskan menurut Hukum *Bernoulli* sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} \rho_{air} V_o^2 + P_o = \frac{1}{2} \rho_{air} V^2 \dots\dots\dots (2.3.14)$$

Keterangan :

$P$  = tekanan statis pada titik suatu obyek

$\rho_{air}$  = Kepadatan udara (*density*)

$V_0$  = kecepatan angin bebas (*free stream velocity*)

$P_0$  = tekanan statis pada kecepatan angin bebas

$V$  = kecepatan angin di sepanjang obyek

Aliran udara atau gerakan angin pada sebuah struktur berbeda-beda tergantung dari bentuk strukturnya. Hal ini menyebabkan gaya yang diterima suatu benda terhadap angin berbeda-beda. Gaya-gaya tersebut dibedakan menjadi 2 yaitu gaya yang sejajar dengan arah angin (*Drag force*) dan gaya yang tegak lurus arah angin (*Lift force*). Besarnya gaya-gaya tersebut tergantung dari koefisien drag,  $C_D$  dan koefisien lift,  $C_L$  dari bentuk benda itu. Sehingga besarnya gaya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_{air} \bar{V}^2 C_D A C_H \quad (2.3.15)$$

$$F_L = \frac{1}{2} \rho_{air} \bar{V}^2 C_L A C_H \quad (2.3.16)$$

Keterangan :  $\bar{V}$  : Kecepatan angin rata-rata

$A$  : luas permukaan obyek

$C_H$  : Koefisien ketinggian

Karena kecepatan angin yang mengalir semakin bertambah seiring pertambahan ketinggian dari permukaan tanah maka dalam menentukan kecepatan angin rata-rata maka setidaknya digunakan kecepatan angin rata-rata untuk pengukuran kecepatan angin tiap 1 menit pada ketinggian 0-10 meter dari permukaan laut, karena pada ketinggian tersebut kecepatan angin dianggap sama. Adapun nilai dari koefisien  $C_H$  dapat ditentukan berdasarkan tabel berikut :

Berdasarkan ABS code	$C_H$
0 - 50 ft	1.00
50 - 100 ft	1.10
100 - 150 ft	1.20
150 - 200 ft	1.30
200 - 250 ft	1.37
250 - 300 ft	1.43

**Tabel 2.3** koefisien Ketinggian

Beban angin yang bekerja pada sistem diasumsikan pada aliran udara tetap (steady flow) searah secara horizontal (hanya koefisien *drag* yang berlaku) pada kondisi beban desain yang telah diatur dalam regulasi DNV-OS-8301 tentang *Position Mooring*, October 2004 yaitu untuk kondisi kecepatan angin dengan periode perulangan 100 tahun.

#### 2.4.2 Beban arus

Arus yang mengalir di laut seperti halnya sungai di dalam laut, terjadi akibat adanya perbedaan suhu dan tekanan antara perairan yang satu dengan yang lain. Arah aliran arus dan besarnya bervariasi semakin mendekati dasar laut kecepatannya semakin berkurang. Sementara gaya arus terhadap struktur yang mengapung atau tertambat di laut dapat diestimasi dengan pendekatan quasi static sebagai berikut :

$$F_c = \frac{1}{2} C_D \rho_{sw} A V_c^2 \dots \dots \dots (2.3.17)$$

Sedangkan pada rantai juga mengalami beban arus. Dimana beban arus diasumsikan dialami di sepanjang rantai dengan kecepatan arus seragam dari permukaan sampai ke dasar laut. Besar beban arus pada rantai dapat dihitung dengan persamaan :

$$R = \frac{1}{2} \rho_{sw} C_D V_c^2 d_R s \dots \dots \dots (2.3.18)$$

Menurut *Faltinsen*, gaya hambat pada rantai dapat diabaikan jika kecepatan arus kurang dari 6 knot.[6]

#### 2.4.3 Beban Gelombang

Perhitungan beban gelombang laut cukup kompleks karena bergantung dari berbagai macam faktor yang sangat menentukan perhitungan yang akan dipakai.

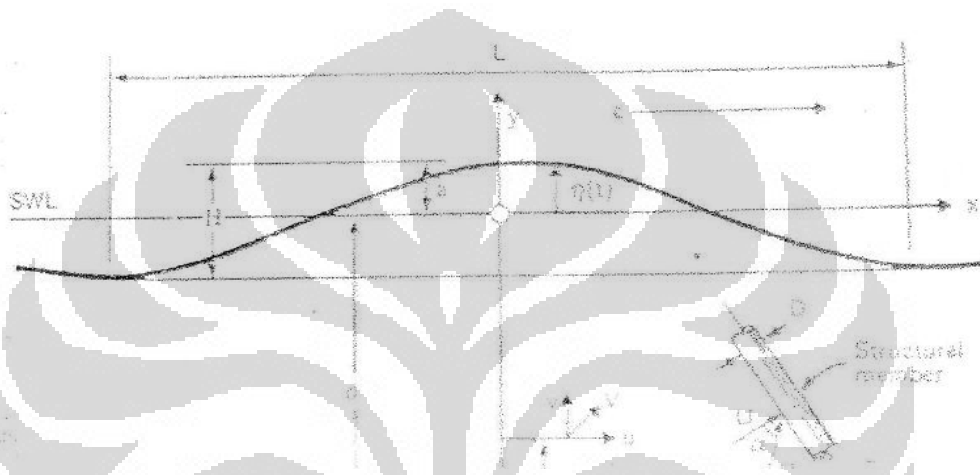
Gelombang merupakan peristiwa gerak massa fluida dalam satuan waktu tertentu. Gelombang laut dapat terjadi dikarenakan adanya angin yang bertiup di atas permukaan laut. Selain itu gelombang juga dapat terjadi akibat adanya letusan atau gempa di bawah laut atau bisa juga

disebabkan karena gerakan kapal. Di laut lepas, Gelombang laut merupakan superposisi dari berbagai macam gelombang yang datang dari arah dan sebab yang berbeda-beda. Karena kompleksnya bentuk dari gelombang laut, maka untuk mempelajarinya gelombang laut dimodelkan secara 2 dimensi dalam bentuk gelombang sinusoidal.

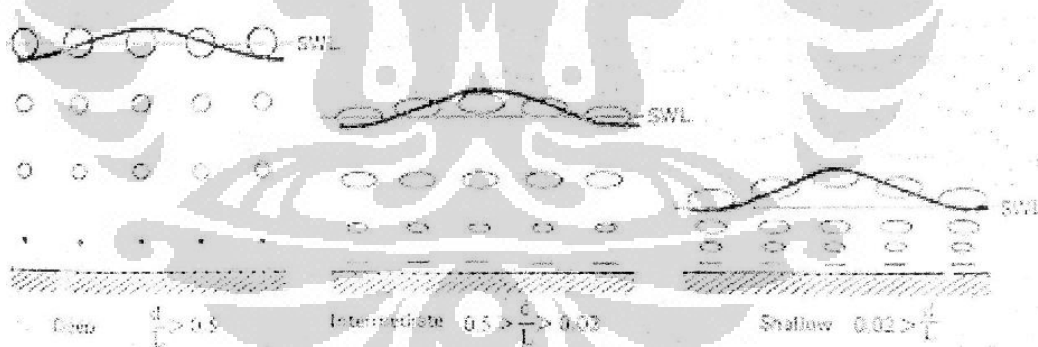


### Karakteristik gelombang

Bentuk dan ukuran gelombang tergantung dari besarnya kedalaman laut dan kondisi dasar laut, kecepatan dan lamanya angin bertiup serta jarak datangnya angin yang bertiup sampai lokasi gelombang terjadi (*fetch*). Pada kondisi laut dalam gelombang memiliki amplitudo yang kecil dan berbentuk sinusoidal, sementara di laut yang lebih dangkal puncak gelombang (*crest*) semakin curam lembah gelombang (*trough*) semakin datar membentuk gelombang trochoidal. *Trochoidal* adalah kurva yang terbentuk dari titik-titik pada lingkaran-lingkaran yang menggelinding di sepanjang garis lurus).



Gambar 2.1.3 Karakteristik gelombang



Gambar 2.1.4 Bentuk gelombang berdasarkan kedalaman (*Ciria Underwater Engineering*)

Gelombang laut dapat dideskripsikan dengan beberapa parameter utama yaitu

- a. Tinggi gelombang (H)
- b. Periode gelombang (T)

Dari parameter utama tersebut maka dapat diperoleh karakteristik gelombang seperti :

Panjang gelombang (L)

$$L = \frac{T^2 g}{2\pi} \dots\dots\dots(2.3.19)$$

Kecepatan gelombang (v) :

$$v = \frac{L}{T} = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}} \text{ untuk kedalaman lebih besar dari } \frac{L}{2} \dots\dots\dots(2.3.20)$$

$$v = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{2\pi}} \text{ untuk semua jenis kedalaman (h) ( dimana h = d) } \dots\dots\dots(2.3.21)$$

Frekuensi sirkulasi ( $\omega$ )

$$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{2\pi g}{L}} \dots\dots\dots(2.3.22)$$

Amplitudo gelombang (a)

$$\frac{H}{2} \dots\dots\dots(2.3.23)$$

### Klasifikasi Gelombang

Gelombang diklasifikasikan berdasarkan kedalaman perairan berdasarkan rasio perbandingan kedalaman perairan (d) dan panjang gelombang (L) yang diberikan pada tabel berikut :

Tabel 2.4 Klasifikasi Gelombang

d/L	Batas nilai kd (2g/L)	Jenis Gelombang
$> \frac{1}{2}$	$\pi \rightarrow \infty$	Gelombang pada perairan dalam (gelombang pendek)
$\frac{1}{20} < \frac{h}{L} < \frac{1}{2}$	$\frac{\pi}{10} \rightarrow \pi$	Gelombang pada perairan antara
$< \frac{1}{20}$	$0 \rightarrow \frac{\pi}{10}$	Gelombang pada perairan dangkal

Sumber: Perencanaan Pelabuhan

Untuk menyederhanakan fungsi hiperbola yang didapat dari persamaan gelombang maka dapat digunakan pendekatan nilai dari asimtot fungsi hiperbola tersebut dalam tabel berikut :

**Tabel 2.5** Asimptot nilai hiperbola

Fungsi	Asimtot	
	Gelombang pada perairan dalam	Gelombang pada perairan dangkal
sinh kd	$e^{kd/2}$	kh
cosh kd	$e^{kd/2}$	1
tanh kd	1	kh

Sumber: Perencanaan Pelabuhan

### Perhitungan beban gelombang linear

Perhitungan beban gelombang sebelumnya diawali dengan penggolongan jenis gelombang apakah berbentuk sinusoidal dengan menggunakan teori gelombang linear (Airy), teori *cnoidal* atau teori *stokes* dengan orde yang lebih tinggi, bergantung pada ratio  $\frac{h}{l}$ , dan *Ursell* parameter ( $U$ ) =  $\frac{HL^2}{h^3}$

Jika nilai :

$U < 15$ , maka teori gelombang sinusoidal berlaku

$U > 15$  dan  $h/L_0 < 0.1$ , maka teori gelombang *cnoidal* berlaku

$U > 15$  dan  $h/L_0 > 0.1$ , maka kedua teori tidak dapat dipakai

Pada teori gelombang linear (gelombang sinusoidal), *free surface*  $\eta(t)$  yang bekerja pada sumbu z dapat difenisikan baik dalam :

$$\eta(t) = a \sin(kx - \omega t) \quad \text{Maupun} \quad \eta(t) = \frac{H}{2} \cos 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right)$$

Dimana :

H = tinggi gelombang = 2 x (*amplitude*, a)

k = *wave number* =  $2\pi / L$

L = panjang gelombang

$\omega$  = frekuensi sirkulasi gelombang =  $2\pi / T$

$T$  = periode gelombang

Kecepatan partikel gelombang terhadap waktu dalam arah horizontal dan vertical direpresentasikan sebagai :

$$u = \frac{\pi H}{T} \left( \frac{\cosh 2\pi(y+h)/L}{\sinh 2\pi/L} \right) \cos 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \dots\dots\dots(2.3.24)$$

$$v = \frac{\pi H}{T} \left( \frac{\sin 2\pi(y+h)/L}{\sinh 2\pi/L} \right) \sin 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \dots\dots\dots(2.3.25)$$

Sementara percepatan partikel didapat dengan menurunkan kedua persamaan terhadap waktu ( $t$ ) :

$$u = \frac{\delta u}{\delta t} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \left( \frac{\cosh 2\pi(y+h)/L}{\sinh 2\pi/L} \right) \sin 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \dots\dots\dots(2.3.26)$$

$$v = \frac{\delta v}{\delta t} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \left( \frac{\sin 2\pi(y+h)/L}{\sinh 2\pi/L} \right) \cos 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \dots\dots\dots(2.3.27)$$

Untuk laut dalam maka kecepatan partikel dengan penyederhanaan fungsi hiperbolis menjadi:

$$u = \frac{\pi H}{T} \exp\left(\frac{2\pi y}{L_0}\right) \cos 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \dots\dots\dots(2.3.28)$$

$$v = \frac{\pi H}{T} \exp\left(\frac{2\pi y}{L_0}\right) \sin 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \dots\dots\dots(2.3.29)$$

Kemudian untuk menghitung gaya gelombang terhadap strukur bangunan harus diketahui dulu karakteristik gelombang ketika menumbuk struktur, melalui rasio  $D/L$ , sebagai berikut :

$D/L > 1$  Gelombang dipantulkan dengan sempurna

$D/L > 0.2$  Terjadi pemecahan gelombang (difraksi)

$D/L < 0.2$  Gelombang tidak dipengaruhi oleh ukuran struktur

$D/W > 0.2$  Gaya inersia dominan (berlaku pada persamaan *Morisson*)

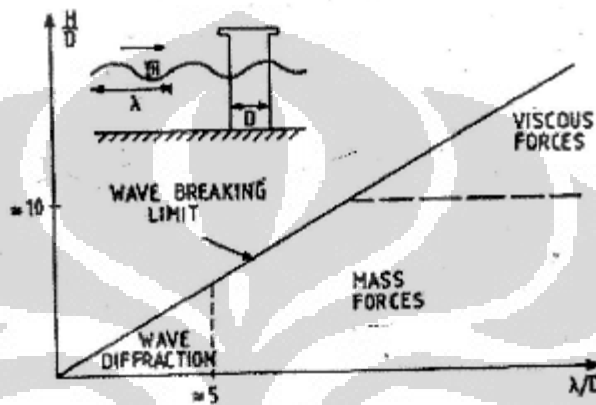
$D/w < 0.2$  Gaya drag dominan (berlaku pada persamaan *Morisson*)

Dimana :

D = diameter dari struktur atau bagian struktur

W = lebar orbit dari partikel gelombang

$$W = \frac{H}{\tanh \frac{2\pi h}{L}} \dots\dots\dots(2.3.30)$$



Gambar 2.1.5 klasifikasi beban gelombang

Bila gelombang tidak dipengaruhi keberadaan struktur maka berlaku persamaan Morisson, dimana besar gaya gelombang sepanjang tinggi amplitudo sesaat ( $\eta$ ) hingga *Mean Water Level* (MWL) yaitu:

$$dF = \frac{1}{2} C_D \rho D u |u| ds + C_M \rho A \dot{u} \dots\dots\dots(2.3.31)$$

$$F = \int_0^{\eta} dF \dots\dots\dots(2.3.32)$$

Ketika struktur berukuran sangat besar hingga menyebabkan pecahnya gelombang, gaya gelombang per unit panjang struktur dapat maka besarnya dihitung sebagai berikut :

$$F = \frac{2\rho g H \cosh(k(h+y))}{k \cosh(kh)} A \left(\frac{D}{L}\right) \cos(\omega t - \alpha) \dots\dots\dots(2.3.33)$$

$$A \left(\frac{D}{L}\right) = \left[ J_1^2 \left(\frac{\pi D}{L}\right) + Y_1^2 \left(\frac{\pi D}{L}\right) \right]^{-\frac{1}{2}}, (MacCamy and Fuchs, 1954)$$

Sementara untuk pemantulan gelombang sempurna dapat dihitung besar gaya gelombang per unit panjang struktur :

$$F = \frac{\rho g H L}{2\pi} \dots\dots\dots (2.3.34)$$

#### 2.4.4 Pasang Surut

Gerakan permukaan laut selalu berubah dipengaruhi oleh adanya gaya tarik menarik antara bumi, matahari dan bulan. Bumi memiliki rotasi terhadap diri sendiri selama 24 jam, sedangkan bulan berotasi sendiri pula dalam waktu 24 jam, 50 menit dan berjalan secara periodik. Selisih waktu tersebut menyebabkan besar gaya tarik bulan bergeser terlambat dari gaya tarik yang ditimbulkan matahari.

Pasang surut tidak dipandang sebagai beban yang bekerja langsung pada benda karena periode pasang surut yang lama sekali, namun, pasang surut memberikan pembebanan yang berbeda pada tegangan rantai yang merupakan fungsi dari posisi kedalaman pemasangan rantai terhadap dasar laut.

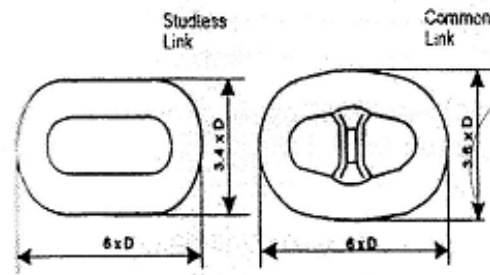
### 2.5 MOORING CHAIN

Penggunaan rantai atau mooring chain sudah sangat dikenal dan sangat banyak dipakai di berbagai fasilitas *offshore* di dunia tidak terkecuali pada pengoperasian *Cottage* Terapung. sebenarnya ada 2 jenis mooring line yang dikenal dan biasa dipakai yaitu rantai dan wire rope namun untuk perairan yang dangkal biasa dipakai rantai. Rantai memberikan kelebihan yaitu berat dan kekakuan yang lebih tinggi dari pada *wire rope* sehingga rantai dapat mengurangi beban yang bekerja pada sistem dan membuat pergerakan sistem lebih stabil dibandingkan dengan penggunaan wire rope.

#### 2.5.1 Jenis-jenis rantai

Penggunaan rantai penambat pada industri-industri *offshore* bervariasi tergantung dari jenis link dan jenis material yang dipakai. Rantai sendiri terdiri dari serangkaian link yang saling terkait. Ada 2 jenis link yang biasa dipakai yaitu *studded link* dan *studdles link*.

Secara geometri keduanya dibedakan seperti dalam gambar berikut :



Gambar 2.1.6 Geometri rantai

Berdasarkan jenis materialnya, rantai dibedakan dalam beberapa grade dilihat dari sifat-sifat mekanik materialnya, sebagai berikut :

Tabel 2.6. Sifat-sifat mekanik rantai berdasarkan grade

Chain grade	ORQ	3	3S	4
Yield strength (N.mm <sup>2</sup> )	-	410	490	580
Ultimate tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	641	690	770	860
% elongation	17	17	15	12
% reduction in area	40	50	50	50
Min. av. Parent material	58/40 <sup>(1)</sup>	60/40 <sup>(1)</sup>	65/45 <sup>(1)</sup>	50
Min. av. Weld	49/36 <sup>(1)</sup>	50/30 <sup>(1)</sup>	53/33 <sup>(1)</sup>	36
Test temperature	0/-15 <sup>(1)</sup>	0/-20 <sup>(1)</sup>	0/-20 <sup>(1)</sup>	-20

### 2.5.2 Sifat-sifat rantai

Di dalam air rantai dianggap memiliki berat yang berbeda dibandingkan ketika berada di udara, hal ini dikarenakan adanya sistemancy pada rantai tersebut. Untuk mendapatkan berat rantai di dalam air maka dapat digunakan persamaan :

$$W_{\text{submerged}} = W_s = 0.1875 \cdot D^2 [N/m], \text{ (D dalam [mm])} \dots \dots \dots (2.4.1)$$

$$\text{Axial elasticity} = AE = 900000D^2 [N] \dots \dots \dots (2.4.2)$$

### 2.5.3 Sebab kerusakan dan keausan *mooring chain*

Kerusakan dan keausan dari rantai biasa terjadi dikarenakan 2 hal yaitu korosi dan fatigue. *Cottage* Terapung yang biasanya merupakan bangunan offshore yang permanen atau dipasang untuk jangka waktu yang cukup lama sehingga permasalahan korosi pada rantai korosi pada rantai dipandang penting. mengingat korosi dipengaruhi oleh keadaan perairan setempat. Korosi yang terjadi pada rantai dapat menyebabkan pengurangan diameter dan keausan pada stud sehingga

menyebabkan kekuatan rantai berkurang. Untuk dalam pemilihan rantai biasanya ditambahkan penambahan diameter rantai untuk kompensasi permasalahan korosi sebesar 0.2 – 0.4 [mm/year], (DNV,1996) tergantung dari kondisi perairannya. Penggunaan sacrificed anodes untuk melindungi rantai dari korosi dianggap kurang berhasil, diluar permasalahan biaya yang dikeluarkan untuk pengadaannya, karena dengan adanya anoda tersebut dapat menimbulkan penyerapan hidrogen pada permukaan link dan meningkatkan kegetasan dari link.

sedangkan fatigue pada rantai biasanya bukan penyebab utama dari putusnya rantai atau kerusakan rantai, namun biasanya fatigue terjadi karena umur dari *mooring line*. Dalam analisa yang akan dilakukan, penulis membatasi diri dan tidak akan membahas akibat permasalahan *fatigue* pada rantai.

#### 2.5.4 Standar desain mooring chain

Berdasarkan ketentuan dan rekomendasi dari *oil companies International Marine Forum*, mengharuskan semua bangunan *offshore* yang menggunakan sistem SPM dapat memenuhi standar desain yang berlaku tersebut. Adapun ketentuan yang harus dipenuhi tersebut adalah :

Radius penambatan minimum adalah 3 kali panjang kapal desain. Radius yang lebih besar mungkin diperrukan tergantung dari cuaca setempat dan kondisi lautnya.

sistem tambat dengan 6 jangkar atau sistem lain yang dapat diterima harus terpasang pada-sistem dan harus dapat menjaga stabilitas dari sistem walaupun dalam keadaan 1 rantai putus tanpa merusak *under-waterhoses*.

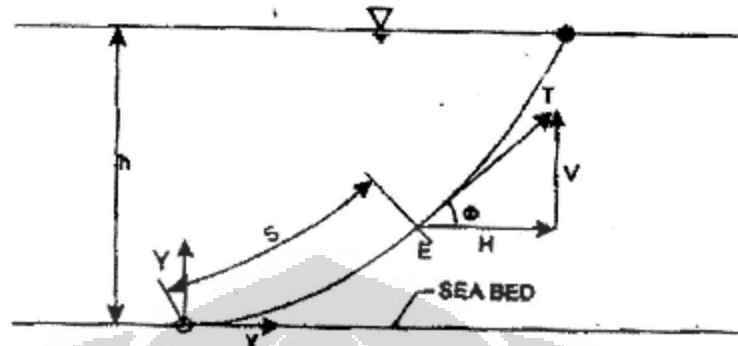
Semua rantai harus memiliki panjang yang sesuai sehingga dalam kondisi maksimum load masih tetap ada bagian rantai yang menyentuh dasar laut.

Tegangan maximum di semua *anchor line* tidak boleh mencapai 35 % dari *breaking strength* dari rantai tersebut.



## 2.6 STATIKA *MOORING LINE*

### 2.6.1. Teori kesetimbangan pada rantai jangkar



Gambar 2 1.7. Statika mooring line

Gambar diatas menunjukkan hubungan gaya dan arah gaya yang terjadi di sepanjang *mooring line* yang *inextensible* (tidak elastis) pada keadaan keseimbangan statis pada air diam (*still water*). Bila gaya-gaya tersebut diuraikan maka didapatkan :

$$\frac{dT}{ds} = w \sin \phi \dots\dots\dots(2.5.1)$$

$$\frac{d\phi}{ds} = -\frac{w \cos \phi}{T} \dots\dots\dots(2.5.2)$$

T = tegangan *mooring line* (rantai) [N]

W = berat rantai di dalam air setiap unit panjang (*submerged weight*) [N/m]

$\phi$  = sudut elemen rantai terhadap garis horizontal

S = panjang rantai minimum dari top end (*chain stopper*) ke dasar laut [m]

Untuk mendapatkan nilai T maka dengan membagi persamaan (2.5.1) dan (2.5.2) didapatkan :

$$\frac{dT/ds}{d\phi/ds} = \frac{w \sin \phi}{w \cos \phi / T} \dots\dots\dots(2.5.3)$$

$$\frac{dT}{d\phi} = T \tan \phi \dots\dots\dots(2.5.4)$$

$$\int \frac{dT}{T} = \int \tan \phi d\phi \dots\dots\dots(2.5.5)$$

$$\ln T = \ln \sec \phi + c$$

Kemudian dengan memasukkan kondisi d: O, dan  $T = H$ , dimana H adalah gaya horizontal pada rantai, menghasilkan :

$$T = \frac{H}{\cos \phi} \dots\dots\dots(2.5.6)$$

Untuk mendapatkan hubungan H dengan berat w dan panjang rantai s maka persamaan (2.5.4) disubstitusi kedalam persamaan (2.5.3), menghasilkan :

$$\begin{aligned} \frac{d\phi}{ds} &= \frac{w \cos^2 \phi}{H} \\ \int \frac{d\phi}{\cos^2 \phi} &= \int \frac{w}{H} ds \\ \tan \phi &= \frac{ws}{H} + c \end{aligned} \dots\dots\dots(2.5.7)$$

Karena nilai  $s=0$  pada saat  $\phi = 0$ , maka didapatkan :

$$H = \frac{ws}{\tan \phi} \dots\dots\dots(2.5.8)$$

Setelah diketahui nilai T dan H maka gaya dalam arah vertical V dapat diketahui pada setiap titik di sepanjang line, apabila nilai s dan  $\phi$  diketahui. Dengan pitagoras sederhana maka didapat persamaan :

$$V = \sqrt{T^2 - H^2} \dots\dots\dots(2.5.9)$$

$$V = \sqrt{\left(\frac{H}{\cos \phi}\right)^2 - H^2}$$

$$V = H \sqrt{\frac{1 - \cos^2 \phi}{\cos^2 \phi}}$$

$$V = H \tan \phi$$

$$V = \left(\frac{ws}{\tan \phi}\right) \tan \phi$$

$$V = ws \dots\dots\dots(2.5.10)$$

Untuk mendapatkan posisi ujung rantai terhadap sistem dan kedalaman laut harus dapat ditunjukkan pada sebuah system koordinat cartesian dalam variable x dan y. sehingga besarnya tegangan rantai dapat diketahui apabila kedalaman laut diketahui. Untuk itu dapat diketahui bila :

$$dx = ds \cos \phi \dots\dots\dots(2.5.11)$$

$$dy = ds \sin \phi \dots\dots\dots(2.5.12)$$

Apabila nilai  $\cos \phi = \frac{dx}{ds}$ , dengan adanya hubungan persamaan (2.5.6) dan (2.5.2) maka:

$$\frac{dx}{ds} = \frac{H}{T}$$

$$\frac{dx}{ds} = \frac{H}{\sqrt{H^2 + (ws)^2}} \dots\dots\dots(2.5.12)$$

Dengan mensubstitusi  $\frac{ws}{H} = \sinh \alpha$ , dan kemudian mengintegalkannya pada kondisi  $x=0$  pada  $s = 0$ , maka didapatkan :

$$x = \frac{H}{w} \sinh^{-1} \left( \frac{ws}{H} \right) \dots\dots\dots(2.5.13)$$

Begitu pula pada nilai y didapatkan :

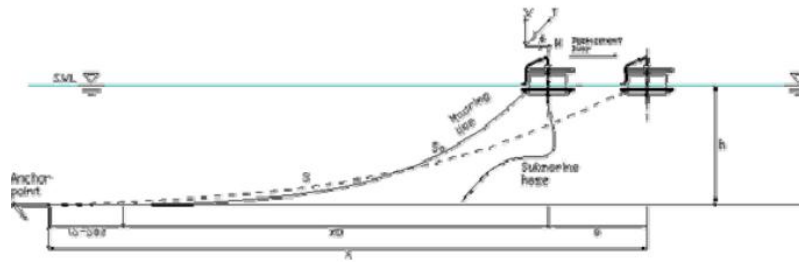
$$y = \frac{H}{w} \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{ws}{H} \right)^2} - 1 \right] \dots\dots\dots(2.5.14)$$

Kemudian untuk mengetahui dampak perubahan nilai x dan y terhadap tegangan maka harus diketahui defleksi horizontal dari system tersebut, yaitu :

$$\delta = x - x_0 - p$$

$$\delta = x - x_0 - (s - s_0) \dots\dots\dots(2.5.15)$$

Dengan p adalah panjang rantai yang terangkat ketika rantai berpindah, seperti digambarkan sebagai berikut :



**Gambar 2.1.8** Defleksi pada mooring line

Dengan begitu dari persamaan (12) dan mensubstitusi  $h$ , kedalaman laut, sebagai nilai  $y$  didapatkan :

$$\cosh\left(\frac{wx}{H}\right) = \frac{hw}{H} + 1 \dots\dots\dots(2.5.16)$$

$$\therefore x = \frac{H}{w} \cosh^{-1}\left(\frac{hw}{H} + 1\right) \dots\dots\dots(2.5.17)$$

begitu juga dari persamaan (10), didapatkan:

$$\sinh^{-1}\left(\frac{ws}{H}\right) = \frac{wx}{H} \dots\dots\dots(2.5.18)$$

$$\therefore s = \frac{H}{w} \sinh\left(\frac{wx}{H}\right) \dots\dots\dots(2.5.19)$$

Selanjutnya untuk panjang panjang *line* minimum adalah :

$$s_{\min} = h \sqrt{\frac{2T}{wh} - 1} \dots\dots\dots(2.5.20)$$

Sedangkan tegangan mula-mula rantai dapat dijelaskan pada persamaan:

$$T_0 = \sqrt{H_0^2 + (ws_0)^2} \dots\dots\dots(2.5.21)$$

Hubungan persamaan-persamaan tersebut disebut juga persamaan *Catenary*.

