

29335/H/07



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

RSPe  
623.812  
Sol  
A-1  

---

2007

TUGAS AKHIR - LK 1347

## ANALISA KETAHANAN GELOMBANG KAPAL FERRY RO-RO 600 GT

SOLIKAH  
NRP. 4101 100 005

Dosen Pembimbing  
Ir. Petrus Eko Panunggal, Ph.D  
Ir. Murdijanto, M.Eng

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2007

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	28-2-2007
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	228017

# LEMBAR PENGESAHAN

## ANALISA KETAHANAN GELOMBANG KAPAL FERRY RO-RO 600 GT

### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Bidang Studi Perencanaan  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**SOLIKAH**  
Nrp. 4101 100 005

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Petrus Eko Panunggal, Ph.D.

( Pembimbing I )

2. Ir. Murdijanto, M.Eng.

( Pembimbing II )



SURABAYA, FEBRUARI 2007

**ANALISA KETAHANAN GELOMBANG  
KAPAL FERRY RO – RO 600 GT**

**TUGAS AKHIR**

Telah Direvisi Sesuai Dengan Hasil Sidang Ujian Tugas Akhir  
pada  
Bidang Studi Perencanaan  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :  
**SOLIKAH**  
Nrp. 4101 100 005

Mengetahui / Menyetujui,  
Dosen Pembimbing

1. Ir. Petrus Eko Panunggal, Ph.D. .... (Pembimbing I)

2. Ir. Murdijanto, M. Eng ..... (Pembimbing II)



**SURABAYA  
PEBRUARI, 2007**

## ANALISA KETAHANAN GELOMBANG KAPAL FERRY RO-RO 600 GT

**Nama Mahasiswa** : SOLIKAH  
**NRP** : 4101 100 005  
**Jurusan** : Teknik Perkapalan FTK-ITS  
**Dosen Pembimbing** : 1. Ir. Petrus Eko Panunggal, Ph.D.  
2. Ir. Murdijanto, M.Eng.

### ABSTRAK

Dinamika gerak kapal pada saat beroperasi dapat diprediksi pada waktu proses desainnya. Selama beroperasi sebuah kapal mengalami berbagai macam gerakan yaitu heaving, pitching, rolling, yawing, swaying dan surging. Dari keenam macam gerakan tersebut terdapat tiga gerakan yang paling dominant, yaitu heaving, pitching dan rolling. Heaving dan pitching umumnya bekerja secara berpasangan yang mengakibatkan terjadinya Deck wetness dan bottom Slamming. Metode Strip Theory digunakan dalam proses perhitungannya. Sedangkan rolling dihitung secara tersendiri.

Perhitungan diawali dengan pemasukan data dan perhitungan koefisien hidrodinamis dengan cara interpolasi berdasar grafik yang tersedia dalam Buku Dynamics of Marine Vehicles. Dengan koefisien-koefisien ini maka besarnya Deck Wetness, Bottom Slamming dan rolling dapat dihitung. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan ketahanan kapal terhadap gelombang, sehingga dapat direncanakan daerah pelayaran atau pengoperasian dari kapal yang didesain tersebut.

**WAVE ENDURANCE ANALYSIS  
OF  
FERRY RO-RO 600 GT**

**Name** : SOLIKAH  
**NRP** : 4101 100 005  
**Departement** : Naval Architecture and Ship Building, Ocean Engineering  
Faculty - ITS  
**Promotors** : 1. Ir. Petrus Eko Panunggal, Ph.D.  
2. Ir. Murdijanto, M.Eng.

**ABSTRACT**

Ship dynamic motion at operational condition can be predicted in the design process. During the operation time, ship will be moving into some kind of motion known as heaving, pitching, rolling, swaying, yawing and surging. From this, heaving, pitching and rolling are three dominant moving direction. Usually, heaving and pitching work together as a coupled motion causing Deck Wetness and Bottom Slamming. Strip Theory Method be used in this calculation process. Beside that, rolling also be calculated as a single motion.

Calculating process started by entering data and calculate hydrodynamic coefficient by interpolation methode based on graff on Dynamics of Marine Vehicles Book. With this coefisiens, so Deck Wetness, Bottom Slamming and Rolling can be calculated. The result of this calculation show the endurance of ship from wave, so operational zone of ship can be planning.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada ALLAH SWT, karena berkat rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga Tugas Akhir dengan judul “ANALISA KETAHANAN GELOMBANG KAPAL FERRY RO-RO 600 GT” ini dapat terselesaikan. Tanpa pertolongan-Nya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Petrus Eko Panunggal, Ph.D. selaku dosen pembimbing, terimakasih atas semua arahan dan ilmunya. Semoga dapat lebih bermanfaat.
2. Bapak Ir. Murdijanto, M.Eng. selaku dosen pembimbing, terimakasih atas waktu dan arahannya dalam mengerjakan Tugas Akhir.
3. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng.,Ph.D. selaku dosen wali, terimakasih atas segala arahan dan bimbingannya selama penulis kuliah di ITS. Semoga saya dapat menjadi lebih baik dari sebelumnya.
4. Ir. Asjhar Imron, M.Sc, MSE, PED, selaku Dekan Fakultas Teknologi Kelautan.
5. Ir. Triwilaswandio WP, M.Sc, selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan.
6. Dr. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Perkapalan.
7. Seluruh dosen Jurusan Teknik Perkapalan, terimakasih atas segala ilmu dan bimbingannya. Semoga dunia perkapalan Indonesia semakin maju.
8. Seluruh karyawan dan karyawan FTK, khususnya bagian Tata Usaha Jurusan Teknik Perkapalan serta Bapak Suwanto selaku penanggung jawab labkom, terimakasih atas bantuannya selama penulis kuliah di ITS.
9. Teman-teman angkatan 2001 khususnya dan warga Naval Architect umumnya tanpa terkecuali, terimakasih atas kebersamaan dan bantuannya selama ini.

Penulis sadar bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhirnya besar harapan penulis semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi para pembaca semua.

Surabaya, Februari 2007

PENULIS

## THANK'S TO :

1. Segala puji dan syukur aku ucapkan kepada yang selalu aku mintakan tolong dan petunjuk serta kekuatan : Allah SWT., Please, lindungi dan terangilah jalanku selalu.
2. Kedua orangtua, Bapak dan Ibu yang telah mencurahkan kasih sayang, perhatian dan pengertiannya. Ini adalah satu hadiah atas segala jerih payah yang kalian lakukan.. Ananda harap dapat memberi kebahagiaan dan kebanggaan di hati.
3. Kedua adikku, Margie dan Yan, tetaplah jadi kebanggaan kakakmu ini. OK Brothers?!
4. Keluarga besarku, terimakasih atas semua dukungannya. Doa-doa dan semangat dari kalian akan selalu kuharapkan menemani hari-hariku.
5. Sahabat-sahabat karibku sekaligus saudaraku yang telah mengisi hidupku: Nonik, Kiki, Dwi, Ariyanti, Isna, JP, Yoyon, Arif, Efa, Muya dan Sams. All... of U, thanks atas semua dukungan dan doanya. Aku akan selalu merindukan kalian.
6. Kedua saudariku di ITS, Efa dan Salma. Thanks atas semua dukungan dan pengertiannya. Kapan kita bisa kumpul lagi? Aku juga kangen kalian...
7. Geng cewek kapal : M. Rieska, M. Ruthma, M. Mey, M. Nora, M. Wiwid (dalam kenangan), Efa, Salma, Siska, Rinta dan Septi. Semangat yo...pantang menyerah!!!
8. Para anggota Labkom yang lama ga ketemu: Mas Mu, Mas Utink 00, Mas Bintang, Toni, Ronald, sukron, Gie, Nyonyox dan juga geng cewek kapal. Kapan reuninya ne..?!! Uda pada sukses kan..?! Tar taon 2010 kita nonton World Cup bareng lagi yuk.....:-)
9. P-41 semuanya, terutama Dian, Nyonyox, Ronald, Gie, Di2t, Ari, Bowi, Don King ma pasangannya Ryan, Tyo, Zezan, Bagus, Fajar dan semua yang ga bisa disebut satu per satu, terimakasih uda bantuin aku berjuang di ITS. Ayo...semangat!! Bagi yang belum lulus semoga cepat selesai. Doaku selalu terpanjat untuk kalian semua. Jangan lupa, tetap jaga silaturahmi.
10. Seluruh warga Naval Architect, semangat untuk kemajuan dunia perkapalan Indonesia.
11. Semua warga kost GK 74, especially: Asti, Fenty, Rinay, Ira, Lika, Dd, dan Lia. Thanks atas waktu curhat dan joke-nya.
12. Semua pihak yang tak dapat kusebut di sini...,thank's untuk semua dukungannya.

# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
THANKS TO.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR SIMBOL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang Masalah .....	1
I.2 Perumusan Masalah.....	1
I.3 Tujuan.....	2
I.4 Manfaat.....	2
I.5 Batasan Masalah.....	2
I.6 Hipotesa.....	2
I.7 Metodologi.....	2
I.8 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
II.1 Umum.....	5
II.2 Gelombang Laut.....	6
II.3 Gerakan Kapal di Laut. ....	8
II.3.1 Penyederhanaan (Pendekatan Dasar).....	10
II.3.2 Sistem Koordinat.....	10
II.3.3 Persamaan Gaya Dasar.....	11
II.3.4 Aplikasi Persamaan Gaya.....	12
II.3.5 Persamaan Gerak.....	13
II.3.6 Penyelesaian Persamaan Gerak.....	16
II.4 Gerak Relative Suatu Titik Terhadap Gelombang.....	18
II.5 Penentuan Koefisien Added Mass Heaving, Amplitudo Ratio Heaving dan Roll Damping.....	20
II.5.1 Added Mass Heaving.....	20
II.5.2 Amplitudo Ratio Heaving.....	22
II.5.3 Roll Damping.....	24
II.6 Persyaratan Standart.....	25
<b>BAB III PELUANG TERJADINYA DECK WETNESS DAN SLAMMING.....</b>	<b>27</b>
III.1 Pendahuluan.....	27
III.2 Input Perhitungan.....	27
III.3 Perhitungan Koefisien Hidrodinamis.....	28
III.4 Perhitungan Koefisien Gerak.....	28
III.4.1 Perhitungan $a_z$ dan $A_{yy}$ .....	28
III.4.2 Perhitungan $b'$ dan $B'$ .....	28



III.4.3	Perhitungan $c'$ dan $C'$ .....	29
III.4.4	Perhitungan $d'$ , $e'$ , $h'$ , $D'$ , $E'$ dan $H'$ .....	29
III.4.5	Perhitungan $m'$ dan $I_{yy}$ .....	30
III.4.6	Perhitungan Exciting Force ( $F'$ ) dan Moment ( $M'$ ) .....	30
III.5	Penyelesaian Persamaan Gerak.....	30
III.6	Wave Spektrum dari ITTC.....	31
III.7	Response Amplitudo Operator (RAO) dan Significant Amplitudo Station 9.5 Relative Motion.....	31
III.8	Perhitungan dengan Bantuan Program Komputer.....	32
III.9	Analisa Hasil Perhitungan.....	35
<b>BAB IV</b>	<b>ANALISA HASIL PERHITUNGAN.....</b>	<b>37</b>
IV.1	Data Input Perhitungan.....	37
IV.2	Perhitungan.....	41
IV.3	Output.....	43
IV.4	Analisa Perhitungan.....	49
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP.....</b>	<b>51</b>
V.1	Kesimpulan.....	51
V.2	Saran.....	51

DAFTAR PUSTAKA  
LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sea State.....	7
Tabel 2.2	Hasil Pembacaan Grafik Added Mass Heaving pada $\beta_n = 0.7$ .....	21
Tabel 2.3	Pembacaan Grafik Amplitudo Ratio Heaving pada $\beta_n = 0.7$ .....	23
Tabel 2.4	Pembacaan Grafik Roll Damping.....	25
Tabel 3.1	Data Hubungan Wind Speed dan Significant Wave Height.....	31
Tabel 4.1	Data – data kapal.....	37
Tabel 4.2	Data Gelombang Sea State 1.....	38
Tabel 4.3	Data Gelombang Sea State 2.....	39
Tabel 4.4	Data Gelombang Sea State 3.....	39
Tabel 4.5	Data Gelombang Sea State 4.....	40
Tabel 4.6	Data $\omega_w$ .....	42
Tabel 4.7	Perhitungan Deck Wetness dan Slamming pada Sea State 1 – 4.....	49

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Arah Gerakan Kapal.....	5
Gambar 2.2	Gelombang Sinusoidal.....	6
Gambar 2.3	Grafik Sea <b>State</b> .....	8
Gambar 2.4	Bottom Slamming.....	9
Gambar 2.5	Sistem Koordinat untuk Strip Teori.....	11
Gambar 2.6	Grafik Added Mass <b>Heaving</b> .....	20
Gambar 2.7	Grafik Amplitudo Ratio Heaving.....	22
Gambar 2.8	Grafik Roll <b>Damping</b> .....	24
Gambar 3.1	Flowchart <b>Perhitungan</b> .....	35
Gambar 4.1	Grafik Wave Spectrum Sea State 1.....	43
Gambar 4.2	Grafik RAO (Response Amplitudo Operator) Sea State 1.....	44
Gambar 4.3	Grafik Significant Relative Station 9.5 Spectrum Motion.....	44
Gambar 4.4	Grafik Wave Spectrum Sea State 2.....	45
Gambar 4.5	Grafik RAO Sea State 2.....	45
Gambar 4.6	Grafik Significant Relative Station 9.5 Spectrum Motion.....	45
Gambar 4.7	Grafik Wave Spectrum Sea State 3.....	46
Gambar 4.8	Grafik RAO Sea State 3.....	46
Gambar 4.9	Grafik Significant Relative Station 9.5 Spectrum Motion.....	47
Gambar 4.10	Grafik Wave Spectrum Sea State 4.....	47
Gambar 4.11	Grafik RAO Sea State 4.....	48
Gambar 4.12	Grafik Significant Relative Station 9.5 Spectrum Motion.....	48
Gambar 4.13	grafik Deck Wetness dan Slamming Sea State 1 – 4.....	49

## DAFTAR SIMBOL

$L$	= Panjang kapal = $L_{pp}$
$B$	= Lebar Kapal
$H$	= Tinggi Kapal
$T$	= Sarat Kapal
$V_s$	= Kecepatan Kapal = $u$
$f$	= Freeboard
$C_b$	= Koefisien Blok
$C_m$	= Koefisien Midship
$g$	= Percepatan Gravitasi Bumi
$\Delta$	= Displacemen Kapal
LCG	= Longitudinal Center of Gravity
LCB	= Longitudinal Center of Boujancy
$S_n$	= Luasan Body Plan pada Station Setempat
$L_w$	= Panjang Gelombang
$F_n$	= Froud Number
$H_w$	= Tinggi Gelombang
$H_w/3$	= Significant Wave Height
$V_a$	= Kecepatan Angin
$\zeta_{a1/3}$	= Significant Wave Amplitudo
$T_w$	= Periode Gelombang
$\mu$	= Sudut Heading Kapal Terhadap Gelombang
$\zeta_a$	= Amplitudo Gelombang
$\bar{A}$	= Koefisien Amplitudo Ratio Heaving
$C$	= Koefisien Added Mass Heaving
$\beta_n$	= Koefisien Luasan
$\rho$	= Masa Jenis Air Laut
$\omega_w$	= Frekwensi Gelombang
$\omega_e$	= Frekwensi encounter
$a_z$	= Koefisien Added Mass Heaving
$k_{yy}$	= Jari – Jari Girasi
$A_{yy}$	= Koefisien Added Mass Pitching
$b'$	= Koefisien Damping Heaving
$B'$	= Koefisien Damping Pitching
$c'$	= Koefisien Restoring Force Heaving
$C'$	= Koefisien Restoring Moment Pitching
$d', e', h'$	= Coupling Terms Heaving
$D', E', H'$	= Coupling Terms Pitching
$m'$	= Massa kapal
$I_{yy}$	= Momen Inersia Massa Kapal
$F'$	= Gaya luar
$M'$	= Momen Gaya Luar
$z$	= Displacemen Heaving
$\xi$	= Panjang Lengan terhadap LCB
$\Lambda$	= Turning Factor Rolling
$k$	= Faktor Damping Rolling
$\mu\phi$	= Amplitudo Ratio Rolling

$T\phi$	= Periode Rolling
$\Phi_a$	= Amplitude Rolling
$z_a$	= Amplitudo Heaving
$\theta_a$	= Amplitudo Pitching
$\delta$	= Sudut Phase dari Heaving setelah Titik Gelombang di CG
$\varepsilon$	= Sudut Phase dari Gelombang setelah Titik Gelombang di CG
$S(\omega_w)$	= Spectral Density
CF	= Faktor koreksi
$v_0$	= Threshold Velocity
Pf	= Probabilitas Deck Wetness
Prob {Slam}	= Probabilitas Slamming

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Gambar Rencana Garis dan Rencana Umum Kapal Ferry Ro – Ro 600 GT  
Lampiran Gambar Added Mass Heaving, Amplitudo Ratio Heaving dan Damping Rolling  
Lampiran Perhitungan Deck Wetness dan Slamming Sea State 2,  $\mu = 180^\circ$

## BAB I PENDAHULUAN



### I.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia memiliki wilayah laut yang luas dengan kondisi geografis yang berbeda-beda. Kondisi laut yang berbeda-beda ini dikelompokkan menjadi beberapa tingkatan yang disebut *Sea State*. *Sea State* adalah kondisi laut yang meliputi besarnya kecepatan angin, ketinggian gelombang, panjang gelombang dan periode gelombang. Skala *Sea State* adalah 0 sampai 9. Kondisi laut semakin meningkat dengan semakin tingginya angka *sea state*, misalnya saja *sea state* 0 memiliki tinggi gelombang rata-rata 0.04 ft dan panjang gelombang rata-rata 10 in. Sedangkan pada *sea state* 5 memiliki tinggi gelombang rata-rata 6.6 ft (2.0117 m) dan panjang gelombang rata-rata 160 ft (48.7686 m). (Bhattacharyya, 1978).

Besar kecilnya gelombang akan sangat berpengaruh terhadap operasi suatu kapal, misalnya kapal ferry ro-ro yang umumnya melayani penyeberangan dari satu pulau ke pulau lainya. Oleh karena itu ketahanan kapal terhadap gelombang sangat perlu diperhitungkan pada saat awal tahap perencanaannya. Hal ini untuk lebih menjamin keselamatan kapal dan penumpangnya, mengingat akhir-akhir ini banyak terjadi kecelakaan kapal ferry ro-ro akibat cuaca buruk. Kapal Ferry ro-ro 600 GT milik ASDP (Angkutan Sungai, Danau dan Penyeberangan) yang sekarang sedang dalam tahap pengerjaan perlu diketahui ketahanan gelombangnya dengan menghitung peluang terjadinya *Deck wetness* dan *Bottom Slamming*. Dengan prediksi gerakan yang baik maka efisiensi dan nilai guna kapal yang diperlukan dapat ditingkatkan dalam rangka persaingan di bisnis pelayaran mengingat kapal adalah barang modal yang harganya cukup tinggi.

Gerakan kapal yang akan dibahas dan dihitung dalam tugas akhir ini adalah tentang kejadian naik turunnya dek kapal bagian haluan sehingga menyebabkan air laut naik keatas geladak yang disebut *Deck Wetness*. Selain itu juga dihitung besarnya kejadian bow kapal yang membentur air laut, hal ini disebut dengan *Bottom Slamming*. Slamming sangat berbahaya bagi kapal karena pada bagian tadi akan mengalami gaya impact. Gaya Impact ini dapat membahayakan konstruksi badan kapal karena adanya beban dinamik yang besar dan berulang sehingga menyebabkan fatigue. Jika beban ini frekwensinya sama dengan frekwensi natural kapal maka akan timbul resonansi sehingga timbul gaya yang lebih besar dan dapat merusak bangunan kapal. Naiknya air laut ke atas dek akan menyebabkan beban impact pada sekat depan, orang dan barang terlempar ke laut dan ABK tidak dapat bekerja sebagaimana mestinya. Disamping itu juga dapat menyebabkan gangguan bahkan kerusakan pada peralatan, terlebih lagi pada kapal perang yang berhubungan dengan listrik.

Prediksi *deck wetness* ini dilakukan dengan menghitung gerakan heave dan pitch dengan persamaan gabungan pada gelombang reguler dengan sudut encounter yang telah ditentukan yaitu 0, 45, 90, 135 dan 180°. Juga ditambahkan perhitungan rolling yang dinilai sangat berpengaruh terhadap stabilitas kapal. Koefisien hidrodinamis pada perhitungan ini dengan pembacaan grafik yang kemudian divalidasikan dengan perhitungan berdasarkan perumusan.

### I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penyelesaian permasalahan yang akan dicari secara umum dalam tugas akhir ini adalah bagaimana membuat prediksi akurat untuk deck

wetness dan slamming di gelombang regular. Masalah yang akan dibahas dan dicari pemecahannya antara lain :

1. Bagaimana membuat program perhitungan untuk mengetahui besarnya Deck Wetness, Bottom Slamming dan Rolling.
2. Menganalisa kemampuan operasi Ferry Ro – Ro 600 GT ini sampai dengan sea state ke berapa

### **I.3 Tujuan**

Tujuan yang dicapai dari pengerjaan tugas akhir ini adalah:

Untuk mengetahui pada *Sea State* berapa kriteria *Deck Wetness* dan *Bottom Slamming* tersebut mulai tidak dipenuhi pada kapal ferry ro-ro 600 GT milik ASDP ini.

### **I.4 Manfaat**

Karena kapal ferry ro-ro 600 GT milik ASDP ini masih dalam tahap perancangan sehingga jika terdapat masalah tentang ketahanan gelombangnya maka masih dapat dilakukan perbaikan pada rancangan kapal tersebut. Jika kapal tersebut telah memenuhi standart Deck Wetness dan Slamming yang disyaratkan maka akan dapat diketahui daerah pengoperasiannya.

### **I.5 Batasan masalah**

Agar penyusunan tugas akhir ini lebih terarah, maka dilakukan batasan-batasan masalah yang dititikberatkan pada beberapa hal sebagai berikut:

1. Perhitungan *Deck Wetness* dan *Bottom Slamming* ini adalah untuk kapal ferry ro-ro 600 GT milik ASDP yang ukuran utamanya telah diketahui ( $L = 39$  m,  $B = 12$  m,  $H = 3$  m,  $T = 2$  m)
2. Kondisi gelombang dianggap *regular* (beraturan), *wave spectrum* yang digunakan adalah berdasar *ITTC Standard* yang menghasilkan grafik perbandingan antara frekwensi gelombang dan frekwensi encountering.
3. Perhitungan untuk kapal saat mengalami gerakan *coupled heaving* dan *pitching* serta *rolling* yang merupakan gerakan dominan.
4. Perhitungan gerak kapal dilakukan menggunakan metode pendekatan secara teoritis dengan *Metode Strip Theory*
5. Dihitung dengan sudut datang  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  dan  $180^\circ$  (*head sea*).
6. Daerah yang dihitung divariasikan pada daerah depan (*bow*) yang diperkirakan mengalami gerak vertikal (dalam hal ini pada station 9.5)
7. Perairan dianggap sebagai perairan dalam, sehingga efek kedalamannya diabaikan

### **I.6 Hipotesa**

Kapal Ferry Ro – Ro 600 GT ini masih mampu beroperasi pada kondisi laut sea state 3. Sedangkan pada sea state 4 besarnya Deck Wetness dan Bottom Slamming sudah tidak memenuhi standart maksimal yang diperbolehkan.

### **I.7 Metodologi**

Metodologi penulisan yang digunakan untuk mencapai tujuan pengerjaan tugas akhir ini adalah:



## 1. Studi literature

Permasalahan pada tugas akhir ini dibahas berdasarkan literature yang mendukung penyelesaiannya. Studi literature tersebut meliputi:

### a. Gelombang Sinusoidal. (Bhattacharyya, 1978).

Permasalahan gelombang yang meliputi bentuk gelombang, persamaan gelombang, karakteristik gelombang, dan gaya eksitasi yang dihasilkan oleh gelombang dengan sudut phase tertentu.

### b. Gerak couple heaving dan pitching.

Gerakan kapal yang bersumbu pada sumbu x, y dan z mengakibatkan berbagai macam gerakan yang satu sama lain saling mempengaruhi. Deck Wetness dan Slamming terjadi akibat gerakan couple heaving dan pitching.

### c. Deck Wetness dan Slamming

Gerakan relatif bagian depan kapal (bow) terhadap gelombang, statical swell-up, dinamical swell-up, dek wetness, dan slamming.

### d. Proses Perhitungan.

Langkah-langkah perhitungan serta proses perhitungannya dengan bantuan program computer.

## 2. Pembuatan Program Perhitungan

### a. Pemasukan Data

Masukan data yang diperlukan pada perhitungan ini adalah ukuran utama kapal meliputi panjang, lebar, sarat, tinggi, LCG, LCB, luas dan pembebanan tiap station termasuk freeboard pada titik yang diamati serta data gelombang dimana kapal tersebut beroperasi.

### b. Perhitungan Frekwensi Gelombang dan Frekwensi Encountering

### c. Pengecekan volume kapal dengan volume tongkang, koreksi $\leq 0.1$ %.

### d. Pembacaan grafik untuk koefisien – koefisien added mass heaving, amplitudo ratio heaving dan damping rolling.

### e. Menginterpolasikan nilai-nilai pembacaan grafik-grafik di atas untuk mencari nilai koefisien yang diperlukan hitungan.

### f. Perhitungan tabel 1 untuk mencari koefisien added mass heaving ( $a_z$ ) dan koefisien added mass pitching ( $A_{yy}$ ).

### g. Perhitungan tabel 2 untuk mencari koefisien damping heaving ( $b'$ ) dan koefisien damping pitching ( $B'$ ).

### h. Perhitungan tabel 3 untuk mencari koefisien restoring force heaving ( $c'$ ) dan koefisien restoring moment pitching ( $C'$ ).

### i. Perhitungan tabel 4 untuk mencari coupling term heaving dan pitching ( $d'$ , $e'$ , $h'$ , $D'$ , $E'$ dan $H'$ ).

### j. Perhitungan table 5 untuk mencari ship mass ( $m'$ ) dan ship mass moment of inertia ( $I_{yy}$ ).

### k. Perhitungan table 6 untuk mencari exciting force ( $F'$ ) dan exciting moment ( $M'$ )

### l. Perhitungan table 7 untuk menentukan persamaan gerak dan phase.

### m. Prediksi gerakan vertikal dengan tahap-tahap sebagai berikut:

- Memilih *wave spectrum* yang digunakan dalam perhitungan dan diplot untuk mengetahui karakteristik gelombang (dari ITTC).

- Mengubah frekwensi gelombang ke *frekwensi encountering* dimana luasan *wave spectrum* hasil modifikasi = luasan *wave spectrum* awal sehingga energi gelombang tetap sama.  $\omega_e = \omega_w (1 - (\omega_w \cdot V_s / g) \cdot \cos \mu)$

- Melakukan pengeplotan dimana ordinat pada grafik merupakan amplitude gerakan relative pada bagian depan kapal berbanding dengan amplitude gelombang
  - Membuat RAO (*Response Amplitudo Operator*) dengan mengkuadratkan langkah ke-tiga
  - Membuat kurva spectrum yang mana ordinat langkah ke-dua dikalikan dengan ordinat pada tahap empat, dengan frekwensi encountering yang sama
  - Luasan dari grafik di langkah sebelumnya digunakan untuk mendapatkan mo, yaitu luasan pada response gerakan bagian depan kapal
- n. Menghitung besarnya Deck Wetness dan Slamming.
3. Perhitungan Rolling, meliputi perhitungan:
- a. Turning Factor ( $\Lambda$ )
  - b. Damping Factor ( $k$ )
  - c. Amplitudo Ratio ( $\mu\phi$ )
  - d. Didapatkan besarnya Periode Rolling ( $T\phi$ ) dan Amplitudo Rolling ( $\Phi_a$ )
3. Analisis hasil perhitungan.  
Jika hasil perhitungan di atas memenuhi standart maka dicek terhadap sudut phase yang lain apakah masih aman atau tidak. Hasil yang didapatkan dianalisa dan dibuat kesimpulan tentang kemampuan kapal sehingga diketahui daerah operasinya.

## **I.8 Sistematika Penulisan**

Penulisan pembahasan dalam tugas akhir ini disusun berdasarkan prosedur penulisan Tugas Akhir. Dalam penyusunannya dikembangkan menjadi lima bab.

Bab I berisi tentang Pendahuluan. Pada bab ini berisikan latar belakang masalah dari penyusunan tugas akhir, diikuti dengan perumusan masalah yang merupakan uraian singkat mengenai hal pokok yang akan dipecahkan pada pengerjaan tugas akhir ini. Dilanjutkan dengan tujuan dan manfaat yang akan diperoleh dari penyelesaian masalah tersebut. Agar penyelesaian masalah lebih terarah maka perlu diberikan batasan masalah. Langkah-langkah yang menunjukkan penyelesaian perhitungan dijelaskan pada sub bab metodologi. Metodologi ini mencakup tahap-tahap pengerjaan dari awal hingga sistematika penyusunan laporan pada akhirnya.

Bab II membahas tentang dasar teori. Diawali dengan teori gelombang sinusoidal dan dilanjutkan dengan perhitungan gerak couple heaving dan pitching dengan menggunakan strip teori, sampai dengan sudut phase yang terjadi. Sehingga dapat deck wetness dan slamming dapat diprediksi atau dihitung pada gelombang regular tersebut. Pembahasan penyelesaian koefisien hidrodinamis persamaan gerak serta metode penyelesaiannya dengan menggunakan Excell. Hal yang sama juga dilakukan terhadap perhitungan gerak rolling yang dihitung sendiri (tanpa couple)

Bab III berisi tentang proses perhitungan gerak couple heaving dan pitching yang memungkinkan terjadinya deck wetness dan slamming. Juga dibahas untuk gerak rolling. Perhitungan ini dilakukan dengan bantuan perhitungan komputer program Excell.

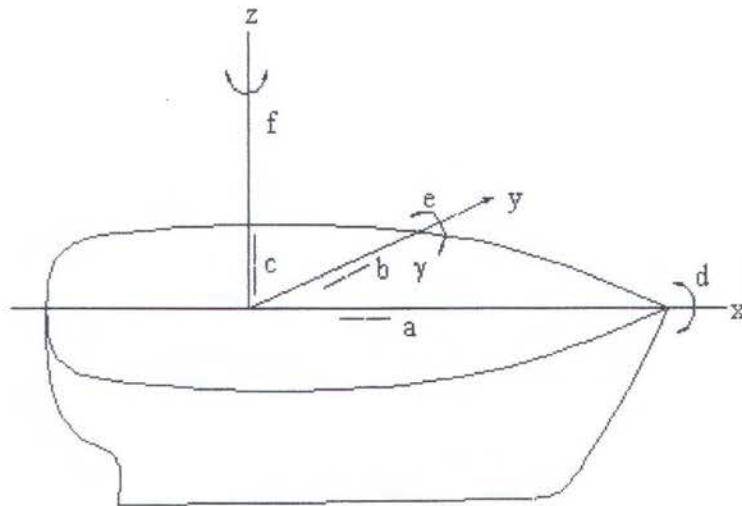
Pada Bab IV dibahas tentang analisa data hasil perhitungan dengan bantuan program komputer disertai dengan pembahasan mengenai hasil yang didapatkan.

Bab V merupakan bab terakhir dari laporan ini, berisi kesimpulan dan saran dari penulis yang mungkin dapat dilakukan untuk perbaikan dan penyempurnaan dari tugas akhir ini.

## BAB II DASAR TEORI

### II.1. Umum

Kapal mengalami gerakan translasi dan rotasi ketika sedang beroperasi, seperti yang digambarkan pada gambar di bawah ini



**Gambar 2.1** Arah Gerakan Kapal

Keterangan:

- x = longitudinal axis
- y = transversal axis
- z = vertikal axis
- a = *Surging* (gerakan memanjang kapal yang gerakannya berubah-ubah, cepat-pelan-cepat- dan seterusnya)
- b = *Swaying* (gerakan kapal yang bereblok-belok jika dilihat dari pandangan atas)
- c = *Heaving* (gerakan terjadinya perubahan sarat pada saat kapal berjalan, gerakannya turun naik, gerakan ini dilihat dari pandangan samping)
- d = *Rolling* (gerakan kapal miring ke kanan dan kiri)
- e = *Pitching* (gerakan kapal yang mengangguk-angguk pada bagian bow)
- f = *Yawing* (gerakan kapal (seperti *sway*) tetapi CL kapal menyinggung lintasannya)

Untuk mempelajari efek gelombang dari dinamika kapal maka secara logika kita harus mengerti tentang gelombang laut yang tidak hanya berupa gelombang regular tetapi berbentuk gelombang kompleks yang tidak dapat diprediksi (irregular). Untuk melakukan prediksi kemungkinan naiknya air ke atas geladak serta gerakan bow kapal maka diperlukan penjelasan yang mendasari perhitungan tersebut, antara lain :

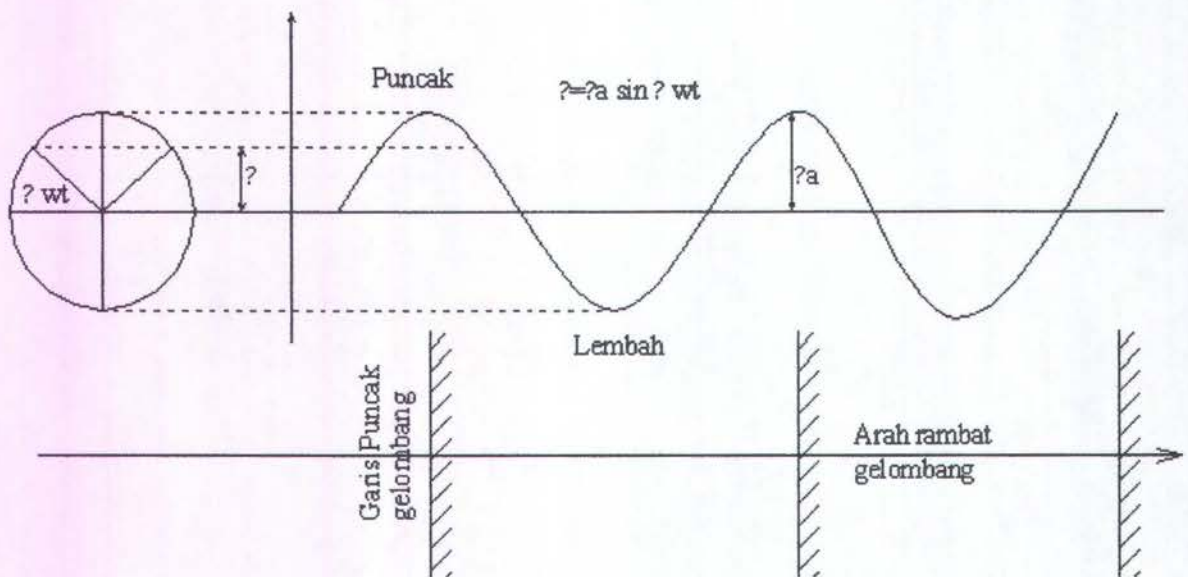
1. Gelombang (kondisi) laut
2. Gerak kapal akibat adanya gelombang
3. Gerakan relatif suatu titik pada kapal terhadap gelombang

Selain itu untuk mendapatkan keakuratan, perhitungan harus dijabarkan dengan pola perhitungan yang akurat, dalam hal ini digunakan bantuan perhitungan komputer.

## II.2. Gelombang Laut

Laut memiliki kondisi yang berbeda-beda di setiap tempat tergantung dari kondisi alam yang mempengaruhinya. Gelombang laut dipengaruhi oleh dalam atau tidaknya suatu perairan. Oleh karena itu bentuk dan sifat gelombang sangatlah kompleks. Gelombang dibedakan menjadi dua (2) macam, yaitu gelombang sinusoidal dan gelombang trochoidal. Karena jenis gelombang tersebut sangat kompleks maka untuk melakukan perhitungan ilmiah dilakukan pendekatan agar dapat digambarkan sifat dari gelombang yang kita gunakan.

Gelombang sinusoidal adalah gelombang harmonic yang mengikuti fungsi sinus, bagian puncak dan lembah gelombang mempunyai bentuk yang sama. Sedangkan gelombang trochoidal mempunyai puncak gelombang yang runcing dengan lembah gelombang yang datar dan lebih panjang. Jenis gelombang ini lebih sulit diterapkan dalam perhitungan meskipun bentuknya lebih mendekati bentuk gelombang sesungguhnya. (Bhattacharyya, 1978)



**Gambar 2.2** Gelombang Sinusoidal

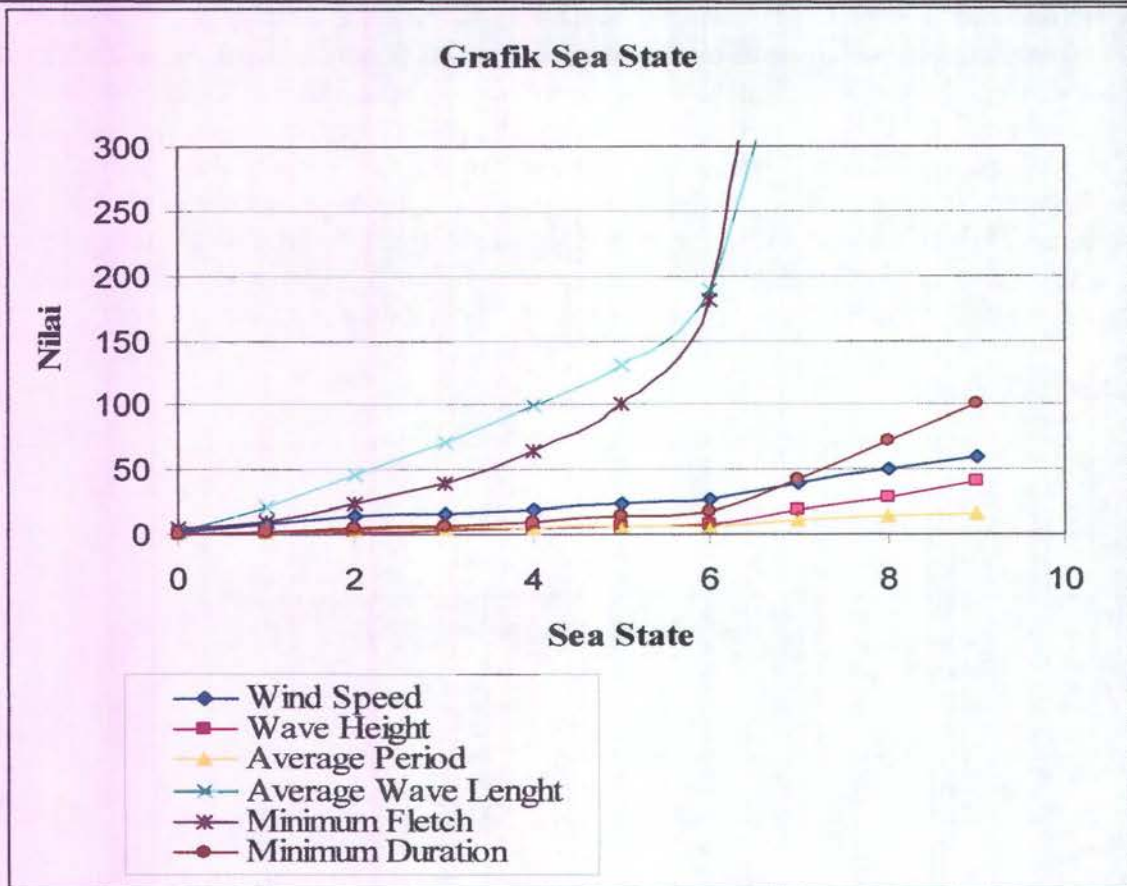
Gelombang diasumsikan pada perairan dalam sehingga pengaruh dasar (kedalaman) tidak terjadi atau diabaikan. Selain itu lebar perairan tak terbatas sehingga pengaruh sisi perairan kecil. Beberapa karakteristik gelombang harmonic sinusoidal antara lain dirumuskan sebagai berikut:

- Panjang gelombang ( $L_w$ ): 
$$L_w = \frac{2\pi V_w^2}{g} = \frac{2\pi g}{\omega_w^2} = \frac{gT_w^2}{2\pi}$$
- Wave Velocity atau Celerity ( $V_w$ ): 
$$V_w = \frac{L_w}{T_w} = \frac{g}{\omega_w} = \left(\frac{gL_w}{2\pi}\right)^{1/2}$$
- Wave number ( $k$ ): 
$$k = \frac{2\pi}{L_w} = \frac{\omega_w^2}{g} = \frac{g}{V_w^2} = \frac{4\pi^2}{gT_w^2}$$
- Periode gelombang ( $T_w$ ): 
$$T_w = \left(\frac{2\pi L_w}{g}\right)^{1/2}$$
- Tekanan ( $P$ ): 
$$P = \rho g z - \zeta_a \rho g e^{-kz} \cos(kx - \omega_w t)$$

Ketika kapal bergerak dilaut maka gerakannya dipengaruhi oleh gaya-gaya yang bekerja dari luar antara lain gelombang, arus air, kedalaman dan luas perairan, angin dan lain sebagainya. Keadaan tersebut dibedakan dalam beberapa Sea State dimana semakin tinggi sea state maka kondisi suatu perairan semakin meningkat pula kondisi gelombangnya. Prediksi kejadian akibat efek dari gelombang (Deck Wetness dan Bottom Slamming) memerlukan penyederhanaan dengan beberapa asumsi sehingga permasalahan dapat lebih sederhana dan dapat dicari penyelesaiannya. Data sea state tersebut disajikan dalam tabel di bawah ini, (Bhattacharyya, 1978), dengan asumsi gerakan kapal dipengaruhi oleh besarnya kecepatan angin, periode serta panjang gelombang. Data Sea State tersebut dapat diberikan dalam tabel sebagai berikut:

**Tabel 2.1** Sea State

Sea State	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wind Vel. (Knots)	2	8.5	13.5	16	19	24	26	40	54	59.5
Wave Height (ft)	0.04	0.8	2.1	2.9	4.1	6.6	7.7	18.2	33.2	40.3
Average Period/Ts (Sec)	0.5	2.3	3.6	4.3	5.1	6.4	7	10.7	14.5	15.9
Average Wave Length (ft)	0.833	20	52	71	99	160	188	444	810	985
Minimum Fetch (Nautical miles)	5	9.8	24	40	65	130	180	710	1800	2500
Minimum Duration (hr)	0.30	1.7	4.8	6.6	9.2	14	17	42	81	101



Grafik 2.3 : Grafik Sea State

### II.3. Gerakan Kapal di Laut

Gerakan kapal rata-rata merupakan gerakan bolak-balik badan kapal dan beberapa di antaranya merupakan gabungan antara satu gerakan atau lebih. Gerak heave, pitch dan roll adalah gerak bolak-balik dimana terdapat koefisien gaya restoring yang mengembalikan gerakan kapal menuju titik keseimbangan.

Dari enam gerakan (derajat kebebasan) yang dialami kapal ketika berada di laut dilakukan penyederhanaan dengan membuat gerakan berpasangan atau gabungan yang memungkinkan untuk menggambarkan gaya dan moment yang bekerja didalamnya. Gerakan gabungan (coupled motion) ini terdiri dari :

1. Heave dan Pitch
2. Yaw dan Sway
3. Yaw, Sway dan Roll
4. Roll, Yaw, dan Pitch

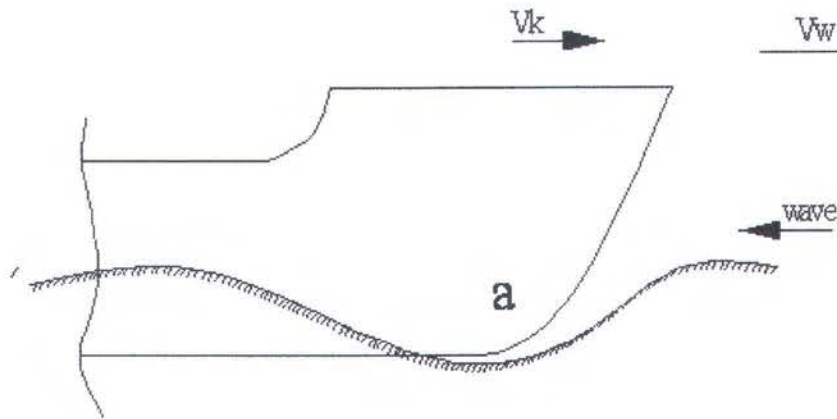
Gerakan kapal kearah vertikal paling dipengaruhi oleh gerakan gabungan heaving dan pitching, gerakan ini dapat dengan mudah diteliti dalam percobaan model karena merupakan gerakan yang paling dominan selain rolling. Penerapan Metode Strip Teory pada heaving dan pitching dilakukan dengan menurunkan dua persamaan gerakan tersebut. Menurut Hukum Newton II bahwa jumlah dari gaya-gaya yang bekerja pada badan kapal sama dengan massa dikalikan percepatannya.

Heave 
$$m \cdot \ddot{z} = \sum F$$

Pitch 
$$i \cdot \ddot{\theta} = \sum M$$

$\Sigma F$  adalah jumlah gaya hidrodinamis vertikal (gaya eksitasi gelombang).  $\Sigma M$  adalah jumlah momen yang bekerja pada kapal akibat gerak relatif kapal dengan gelombang. Ketika kapal bergerak dengan kecepatan tertentu di air tenang maka jumlah gaya vertikal yang bekerja pada kapal adalah nol yang menunjukkan bahwa tidak terdapat gerakan kapal secara vertikal.

Gerakan kapal secara vertikal banyak terjadi pada daerah bow (haluan kapal) yang menyebabkan terjadinya Deck Wetness dan Bottom Slamming. Gerakan bow kapal dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.4 Bottom Slamming

a = forefoot

Ketika haluan tercelup dan gelombang kembali masuk dengan kecepatan relative besar, maka kemungkinan slamming akan terjadi. Terdapat tiga kondisi kinematis untuk menjelaskan *slamming*, yaitu:

1. Haluan tercelup
2. Perbedaan fase antara gerakan gelombang dan gerakan haluan (jika haluan ke bawah bertemu dengan gerakan gelombang ke atas)
3. Besarnya kecepatan relative haluan (jika kecepatan relative haluan  $>$  kecepatan gelombang maka kapal tersebut akan mengalami *slamming*)

Probabilitas *slamming* akan meningkat jika kecepatan kapal meningkat. Ketika *slamming* terjadi maka kapal harus mengurangi kecepatannya untuk mencegah kerusakan struktur pada lambung. Pada kapal-kapal besar kemungkinan terjadi *slamming* ketika kapal berada pada sarat  $0.075 L - 0.04 L$ .

Gerakan heave dan pitch merupakan faktor tertinggi penurun kecepatan pada saat cuaca buruk atau sea state yang tinggi. Di samping itu masih ada rolling yang sangat berpengaruh terhadap stabilitas dari suatu kapal. Kapal yang bergerak dengan kecepatan tinggi dan sudut encounter besar akan mengalami amplitude heave dan pitch yang dapat mengangkat bow kapal dan kemudian membenamkannya. Pada Rolling akan menyebabkan kapal oleng dengan sudut oleng yang besar sehingga membahayakan stabilitas kapal. Oleh karena itu perlu dipertimbangkan dan direncanakan struktur bangunan dan rencana kecepatan yang seoptimal mungkin pada tahap desain. Penggunaan metode strip teori di sini adalah untuk memprediksi gerakan heave, pitch dan rolling kapal pada suatu pelayaran dengan karakteristik amplitude dan frekwensi tertentu pada titik yang diprediksi.

---

---

### II.3.1 Penyederhanaan (Pendekatan Dasar)

Permasalahan gerakan kompleks ini dapat disederhanakan dengan membuat beberapa asumsi dan batasan. Pertama, kapal dianggap bergerak ke arah melintang terhadap garis puncak arah gelombang. Laut dianggap sebagai gelombang sinusoidal (harmonic teratur) dengan gerakan surge, sway dan yaw diabaikan. Gerakan heaving dan pitching merupakan gerakan gabungan dan rolling dihitung secara tersendiri.

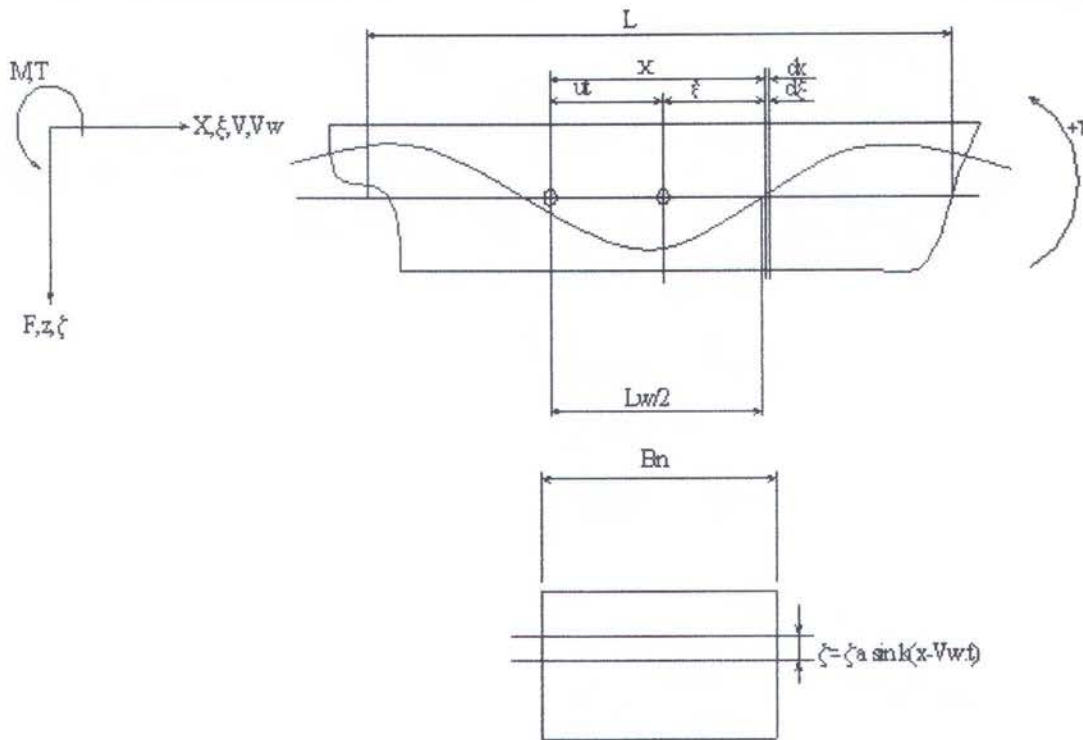
Badan kapal dianggap sebagai kumpulan penampang melintang kapal yang terdiri atas beberapa bagian atau strip dan berada pada kondisi dua dimensi di alam (sebenarnya pada kondisi tiga dimensi). Dengan kondisi ini maka akan diketahui bahwa terdapat interaksi aliran sepanjang benda tersebut meskipun terdapat perbedaan penting antara asumsi aliran dua dimensi dan aliran tiga dimensi sesungguhnya, terutama pada bagian ujung kapal. Gerak vertikal masing-masing strip pada kapal (terutama bagian haluan) diatur dalam gabungan gerakan heaving dan pitching. Setelah reaksi masing-masing strip dihitung, reaksi total kapal dapat diketahui dengan mengintegrasikan komponen reaksi sepanjang badan kapal. Persamaan matematika dasar didapatkan melalui jalan ini sebagai persamaan diferensial orde kedua linier yang menggambarkan inersia, hidrodinamika, dan komponen hidrostatis sebagai gaya yang bekerja pada tiap strip dan menyebabkan gerakan relatif vertikal antara kapal dengan gelombang.

### II.3.2 Sistem Koordinat

Sumbu utama dianggap tetap dalam ruang dengan titik awal pada titik gelombang dengan air tenang pada waktu sama dengan nol. Bidang mendatar terdiri dari sumbu  $x$  dan  $y$ , dengan sumbu tegak sebagai  $z$  dengan positif ke arah bawah. Sistem koordinat kedua dibuat dengan sepasang sumbu acuan kapal dimana titik pusatnya  $O'$ , terletak di garis air muat yang berpotongan dengan titik berat kapal. Koordinat memanjang untuk system ini,  $\xi$ , positif ke arah depan.

Dari sistem koordinat yang telah ditetapkan dapat dijadikan sebagai dasar untuk menggambarkan gerakan kapal, pitch, heave dan roll. Komponen heaving adalah  $z$ , menandai perpindahan vertical dari titik berat kapal. Komponen pitching disimbolkan  $\theta$ , adalah perpindahan angular dalam bidang  $x$ - $y$  terhadap sumbu pusat kapal  $O'$ . Posisi vertical titik tertentu  $\xi$  sepanjang garis air muat, karena itu,  $z = \xi \sin \theta$ , dimana  $\theta$  dalam radian. Untuk sudut  $\theta$  kecil maka  $\sin \theta \approx \theta$ . Kecepatan dan percepatan, keduanya linier dan angular, disimbolkan berturut-turut sebagai  $\dot{z}$  dan  $\ddot{z}$  pada gerak heave dan  $\dot{\theta}$  dan  $\ddot{\theta}$  pada gerak pitch. Rolling disimbolkan  $\Phi$  yang melambangkan perpindahan angular terhadap bidang  $x$ - $z$  terhadap sumbu pusat kapal  $O$ .





Gambar 2.5. Sistem Koordinat untuk Strip Teori

### II.3.3 Persamaan Gaya Dasar

Ketika berada di air tenang strip mengalami gaya keatas sama dengan beratnya, besarnya proporsional terhadap volume yang terbenam di air. Simbol  $c$  digunakan sebagai lambang nilai konstan dari proporsionalitas yang berarti luas garis air dari strip dan berat jenis dari air. Ketika dipindahkan dari titik keseimbangannya oleh beberapa gaya luar kearah bawah, strip memiliki buoyancy lebih besar dari beratnya, yang menyebabkan percepatan keatas. Reaksi inersia melawanan percepatan ini dengan bentuk  $F = m' \ddot{z}$ , dimana  $\ddot{z}$  adalah percepatan heaving dan  $m$  lebih besar dari massa strip itu sendiri karena dipengaruhi oleh air, tambahan beratnya disebut sebagai Added Massa. Perhitungan ini diperlukan untuk menentukan percepatan air yang harus sesuai dengan bentuk strip (tergantung bentuk badan kapal) disamping mempercepat strip itu sendiri. Resultant gaya inesia sekarang dinyatakan  $F = (m + a_z) \ddot{z}$  dimana  $m$  adalah massa badan kapal dan  $a_z$  adalah added mass untuk gerakan heaving.

Terdapat tiga tipe gaya yang bekerja pada strip, yaitu: hidrostatis, hidrodinamik, dan inersia. Hambatan hidrodinamik kapal menyebabkan gaya reaksi lain ketika strip pada kapal mengalami gaya tekan ke atas. Gaya ini dikenal sebagai *damping* ( $b'$ ). Disini, maksud dari eksperimen dan empiris digunakan untuk menjelaskan proporsionalitas dari  $b'$ . Ketiga tipe di atas proporsional pada posisi  $z$ , kecepatan vertikal  $\dot{z}$ . (Bhattacharyya, 1978).

$$cz = (m + a_z) \ddot{z} + b' \dot{z} \dots \dots \dots (2.1a)$$

Sesuai perjanjian tanda dari perpindahan  $z$ , ke bawah adalah positif dan ke atas percepatan dan kecepatan adalah negative. Dengan menggabungkan pada persamaan gaya kita dapat:

$$cz = \left(\frac{\Delta}{g} + a_z\right)(-\ddot{z}) + b'(-\dot{z}) \dots \dots \dots (2.1b)$$

Dimana  $\Delta$  adalah berat kapal. Jika ini dianggap bahwa strip diganggu dengan melewati gelombang dengan amplitude  $\zeta_a$ , gaya inersia yang bekerja pada strip menyebabkan perubahan pada ketinggian air (gaya buoyancy) saat pertama gelombang lewat. Selanjutnya, naik turunnya garis air menyebabkan gangguan terus menerus yang disebut *exciting force*. Nilai instan dari gaya ini sama dengan jumlah dari percepatan relatif, kecepatan, dan posisi antara strip dengan permukaan air dikalikan dengan nilai konstantanya masing-masing, sehingga:

$$m \ddot{z} = F = a_z(-\dot{z} + \dot{\zeta}) + b'(-z + \zeta) + c(-z + \zeta) \dots \dots \dots (2.2a)$$

Dimana  $\ddot{\zeta}, \dot{\zeta}, \zeta$  adalah nilai absolut vertikal dari percepatan, kecepatan, dan posisinya dari permukaan air. Persamaan diatas dapat disusun sebagai berikut:

$$(m' + a_z) \ddot{z} + b' \dot{z} + cz - a_z \ddot{\zeta} + b' \dot{\zeta} + c\zeta \dots \dots \dots (2.2b)$$

Dimana sisi sebelah kanan dikenal dengan *exciting force* yang muncul pada badan kapal karena gelombang jika badan kapal tetap menahan gerakan vertikalnya. Gaya gelombang diasumsikan aliran ideal, pengaruh viskositas diabaikan.