### 2.6.2. Efek elastisitas

Mooring line memberikan efek elastisitas sistem yang besarnya tergantung dengan besarnya *axial elasticity* dari *mooring line*. Elastisitas menyebabkan adanya pertambahan defleksi rantai. Besarnya nilai  $H$  dengan memperhitungkan nilai elastisitas adalah :

$$H = AE \sqrt{\left(\frac{T}{AE} + 1\right)^2 - \frac{2wh}{AE}} - AE \dots\dots\dots(2.5.22)$$

$$X = \frac{H}{w} \sinh^{-1}\left(\frac{wL}{H}\right) + \frac{HL}{AE} \dots\dots\dots(2.5.23)$$

**2.6.3 Sudut Instalasi**

Dalam menginstalasi dan penyetingan tegangan rantai di lapangan biasanya menggunakan patokan sudut rantai terhadap bidang horizontal. Untuk itu dapat dibantu dengan adanya tabel berikut :

$\frac{L-x}{H}$	$\frac{T}{WH}$	$\frac{T_H}{WH}$	$\frac{T_V}{WH}$ $\frac{S}{H}$	$\psi$	$\frac{L-x}{H}$	$\frac{T}{WH}$	$\frac{T_H}{WH}$	$\frac{T_V}{WH}$ $\frac{S}{H}$	$\psi$
.00	2223	2222	66.67	1.719	.51	1.370	0.3702	1.463	68.71
.02	556.7	555.3	33.34	1.426	.52	1.538	.5382	1.441	69.52
.03	247.6	246.6	22.22	1.181	.53	1.608	.6082	1.420	70.31
.04	139.4	138.6	15.68	6.862	.54	1.680	.6800	1.400	71.08
.05	82.61	82.63	13.35	8.567	.55	1.754	.7546	1.381	71.82
.06	62.44	62.44	11.13	10.27	.56	1.828	.8278	1.362	72.56
.07	46.01	45.05	9.745	11.96	.57	1.904	.9045	1.345	73.26
.08	35.42	34.42	8.357	13.65	.58	1.982	.9818	1.328	73.96
.09	28.13	27.13	7.434	15.32	.59	2.062	1.062	1.311	74.61
.10	22.92	21.92	6.696	16.96	.60	2.144	1.144	1.296	75.31
.11	19.67	18.67	6.094	18.64	.61	2.228	1.228	1.281	75.96
.12	16.34	15.34	5.592	20.27	.62	2.314	1.314	1.267	76.57
.13	12.82	12.85	5.167	21.85	.63	2.402	1.402	1.253	77.19
.14	9.254	11.04	4.804	23.32	.64	2.492	1.492	1.239	77.82
.15	5.580	9.490	4.490	24.71	.65	2.584	1.584	1.226	78.36
.16	3.351	8.183	4.219	26.07	.66	2.678	1.678	1.213	78.91
.17	1.852	7.352	3.973	27.46	.67	2.774	1.774	1.201	79.47
.18	1.061	6.561	3.748	28.80	.68	2.872	1.872	1.189	79.99
.19	0.820	5.820	3.546	30.11	.69	2.972	1.972	1.178	80.51
.20	0.625	5.256	3.363	31.38	.70	3.074	2.074	1.167	81.04
.21	0.474	4.742	3.207	32.62	.71	3.178	2.178	1.157	81.53
.22	0.356	4.256	3.077	33.85	.72	3.284	2.284	1.147	81.97
.23	0.265	3.805	2.968	35.04	.73	3.392	2.392	1.137	82.42
.24	0.191	3.381	2.880	36.21	.74	3.502	2.502	1.127	82.82
.25	0.129	2.989	2.812	37.36	.75	3.614	2.614	1.117	83.23
.26	0.080	2.620	2.762	38.49	.76	3.728	2.728	1.107	83.64
.27	0.054	2.274	2.727	39.61	.77	3.844	2.844	1.097	84.04
.28	0.038	1.958	2.694	40.71	.78	3.962	2.962	1.087	84.44
.29	0.026	1.666	2.665	41.78	.79	4.082	3.082	1.077	84.81
.30	0.017	1.395	2.640	42.83	.80	4.204	3.204	1.067	85.18
.31	0.010	1.141	2.618	43.86	.81	4.328	3.328	1.057	85.53
.32	0.006	0.901	2.600	44.87	.82	4.454	3.454	1.047	85.87
.33	0.004	0.774	2.585	45.85	.83	4.582	3.582	1.037	86.20
.34	0.002	0.658	2.572	46.80	.84	4.712	3.712	1.027	86.51
.35	0.001	0.552	2.561	47.73	.85	4.844	3.844	1.017	86.81
.36	0.000	0.453	2.551	48.64	.86	4.978	3.978	1.007	87.11
.37	0.000	0.362	2.542	49.52	.87	5.114	4.114	0.997	87.41
.38	0.000	0.278	2.534	50.37	.88	5.252	4.252	0.987	87.70
.39	0.000	0.201	2.527	51.20	.89	5.392	4.392	0.977	88.00
.40	0.000	0.130	2.521	52.01	.90	5.534	4.534	0.967	88.25
.41	0.000	0.064	2.516	52.80	.91	5.678	4.678	0.957	88.47
.42	0.000	0.032	2.512	53.57	.92	5.824	4.824	0.947	88.69
.43	0.000	0.015	2.509	54.32	.93	5.972	4.972	0.937	88.90
.44	0.000	0.007	2.506	55.05	.94	6.122	5.122	0.927	89.11
.45	0.000	0.003	2.504	55.77	.95	6.274	5.274	0.917	89.31
.46	0.000	0.001	2.502	56.47	.96	6.428	5.428	0.907	89.49
.47	0.000	0.000	2.500	57.15	.97	6.584	5.584	0.897	89.66
.48	0.000	0.000	2.500	57.81	.98	6.742	5.742	0.887	89.81
.49	0.000	0.000	2.500	58.45	.99	6.902	5.902	0.877	89.95
.50	0.000	0.000	2.500	59.07	1.00	7.064	6.064	0.867	90.00

**Tabel 2.7.** Sudut rantai terhadap *horizontal force*\*

Sumber : Rancangan Bangun Anjungan Lepas Pantai, 1988

\*Catatan :

Tv = Beban vertikal

Ts = H = beban horizontal

## 2.7. PEMILIHAN ANCHOR

### 2.7.1. Tipe Anchor

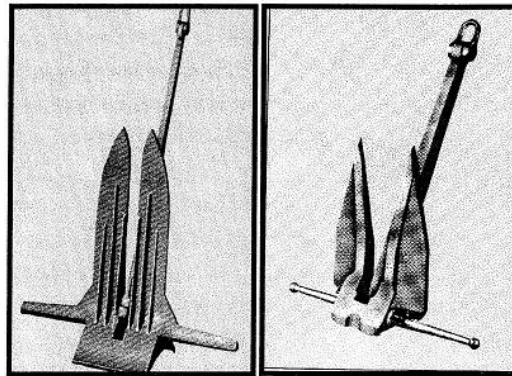
Anchor atau jangkar biasanya terdiri dari beberapa jenis tergantung cara kerjanya seperti :

1. *Fluke anchor*
2. *Pile anchor*
3. *Suction anchor*
4. *Gravity anchor*

*Fluke anchor* adalah jenis jangkar yang bekerja dengan efek gesekan sehingga memiliki kemampuan cengkram dasar laut yang tinggi. Biasanya *fluke anchor* terbuat dari baja tuang, baja tempa, atau dibuat dari pelat baja yang dilas. Sedangkan *pile anchor* adalah jangkar yang ditambatkan dan dipancang ke dasar laut jangkar jenis ini memiliki ketahanan yang tinggi untuk menahan beban yang bekerja secara vertikal. Kemudian *gravity anchor* adalah jangkar yang bekerja dengan memanfaatkan beratnya sehingga selain dapat menahan beban vertical namun juga dapat memberikan daya cengkram terhadap beban yang bekerja secara horizontal. Jangkar jenis ini pada umumnya dengan kapasitas tambat yang sama memiliki dimensi dan berat yang jauh lebih besar daripada jenis lainnya.

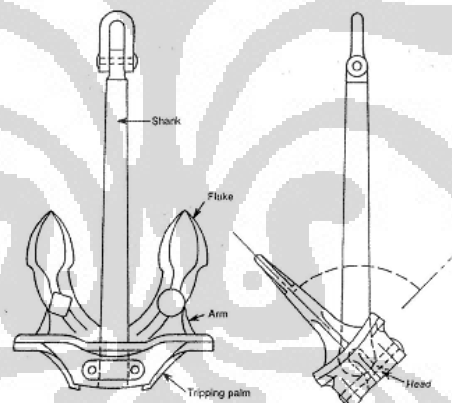
Berdasarkan desainnya, jangkar yang saat ini telah banyak dipakai adalah

1. Tipe *Danforth*
2. Tipe *Moorfast*
3. Tipe *Offrill*
4. Tipe *Stato*
5. Tipe *LWT US Navy Lightweight*
6. Tipe *Flipper Delta*
7. Tipe *Stevin*
8. Tipe *Bruce*



Gambar 2.1.9 *danforth anchor* dan *stato anchor*

Tipe-tipe jangkar tersebut memiliki bentuk dan proporsi yang serupa, namun biasanya tipe-tipe tersebut untuk beberapa kondisi perambatan yang berbeda. Tipe *Danforth* memiliki *fluke* yang tajam memiliki kemampuan penetrasi yang baik di tanah yang keras, berbeda dengan tipe *Stato* dengan *fluke* yang tumpul namun memiliki *fluke* area yang luas dan efektif untuk penambatan tanah yang lembut seperti lumpur.



Gambar 2.1.10 bagian-bagian *anchor*

### 2.7.2 Pemilihan Anchor

Pemilihan jenis *anchor* yang digunakan sangat bergantung dari besarnya beban yang akan dialami oleh jangkar dan juga kondisi dasar laut. Semakin besar beban yang diterima jangkar biasanya semakin besar pula berat *anchor* tersebut dan semakin lembut dasar laut biasanya diikuti dengan penambahan luas area *fluke*.

Untuk sistem penambatan menyebar pemilihan *anchor*, didasarkan pada besarnya beban maksimum yang akan diterima oleh rantai jangkar ketika rantai tersebut akan putus yaitu ketika rantai mendapat beban yang setara dengan CBS-nya

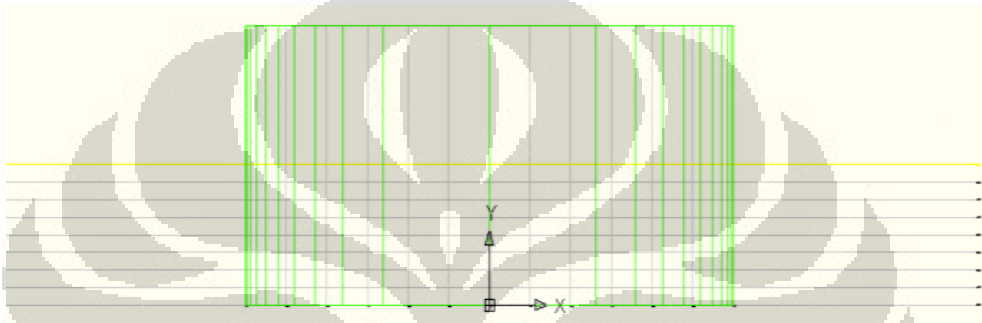
## BAB III

### Stabilitas Model *Cottage* Terapung dengan Lambung Silinder

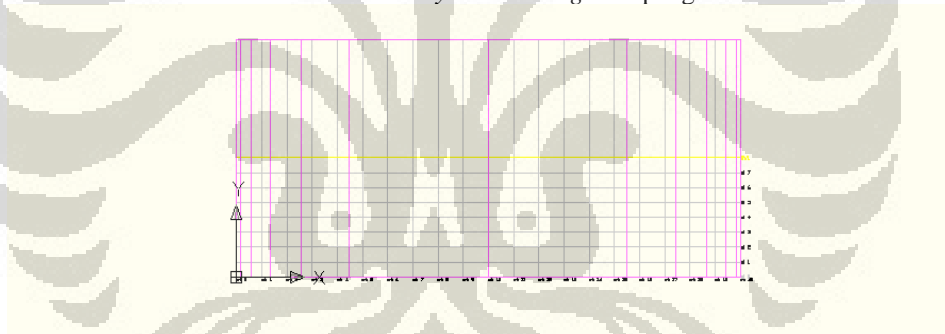
#### 3.1 RANCANGAN ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN

##### 3.1.1 Pembuatan Desain Model dengan Program Maxsurf Pro

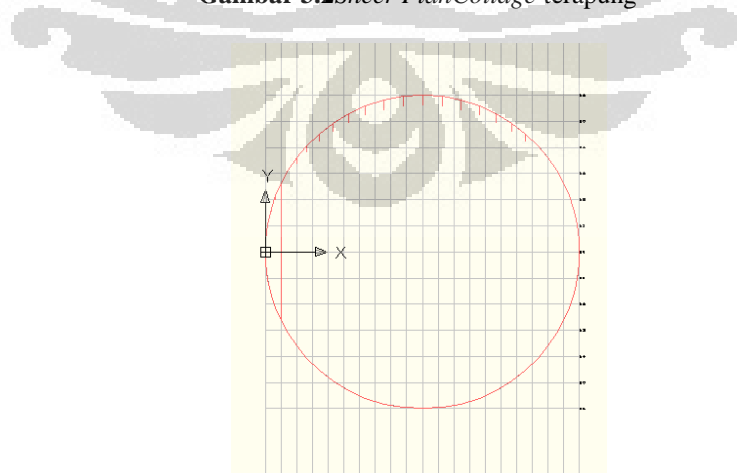
Setelah mendapatkan gambar *lines plan* dengan menggunakan *software* 3DS MAX 2010 maka didapatkan *tabel offset* yang kemudian akan dimasukkan kedalam *software* maxsurf versi 11.12.



Gambar 3.1 *Body Plan Cottage* terapung

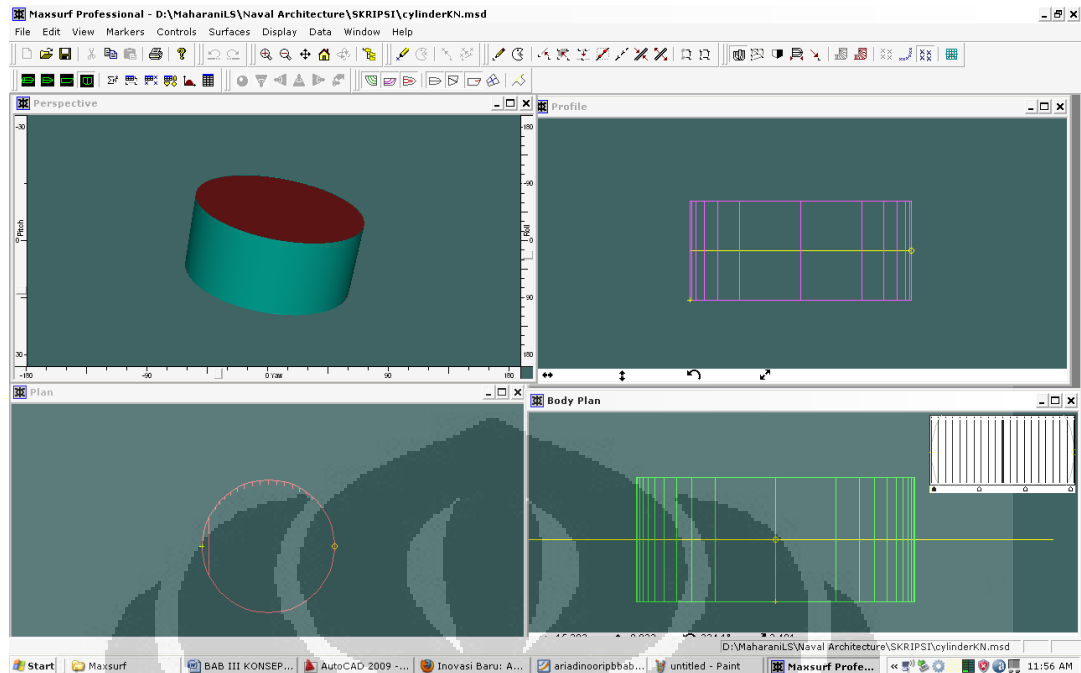


Gambar 3.2 *Sheer Plan Cottage* terapung



Gambar 3.3 *Half Breadth Plan Cottage* terapung





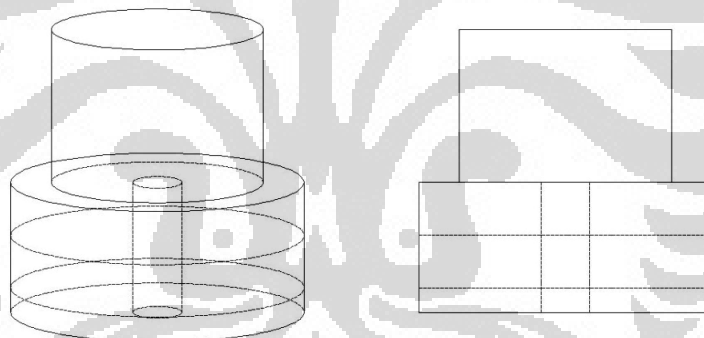
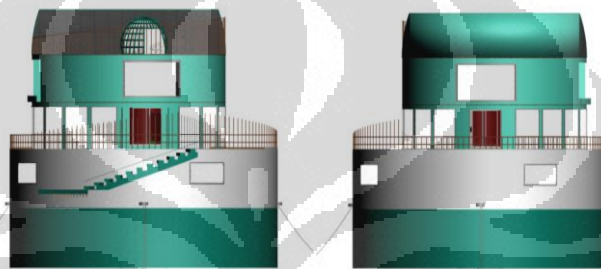
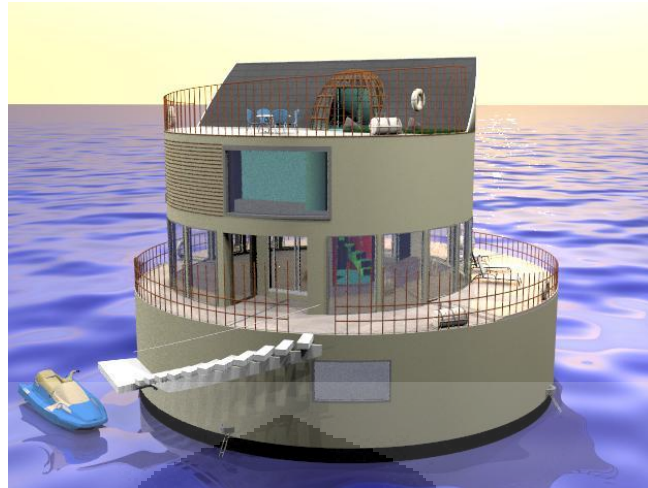
Gambar 3.4 Desain *lines plan* kapal model pada program Maxsurf

### 3.1.2 Pembuatan Model Uji

Pembuatan model *cottage* terapung dibuat dengan menggunakan bahan dari *stainless steel* dengan skala perbandingan 1 :72. Lembaran *stainless steel* dengan tebal 1 mm dibentuk menjadi silinder *hollow* dengan diameter 25 cm dan tinggi 11,08 cm untuk silinder utama atau lambung utama *cottage* terapung.

Data	Actual (m)	MODEL (cm)
Diameter 1	18	25
Draft (T)	4.012	5.57
Height (H)	3.966	5.51
Depth (T+H)	7.978	11.08
Keel - deck 1	1.512	2.1
Keel – deck 2	4.724	6.56
Keel – deck 3	7.978	11.08
Diameter 2	3	4.17
H Superstructure	9.4	13.06

Tabel 3.1 dimensi *cottage* terapung



**Gambar 3.5** model *cottage* terapung pada program 3DS MAX dan AutoCAD

Lambung utama dibuat dari lembaran *stainless steel* yang digulung menjadi silinder sampai dengan diameter 25 derajat kemudian dipotong dan di *press* kedua ujung lempengan *stainless steel* tersebut hingga sambungan menjadi kedap air.

Kemudian untuk silinder kecil di dalam *cottage* terapung yang berdiameter 4,17 cm dan ketinggian 18 cm dilakukan hal yang sama dengan pembuatan lambung utama tetapi dengan ukuran diameter yang hanya 11,08 cm.

Untuk pembuatan dek-deknya tiap lantai masih menggunakan lembaran *stainless steel* dengan tebal yang sama. Dek paling bawah atau alas lambung utama dengan diameter 25 cm dipotong melingkar kemudian disambung dengan

silinder utama pada bagian bawahnya dengan metode *press* satu sama lain sampai *water tight*. Untuk dek-dek lantai di dalamnya lantai 1 dan 2 menggunakan lembaran yang sama dengan diameter 24 cm agar dapat masuk ke dalam lambung utama dengan baik, dan juga di potong lingkaran ditengah-tengah dek lantai tersebut untuk memungkinkan silinder kecil dengan diameter 4,17 cm dapat masuk ke tengah-tengah dek tiap lantai dengan pas. Dek-dek per lantai ini ada 2 buah dan masing-masing diletakan pada ketinggian 2,1 cm dan 6,56 cm Untuk dek utama-nya sama halnya dengan dek tiap lantai dengan bolongan lingkaran ditengahnya dengan diameter 4,17 cm agar menyerupai bentuk lambung asli dari *cottage* terapung ini.



**Gambar 3.6** Model *Cottage* Terapung (stainless steel)

Pada bagian ballast tank yang berada di bagian paling bawah dr *cottage* terapung ini harus dibuat bagian pemisah kedap air atau *watertight bulkhead* agar tidak terjadi *free surface effect*. Pembuatan *watertight bulkhead* pada model *cottage* terapung ini menggunakan *acrylic* dengan tebal 5 mm dan di tempel ke lambung utama bagian dasar dengan menggunakan lem *silicon sealant*.



**Gambar 3.7** *Watertight bulkhead* pada *ballast tank*



**Gambar 3.8** Menimbang berat model

### **3.2 Rancangan Alat Uji Eksperimen**

#### **3.2.1 Floating Tank**

Adalah tanki tempat penampungan air dimana model diapung selama pengujian. Tanki ini terbuat dari Kaca mempunyai panjang 300 cm, lebar 80 cm, tinggi 55 cm dengan ketinggian air 20 cm. Bentuk-nya menyerupai akuarium ukuran sedang, dimana untuk melakukan percobaan ini tidak memerlukan tempat yang terlalu luas, tetapi jika sudah dapat terapung dengan bebas tanpa terbentur dinding kaca tanki sudah cukup dan dapat dilakukan percobaan kemiringan (*Inclining Test*).



**Gambar 3.9** Floating Tank

### 3.2.2 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 langsung dapat dilihat dilayar dalam satuan derajat dengan presisi 0,1 derajat dan dapat mengukur kemiringan pada interval 0 sampai dengan 180 derajat.

Clinometer adalah sebuah alat yang presisi yang harus dipakai dengan hati-hati. Setiap hentakan dapat membuat clinometer perlu untuk dikalibrasi.

Clinometer bukan merupakan alat yang anti air, sehingga harus dijaga agar jangan sampai terkena air ataupun jatuh ke dalam air *flotation tank* atau membuat model terbalik ketika clinometer terpasang. Untuk menghindari kerusakan pada clinometer kami membungkusnya dengan plastik bening agar kedap air.

Alat ini berkerja dengan sumber tenaga baterai. Clinometer ini mempunyai sistem antar muka layar sentuh dan terdapat beberapa tombol seperti tombol *hold*, tombol *hold* ini digunakan ketika derajat yang muncul dilayar *LCD* ingin ditahan agar tidak berubah nilainya (kalibrasi dengan bidang lurus). Tombol lainnya adalah tombol *reset* kalibrasi, tombol ini berfungsi untuk me-*reset* nilai kemiringan menjadi 0 kembali.

Penggunaan yang tepat yaitu dengan meletakkan clinometer pada bidang yang datar 0 dan me-*reset* nilai kemiringan menjadi 0, kemudian menekan tombol *hold* agar nilai kemiringan tidak berubah dan tetap berada pada kedataran 0 bidang datar sebelumnya, dan dipindahkan keatas dek utama model *cottage* terapung yang akan diuji.



Gambar 3.10 Clinometer Digital

### 3.2.3Beban Muatan dan Beban Pengoleng

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

Alat timbang elektronik *AND electronic balance* digunakan untuk menimbang seluruh beban-beban yang akan digunakan di dalam test yang akan dilakukan. Alat ini menggunakan sumber tenaga listrik dan memiliki tingkat presisi yang tinggi yaitu 0.01 gram.



**Gambar 3.11** membungkus dan menimbang pasir sebagai beban muatan dan pengoleng

- **Perhitungan beban dalam skala model**

<b>Data</b>	<b>Actual (m)</b>	<b>MODEL (cm)</b>
Diameter 1	18	25
Radius 1	9	12.5
Draft (T)	4.012	5.57
Height (H)	3.966	5.51
Depth (T+H)	7.978	11.08

**Tabel 3.2** dimensi *cottage* terapung

- $\Delta_{actual} = Volume\ Silinder_{actual} \times \gamma_c$   
 $\Delta_{actual} = \pi \times (9m)^2 \times 4.012m \times 1.032$   
 $\Delta_{actual} = 1053.0653\ ton$

- $\Delta_{model} = Volume\ Silinder_{model} \times \gamma_c$   
 $\Delta_{model} = \pi \times (0.125m)^2 \times 0.0557m \times 1.032$   
 $\Delta_{model} = 0.002821\ ton$   
 $\Delta_{model} = 2.821355\ kg$

- **Koreksi displacement dengan teori model**

- Panjang :  $\lambda = \frac{l\ actual}{l\ model}$

$$\lambda = \frac{18\ m}{0.25\ m}$$

$$\lambda = 72$$

- Volume :  $\sigma = \lambda^3$

$$\sigma = (72)^3$$

$$\sigma = 373248$$

- $\Delta_{a/m} = \frac{\Delta_{actual}}{\sigma}$

$$\Delta_{a/m} = \frac{1053.0653\ ton}{373248}$$

$$\Delta_{a/m} = 0.002821355\ ton$$

$$\Delta_{a/m} = 2.821355\ kg$$

- **Koreksi** :  $\frac{\Delta_{a/m}}{\Delta_{model}} = \frac{2.821355\ kg}{2.821355\ kg} = 0$

### 3.3 Prosedur Eksperimen Model Fisik

#### 3.3.1 Peralatan Pendukung Pengujian Pengujian

Peralatan pendukung yang digunakan dalam pengujian ini antara lain :

- a. Penggaris
- b. Pompa air listrik
- c. Dacin (50gr& 60 gr)
- d. Selang
- e. Timbangan digital
- f. Kamera
- g. Spidol

#### 3.3.2 Tujuan pengujian

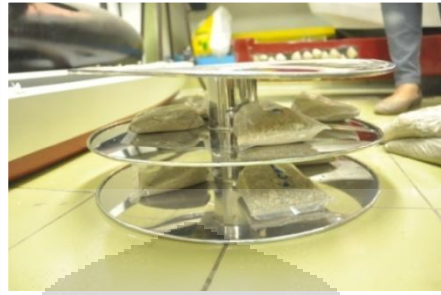
Tujuan dari pengujian inclining experiment ini adalah mencari nilai MG kapal pada model pada setiap variasi draft kapal model dan mendapatkan grafik stabilitas pada setiap kondisi, yang mana grafik ini harus memenuhi persyaratan dari IMO untuk dapat dikatakan baik / stabil.

#### 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, clinometer.
  3. Memastikan model dapat terapung dengan bebas.
  4. Memastikan tidak ada air yang masuk ke dalam model
  5. Memberi tanda ketinggian draft pada setiap kondisi
  6. Memberi tanda jarak-jarak untuk meletakkan beban uji kemiringan.
- Tahap pengujian dan pengambilan data :
  1. Model tersebut tidak dalam kondisi trim maupun oleng dengan pengecekan menggunakan clinometer.
  2. Mencatat draft model pada kondisi LWT maupun DWT.
  3. Meletakkan clinometer tepat pada tengah dek model.



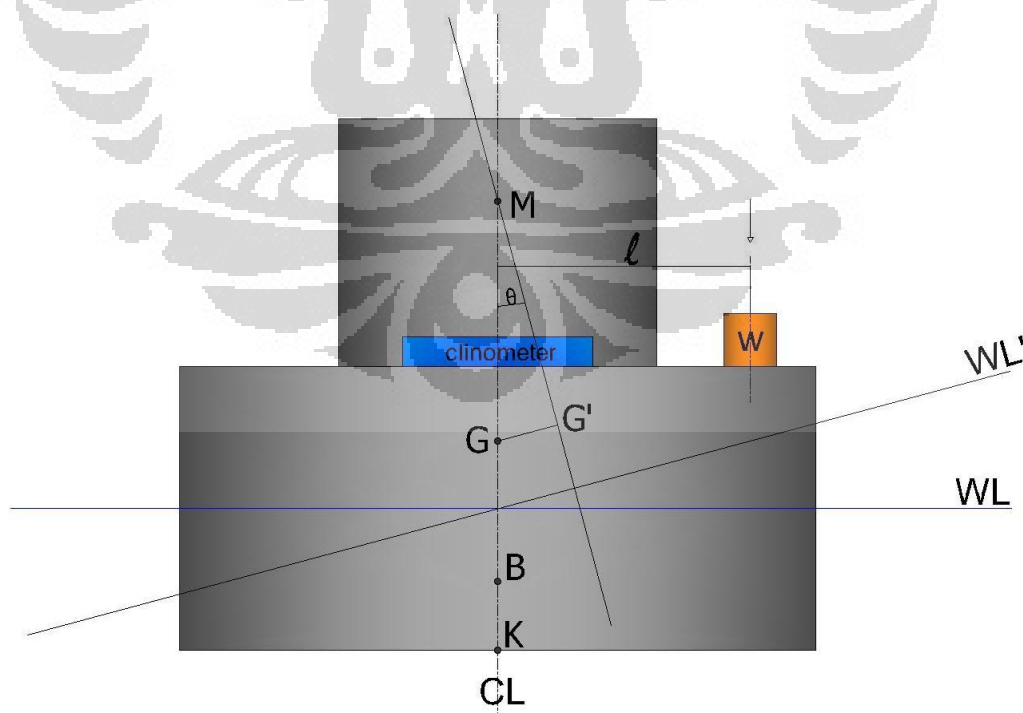
4. Mengukur jarak titik berat ( $\ell$ ) beban pengoleng ke tengah lebar kapal.
5. Memberi beban oleng ( $P$ ) pada salah satu sisi model dan sisi lawannya.
6. Mencatat nilai kemiringan yang muncul pada layar *clinometer*.