Untuk mempertimbangkan gerak kapal di gelombang, pertama harus digambarkan gerak relatif antara kapal dengan gelombang. Posisi vertikal absolut dari setiap titik sepanjang kapal dapat digambarkan oleh  $z - \xi\theta$ , seperti disebutkan sebelumnya. Karena itu posisi vertikal setiap titik relatif terhadap gelombang adalah

$$z_r = z - \xi\theta - \zeta \dots \dots \dots (2.3)$$

untuk gerak pitching kecil. Diferensiasi terhadap waktu menghasilkan kecepatan vertikal relatif:

$$w_r = \dot{z}_r = \dot{z} - (\dot{\xi}\theta + \xi\dot{\theta}) - \dot{\zeta} \dots \dots \dots (2.4)$$

Harus diingat pada titik ini bahwa kapal bergerak kedepan melalui air pada kecepatan  $u$ . Konsekuensinya:

$$\frac{d\xi}{dt} = \xi - u$$

Dan percepatan relatifnya adalah

$$\dot{w}_r = \ddot{z} - \dot{\xi}\ddot{\theta} - \dot{\theta}(-\dot{u}) + u\dot{\theta} + \ddot{\xi} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$\dot{w}_r = \ddot{z} - \dot{\xi}\ddot{\theta} + 2\dot{\theta}u - \ddot{\xi}$$

### II.3.4 Aplikasi Persamaan Gaya

Gaya vertikal dari strip harus dalam keadaan keseimbangan, walaupun sepanjang strip tersebut mungkin diimbangi oleh gaya geser dalam structure kapal. Peningkatan sumbu gaya geser vertikal tiap strip disimbolkan  $\frac{df_n}{d\xi}$  dan ini sama dengan persamaan gaya dasar yang diturunkan sebelumnya, dengan mengikutkan gerakan bentuk gerak relatif kapal, maka

$$\frac{df_n}{d\xi} = -m_n \ddot{z} - (a_n \dot{w}_r + b_n w_r) - c_n z_r \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana  $m_n \ddot{z}$  adalah gaya inersia yang diperlukan untuk mempercepat massa dari strip.  $a_n \dot{w}_r$  adalah gaya hidrodinamik untuk mempercepat massa tambahan (*addedmass*).  $b_n w_r$  adalah gaya

damping hidrodinamik sesuai dengan kecepatan relatif,  $c_n z_r$ , gaya hidrostatis pada posisi relatif.

Jumlah gaya individu tiap strip sepanjang kapal terhadap sumbu x menjadi

$$\frac{df_n}{d\xi} dx = 0$$

Disini perlu dicatat bahwa perpindahan mendatarnya

$$x = \xi + ut \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana  $ut$  adalah perpindahan pusat sumbu tetap dan pusat acuan kapal, dan  $\xi$  adalah jarak dari pusat acuan kapal pada titik dalam persamaan. Untuk waktu tertentu  $t$ ,  $ut$  akan constant karena itu,

$$dx = d\xi + d(ut) = d\xi$$

Karenanya penjumlahan dari gaya menjadi,

$$\int \frac{df_n}{d\xi} d\xi = 0$$

Atau dengan memindah pengintegral,

$$-\int \frac{df_n}{d\xi} d\xi = \int m_n z_n \ddot{d\xi} + \int a_n w_r d\xi + \left( \int b_n w_r d\xi - u \int \frac{da_n}{d\xi} w_r d\xi \right) + \int c_n z_r d\xi \quad (2.8)$$

dimana

$$\ddot{z}_n = \ddot{z} - \xi \ddot{\theta} \dots\dots\dots(2.8)$$

Seperti dijelaskan sebelumnya  $z_r = z - \xi\theta - \zeta$ . Pernyataan ini seharusnya dimodifikasi karena pengaruh dari munculnya tekanan. Variasi langsung dari tekanan hidrostatis dengan kedalaman di air tenang, naik turunnya tekanan air dibawah puncak gelombang menurun secara eksponensial terhadap gelombang. Untuk menghitung pengaruh dari munculnya tekanan, persamaan posisi relatif vertikal menjadi

$$z_r = z - \xi\theta - \zeta e^{kz} \dots\dots\dots(2.9)$$

$e^{-kz}$  adalah faktor munculnya tekanan, didekati dengan tekanan murni dari gelombang yang melalui sarat dari strip. Walaupun penggunaan nilai  $z$  memperkenalkan kesalahan yang kecil, ini membuat analisa lebih mudah diatur.

Memasukkan factor adanya tekanan dalam bentuk tetap, kita mempunyai pernyataan untuk kecepatan relatif:

$$w_r = \frac{dz_r}{dt} = \dot{z} - \xi \dot{\theta} + u\dot{\theta} - \zeta e^{kz} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dan percepatan relatif

$$\dot{w}_r = \frac{dw_r}{dt} = \ddot{z} - \xi \ddot{\theta} + 2u \ddot{\theta} - \zeta e^{-kz} \dots\dots\dots(2.11)$$

### II.3.5 Persamaan Gerak

Dengan menempatkan semua bentuk absolut kapal di bagian kiri dan semua bentuk gelombang di sebelah kanan persamaan, kita mendapatkan analogi untuk contoh pasangan gerakan yang dinyatakan sebelumnya. Dengan kata lain sisi sebelah kiri dari persamaan

menggambarkan reaksi alami pada perpindahan di air tenang. Sisi sebelah kanan diatur untuk semua bentuk gelombang sebagai fungsi gaya.

Dengan mensubstitusi pernyataan sebelumnya untuk  $z_r, w_r, \dot{w}_r$ , dan  $\ddot{z}_n$  dari (2.8), (2.9), (2.10) dan (2.11) didapatkan:

$$\begin{aligned}
 & m_n (\ddot{z} - \xi \ddot{\theta}) + a_n (\ddot{z} - \xi \ddot{\theta} + 2u \dot{\theta} + b_n (\dot{z} - \xi \dot{\theta} + u \theta)) \\
 & - \frac{da_n}{d\xi} (\dot{z} - \xi \dot{\theta} + u \theta) + c_n (z - \xi \theta) = \dots\dots\dots(2.12) \\
 & \zeta e^{-kz} a_n + \zeta e^{-kz} b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \xi e^{-kz} + \zeta e^{-kz} c_n
 \end{aligned}$$

Penyataan disisi sebelah kanan menggambarkan gaya eksitasi untuk tiap strip akibat gelombang,  $dF/dx$ .

Asumsi bahwa gelombang encounter berupa gelombang harmonik regular dinyatakan  $\zeta$  sebagai

$$\zeta = \zeta_a \sin k(x - V_w t)$$

Menggabungkan pernyataan ini dengan (2.7), kita dapatkan

$$\zeta = \zeta_a \sin k(\xi + ut - V_w t)$$

atau

$$\zeta = \zeta_a \sin k(\xi + (u - V_w)t)$$

Tetapi  $-k(u - V_w)$  adalah frekwensi encounter,  $\omega_e$ . Lalu perpindahan permukaan bebasnya adalah

$$\zeta = \zeta_a \sin(k\xi + \omega_e t) \dots\dots\dots(2.13)$$

dimana

$$\dot{\zeta} = -\zeta_a \omega_e \cos(k\xi - \omega_e t) \dots\dots\dots(2.14)$$

Dan

$$\ddot{\zeta} = -\zeta_a \omega_e^2 \sin(k\xi - \omega_e t) \dots\dots\dots(2.15)$$

Substitusi  $\zeta, \dot{\zeta}$ , dan  $\ddot{\zeta}$  kedalam persamaan (2.13) menghasilkan persamaan gerak umum:

$$(m + a_z) \ddot{z} + b' \dot{z} + c' z + d' \ddot{\theta} + e' \dot{\theta} + h' \theta = F'(t) \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

$$m' = \int m_n d\xi$$

$$a_z = \int a_n d\xi$$

$$b' = \int b_n d\xi$$

Jika diasumsikan  $u \int (\frac{da_n}{d\xi}) d\xi = 0$

$$c' = \int c_n d\xi$$

Dimana dapat juga dinyatakan sebagai  $\rho g \int B_n d\xi$  ( $B_n$  adalah lebar dari masing-masing potongan),

$$d' = - \int a_n \xi d\xi$$

Jika  $\int m_n \xi d\xi = 0$  (momen dari total massa terhadap titik CG harus sama dengan nol)

$$e' = - \int b_n \xi d\xi + 2u \int a_n d\xi + u \int \frac{da_n}{d\xi} \xi d\xi \dots\dots\dots(2.17)$$

$$e' = - \int b_n \xi d\xi + u a_z$$

Jika  $\int \xi \frac{da_n}{d\xi} d\xi = \int \xi da_n = -a_z$

$$h' = - \int c_n \xi d\xi + u \int b_n d\xi$$

$$h' = - \int c_n \xi d\xi + u b$$

Jika  $u^2 \int \frac{da_n}{d\xi} d\xi = 0$  dan

$$F'(t) = \int \frac{dF}{dx} dx = \zeta_a e^{-kz} \int (-\omega_e^2 a_n + c_n) x \sin(k\xi - \omega_e t) d\xi$$

$$- \zeta_a e^{-kz} \omega_e \int (b_n - u \frac{da_n}{d\xi}) \cos(k\xi - \omega_e t) d\xi$$

Jika gaya eksitasi F' adalah sinusoidal di alam. Ini dapat dinyatakan dalam bentuk umum dari persamaan.

$$F' = F_1 \cos \omega_e t + F_2 \sin \omega_e t$$

$$F' = F_0 \cos(\omega_e t + \sigma) \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana  $F_0$  adalah amplitude dari gaya eksitasi, karena itu

$$F_0 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

Dan  $\sigma$  adalah sudut keteringgalan relatif antara gaya eksitasi dan gerakan gelombang, yaitu,

$$\sigma = - \tan^{-1} \left( \frac{F_2}{F_1} \right)$$

$F_0$  dan  $\sigma$  didapat dari penyelesaian fungsi gaya penuh, dimana  $F_1$  dan  $F_2$  didapat dari:

$$F_1 = \int \frac{dF_1}{dx} dx$$

dimana

$$\frac{dF_1}{dx} = \zeta_a e^{-kz} (-\omega_e^2 a_n + e_n) \sin k\xi + \zeta_a e^{-kz} \omega_e (b_n - u \frac{da_n}{d\xi}) \cos k\xi \dots\dots\dots (2.18a)$$

Seperti perumusan di atas,

$$F_2 = \int \frac{dF_2}{dx} dx$$

Dimana

$$\frac{dF_2}{dx} = \zeta_a e^{-kz} (-\omega_e^2 a_n + e_n) \cos k\xi + \zeta_a e^{-kz} \omega_e (b_n - u \frac{da_n}{d\xi}) \sin k\xi \dots\dots\dots (2.18b)$$

Catatan : dalam persamaan diatas z diambil menjadi  $T_m$ , dimana ini maksudnya adalah sarat rata-rata tiap potongan, yaitu,

$$T_m = \frac{S_n}{B_n} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana  $S_n$  dan  $B_n$  adalah luas potongan dan lebar dari potongan, berturut-turut. Persamaan (2.18) mengacu pada persamaan gerak pertama menyangkut semua gaya. Persamaan gerak kedua adalah gerak angular berlawanan dengan yang pertama dan ditulis sebagai,

$$(I_{yy} + a_{yy})\ddot{\theta} + B'\dot{\theta} + C'\theta + D'z + E'z + H'z = M'(t) \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana tiap bentuk menggambarkan momen gaya termasuk gaya. Koefisien momen didefinisikan sebagai berikut

$$A_{yy} = \int a_n \xi^2 d\xi$$

$$B' = \int b_n \xi^2 d\xi$$

Jika  $2u \int a_n \xi d\xi = -u \int \frac{da_n}{d\xi} \xi^2 d\xi$

$$C' = \int c_n \xi^2 d\xi \qquad E' = - \int b_n \xi d\xi - u a_2$$

$$D' = d \qquad H' = - \int c_n \xi d\xi$$

$$M' = M_0 \cos(\omega_e t + \tau) = \int \frac{dF}{d\xi} \xi d\xi$$

Dimana  $M_0$  adalah amplitude momen eksitasi, yaitu

$$M_0 = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$$

Dan  $\tau$  adalah sudut ketertinggalan relatif antara momen eksitasi dan gerak gelombang, yaitu,

$$\tau = -\tan^{-1} \left( \frac{M_2}{M_1} \right)$$

Juga

$$M_1 = \int \frac{dM_1}{dx} dx$$

Dimana  $dM_1 dx = \xi \left( \frac{dF_1}{dx} \right)$

$$M_2 = \int \frac{dM_2}{dx} dx$$

Dimana  $dM_2 dx = \xi \left( \frac{dF_2}{dx} \right)$

Perlu dicatat bahwa koefisien dari (2.16) dan (2.20) ( $a_x$  sampai  $h'$  dan  $A_{yy}$  sampai  $H'$ ) tergantung dari geometri badan kapal, kecepatan, dan frekwensi.

Persamaan gerak pasangan dari heaving dan pitching di air tenang (calm water) bisa didapat dengan menyamakan sisi kanan dari (2.18) dan (2.22) menjadi nol dan asumsi bahwa koefisien  $a_x$  sampai  $h$  dan  $A_{yy}$  sampai  $H$  adalah sama untuk air tenang dan bergelombang.

### II.3.6 Penyelesaian Persamaan Gerak

Solusi dari persamaan gerak termasuk kedua amplitude dan sudut ketertinggalan, lebih baik ditulis dalam bentuk kompleks. Lalu buat  $\bar{M}$  dan  $\bar{F}$  menggambarkan fungsi gaya dalam bentuk kompleks.

$$\bar{F} = F_0 e^{i\sigma} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$\bar{M} = M_0 e^{i\tau} \dots\dots\dots(2.22)$$

P, Q, R, dan S menjadi bentuk kompleks koefisien yang berhubungan dari persamaan gerak. Lalu dari (2.18)

$$\begin{aligned} P &= -(m + a_z)\omega^2 + iB\omega + c \\ Q &= -d\omega^2 + ie\omega + h \dots\dots\dots(2.23) \end{aligned}$$

Dan dari (2.21)

$$\begin{aligned} S &= -(A_y + A_{yy})\omega^2 + iB\omega + c \\ R &= -D\omega^2 + iE\omega + H' \end{aligned}$$

Jika kita mempertimbangkan  $\bar{z}$  untuk menggambarkan semua turunan dari z dan  $\bar{\theta}$  menggambarkan semua turunan dari  $\theta$ . Kita dapat menulis persamaan dari gerakan dalam bentuk operator umum.

$$\text{Persamaan pertama, heave } P\bar{z} + Q\bar{\theta} = \bar{F}' \dots\dots\dots(2.24)$$

$$\text{Persamaan kedua, pitch } S\bar{\theta} + R\bar{z} = \bar{M}' \dots\dots\dots(2.25)$$

dimana  $\bar{z}$  dan  $\bar{\theta}$  adalah amplitude kompleks dari gerakan, yaitu

$$\begin{aligned} \bar{z} &= z_a e^{i\delta} \\ \bar{\theta} &= \theta_a e^{i\theta} \end{aligned}$$

dengan menyelesaikan  $\bar{z}$  dan  $\bar{\theta}$  kita dapat bentuk (2.26)

$$\bar{z} = \frac{\bar{F}' - Q\bar{\theta}}{P} \dots\dots\dots(2.27)$$

$$\bar{\theta} = \frac{\bar{F}' - P\bar{z}}{Q} \dots\dots\dots(2.28)$$

Dalam persamaan pitch

$$\bar{z} = \frac{\bar{M}' - S\bar{\theta}}{R} \dots\dots\dots(2.29)$$

$$\bar{\theta} = \frac{\bar{M}' - R\bar{z}}{S} \dots\dots\dots(2.30)$$

Termasuknya z dalam persamaan  $\theta$  dan sebaliknya pasangan alami dari heave dan pitch.

Menyamakan z dan  $\theta$  dari masing-masing persamaannya didapatkan:

$$\begin{aligned} \frac{\bar{F}' - Q\bar{\theta}}{P} &= \frac{\bar{M}' - S\bar{\theta}}{R} \\ \frac{\bar{F}' - P\bar{z}}{Q} &= \frac{\bar{M}' - R\bar{z}}{S} \end{aligned}$$

Menyelesaikan masing-masing persamaan untuk  $\bar{z}$  atau  $\bar{\theta}$ , kita dapatkan penyelesaian untuk kompleks pitch dan heave.

$$\bar{z} = \frac{\bar{M}Q - \bar{F}}{QR - PS} \dots\dots\dots(2.31)$$

$$\bar{\theta} = \frac{\bar{F}R - \bar{M}P}{QR - PS} \dots\dots\dots(2.32)$$

Menentukan amplitudo dan sudut ketertinggalan untuk  $\bar{z}$  dan  $\bar{\theta}$ , kita dapat menyatakan dua gerakan dalam bentuk akhirnya:

$$\bar{z} = z_a e^{i\delta} = z_a (\cos \delta + i \sin \delta) \dots\dots\dots(2.33)$$

$$\bar{\theta} = \theta_a e^{i\varepsilon} = \theta_a (\cos \varepsilon + i \sin \varepsilon) \dots\dots\dots(2.34)$$

Dimana  $z_a$  dan  $\delta$  adalah amplitudo heave dan sudut ketertinggalan.  $\theta_a$  dan  $\varepsilon$  adalah kuantitas yang berhubungan dengan pitch.

Sekarang dapat memperkirakan gerakan kompleks dari heave dan pitch, dinyatakan pada  $\theta_a e^{i\varepsilon}$  dan  $z_a e^{i\delta}$ , dalam bentuk pelayaran yang diberikan  $\zeta_a \sin k(x - V_m t)$  atau  $\zeta_a \sin \omega_e t$ .

Untuk analisa gerak, tanda dibawah ini digunakan :

$z_a =$  amplitudo \_ heaving

$\theta_a =$  amplitudo \_ pitching

$\delta =$  sudut pase dari heaving setelah titik gelombang di CG

$\varepsilon =$  sudut pase dari gelombang setelah titik gelombang di CG

Heave :

$$z = \text{Re } z e^{i\omega_e t} = z_a (\cos \omega_e t + \delta) = z_a \cos(\omega_e t + \delta) \dots\dots\dots(2.35)$$

Pitch :

$$\theta = \text{Re } \theta e^{i\varepsilon} = \theta_a (\cos \omega_e t + \varepsilon) = \theta_a \cos(\omega_e t + \varepsilon) \dots\dots\dots(2.36)$$

## II.4 Gerak Relatif Suatu Titik Terhadap Gelombang

Kapal yang bergerak di gelombang akan mengalami gerak relatif terhadap gelombang yang menyebabkan gerakannya. Jika sudut fasenya sama maka kapal akan bergerak seirama dengan gerakan gelombang, dalam arti jika gelombang naik maka bagian depan kapal juga naik begitu juga sebaliknya. Jika sudut fasenya berlawanan maka kemungkinan dek akan dinaiki air pada kapal dengan freeboard rendah. Jika hal ini terjadi pada kapal dengan sarat rendah atau posisi ballast maka dapat terjadi bagian depan kapal yang keluar dari air kemudian memukul air pada saat masuk air lagi. Hal ini disebut slamming yang dapat memberikan beban dinamik yang besar pada struktur bangunan kapal terutama jika frekwensinya sama dengan fekwensi naturalnya.

Salah satu fenomena yang disebut statical swell-up dan dinamical swell-up dapat mengurangi tinggi freeboard aktual. Pada saat kapal bergerak turun masuk dalam air akan terjadi gaya redaman. Walaupun terdapat gaya gesek dan eddymaking tetapi hal ini kecil jika dibanding gelombang yang dihasilkan efek energi redaman tersebut. (Bhattacharyya, 1978):

$$f'(l) = f(l) - h_s(l) \dots\dots\dots(2.37)$$



Dimana :

$f(l)$  = Freeboard aktual pada air tenang (ft)

$h_s(l)$  = Statical swell-up (ft) =  $\zeta_B + \zeta_S$

$\zeta_B$  = Kenaikan gelombang haluan kapal (ft)

$\zeta_S$  = sinkage karena kecepatan (ft)

dimana statical swell up

$$\frac{h_s}{L} = k_1 F_n^2 \dots\dots\dots(2.38)$$

Dimana :

$k_1 = k_1(B/L_E)$

$L$  = Panjang kapal (ft)

$k_1 = 0.75$

$B$  = Lebar (ft)

$L_E$  = Panjang masukan pada garis air (ft)

$F_n$  = Angka froude =  $V / \sqrt{gL}$

Ketika gelombang mendekati bagian depan kapal dan menyebabkan gerak heaving dan pitching terjadi juga dynamical swell-up karena terhisapnya air saat bagian depan kapal terangkat dan terhempasnya air kesamping saat bagian kapal masuk.

$$h_d(l) = k_2 s(l) \omega_e \left( \frac{L}{g} \right)^{1/2} \text{ atau } h_d(l) = k_2 L \left( \frac{s(l)}{\sqrt{gL}} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(2.39)$$

Untuk  $0.16 < F_n < 0.25$  dan  $1.6 < \omega_e^2 L / g < 2.6$  , dimana

$s(l)$  = vertical displacement =  $z - l\theta - \zeta$  (ft)

$l$  = Jarak titik CG dari Forward Perpendicular

$z$  = heave displacement (ft)

$\theta$  = pitch displacement (rad)

$\zeta$  = Amplitudo gelombang (ft)

$h_d(l)$  = dynamic swell-up (ft)

$s(l)$  = kecepatan relatif bow (ft/sec)

$\omega_e$  = frekwensi sudut osilasi (rad/sec)

$k_2$  = Nilai konstan tergantung nilai  $C_b = 1/3 (C_b - 0.45)$  untuk  $0.6 < C_b < 0.8$

$C_b$  = Koefisien blok

Sudut phase antara dynamics swell-up dengan gerak relatif bagian depan kapal adalah  $180^\circ$  , Yang berarti bagian depan kapal terbenam maksimum pada saat yang sama nilai maksimum swell up.

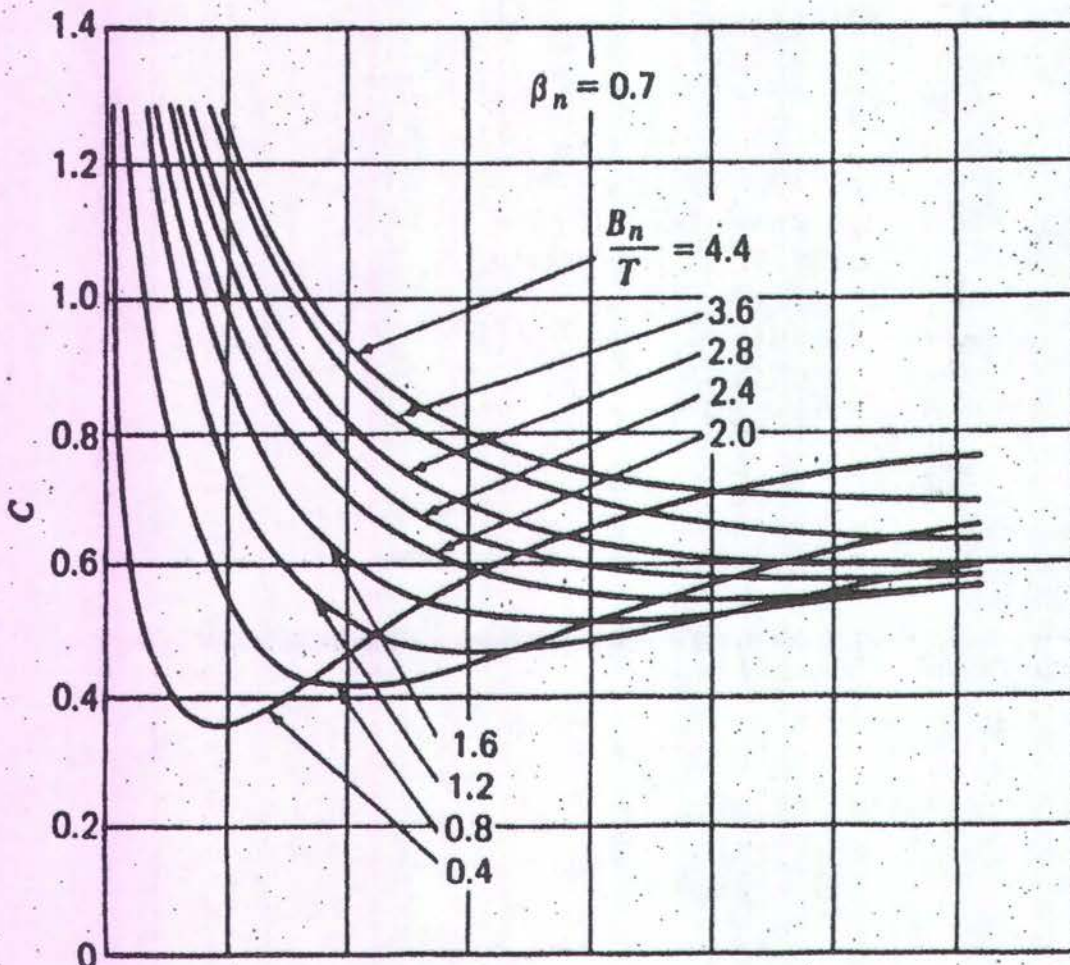
## II.5 Penentuan Koefisien Added Mass Heaving, Amplitudo Ratio Heaving dan Roll Damping

Penentuan nilai added mass heaving, amplitudo ratio pitching dan exciting moment rolling dihitung dengan cara interpolasi berdasarkan pembacaan grafik yang tersedia. (Bhattacharyya, 1978).

Langkah pertama adalah membaca grafik dengan jarak pembacaan 0,1. hal ini untuk memperoleh data nilai grafik yang akurat sehingga perhitungan untuk data yang diperlukan juga lebih tepat.

### II.5.1 Added Mass Heaving

Komponen-komponen yang berpengaruh terhadap besarnya koefisien added mass adalah  $\omega^2 B_n / 2g$ ,  $B_n / T_n$  serta  $\beta_n$ . Semakin kecil harga  $B_n / T_n$  maka grafik akan semakin kompleks. Hal ini berlawanan dengan  $\beta_n$ , dimana semakin kecil harganya maka grafik akan lebih sederhana. Harga  $B_n / T_n$  antara 0.4 sampai 4.4, sedangkan  $\beta_n$  antara 0.5 sampai 1.  $\omega^2 B_n / 2g$  dihitung pada harga 0 sampai dengan 1.6.



Gambar 2.6 Grafik Added Mass Heaving

Pada bab ini diberikan contoh grafik untuk  $\beta_n 0.7$ , garfik selengkapnya dapat dilihat di lampiran.

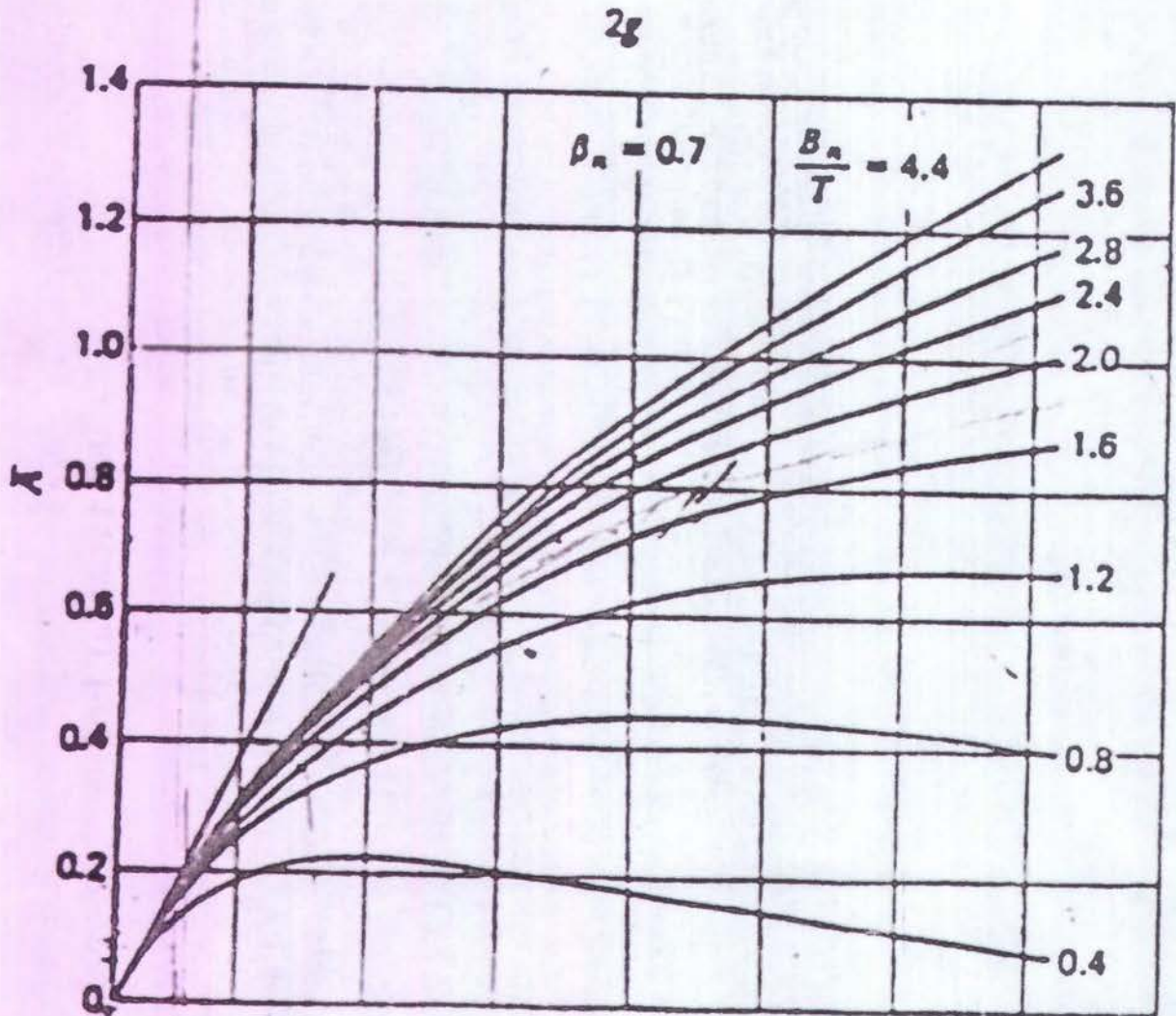
**Tabel 2.2** Hasil Pembacaan Grafik Added Mass Heaving pada  $\beta_n = 0.7$

$\beta_n =$	0.7									
$(\omega^2 B_n / 2g) / (B_n / T)$	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.6	4.4	10.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.3987	0.803522205	1.073277	1.20344564	0.975191	1.0580398	1.1183	1.21049	1.256815	0.628407
0.2	0.34403	0.535298622	0.727948	0.87764165	0.975191	1.0580398	1.1183	1.21049	1.256815	0.942611
0.3	0.39005	0.424808576	0.579096	0.69479326	0.793951	0.8682236	0.922358	1.00758	1.043492	0.993051
0.4	0.45436	0.405283308	0.505054	0.59624809	0.689816	0.7491577	0.803292	0.877106	0.916233	0.954642
0.5	0.51593	0.414624809	0.469372	0.54356815	0.624885	0.6745789	0.728254	0.798775	0.839663	0.897153
0.6	0.56922	0.436983155	0.457121	0.51600306	0.583308	0.6280245	0.678407	0.749694	0.788515	0.842834
0.7	0.6111	0.468453292	0.461485	0.5050536	0.558423	0.6019142	0.645559	0.714012	0.752374	0.797604
0.8	0.64495	0.502143951	0.475421	0.50321593	0.54487	0.5870597	0.623201	0.686753	0.725957	0.76178
0.9	0.67397	0.532082695	0.49219	0.50474732	0.538591	0.5766462	0.607044	0.66608	0.710107	0.735944
1	0.69801	0.55941807	0.510413	0.51179173	0.536524	0.5702144	0.596554	0.651225	0.7	0.717972
1.1	0.71654	0.586217458	0.529862	0.52611026	0.536753	0.5679939	0.591807	0.641041	0.69464	0.706306
1.2	0.73109	0.610336907	0.549234	0.53935681	0.540199	0.568147	0.590505	0.634227	0.691884	0.699095
1.3	0.7428	0.629479326	0.567075	0.54716692	0.54755	0.5691424	0.590123	0.629709	0.689204	0.694149
1.4	0.7513	0.644946401	0.583767	0.55459418	0.555743	0.5722052	0.589663	0.628025	0.686983	0.690566
400	0.7513	0.698124043	0.640946	0.59776991	0.576756	0.5744808	0.582072	0.605048	0.646016	0.668291

Terdapat tiga langkah interpolasi, yang pertama adalah interpolasi terhadap  $\omega e^2 B_n / 2g$ , kemudian  $B_n / T_n$  dan yang terakhir adalah interpolasi terhadap  $\beta_n$ . Dari langkah-langkah interpolasi di atas maka didapatkan nilai koefisien added mass heaving.

### II.5.2 Amplitudo Ratio Heaving

Grafik amplitudo ratio heaving juga dipengaruhi komponen-komponen seperti yang terdapat pada grafik added mass heaving. Pada grafik amplitudo ratio ini lebih sederhana dari pada grafik added mass heaving, sehingga pembacaan awalnya lebih mudah.



Gambar 2.7 Grafik Amplitudo Ratio Heaving

Langkah interpolasi sama dengan interpolasi added mass.

**Tabel 2.3** Pembacaan Grafik Amplitudo Ratio Heaving pada  $\beta_n = 0.7$ .

$\beta_n = 0.7$

$(\omega e^2 B_n / 2g) / (B_n / T)$	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.6	4.4	10.0
0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.1	0.1317	0.1613	0.1640	0.1670	0.1706	0.1727	0.1760	0.1768	0.1783	0.0891
0.2	0.1942	0.2643	0.2844	0.3069	0.3179	0.3208	0.3217	0.3236	0.3257	0.2074
0.3	0.2213	0.3312	0.3747	0.4068	0.4285	0.4328	0.4362	0.4380	0.4452	0.3263
0.4	0.2257	0.3772	0.4489	0.4908	0.5186	0.5321	0.5434	0.5442	0.5565	0.4414
0.5	0.2185	0.4085	0.5084	0.5637	0.6009	0.6222	0.6415	0.6445	0.6643	0.5529
0.6	0.2037	0.4283	0.5574	0.6296	0.6763	0.7024	0.7296	0.7371	0.7643	0.6586
0.7	0.1912	0.4411	0.5950	0.6828	0.7452	0.7781	0.8056	0.8270	0.8516	0.7551
0.8	0.1756	0.4460	0.6242	0.7285	0.7982	0.8370	0.8683	0.8984	0.9252	0.8402
0.9	0.1595	0.4460	0.6457	0.7642	0.8432	0.8883	0.9245	0.9636	0.9939	0.9170
1	0.1474	0.4414	0.6588	0.7899	0.8796	0.9327	0.9751	1.0231	1.0598	0.9884
1.1	0.1318	0.4344	0.6676	0.8124	0.9108	0.9742	1.0231	1.0802	1.1230	1.0557
1.2	0.1177	0.4260	0.6721	0.8338	0.9403	1.0145	1.0699	1.1367	1.1849	1.1203
1.3	0.1037	0.4172	0.6732	0.8508	0.9683	1.0514	1.1141	1.1906	1.2419	1.1811
1.4	0.0880	0.4009	0.6716	0.8655	0.9944	1.0887	1.1559	1.2433	1.2997	1.2404
400	0.0880	0.244441	0.458036	0.661779954	0.828067	0.95838854	1.0571609	1.150211	1.224932	1.232662

### II.5.3 Roll Damping

Grafik Roll Damping dipengaruhi oleh nilai  $S_n$  dan  $\beta$ . Dengan sedikit komponen ini maka proses interpolasi akan lebih mudah daripada interpolasi grafik-grafik yang terdahulu. Langkah pertama adalah interpolasi terhadap  $S_n$  kemudian diteruskan dengan interpolasi terhadap  $\beta$ .

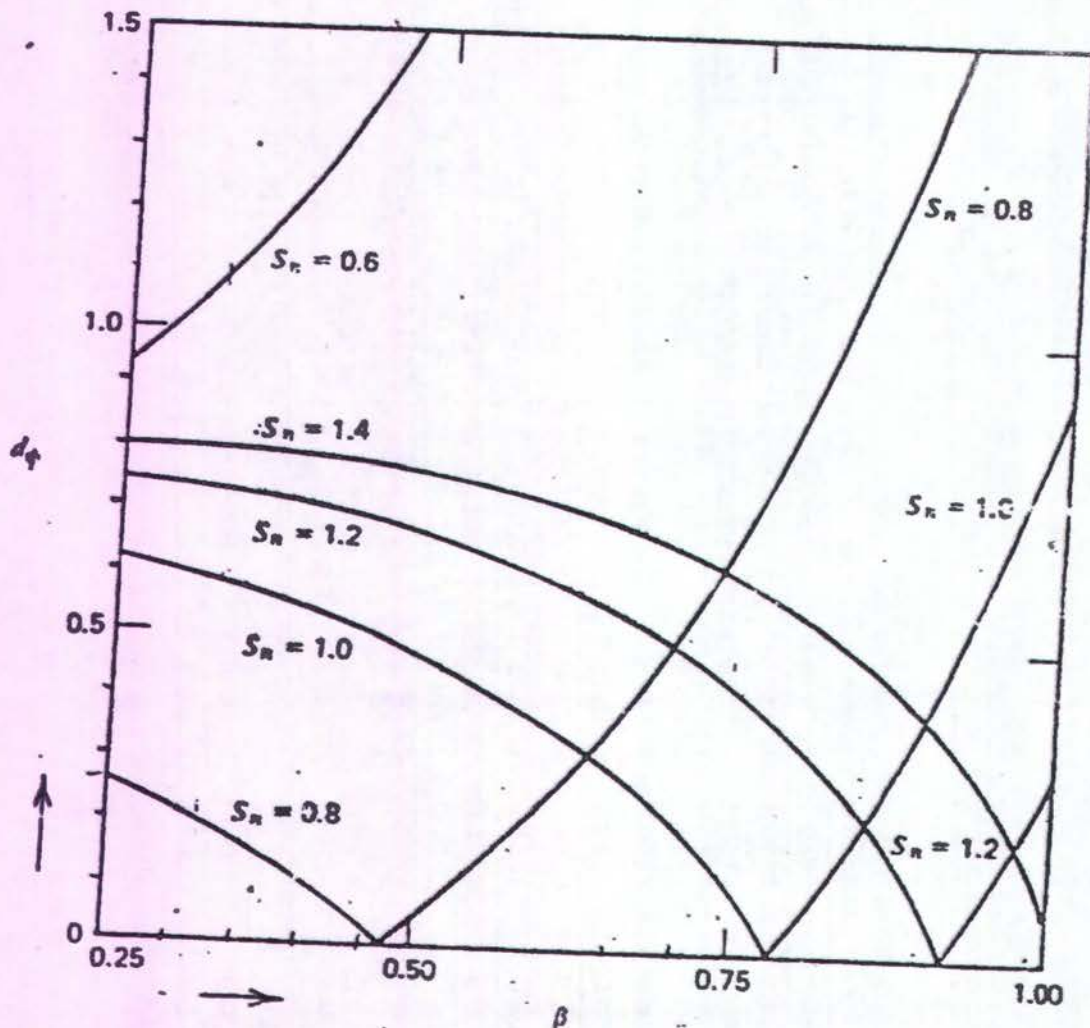


Figure 4.28 Coefficient  $d\phi$  for the determination of roll damping

Gambar 2.8 Grafik Roll Damping

**Tabel 2.4** Pembacaan Grafik Roll Damping

Sn/ $\beta$ n	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	20.0
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	0.9488	0.2622	0.6291	0.7580	0.8125	0.4063
0.30	1.0380	0.2185	0.6056	0.7499	0.8131	0.6097
0.35	1.1461	0.1685	0.5811	0.7377	0.8078	0.7088
0.40	1.2732	0.1099	0.5501	0.7216	0.8003	0.7545
0.45	1.4317	0.0404	0.5154	0.7013	0.7903	0.7724
0.50	1.4317	0.0498	0.4692	0.6730	0.7738	0.7731
0.55	0.7893	0.1468	0.4166	0.6383	0.7531	0.7631
0.60	0.5206	0.2519	0.3601	0.5994	0.7284	0.7458
0.65	0.4468	0.3731	0.2926	0.5535	0.6979	0.7218
0.70	0.4858	0.5247	0.2101	0.4975	0.6586	0.6902
0.75	0.5959	0.7060	0.0980	0.4257	0.6099	0.6501
0.80	0.7597	0.9235	0.0565	0.3371	0.5518	0.6009
0.85	0.9664	1.1730	0.2134	0.2303	0.4803	0.5406
0.90	1.2083	1.4502	0.4075	0.0787	0.3880	0.4643
0.95	1.3292	1.4502	0.6466	0.1076	0.2645	0.3644
1.00	1.1450	0.9608	0.4715	0.2964	0.0652	0.2148
5.00	1.1450	1.0529	0.7622	0.5293	0.2973	0.2560

## II.6 Persyaratan Standart

Kejadian Deck Wetness dan Bottom Slamming yang terjadi pada suatu kapal saat beroperasi harus memenuhi batasan standart maksimal, yaitu Deck Wetness  $\leq 30$  kali per jam atau 1 (satu) kali Deck Wetness tiap 2 – 5 menit pada kapal monohull. Sedangkan Bottom Slamming harus  $\leq 32$  kali per jam (sekali Slamming tiap 2 – 5 menit pada sudut encounter  $180^\circ$ ) atau berada antara  $130 - 230^\circ$  mengalami Slamming 20 – 32 kali per jam. (Olson, 1977). Untuk jenis kapal tertentu, yaitu tanker, hanya terjadi Deck Wetness tanpa adanya Slamming. Pada tanker, Deck Wetness diperlukan unntuk pendinginan alami terhadap muatan akibat naiknya air di atas geladak. Untuk kapal lain hal ini dapat mengganggu, misalnya pada kapal general cargo dimana naiknya air keatas geladak dapat merusak barang yang diangkut diatas geladak.

Jika harga kritikal sea state (pada sea state yang mempunyai harga rata-rata Deck Wetness hanya 5% atau kurang), maka freeboard dapat dinaikkan 10 – 15 ft. Untuk sea state konstan, jika freeboard dinaikkan 1 m, kecepatan kritis (kecepatan pada kapal yang mempunyai mengalami Deck Wetness dan Slamming tidak lebih dari 5% tiap waktunya) dapat ditingkatkan 3 – 4 knots. (Bhattacharyya,1978).

## BAB III

### PELUANG TERJADINYA DECK WETNESS DAN SLAMMING

#### III.1 Pendahuluan

Peluang terjadinya Deck Wetness dan Slamming ini dihitung dengan *Method Strip Theory* yang melibatkan pemasukan data utama kapal, data gelombang dan data-data dari koefisien hidrodinamis Heaving, Pitching dan Rolling. Untuk perhitungannya digunakan perhitungan excel.

Data gelombang yang dipakai didasarkan pada kondisi gelombang di perairan Indonesia yang dibedakan dalam beberapa kondisi (Sea State), umumnya perairan Indonesia berada pada sea state 3 – 4. Perhitungan dilakukan dengan persamaan coupled Heaving dan Pitching *Method Strip Theory* dengan masukan sudut heading yang bervariasi, yaitu 0, 45, 90, 135 dan 180°. *Strip Theory* membagi kapal dalam bentuk strip-strip atau bagian-bagian, dimana tiap strip dihitung gaya dan momen yang terjadi. Sehingga untuk mengetahui gaya dan momen yang terjadi sepanjang kapal dapat dilakukan dengan mengintegrasikan nilai dari bagian sepanjang kapal. *Strip Theory* mengabaikan pengaruh antar seksi yang bersebelahan.

#### III.2. Input Perhitungan

Pada perhitungan ini diperlukan data input yang terbagi dua:

1. Pertama adalah data umum kapal, meliputi:

Lpp	B	T	H	Displ	LCG
LCB	V	kyy	GMT	Sn (luasan)	Cb
Bn	Tn	q (berat tiap bagian)			

2. Kedua adalah data gelombang perairan dimana kapal tersebut direncanakan, meliputi :

Lw (panjang gelombang)  
Hw (tinggi gelombang)  
Frekwensi gelombang ( $\omega$ )  
Kecepatan angin ( $V_a$ )  
Periode gelombang ( $T_s$ )

Jika distribusi berat kapal tidak diketahui maka massa (m) kapal didapatkan dari:

$$m = \frac{\Delta}{g}, \text{ (Bhattacharyya, 1978)}$$

dimana :  $\Delta$  = displacement kapal  
g = percepatan gravitasi bumi

$$\text{Inersia } I_{yy} \text{ didapatkan dari } I_{yy} = \frac{\Delta}{g} k_{yy}^2$$

dimana :  $k_{yy}$  = jari-jari gyration diasumsikan antara 0,24L sampai 0,26L

Karena desain kapal ini sudah ada maka data masukan untuk luasannya (Sn) diambil langsung sesuai perencanaan atau dengan menghitung luasan gambar Rencana Garis bagian *Body Plan* menggunakan program autoCAD.

Untuk *LEWIS section* pada perhitungan koefisien hidrodinamis gerakan Rolling harga Sn (luasan per bagian/station) dapat ditentukan dengan rumus :

$$S_n = B_n / 2T_n$$



### III.3 Perhitungan Koefisien Hidrodinamis

Koefisien Hidrodinamis yang terdiri dari Added Mass (untuk heaving), Amplitudo Ratio (untuk pitching) dan Exciting Moment (untuk rolling) dihitung dengan interpolasi berdasarkan nilai yang didapatkan dari pembacaan grafik yang tersedia.

Untuk mendapatkan nilai koefisien hidrodinamis maka dibuat referensi dengan melakukan pembacaan grafik melalui bantuan program AutoCAD. Komponen-komponen penentu koefisien

Added Mass (C) dan Amplitudo Ratio (A) adalah  $\beta_n$ ,  $B_n/T$  dan  $\frac{\omega_e^2}{2g} B_n$ . Exciting Moment

Rolling ( $d\Phi$ ) adalah  $C_{WP}$ ,  $\mu$  dan  $L_w/L$ .

Untuk itu pertama dihitung non dimensional frekwensi encountering  $\frac{\omega_e^2}{2g} B_n$ , kemudian

koefisien midship dihitung dengan perbandingan luas section dengan persegi panjang, lebar ( $B_n$ ) dan tinggi ( $T_n$ ), yaitu  $\beta_n = S_n / (B_n \times T_n)$ .

Dari hasil pembacaan tersebut maka dapat dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai koefisien yang kita cari.

### III.4 Perhitungan Koefisien Gerak

#### III.4.1 Perhitungan $a_z$ dan $A_{yy}$

Perhitungan  $a_z$  dan  $A_{yy}$  adalah perhitungan added mass heaving dan pitching. Pada perhitungan strip teori perhitungan added mass dilakukan tiap section atau bagian dimana added mass keseluruhan kapal merupakan penjumlahan dari added mass seluruh section tadi. Pada Tugas Akhir ini dilakukan perhitungan di tiap station, jumlah station 20.

Data-data yang dihitung :

- Jarakstation =  $\frac{\text{panjangkapal}}{\text{jumlahstation}}$

- Frekwensi gelombang,  $\omega_w$

$$\omega_w = \sqrt{\frac{2\pi g}{L_w}} \quad (\text{rad/sec})$$

- Frekwensi encounter,  $\omega_e$

$$\omega_e = \omega_w - \frac{\omega_w^2 u}{g} \cos \mu \quad (\text{rad/sec})$$

- Added mass untuk heaving,  $a_z$

$$a_z = \int a_n d\xi$$

- Added mass momen inersia untuk pitching,  $A_{yy}$

$$A_{yy} = \int a_n \xi^2 d\xi$$

#### III.4.2 Perhitungan $b'$ dan $B'$

Setelah perhitungan Added Mass selanjutnya dihitung besarnya damping pada gerakan heaving ( $b'$ ) dan pada gerakan pitching ( $B'$ ). Kapal dengan asumsi wall sided membuat gelombang damping yang dihasilkan kecil jika dibandingkan jika bentuk badan

kapal V, kapal dengan bentuk ini menghasilkan gelombang yang lebih besar. Factor-faktor yang diperlukan untuk perhitungan ini adalah harga  $\frac{\omega_c^2}{2g} B_n$  (Frequency of Encounter),  $B_n/T_n$  (Rasio Perbandingan Lebar dan Sarat),  $\beta_n$  (Koefisien Luasan) serta harga Amplitudo Ratio ( $\bar{A}$ ) yang diperoleh dari perhitungan III. 3. Dari perhitungan yang dilakukan, maka dapat diperoleh harga Damping untuk seluruh kapal dengan penjumlahan damping tiap station sepanjang kapal.

- Damping koefisien untuk heaving,  $b'$

$$b' = \int b_n d\xi$$

- Damping koefisien untuk pitching,  $B'$

$$B' = \int b_n \xi^2 d\xi$$

### III.4.3 Perhitungan $c'$ dan $C'$

Perhitungan ini digunakan untuk mencari koefisien gaya restoring pada gerakan heaving dan pitching. Harga yang diperlukan adalah  $B_n$ ,  $\rho$  dan  $g$  untuk mencari gaya restoring heaving ( $c'$ ), sedang untuk moment restoring pitching ( $C'$ ) harga diatas dikalikan dengan lengan atau jarak terhadap titik berat kapal CG. Gaya restoring merupakan gaya yang bekerja sebagai pengembali (ke titik keseimbangan) ketika suatu benda bergerak. Pada kapal yang bergerak ke atas (heaving) dan mencapai nilai buoyancy sama dengan gaya berat kapal maka kapal ini masih akan terus bergerak akibat momentum yang dimiliki dan kembali ke titik seimbang ketika sampai pada titik tertentu. Ketika kapal bergerak ke bawah maka terjadi hal sebaliknya.

Diasumsikan pada gerakan ini tidak ada perubahan luas garis air. Hal yang sama juga terjadi pada gerakan pitching. Dengan adanya gaya restoring ini maka terjadilah gerakan bolak-balik untuk heaving dan pitching. Gaya dan moment restoring seluruh kapal dijumlahkan dari tiap station yang dihitung sepanjang kapal.

- Koefisien gaya restoring untuk heaving,  $c'$

$$c' = \int c_n d\xi = \rho g A_w$$

- Koefisien moment restoring untuk pitching,  $C'$

$$C' = \int c_n \xi^2 d\xi - uE$$

### III.4.4 Perhitungan $d'$ , $e'$ , $h'$ , $D'$ , $E'$ , dan $H'$

Deck Wetness dan Slamming yang terjadi pada kapal dipengaruhi oleh gerak gabungan (coupled) heaving dan pitching. Besarnya pengaruh coupled tersebut terdiri dari  $d, e, h$  untuk persamaan heaving dan  $D', E', H'$  untuk persamaan pitching. Data yang diperlukan adalah input added mass tiap station dan jarak lengannya dari titik berat kapal. Perhitungan dilakukan tiap station dan dijumlahkan nilainya sepanjang kapal.

- Bentuk coupling  $d'$ ,  $D'$ ,  $e'$ ,  $E'$ ,  $h'$  dan  $H'$

$$d' = - \int a_n \xi d\xi \qquad E' = - \int b_n \xi d\xi - ua$$

$$D' = d \qquad h' = - \int c_n \xi d\xi + ub$$

$$e' = - \int b_n \xi d\xi + ua \qquad H' = - \int c_n \xi d\xi$$

### III.4.5 Perhitungan $m'$ dan $I_{yy}$

Massa dan momen inersia massa kapal dihitung pada bagian ini jika distribusi berat kapal pada tiap station diketahui. Jika tidak diketahui maka massa dan momen inersia kapal diasumsikan dengan rumus sebagaimana telah dibahas pada bagian III.2 di atas. Massa kapal  $m' = \int Wpm \, dx$  dan untuk momen inersia gerakan pitching  $I_{yy} = \int \frac{Wpm}{g} x^2 \, dx$

### III.4.6 Perhitungan Exciting Force ( $F'$ ) dan Moment ( $M'$ )

Perhitungan integral komponen gaya dan momen eksitasi digunakan dalam perhitungan ini. Data yang diperlukan antara lain:  $\xi$ ,  $T_m$ ,  $c_n$ ,  $a_n$ ,  $b_n$  dan  $\frac{da_n}{d\xi}$ . Dari perhitungan ini didapat besarnya Komponen Gaya Eksitasi untuk persamaan heaving dan Komponen Momen Eksitasi untuk persamaan pitching.

Amplitudo dari Gaya Eksitasi,  $F_0$

$$F_0 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \quad (\text{kN})$$

$$F' = F_0 \cos(\omega_e t + \sigma)$$

Amplitudo dari Momen Eksitasi,  $M_0$

$$M_0 = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} \quad (\text{lb-ft})$$

$$M' = M_0 \cos(\omega_e t + \tau)$$

$$\tau = \tan^{-1}\left(\frac{M_2}{M_1}\right)$$

$$\sigma = \tan^{-1}\left(\frac{F_2}{F_1}\right)$$

### III.5 Penyelesaian Persamaan Gerak

Setelah semua komponen untuk persamaan heaving, pitching dan rolling diketahui maka dapat dicari penyelesaiannya. Bentuk persamaan adalah persamaan diferensial orde dua, oleh karena itu bentuk penyelesaiannya diperoleh dari rumus dengan bilangan kompleks dan konstanta. Tahapan penyelesaian persamaan dapat dilihat pada dasar teori dan semua tahapan perhitungan yang terlampir. Dari langkah-langkah tersebut selanjutnya dapat diperoleh persamaan untuk  $F'$ ,  $z'$ ,  $M'$ ,  $\theta$ , dan  $S_b$ . Sebelumnya ditentukan bagian dari kapal yang akan dihitung besarnya peluang terjadinya Deck Wetness dan Slamming dan dihitung nilai freeboardnya. Dengan memasukkan nilai freeboard setempat pada station yang diamati maka dapat diketahui apakah air gelombang dapat mencapai titik tersebut atau tidak dengan memperhatikan nilai relatifnya. Syarat air dapat masuk ke dek adalah jika nilai signifikan setempat lebih besar daripada freeboard setempat. Jika lebih besar maka air masuk dan terjadilah deck wetness, tetapi jika lebih kecil maka air tidak akan mencapai titik tersebut dan deck wetness tidak terjadi. Dari kejadian tersebut didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$z' = \text{Re } z e^{i\omega_e t} = z_a (\cos \omega_e t + \delta) = z_a \cos(\omega_e t + \delta)$$

$$\theta = \text{Re } \theta e^{i\tau} = \theta_a (\cos \omega_e t + \varepsilon) = \theta_a \cos(\omega_e t + \varepsilon)$$

### III.6 Wave Spectrum dari ITTC

Wave Spectrum atau spektrum gelombang mempunyai standart yang digunakan (pada tugas akhir ini digunakan standart dari International Towing Tank Conference/ITTC). Formula spektra yang digunakan adalah:

a).  $S(\omega w) = (A' / \omega w^5) e^{-B'' / \omega w^4}$

Dimana  $A' = 8.10 \times 10^{-3} g^2$

$S(\omega w)$  dalam  $cm^2\text{-sec}$  jika  $B'' = 3.11 \times 10^4 / H_{1/3}^2$  ( $H_{1/3}$  = significant wave height dalam centimeter)

$S(\omega'w)$  dalam  $ft^2\text{-sec}$  jika  $B'' = 33.56 / (H_{1/3})^2$ . ( $H_{1/3}$  dalam feet)

b). Jika informasi statistik dipenuhi untuk kedua karakteristik, maka wave period dan significant wave height adalah :

$A' = 173(H_{1/3})^2 / T_1^4$ ,  $B'' = 691 / T_1^4$ . Dimana  $T_1 = 2\pi(mo/m1)^{0.5}$

Sehingga Significant Wave Height  $(H)_{1/3} = 4.0(mo)^{0.5}$ .

c). Jika harga wind speed diketahui maka hubungan antara wind speed dan significant wave height dapat diketahui seperti ditunjukkan tabel di bawah.

**Tabel 3.1** Data Hubungan Wind Speed dan Significant Wave Height

Wind Speed [ knots ]	Significant Wave Height [ ft ]
20	10
30	17.2
40	26.5
50	36.6
60	48.0



Dari perhitungan berdasar standart ITTC didapatkan harga Spectral Density ( $S(\omega w)$ ) sehingga Correction Factor (CF) dapat dihitung. Dari harga CF ini dapat dihitung besarnya Significant Wave Amplitudo ( $(\zeta a)_{1/3} = 2\sqrt{mo} \times CF$  (ft).

### III.7 Response Amplitudo Operator (RAO) dan Significant Amplitudo Station 9.5 Relative Motion

Response Amplitudo Operator adalah fungsi yang memberikan gambaran tentang amplitudo gerak osilasi kapal dengan amplitudo gelombang regular. Harga RAO dapat diketahui baik secara analitik maupun dengan model test. Model berjalan di gelombang regular yang berbeda panjang gelombangnya tetapi mempunyai wave amplitudo yang tetap. Hasil RAO menunjukkan perbandingan antara amplitudo gerakan relative bagian depan kapal ( $S_a$ ) dengan amplitudo gelombang. Test yang dilakukan harus mengambil jarak atau range frekwensi gelombang yang luas dan juga menyangkut model kapal.

Dari perhitungan wave spektrum ITTC dibuat grafik yang ordinatnya merupakan amplitude gerakan relative bagian depan kapal ( $S_a$ ) berbanding dengan amplitude gelombang ( $\zeta a$ ). Absisnya adalah  $\omega e$ . Dengan mengkuadratkan ordinat maka dapat diketahui grafik RAO.