**Gambar 3.12** memasukan beban ke dalam model



**Gambar 3.13** model terapung diatas air dengan clinometer pada dek utama model



**Gambar 3.14** Sketsa pengujian Inclining

### 3.4 Data Pengujian

Data merupakan kemiringan dari model yang diuji

LWT				LWT + DWT			
12 cm		7 cm		12 cm		7 cm	
PS	SB	PS	SB	PS	SB	PS	SB
3°	3°	1.9°	1.9°	2.6°	2.6°	1.6°	1.6°
3°	3°	1.9°	1.9°	2.5°	2.6°	1.5°	1.6°
3°	3°	1.9°	2°	2.5°	2.6°	1.5°	1.6°
3°	3°	1.9°	1.9°	2.5°	2.6°	1.5°	1.6°
3°	3°	1.9°	1.9°	2.5°	2.6°	1.6°	1.6°
3°	3°	1.9°	1.9°	2.5°	2.6°	1.7°	1.6°
3°	3°	1.8°	1.9°	2.5°	2.6°	1.6°	1.6°
3°	3°	1.9°	1.9°	2.6°	2.6°	1.6°	1.6°
3°	3°	1.9°	2°	2.6°	2.6°	1.6°	1.6°
3°	3°	1.9°	1.9°	2.6°	2.6°	1.6°	1.6°

- **Data rata-rata**

kondisi	draft (satuan m)	jarak <i>i</i> (satuan m)	beban P (satuan kg)	Sudut	
				PS	SB
<b>Kondisi</b>	0.028	0.12	0.05	3°	3°
<b>kosong</b>	0.028	0.07	0.05	1.89°	1.92°
<b>kondisi</b>	0.0557	0.12	0.05	2.54°	2.6°
<b>full</b>	0.0557	0.07	0.05	1.58°	1.6°

Tabel 3.3 Tabel data hasil pengujian model

### 3.5 PERHITUNGAN STABILITAS

#### 3.5.1 Stabilitas Awal

Dalam perancangan awal maka diperlukan perhitungan stabilitas awal dari *cottage* terapung agar dapat diketahui kemampuan *cottage* terapung kembali ke keadaan semula ketika terjadi gangguan pada sudut-sudut kecil. Dalam menentukan stabilitas awal maka dibutuhkan perhitungan titik-titik penting yang

berpengaruh terhadap perhitungan seperti titik berat, titik tekan, titik berat garis air dan periode oleng (*rolling period*)

Titik berat (KG), titik tekan (KB), titik berat garis air (BM), tinggi metasentra melintang terhadap lunas kapal (KM), dan tinggi metasentra melintang (MG) *cottage* terapung ini sebesar:

$$KG = 0.65 \cdot H$$

$$KG = 0.65 \times 7.982 = 5.1883 \text{ m}$$

$$KB = T \left[ \frac{5}{6} - \frac{C_b}{3 \cdot C_{WP}} \right] \quad (NORMAND)$$

$$KB = 4 \left[ \frac{5}{6} - \frac{0.785}{3 \cdot 0.785} \right] = 2 \text{ m}$$

$$BM = (0.008 + 0.745 C_w^2) \cdot \frac{B_{wl}^2}{T \cdot C_B} \quad (NORMAND)$$

$$BM = (0.008 + 0.745 \times (0.745^2)) \cdot \frac{18^2}{4 \times 0.745} = 5.563 \text{ m}$$

$$KM = KB + BM$$

$$KM = 2 + 5.563 = 7.563 \text{ m}$$

$$GM = KM - KG$$

$$GM = 7.563 - 5.1883 = 2.374 \text{ m}$$

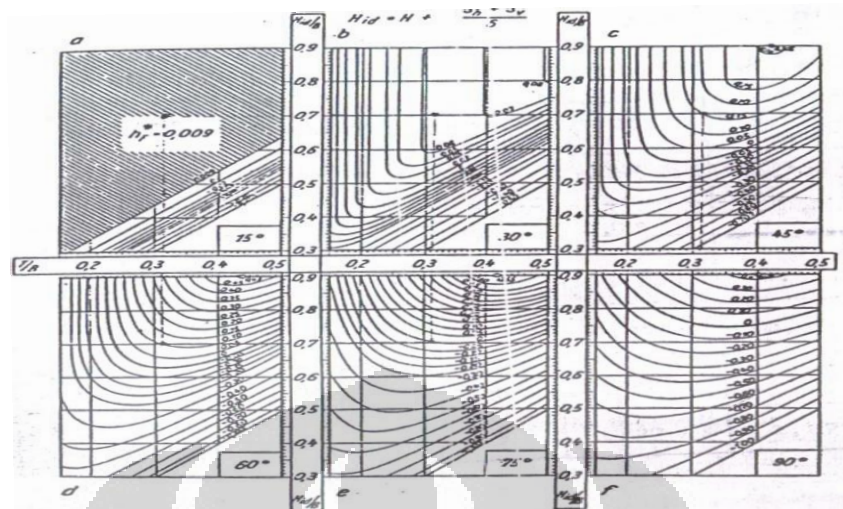
Setelah didapatkan nilai titik titik penting dalam stabilitas *cottage*, selanjutnya menentukan stabilitas *cottage* terapung dengan metode prohaska. Mencari stabilitas dengan menggunakan prohaska akan ditemukan nilai  $h$  ataupun momen kopel. Agar mengetahui nilai  $h$  maka diperlukan nilai  $h_f$  dari kurva prohaska. Berikut merupakan perhitungan stabilitas awal *cottage* terapung;

$$S_a = \frac{25 \times \left( \frac{L_{pp}}{3} + 10 \right)}{1000}$$

$$S_a = \frac{25 \times \left( \frac{18}{3} + 10 \right)}{1000} = 0.4 \text{ m}$$

$$S_f = \frac{50 \times \left( \frac{L_{pp}}{3} + 10 \right)}{1000}$$

$$S_a = \frac{50 \times \left( \frac{18}{3} + 10 \right)}{1000} = 0.8 \text{ m}$$



Gambar 3.15 Grafik Prohaska

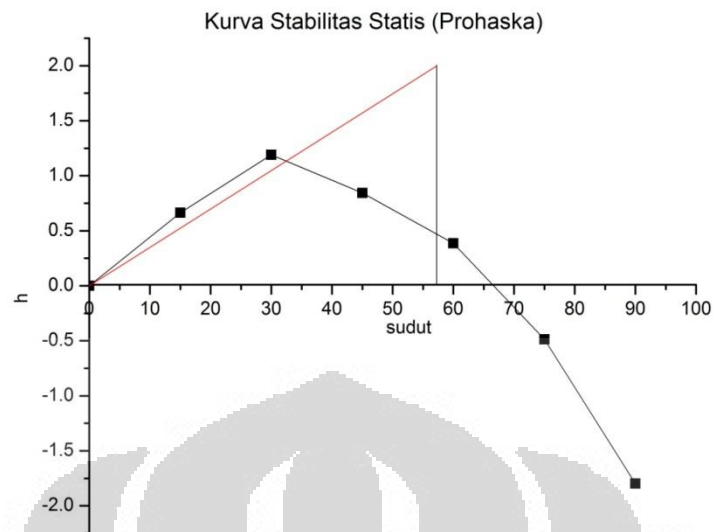
$$H_{id} = H + \left( \frac{S_a + s_f}{6} \right)$$

$$H_{id} = 7.982 + \left( \frac{0.4 + 0.8}{6} \right) = 8.182 \text{ m}$$

Dengan nilai koordinat di sumbu Y yaitu  $\frac{H_{id}}{B} = 0.45$  dan sumbu X yaitu  $\frac{T}{B} = 0.22$  maka akan didapatkan nilai  $h_f$  untuk  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$ , dan  $90^\circ$ . Nilai  $h_f$  kemudian akan dikalikan dengan  $MG \sin \alpha$  untuk mendapatkan nilai  $h$ . Nilai lengan momen untuk derajat lainnya jika dibutuhkan dapat dicari dengan cara interpolasi dari derajat-derajat yang sudah ada. Dari hasil pembacaan grafik prohaska maka didapatkan nilai  $h$  dan kurva stabilitas statis.

Tabel 3.4 nilai  $h$  hasil pembacaan grafik prohaska

NO	$\sigma$	$0^\circ$	$15^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$75^\circ$	$90^\circ$
1	$\sin \sigma$	0	0.259	0.500	0.707	0.866	0.966	1.000
2	$H_f$	0	0.009	0.000	-0.150	-0.300	-0.500	-0.750
3	$H_f \times BM$	0	0.050	0.000	-0.834	-1.669	-2.781	-4.172
4	$GM \sin \sigma$	0	0.615	1.187	1.679	2.056	2.294	2.374
5	$h = [3] + [4]$	0	0.665	1.19	0.844	0.387	-0.488	-1.798



**Gambar 3.17** Kurva stabilitas statis dengan Prohaska

Dengan nilai Stabilitas statis yang telah didapatkan kemudian di verifikasi dengan kriteria *IMO Recommendation*. Kriteria IMO membahas mengenai ketinggian  $h$ , luasan kurva stabilitas statis dari  $0^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ,  $0^{\circ}$ - $40^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ - $40^{\circ}$ , dan nilai  $MG$ . Berikut merupakan perhitungan luasan kurva dengan menggunakan metode simpson :

**Tabel 3.5** tabel perhitungan luasan kurva stabilitas statis

$\Sigma$	$h$	$f_s$	GK x $f_s$	$f_m$	GK x $f_m$	$f_m$	GK x $f_m$
0	0	1	0			1	0
5	0.222	4	0.8866619			4	0.886662
10	0.443	2	0.8866619			2	0.886662
15	0.665	4	2.6599857			4	2.659986
20	0.839	2	1.6780819			1	0.839041
25	1.013	4	4.052342			4	4.052342
30	1.187	1	1.1871301	1	1.1871301	2	2.37426
					4.2913041		
35	1.072826	0	0	4	9	4	4.291304
40	0.958521	0	0	1	0.9585219	1	0.958522
45	0.844	$S_1 =$	11.351	$S_2 =$	6.4369562	$S_3 =$	16.94878

$$\begin{aligned}
 \text{Maka luasan Ah } 0^{\circ} - 30^{\circ} &= 0.0291 \times S_1 \\
 &= 0.0291 \times 11.351 = 0.3303 \text{ m. rad} \\
 \text{Ah } 30^{\circ} - 40^{\circ} &= 0.0291 \times S_2 \\
 &= 0.0291 \times 6.4369 = 0.1873 \text{ m. rad} \\
 \text{Ah } 0^{\circ} - 40^{\circ} &= 0.0291 \times S_3 \\
 &= 0.0291 \times 16.94878 = 0.4932 \text{ m. rad}
 \end{aligned}$$

Koreksi perhitungan stabilitas rancangan dengan Standar IMO *Recommendation* :

Tabel 3.6 tabel koreksi stabilitas statis dengan kriteria IMO *recommendation*

Criteria IMO		Didapat
GM(m)	$\geq 0.15$	2.374
h 30° (m)	$\geq 0.2$	1.187
Ø h max (°)	$\geq 25$	30
Ø range (°)	$\geq 60$	70
Ah 30° (m.rad)	$\geq 0.055$	0.330
Ah 40° (m.rad)	$\geq 0.09$	0.493
Ah 30°- 40° (m.rad)	$\geq 0.03$	0.187

Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan jika stabilitas awal *cottage* terapung telah memenuhi syarat dari standar IMO *Recommendation*.

Selain kurva stabilitas statis, perhitungan stabilitas awal juga mencakup pada periode rolling *cottage* kapal. Nilai  $\overline{MG}$  yang besar membuat periode oleng (*rolling period*) kapal lebih cepat dan mengakibatkan penumpang kapal digetarkan kurang enak atau kapal menjadi kaku, sebaliknya nilai  $\overline{MG}$  yang kecil mengakibatkan periode oleng (*rolling period*) lebih lambat tetapi kurang dapat menjamin keselamatan kapal. Untuk *cottage* terapung ini periode rolling yang diizinkan antara 8-14 detik. Perhitungan periode oleng (*rolling period*) yaitu sebagai berikut :

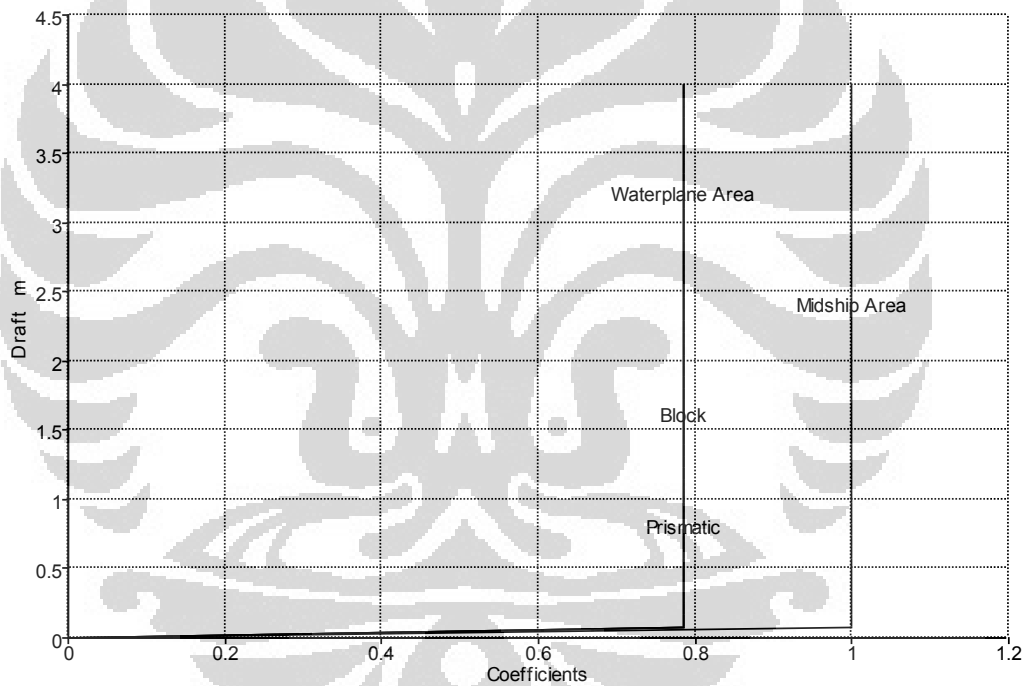
$$R = T_R = \frac{2\pi i}{\sqrt{g.MG}} \quad \text{dengani}=0.35B \quad (2.4.7)$$

$$R = T_R = \frac{2 \times 3,14 \times 0,35 \times 18}{\sqrt{9,81 \times 2,374}} = 8,20 \text{ detik}$$

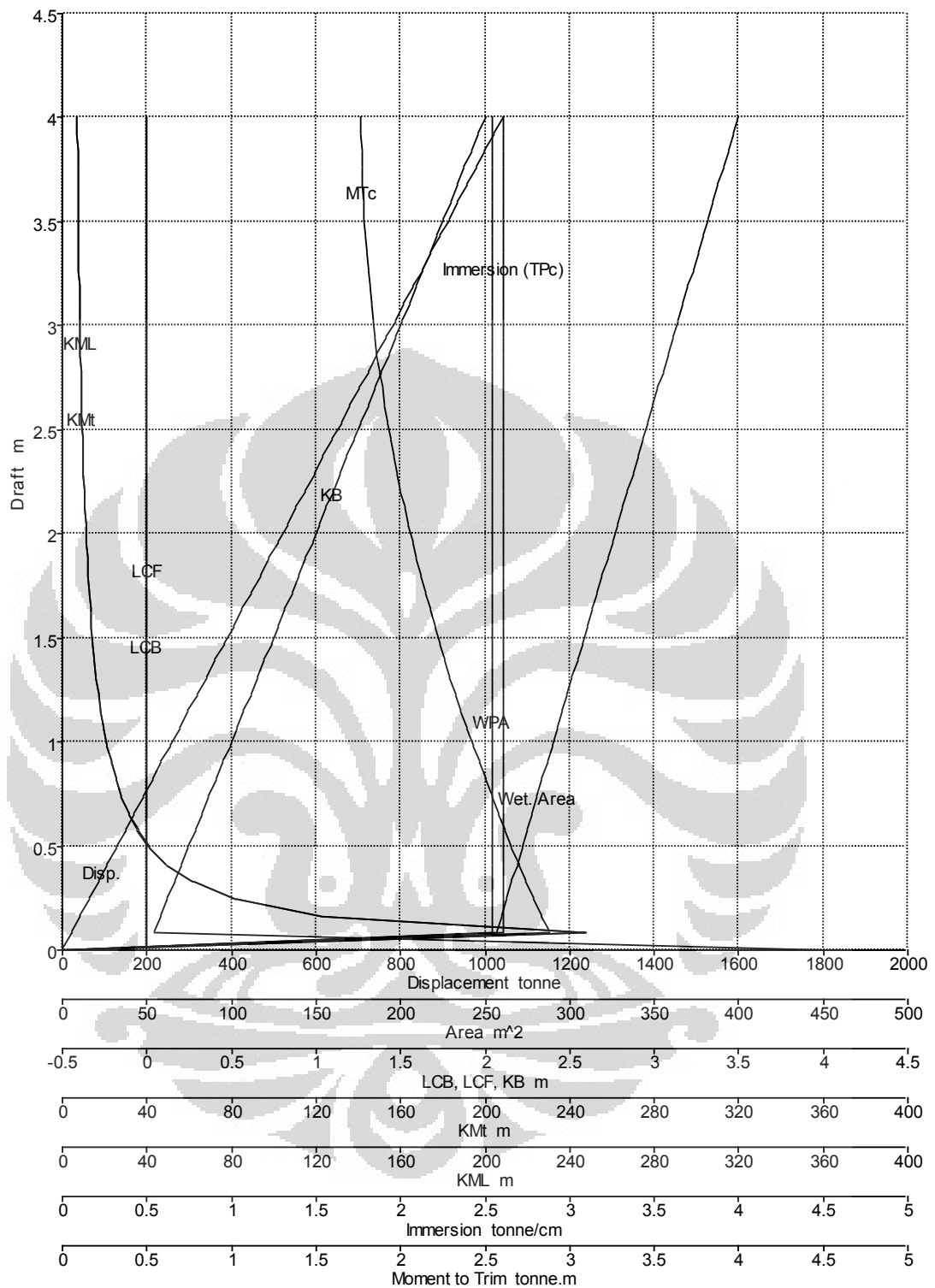
Sehingga *cottage* terapung memiliki periode oleng (*rolling period*) yang sesuai dengan ketentuan sehingga nyaman untuk penumpang didalamnya.

### 3.5.2 Pembuatan Hydrostatic Curve

Perhitungan *HSC* (*hydrostatic curve*) menggunakan bantuan *software* Hydromax Pro 11.12. rencana garis yang sebelumnya telah digambar dengan menggunakan *software* maxsurf dibuka pada hydromax. Kemudian klik *analysis>upright hydrostatic*. Setelah itu, klik *analysis>draft* lalu seperti berikut. Kemudian klik *start analysis*, maka akan muncul grafik sebagai berikut :



Gambar 3.18 Grafik koefisien bentuk model



Gambar 3.19 Hydrostatic Curve Model

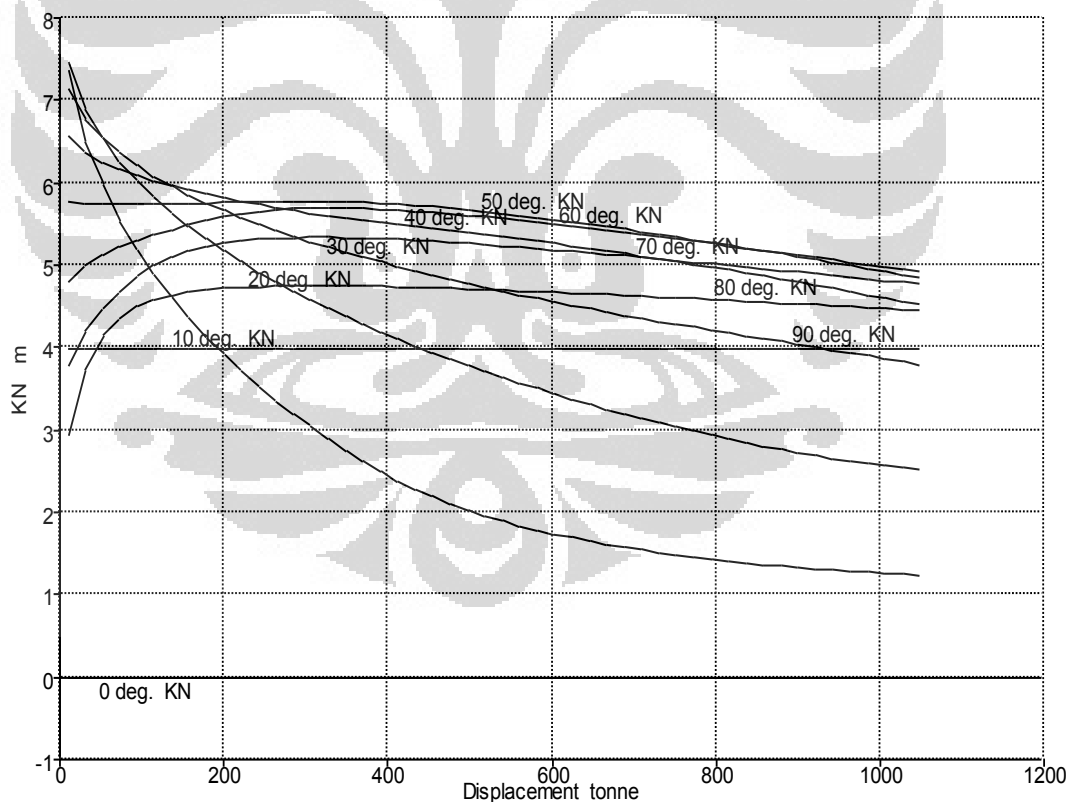


### 3.5.3 Pembuatan *Cross Curve*

Proses pembuatan *cross curve* juga menggunakan bantuan software hydromax pro 11.12. langkah – langkah perhitungan *cross curve* menggunakan 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, klik *analysis > start analysis.*

Sehingga didapatkan *cross curve* sebagai berikut :



**Gambar 3.20** *Cross Curve* rancangan

### 3.5.4 Perhitungan Stabilitas Statis *Inclining Test*

Dengan menggunakan persamaan pada dasar teori untuk menghitung MG yaitu, Maka berdasarkan data hasil percobaan :

**Tabel 3.7** Data Percobaan Model

Kondisi	draft (satuan m)	jarak $i$ (satuan m)	beban P (satuan kg)	Sudut	
				PS	SB
Kondisi	0.028	0.12	0.05	3°	3°
kosong	0.028	0.07	0.05	1.89°	1.92°
kondisi	0.0557	0.12	0.05	2.54°	2.6°
<i>full</i>	0.0557	0.07	0.05	1.58°	1.6°

Kita dapat menghitung nilai MG, dengan bantuan *hydrostatic curve* untuk mendapatkan nilai displacement kapal model pada setiap variasi draftnya.

Kondisi	Displacement	Draft
	$\Delta$ (kg)	(m)
LWT	1.4	0.028
LWT+DWT	2.82	0.0557

**Tabel 3.8** Displacement model draft LWT / DWT.

WL	Twl(m)	Volume	$\Delta$	FK	Fo'	I <sub>x</sub>	I <sub>L</sub>	MF	MLF
1	0.5	126.83	130.64	0.25	0.73	5128.63	4976.72	40.44	39.24
2	1	253.67	261.28	0.5	0.73	5128.63	4976.72	20.22	19.62
3	1.5	380.5	391.92	0.75	0.73	5128.63	4976.72	13.48	13.08
4	2	507.33	522.55	1	0.73	5128.63	4976.72	10.11	9.81
5	2.5	634.17	653.19	1.25	0.73	5128.63	4976.72	8.09	7.85
6	3	761	783.83	1.5	0.73	5128.63	4976.72	6.74	6.54
7	3.5	887.83	914.47	1.75	0.73	5128.63	4976.72	5.78	5.61
8	4	1014.67	1045.11	2	0.73	5128.63	4976.72	5.05	4.9
9	4.5	1141.5	1175.75	2.25	0.73	5128.63	4976.72	4.49	4.36
10	5	1268.34	1306.39	2.5	0.73	5128.63	4976.72	4.04	3.92
11	5.5	1395.17	1437.02	2.75	0.73	5128.63	4976.72	3.68	3.57
12	6	1522	1567.66	3	0.73	5128.63	4976.72	3.37	3.27
13	6.5	1648.84	1698.3	3.25	0.73	5128.63	4976.72	3.11	3.02
14	7	1775.67	1828.94	3.5	0.73	5128.63	4976.72	2.89	2.8
15	7.5	1902.5	1959.58	3.75	0.73	5128.63	4976.72	2.7	2.62
16	8	2029.34	2090.22	4	0.73	5128.63	4976.72	2.53	2.45

No. WL	MK	MLK	MCT	TPC	Cw	Cb	Cp'	Cm	Cp
1	40.69	39.49	31.77	2.62	0.78	0.78	1	1	0.78
2	20.72	20.12	31.77	2.62	0.78	0.78	1	1	0.78
3	14.23	13.83	31.77	2.62	0.78	0.78	1	1	0.78
4	11.11	10.81	31.77	2.62	0.78	0.78	1	1	0.78
5	9.34	9.1	31.77	2.62	0.78	0.78	1	1	0.78
6	8.24	8.04	31.77	2.62	0.78	0.78	1	1	0.78
7	7.53	7.36	31.77	2.62	0.78	0.78	1	1	0.78
8	7.05	6.9	31.77	2.62	0.78	0.78	1	1	0.78
9	6.74	6.61	31.77	2.62	0.78	0.78	1	1	0.78
10	6.54	6.42	31.77	2.62	0.78	0.78	1	1	0.78
11	6.43	6.32	31.77	2.62	0.78	0.78	1	1	0.78
12	6.37	6.27	31.77	2.62	0.78	0.78	1	1	0.78
13	6.36	6.27	31.77	2.62	0.78	0.78	1	1	0.78
14	6.39	6.3	31.77	2.62	0.78	0.78	1	1	0.78
15	6.45	6.37	31.77	2.62	0.78	0.78	1	1	0.78
16	6.53	6.45	31.77	2.62	0.78	0.78	1	1	0.78

**Tabel 3.9** Uraian HSC model LWT / DWT.

Sehingga nilai MG setiap kondisi variasi *draft* :

Rumus mencari nilai  $\overline{MG}$  :

$$\overline{MG}\Delta \sin \theta = Pi \cos \theta$$

$$\overline{MG}\Delta \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = Pi$$

$$\overline{MG}\Delta \tan \theta = Pi$$

$$\overline{MG} = \frac{Pi}{\Delta \tan \theta}$$

## Perhitungan MG Data Rata-Rata

### 1. $\overline{MG}$ Kondisi Kosong (LWT) jarak $i = 0.12$ m

Diketahui:

$$P = 0.05 \text{ kg}$$

$$i = 0.12 \text{ m}$$

$$\theta \text{ PS} = 3^\circ$$

$$\theta \text{ SB} = 3^\circ$$

$$\Delta = 1.4 \text{ kg}$$

$$\text{PS : } \overline{MG} = \frac{Pi}{\Delta \tan \theta}$$

$$\overline{MG} = \frac{0,05\text{kg} \times 0.12\text{m}}{1,4\text{kg} \times \tan 3^\circ}$$

$$\overline{MG} = 0.09 \text{ m}$$

$$\text{SB : } \overline{MG} = \frac{Pi}{\Delta \tan \theta}$$

$$\overline{MG} = \frac{0,05\text{kg} \times 0.12\text{m}}{1,4\text{kg} \times \tan 3^\circ}$$

$$\overline{MG} = 0.09\text{m}$$

### 2. $\overline{MG}$ Kondisi Kosong (LWT) jarak $i = 0.07$ m

Diketahui:

$$P = 0.05 \text{ kg}$$

$$i = 0.07 \text{ m}$$

$$\theta \text{ PS} = 1.89^\circ$$

$$\theta \text{ SB} = 1.92^\circ$$

$$\Delta = 1,4 \text{ kg}$$

$$\text{PS : } \overline{MG} = \frac{Pi}{\Delta \tan \theta}$$

$$\overline{MG} = \frac{0,05\text{kg} \times 0.07\text{m}}{1,4\text{kg} \times \tan 1,89^\circ}$$

$$\overline{MG} = 0.084 \text{ m}$$

$$\text{SB : } \overline{MG} = \frac{Pi}{\Delta \tan \theta}$$

$$\overline{MG} = \frac{0,05\text{kg} \times 0.07\text{m}}{1,4\text{kg} \times \tan 1,92^\circ}$$

$$\overline{MG} = 0.0828 \text{ m}$$

3.  $\overline{MG}$  Kondisi Penuh (LWT+DWT): jarak  $i = 0.12$  m

Diketahui:

$$P = 0.05 \text{ kg}$$

$$i = 0.12 \text{ m}$$

$$\theta \text{ PS} = 2,54^\circ$$

$$\theta \text{ SB} = 2,6^\circ$$

$$\Delta = 2,82 \text{ kg}$$

$$\text{PS : } \overline{MG} = \frac{Pi}{\Delta \tan \theta}$$

$$\overline{MG} = \frac{0,05 \text{ kg} \times 0,12 \text{ m}}{2,82 \text{ kg} \times \tan 2,54^\circ}$$

$$\overline{MG} = 0.0533 \text{ m}$$

$$\text{SB : } \overline{MG} = \frac{Pi}{\Delta \tan \theta}$$

$$\overline{MG} = \frac{0,05 \text{ kg} \times 0,12 \text{ m}}{2,82 \text{ kg} \times \tan 2,6^\circ}$$

$$\overline{MG} = 0.052 \text{ m}$$

4.  $\overline{MG}$  Kondisi Penuh (LWT+DWT): jarak  $i = 0.07$  m

Diketahui:

$$P = 0.05 \text{ kg}$$

$$i = 0.07 \text{ m}$$

$$\theta \text{ PS} = 1.58^\circ$$

$$\theta \text{ SB} = 1.6^\circ$$

$$\Delta = 2.82 \text{ kg}$$

$$\text{PS : } \overline{MG} = \frac{Pi}{\Delta \tan \theta}$$

$$\overline{MG} = \frac{0,05 \text{ kg} \times 0,07 \text{ m}}{2,82 \text{ kg} \times \tan 1,58^\circ}$$

$$\overline{MG} = 0.05 \text{ m}$$

$$\text{SB : } \overline{MG} = \frac{Pi}{\Delta \tan \theta}$$

$$\overline{MG} = \frac{0,05 \text{ kg} \times 0,07 \text{ m}}{2,82 \text{ kg} \times \tan 1,6^\circ}$$

$$\overline{MG} = 0.05 \text{ m}$$

Kondisi	Displacement kg	Draft (m)	Jarak i (m)	Beban P (Kg)	sudut	tan	MG <sub>asli</sub> (m)	MG <sub>asli</sub> (m)
<b>LWT (Kosong)</b>	1.4	0.028	0.12	0.05	3	0.0471	0.09	6.48
	1.4	0.028	0.12	0.05	3	0.0471	0.09	6.48
	1.4	0.028	0.7	0.05	1.89	0.0297	0.084	6.048
	1.4	0.028	0.7	0.05	1.92	0.03	0.0828	5.961
<b>LWT + DWT (Full)</b>	2.82	0.0557	0.12	0.05	2.54	0.04	0.0533	3.837
	2.82	0.0557	0.12	0.05	2.6	0.04	0.052	3.744
	2.82	0.0557	0.7	0.05	1.58	0.0248	0.05	3.6
	2.82	0.0557	0.7	0.05	1.6	0.0251	0.05	3.6

**Tabel 3.10** Perhitungan MG kapal model setiap variasi draft.

Dengan bantuan *cross curve*, maka kita dapat pula mendapatkan nilai NK  $\alpha$  pada tiap draft :

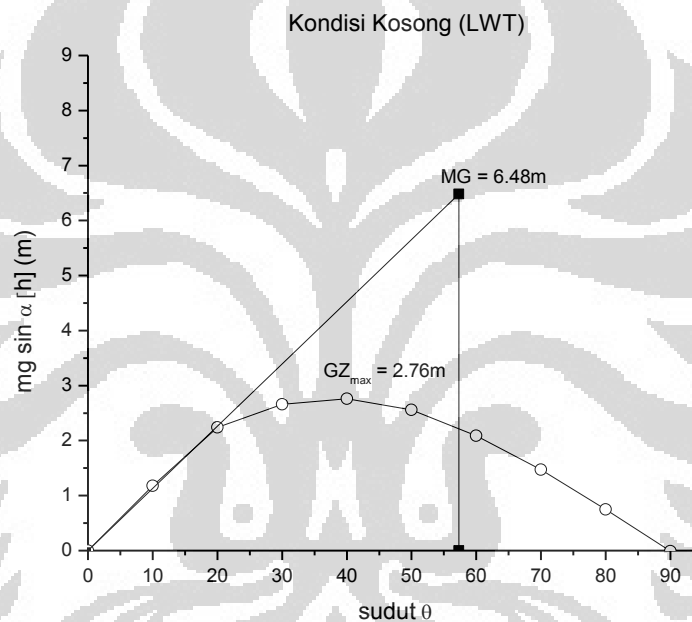
Kondisi	NK 10	NK 20	NK 30	NK 40	NK 50	NK 60	NK 70	NK 80	NK 90
<b>LWT (Kosong)</b>	0.33	1.24	2.34	3.44	4.31	4.82	4.92	4.62	3.99
<b>LWT + DWT (Full)</b>	0.21	0.86	1.89	2.90	3.71	4.25	4.48	4.39	3.99

**Tabel 3.11** Nilai NK sin  $\alpha$  kapal model setiap variasi draft

Setelah mendapatkan nilai MG dan NK maka kita dapat menentukan nilai MGsin dengan formula:  $MG_{sin} = NK - KG_{sin}$  sehingga :

## 1. Kondisi Kosong (LWT)

$\alpha$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
<b>sin <math>\alpha</math></b>	0.17	0.34	0.50	0.64	0.77	0.87	0.94	0.99	1.00
<b>NK</b>	1.87	3.61	4.66	5.33	5.62	5.56	5.23	4.69	3.99
<b>GK</b>	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
<b>GK sin <math>\alpha</math></b>	0.70	1.37	2.00	2.57	3.06	3.46	3.76	3.94	4.00
<b>MG sin <math>\alpha</math> (h)</b>	1.18	2.24	2.66	2.76	2.56	2.09	1.47	0.75	-0.01

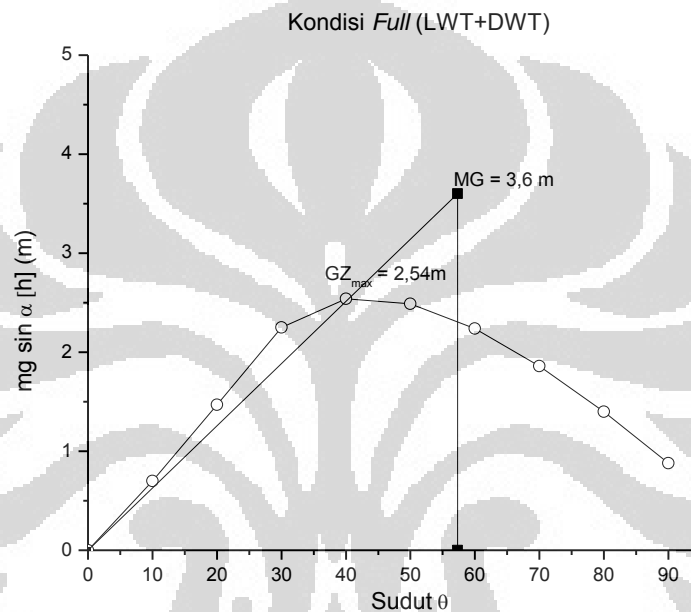
Tabel 3.12 MG sin  $\alpha$  pada kondisi LWTGambar 3.21 Kurva Stabilitas *Cottage* terapung kondisi kosong 1

Criteria IMO		Didapat
GM(m)	$\geq 0.15$	6.48
h 30° (m)	$\geq 0.2$	2.66
Ø h max (°)	$\geq 25$	40
Ø range (°)	$\geq 60$	90
Ah 0° - 30° (m.rad)	$\geq 0.055$	28.5
Ah 0° - 40° (m.rad)	$\geq 0.09$	42.53
Ah 30° - 40° (m.rad)	$\geq 0.03$	16.27

Tabel 3.13 tabel koreksi stabilitas statis dengan kriteria IMO recommendation

## 2. Kondisi Full (LWT+DWT)

$\alpha$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\sin \alpha$	0.17	0.34	0.50	0.64	0.77	0.87	0.94	0.99	1.00
NK	1.24	2.53	3.81	4.54	4.87	4.93	4.78	4.46	3.99
GK	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11
GK $\sin \alpha$	0.54	1.06	1.56	2.00	2.38	2.69	2.92	3.06	3.11
MG $\sin \alpha$ (h)	0.70	1.47	2.25	2.54	2.49	2.24	1.86	1.40	0.88

Tabel 3.14 MG  $\sin \alpha$  pada kondisi FULL (LWT+DWT)Gambar 3.22 Kurva Stabilitas *Cottage* terapung kondisi Kosong 2

Criteria IMO		Didapat
GM(m)	$\geq 0.15$	3.6
h 30° (m)	$\geq 0.2$	2.25
Ø h max (°)	$\geq 25$	40
Ø range (°)	$\geq 60$	90
Ah 0° - 30° (m.rad)	$\geq 0.055$	19.75
Ah 0° - 40° (m.rad)	$\geq 0.09$	32.67
Ah 30° - 40° (m.rad)	$\geq 0.03$	14.38

Tabel 3.15 tabel koreksi stabilitas statis dengan kriteria IMO *recommendation*

Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan jika stabilitas *cottage* terapung telah memenuhi syarat dari standar IMO *Recommendation*.