Dari perhitungan wave spectrum dan RAO dapat diketahui besarnya nilai Significant Amplitudo Station 9.5 Relative Motion (yang dihitung disini pada station 9.5), sehingga diketahui besarnya gerak relative bagian depan kapal terhadap gelombang yang akhirnya dapat

---

---

dihitung besarnya Probabilitas Deck Wetness maupun Probabilitas Bottom Slamming.

$$\text{Probabilitas Deck Wetness (Pf)} = e^{-(f)^2/2m_0}$$

$$\text{Probabilitas Slamming (Prob \{Slam\})} = e^{-(T^2/2m_0s + v_0^2/2m_2s)}$$

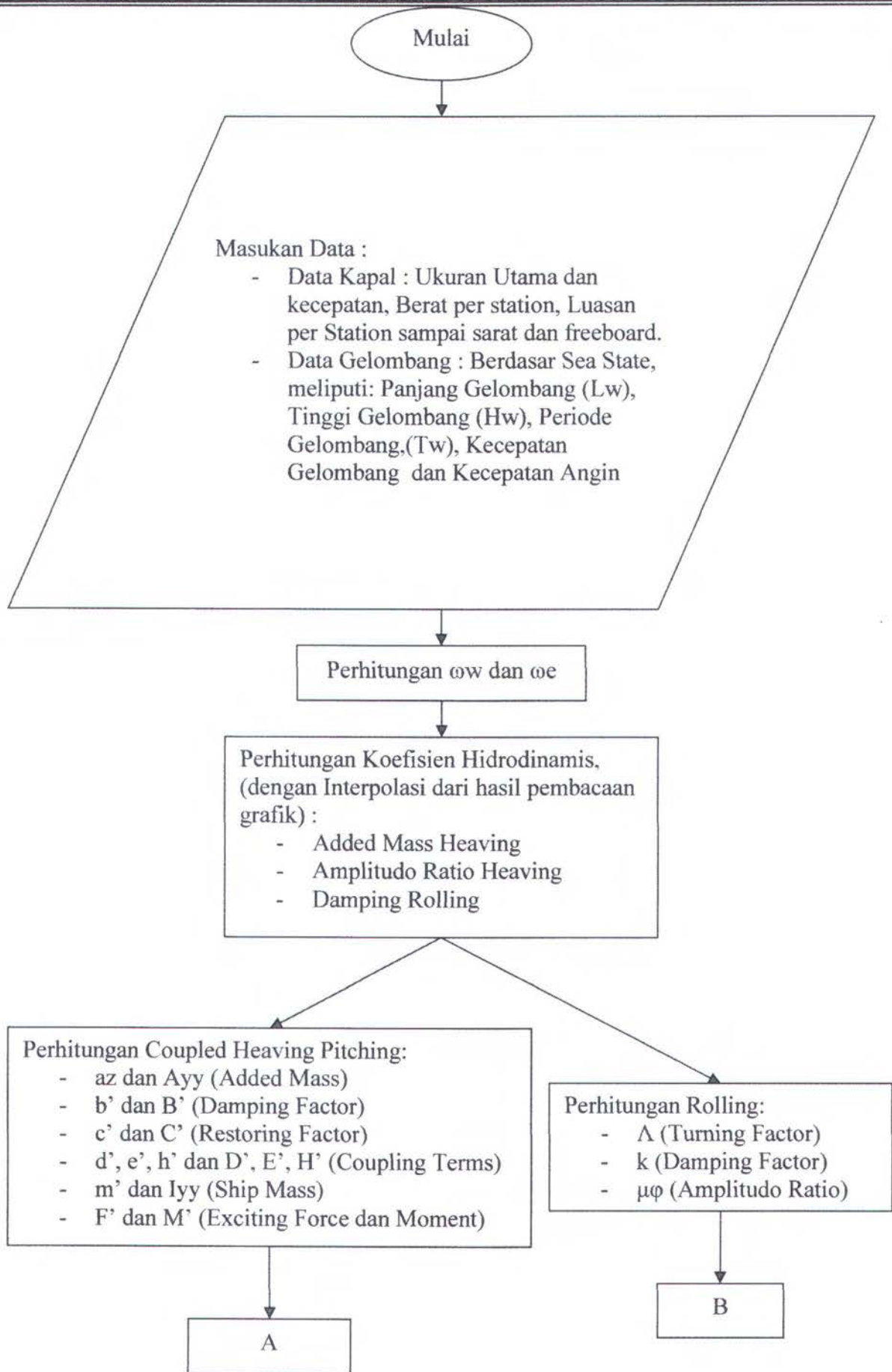
Dimana  $f$  = frebord station setempat

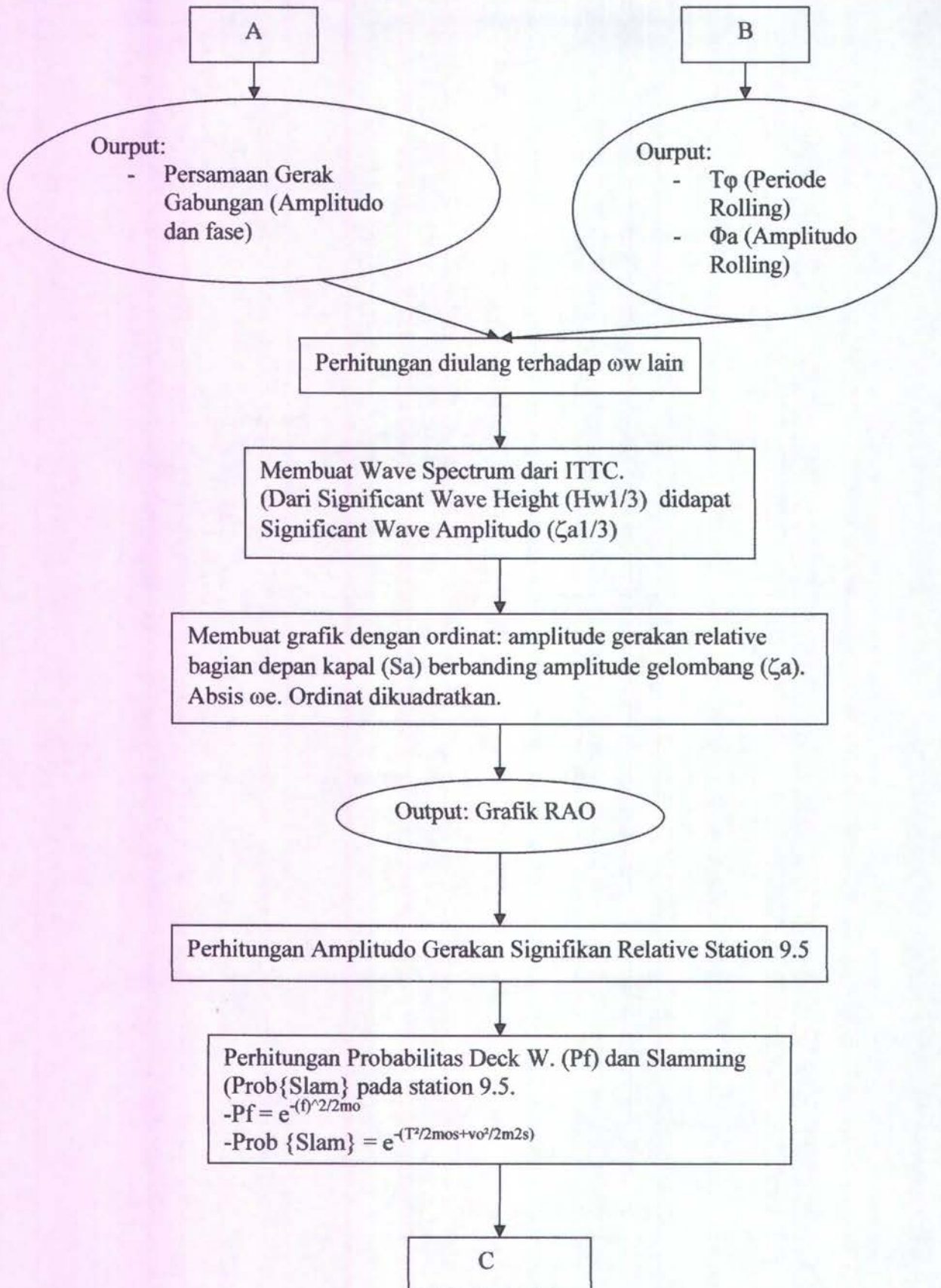
$T$  = sarat station setempat

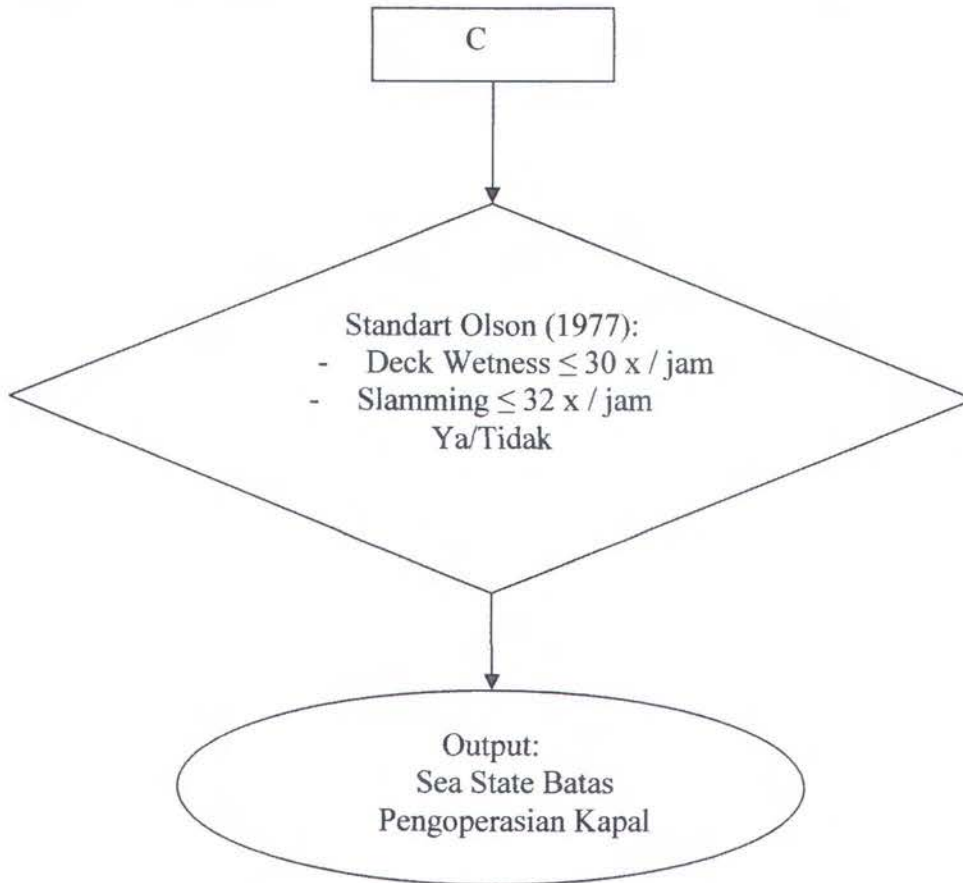
$v_0$  = threshold velocity

### **III.8 Perhitungan dengan Bantuan Program Komputer**

Setelah tahapan perhitungan diketahui maka dilakukan perhitungan dengan bantuan Program Excell. Tahapan perhitungan dapat digambarkan seperti flowcart yang terlihat di bawah.







Gambar 3.1 Flowchart Perhitungan

### III.9 Analisa Hasil Perhitungan

Dari perhitungan yang dilakukan didapatkan nilai jumlah dari Deck Wetness dan Slamming per jam. Jumlah tersebut selanjutnya dianalisa menurut batasan standart seperti yang telah dijelaskan pada Bab II.



## BAB IV ANALISA HASIL PERHITUNGAN

### IV.1 Data Input Perhitungan

Data yang diperlukan untuk input perhitungan besarnya peluang Deck Wetness dan Slamming ini sesuai dengan ketentuan pada Bab III. Jumlah station =20  
Seluruh input data yang dibutuhkan meliputi data kapal dan data gelombang, data ini dimasukkan pada langkah perhitungan awal. Data-data tersebut adalah:

1). Data utama kapal

**Tabel 4.1** Data-data kapal

### DATA UTAMA KAPAL

Type Kapal	=	Ferry Ro-Ro 600 GT			
Panjang seluruhnya (Loa)	=	46.20	m =	151.573	ft
Panjang A.G.A. (Lwl)	=	41.98	m =	137.721	ft
Panjang A.G.T. (Lpp)	=	39.00	m =	127.951	ft
Lebar (B)	=	12.00	m =	39.3696	ft
Tinggi (H)	=	3.00	m =	9.8424	ft
Sarat (T)	=	2.00	m =	6.5616	ft
Sarat moulded pada AP ( $T_f$ )	=	2.00	m =	6.5616	ft
Kecepatan (v)	=	12.00	knot =	22224	= 20.268 ft/sec
Daya Mesin	=	2 x 620	HP =	1900	rpm
Block Coefficient ( $C_b$ )	=	0.653			
Prismatic Coefficient ( $C_p$ )	=	0.6981			
Midship Coefficient ( $C_M$ )	=	0.935			
Waterline Area Coefficient ( $C_w$ )	=	0.892			
$Fn = (Vs/(gL))^{0.5}$	=	0.315925			
Sea Water Displacement	=	575.991	ton =	575991	kg = 1E+06 lb
Jarak AP ke titik G	=	17.819	m =	58.4606	ft
LCG	=	-1.681	m =	-5.515	ft
LCB	=	-1.075	m =	-3.5269	ft
Center of Gravity ke keel (KG)	=	3.890	m =	12.761	ft
WSA	=	537.496	$m^2 =$		
g	=	9.807	$m/s^2 =$	32.167	ft/sec <sup>2</sup>
Sea water Mass Density ( $\rho$ )	=	1025	$kg/m^3 =$	1.025	$ton/m^3 = 1.9869$ lb-sec <sup>2</sup> /ft <sup>4</sup>
Sea Water Viscosity ( $\nu$ )	=	1.19E-06			
1 HP (metric)	=	735.499	Watt		
$GM_L$	=	4.07451	m =	13.368	ft

$GM_T = 4.252 \text{ m} = 13.950 \text{ ft}$

Freeboard = 1008 mm = 3.30705 ft

Catatan:

1 meter = 3.2808 ft      1 kg = 2.2046 lb

1 mil/jam = 1.467 ft/sec

1 mil/jam = 26.82 m/mnt

1 knots = 1.689 ft/sec

1 fresh water = 1.9384 lb-sec<sup>2</sup>/ft<sup>4</sup>

## 2). Data gelombang

**Tabel 4.2** Data Gelombang Sea State 1

Sea State 1,  $\mu = 180^\circ$

Sea General		Wind			Sea	
Sea State Number	Description	Description	Range (knots)	Wind Vel. (knots)	Wave Height	
					Average (ft)	Significant (ft)
1	Large wavelets: crests begin to break. Foam of glossy ...	Gentle	7 - 10	5	0.3	0.5
		Breeze		8.5	0.8	1.3

Wind vel max : 8.5  
Wave Height: 1.3

Sea State Number	Sea					$\omega_w$ (rad/sec)
	Significant Range Periods (sec)	Av. Period Ts	Av. Wave Length Lw (ft)	Min Fetch (Nautical Miles)	Min Duration (hr)	
1	0.4 - 2.8	1.3	6.7	8	0.65	5.4923
	0.8 - 5.0	2.3	20	9.8	1.7	3.1789

Lw max : 20 ft

catatan: 1 ft = 12 in = 2.54 cm

**Tabel 4.3** Data Gelombang Sea State 2

Sea State 2,  $\mu = 180^\circ$

Sea General		Wind			Sea	
Sea State	Description	Description	Range	Wind Vel.	Wave Height	
Number			(knots)	(knots)	Average (ft)	Significant (ft)
2	Small waves, becoming larger: fairly frequent white horses.	Moderat	7-10	12	1.6	2.6
		Breeze		13.5	2.1	3.3

Wind vel max :  
13.5

Wave Height:  
3.3

Sea State	Sea					$\omega_w$ (rad/sec)
	Significant Range	Av. Period	Av. Wave Length	Min Fetch (Nautical Miles)	Min Duration	
Number	Periods (sec)	Ts	Lw (ft)		(hr)	
2	1,0-7,0	3.2	40	18	3.8	2.2478377
	1,4-7,6	3.6	52	24	4.8	1.9714841

Lw max :  
52 ft

catatan: 1 ft = 12 in = 2.54 cm

**Tabel 4.4** Data Gelombang Sea State 3

Sea State 3,  $\mu = 180^\circ$

Sea General		Wind			Sea	
Sea State	Description	Description	Range	Wind Vel.	Wave Height	
Number			(knots)	(knots)	Average (ft)	Significant (ft)
3	Small waves, Becoming larger:	Moderat	11 - 16	14	2.3	3.6
		Breeze		16	2.9	4.7

	fairly frequent white horses.					
--	-------------------------------	--	--	--	--	--

Wind vel max : **16**  
Wave Height: **4.7**

Sea State Number	Sea					$\omega_w$ (rad/sec)
	Significant Range Periods (sec)	Av. Period Ts	Av. Wave Length Lw (ft)	Min Fetch (Nautical) Miles	Min Duration (hr)	
3	1.5 - 7.8	3.8	59	28	5.2	1.851
	2.0 - 8.8	4.3	71	40	6.6	1.687

Lw max : **71** ft

catatan: 1 ft = **12** in = 2.54 cm

**Tabel 4.5** Data Gelombang sea State 4  
Sea State 4,  $\mu = 180^\circ$

Sea General		Wind			Sea	
Sea State Number	Description	Description	Range (knots)	Wind Vel. (knots)	Wave Height	
					Average (ft)	Significant (ft)
4	Moderat waves, taking a more pronounced long form: many white horses are formed (chance of some spray)	Fresh	17 - 21	18	3.7	5.9
		Breeze		19	4.1	6.6

Wind vel max : **19**  
Wave Height: **6.6**

Sea State Number	Significant Range Periods (sec)	Sea				$\omega_w$ (rad/sec)
		Av. Period Ts	Av. Wave Length Lw (ft)	Min Fetch (Nautical) Miles	Min Duration (hr)	
4	2.5 - 10	4.8	90	55	8.3	1.499
	2.8 - 10.6	5.1	99	65	9.2	1.429

Lw max :

99 ft

catatan: 1 ft = 12 in = 2.54 cm

## IV.2 Perhitungan

1). Perhitungan dimulai dengan menghitung besarnya frekwensi gelombang ( $\omega_w$ ) dan frekwensi encountering ( $\omega_e$ ).

- Sea State 1

$$\begin{aligned} \text{Amplitudo Gelombang } (\zeta_a) &= hw/2 \\ &= 0.65 \quad \text{ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Frekwensi Gelombang } (\omega_w) &= \sqrt{(2\pi g/Lw)} \\ &= 3.178923 \quad \text{rad/sec} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Frekwensi - Encountering } (\omega_e) &= \omega_w - (\omega^2 w \cdot Vs/g) \cos \mu \\ &= 9.546303 \quad \text{rad/sec} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Periode Gelombang } (Tw) &= \sqrt{(2\pi Lw) / g} \\ &= 1.976514 \quad \text{sec} \end{aligned}$$

- Sea State 2

$$\begin{aligned} \text{Amplitudo Gelombang } (\zeta_a) &= hw/2 \\ &= 1.65 \quad \text{ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Frekwensi Gelombang } (\omega_w) &= \sqrt{(2\pi g/Lw)} \\ &= 1.971484 \quad \text{rad/sec} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Frekwensi - Encountering } (\omega_e) &= \omega_w - (\omega^2 w \cdot Vs/g) \cos \mu \\ &= 4.420476 \quad \text{rad/sec} \end{aligned}$$

---

Periode Gelombang ( $T_w$ ) =  $\sqrt{(2\pi L_w) / g}$   
 = 3.187033 sec  
 - Sea State 3

Amplitudo Gelombang ( $\zeta_a$ ) =  $hw/2$   
 = 2.35 ft

Frekwensi Gelombang ( $\omega_w$ ) =  $\sqrt{(2\pi g/L_w)}$   
 = 1.687197 rad/sec

Frekwensi -  
 Encountering ( $\omega_e$ ) =  $\omega_w - (\omega^2 w \cdot V_s/g) \cos \mu$   
 = 3.480825 rad/sec

Periode Gelombang ( $T_w$ ) =  $\sqrt{(2\pi L_w) / g}$   
 = 3.724038 sec  
 - Sea State 4

Amplitudo Gelombang ( $\zeta_a$ ) =  $hw/2$   
 = 3.3 ft

Frekwensi Gelombang ( $\omega_w$ ) =  $\sqrt{(2\pi g/L_w)}$   
 = 1.428819 rad/sec

Frekwensi -  
 Encountering ( $\omega_e$ ) =  $\omega_w - (\omega^2 w \cdot V_s/g) \cos \mu$   
 = 2.715159 rad/sec

Periode Gelombang ( $T_w$ ) =  $\sqrt{(2\pi L_w) / g}$   
 = 4.397466 sec

2). Perhitungan Gerak Vertikal dan dihasilkan persamaan gerak serta fase (di lampiran) dan dihitung pada harga  $\omega_w$  yang lain.

Data  $\omega_w$  yang dihitung adalah:

**Tabel 4.6** Data  $\omega_w$

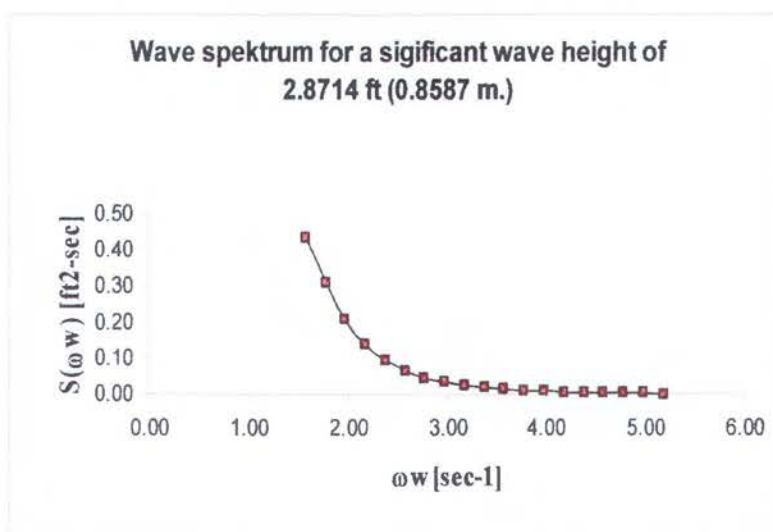
$\omega_w$ [rad/sec]	$\omega_e$ [rad/sec]	$L_w$ [ft]	$hw =$ $L_w/20$ [ft]	$\zeta_a = \eta \omega / 2$ [ft]
-0.171	-0.15	6897.33	344.866	17.243
0.029	0.03	243343.20	12167.160	608.358
0.229	0.26	3860.15	193.007	96.504
0.429	0.54	1099.11	54.955	27.478
0.629	0.88	511.14	25.557	12.778
0.829	1.26	294.22	14.711	7.355
1.029	1.70	190.95	9.547	4.774

$\omega_w$	$\omega_e$	$L_w$	$hw = L_w/20$	$\zeta\alpha = \eta\omega / 2$
[rad/sec]	[rad/sec]	[ft]	[ft]	[ft]
1.229	2.18	133.85	6.692	3.346
1.429	2.72	99.00	4.950	2.475
1.629	3.30	76.18	3.809	1.905
1.829	3.94	60.43	3.021	1.511
2.029	4.62	49.10	2.455	1.228
2.229	5.36	40.69	2.034	1.017
2.429	6.15	34.26	1.713	0.857
2.629	6.98	29.25	1.462	0.731
2.829	7.87	25.26	1.263	0.631
3.029	8.81	22.03	1.102	0.551
3.229	9.80	19.39	0.969	0.485
3.429	10.84	17.19	0.860	0.430

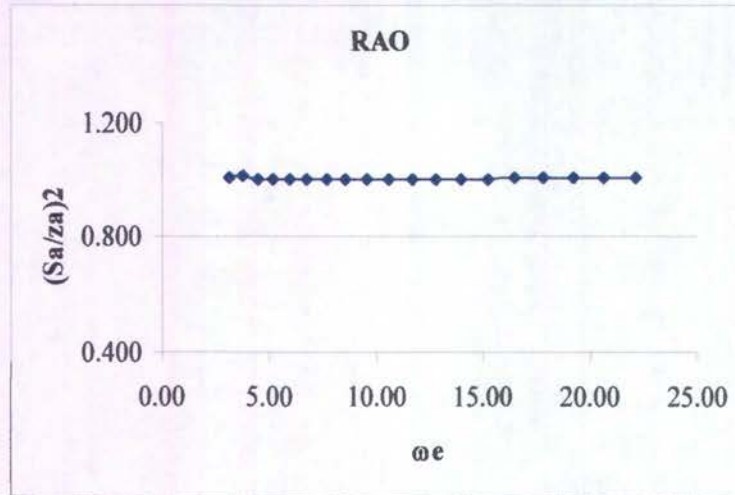
### IV.3 Output

Dari perhitungan yang dilakukan didapatkan grafik Wave Spectrum for Significant wave Height, RAO (Response Amplitudo Operator) dan Amplitudo Significant Relative Motion Station 9.5. Selanjutnya dihitung besarnya probabilitas Deck Wetness (Pf) dan Slamming (Prob {Slam}) pada gelombang signifikan tersebut.

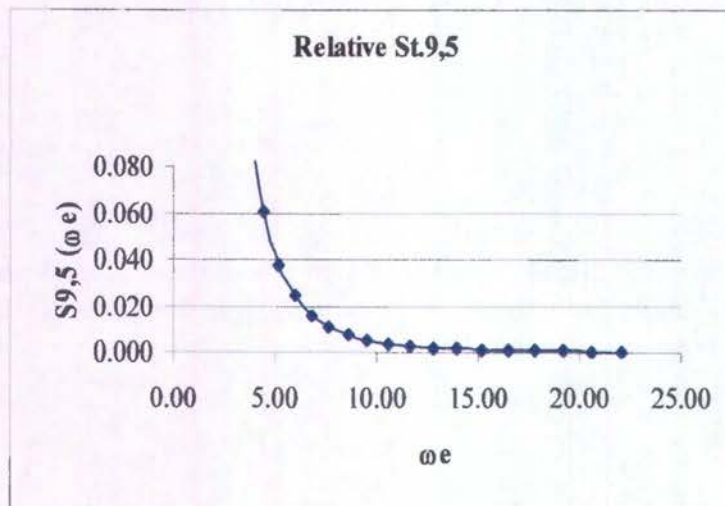
#### - Sea State 1



**Gambar 4.1** Grafik Wave Spectrum Sea State 1



Gambar 4.2 Grafik RAO (Response Amplitudo Operator)



Gambar 4.3 Grafik Significant Relative Station 9.5 Spectrum Motion

Probabilitas :

- Deck wetness :

$$Pf = n = e^{-(f)^{2/2m_0}}$$

$$= 5.23194E-28$$

Besarnya Deck Wetness (NT) dengan rumus:

$$NT = (Pf / T_{average}) \times 3600$$

$$= 6.04E-25 \text{ kali per jam}$$

- Slamming :

$$\text{Prob Slamming} = e^{-(T^2/2m_{0s} + v_0^2/2m_{2s})} = 2E-47$$

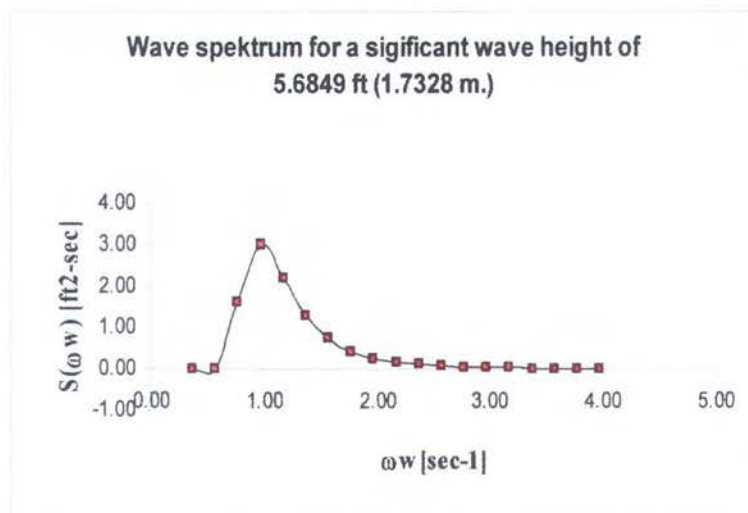
Besarnya Slamming (NS) :

$$N_s = 1/2\pi(m_{2s}/m_{0s})^{1/2} \times \text{Prob} = 6E-48 \text{ sec}$$

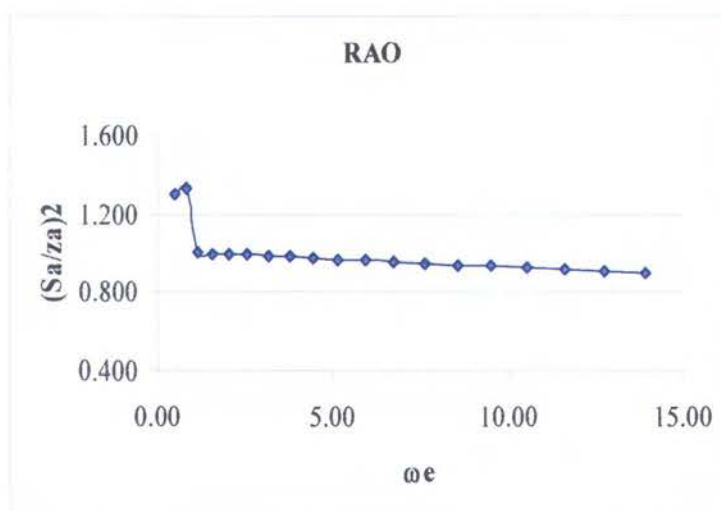
$$\{slam\} = 2E-44 \text{ kali per jam}$$



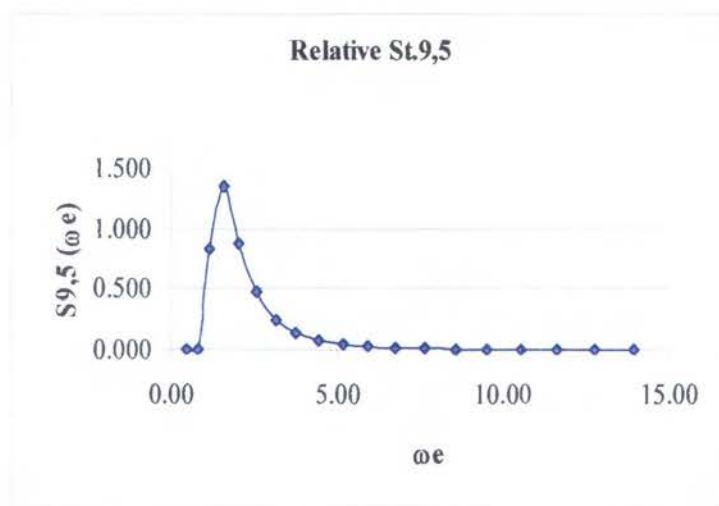
- Sea State 2



Gambar 4.4 Grafik Wave Spectrum Sea State 2



Gambar 4.5 Grafik RAO (Response Amplitudo Operator)



Gambar 4.6 Grafik Significant Relative Station 9.5 Spectrum Motion

Probabilitas :

- Deck wetness :

$$Pf = n = e^{-(f)^2/2m_0}$$

$$= 0.001249339$$

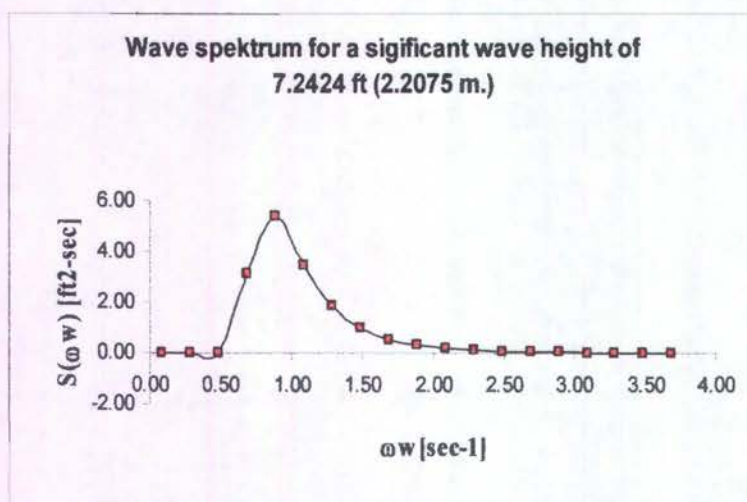
Besarnya Deck wetness = **0.8632986** kali per jam

- Slamming :

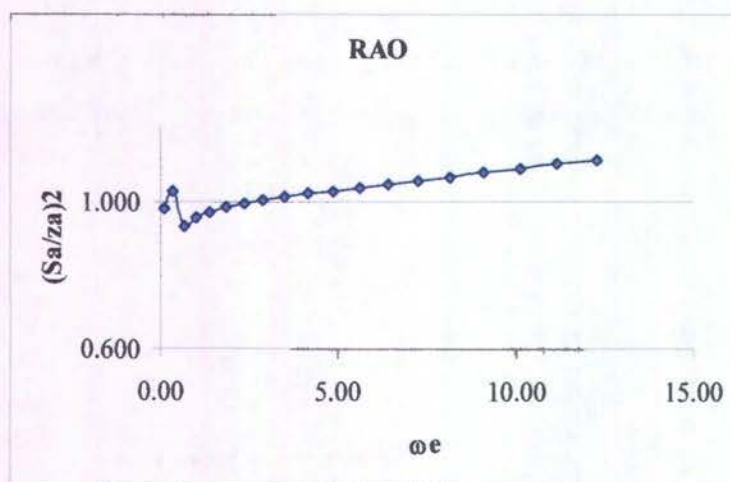
$$\text{Prob Slamming} = e^{-(T^2/2m_0s + v_0^2/2m_2s)} = 4E-08$$

Besarnya Slamming : **2.63E-05** kali per jam

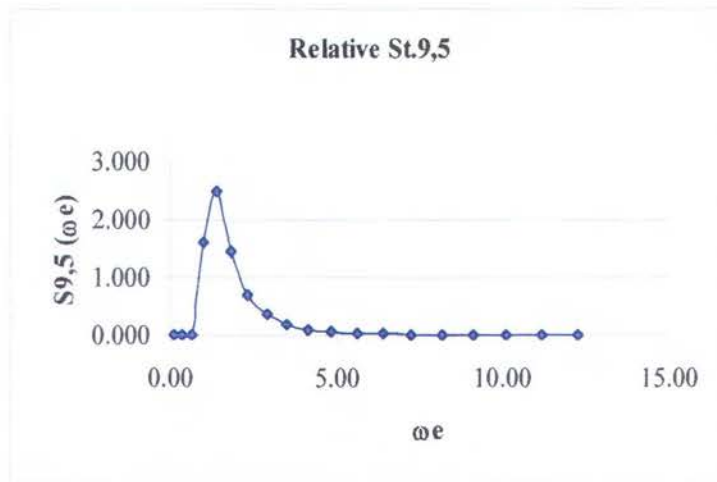
- Sea State 3



Gambar 4.7 Grafik Wave Spectrum Sea State 3



Gambar 4.8 Grafik RAO (Response Amplitudo Operator)



Gambar 4.9 Grafik Significant Relative Station 9.5 Spectrum Motion

Probabilitas :

- Deck wetness :

$$Pf = n = e^{-(f)^2/2m\sigma} = 0.020699083$$

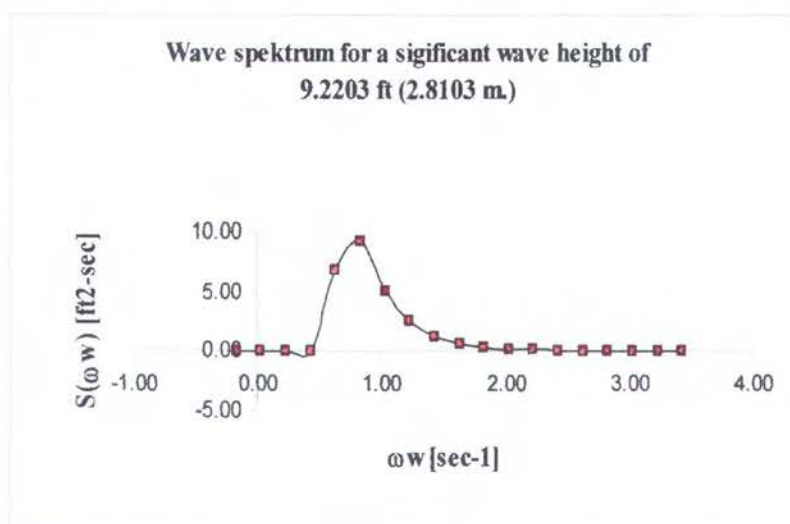
Besarnya Deck wetness = 12.72389894 kali per jam

- Slamming :

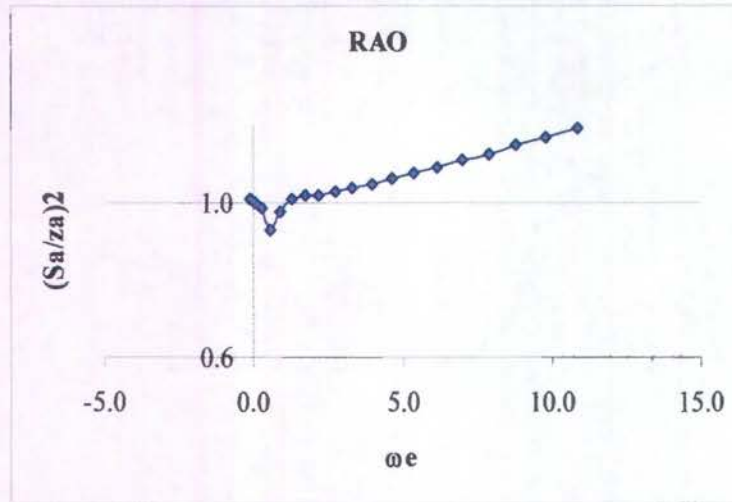
$$\text{Prob Slamming} = e^{-(T^2/2m\sigma + v\sigma^2/2m2s)} = 7E-06$$

Besarnya Slamming : 0.004086 kali per jam

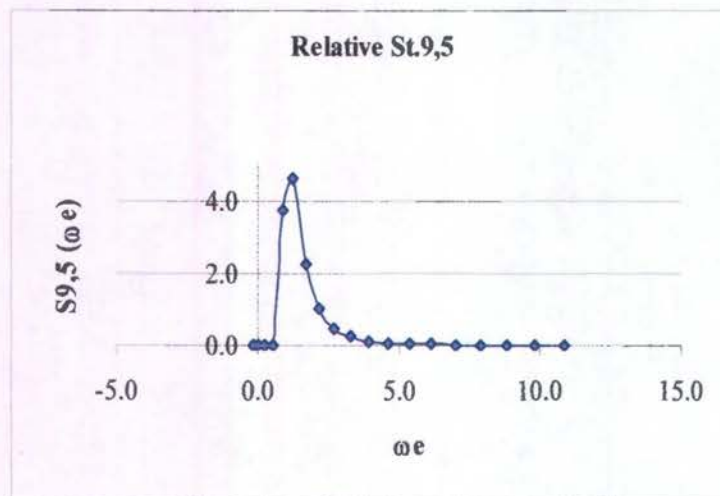
- Sea State 4



Gambar 4.10 Grafik Wave Spectrum Sea State 4



Gambar 4.11 Grafik RAO (Response Amplitudo Operator)



Gambar 4.12 Grafik Relative Significant relative station 9.5 Spectrum Motion

Probabilitas:

- Deck Wetness:

$$Pf = n = e^{-(f)^2/2m\sigma}$$

$$= 0.108945345$$

Besarnya Deck Wetness (NT) :

$$NT = (Pf / Taverage) \times 3600$$

$$= \frac{0.108945345}{6.48} \times 3600$$

$$= 60.56542949 \text{ kali per jam.}$$

- Slamming :

$$\text{Prob Slamming} = e^{-(T^2/2m\sigma + v\sigma^2/2m2s)} = 0.0003$$

Maka frekwensi Slamming (NS) := 0.16872 kali per jam.

#### IV. 4 Analisa Perhitungan

Dari hasil perhitungan di atas maka dapat dianalisa kemampuan operasi maksimal dari kapal ferry ro-ro 600 GT.

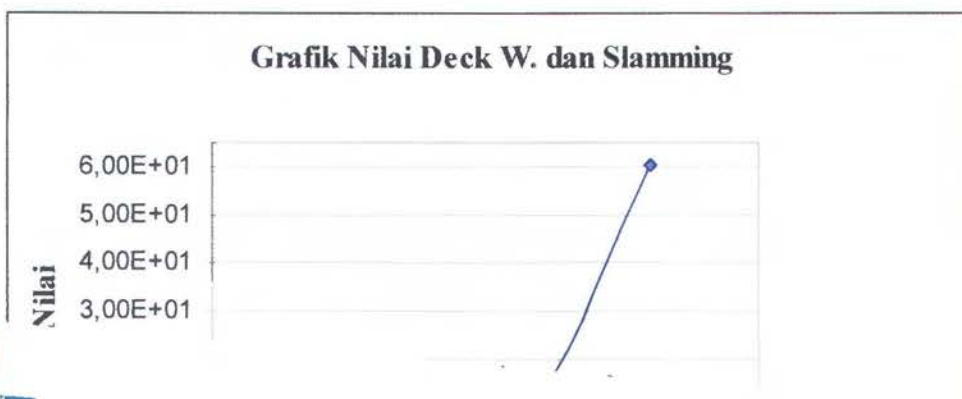
Dari grafik yang didapat maka spektrum gelombang signifikan semakin meningkat sesuai dengan meningkatnya kondisi sea state. Hal ini menyebabkan harga RAO dan Significant Wave Height Station 9.5 Relative Motion juga semakin meningkat. Ini menunjukkan bahwa peluang terjadinya Deck Wetness dan Bottom Slamming juga semakin besar pada station yang sama.

Dari hasil diatas dapat digambarkan grafik Dwck Wetness dan Slamming pada setiap sea state:

**Tabel 4.7** Perhitungan Deck Wetness dan Slamming pada Sea State 1-4

Sea State	DW (kali/jam)	Slamming (kali/jam)
1	6E-25	2E-44
2	0.8633	0.000026
3	12.7239	0.00409
4	60.5654	0.16872

Dari data tersebut didapatkan grafik seperti terlihat di bawah ini.



## BAB V PENUTUP

### V.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan dan analisa, maka perhitungan ketahanan gelombang berupa peluang terjadinya Deck Wetness dan Slamming pada Kapal Ferry Ro-Ro 600 GT dengan ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan ketahanan gelombang pada kapal ferry ro-ro 600 GT ini dapat dilakukan dengan Methode Strip Theory sehingga dapat diketahui besarnya Deck Wetness maupun Bottom Slamming pada bagian yang diinginkan, terutama bagian bow yang memiliki peluang terbesar.
2. Perhitungan menggunakan excell, dikarenakan sebagai berikut:

---

---

Pada grafik ditunjukkan bahwa dengan semakin bertambahnya masukan sea state (semakin meningkat) maka besarnya peluang terjadi Deck Wetness maupun Slamming juga semakin meningkat. Berdasarkan pengamatan selama melakukan perhitungan faktor yang sangat dominan mempengaruhi adalah kecepatan angin. Angin yang semakin kencang akan menyebabkan pergerakan air semakin significant dan kompleks.

Berdasarkan standart maksimal yang disebutkan dalam Dasar Teori (Bab II) , maka kapal Ferry R0-Ro 600 GT ini masih dapat beroperasi pada kondisi sea state 3, namun pada sea state 4 besarnya deck wetness telah melampaui standart yang disyaratkan, sehingga kapal tersebut tidak laik untuk berlayar pada sea state 4. Sedangkan untuk Slamming masih memenuhi standart maksimal.

- Slamming :

$$\text{Prob Slamming} = e^{-(T^2/2m\sigma + v\sigma^2/2m2s)} = 0.0003$$

Maka frekwensi Slamming (NS) : = 0.16872 kali per jam.

#### IV. 4 Analisa Perhitungan

Dari hasil perhitungan di atas maka dapat dianalisa kemampuan operasi maksimal dari kapal ferry ro-ro 600 GT.

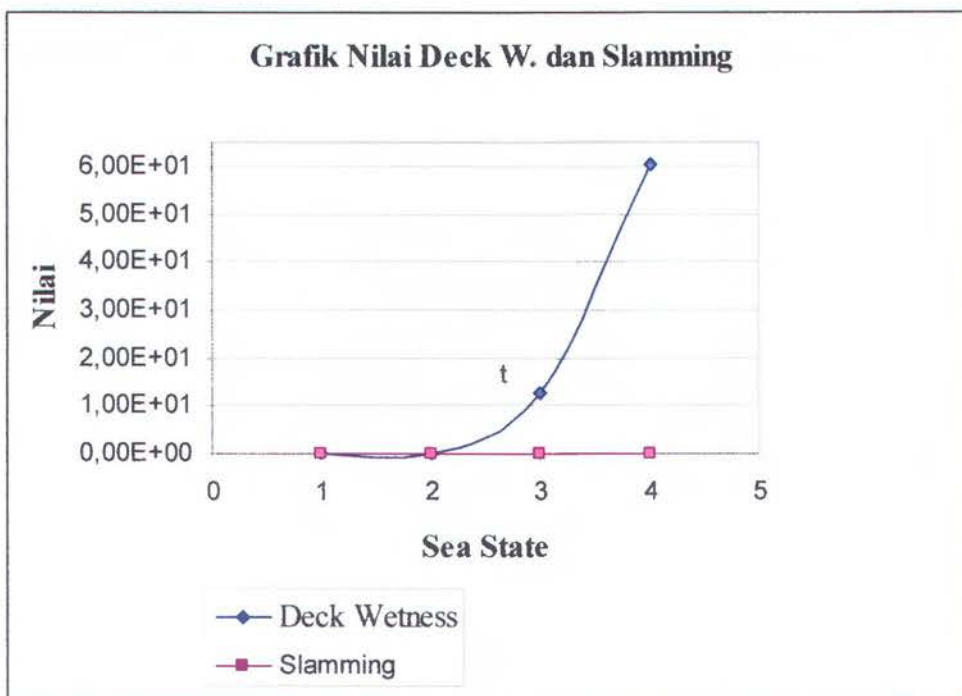
Dari grafik yang didapat maka spektrum gelombang signifikan semakin meningkat sesuai dengan meningkatnya kondisi sea state. Hal ini menyebabkan harga RAO dan Significant Wave Height Station 9.5 Relative Motion juga semakin meningkat. Ini menunjukkan bahwa peluang terjadinya Deck Wetness dan Bottom Slamming juga semakin besar pada station yang sama.

Dari hasil diatas dapat digambarkan grafik Dwck Wetness dan Slamming pada setiap sea state:

**Tabel 4.7** Perhitungan Deck Wetness dan Slamming pada Sea State 1-4

Sea State	DW (kali/jam)	Slamming (kali/jam)
1	6E-25	2E-44
2	0.8633	0.000026
3	12.7239	0.00409
4	60.5654	0.16872

Dari data tersebut didapatkan grafik seperti terlihat di bawah ini.



**Gambar 4.13** Grafik Deck Wetness dan Slamming Sea State 1 - 4

---

---

Pada grafik ditunjukkan bahwa dengan semakin bertambahnya masukan sea state (semakin meningkat) maka besarnya peluang terjadi Deck Wetness maupun Slamming juga semakin meningkat. Berdasarkan pengamatan selama melakukan perhitungan faktor yang sangat dominan mempengaruhi adalah kecepatan angin. Angin yang semakin kencang akan menyebabkan pergerakan air semakin significant dan kompleks.

Berdasarkan standart maksimal yang disebutkan dalam Dasar Teori (Bab II) , maka kapal Ferry R0-Ro 600 GT ini masih dapat beroperasi pada kondisi sea state 3, namun pada sea state 4 besarnya deck wetness telah melampaui standart yang disyaratkan, sehingga kapal tersebut tidak laik untuk berlayar pada sea state 4. Sedangkan untuk Slamming masih memenuhi standart maksimal.



---

---

## BAB V PENUTUP

### V.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan dan analisa, maka perhitungan ketahanan gelombang berupa peluang terjadinya Deck Wetness dan Slamming pada Kapal Ferry Ro-Ro 600 GT dengan ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan ketahanan gelombang pada kapal ferry ro-ro 600 GT ini dapat dilakukan dengan Methode Strip Theory sehingga dapat diketahui besarnya Deck Wetness maupun Bottom Slamming pada bagian yang diinginkan, terutama bagian bow yang memiliki peluang terbesar.
2. Perhitungan menggunakan excell, dikerjakan sebagai sebuah solver sehingga hanya dengan masukan data tertentu yang diperlukan maka besarnya nilai deck wetness maupun slamming dapat diketahui dengan cepat.
3. Dari perhitungan pada beberapa kondisi sea state maka dapat diketahui bahwa kemampuan kapal tersebut sampai pada sea state 3. Pada sea state 4 kemampuan Deck Wetness kapal sudah melampaui standart persyaratan yang diijinkan (sesuai standart Olson 1977)

### V.2 SARAN

Dalam studi ini masih banyak terdapat kekurangan dan kelemahan disebabkan karena keterbatasan dari penulis baik dari segi pengetahuan, pemahaman maupun pengalaman., maka hal-hal berikut kiranya dapat dijadikan bahan masukan untuk pengembangan lebih lanjut.

1. Pengembangan pada sistem perhitungan koefisien hidrodinamis agar lebih efektif.
2. Pemakaian bahasa pemrograman yang lebih dinamis sehingga perhitungan lebih produktif dan dapat dilakukan pembuatan animasi secara langsung.

## DAFTAR PUSTAKA

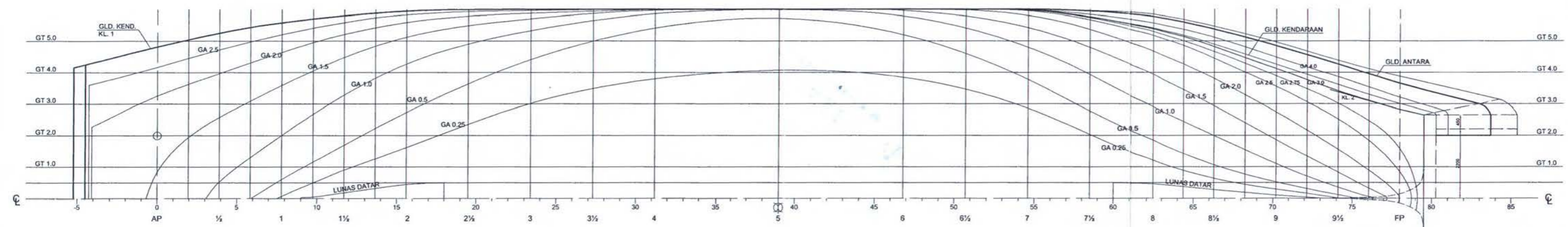
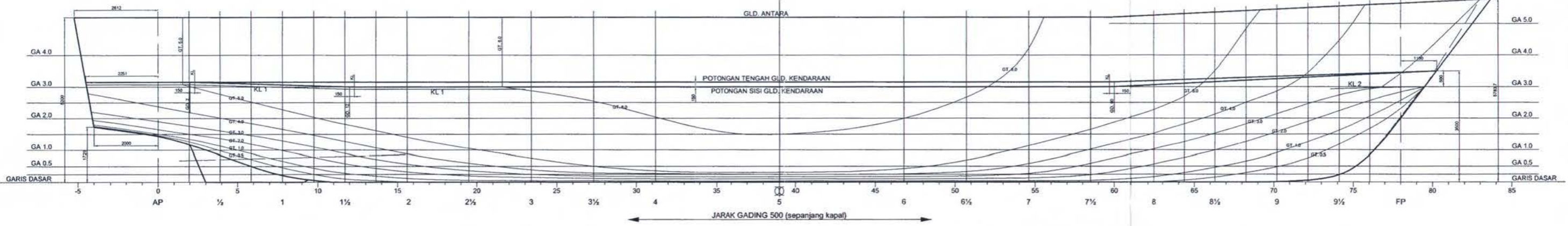
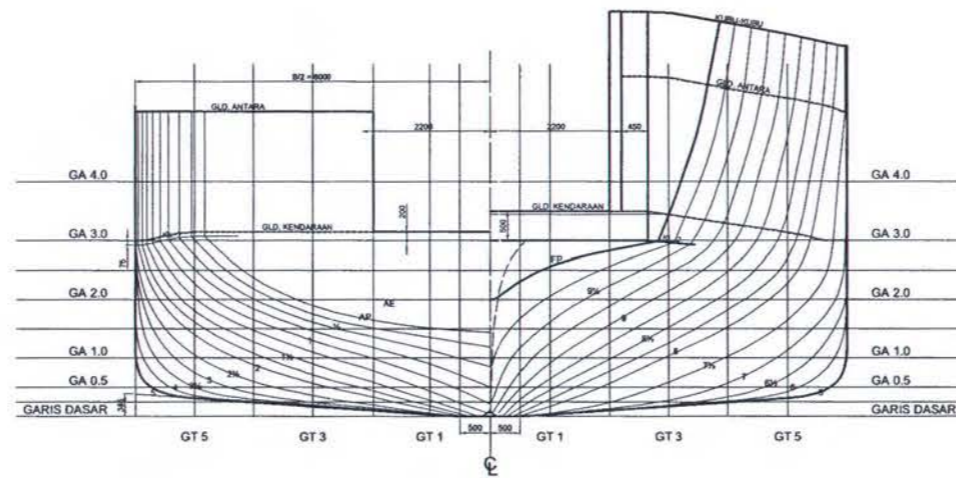
1. Bhattacharyya, R., 1978. Dynamics of Marine Vehicles. John Wiley & Sons. New York. USA.
2. Lewis, Edward V., 1977. Principles of Naval Architecture (Motions in Wave and Controllsibility). Volume III. The Society of Naval Architects and Marine Engineers. New Jerse.
3. Mehaute, Bernard Le, 1976. An Introduction to Hydrodynamics and Water Waves. Springer-Verlag. New York Heidelberg. Berlin.
4. Tahlil, Chabibi Nur, 2005. Prediksi Deck Wetness di Gelombang Reguler. Jurusan Teknik Perkapalan. ITS. Surabaya.
5. Atmoko, Anggono H., 2005. Prediksi Koefisien Hidrodinamis pada Gerakan Sway, Heave dan Roll dengan Teori Ursell-Tasai. Jurusan Teknik Perkapalan. ITS. Surabaya.