### 3.5.5 Simulasi Stabilitas Dengan Software Hydromax

Langkah awal yang dilakukan dalam analisa stabilitas *Cottage* Terapung ini adalah menentukan letak ruangan / compartment / tangki muatan kapal. Dimana ditentukan terlebih dahulu posisi peletakan tangki / compartment pada *table compartment* dengan asumsi dari berat yang telah diperhitungkan serta penempatannya. Kemudian menentukan load case pada beberapa kondisi pemuatan untuk dapat di analisa stabilitas dengan *software Hydromax*.

Perhitungan stabilitas meliputi perkiraan perubahan nilai KG pada empat kondisi distribusi muatan yang terdiri dari:

1. Kondisi Kosong (LWT), yang terdiri dari berat konstruksi dan pelat-pelat shell maupun deck-deck pada *cottage*.
2. Kondisi Full (LWT+DWT), yaitu terdiri dari berat LWT yaitu konstruksi, pelat-pelat cangkang maupun deck-deck ditambah dengan DWT terdiri dari berat isi tangki, berat makanan, berat para abk dan penumpang beserta barang bawaan. Berat mati dihitung tiap lantai.

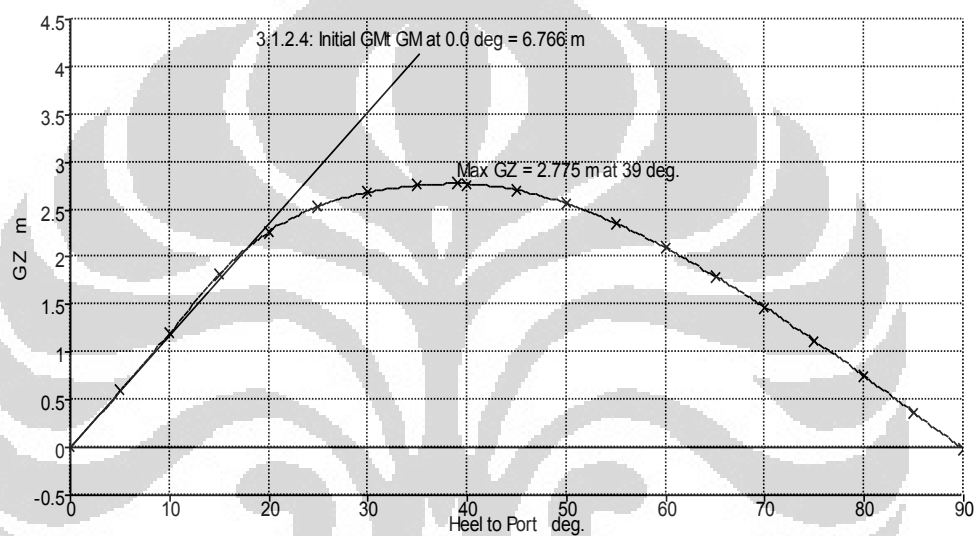
Rincian detail-detail beban telah ditentukan pada skripsi “Konsep Desain *Cottage* Terapung oleh Sri Maharani Lestari.” Pada skripsi tersebut telah terdapat rincian list-list distribusi beban di setiap lantai *cottage* terapung secara terperinci.

Setelah beban-beban ditentukan letak maupun besarnya, kemudian dapat diperoleh nilai-nilai serta grafik stabilitas sebagai berikut;

### 3.5.5.1 Kondisi Kosong (LWT)

Item Name	Quantity	Weight ton	Long.Arm m	Vert.Arm m
Lightship	1	524.9	9.000	4.000
LWT	1	15.75	9.000	4.000
ETC				
<b>Total Weight=</b>		<b>540.7</b>	<b>LCG=9.000</b>	<b>VCG=4.000</b>

Tabel 3.16 Load Case pada kondisi kosong



Gambar 3.23 Grafik Stabilitas Kondisi Kosong (numerik)

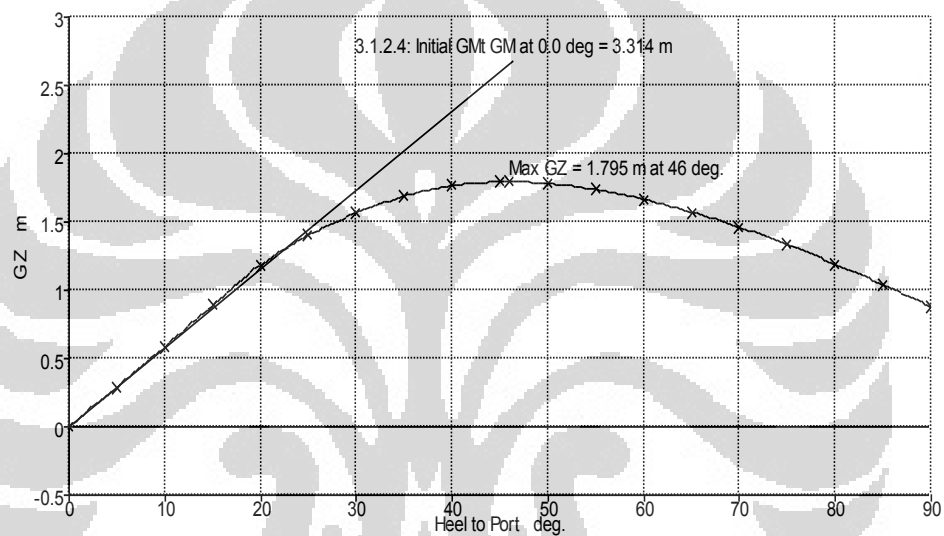
Criteria IMO		Didapat
GM(m)	$\geq 0.15$	6,76
h 30° (m)	$\geq 0.2$	2,775
Ø h max (°)	$\geq 25$	39
Ø range (°)	$\geq 60$	90
Ah 0° - 30° (m.rad)	$\geq 0.055$	49
Ah 0° - 40° (m.rad)	$\geq 0.09$	76.47
Ah 30° - 40° (m.rad)	$\geq 0.03$	27.464

Tabel 3.17 tabel koreksi stabilitas statis dengan kriteria IMO *recommendation*

### 3.5.5.2 Kondisi FULL (LWT+DWT)

Item Name	Quantity	Weight ton	Long.Arm m	Vert.Arm m
Lightship	1	524.9	9.000	4.000
ballast	100%	390.5	9.000	0.750
LWT ETC	1	15.75	9.000	4.000
dwt	1	496.7	9.000	4.000
<b>Total</b>		<b>1428</b>	<b>LCG=9.000</b>	<b>VCG=3.111</b>
<b>Weight=</b>				

Tabel 3.18 Load Case pada kondisi FULL



Gambar 3.24 Grafik Stabilitas Kondisi Full (numerik)

Criteria IMO	Didapat
GM(m) $\geq$ 0.15	3.314
h 30° (m) $\geq$ 0.2	1.795
Ø h max (°) $\geq$ 25	46
Ø range (°) $\geq$ 60	90
Ah 0° - 30° (m.rad) $\geq$ 0.055	25.719
Ah 0° - 40° (m.rad) $\geq$ 0.09	42.521
Ah 30° - 40° (m.rad) $\geq$ 0.03	16.802

Tabel 3.19 tabel koreksi stabilitas statis dengan kriteria IMO *recommendation*

### 3.5.6 Periode Olang

$$T_R = \frac{2\pi i}{\sqrt{gMG}}$$

TR = Periode Olang

i = 0,5B (B =Lebar *Cottage* Terapung)

g = gravitasi

#### *Periode Olang saat kondisi Kosong*

$$T_R = \frac{2\pi \times 0,5 \times 18}{\sqrt{9.81 \times 6.48}}$$

$$T_R = 7.1 \text{sec}$$

#### *Periode Olang saat kondisi Full*

$$T_R = \frac{2\pi \times 0.5 \times 18}{\sqrt{9.81 \times 3.6}}$$

$$T_R = 9.5 \text{sec}$$

Syarat nilai periode olang untuk kapal penumpang adalah 8 -14 detik, dengan perhitungan diatas telah didapatkan nilai periode olang sistem sebesar 9,5 detik, yang artinya telah memenuhi syarat dari *IMO Recommendation*.

## 3.6 Pembahasan

### 3.6.1 Analisa Teori Stabilitas

Parameter utama yang dilihat dalam menentukan kualitas stabilitas statis kapal adalah besarnya gaya yang bekerja mengebalikan kapal ( lengan Pembalik GZ) pada beberapa sudut kemiringan yang diketahui dari luas area di bawah kurva GZ. Stabilitas Pada kondisi tertentu merupakan penggambaran mengenai kondisi stabilitas saat berangkat dari pelabuhan sampai dengan tiba / berlabuh, dimana pada beberapa kondisi yang berbeda itu terdapat perubahan dinamik pada kondisi displacement kapal.

Perubahan nilai KG dianalisis dengan membuat perkiraan perubahan jarak vertikal- horizontal pada setiap kondisi perubahan distribusi muatan. Analisis stabilitas statis melalui kurva stabilitas statis GZ dilakukan dengan metode Attwood's formula (Hind, 1982). Metode ini menganalisis stabilitas statis kapal pada sudut keolengan  $0^0 - 90^0$ .

Nilai lengan penegak GZ menunjukkan nilai stabilitas suatu kapal. nilai ini memiliki standar yang ditetapkan oleh IMO. Hasil dari perhitungan stabilitas menunjukkan bahwa seluruh lengan penegak GZ memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai minimum yang ditetapkan IMO. Nilai lengan penegak GZ yang terbentuk pada kurva GZ berbanding terbalik dengan nilai KG. pada kurva tersebut terlihat bahwa semakin tinggi nilai KG maka nilai GZ akan semakin rendah, demikian pula sebaliknya.

Stabilitas maksimum adalah nilai GZ maksimum yang dapat dicapai oleh kapal pada kondisi tertentu dan terjadi pada besar sudut tertentu. Kisaran stabilitas merupakan sudut terbesar kemiringan kapal tanpa terjadinya nilai GZ yang negative. Besar sudut ini diketahui dari titik potong kurva GZ dengan sumbu X (axis), dimana nilai GZ sama dengan 0 dan disebut dengan *angle of vanishing stability*.

Ada dua gaya yang mengatur kestabilan kapal dilaut, yaitu gaya berat (*force of gravity, G*) yang selalu bergerak vertikal ke bawah dan gaya apung (*force of buoyancy, B*) yang bergerak vertikal ke atas. Pada saat kapal dalam kondisi tenang, kedua gaya ini berada pada satu garis vertikal yang sama. Pada saat kapal mengalami keolengan, gaya berat dan gaya apung kapal akan bergerak ke arah yang berlawanan. Jarak perpendicular yang dibentuk oleh kedua garis gaya ini disebut lengan penegak (GZ). (Gillmer dan Johnson, 1982).

Nilai GZ akan menjadi negative jika sudut kolengan lebih besar dari batas nilai maksimum kisaran stabilitas, yang mengakibatkan kapal tidak lagi menghasilkan lengan GZ yang positif. Karena saat terjadi kolengan pada sudut tersebut kapal dengan lengan GZ negative akan meneruskan gerakannya ke arah kemiringannya dan tidak kembali ke posisi semula.

### 3.6.2 Analisis Percobaan

Dari pengujian yang telah dilakukan didapat data berupa sudut kemiringan, jarak titik berat beban oleng ke *centre 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 me-minimalisir kemiringan(*trim*) kapal / sistem 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 proses *inclining experiment*. Ternyata sudut yang dihasilkan pada setiap variasi penambahan *draft* menunjukkan sudut kemiringan yang semakin kecil, hal ini menunjukkan bahwa semakin draft bertambah dengan nilai *rolling periode* yang semakin besar artinya *cottage* terapung ini semakin kaku dan tidak mudah bergoyang-goyang. 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 letak titik berat beban oleng kapal seperti konsep segitiga yang benar untuk mendapat nilai MG yang akurat.

### 3.6.3 Analisis Stabilitas *Cottage* Terapung 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 yang sebenarnya. Dengan definisi tersebut dan menurut persamaan dan teori model yang dikembangkan oleh *Froude* maka kita akan dapat memprediksi stabilitas kapal tersebut pada kapal yang sebenarnya.

Untuk mengetahui nilai MG pada kapal sebenarnya harus dilakukan *inclining experiment* ulang dikarenakan kondisi kapal model dengan sebenarnya berbeda, 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 mengkoreksi pembebanan pada *superstructure*, letak kamar mesin dan beban-beban geladak lainnya.

## BAB IV SISTEM TAMBAT

### 4.1 Metode Pemilihan Rantai Tambat

#### 4.1.1 Pergerakan *Cottage* Terapung

Pada kesempatan penulisan ini, akan dikaji pergerakan-pergerakan *Cottage* Terapung selama terapung berada di perairan. Adapun pergerakan yang akan dibahas adalah:

1. Pergerakan arah *surge* (arah sumbu x)
2. Pergerakan arah *sway* (arah sumbu y)
3. Pergerakan arah *heave* (arah sumbu z)

#### 4.1.2 Arah Beban Pada Sistem *Cottage* Terapung

Pada kesempatan penulisan ini hanya akan dibahas beban-beban yang bekerja dalam arah horizontal khususnya pada beban angin, beban arus laut dan beban gelombang. Sementara arah beban dalam arah vertikal dikaji hanya dalam arah-arrah penambatan *Cottage* Terapung akibat ketinggian gelombang dan pasang surut. Sementara itu dalam perhitungan desain, arah-arrah beban pada *Cottage* Terapung dianggap satu arah.

### 4.2 Penyederhanaan Struktur *Cottage* Terapung

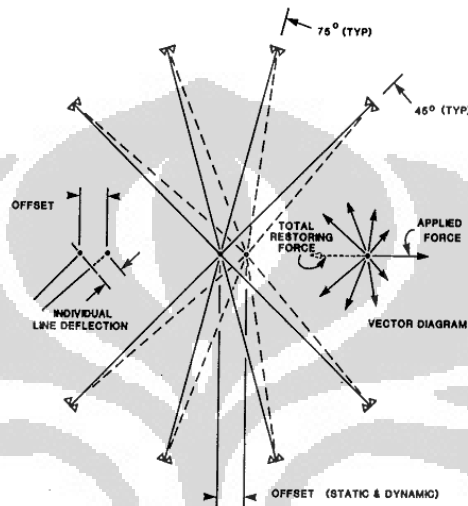
Dalam melakukan analisa gaya-gaya atau beban-beban dalam arah horizontal maka dilakukan penyederhanaan terhadap struktur *Cottage* Terapung yang akan dikaji. Untuk itu dalam penyederhanaan struktur tetap dipertahankan bagian-bagian utama *Cottage* Terapung seperti :

1. Badan Silinder utama *Cottage* Terapung
2. *Superstructure* *Cottage* Terapung

### 4.3 Efek Pembebanan Pada *Cottage* Terapung

Pembebanan pada *Cottage* Terapung menyebabkan perpindahan sistem atau disebut dengan defleksi ( $\delta$ ). Pada teori *catenary single line* didapatkan besarnya  $\delta$  didapat dari iterasi nilai H dari  $H_0$  hingga  $H_{\max}$ , sedangkan –

$H_{max}$  didapatkan dari iterasi kebalikan pada nilai  $\delta$  negatif. Pada sistem multi rantai, perpindahan ( $\delta$ ) juga terjadi secara positif dan negatif. Bila sebagian rantai mengalami  $\delta$  positif maka di bagian berlawanan akan mengalami  $\delta$  negatif. Sehingga nilai  $H$  yang didapat dari masing-masing rantai harus dijumlahkan menurut vektornya sehingga didapat  $\sum H$  yang merupakan total gaya horizontal sebenarnya.



**Gambar 4.3.1** Restoring force/horizontal force

Apabila tegangan tiap rantai melebihi nilai CBS system rantai maka rantai akan putus dan dikatakan sistem rantai gagal.

#### 4.4 Data Lingkungan

Dari hasil pengumpulan data melalui internet pada situs resmi badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Divisi Maritim, selama periode 100 tahun.

#### 4.5 Pemilihan Rantai

##### 4.5.1 Pemilihan panjang rantai, tegangan awal dan sudut rantai

Dalam penentuan rantai jangkar digunakan patokal awal desain system 4 rantai/line pada *Cottage* Terapung untuk kedalaman 15 m. dengan begitu harus diketahui terlebih dahulu panjang rantai dan tegangan awal rantai yang dibutuhkan pada konfigurasi 4 rantai, sehingga dapat menahan *Cottage* Terapung pada beban-beban operasional dan maksimum.



#### 4.5.2 Perhitungan konfigurasi 4 Rantai

Koordinat masing-masing titik jangkar diuraikan sebagai berikut :

##### 1. Rantai 1

$$\begin{pmatrix} xr \\ yr \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L+1-1-a \\ 0-b \end{pmatrix}$$

Didapat,

$$Lr = x + \delta = \sqrt{(L-a)^2 + (-b)^2}$$

$$\delta_{\text{sebenarnya}} = Lr - x_{\max}$$

##### 2. Rantai 2

$$\begin{pmatrix} xr \\ yr \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0-a \\ L+1-1-b \end{pmatrix}$$

Didapat,

$$Lr = x + \delta = \sqrt{(-a)^2 + (L-b)^2}$$

$$\delta_{\text{sebenarnya}} = Lr - x_{\max}$$

##### 3. Rantai 3

$$\begin{pmatrix} xr \\ yr \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -L-1+1-a \\ 0-b \end{pmatrix}$$

Didapat,

$$Lr = x + \delta = \sqrt{(-L-a)^2 + (-b)^2}$$

$$\delta_{\text{sebenarnya}} = Lr - x_{\max}$$

##### 4. Rantai 4

$$\begin{pmatrix} xr \\ yr \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0-a \\ -L-1+1-b \end{pmatrix}$$

Didapat,

$$Lr = x + \delta = \sqrt{(-a)^2 + (-L-b)^2}$$

$$\delta_{\text{sebenarnya}} = Lr - x_{\max}$$

Dimana  $\delta$  = Defleksi rantai terhadap titik jangkarnya

$x_{\max}$  = titik jangkar maksimum dalam bidang koordinat x-y

selanjutnya, dengan diketahui  $\delta$  sebenarnya dapat dilakukan proses iterasi dari tabel karakteristik nilai *horizontal force* H rantai terhadap  $\delta$ .

## 4.6 Pengolahan Data dan Analisa Rantai Tambat

### 4.6.1 Data Lingkungan

Dari hasil pengumpulan data melalui internet pada situs resmi badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Divisi Maritim, didapatkan data-data sebagai berikut :

no.	Data	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Kedalaman (h)	15	m (SWL)	
2	Suhu Udara	23 - 32,9	°C	
3	Seawater Density	1025	kg/m <sup>3</sup>	
4	Seawater Kinematic Viskosity	1.05 x 10 <sup>-6</sup>	m <sup>2</sup> /s	
5	Angin (wind)			
	Vw max	15	Knot	100 year period
	Vw max	20	Knot	kondisi badai
6	Arus (Current)			
	Vc	0.5	m/s	
	Vc max	2	m/s	
7	Gelombang (wave)			
	Hs	1.2	m	significant wave
	Ts	5.5	s	significant wave
	Hmax	3	m	100 year period
	Tmax	7	s	100 year period
8	Seabed			
	Jenis tanah	<i>soft clay</i> & pasir		
9	range pasang surut	1.1	m	

**Tabel 4.6.1** Data Lingkungan. *Sumber: website BMKG*

### 4.6.2 Data Teknis *Cottage* Terapung

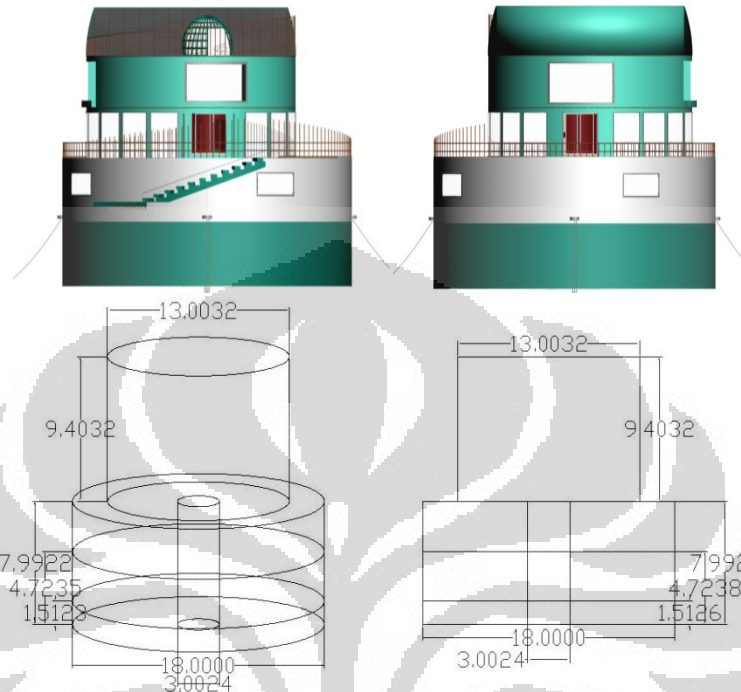
Didapatkan data teknis *Cottage* Terapung secara umum :

no.	Data Umum	Simbol	Nilai	Satuan	Keterangan
<b>Lambung Utama</b>					
1	Diameter	D	18	m	
2	Tinggi	H	3.966	m	
3	Draught	T	4.012	m	
4	berat total		1053.1	ton	w/o rantai
<b>Superstructure</b>					
5	diameter	Ds	13	m	
6	tinggi	Hs	9.6	m	

**Tabel 4.6.2** Dimensi *Cottage* Terapung

### 4.6.3 Penyederhanaan Struktur *Cottage* Terapung

Untuk Penyederhanaan struktur *Cottage* Terapung yang tidak terlalu kompleks maka dimensi per bagian silinder sebagai berikut :



Gambar 4.6.3 Sketsa *Cottage* Terapung

## 4.7 Rancangan Alat Uji Eksperimen *Horizontal Force*

### 4.7.1 Kolam Gelombang Arus

Kolam yang lebih mirip dengan akuarium ini memiliki ukuran lebar 30 cm dengan panjang 10 m dan ketinggian 30 cm, dengan ketinggian air maksimal 25cm. kolam ini digabungkan dengan pompa air yang mengalir dalam system tertutup dimana jika terus dialirkan oleh pompa tersebut maka akan timbul gelombang dan arus air seperti simulasi keadaan sebenarnya pada laut atau sungai.



Gambar 4.7.1 Kolam Simulasi Gelombang (*Lab Hidrolika Teknik Sipil UI*)

#### 4.7.2 Load Cell Transducer

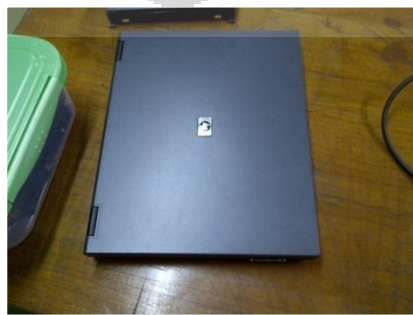
Alat ini digunakan untuk mengukur gaya tarik kapal model pada saat kapal model ditarik. *Loadcell* merupakan suatu *transducer* yang bekerja berdasarkan prinsip deformasi suatu material akibat adanya tegangan mekanis yang bekerja. Besar tegangan mekanis berdasarkan pada deformasi yang diakibatkan oleh regangan. Regangan tersebut terjadi pada lapisan permukaan dari material sehingga dapat terukur pada alat sensor regangan atau *strain gage*. *Strain gage* ini merupakan *transducer* pasif yang merubah suatu pergeseran mekanis menjadi perubahan tahanan/hambatan.



Gambar 4.7.2 Load cell



Gambar 4.7.3 Interface / instrument



Gambar 4.7.4 Laptop (Komputer)

### 4.7.3 Beban

Pemberian beban dilakukan agar sesuai dengan draft kapal pada saat proses penarikan. Dalam hal ini beban berupa pasir dengan total berat yaitu 2 kg dibagi rata sesuai dengan distribusi beban yang telah diperhitungkan sebelumnya.



Gambar 4.7.5 Beban displacement dengan pasir

### 4.7.4 Alat Penyimulasi Beban Angin

Alat elektronik yang terbuat dari dinamo listrik untuk memutar *blades* yang dapat menghasilkan angin dengan beberapa tingkat kecepatan yang dapat disesuaikan (kipas angin listrik). Pada percobaan ini kecepatan yang digunakan yaitu 1,4 m/s karena kecepatan tersebut merupakan skala dari keadaan actual angin di lingkungan kepulauan seribu, lokasi awal yang telah direncanakan.

### 4.7.5 Anemometer

Anemometer adalah alat pengukur kecepatan angin, Selain mengukur kecepatan angin, alat ini juga dapat mengukur besarnya tekanan angin itu. Alat ini bertenaga batu baterai ini terdiri dari 2 buah benda yaitu alat utama tempat untuk membaca data output (*LCD*) dan terhubung melalui kabel adalah sebuah *anemometer vane probe* yang berbentuk seperti kipas, yang akan berputar jika tertiuip angin.

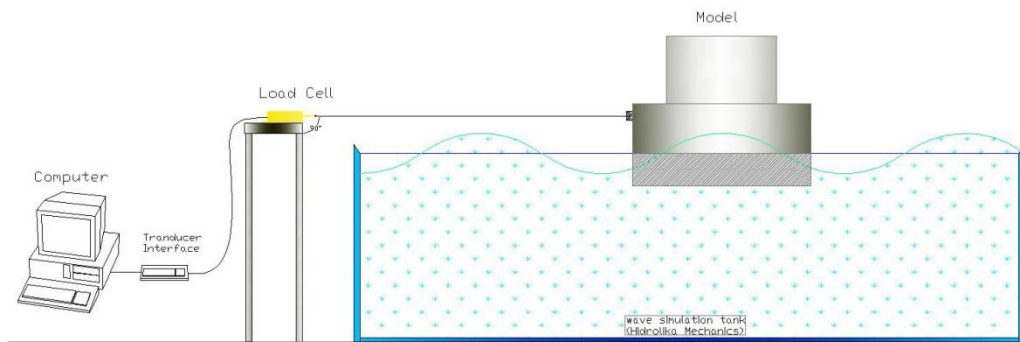


Gambar 4.7.5 Anemometer

#### 4.8 Prosedur Eksperimen Model Fisik

Proses pengujian tegangan tali ini dilakukan dengan keadaan air bergelombang. Adapun langkah-langkah percobaan sebagai berikut :

- a. Model *Cottage* Terapung dipersiapkan untuk proses uji tegangan dengan memasukan beban ke dalam model sesuai dengan perhitungan beban dan draft.
- b. Selanjutnya *load cell* di letakan diatas kolam gelombang dan di skrup agar tidak terjadi goyangan-goyangan. Kemudian ujung *probe*-nya dihubungkan dengan tali yang diikat ke *load cell* dan ujung lainnya ke model *Cottage* Terapung. Posisi tali sejajar (lurus) terhadap ikatan pada *load cell* sampai ikatan pada model.
- c. *Load cell* dihubungkan juga dengan data akusisi yg tersambung ke computer untuk merekam data tegangan tali. Ketika pada saat proses penarikan, gaya tarik tersebut akan dirubah menjadi tegangan dan menghasilkan *output* data.
- d. Kemudian pengambilan data dapat dilakukan pada saat ketinggian gelombang sudah sesuai dengan kondisi yang sudah diperhitungkan.
- e. Pengambilan data dilakukan saat beban lingkungan bekerja maksimal pada model uji, yaitu saat model uji benar-benar terbawa ke arah yang berlawanan dengan tegangan tali secara maksimal oleh beban gelombang dan angin yang diberikan pada model uji.
- f. Kondisi lingkungan dibagi menjadi dua untuk pengambilan data tegangan tali, yaitu saat keadaan tanpa angin dengan adanya gelombang air, dan keadaan angin badai dan gelombang air keadaan badai.
- g. Adapun variasi lingkungan yang lainnya dapat dilakukan sesuai data yang ada, dan tegangan ketika pada saat proses penarikan, gaya tarik tersebut akan dirubah menjadi tegangan dan menghasilkan *output* berupa data.
- h. Pengukuran kecepatan angin pada saat percobaan dilakukan dengan menaruh vane probe di depan model dan didapatkan data kecepatan angin yang sedang bekerja.
- i. Pengambilan data dilakukan sebanyak 10 kali.



**Gambar 4.7.6** Ilustrasi Eksperimen



**Gambar 4.7.7** Mengisi Kolam simulasi dan pengukuran gelombang



**Gambar 4.7.8** meletakkan model uji diatas air kolam gelombang



**Gambar 4.7.9** simulasi beban angin dan pengukurannya

#### 4.9 Pengolahan Data Hasil Eksperimen Model Fisik

Model uji menggunakan lambung silinder dengan skala 1 : 72 pada kolam gelombang yang dapat menyimulasikan keadaan lingkungan di kondisi hampir mendekati keadaan aktual dengan beban gelombang maksimum dan ditambah pula dengan beban angin buatan yang menyerupai keadaan lingkungan aktual.

Pengambilan data *Horizontal Force* yang di dapatkan dari eksperimen ini menggunakan alat *Load Cell Transducer* yang dihubungkan dengan tali ke lambung model uji yang mengapung diatas kolam gelombang secara sejajar antara iktan pada load cell dengan ikatan pada model uji, pada keadaan skala lingkungan sebagai berikut;

Data Lingkungan (skala)		
$h_o$	20.83	cm
Tide	1.5	cm
Kedalaman (h)	22.5	cm
$V_{sig}$	0.8	m/s
$V_{max}$	1.4	m/s
$H_{max}$	4.17	cm
$H_{sig}$	2.43	cm

**Tabel 4.8.1** Data Lingkungan dalam skala

Tali yang terhubung dengan model uji dan *load cell* akan merekam data beban yang terjadi pada model uji pada saat beban lingkungan bekerja pada model uji. Pada percobaan kali ini akan diambil pada keadaan saat paling kritis dimana terjadi badai pada lingkungan dengan keadaan model uji yang *full load*, dan beban datang dari arah  $0^\circ$  yang artinya beban terpusat pada salah satu rantai tambat, ataupun rantai tambat lain telah putus dan menyisakan satu buah rantai tambat saja. Keputusan pengujian ini diambil karena pada keadaan ini lah beban terbesar terjadi dan juga kondisi kritis yang mungkin saja terjadi pada keadaan aktual. Maka dari itu perlu dilakukan simulasi percobaan dalam keadaan kritikal ini agar keamanan dari *Cottage* Terapung ini dapat terjamin. Berikut ini merupakan output yang berupa beban horizontal.



<i>Gelombang</i>		<i>Gelombang + angin</i>	
<b>Horizontal Force (N)</b>		<b>Horizontal Force (N)</b>	
data	Average	data	Average
1	604,274.04	1	612,480.91
2	605,789.02	2	622,265.89
3	620,308.91	3	614,500.90
4	614,118.27	4	609,640.01
5	608,503.92	5	609,261.41
6	605,284.42	6	612,670.15
7	611,533.92	7	609,071.88
8	612,985.91	8	610,586.63
9	609,703.21	9	607,493.55
10	615,574.35	10	602,443.60
<b>ave</b>	<b>610,807.60</b>	<b>ave</b>	<b>611,041.50</b>

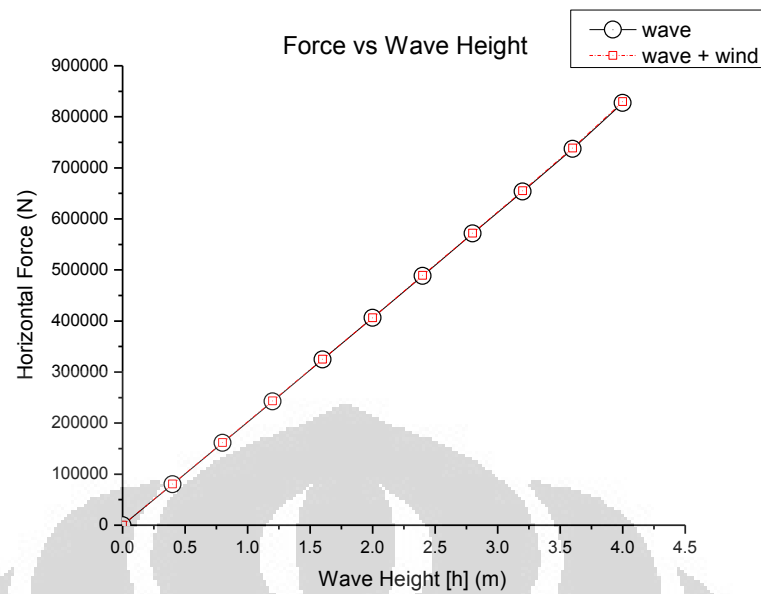
Tabel 4.8.2 Hasil Eksperimen

Hasil pengolahan data ;

#### 4.9.1 *Horizontal Force* terhadap Ketinggian Gelombang

<b>h (m)</b>	<b>Horizontal force 1</b>	<b>Horizontal force 2</b>
0.4	80,325.8137	80569.8726
0.8	161409.1792	161998.2789
1.2	242315.6084	243628.7539
1.6	324535.4259	324939.4197
2	406426.6742	406468.8052
2.4	488469.3071	489227.1348
2.8	571648.8526	572120.1787
3.2	653514.8279	655059.4881
3.6	737401.0840	738689.2239
4	827078.5525	829687.8586

Tabel 4.9.3 nilai horizontal force terhadap ketinggian gelombang



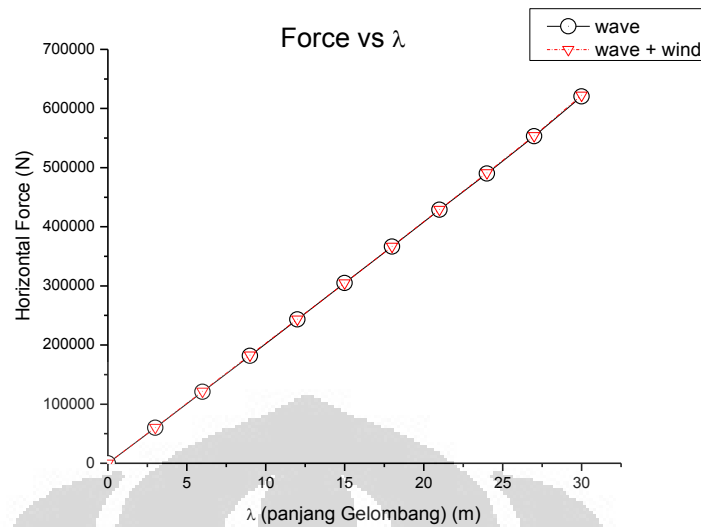
**Gambar 4.9.1** Grafik Horizontal Force vs Ketinggian Gelombang.

Grafik diatas menunjukkan hubungan linier yang terjadi pada horizontal force dengan ketinggian gelombang. Nilai Horizontal force akan naik seiring dengan bertambahnya ketinggian gelombang.  $\Delta_{\text{rata-rata}} = 207,095.8 \text{ N/m}$ .

#### 4.9.2 Horizontal Force Terhadap Panjang Gelombang ( $\lambda$ )

$\lambda$ (m)	Horizontal force 1	Horizontal force 2
3	60244.3602	60427.4044
6	121056.8844	121498.7092
9	181736.7063	182721.5654
12	243401.5694	243704.5648
15	304820.0057	304851.6039
18	366351.9804	366920.3511
21	428736.6395	429090.1340
24	490136.1209	491294.6161
27	553050.8130	554016.9179
30	620308.9144	622265.8939

**Tabel 4.9.4** tabel nilai horizontal force terhadap panjang gelombang



**Gambar 4.9.2** Grafik perbandingan Horizontal force dengan panjang gelombang

Grafik diatas menunjukkan hubungan linier yang terjadi pada horizontal force dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ). Nilai Horizontal force akan naik seiring dengan bertambahnya panjang gelombang ( $\lambda$ ).  $\Delta_{\text{rata-rata}} = 20,709.58 \text{ N/m}$

#### 4.10 Perhitungan Analitik Beban Pada Cottage Terapung

##### 4.10.1 Beban Angin

Perhitungan beban angin dilakukan perbagian *Cottage* Terapung yang berada di atas draught *Cottage* Terapung, dengan persamaan :

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_{\text{air}} \bar{V}^2 C_D A C_H$$

Pada suhu udara  $30.1^\circ\text{C}$  ( $82.27 \text{ F}$ ), kerapatan udara (*air density*) =  $2.27 \times 10^{-3} \text{ slug/ft}^3$  atau sama dengan  $1.1699 \text{ kg/m}^3$ . Sementara kecepatan angin 1 knot =  $0.5144 \text{ m.s}$ , serta  $C_H = 1$ , maka didapatkan :

no	nama bagian	A (m <sup>2</sup> )	C <sub>D</sub>	Keterangan	Fwind (N) (100 year) v = 15 knot	Fwind (N) (badai) V = 20 knot
1	<b>Tabung silinder diatas draught</b>					
	D [m]	18			2237.54	3977.85
	Freeboard [m]	3.966	71.388	0.9 permukaan metal		
	ratio Fb/D	0.22				
2	<b>superstructure</b>					
	D [m]	13	124.8	0.9 permukaan metal	3911.65	6954.05
	H [m]	9.6				
	<b>TOTAL</b>	196.19	1.8	<b>TOTAL</b>	<b>6149.19</b>	<b>10931.90</b>

#### 4.10.2 Beban Arus

Perhitungan beban Arus dilakukan perbagian *Cottage* Terapung yang berada di bawah *draught*, dengan persamaan :

$$F_c = \frac{1}{2} C_D \rho_{sw} A V_c^2$$

Dengan asumsi beban bergerak dari arah yang sama dan seragam, pada *density* air laut = 1025 kg/m<sup>3</sup>, didapatkan :

No	Nama bagian	A(m <sup>2</sup> )	C <sub>D</sub>	Keterangan	F Current (N)	
					V <sub>c</sub> = 0.48 m/s	
1	tabung silinder di bawah <i>draught</i>					
	D [m]	18	72.216	0.9	permukaan metal	7674.538752
	T [m]	4.012				
	ratio T/D	0.22288889				
<b>TOTAL</b>					<b>7674.538752</b>	

#### 4.10.3 Beban Gelombang

Beban gelombang pada *Cottage* Terapung diasumsikan bekerja dalam 1 arah dengan ketinggian gelombang dengan ketinggian gelombang signifikan, kemudian untuk mengetahui beban maksimum, beban gelombang dihitung pada kondisi tinggi gelombang maksimum pada periode perulangan gelombang 100 tahun. Didapatkan parameter gelombang sebagai berikut :

- Panjang Gelombang H<sub>s</sub>

$$L = \frac{T^2 g}{2\pi}$$

$$L = \frac{(3,58s)^2 \times 9,8m/s^2}{2\pi}$$

$$L = 20 \text{ m}$$

- Panjang Gelombang H<sub>max</sub>

$$L = \frac{T^2 g}{2\pi}$$

$$L = \frac{(7s)^2 \times 9,8m/s^2}{2\pi}$$

$$L = 76,4 \text{ m}$$

- Frekuensi Sirkulasi ( $\omega$ ) H<sub>s</sub>

$$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{2\pi g}{L}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2\pi \times 9,8m/s^2}{20 \text{ m}}}$$

$$\omega = 1,75$$

- Frekuensi Sirkulasi ( $\omega$ ) H<sub>max</sub>

$$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{2\pi g}{L}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2\pi \times 9,8m/s^2}{76,4 \text{ m}}}$$

$$\omega = 0,9$$

- Amplitudo gelombang Hs

$$A = \frac{H}{2}$$

$$A = \frac{1,2 \text{ m}}{2} = 0,6 \text{ m}$$

- Amplitudo gelombang Hmax

$$A = \frac{H}{2}$$

$$A = \frac{3 \text{ m}}{2} = 1,5 \text{ m}$$

d/L	Batas nilai kd (2g/L)	Jenis Gelombang
$> \frac{1}{2}$	$\pi \rightarrow \infty$	Gelombang pada perairan dalam (gelombang pendek)
$\frac{1}{20} < \frac{h}{L} < \frac{1}{2}$	$\frac{\pi}{10} \rightarrow \pi$	Gelombang pada perairan antara
$< \frac{1}{20}$	$0 \rightarrow \frac{\pi}{10}$	Gelombang pada perairan dangkal

- $\frac{d}{L} = \frac{10 \text{ m}}{20 \text{ m}} = \frac{1}{2}$  maka masuk pada jenis gelombang pada perairan antara.

- Perhitungan jenis gelombang

Ursell parameter (U) Hs

$$(U) = \frac{HL^2}{h^3} = \frac{1,2 \text{ m} \times (20 \text{ m})^2}{(10 \text{ m})^2} = 4,8$$

Ursell parameter (U) Hmax

$$(U)_{H_{\max}} = \frac{HL^2}{h^3} = \frac{3 \text{ m} \times (20 \text{ m})^2}{(10 \text{ m})^2} = 12$$

Jika nilai :

$U < 15$ , maka teori gelombang sinusoidal berlaku

$U > 15$  dan  $h/L_0 < 0,1$ , maka teori gelombang cnoidal berlaku

$U > 15$  dan  $h/L_0 > 0,1$ , maka kedua teori tidak dapat dipakai

Maka kedua kondisi gelombang masuk ke dalam kategori gelombang sinusoidal.

Dari parameter gelombang diketahui bahwa ratio antara kedalaman dan panjang gelombang, berada pada kisaran  $1/20 < d/L < 1/2$ , sehingga kondisi perairan diketahui termasuk sebagai perairan antara. Kemudian ratio perbandingan struktur diameter *Cottage* Terapung terhadap panjang gelombang berada pada

batasan  $D/L < 0,2$ , sehingga untuk perhitungan beban berlaku persamaan *morrisson*. Sedangkan parameter *Ursell*,  $U < 15$  menunjukkan teori gelombang sinusoidal dapat digunakan. Dengan demikian dapat digunakan persamaan *Morisson* dengan pendekatan pada perairan dangkal. Didapatkan :

1. Pada Kondisi  $H_s$ :

- Kecepatan partikel gelombang :

$$U = \frac{HL}{2hT} \cos 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right)$$

$$U = \frac{1,2m \times 20m}{2 \times 10m \times 3,58s} \cos 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right)$$

$$U = 0,335 \cos 2\pi$$

- Percepatan partikel gelombang :

$$\dot{U} = \frac{\pi HL}{T^2 h} \sin 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right)$$

$$\dot{U} = \frac{\pi \times 1,2m \times 20m}{3,58^2 \times 10m} \sin 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right)$$

$$\dot{U} = 0,588 \sin 2\pi$$

- Maka  $F_{wave}$  adalah :

$$F_w = F_D + F_I$$

$$F_w = \frac{1}{2} \rho C_D D \int_{-d}^0 U |U| + \rho C_M \pi \frac{D^2}{4} \int_{-d}^0 \dot{U} dy$$

$$F_w = \frac{1}{2} \times 1025 \times 0,9 \times 18m \times (0,335 \cos 2\pi)^2 + 1025 \times 2 \times \pi \times \frac{18^2}{4} \times 0,588 \sin 2\pi$$

$$F_w = 1,136 \cos^2 2\pi + 306.581,4 \sin 2\pi$$

2. Pada kondisi  $H_{max}$  :

- Kecepatan partikel gelombang :

$$U = \frac{HL}{2hT} \cos 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right)$$

$$U = \frac{3m \times 76,4m}{2 \times 10m \times 7s} \cos 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right)$$

$$U = 1,637 \cos 2\pi$$

- o Percepatan partikel gelombang :

$$\dot{U} = \frac{\pi HL}{T^2 h} \sin 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right)$$

$$\dot{U} = \frac{\pi \times 3m \times 76,4m}{7^2 \times 10m} \sin 2\pi (10,9 - 0,9)$$

$$\dot{U} = 1,469 \sin 2\pi$$

- o Maka  $F_{\text{wave}}$  adalah :

$$F_w = F_D + F_I$$

$$F_w = \frac{1}{2} \rho C_D D \int_{-d}^0 U |U| + \rho C_M \pi \frac{D^2}{4} \int_{-d}^0 \dot{U} dy$$

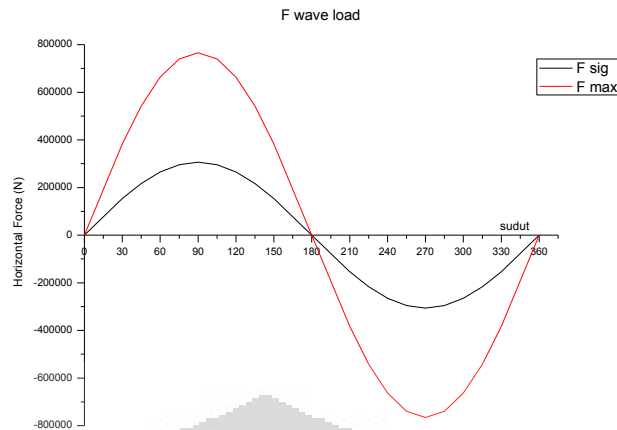
$$F_w = \frac{1}{2} \times 1025 \times 0,9 \times 18m \times (1,637 \cos 2\pi)^2 + 1025 \times 2 \times \pi \times \frac{18^2}{4} \times 1,469 \sin 2\pi$$

$$F_w = 22,25 \cos^2 2\pi + 765.932,19 \sin 2\pi$$

Untuk berbagai kondisi nilai  $h$  (tinggi gelombang) dan  $t$  (periode gelombang) didapatkan :

sudut	Fs	Fmax
0	1.136	22.25
30	153291.6	382982.783
45	216786.4	541606.97
60	265507.6	663322.297
90	306581.4	765932.19
120	265507.6	663322.297
135	216786.4	541606.97
150	153291.6	382982.783
180	1.136	22.25
210	-153290	-382949.408
225	-216785	-541584.72
240	-265507	-663311.172
270	-306581	-765932.19
300	-265507	-663311.172
315	-216785	-541584.72
330	-153290	-382949.408
360	1.136	22.25

**Tabel 4.9.5** Beban Gelombang



**Gambar 4.9.3** grafik beban gelombang.

Grafik diatas merupakan iterasi berbagai kondisi nilai  $h$  (tinggi gelombang) dan  $t$  (periode gelombang) pada beban gelombang,

Karena amplitude pada gaya inersia ( $F_i$ ) lebih besar 2 kali amplitudo gaya drag ( $F_D$ ), dan dapat dilihat juga ratio  $D/W > 0.2$  maka gaya inersia lebih dominan dari pada gaya *drag*. Sehingga dapat ditentukan (*Ciria Underwater Engineering*) :

	<b>F sig (N)</b>	<b>F max (N)</b>
Amplitudo $F_i$	306581.4	765932.19
2 x Amplitudo $F_d$	2.272	44.5
Wave Force =	306581.4	765932.19

#### 4.10.4 Total Beban

Dari penjumlahan beban lingkungan maka didapatkan total beban horizontal yang harus dapat ditahan satu rantai jangkar adalah :

<b>BEBAN</b>		<b>untuk <math>H_{sig}</math></b>	<b>untuk <math>H_{max}</math></b>
Angin	(N)	6,149.19	10,931.90
Arus	(N)	7,674.50	7,674.50
Gelombang	(N)	306,581.40	765,932.19
<b>TOTAL</b>	<b>(N)</b>	<b>320,405.09</b>	<b>784,538.59</b>

Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan untuk beban horizontal yang harus ditahan oleh rantai adalah sebesar 320,405.09 N pada saat gelombang setinggi 3.35 meter. sedangkan pada gelombang setinggi 3 meter didapatkan kondisi beban yang ekstrim yaitu 784,538.59 N.



## 4.11 Perhitungan Konfigurasi Rantai

### 4.11.1 Perhitungan S dan $\delta$ maksimum

Dari total beban dari perhitungan diatas ditentukan bahwa  $H_s$  adalah *Horizontal force* mula-mula ( $H_o$ ) yang artinya masing-masing rantai harus dapat menanggung beban awal sebesar  $H_o$ . Pada kondisi awal yang setimbang tersebut maka sistem tidak akan bergerak sebelum mendapatkan beban di masing-masing rantai atau salah satu rantai lebih dari  $H_o$ .

Dari beban  $H_o$  dan  $H_{max}$  didapat koordinat horizontal rantai  $x_o$  dan  $x$  yang menentukan panjang rantai  $S_o$  dan  $S_{max}$ .

Kemudian untuk mendapat panjang rantai maksimum ( $S_{max}$ ) digunakan beban maksimum yang dapat dialami masing-masing rantai yaitu sebesar  $H_{max}$ .

No	Data	Lambang	Nilai	Satuan
1	Diameter rantai	Dchain	2	inch
2	Grade submerged		U2	
3	weight	w	483.87	N/m
4	CBS material	c U3	1,144,500.00	N
5	CBS rantai	CBS	981,000.00	N
6	Design Stregth	1/3 CBS	327,000.00	N
Horizontal distance				
7	pada $H_o$	$X_o$	140.68	m
8	Pada $H_{max}$	X	220.38	m
Panjang Rantai				
9	Pada $H_o$	$S_o$	141.74	m
10	Pada $H_{max}$	S	220.70	m
11	Pre-Tesion	$T_o$	327,663.14	N
12	Axial elasticity	AE	232,258	N/m <sup>2</sup>

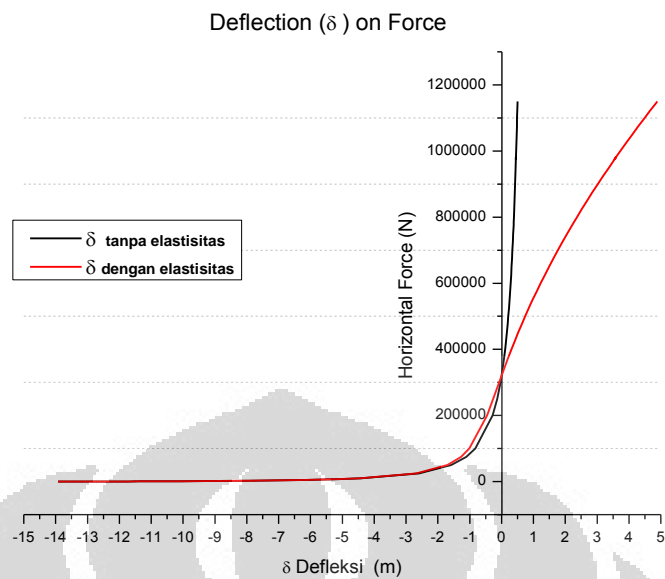
Dapat dilihat dari perhitungan didapatkan nilai 1/3 CBS rantai masih melebihi  $H_o$  namun dibawah  $H_{max}$ . Maka **kondisi dimana kapal harus dilepaskan** adalah saat beban terjadi sebesar 1/3 CBS rantai = 327,000.00 m. Sehingga masih memenuhi standar desain dari **Oil Companies International Marine Forum (OCIMF)**.

Kemudian dengan cara mengintegrasikan nilai  $x$  dan  $S$  pada berbagai kondisi pembebanan  $H$  maka dapat ditemukan hubungan perpindahan defleksi  $\delta$ , dari rantai secara positif dan negatif dihitung dari posisi rantai awal  $x_0$ .

Tabel 4.10.1 *tabel catenary equation*

No	Variabel H	x	S	$\delta$ defleksi	$\delta_e$ defleksi elastis
-21	1	0.02	15.00	-13.92	-13.9216
-20	10	0.15	15.02	-13.81	-13.8095
-19	100	1.03	15.21	-13.11	-13.1134
-18	200	1.78	15.41	-12.56	-12.5657
-17	300	2.43	15.61	-12.12	-12.1182
-16	400	3.01	15.81	-11.73	-11.7331
-15	500	3.55	16.00	-11.39	-11.3928
-14	750	4.74	16.48	-10.68	-10.6779
-13	1,000	5.79	16.94	-10.09	-10.0962
-12	1,500	7.60	17.83	-9.18	-9.1818
-11	2,500	10.53	19.49	-7.90	-7.9119
-10	5,000	15.97	23.13	-6.10	-6.1179
-9	7,500	20.12	26.27	-5.09	-5.1125
-8	10,000	23.60	29.07	-4.41	-4.4455
-7	25,000	38.47	42.13	-2.60	-2.6709
-6	50,000	55.03	57.66	-1.58	-1.7046
-5	75,000	67.65	69.82	-1.11	-1.2718
-4	100,000	78.27	80.16	-0.82	-1.0111
-3	200,000	111.02	112.36	-0.28	-0.4576
-2	250,000	124.20	125.40	-0.14	-0.2631
-1	300,000	136.11	137.20	-0.04	-0.0766
0	320,405	140.68	141.74	0.00	0.0000
1	327,000	142.12	143.17	0.011	0.0249
2	330,000	142.78	143.82	0.02	0.0363
3	350,000	147.06	148.07	0.05	0.1129
4	375,000	152.23	153.22	0.08	0.2105
5	400,000	157.24	158.19	0.11	0.3107
6	425,000	162.10	163.02	0.14	0.4137
7	450,000	166.81	167.71	0.16	0.5197
8	475,000	171.39	172.26	0.19	0.6290
9	500,000	175.86	176.71	0.21	0.7416
10	525,000	180.21	181.04	0.23	0.8577
11	550,000	184.46	185.27	0.25	0.9772
12	575,000	188.61	189.41	0.27	1.1003
13	600,000	192.68	193.46	0.28	1.2269
14	625,000	196.66	197.42	0.30	1.3571

15	650,000	200.56	201.31	0.31	1.4909
16	675,000	204.39	205.12	0.33	1.6282
17	700,000	208.15	208.87	0.34	1.7691
18	725,000	211.84	212.54	0.35	1.9135
19	750,000	215.47	216.16	0.37	2.0615
20	775,000	219.03	219.72	0.38	2.2130
21	784,539	220.38	221.06	0.38	2.2717
22	800,000	222.54	223.22	0.39	2.3680
23	825,000	226.00	226.66	0.40	2.5265
24	850,000	229.40	230.05	0.41	2.6884
25	875,000	232.76	233.40	0.42	2.8537
26	900,000	236.06	236.70	0.43	3.0224
27	925,000	239.32	239.95	0.44	3.1945
28	950,000	242.54	243.16	0.44	3.3700
29	981,000	246.47	247.08	0.45	3.5921
30	975,000	245.71	246.32	0.45	3.5487
31	1,000,000	248.85	249.45	0.46	3.7308
32	1,025,000	251.94	252.54	0.47	3.9161
33	1,050,000	255.00	255.59	0.47	4.1046
34	1,075,000	258.02	258.60	0.48	4.2963
35	1,100,000	261.01	261.58	0.49	4.4913
36	1,120,000	263.37	263.94	0.49	4.6495
BL	1,144,500	266.24	266.80	0.50	4.8461
37	1,150,000	266.88	267.44	0.50	4.8906



**Gambar 4.9.4** Grafik Iterasi Nilai H terhadap defleksi

Grafik diatas menunjukkan nilai defleksi pada rantai tambat yang akan digunakan, dan terlihat elastisitas rantai dapat mencapai  $\pm 5$ m sebelum memasuki fase plastis.  $\Delta_{\text{rata-rata}} = 168,505.9 \text{ N/m}$

$\delta$ -dengan elastisitas menunjukkan  $\delta$  akan lebih besar sehingga efek dari elastisitas system rantai harus diperhitungkan dalam desain system rantai selanjutnya. Dapat dilihat bahwa perpindahan secara negatif pada perhitungan  $\delta$ -dengan elastisitas memerlukan beban yang lebih besar daripada perhitungan  $\delta$  tanpa elastisitas, namun sebaliknya ketika memasuki perpindahan secara positif.

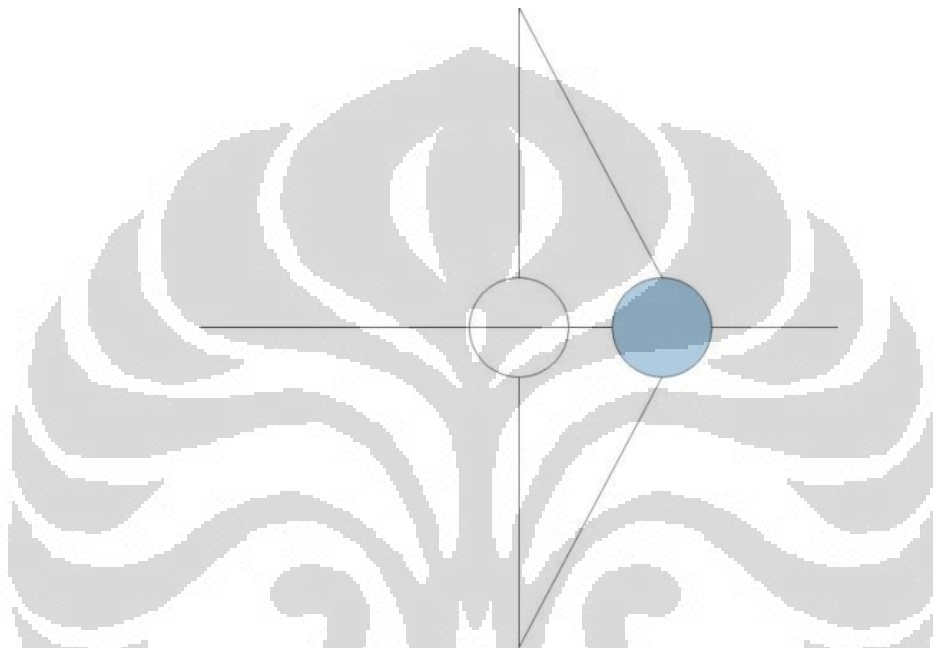
Batas angka 0 menunjukkan posisi rantai awal pada  $x_0$ , dengan  $\delta = 0$ , batas hijau adalah batas panjang rantai yang dipakai. Batas panjang rantai tidak diset pada kondisi 1/3 CBS karena pada saat itu radius titik penambatan (jangkar) tidak mencapai 3 kali panjang kapal desain (*standart Oil Companies International Marine Forum (OCIMF)*) sehingga dipakai panjang rantai pada kondisi beban maksimum ekstrim untuk mempermudah perhitungan selanjutnya.

Apabila diasumsikan jangkar tidak bergerak dan  $\delta > 2.27 \text{ m}$  maka rantai belum akan putus dan mengalami deformasi material dalam fase material elastis, sedangkan ketika mencapai  $\delta > 4.84$  rantai akan memasuki fase plastis dan lama-kelamaan rantai akan putus dan nilai horizontal force  $H = 0$ , sedangkan  $T = wS$ .

#### 4.11.2 Perhitungan Pembebanan Horizontal (H) Tiap Rantai Terhadap $\delta$

Bila perpindahan *Cottage* Terapung,  $c$  meter, bergerak dalam kuadran I dalam arah  $\beta$  maka perpindahan diuraikan dalam perpindahan searah sumbu  $x$  atau  $a$  dan  $y$  atau  $b$ , sehingga dapat dicari  $T$  dan  $H$  yang dialami tiap rantai. Mula-mula ditentukan terlebih dahulu koordinat system rantai sebagai berikut :

1. Pembebanan pada sudut perpindahan  $\beta = 0^\circ$

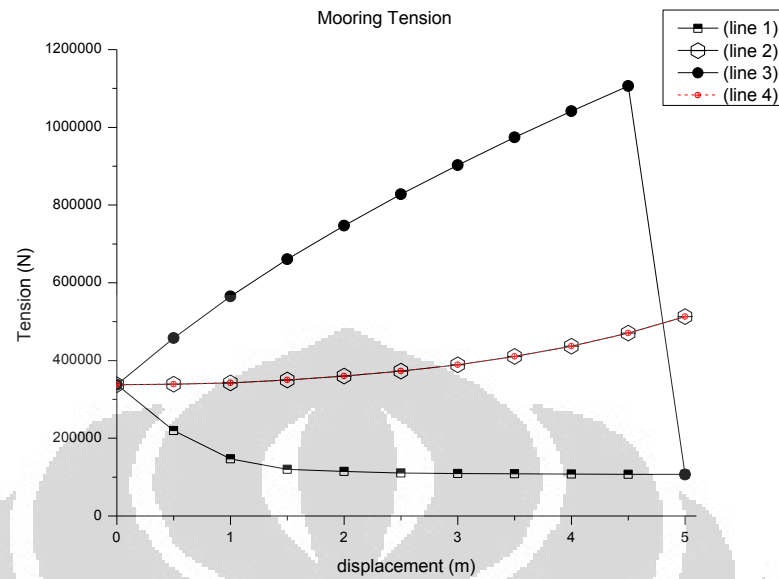


**Gambar 4.9.5** sketsa sudut displacement  $0^\circ$  pada sistem koordinat *Cartesian*.

Gambar diatas menunjukkan perpindahan *Cottage* Terapung dalam sudut perpindahan  $0^\circ$  pada sistem koordinat *Cartesian*.