TABEL SETENGAH LEBAR

NO. ORD.	ALAS	SETENGAH LEBAR (m)										NO. ORD.	
		K.L. 1	K.L. 2	G.A. 0.25	G.A. 0.5	G.A. 1.0	G.A. 1.5	G.A. 2.0	G.A. 2.5	G.A. 3.0	G.A. 4.0		G.LD. KEND.
AE	4.250	-	-	-	-	2.387	3.900	4.175	4.250	4.250	4.250	AE	
AP	4.821	-	-	-	0.885	3.257	4.173	4.744	4.821	4.821	AP		
1/4	5.048	-	-	-	1.837	3.818	4.458	4.976	5.045	5.045	1/4		
1/2	5.255	-	-	0.528	3.580	3.970	4.738	5.211	5.255	5.255	1/2		
3/4	5.439	-	-	1.308	3.098	4.298	4.876	5.421	5.439	5.439	3/4		
1	5.579	-	0.088	0.583	2.018	3.595	4.847	5.208	5.579	5.579	1		
1 1/4	5.799	-	0.904	1.794	3.279	4.484	5.212	5.589	5.799	5.799	1 1/4		
2	6.045	-	1.818	2.734	4.278	5.123	5.588	5.949	6.045	6.045	2		
3	6.509	-	3.018	4.412	5.320	5.791	5.881	6.000	6.509	6.509	3		
4	6.900	-	3.860	5.410	5.895	6.000	6.000	6.900	6.900	6.900	4		
5	6.900	-	4.071	5.717	5.968	6.000	6.000	6.900	6.900	6.900	5		
6	6.900	-	3.804	5.198	5.983	6.000	6.000	6.900	6.900	6.900	6		
7	6.900	-	3.856	3.817	4.800	5.423	5.826	5.949	6.900	6.900	7		
8	6.482	-	1.217	1.847	3.812	3.948	4.881	5.178	6.482	6.482	8		
8 1/4	6.277	-	0.838	1.086	2.027	2.942	3.808	4.449	6.277	6.277	8 1/4		
9	6.103	-	0.291	0.522	1.103	1.871	2.729	3.575	6.103	6.103	9		
9 1/4	6.025	-	0.158	0.314	0.791	1.345	2.172	3.060	6.025	6.025	9 1/4		
9 1/2	-	-	3.375	0.015	0.115	0.355	0.848	1.857	2.537	3.411	3.861	9 1/2	
9 3/4	-	-	3.088	-	-	0.081	0.338	0.899	1.837	3.111	3.530	3.980	9 3/4
FP	-	-	2.825	-	-	-	-	0.847	2.829	3.208	3.008	3.983	FP

TABEL TINGGI THD. GRS. DASAR

ORD. NO.	C	TINGGI DI ATAS GRS. DASAR (m)										ORD. NO.
		K.L. 1	K.L. 2	G.T. 0.5	G.T. 1.0	G.T. 2.0	G.T. 3.0	G.T. 4.0	G.T. 5.0	G.T. 6.0		
AE	1.729	3.075	-	1.763	1.811	1.948	2.197	2.630	-	-	AE	
AP	1.438	3.075	-	1.470	1.514	1.600	1.805	2.380	-	-	AP	
1/4	1.188	3.072	-	1.268	1.360	1.511	1.790	2.193	3.028	-	1/4	
1/2	0.865	3.072	-	0.982	1.140	1.367	1.817	2.018	2.768	-	1/2	
3/4	0.604	3.060	-	0.714	0.908	1.181	1.658	1.945	2.823	-	3/4	
1	0.317	3.022	-	0.458	0.662	0.985	1.301	1.698	2.884	-	1	
1 1/4	0.000	2.961	-	0.107	0.282	0.568	0.904	1.278	1.817	-	1 1/4	
2	0.000	2.934	-	0.012	0.110	0.332	0.571	0.868	1.405	-	2	
3	0.000	2.825	-	0.000	0.081	0.148	0.248	0.392	0.758	4.217	3	
4	0.000	-	-	0.000	0.037	0.111	0.187	0.290	0.558	2.590	4	
5	0.000	-	-	0.000	0.035	0.105	0.175	0.245	0.518	1.500	5	
6	0.000	-	-	0.000	0.038	0.108	0.180	0.265	0.428	2.045	6	
7	0.000	-	-	0.000	0.044	0.137	0.277	0.571	1.140	2.879	7	
8	0.000	-	-	0.012	0.174	0.568	1.041	1.522	2.281	-	8	
8 1/4	0.000	-	-	0.158	0.483	0.988	1.532	2.129	3.001	-	8 1/4	
9	0.015	-	-	0.478	0.922	1.577	2.151	2.854	-	-	9	
9 1/4	0.058	-	-	0.798	1.281	1.889	2.481	3.433	-	-	9 1/4	
9 1/2	0.232	-	-	2.941	1.182	1.622	2.228	2.729	4.457	-	9 1/2	
9 3/4	0.858	-	-	2.988	1.880	2.586	3.568	4.898	-	-	9 3/4	
FP	2.000	-	-	2.863	2.312	2.585	2.838	3.425	-	-	FP	



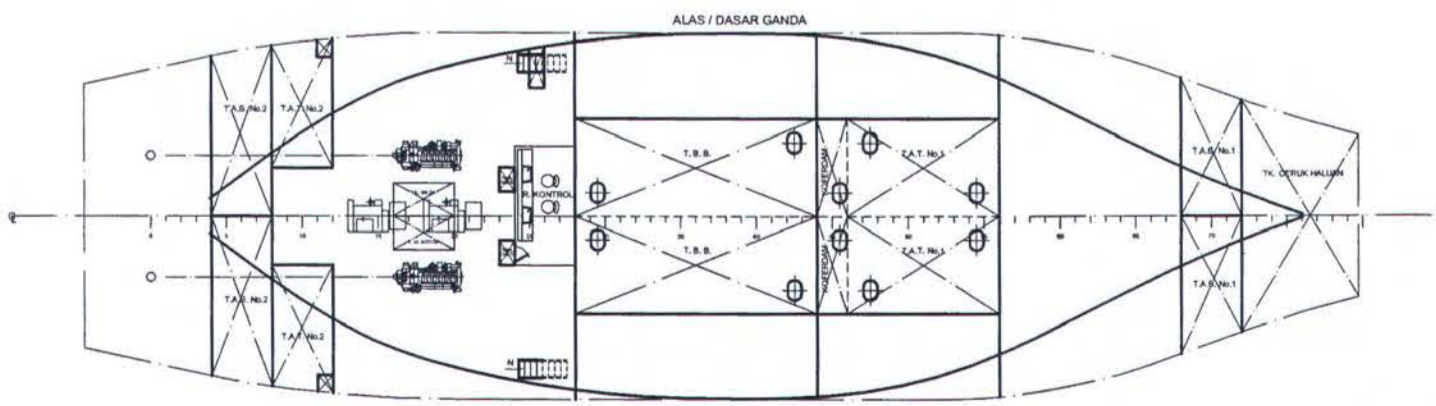
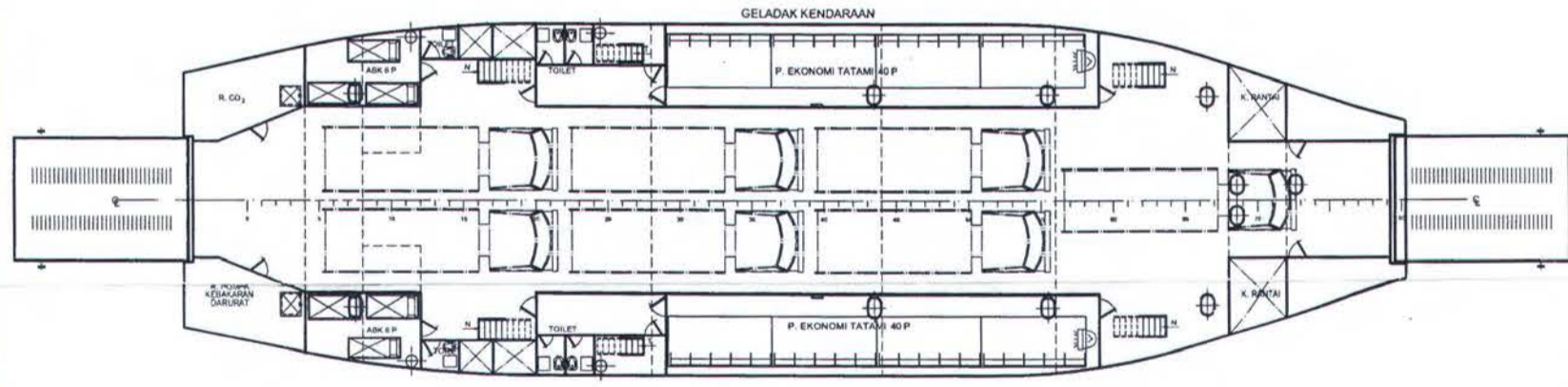
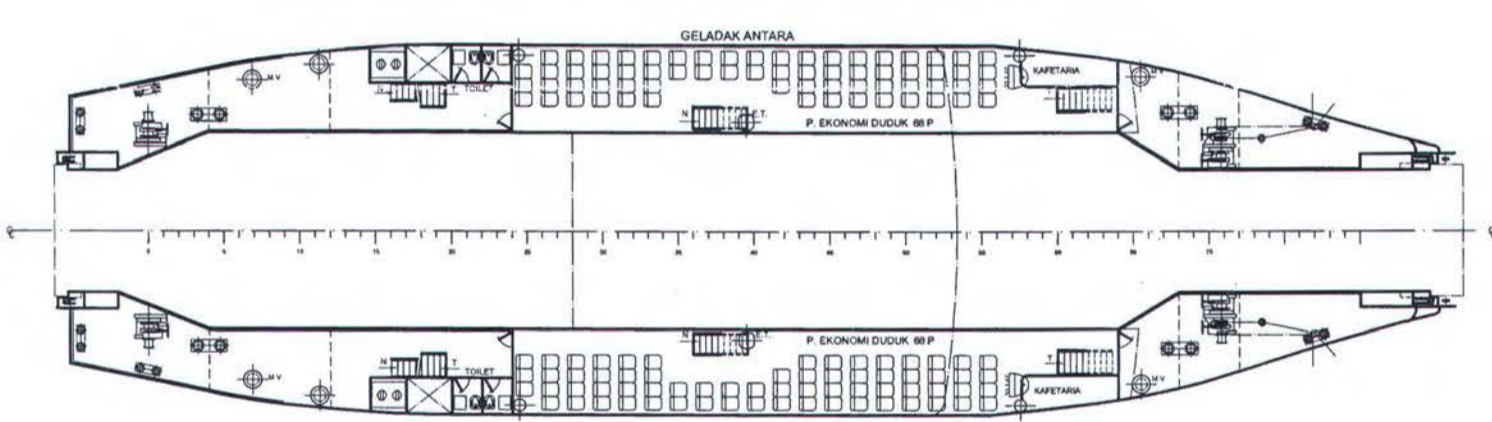
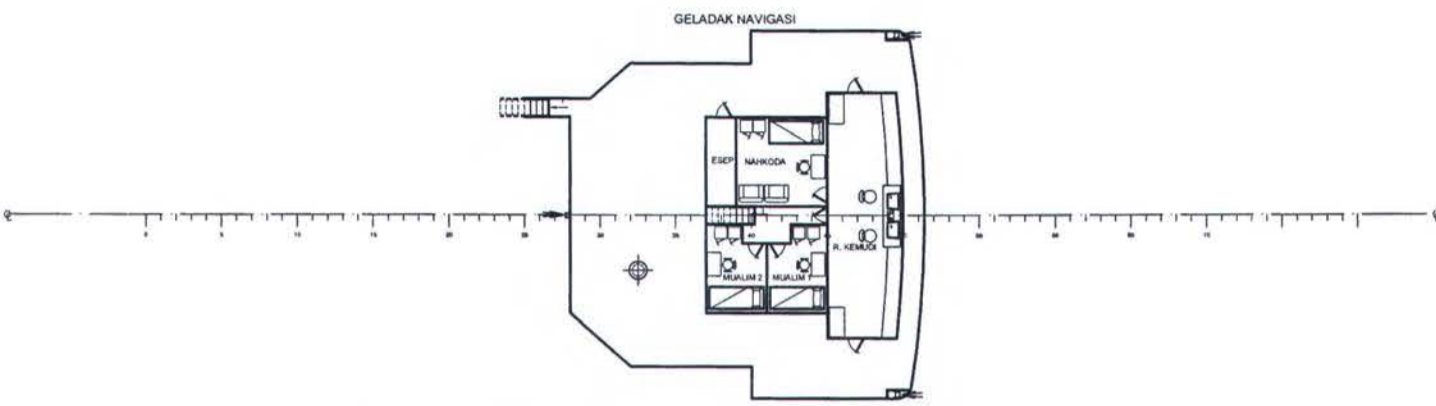
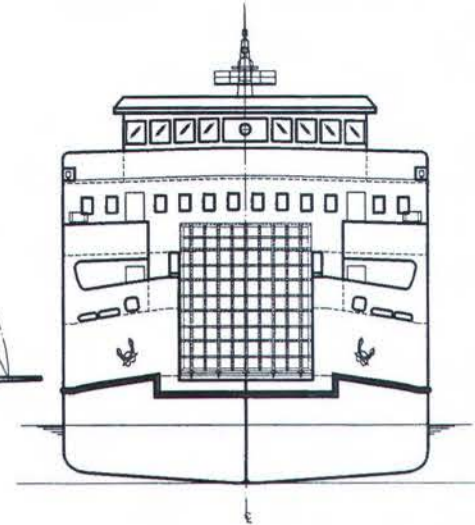
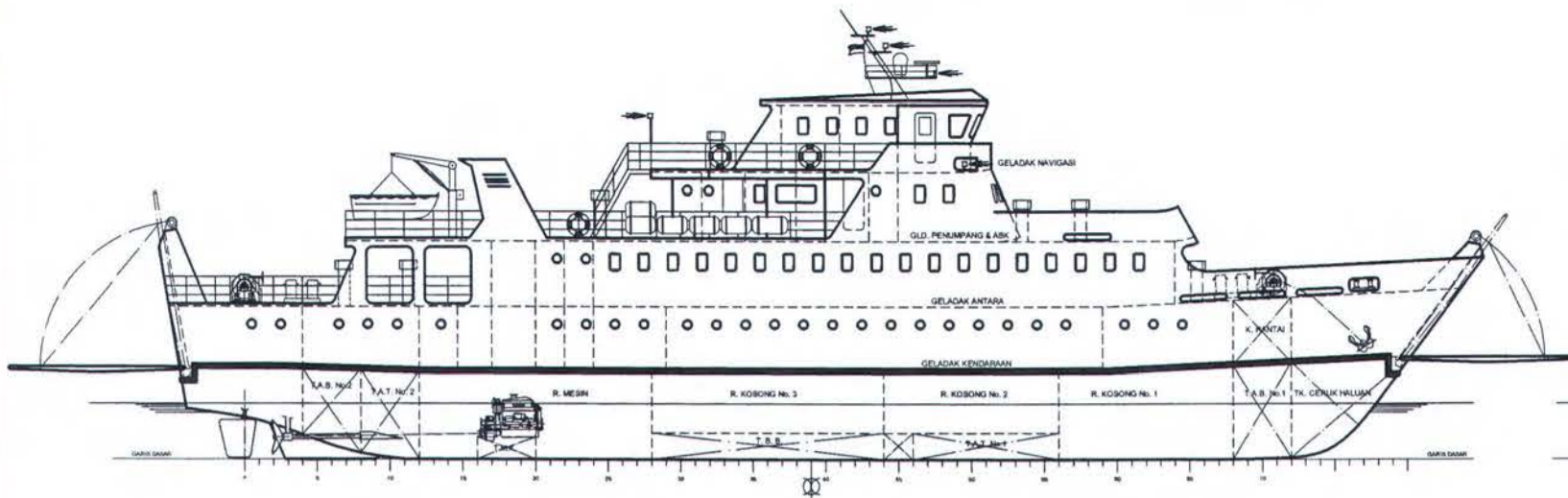
UKURAN UTAMA :  
 PANJANG SELURUHNYA (Loa) = 46.20 m  
 PANJANG A.G.T. (Lpp) = 39.00 m  
 LEBAR (B) = 12.00 m  
 TINGGI (H) = 3.00 m  
 SARAT (T) = 2.00 m  
 SHEER HALLUAN = 445 mm  
 SHEER BURITAN = 150 mm  
 CAMBER = 150 mm

DEPARTEMEN PERHUBUNGAN  
 DIREKTORAT JENDERAL PERHUBUNGAN DARAT  
 DITLLASDP

RENCANA GARIS ( STATION )  
 KAPAL PENYEBERANGAN 600 GT



DIGAMBAR 26-10-04  
 DIPERIKSA 27-10-04  
 DISETUJUI  
 SKALA 1:50

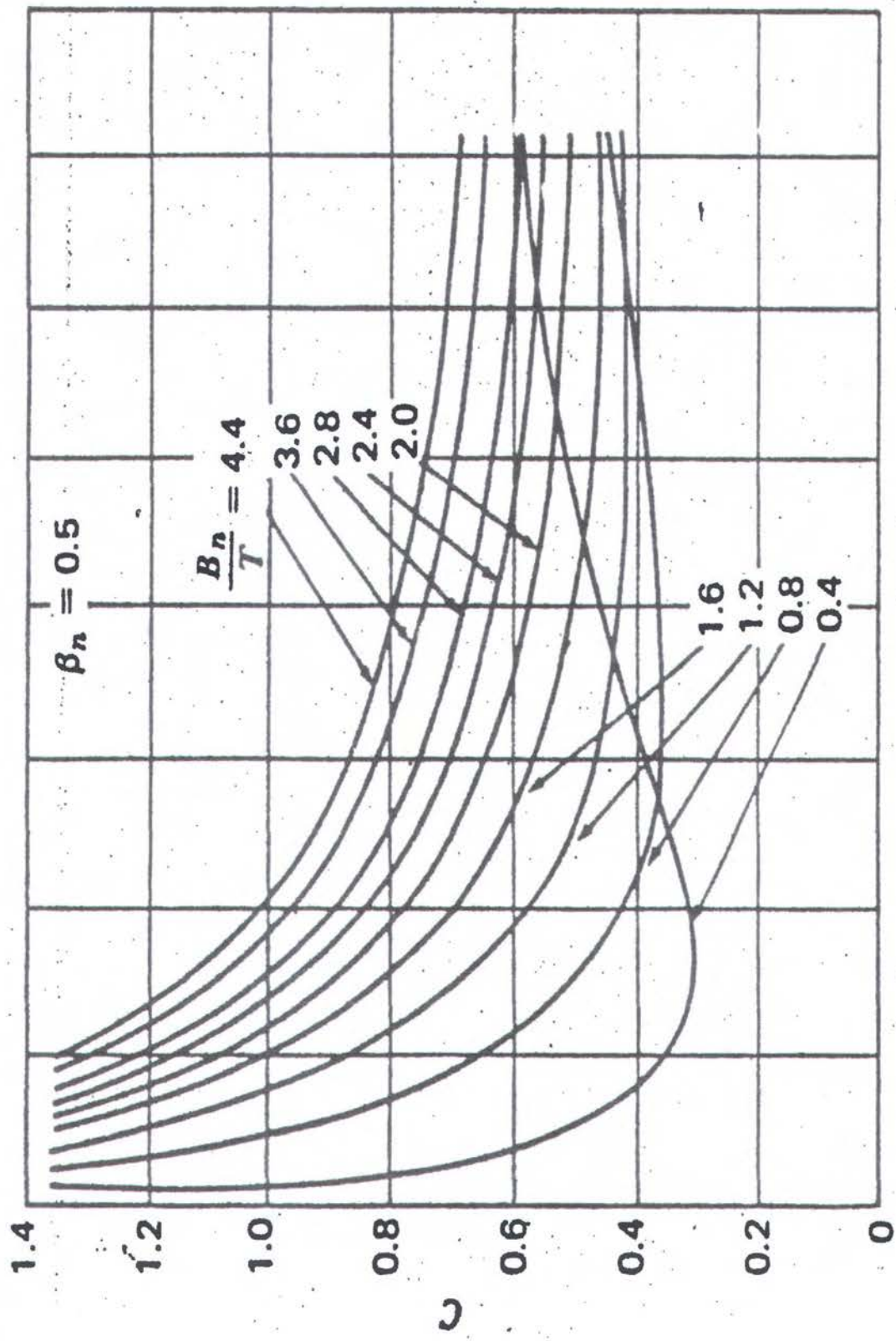
PT. MEGA OCEAN JAYA  
 NO. PROYEK : -  
 NO. GAMBAR : 104102-A  
 REV : -



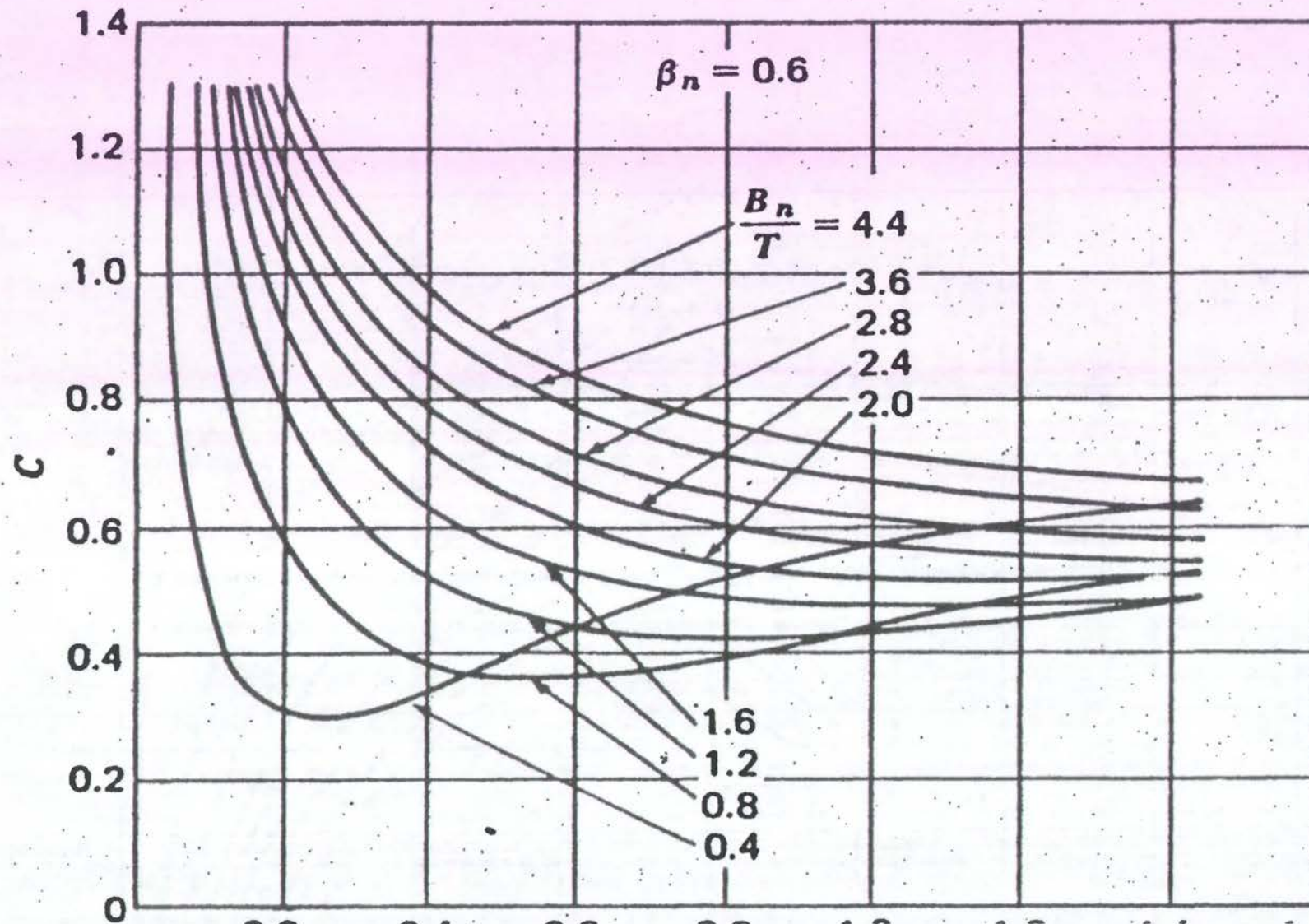
- UKURAN UTAMA :**
- PANJANG SELURUHNYA (Loa) = 46.20 m
  - PANJANG A.G.T. (Lpp) = 39.00 m
  - LEBAR (B) = 12.00 m
  - TINGGI (H) = 3.00 m
  - SARAT (T) = 2.00 m
  - KECEPATAN (v) = 12.00 knot
  - DAYA MESIN = 2 x 620 HP 1900 rpm
- A.B.K. = 20 ORANG**
- PENUMPANG :**
- PENUMPANG EKSEKUTIF = 53 ORANG
  - PENUMPANG EKONOMI = 132 ORANG
  - PENUMPANG TATAMI = 80 ORANG
  - JUMLAH PENUMPANG = 265 ORANG
  - KENDARAAN = 7 UNIT TRUK

KLAS : KI + A 100 QP "Kapal Penyeberangan" + SM

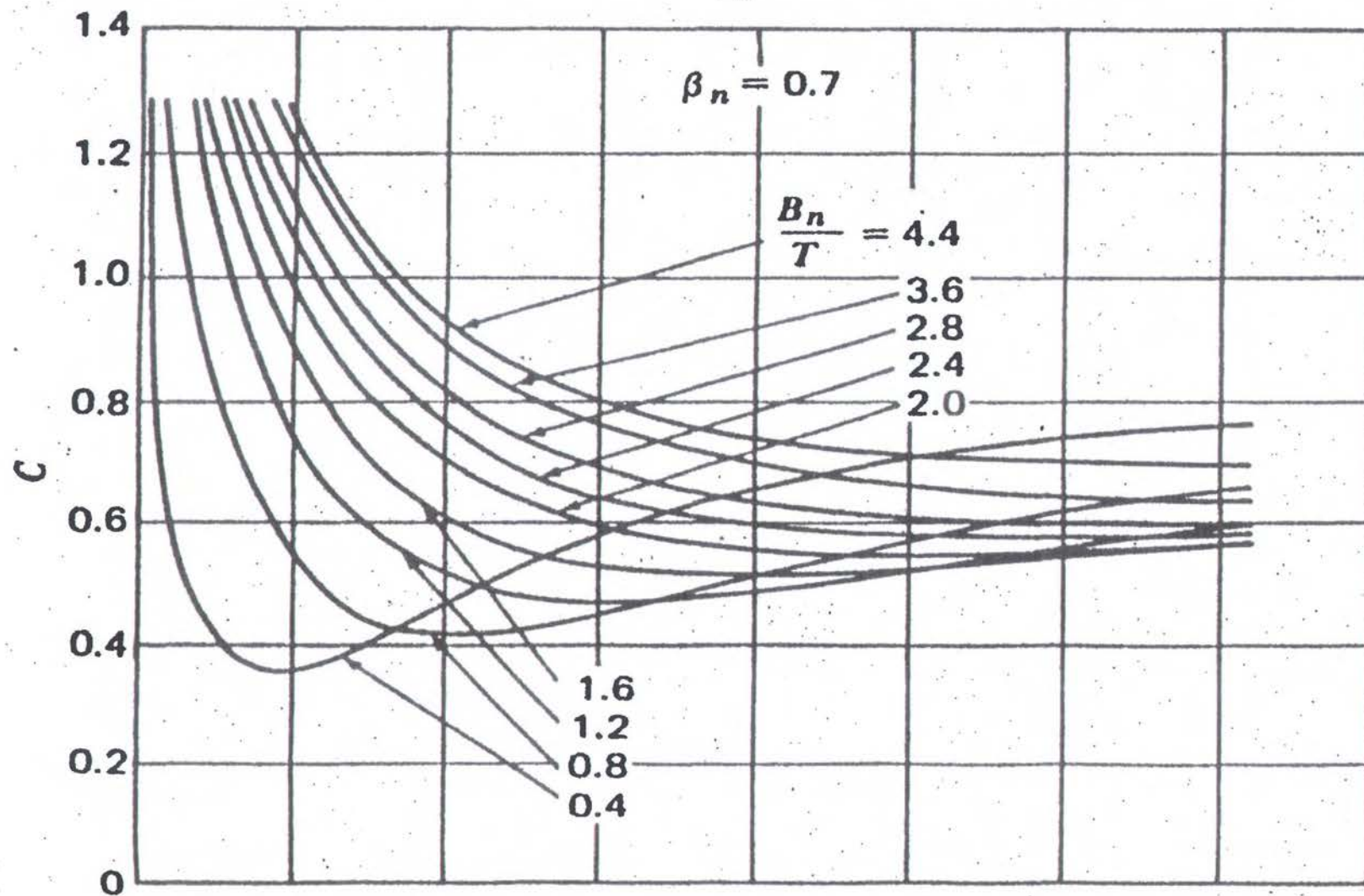
	DEPARTEMEN PERHUBUNGAN DIREKTORAT JENDERAL PERHUBUNGAN DARAT DIREKTORAT LLASDP			
	<b>RENCANA UMUM</b> <b>KAPAL PENYEBERANGAN 600 GT</b>			
DIGAMBAR	28 - 10 - 04	 PT. MEGA OCEAN JAYA		
DIPERIKSA	29 - 10 - 04			
DISETUJUI		NO. PROYEK : -		
SKALA	1 : 125	1/1	NO. GAMBAR : 104101	REV. : -