<b>T1 (N)</b>	<b>T2 (N)</b>	<b>T3 (N)</b>	<b>T4 (N)</b>
337,732.57	337,732.57	337,732.57	337,732.57
219,996.08	338,976.87	457,973.60	338,976.87
147,027.86	342,751.10	564,811.54	342,751.10
120,255.39	350,056.66	660,353.20	350,056.66
114,882.76	359,704.82	747,274.84	359,704.82
110,767.59	372,621.34	827,740.85	372,621.34
109,075.69	389,312.31	903,012.87	389,312.31
108,293.90	410,480.62	974,018.59	410,480.62
107,672.44	437,108.19	1,041,618.95	437,108.19
107,237.22	470,592.39	1,106,268.41	470,592.39
107,082.29	512,969.80	106,788.88	512,969.80

**Tabel 4.11.2** Tegangan tiap rantai pada  $0^\circ$



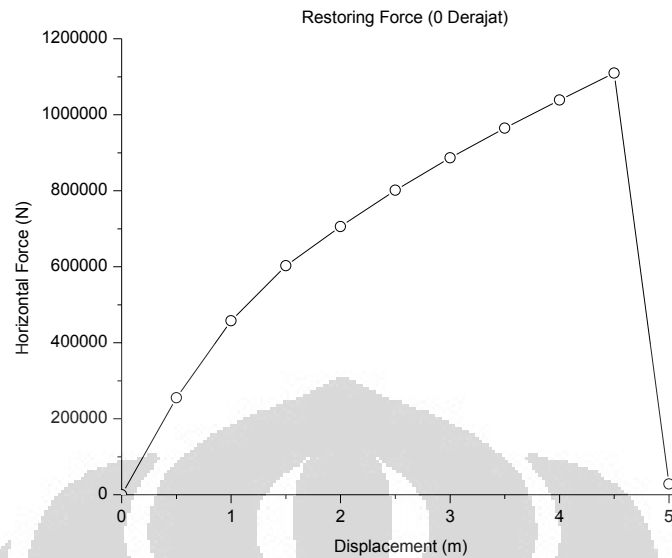
**Gambar 4.9.6** Grafik tegangan tiap rantai di *chain locker* pada *displacement* 0°

Grafik diatas menunjukkan nilai tegangan yang terjadi di setiap rantai tambat seiring berpindahnya *Cottage* Terapung pada sudut perpindahan 0°.  $\Delta 1 = -46,130 \text{ N/m}$ .  $\Delta 2-4 = 35,047.44 \text{ N/m}$   $\Delta 3 = 157,164.8 \text{ N/m}$ .

#### TOTAL GAYA HORIZONTAL / RESTORING FORCE

C	$\beta$	$\Sigma H_x$	$\Sigma H_y$	$\Sigma H_R \text{ (N)}$
0	0	0.00	0	0.00
0.5	0	-255,007.94	0	255,007.94
1	0	-457,567.37	0	457,567.37
1.5	0	-602,386.72	0	602,386.72
2	0	-705,299.39	0	705,299.39
2.5	0	-801,510.42	0	801,510.42
3	0	-886,650.29	0	886,650.29
3.5	0	-964,467.12	0	964,467.12
4	0	-1,038,662.91	0	1,038,662.91
4.5	0	-1,109,632.31	0	1,109,632.31
5	0	-28,290.72	0	28,290.72

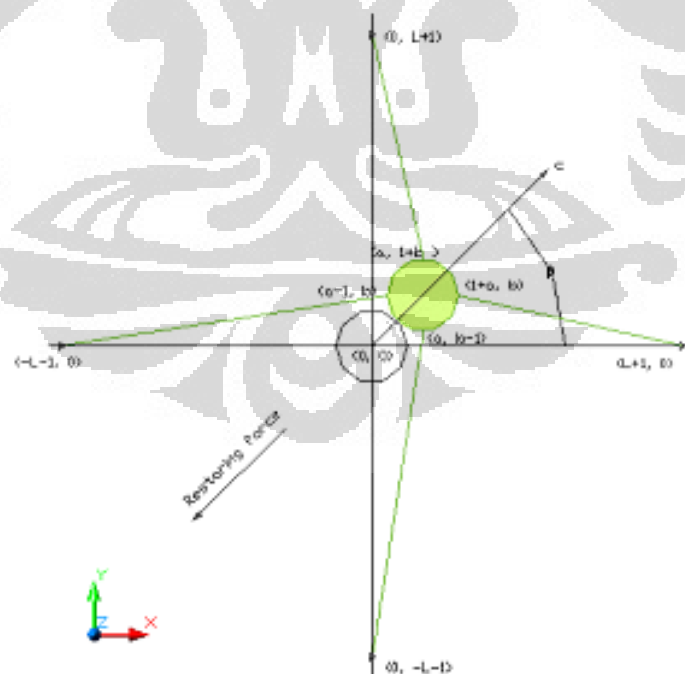
**Tabel 4.11.3** Restoring force pada 0°



**Gambar 4.9.7** Grafik total *restoring force* pada sudut *displacement*  $0^\circ$

Grafik diatas menunjukkan hubungan linier antara nilai gaya pembalik (*restoring force*) per satuan meter dalam kondisi sudut perpindahan  $0^\circ$ , dengan  $\Delta_{rata-rata} = 246,584.95$  N/m.

## 2. Pembebanan pada sudut perpindahan $\beta = 45^\circ$

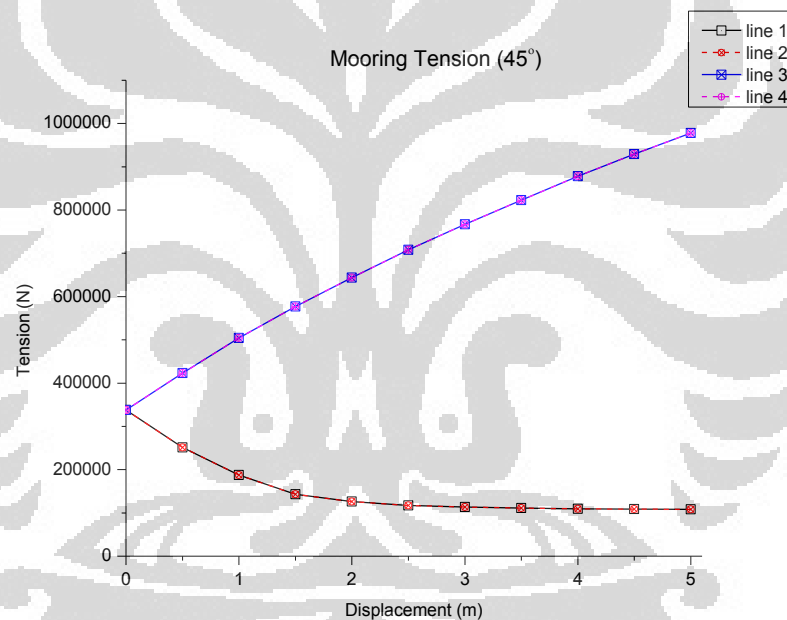


**Gambar 4.10.3** sketsa *displacement*  $45^\circ$  pada sistem koordinat *Cartesian*.

Gambar diatas menunjukkan perpindahan *Cottage* Terapung dalam sudut perpindahan  $45^\circ$  pada sistem koordinat *Cartesian*.

T1 (N)	T2(N)	T3(N)	T4(N)
337,732.57	337,732.57	337,732.57	337,732.57
251,456.65	251,456.65	423,242.27	423,242.27
187,729.47	187,729.47	504,409.73	504,409.73
143,134.45	143,134.45	576,784.94	576,784.94
126,076.17	126,076.17	643,803.30	643,803.30
117,208.19	117,208.19	708,252.39	708,252.39
113,775.14	113,775.14	767,118.35	767,118.35
110,976.75	110,976.75	823,047.63	823,047.63
109,377.78	109,377.78	877,934.03	877,934.03
108,776.27	108,776.27	929,047.80	929,047.80
108,252.29	108,252.29	978,179.97	978,179.97

**Tabel 4.11.4** tegangan tiap rantai pada 45°



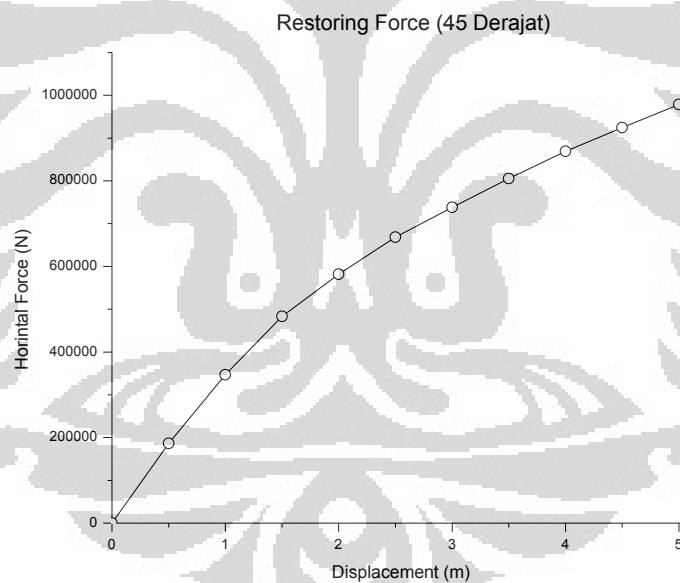
**Gambar 4.9.9** Grafik tegangan tiap rantai di *chain locker* pada *displacement* 45°

Grafik diatas menunjukkan nilai tegangan di setiap rantai tambat seiring dengan perpindahan *Cottage* Terapung pada sudut perpindahan 45°.  $\Delta_{1-2} = -45,896.05 \text{ N/m}$  .  $\Delta_{2-3} = 128,089.5 \text{ N/m}$



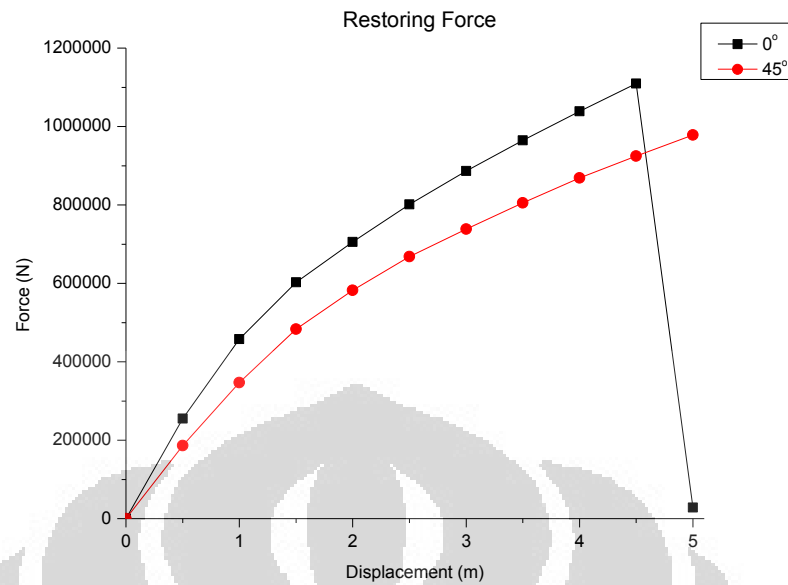
TOTAL GAYA HORIZONTAL / RESTORING FORCE				
C	$\beta$	$\Sigma H_x$	$\Sigma H_y$	$\Sigma H_R$ (N)
0	45	0.00	0.00	0.00
0.5	45	-181,894.45	-181,894.45	186,443.49
1	45	-338,579.32	-338,579.32	347,046.94
1.5	45	-471,505.64	-471,505.64	483,297.65
2	45	-567,868.47	-567,868.47	582,070.44
2.5	45	-651,846.56	-651,846.56	668,148.76
3	45	-720,396.02	-720,396.02	738,412.59
3.5	45	-785,893.15	-785,893.15	805,547.75
4	45	-847,760.13	-847,760.13	868,961.98
4.5	45	-902,193.41	-902,193.41	924,756.60
5	45	-954,595.18	-954,595.18	978,468.90

Tabel 4.11.5 Restoring force pada 45°



Gambar 4.10.1 Grafik total restoring force pada displacement 45°

Grafik diatas menunjukkan hubungan linier antara nilai gaya pembalik (restoring force) per satuan meter dalam kondisi sudut perpindahan 45°, dengan  $\Delta_{rata-rata} = 195,693.78$  N/m.



**Gambar 4.10.2** perbandingan *restoring force*  $0^\circ$  dan  $45^\circ$

Grafik diatas menunjukkan bahwa gaya pembalik pada sudut perpindahan  $0^\circ$  lebih besar dari sudut perpindahan  $45^\circ$ . Hal ini terjadi karena pada kondisi sudut perpindahan  $0^\circ$ , tegangan rantai terpusat di salah satu rantai saja, menyebabkan tidak terdistribusinya tegangan ke rantai lain. Sedangkan pada sudut perpindahan  $45^\circ$  tegangan pada rantai terdistribusi dengan ke-empat rantai yang ada sehingga gaya pengembali yang dibutuhkan lebih kecil.

#### 4.11.3 Sudut Instalasi Rantai

Dari  $H_o$  yang diketahui maka dapat diketahui sudut instalasi masing-masing rantai dengan interpolasi dari tabel 2.7 dimana  $H_{max}$  dibaca sebagai  $T_H$  (beban horizontal), didapatkan :

$T_H$ (kN)	$\theta$
880.65	$8.567^\circ$
630.44	$10.27^\circ$

$$H_{max} = 784,538.59 \text{ N}$$

$$\theta = 8.567 + \left( \frac{784,538.59 \times (10.27 - 8.567)}{880,650 - 630,440} \right)$$

$$\theta = 9.11^\circ$$

#### 4.12 Pemilihan Shackle Dan Arrangement

Arrangement rantai terdiri dari beberapa paket rantai yang disebut *length*, dan setiap *length* disambung dengan *shackle*. Pada konfigurasi mooring yang baru akan dipasang.

Pemilihan diameter shackle minimum pada jangkar sesuai dengan regulasi DNV sebesar :

$$D_{shackle} = 1.4 \times d_{chain}$$

$$D_{shackle} = 1.4 \times 50.8 \text{ mm}$$

$$D_{shackle} = 71.12 \text{ mm}$$

Diameter pin *shackle*

$$D_{pin} = 1.5 \times d_{chain}$$

$$D_{pin} = 76.2 \text{ mm}$$

Jumlah *length* rangkaian rantai :

$$\text{Jumlah length} = S_{rantai} \div 27.5$$

$$\text{Jumlah length} = 220 \div 27.5$$

$$\text{Jumlah length} = 8 \text{ set}$$

Dengan demikian akan terpasang joining shackle sebanyak 8 buah, dipilih joining shackle sesuai dengan regulasi DNV yaitu jenis D-type dengan spesifikasi;

$$D_{shackle} = 1.3 \times d_{chain}$$

$$D_{shackle} = 1.3 \times 50.8 \text{ mm}$$

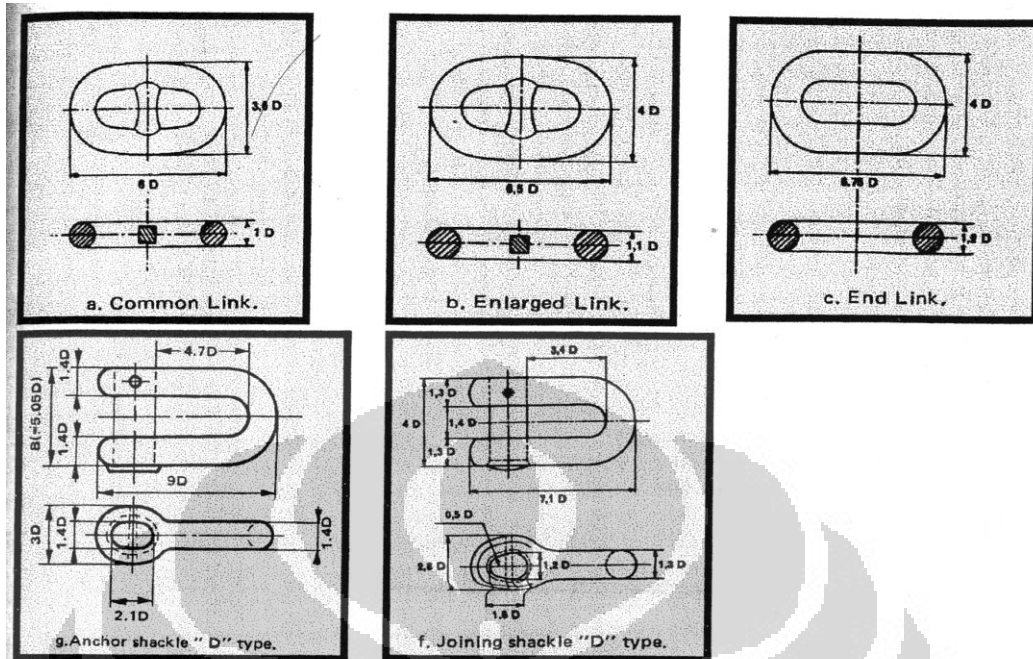
$$D_{shackle} = 66.04 \text{ mm}$$

Pada setiap *shackle* akan memiliki 2 buah *enlarged link*, sehingga total *enlarged link* yang dibutuhkan sebanyak 26 buah pada rangkaian rantai, dan 1 buah *enlarged link* dan 1 buah *special end link* pada penyambungan *common link* ke *anchor*.

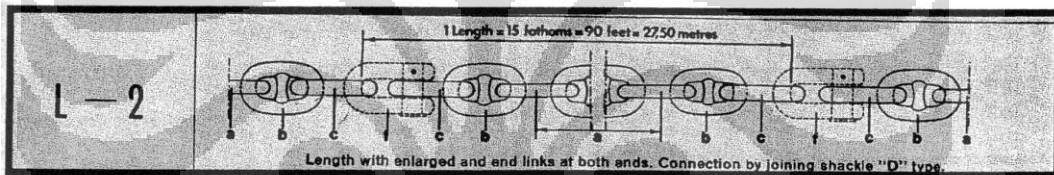
$$D_{enlarged link} = 1.1 \times d_{chain} = 55.88 = 56 \text{ mm}$$

$$D_{special link} = 1.2 \times d_{chain} = 60.96 = 61 \text{ mm}$$

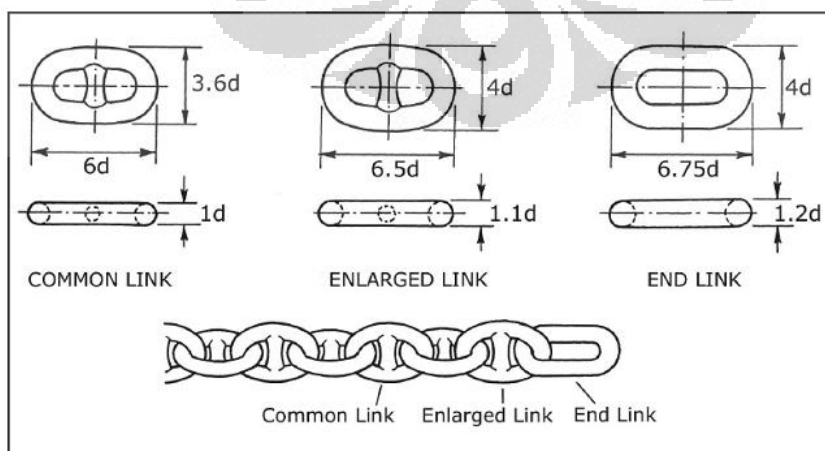
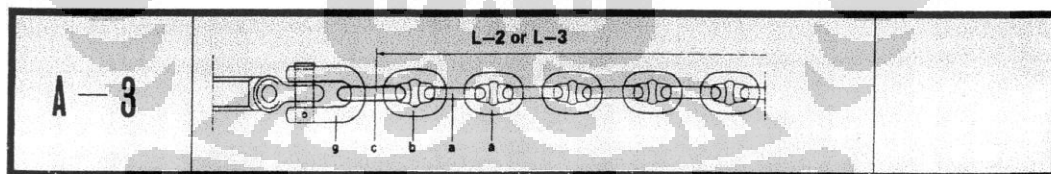
Berikut adalah gambar rangkaian yang akan digunakan:



Common Link yang akan dipakai adalah dengan rangkaian sebagai berikut :



Sedangkan untuk kopling ke jangkar adalah sebagai berikut :



Gambar 4.12.1 rangkaian mooring chain

Dengan demikian konfigurasi rantai system konfigurasi 4-4 dengan panjang rantai dan titik jangkar yang disesuaikan untuk kedalaman 15 m dan disesuaikan dengan kebutuhan didapatkan dari hasil perhitungan sebagai berikut;

<b>panjang rantai (S)</b>	220.7 m
<b>X max</b>	220.38 m
<b>X awal</b>	140.68 m
<b>sudut antar rantai</b>	90 derajat

Panjang rantai tersebut masih ditambahkan dengan panjang rantai untuk pemasangan jangkar (instalasi) sepanjang 1 set rangkaian jangkar dan panjang rantai yang dilebihkan di chain stopper diinstalasi pada titik di dasar laut sejauh  $x_{\max} = 220.7$  m dihitung dari masing-masing *chain stopper*. Dengan demikian panjang rantai memenuhi syarat minimum **Oil Companies International Marine Forum (OCIMF)** yang mensyaratkan lingkaran rantai minimum sepanjang 3x kapal desain.

#### 4.13 Pemilihan Jangkar

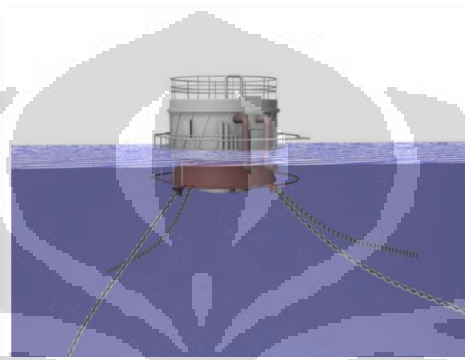
Pemilihan jangkar tercantum dalam regulasi klasifikasi DNV tentang *position mooring* untuk dapat menahan beban sebesar *proof load* maksimum atau tegangan rantai maksimum dengan konfigurasi 4-4 terjadi pada defleksi rantai 4.84 m (elastisitas diperhitungkan) sebesar beban horizontal maksimum ketika rantai mulai putus sebesar 1,370,00 N dengan *proof load* tegangan rantai 981,000 N atau dapat lebih rendah 80% dari maksimum *proof load* saat rantai putus yaitu sebesar 784,800 N (DNV-OS-E 301, *Position Mooring*, 2004)

Dengan demikian dipilihlah jangkar yang sesuai dengan kondisi dasar laut di kedalaman 15 m di perairan Kepulauan Seribu yang sebagian besar berupa pasir dan *soft silty clay* yaitu jangkar yang memiliki *fluke angle* sebesar  $50^\circ$  agar mampu penetrasi kedalam permukaan bawah laut dengan baik sehingga memberikan daya cengkram yang maksimum pula.

Karena dasar laut berupa pasir, ada kemungkinan dasar laut tidak stabil untuk jangkar yang berat dan akan menyebabkan jangkar akan terus semakin masuk kedalam pasir. Apabila jangkar masuk terlalu dalam maka titik jangkar  $x$  juga akan berubah semakin kecil, menyebabkan rantai efektif yang bekerja juga

semakin pendek. Hal ini membuat tegangan rantai bertambah. Apabila perubahan tegangan pada satu rantai tidak diimbangi dengan perubahan tegangan yang sama pada titik jangkar yang lainnya maka dapat menyebabkan posisi bangunan menjadi miring.

Oleh karena itu dipilih jangkar dengan category HHP (*High Holding Power*) yang memiliki berat lebih ringan dengan *holding capacity* yang besar dengan *fluke angle*  $50^\circ$ .



Gambar 4.12.2 Ilustrasi Sistem Tambat pada *Cottage* terapung

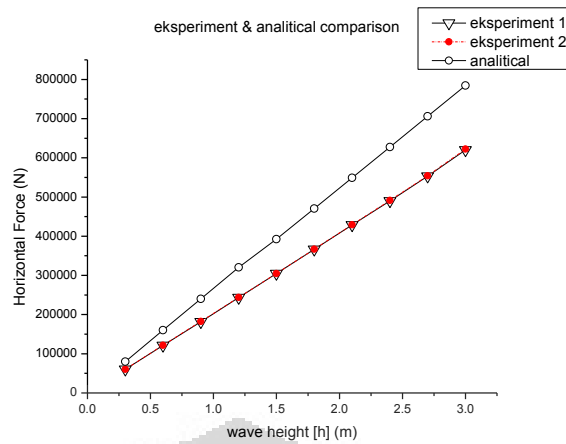
#### 4.14 Sistem Anchor Windlass

Sistem *Windlass* yang akan digunakan pada sistem rantai tambat adalah *windlass* dengan deteksi tegangan otomatis. Dengan sistem *windlass* otomatis maka akan mendeteksi besaran tegangan yang bekerja pada rantai dan akan melakukan reaksi tarik ulur rantai yang sesuai dengan kebutuhan agar *cottage* terapung tetap pada posisi-nya.

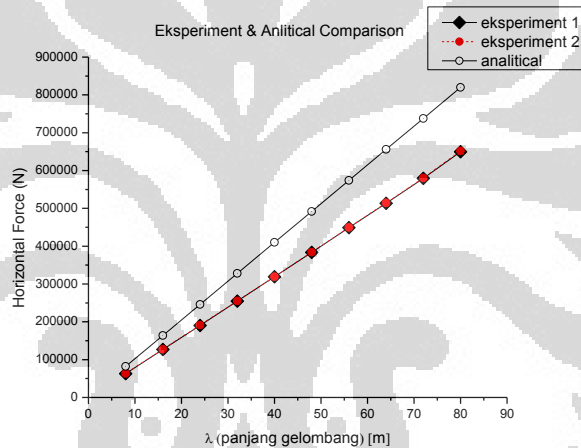
#### 4.14 Analisa

##### 4.14.1 Analisa Perbandingan Hasil Eksperimen dan Analitik

Setelah melakukan percobaan eksperimen dengan menggunakan *load celly* yang dihubungkan dengan model uji pada simulasi beban gelombang di kolam simulasi gelombang (Lab Hidrolika) dan juga perhitungan analitik sesuai dengan regulasi yang ada, maka dapat dibandingkan hasil data & perhitungan yang didapatkan dari kedua metode tersebut, dapat dilihat pada grafik 4.14.1 yang terlampir sebagai berikut:

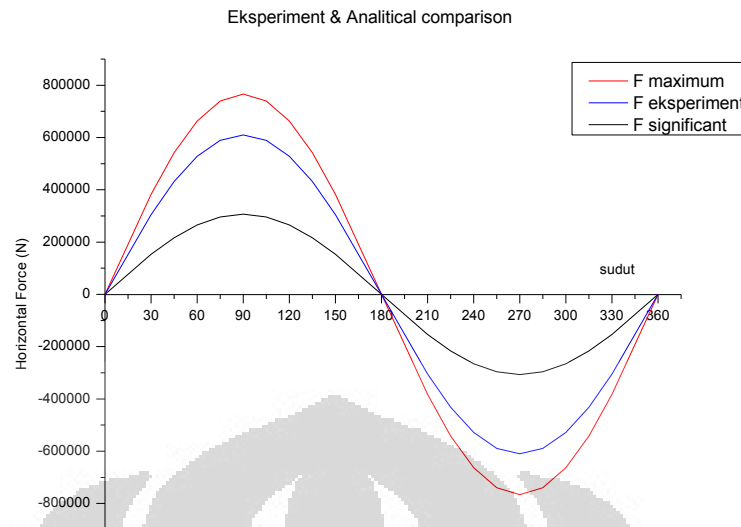


**Gambar 4.14.1** grafik perbandingan hasil eksperimen dengan perhitungan analitik ketinggian gelombang



**Gambar 4.14.2** grafik perbandingan hasil eksperimen dengan perhitungan analitik panjang gelombang

Dapat dilihat pada grafik-grafik diatas bahwa hasil eksperimen yang didapatkan berada dibawah hasil perhitungan analitik. Hasil data yang didapatkan dari hasil eksperimen cukup mendekati hasil dari perhitungan analitik, walaupun sedikit berbeda tetapi dapat terlihat bahwa keadaan aktual dapat tergambarkan dengan eksperimen yang telah dilakukan, seperti karakteristik (*behavior*) Cottage Terapung ini di air (*actual environment*) dan juga gaya-gaya lingkungan yang bekerja pada Cottage Terapung dapat disimulasikan dengan baik dengan keadaan yang cukup mendekati keadaan aktual.



**Gambar 4.14.3** grafik perbandingan iterasi berbagai kondisi nilai  $h$  (tinggi gelombang) dan  $t$  (periode gelombang) pada beban gelombang hasil eksperimen dengan perhitungan analitik pada beban gelombang

F signifikan	306,581.4	N
F maksimum	765,932.2	N
F Eksperimen	610,220.8	N

Grafik perbandingan iterasi berbagai kondisi nilai  $h$  (tinggi gelombang) dan  $t$  (periode gelombang) pada beban gelombang hasil eksperimen dan hasil perhitungan analitik didapatkan hasil yang berbeda namun cukup mendekati. Terlihat nilai gaya gelombang hasil eksperimen dengan nilai  $F_{eks} = 610,220.8$  N berada diantara hasil perhitungan gaya gelombang pada ketinggian gelombang maksimum ( $H_{max}$ ) dengan ketinggian gelombang signifikan ( $H_{sig}$ ). hal ini terjadi karena kesulitan-kesulitan yang terjadi di dalam eksperimen yang dilakukan seperti sulitnya melakukan pengukuran dengan alat pengukuran sederhana.

Perhitungan dengan metode analitik juga tidak 100% tepat dengan keadaan sesungguhnya, perhitungan dengan rumus-rumus dan regulasi ini hanyalah pendekatan-pendekatan yang diciptakan oleh para ahli dengan tujuan pendekatan dengan keadaan actual untuk mempermudah untuk menggambarkan keadaan sebenarnya.



Asumsi yang dapat disimpulkan dalam analisa ini yaitu dengan metode analitik kita mendapatkan hasil ‘terburuk’ (*worst scenario*) yang akan terjadi dan dengan percobaan kita mendapatkan hasil ‘terburuk’ kedua. Untuk itu aman untuk dikatakan bahwa keadaan sebenarnya berada diantara kedua-nya.

#### 4.14.2 Analisa Percobaan Eksperiment

Dalam sebuah eksperimen tentu tidak dapat dihindari terdapat kesalahan-kesalahan yang terjadi. Hal ini sulit untuk dihindari tetapi dapat diminimalisir dengan ketekunan, ketelitian dan kesabaran.

Seperti dalam pembuatan gelombang di dalam kolam gelombang, cukup sulit untuk melakukan pengukuran gelombang karena keterbatasan alat ukur yang ada dan juga kurang teliti-nya mata manusia dalam pengukuran. Kesalahan juga dapat terjadi dalam geometri skala model uji, karena tidak 100% mendekati benda aslinya.

Hal ini terjadi karena berbagai macam faktor-faktor kelsalahan yang dapat terjadi pada eksperimen seperti ini yaitu ketidak presisi-an pada setiap variable yang ada karena sulitnya pengukuran dan juga terbatasnya alat metrologi pengukuran yang ada. Kedua yaitu kalibrasi alat yang tidak sempurna faktor manusia yang kurang telitian dalam pembacaan data, pengukuran dan lain-lain.

#### 4.14.3 Analisa Konfigurasi Tambat

Sistem konfigurasi tambat 4-4 digunakan karena merupakan konfigurasi yang paling sederhana dan mudah untuk proses instalasi-nya tetapi telah cukup untuk memenuhi syarat dari *Oil Companies International Marine Forum* (OCIMF) yaitu diameter lingkaran sistem tambat 3 kali atau lebih dari panjang kapal, dan Nilai *Critical Breaking Strength* pada rantai yang digunakan harus memiliki nilai *safety factor* minimal 3 atau dengan arti lain beban maksimum 1/3 dari beban saat rantai putus , sehingga dapat digunakan pada *Cottage* Terapung ini. Sistem dengan konfigurasi 4-4 ini merupakan sistem dengan biaya paling rendah dibandingkan dengan konfigurasi-konfigurasi yang lebih kompleks lainnya.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan, perhitungan dan analisa ini, maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu sebagai berikut :

1. Stabilitas Model *Cottage* Terapung :
  - a) Stabilitas *Cottage* Terapung memenuhi syarat-syarat yang telah ditentukan oleh IMO sehingga dapat dikatakan memiliki stabilitas yang baik.
  - b) Kondisi awal dengan muatan kosong memiliki nilai GZ paling tinggi dan berkurang seiring bertambahnya muatan.
  - c) Kondisi draft penuh lebih kaku dari kondisi draft kosong, hal ini dapat dilihat dari *rolling period* di kedua kondisi tersebut.
  - d) Hasil simulasi *inclining experiment* pada model tidak dapat langsung diterapkan sebagai hasil *Cottage* terapung sebenarnya, harus dilakukan *inclining test* pada *Cottage* terapung aslinya.
  - e) Dengan menggunakan model kita dapat memperkirakan karakteristik *Cottage* terapung sebenarnya dengan beberapa koreksi sebagai batasan dalam penelitian
  
2. Sistem Tambat Model *Cottage* Terapung :
  - a) Beban yang dialami oleh rantai pada *Cottage* silinder terapung ini disebabkan oleh beban lingkungan yang bekerja pada *Cottage* terapung.
  - b) Beban gelombang adalah beban yang paling dominan dari semua beban yang bekerja pada *Cottage* terapung ( $> 80\%$  dari total beban).
  - c) Sistem tambat yang digunakan adalah konfigurasi 4-4.
  - d) Beban terbesar yang dialami oleh rantai ketika kondisi lingkungan mencapai keadaan kritis (maksimum / badai) diperkirakan pada

ketinggian gelombang mencapai 3 meter dengan periode gelombang 7 detik

- e) Pada *displacement* arah  $0^\circ$  beban terbesar dialami oleh rantai 3 sedangkan rantai 2 dan 4 tidak terlalu memberikan *restoring force* atau gaya pengembali yang sebanding dengan rantai 3. Sedangkan pada perpindahan *Cottage* silinder terapung arah  $45^\circ$  *restoring force* terbagi merata pada rantai 3 dan 4. Dari hal tersebut menunjukkan pergerakan *Cottage* silinder terapung yang sejajar dengan salah satu panjang rantai dapat menyebabkan putusya rantai yang ada pada posisi berlawanan arah gerak sistem tersebut.

## 5.2 Saran

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

1. Terdapat banyak variasi lebih lanjut untuk penelitian berikutnya, diharapkan penelitian selanjutnya agar memperhitungkan detail-detail lainnya dan juga perhitungan hingga stabilitas dinamisnya.
2. Diharapkan percobaan berikutnya untuk melibatkan penggunaan bantuan *softwares* untuk perhitungan yang lebih presisi dan mendekati keadaan sebenarnya.

## DAFTAR PUSTAKA

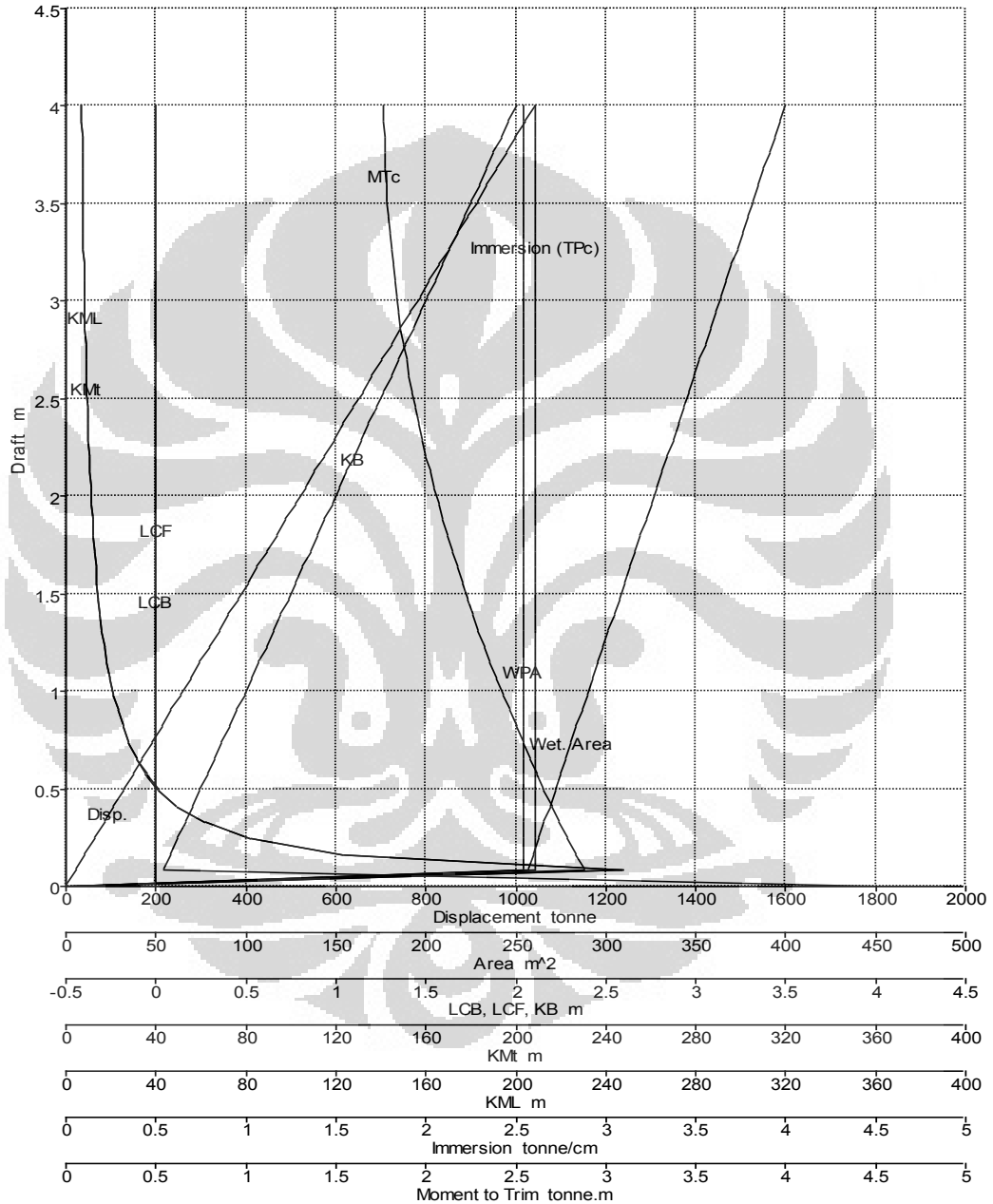
- H.Phoels. *Ship Design and Ship Theory*.
- IMO Regulation about *Ship Stability*.
- Ir. M.A. Talahatu M.T. 1978. *Teori Merancang Kapal*. Departemen Teknik Mesin FTUI: Depok.
- Ir. M.A. Talahatu M.T. *Hydromekanika Kapal 1 dan 2*. Departemen Teknik Mesin FTUI: Depok.
- Istopo. 1972. *Stabilitas Kapal Untuk Perwira Kapal Niaga*.
- John La Dage dan Lee Van Gemert. *Stability and Trim for The Ship's Officer*.
- 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, PP. 1972. *Stabilitas Kapal Jilid II. Penuntun Dalam Menyelesaikan Masalah*.
- Anonymous, *Appendix 4: Single Point Mooring Guidelines- TERMPOOL Process 2001*, diakses tanggal 21-3-2012
- Anonymous, *Dynamic of Marine Structure*, (Ciria Underwater Engineering Group, 1978)
- Anonymous, *Offshore Standart DNV-OS-E301 : Position Mooring*, October 2004. Diakses tanggal 5- 4 – 2012
- De Nevers, Noel, *Fluid Mechanic for Chemical Engineers 2<sup>nd</sup> ed.* (McGraw-Hill, 1991)
- Francis Weston Sears, *Mechanic, Wave Motion and Heat*, (Addison-Wesley Publishing company. Inc., 1958)
- IMODCO, SBM. CALM Catenary Anchor Leg Mooring Buoy Terminal System, Company Product., diakses tanggal 26-4-2012 dari [www.sbmimodco.com](http://www.sbmimodco.com)
- Jammaluddin, Marjono, M.Z. Arifin, “*Model Matematika Untuk Daya Cengkram Jangkar Pada Sistem Penambatan Kapal Apung Lepas Pantai Selat Makasar*”, *Jurnal pada Seminar Nasional MIPA UI*. 2005
- Kramadibrata, Soedjono. *Perencanaan Pelabuhan*. (bandung, Ganeca Exact)
- Prof. B. Boon, *Lokakarya 40 jam, Rancang Bangun Anjungan Lepas Pantai. Kampus UI Depok 3 s/d 8 Oktober 1988*. (FTUI 1988)
- Prof. K. Kokkinowrachos, *Offshore Structure, General Design Consideration*. (Tech University Aachen)

## LAMPIRAN

### Hydrostatics - cylinderKN Damage Case - Intact

Fixed Trim = 0 m (+ve by stern)

Relative Density (specific gravity) = 1.025; (Density = 1.0252 tonne/m<sup>3</sup>)



Draft Amidsh. m	4.000	3.918	3.837	3.755
Displacement tonne	1041	1020	998.9	977.7
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	4.000	3.918	3.837	3.755
Draft at AP m	4.000	3.918	3.837	3.755
Draft at LCF m	4.000	3.918	3.837	3.755
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000
WL Length m	18.000	18.000	18.000	18.000
WL Beam m	17.994	17.994	17.994	17.994
Wetted Area m <sup>2</sup>	399.741	396.766	393.791	390.815
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	253.956	253.956	253.956	253.956
Prismatic Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Block Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Midship Area Coeff.	1.000	1.000	1.000	1.000
Waterpl. Area Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
KB m	2.000	1.959	1.918	1.878
KG m	4.000	4.000	4.000	4.000
BMt m	5.050	5.155	5.265	5.379
BML m	5.055	5.160	5.270	5.385
GMt m	3.050	3.114	3.183	3.257
GML m	3.055	3.119	3.188	3.262
KMt m	7.050	7.114	7.183	7.257
KML m	7.055	7.119	7.188	7.262
Immersion (TPc) tonne/cm	2.604	2.604	2.604	2.604
MTc tonne.m	1.767	1.768	1.769	1.772
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	55.436	55.451	55.497	55.572
Max deck inclination deg	0.0	0.0	0.0	0.0
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0	0.0	0.0	0.0

Draft Amidsh. m	3.673	3.592	3.510	3.429
Displacement tonne	956.4	935.2	913.9	892.6
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	3.673	3.592	3.510	3.429
Draft at AP m	3.673	3.592	3.510	3.429
Draft at LCF m	3.673	3.592	3.510	3.429
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000
WL Length m	18.000	18.000	18.000	18.000
WL Beam m	17.994	17.994	17.994	17.994
Wetted Area m <sup>2</sup>	387.840	384.865	381.890	378.915
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	253.956	253.956	253.956	253.956
Prismatic Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Block Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Midship Area Coeff.	1.000	1.000	1.000	1.000
Waterpl. Area Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
KB m	1.837	1.796	1.755	1.714
KG m	4.000	4.000	4.000	4.000

BMt m	5.499	5.624	5.755	5.892
BML m	5.504	5.629	5.760	5.897
GMt m	3.336	3.420	3.510	3.606
GML m	3.341	3.425	3.515	3.612
KMt m	7.336	7.420	7.510	7.606
KML m	7.341	7.425	7.515	7.612
Immersion (TPc) tonne/cm	2.604	2.604	2.604	2.604
MTc tonne.m	1.775	1.779	1.785	1.791
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	55.678	55.814	55.981	56.178
Max deck inclination deg	0.0	0.0	0.0	0.0
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0	0.0	0.0	0.0

Draft Amidsh. m	3.347	3.265	3.184	3.102
Displacement tonne	871.4	850.1	828.9	807.6
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	3.347	3.265	3.184	3.102
Draft at AP m	3.347	3.265	3.184	3.102
Draft at LCF m	3.347	3.265	3.184	3.102
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000
WL Length m	18.000	18.000	18.000	18.000
WL Beam m	17.994	17.994	17.994	17.994
Wetted Area m <sup>2</sup>	375.939	372.964	369.989	367.014
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	253.956	253.956	253.956	253.956
Prismatic Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Block Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Midship Area Coeff.	1.000	1.000	1.000	1.000
Waterpl. Area Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
KB m	1.673	1.633	1.592	1.551
KG m	4.000	4.000	4.000	4.000
BMt m	6.035	6.186	6.345	6.512
BML m	6.041	6.192	6.351	6.518
GMt m	3.709	3.819	3.937	4.063
GML m	3.715	3.825	3.943	4.069
KMt m	7.709	7.819	7.937	8.063
KML m	7.715	7.825	7.943	8.069
Immersion (TPc) tonne/cm	2.604	2.604	2.604	2.604
MTc tonne.m	1.798	1.806	1.816	1.826
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	56.405	56.662	56.950	57.268
Max deck inclination deg	0.0	0.0	0.0	0.0
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0	0.0	0.0	0.0

Draft Amidsh. m	3.020	2.939	2.857	2.776
Displacement tonne	786.4	765.1	743.9	722.6
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	3.020	2.939	2.857	2.776
Draft at AP m	3.020	2.939	2.857	2.776
Draft at LCF m	3.020	2.939	2.857	2.776
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000

WL Length m	18.000	18.000	18.000	18.000
WL Beam m	17.994	17.994	17.994	17.994
Wetted Area m <sup>2</sup>	364.039	361.063	358.088	355.113
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	253.956	253.956	253.956	253.956
Prismatic Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Block Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Midship Area Coeff.	1.000	1.000	1.000	1.000
Waterpl. Area Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
KB m	1.510	1.469	1.429	1.388
KG m	4.000	4.000	4.000	4.000
BMt m	6.688	6.874	7.070	7.278
BML m	6.694	6.880	7.077	7.285
GMt m	4.198	4.343	4.499	4.666
GML m	4.204	4.350	4.505	4.673
KMt m	8.198	8.343	8.499	8.666
KML m	8.204	8.350	8.505	8.673
Immersion (TPc) tonne/cm	2.604	2.604	2.604	2.604
MTc tonne.m	1.837	1.849	1.862	1.876
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	57.616	57.995	58.403	58.842
Max deck inclination deg	0.0	0.0	0.0	0.0
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0	0.0	0.0	0.0

Draft Amidsh. m	2.694	2.612	2.531	2.449
Displacement tonne	701.4	680.1	658.9	637.6
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	2.694	2.612	2.531	2.449
Draft at AP m	2.694	2.612	2.531	2.449
Draft at LCF m	2.694	2.612	2.531	2.449
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000
WL Length m	18.000	18.000	18.000	18.000
WL Beam m	17.994	17.994	17.994	17.994
Wetted Area m <sup>2</sup>	352.138	349.162	346.187	343.212
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	253.956	253.956	253.956	253.956
Prismatic Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Block Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Midship Area Coeff.	1.000	1.000	1.000	1.000
Waterpl. Area Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
KB m	1.347	1.306	1.265	1.224
KG m	4.000	4.000	4.000	4.000
BMt m	7.499	7.733	7.982	8.248
BML m	7.506	7.740	7.990	8.256
GMt m	4.846	5.039	5.248	5.473
GML m	4.853	5.046	5.255	5.481
KMt m	8.846	9.039	9.248	9.473
KML m	8.853	9.046	9.255	9.481
Immersion (TPc) tonne/cm	2.604	2.604	2.604	2.604



MTc tonne.m	1.891	1.907	1.924	1.941
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	59.312	59.811	60.341	60.901
Max deck inclination deg	0.0	0.0	0.0	0.0
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0	0.0	0.0	0.0

Draft Amidsh. m	2.367	2.286	2.204	2.122
Displacement tonne	616.4	595.1	573.8	552.6
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	2.367	2.286	2.204	2.122
Draft at AP m	2.367	2.286	2.204	2.122
Draft at LCF m	2.367	2.286	2.204	2.122
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000
WL Length m	18.000	18.000	18.000	18.000
WL Beam m	17.994	17.994	17.994	17.994
Wetted Area m <sup>2</sup>	340.237	337.262	334.286	331.311
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	253.956	253.956	253.956	253.956
Prismatic Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Block Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Midship Area Coeff.	1.000	1.000	1.000	1.000
Waterpl. Area Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
KB m	1.184	1.143	1.102	1.061
KG m	4.000	4.000	4.000	4.000
BMt m	8.533	8.838	9.165	9.517
BML m	8.541	8.846	9.174	9.526
GMt m	5.717	5.980	6.267	6.579
GML m	5.725	5.989	6.276	6.588
KMt m	9.717	9.980	10.267	10.579
KML m	9.725	9.989	10.276	10.588
Immersion (TPc) tonne/cm	2.604	2.604	2.604	2.604
MTc tonne.m	1.960	1.980	2.001	2.022
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	61.492	62.113	62.764	63.445
Max deck inclination deg	0.0	0.0	0.0	0.0
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0	0.0	0.0	0.0

Draft Amidsh. m	2.041	1.959	1.878	1.796
Displacement tonne	531.3	510.1	488.8	467.6
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	2.041	1.959	1.878	1.796
Draft at AP m	2.041	1.959	1.878	1.796
Draft at LCF m	2.041	1.959	1.878	1.796
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000
WL Length m	18.000	18.000	18.000	18.000
WL Beam m	17.994	17.994	17.994	17.994
Wetted Area m <sup>2</sup>	328.336	325.361	322.386	319.410
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	253.956	253.956	253.956	253.956
Prismatic Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Block Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Midship Area Coeff.	1.000	1.000	1.000	1.000

Waterpl. Area Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
KB m	1.020	0.980	0.939	0.898
KG m	4.000	4.000	4.000	4.000
BMt m	9.898	10.311	10.759	11.248
BML m	9.907	10.320	10.769	11.259
GMt m	6.919	7.290	7.698	8.146
GML m	6.928	7.300	7.708	8.156
KMt m	10.919	11.290	11.698	12.146
KML m	10.928	11.300	11.708	12.156
Immersion (TPc) tonne/cm	2.604	2.604	2.604	2.604
MTc tonne.m	2.045	2.069	2.093	2.119
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	64.156	64.898	65.670	66.473
Max deck inclination deg	0.0	0.0	0.0	0.0
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0	0.0	0.0	0.0

Draft Amidsh. m	1.714	1.633	1.551	1.469
Displacement tonne	446.3	425.1	403.8	382.6
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	1.714	1.633	1.551	1.469
Draft at AP m	1.714	1.633	1.551	1.469
Draft at LCF m	1.714	1.633	1.551	1.469
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000
WL Length m	18.000	18.000	18.000	18.000
WL Beam m	17.994	17.994	17.994	17.994
Wetted Area m <sup>2</sup>	316.435	313.460	310.485	307.509
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	253.956	253.956	253.956	253.956
Prismatic Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Block Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Midship Area Coeff.	1.000	1.000	1.000	1.000
Waterpl. Area Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
KB m	0.857	0.816	0.776	0.735
KG m	4.000	4.000	4.000	4.000
BMt m	11.784	12.373	13.024	13.747
BML m	11.795	12.384	13.036	13.760
GMt m	8.641	9.189	9.799	10.482
GML m	8.652	9.201	9.812	10.495
KMt m	12.641	13.189	13.799	14.482
KML m	12.652	13.201	13.812	14.495
Immersion (TPc) tonne/cm	2.604	2.604	2.604	2.604
MTc tonne.m	2.145	2.173	2.201	2.231
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	67.306	68.169	69.062	69.985
Max deck inclination deg	0.0	0.0	0.0	0.0
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0	0.0	0.0	0.0

Draft Amidsh. m	1.388	1.306	1.224	1.143
Displacement tonne	361.3	340.1	318.8	297.5
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	1.388	1.306	1.224	1.143
Draft at AP m	1.388	1.306	1.224	1.143
Draft at LCF m	1.388	1.306	1.224	1.143
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000
WL Length m	18.000	18.000	18.000	18.000
WL Beam m	17.994	17.994	17.994	17.994
Wetted Area m <sup>2</sup>	304.534	301.559	298.584	295.609
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	253.956	253.956	253.956	253.956
Prismatic Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Block Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Midship Area Coeff.	1.000	1.000	1.000	1.000
Waterpl. Area Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
KB m	0.694	0.653	0.612	0.571
KG m	4.000	4.000	4.000	4.000
BMt m	14.556	15.466	16.497	17.675
BML m	14.570	15.480	16.512	17.692
GMt m	11.250	12.119	13.109	14.247
GML m	11.264	12.134	13.125	14.263
KMt m	15.250	16.119	17.109	18.247
KML m	15.264	16.134	17.125	18.263
Immersion (TPc) tonne/cm	2.604	2.604	2.604	2.604
MTc tonne.m	2.261	2.292	2.325	2.358
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	70.939	71.923	72.938	73.982
Max deck inclination deg	0.0	0.0	0.0	0.0
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0	0.0	0.0	0.0

Draft Amidsh. m	1.061	0.980	0.898	0.816
Displacement tonne	276.3	255.0	233.8	212.5
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	1.061	0.980	0.898	0.816
Draft at AP m	1.061	0.980	0.898	0.816
Draft at LCF m	1.061	0.980	0.898	0.816
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000
WL Length m	18.000	18.000	18.000	18.000
WL Beam m	17.994	17.994	17.994	17.994
Wetted Area m <sup>2</sup>	292.633	289.658	286.683	283.708
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	253.956	253.956	253.956	253.956
Prismatic Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Block Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Midship Area Coeff.	1.000	1.000	1.000	1.000
Waterpl. Area Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
KB m	0.531	0.490	0.449	0.408
KG m	4.000	4.000	4.000	4.000
BMt m	19.035	20.621	22.496	24.745

BML m	19.053	20.641	22.517	24.769
GMt m	15.565	17.111	18.945	21.154
GML m	15.583	17.130	18.966	21.177
KMt m	19.565	21.111	22.945	25.154
KML m	19.583	21.130	22.966	25.177
Immersion (TPc) tonne/cm	2.604	2.604	2.604	2.604
MTc tonne.m	2.392	2.427	2.463	2.500
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	75.057	76.162	77.298	78.464
Max deck inclination deg	0.0	0.0	0.0	0.0
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0	0.0	0.0	0.0

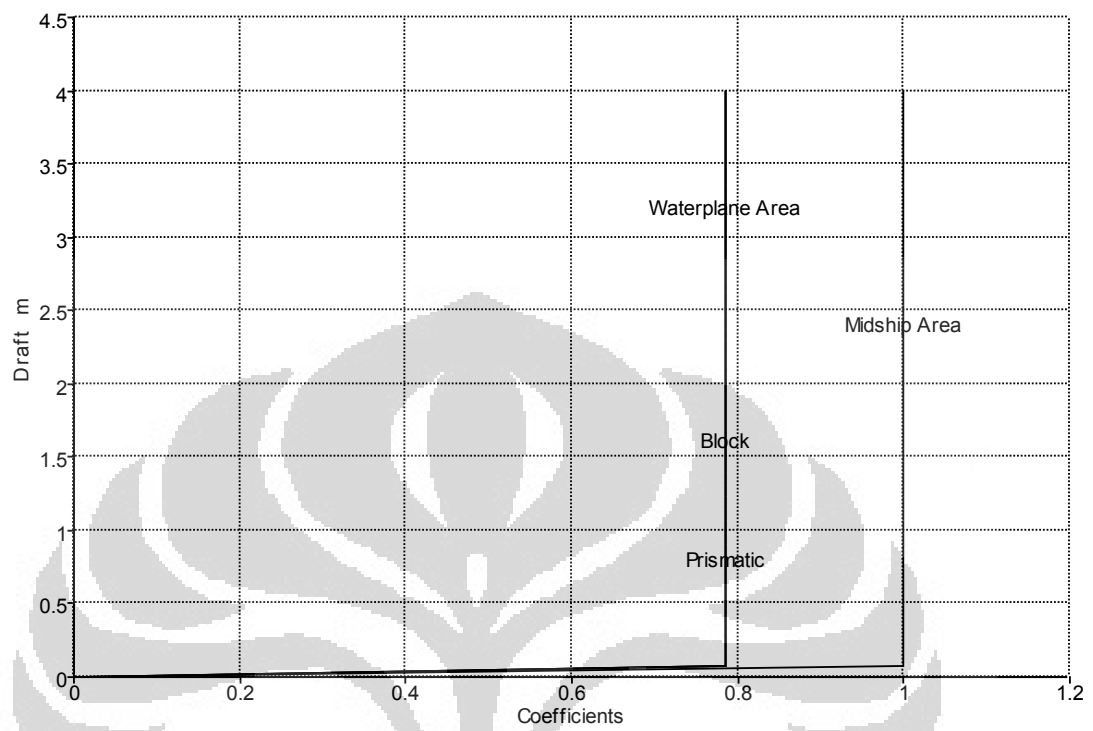
Draft Amidsh. m	0.735	0.653	0.571	0.490
Displacement tonne	191.3	170.0	148.8	127.5
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	0.735	0.653	0.571	0.490
Draft at AP m	0.735	0.653	0.571	0.490
Draft at LCF m	0.735	0.653	0.571	0.490
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000
WL Length m	18.000	18.000	18.000	18.000
WL Beam m	17.994	17.994	17.994	17.994
Wetted Area m <sup>2</sup>	280.732	277.757	274.782	271.807
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	253.956	253.956	253.956	253.956
Prismatic Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Block Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Midship Area Coeff.	1.000	1.000	1.000	1.000
Waterpl. Area Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
KB m	0.367	0.327	0.286	0.245
KG m	4.000	4.000	4.000	4.000
BMt m	27.495	30.932	35.351	41.242
BML m	27.521	30.961	35.384	41.281
GMt m	23.862	27.258	31.636	37.487
GML m	23.888	27.287	31.670	37.526
KMt m	27.862	31.258	35.636	41.487
KML m	27.888	31.287	35.670	41.526
Immersion (TPc) tonne/cm	2.604	2.604	2.604	2.604
MTc tonne.m	2.539	2.578	2.618	2.659
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	79.660	80.886	82.143	83.429
Max deck inclination deg	0.0	0.0	0.0	0.0
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0	0.0	0.0	0.0

Draft Amidsh. m	0.408	0.327	0.245	0.163
Displacement tonne	106.3	85.01	63.76	42.51
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	0.408	0.327	0.245	0.163
Draft at AP m	0.408	0.327	0.245	0.163
Draft at LCF m	0.408	0.327	0.245	0.163
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000
WL Length m	18.000	18.000	18.000	18.000

WL Beam m	17.994	17.994	17.994	17.994
Wetted Area m <sup>2</sup>	268.832	265.856	262.881	259.906
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	253.956	253.956	253.956	253.956
Prismatic Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Block Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
Midship Area Coeff.	1.000	1.000	1.000	1.000
Waterpl. Area Coeff.	0.784	0.784	0.784	0.784
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000	0.000	0.000
KB m	0.204	0.163	0.122	0.082
KG m	4.000	4.000	4.000	4.000
BMt m	49.491	61.863	82.485	123.727
BML m	49.537	61.922	82.562	123.844
GMt m	45.695	58.027	78.607	119.808
GML m	45.742	58.085	78.685	119.925
KMt m	49.695	62.027	82.607	123.808
KML m	49.742	62.085	82.685	123.925
Immersion (TPc) tonne/cm	2.604	2.604	2.604	2.604
MTc tonne.m	2.700	2.743	2.787	2.832
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	84.747	86.094	87.472	88.880
Max deck inclination deg	0.0	0.0	0.0	0.0
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0	0.0	0.0	0.0

Draft Amidsh. m	0.082	0.000
Displacement tonne	21.25	0.0000
Heel to Starboard degrees	0.0	0.0
Draft at FP m	0.082	0.000
Draft at AP m	0.082	0.000
Draft at LCF m	0.082	0.000
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000
WL Length m	18.000	18.000
WL Beam m	17.994	0.000
Wetted Area m <sup>2</sup>	256.931	0.000
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	253.956	0.000
Prismatic Coeff.	0.784	0.000
Block Coeff.	0.784	0.000
Midship Area Coeff.	1.000	0.000
Waterpl. Area Coeff.	0.784	0.000
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	0.000	0.000
KB m	0.041	4.000
KG m	4.000	4.000
BMt m	247.454	0.000
BML m	247.687	0.000
GMt m	243.494	0.000
GML m	243.728	0.000
KMt m	247.494	4.000
KML m	247.728	4.000
Immersion (TPc) tonne/cm	2.604	0.000
MTc tonne.m	2.878	0.000
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	90.318	0.000
Max deck inclination deg	0.0	0.0
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0	0.0

## Coefficient Graph



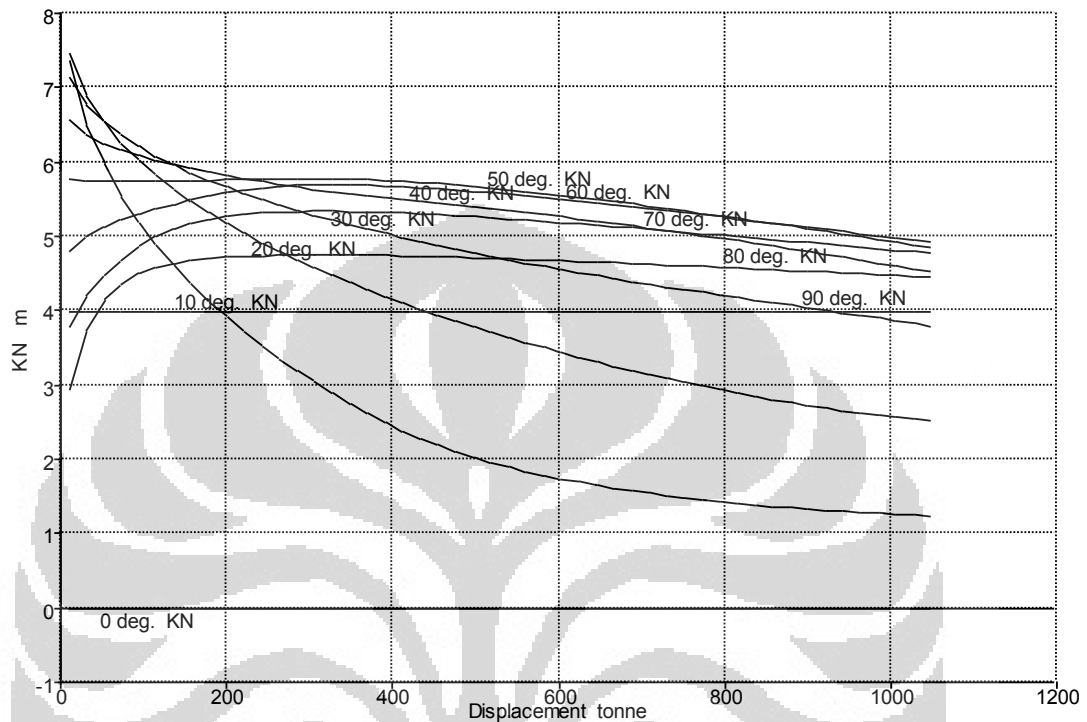
## KN Calculation - cylinderKN

### Damage Case - Intact

Initial Trim = 0 m (+ve by stern)

Relative Density (specific gravity) = 1.025; (Density = 1.0252 tonne/m<sup>3</sup>)

VCG = 0 m



Displacement tonne	LCG m	KN 0.0 deg.	KN 10.0 deg. Starb.	KN 20.0 deg. Starb.	KN 30.0 deg. Starb.	KN 40.0 deg. Starb.
10.00	9.000	0.000	7.362	7.458	7.140	6.553
31.22	9.000	0.000	6.499	6.887	6.770	6.365
52.45	9.000	0.000	5.955	6.528	6.538	6.247
73.67	9.000	0.000	5.533	6.249	6.358	6.157
94.89	9.000	0.000	5.179	6.015	6.207	6.082
116.1	9.000	0.000	4.872	5.812	6.076	6.017
137.3	9.000	0.000	4.597	5.629	5.959	5.959
158.6	9.000	0.000	4.348	5.464	5.853	5.907
179.8	9.000	0.000	4.119	5.311	5.755	5.859
201.0	9.000	0.000	3.907	5.170	5.664	5.815
222.2	9.000	0.000	3.709	5.038	5.579	5.774
243.5	9.000	0.000	3.524	4.913	5.500	5.735
264.7	9.000	0.000	3.350	4.795	5.424	5.698
285.9	9.000	0.000	3.186	4.682	5.352	5.664
307.1	9.000	0.000	3.032	4.575	5.284	5.631
328.3	9.000	0.000	2.885	4.473	5.218	5.600
349.6	9.000	0.000	2.747	4.375	5.156	5.570
370.8	9.000	0.000	2.617	4.281	5.096	5.542
392.0	9.000	0.000	2.495	4.190	5.038	5.514
413.2	9.000	0.000	2.382	4.103	4.982	5.488
434.5	9.000	0.000	2.280	4.019	4.928	5.463
455.7	9.000	0.000	2.187	3.937	4.876	5.438

476.9	9.000	0.000	2.104	3.859	4.825	5.415
498.1	9.000	0.000	2.028	3.783	4.776	5.392
519.3	9.000	0.000	1.959	3.709	4.729	5.368
540.6	9.000	0.000	1.896	3.637	4.682	5.343
561.8	9.000	0.000	1.838	3.568	4.637	5.318
583.0	9.000	0.000	1.785	3.501	4.594	5.291
604.2	9.000	0.000	1.736	3.435	4.551	5.264
625.5	9.000	0.000	1.691	3.372	4.510	5.235
646.7	9.000	0.000	1.650	3.311	4.469	5.206
667.9	9.000	0.000	1.611	3.251	4.430	5.175
689.1	9.000	0.000	1.576	3.193	4.392	5.144
710.4	9.000	0.000	1.543	3.137	4.354	5.112
731.6	9.000	0.000	1.512	3.083	4.318	5.079
752.8	9.000	0.000	1.483	3.031	4.282	5.045
774.0	9.000	0.000	1.456	2.980	4.247	5.010
795.2	9.000	0.000	1.431	2.931	4.213	4.975
816.5	9.000	0.000	1.408	2.884	4.179	4.940
837.7	9.000	0.000	1.387	2.840	4.144	4.903
858.9	9.000	0.000	1.366	2.797	4.110	4.867
880.1	9.000	0.000	1.347	2.757	4.075	4.829
901.4	9.000	0.000	1.330	2.720	4.041	4.792
922.6	9.000	0.000	1.313	2.685	4.006	4.753
943.8	9.000	0.000	1.297	2.652	3.970	4.715
965.0	9.000	0.000	1.283	2.621	3.934	4.676
986.2	9.000	0.000	1.269	2.592	3.898	4.637
1007	9.000	0.000	1.257	2.565	3.862	4.597
1029	9.000	0.000	1.245	2.540	3.825	4.557
1050	9.000	0.000	1.233	2.516	3.788	4.517

Displacement tonne	KN 50.0 deg. Starb.	KN 60.0 deg. Starb.	KN 70.0 deg. Starb.	KN 80.0 deg. Starb.	KN 90.0 deg. Starb.
10.00	5.758	4.809	3.790	2.934	3.991
31.22	5.751	4.997	4.210	3.735	3.991
52.45	5.749	5.118	4.478	4.153	3.991
73.67	5.748	5.213	4.688	4.367	3.991
94.89	5.749	5.294	4.864	4.494	3.991
116.1	5.750	5.366	5.002	4.575	3.991
137.3	5.751	5.430	5.101	4.630	3.991
158.6	5.753	5.490	5.174	4.669	3.991
179.8	5.755	5.545	5.226	4.696	3.991
201.0	5.757	5.592	5.265	4.716	3.991
222.2	5.760	5.628	5.292	4.730	3.991
243.5	5.762	5.655	5.312	4.739	3.991
264.7	5.765	5.674	5.324	4.745	3.991
285.9	5.768	5.686	5.332	4.749	3.991
307.1	5.771	5.693	5.335	4.750	3.991
328.3	5.771	5.695	5.335	4.750	3.991
349.6	5.769	5.692	5.333	4.748	3.991
370.8	5.763	5.687	5.327	4.745	3.991
392.0	5.754	5.678	5.320	4.741	3.991
413.2	5.743	5.667	5.311	4.736	3.991
434.5	5.729	5.654	5.301	4.730	3.991
455.7	5.712	5.639	5.289	4.724	3.991
476.9	5.694	5.622	5.277	4.717	3.991
498.1	5.674	5.604	5.263	4.710	3.991



519.3	5.652	5.585	5.249	4.702	3.991
540.6	5.629	5.564	5.233	4.694	3.991
561.8	5.604	5.542	5.218	4.686	3.991
583.0	5.578	5.520	5.201	4.677	3.991
604.2	5.552	5.497	5.184	4.668	3.991
625.5	5.524	5.473	5.167	4.659	3.991
646.7	5.495	5.448	5.149	4.650	3.991
667.9	5.465	5.423	5.131	4.641	3.991
689.1	5.435	5.397	5.113	4.631	3.991
710.4	5.404	5.371	5.094	4.622	3.991
731.6	5.372	5.345	5.075	4.612	3.991
752.8	5.340	5.318	5.056	4.602	3.991
774.0	5.307	5.290	5.037	4.592	3.991
795.2	5.274	5.263	5.017	4.582	3.991
816.5	5.240	5.235	4.997	4.571	3.991
837.7	5.206	5.207	4.977	4.561	3.991
858.9	5.172	5.178	4.957	4.551	3.991
880.1	5.137	5.150	4.937	4.540	3.991
901.4	5.102	5.121	4.917	4.530	3.991
922.6	5.066	5.092	4.896	4.519	3.991
943.8	5.030	5.062	4.876	4.509	3.991
965.0	4.994	5.033	4.855	4.498	3.991
986.2	4.958	5.003	4.834	4.487	3.991
1007	4.922	4.973	4.813	4.477	3.991
1029	4.885	4.943	4.792	4.466	3.991
1050	4.848	4.913	4.771	4.455	3.991

**Data Load Cell**

## Gelombang &amp; Gelombang + Angin

Time [sec]	CH01	Time [sec]	CH01	Time [sec]	CH02	Time [sec]	CH02
0.001	0.005798	0.257	0.001221	0.001	0.004578	0.257	0.003357
0.002	0.006409	0.258	0.006104	0.002	0.004273	0.258	0.004273
0.003	0.006409	0.259	0.005798	0.003	0.002747	0.259	0.003662
0.004	0.005798	0.26	0.004883	0.004	0.007019	0.26	0.004883
0.005	0.006104	0.261	0.005493	0.005	0.007629	0.261	0.005188
0.006	0.005798	0.262	0.002441	0.006	0.006714	0.262	0.003967
0.007	0.007019	0.263	0.006714	0.007	0.005798	0.263	0.005188
0.008	0.007935	0.264	0.005493	0.008	0.006714	0.264	0.005798
0.009	0.007935	0.265	0.005493	0.009	0.007019	0.265	0.005798
0.01	0.006714	0.266	0.005188	0.01	0.00885	0.266	0.006409
0.011	0.006104	0.267	0.007019	0.011	0.008545	0.267	0.006104
0.012	0.007019	0.268	0.007935	0.012	0.007935	0.268	0.007324
0.013	0.005493	0.269	0.007629	0.013	0.007324	0.269	0.007629
0.014	0.004273	0.27	0.00824	0.014	0.002441	0.27	0.007629
0.015	0.003967	0.271	0.007019	0.015	0.005188	0.271	0.008545
0.016	0.004273	0.272	0.005493	0.016	0.001221	0.272	0.00824
0.017	0.003967	0.273	0.005493	0.017	0.003662	0.273	0.005798
0.018	0.005188	0.274	0.005188	0.018	0.001831	0.274	0.007019
0.019	0.005493	0.275	0.004273	0.019	0.004273	0.275	0.005798
0.02	0.004273	0.276	0.003967	0.02	0.005188	0.276	0.005188
0.021	0.005493	0.277	0.006714	0.021	0.004578	0.277	0.004578
0.022	0.005493	0.278	0.005798	0.022	0.005798	0.278	0.004273
0.023	0.006104	0.279	0.002136	0.023	0.005188	0.279	0.004273
0.024	0.007324	0.28	0.005493	0.024	0.007019	0.28	0.003967
0.025	0.005188	0.281	0.005798	0.025	0.006104	0.281	0.004578
0.026	0.005493	0.282	0.005493	0.026	0.007019	0.282	0.003967
0.027	0.007629	0.283	0.006409	0.027	0.006409	0.283	0.004578
0.028	0.008545	0.284	0.003967	0.028	0.007019	0.284	0.006104
0.029	0.007019	0.285	0.004883	0.029	0.007935	0.285	0.005493
0.03	0.007324	0.286	0.005188	0.03	0.00824	0.286	0.006714
0.031	0.006409	0.287	0.006104	0.031	0.00885	0.287	0.006409
0.032	0.006409	0.288	0.007324	0.032	0.007629	0.288	0.006714
0.033	0.005493	0.289	0.007935	0.033	0.004578	0.289	0.007935
0.034	0.004578	0.29	0.006104	0.034	0.006714	0.29	0.009155
0.035	0.004883	0.291	0.007019	0.035	0.005493	0.291	0.00824
0.036	0.003967	0.292	0.006714	0.036	0.003967	0.292	0.004883
0.037	0.005188	0.293	0.005188	0.037	0.003967	0.293	0.007629
0.038	0.005493	0.294	0.005188	0.038	0.003662	0.294	0.007629
0.039	0.005493	0.295	0.002441	0.039	0.005188	0.295	0.006409

0.04	0.004578	0.296	0.001221	0.04	0.005188	0.296	0.005188
0.041	0.005188	0.297	0.004578	0.041	0.004578	0.297	0.003357
0.042	0.001221	0.298	0.005798	0.042	0.004883	0.298	0.003052
0.043	0.005798	0.299	0.005188	0.043	0.004883	0.299	0.004578
0.044	0.005798	0.3	0.005493	0.044	0.005798	0.3	0.005188
0.045	0.005188	0.301	0.004273	0.045	0.006409	0.301	0.004883
0.046	0.004883	0.302	0.006104	0.046	0.004578	0.302	0.005188
0.047	0.007019	0.303	0.005798	0.047	0.007019	0.303	0.003662
0.048	0.008545	0.304	0.005798	0.048	0.007324	0.304	0.006714
0.049	0.008545	0.305	0.005798	0.049	0.007935	0.305	0.006409
0.05	0.007324	0.306	0.004273	0.05	0.010071	0.306	0.007935
0.051	0.007324	0.307	0.006409	0.051	0.007935	0.307	0.006104
0.052	0.002747	0.308	0.007935	0.052	0.007629	0.308	0.007019
0.053	0.005493	0.309	0.007324	0.053	0.007324	0.309	0.006714
0.054	0.004578	0.31	0.007324	0.054	0.006104	0.31	0.007019
0.055	0.003662	0.311	0.003662	0.055	0.005493	0.311	0.008545
0.056	0.003662	0.312	0.006409	0.056	0.003967	0.312	0.007629
0.057	0.002441	0.313	0.005493	0.057	0.003357	0.313	0.007629
0.058	0.005798	0.314	0.004883	0.058	0.003967	0.314	0.007019
0.059	0.006104	0.315	0.003357	0.059	0.005188	0.315	0.006409
0.06	0.006714	0.316	0.004273	0.06	0.004883	0.316	0.004578
0.061	0.006104	0.317	0.004883	0.061	0.004883	0.317	0.003662
0.062	0.006409	0.318	0.005493	0.062	0.004883	0.318	0.003662
0.063	0.006104	0.319	0.004578	0.063	0.005188	0.319	0.002136
0.064	0.006104	0.32	0.004883	0.064	0.005798	0.32	0.003357
0.065	0.006714	0.321	0.005798	0.065	0.004578	0.321	0.006104
0.066	0.005798	0.322	0.005493	0.066	0.006714	0.322	0.004273
0.067	0.006714	0.323	0.006714	0.067	0.007935	0.323	0.004273
0.068	0.007629	0.324	0.006714	0.068	0.006104	0.324	0.006104
0.069	0.007629	0.325	0.005188	0.069	0.007629	0.325	0.006409
0.07	0.006714	0.326	0.005798	0.07	0.00824	0.326	0.006409
0.071	0.007019	0.327	0.006714	0.071	0.00885	0.327	0.006714
0.072	0.004578	0.328	0.006409	0.072	0.007019	0.328	0.007019
0.073	0.005493	0.329	0.00885	0.073	0.007019	0.329	0.006714
0.074	0.004273	0.33	0.007629	0.074	0.007629	0.33	0.005798
0.075	0.003357	0.331	0.007629	0.075	0.005493	0.331	0.00885
0.076	0.004273	0.332	0.005493	0.076	0.001831	0.332	0.009766
0.077	0.003357	0.333	0.005188	0.077	0.003357	0.333	0.007629
0.078	0.004273	0.334	0.004883	0.078	0.001221	0.334	0.007629
0.079	0.005493	0.335	0.004273	0.079	0.004578	0.335	0.006104
0.08	0.004578	0.336	0.001526	0.08	0.004578	0.336	0.004273
0.081	0.005493	0.337	0.004883	0.081	0.005188	0.337	0.002747
0.082	0.007324	0.338	0.005798	0.082	0.006104	0.338	0.004273
0.083	0.005798	0.339	0.006104	0.083	0.005493	0.339	0.003357

0.084	0.002136	0.34	0.005798	0.084	0.006714	0.34	0.004273
0.085	0.005798	0.341	0.006409	0.085	0.006409	0.341	0.005188
0.086	0.005493	0.342	0.006104	0.086	0.005493	0.342	0.004273
0.087	0.005798	0.343	0.006104	0.087	0.007019	0.343	0.001221
0.088	0.007324	0.344	0.005493	0.088	0.006409	0.344	0.005798
0.089	0.005188	0.345	0.005493	0.089	0.007935	0.345	0.006409
0.09	0.006409	0.346	0.006409	0.09	0.008545	0.346	0.006104
0.091	0.007324	0.347	0.006714	0.091	0.004578	0.347	0.006409
0.092	0.005798	0.348	0.007629	0.092	0.007935	0.348	0.006409
0.093	0.005188	0.349	0.007629	0.093	0.004578	0.349	0.007019
0.094	0.004883	0.35	0.007935	0.094	0.007019	0.35	0.007935
0.095	0.003967	0.351	0.006104	0.095	0.005493	0.351	0.009155
0.096	0.005188	0.352	0.006714	0.096	0.004273	0.352	0.00885
0.097	0.003967	0.353	0.006409	0.097	0.003052	0.353	0.007629
0.098	0.005493	0.354	0.004578	0.098	0.003662	0.354	0.003357
0.099	0.006104	0.355	0.004578	0.099	0.003662	0.355	0.006409
0.1	0.005798	0.356	0.004578	0.1	0.005188	0.356	0.006104
0.101	0.006714	0.357	0.003967	0.101	0.004883	0.357	0.003357
0.102	0.005493	0.358	0.006104	0.102	0.004578	0.358	0.003662
0.103	0.006409	0.359	0.005188	0.103	0.005493	0.359	0.003967
0.104	0.006409	0.36	0.005493	0.104	0.005798	0.36	0.003662
0.105	0.005493	0.361	0.006409	0.105	0.006409	0.361	0.003967
0.106	0.006104	0.362	0.006104	0.106	0.006714	0.362	0.005188
0.107	0.006409	0.363	0.007019	0.107	0.006104	0.363	0.004273
0.108	0.007935	0.364	0.006409	0.108	0.004578	0.364	0.004883
0.109	0.00824	0.365	0.006104	0.109	0.007935	0.365	0.003967
0.11	0.007324	0.366	0.004578	0.11	0.00885	0.366	0.006714
0.111	0.007019	0.367	0.006409	0.111	0.007935	0.367	0.007019
0.112	0.006409	0.368	0.008545	0.112	0.00824	0.368	0.006714
0.113	0.005188	0.369	0.007935	0.113	0.007629	0.369	0.007019
0.114	0.003357	0.37	0.007019	0.114	0.005798	0.37	0.007935
0.115	0.003662	0.371	0.005493	0.115	0.004883	0.371	0.007629
0.116	0.002136	0.372	0.006409	0.116	0.004578	0.372	0.007324
0.117	0.004578	0.373	0.006409	0.117	0.003967	0.373	0.007935
0.118	0.005798	0.374	0.004578	0.118	0.003967	0.374	0.007324
0.119	0.006104	0.375	0.004883	0.119	0.004578	0.375	0.005798
0.12	0.006409	0.376	0.004578	0.12	0.004273	0.376	0.005798
0.121	0.005188	0.377	0.005188	0.121	0.001221	0.377	0.003662
0.122	0.006714	0.378	0.005798	0.122	0.004578	0.378	0.00061
0.123	0.006409	0.379	0.005798	0.123	0.006104	0.379	0.003662
0.124	0.006409	0.38	0.005798	0.124	0.006104	0.38	0.003967
0.125	0.006409	0.381	0.006409	0.125	0.006104	0.381	0.005188
0.126	0.005188	0.382	0.006409	0.126	0.007324	0.382	0.005493
0.127	0.006409	0.383	0.006714	0.127	0.005798	0.383	0.004578

0.128	0.007629	0.384	0.006104	0.128	0.007019	0.384	0.005798
0.129	0.008545	0.385	0.005188	0.129	0.007324	0.385	0.006104
0.13	0.007324	0.386	0.006409	0.13	0.00885	0.386	0.006104
0.131	0.005188	0.387	0.006409	0.131	0.008545	0.387	0.006409
0.132	0.006409	0.388	0.00824	0.132	0.007629	0.388	0.006714
0.133	0.005798	0.389	0.007629	0.133	0.007324	0.389	0.006409
0.134	0.004578	0.39	0.005798	0.134	0.006409	0.39	0.007935
0.135	0.003967	0.391	0.006104	0.135	0.005493	0.391	0.006714
0.136	0.004578	0.392	0.007324	0.136	0.004273	0.392	0.00885
0.137	0.004883	0.393	0.004578	0.137	0.003967	0.393	0.00885
0.138	0.005493	0.394	0.003662	0.138	0.003662	0.394	0.006714
0.139	0.003967	0.395	0.001831	0.139	0.003967	0.395	0.005493
0.14	0.004883	0.396	0.004883	0.14	0.004578	0.396	0.005493
0.141	0.007324	0.397	0.005493	0.141	0.004883	0.397	0.003052
0.142	0.007324	0.398	0.005493	0.142	0.004578	0.398	0.002136
0.143	0.006409	0.399	0.005798	0.143	0.006104	0.399	0.004883
0.144	0.003357	0.4	0.002747	0.144	0.004883	0.4	0.004273
0.145	0.005798	0.401	0.005188	0.145	0.003052	0.401	0.004273
0.146	0.005798	0.402	0.005798	0.146	0.006409	0.402	0.004578
0.147	0.006409	0.403	0.005798	0.147	0.004273	0.403	0.004883
0.148	0.007324	0.404	0.006104	0.148	0.006409	0.404	0.006104
0.149	0.006409	0.405	0.003967	0.149	0.00885	0.405	0.004883
0.15	0.007629	0.406	0.006409	0.15	0.007935	0.406	0.003662
0.151	0.007629	0.407	0.006409	0.151	0.006409	0.407	0.005188
0.152	0.006714	0.408	0.007629	0.152	0.00885	0.408	0.007019
0.153	0.005188	0.409	0.00824	0.153	0.007324	0.409	0.007019
0.154	0.005188	0.41	0.003357	0.154	0.005798	0.41	0.007629
0.155	0.004273	0.411	0.007019	0.155	0.005798	0.411	0.009155
0.156	0.005188	0.412	0.006104	0.156	0.003967	0.412	0.00946
0.157	0.004883	0.413	0.004883	0.157	0.004273	0.413	0.007629
0.158	0.005188	0.414	0.003052	0.158	0.004273	0.414	0.006409
0.159	0.005188	0.415	-0.00031	0.159	0.003662	0.415	0.007019
0.16	0.005493	0.416	0.003967	0.16	0.004578	0.416	0.003662
0.161	0.004883	0.417	0.004883	0.161	0.004883	0.417	0.003967
0.162	0.004578	0.418	0.006104	0.162	0.000916	0.418	0.002747
0.163	0.006714	0.419	0.004883	0.163	0.005188	0.419	0.003967
0.164	0.005798	0.42	0.005798	0.164	0.005493	0.42	0.003052
0.165	0.005188	0.421	0.006409	0.165	0.006714	0.421	0.003967
0.166	0.004273	0.422	0.006409	0.166	0.007629	0.422	0.005188
0.167	0.004578	0.423	0.007324	0.167	0.006714	0.423	0.004578
0.168	0.007935	0.424	0.006409	0.168	0.006409	0.424	0.005493
0.169	0.007935	0.425	0.006104	0.169	0.007629	0.425	0.006104
0.17	0.006714	0.426	0.006409	0.17	0.008545	0.426	0.006409
0.171	0.006714	0.427	0.006104	0.171	0.008545	0.427	0.006409

0.172	0.004578	0.428	0.007324	0.172	0.007935	0.428	0.006104
0.173	0.005188	0.429	0.007629	0.173	0.003662	0.429	0.003357
0.174	0.003357	0.43	0.006714	0.174	0.007019	0.43	0.007629
0.175	0.003357	0.431	0.006409	0.175	0.005493	0.431	0.007324
0.176	0.004273	0.432	0.006104	0.176	0.004883	0.432	0.00885
0.177	0.003357	0.433	0.005188	0.177	0.004578	0.433	0.008545
0.178	0.004883	0.434	0.002441	0.178	0.003967	0.434	0.006409
0.179	0.007324	0.435	0.003662	0.179	0.002136	0.435	0.00824
0.18	0.004578	0.436	0.003052	0.18	0.004578	0.436	0.005493
0.181	0.005493	0.437	0.004578	0.181	0.005493	0.437	0.004578
0.182	0.004578	0.438	0.005798	0.182	0.004273	0.438	0.003662
0.183	0.006104	0.439	0.005798	0.183	0.005493	0.439	0.002441
0.184	0.007019	0.44	0.005493	0.184	0.005493	0.44	0.003967
0.185	0.005493	0.441	0.007324	0.185	0.004578	0.441	0.003662
0.186	0.005798	0.442	0.006104	0.186	0.006714	0.442	0.004883
0.187	0.002441	0.443	0.006714	0.187	0.006409	0.443	0.003967
0.188	0.00824	0.444	0.005798	0.188	0.003357	0.444	0.004883
0.189	0.007019	0.445	0.005188	0.189	0.00824	0.445	0.005188
0.19	0.007935	0.446	0.006409	0.19	0.00885	0.446	0.006409
0.191	0.007019	0.447	0.006104	0.191	0.00885	0.447	0.006104
0.192	0.006104	0.448	0.007629	0.192	0.007324	0.448	0.006409
0.193	0.005798	0.449	0.006409	0.193	0.007629	0.449	0.006409
0.194	0.003662	0.45	0.007324	0.194	0.007629	0.45	0.007629
0.195	0.004578	0.451	0.004273	0.195	0.005798	0.451	0.007935
0.196	0.004273	0.452	0.006104	0.196	0.004273	0.452	0.009155
0.197	0.004273	0.453	0.005188	0.197	0.004883	0.453	0.007629
0.198	0.005798	0.454	0.005188	0.198	0.003662	0.454	0.00824
0.199	0.003967	0.455	0.003662	0.199	0.003052	0.455	0.006714
0.2	0.006409	0.456	0.003967	0.2	0.005188	0.456	0.003967
0.201	0.005188	0.457	0.004883	0.201	0.005798	0.457	0.003967
0.202	0.005798	0.458	0.005188	0.202	0.003662	0.458	0.003967
0.203	0.006104	0.459	0.005493	0.203	0.005798	0.459	0.003357
0.204	0.006409	0.46	0.005493	0.204	0.004883	0.46	0.004883
0.205	0.006104	0.461	0.005798	0.205	0.005493	0.461	0.004273
0.206	0.006104	0.462	0.005188	0.206	0.006409	0.462	0.005493
0.207	0.006409	0.463	0.006409	0.207	0.005798	0.463	0.005493
0.208	0.007324	0.464	0.006409	0.208	0.007629	0.464	0.005493
0.209	0.007629	0.465	0.005798	0.209	0.007629	0.465	0.005798
0.21	0.005798	0.466	0.005493	0.21	0.00824	0.466	0.005493
0.211	0.006409	0.467	0.007629	0.211	0.00885	0.467	0.007324
0.212	0.007019	0.468	0.007324	0.212	0.00946	0.468	0.006409
0.213	0.004578	0.469	0.007935	0.213	0.007324	0.469	0.006409
0.214	0.003967	0.47	0.007324	0.214	0.007935	0.47	0.007019
0.215	-0.00031	0.471	0.007019	0.215	0.005493	0.471	0.007629

0.216	0.004883	0.472	0.007935	0.216	0.003662	0.472	0.008545
0.217	0.005188	0.473	0.004883	0.217	0.003357	0.473	0.00885
0.218	0.004883	0.474	0.003967	0.218	0.003357	0.474	0.007324
0.219	0.005493	0.475	0.003357	0.219	0.004883	0.475	0.007019
0.22	0.005188	0.476	0.004578	0.22	0.003357	0.476	0.005798
0.221	0.006104	0.477	0.004883	0.221	0.005188	0.477	0.004883
0.222	0.006409	0.478	0.006104	0.222	0.004578	0.478	0.003052
0.223	0.006409	0.479	0.005798	0.223	0.003967	0.479	0.001221
0.224	0.006104	0.48	0.006104	0.224	0.005493	0.48	0.004578
0.225	0.005188	0.481	0.005798	0.225	0.006409	0.481	0.003967
0.226	0.004883	0.482	0.005188	0.226	0.006409	0.482	0.004883
0.227	0.007629	0.483	0.006409	0.227	0.006409	0.483	0.005188
0.228	0.007019	0.484	0.005798	0.228	0.007324	0.484	0.005493
0.229	0.008545	0.485	0.004273	0.229	0.007019	0.485	0.005188
0.23	0.00885	0.486	0.004883	0.23	0.006104	0.486	0.006409
0.231	0.006714	0.487	0.006714	0.231	0.009155	0.487	0.006714
0.232	0.007019	0.488	0.006714	0.232	0.007935	0.488	0.006714
0.233	0.005188	0.489	0.007629	0.233	0.007935	0.489	0.006714
0.234	0.003967	0.49	0.004273	0.234	0.007019	0.49	0.004273
0.235	0.004578	0.491	0.006714	0.235	0.005188	0.491	0.008545
0.236	0.004273	0.492	0.007324	0.236	0.003967	0.492	0.004273
0.237	0.005798	0.493	0.004883	0.237	0.003662	0.493	0.00824
0.238	0.006104	0.494	0.004578	0.238	0.003052	0.494	0.005798
0.239	0.005188	0.495	0.002136	0.239	0.003967	0.495	0.007019
0.24	0.006104	0.496	0.004273	0.24	0.004273	0.496	0.006104
0.241	0.005493	0.497	0.004883	0.241	0.005188	0.497	0.004883
0.242	0.005493	0.498	0.004883	0.242	0.004273	0.498	0.003967
0.243	0.006104	0.499	0.006104	0.243	0.002441	0.499	0.003662
0.244	0.006409	0.5	0.003052	0.244	0.006104	0.5	0.003967
0.245	0.006714	0.501	0.006104	0.245	0.005798	0.501	0.004578
0.246	0.005493	0.502	0.005798	0.246	0.006409	0.502	0.004578
0.247	0.005798	0.503	0.010376	0.247	0.007019	0.503	0.005188
0.248	0.00824	0.504	0.006104	0.248	0.006104	0.504	0.004883
0.249	0.008545	0.505	0.006409	0.249	0.007324	0.505	0.006104
0.25	0.007324	0.506	0.006104	0.25	0.00824	0.506	0.006409
0.251	0.006714	0.507	0.006409	0.251	0.007935	0.507	0.007324
0.252	0.002136	0.508	0.006714	0.252	0.00824	0.508	0.006409
0.253	0.005188	0.509	0.007324	0.253	0.007629	0.509	0.006409
0.254	0.003967	0.51	0.007629	0.254	0.007019	0.51	0.007324
0.255	0.003357	0.511	0.006104	0.255	0.005798	0.511	0.008545
0.256	0.004578	0.512	0.006104	0.256	0.000916	0.512	0.007935

## MOORING CHAIN SPECIFICATION

Weight kg / shot incl Kenter	mm	inches	U2		U3		ORQ	
			PL kN	BL kN	PL kN	BL kN	PL kN	BL kN
222	19	3/4	150	211	211	301		
306	22	7/8	200	280	280	401		
418	26	1	278	389	389	556		
497	28	1 1/8	321	449	449	642		
652	32	1 1/4	417	583	583	833		
734	34	1 5/16	468	655	655	937		
826	36	1 7/16	523	732	732	1050		
919	38	1 1/2	581	812	812	1160		
1105	42	1 5/8	703	981	981	1400		
1209	44	1 3/4	769	1080	1080	1540		
1437	48	1 7/8	908	1280	1280	1810		
1555	50	2	981	1370	1370	1960	1400	2110
1809	54	2 1/8	1140	1590	1590	2270	1620	2441
1946	56	2 3/16	1220	1710	1710	2430	1746	2639
2100	58	2 5/16	1290	1810	1810	2600	1854	2797
2253	60	2 3/8	1380	1940	1940	2770	1976	2978
2573	64	2 1/2	1560	2190	2190	3130	2230	3360
2742	66	2 5/8	1660	2310	2310	3300	2361	3559
3097	70	2 3/4	1840	2580	2580	3690	2634	3970
3374	73	2 7/8	1990	2790	2790	3990	2846	4291
3681	76	3	2150	3010	3010	4300	3066	4621
4187	81	3 3/16	2410	3380	3380	4820	3453	5209
4832	87	3 7/16	2750	3850	3850	5500	3924	5916
5385	92	3 5/8	3040	4260	4260	6080	4342	6544
5723	95	3 3/4	3230	4510	4510	6440	4599	6932
6613	102	4	3660	5120	5120	7320	5220	7868

9.81 kN = 1 tonne

All dimensions are approximate

PL = Proof Load

BL = Breaking Load