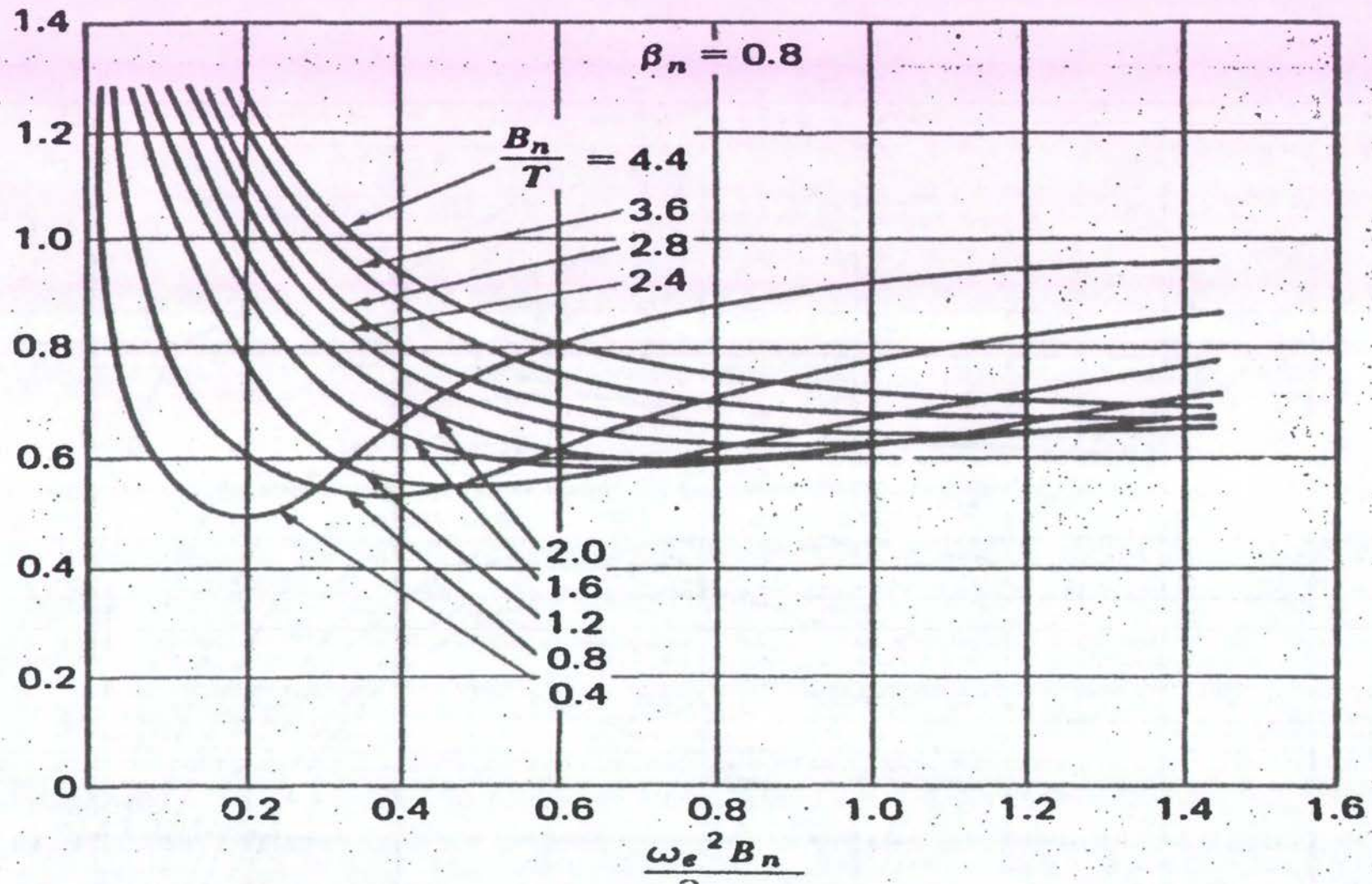
Grafik Added Mass Heaving  $\beta_n = 0.5$



Grafik Added Mass Heaving  $\beta_n = 0.6$

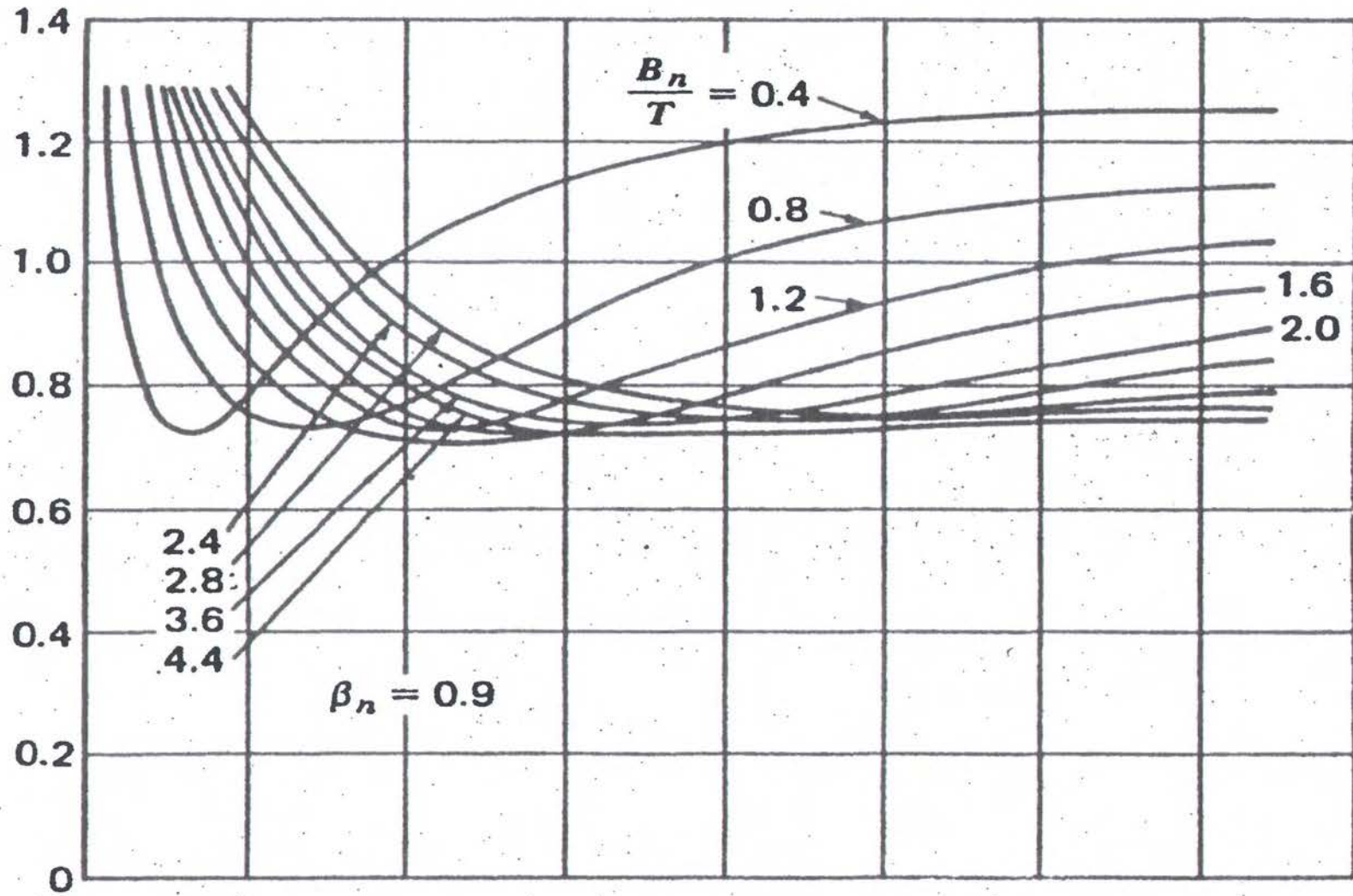


Grafik Added Mass Heaving  $\beta_n = 0.7$

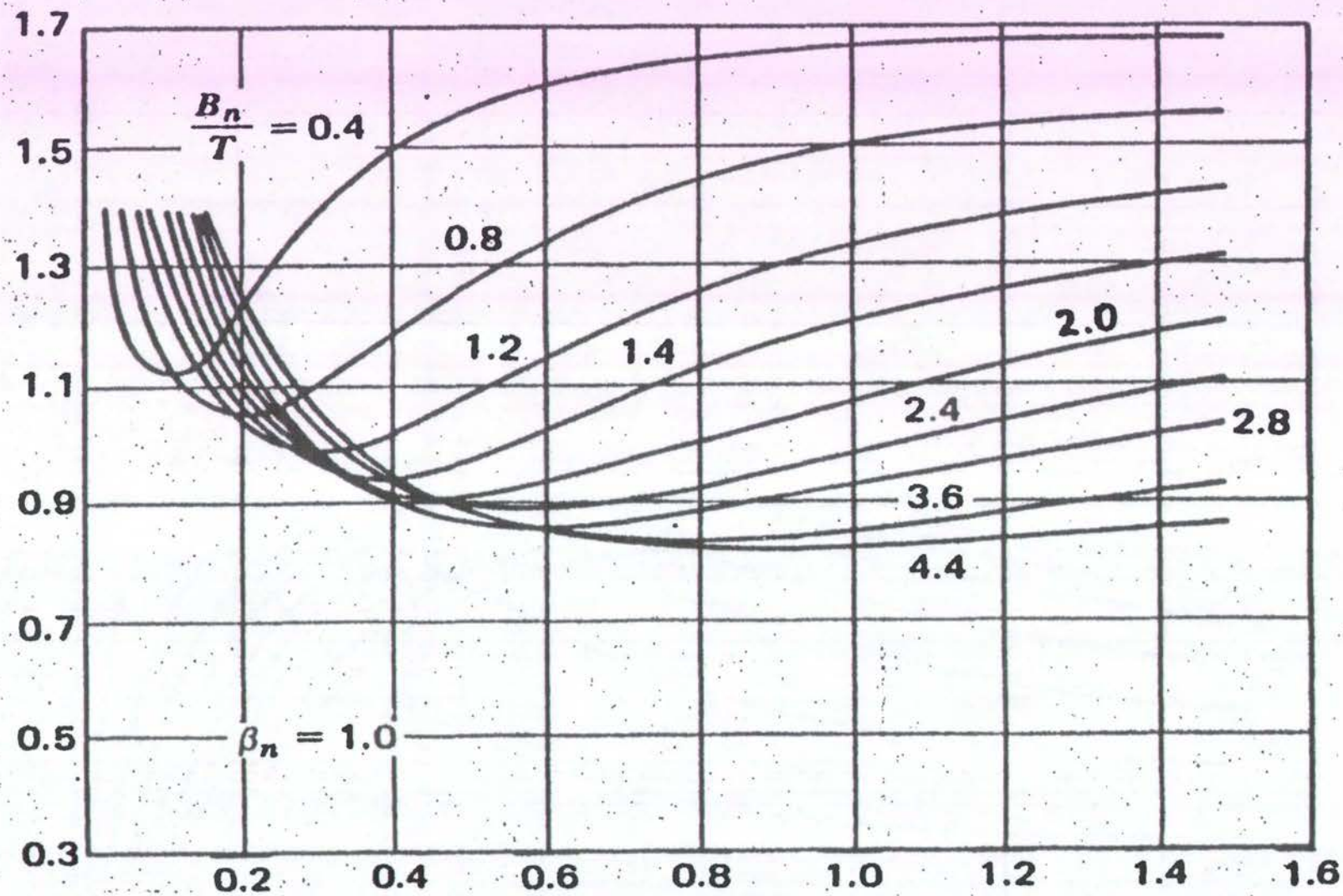


Grafik Added Mass Heaving  $\beta_n = 0.8$

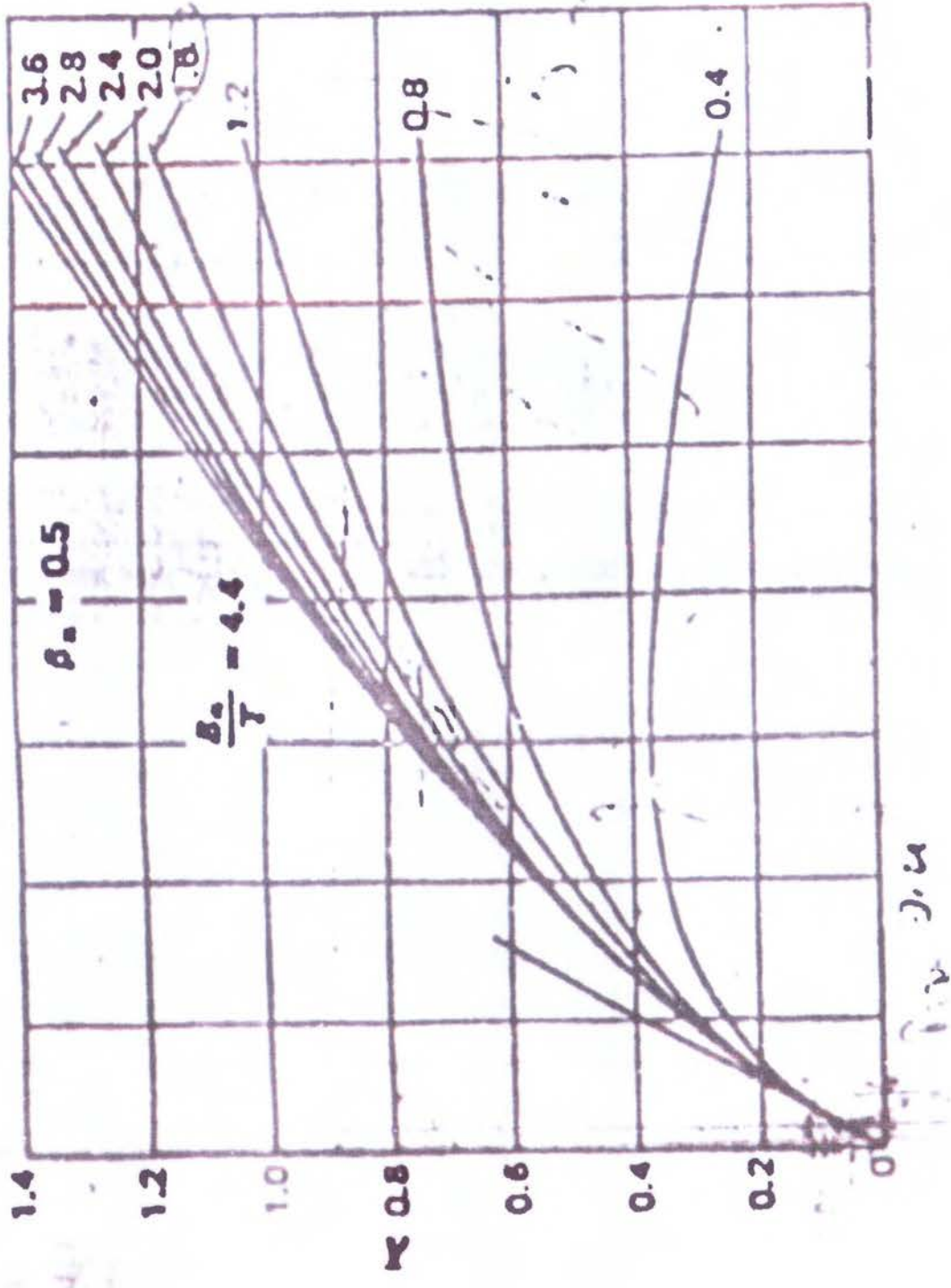




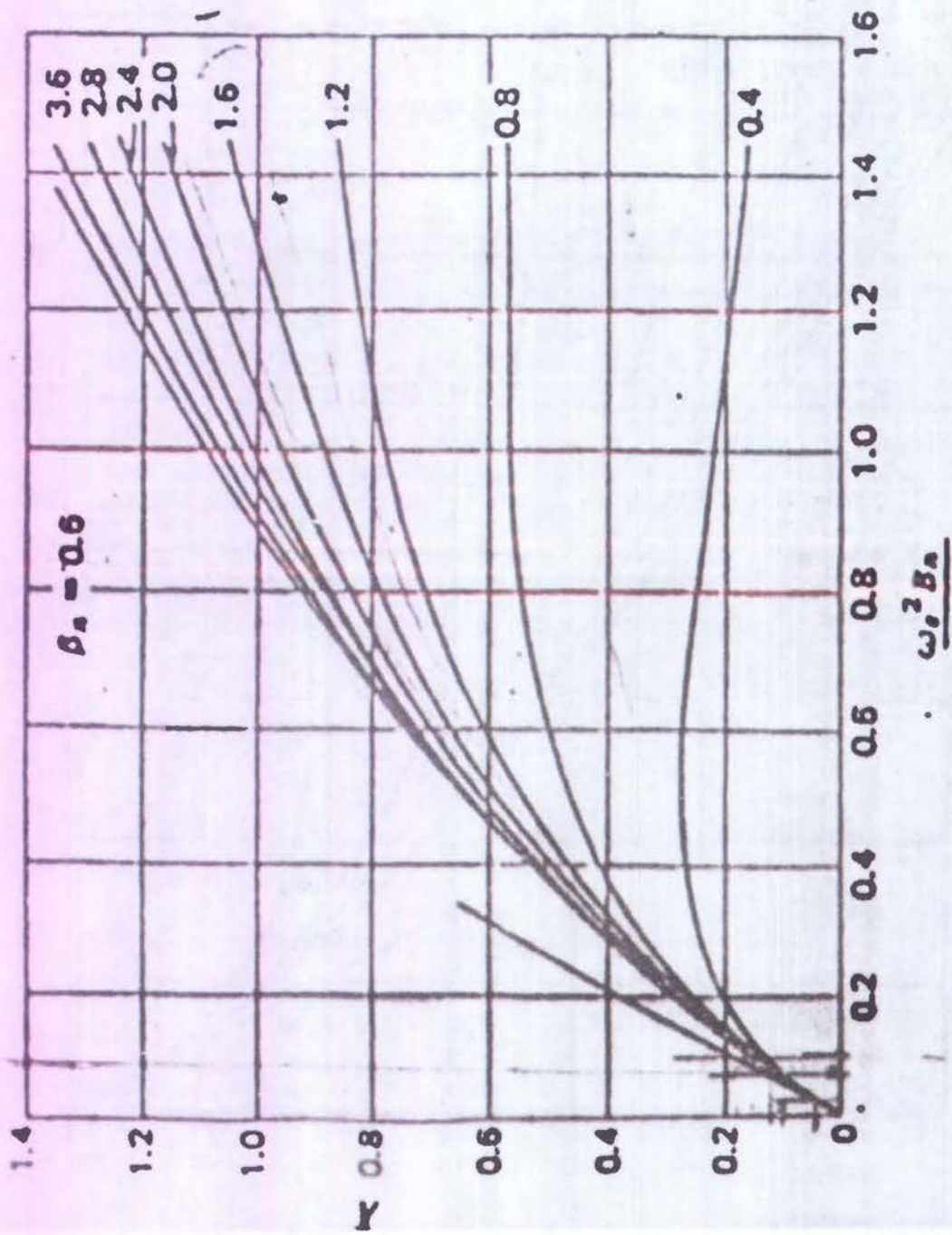
Grafik Added Mass Heaving  $\beta_n = 0.9$



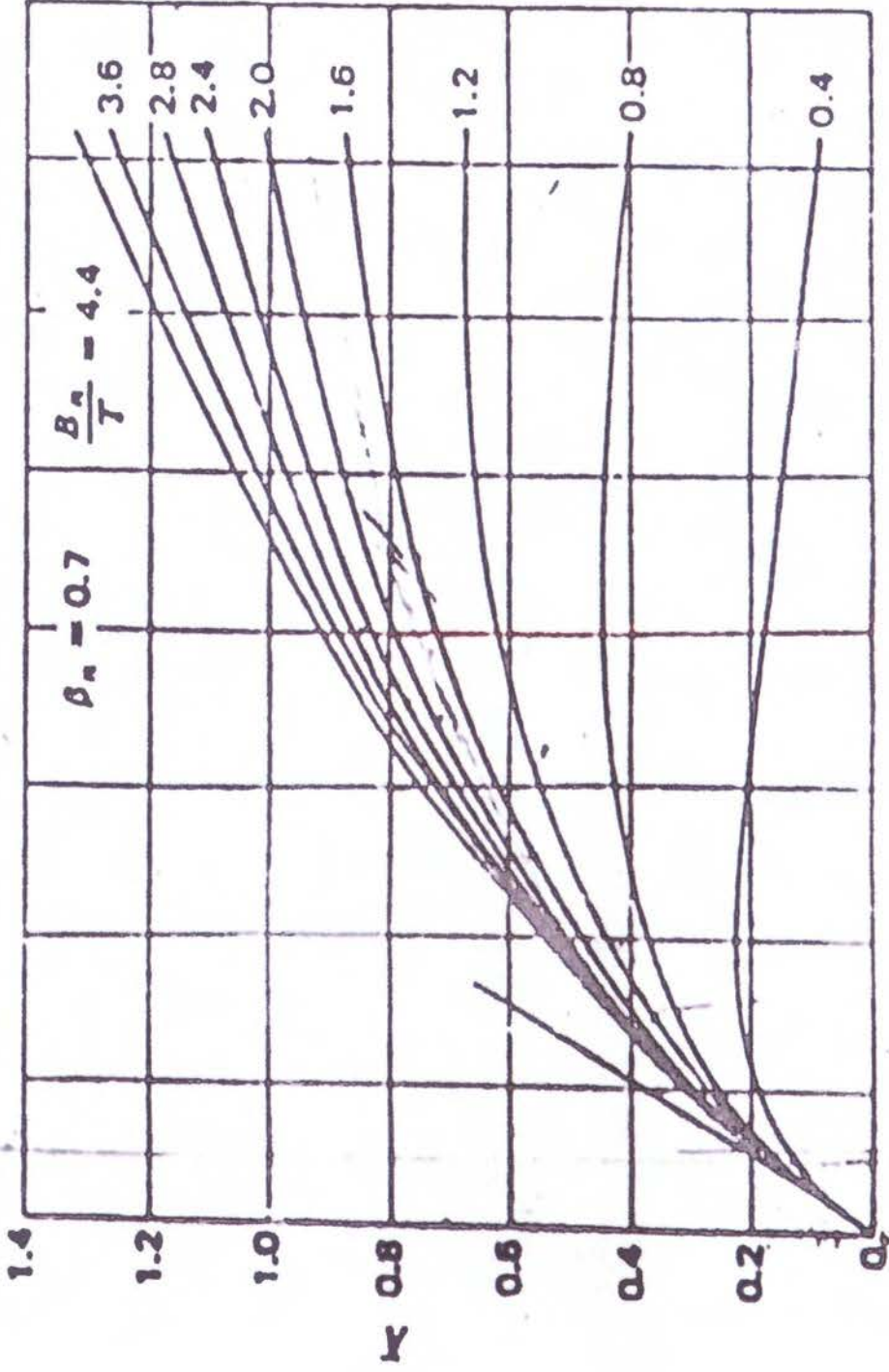
Grafik Added Mass Heaving  $\beta_n = 1.0$



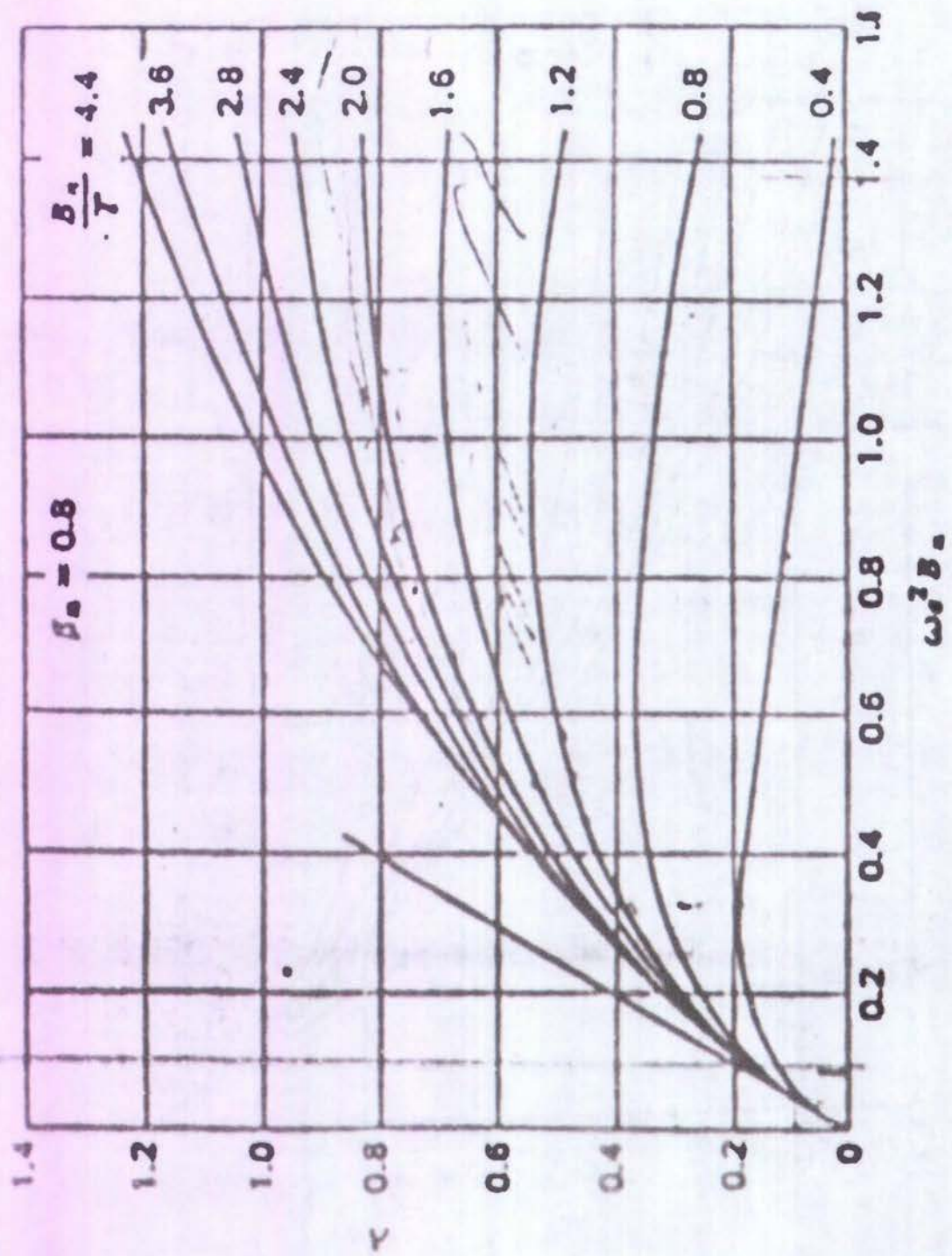
Grafik Amplitudo Ratio Heaving  $\beta_n = 0.5$



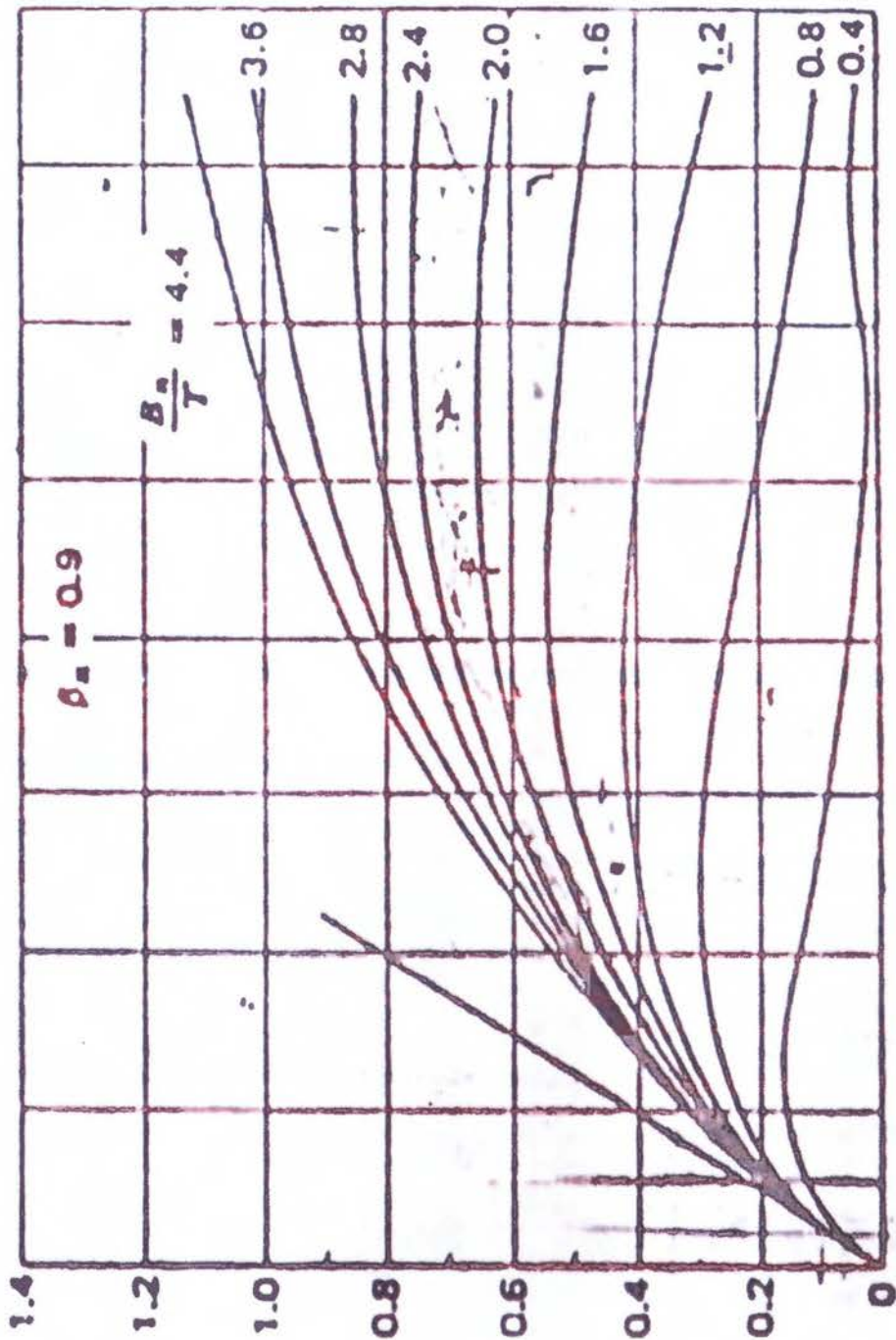
Grafik Amplitudo Ratio Heaving  $\beta_n = 0.6$



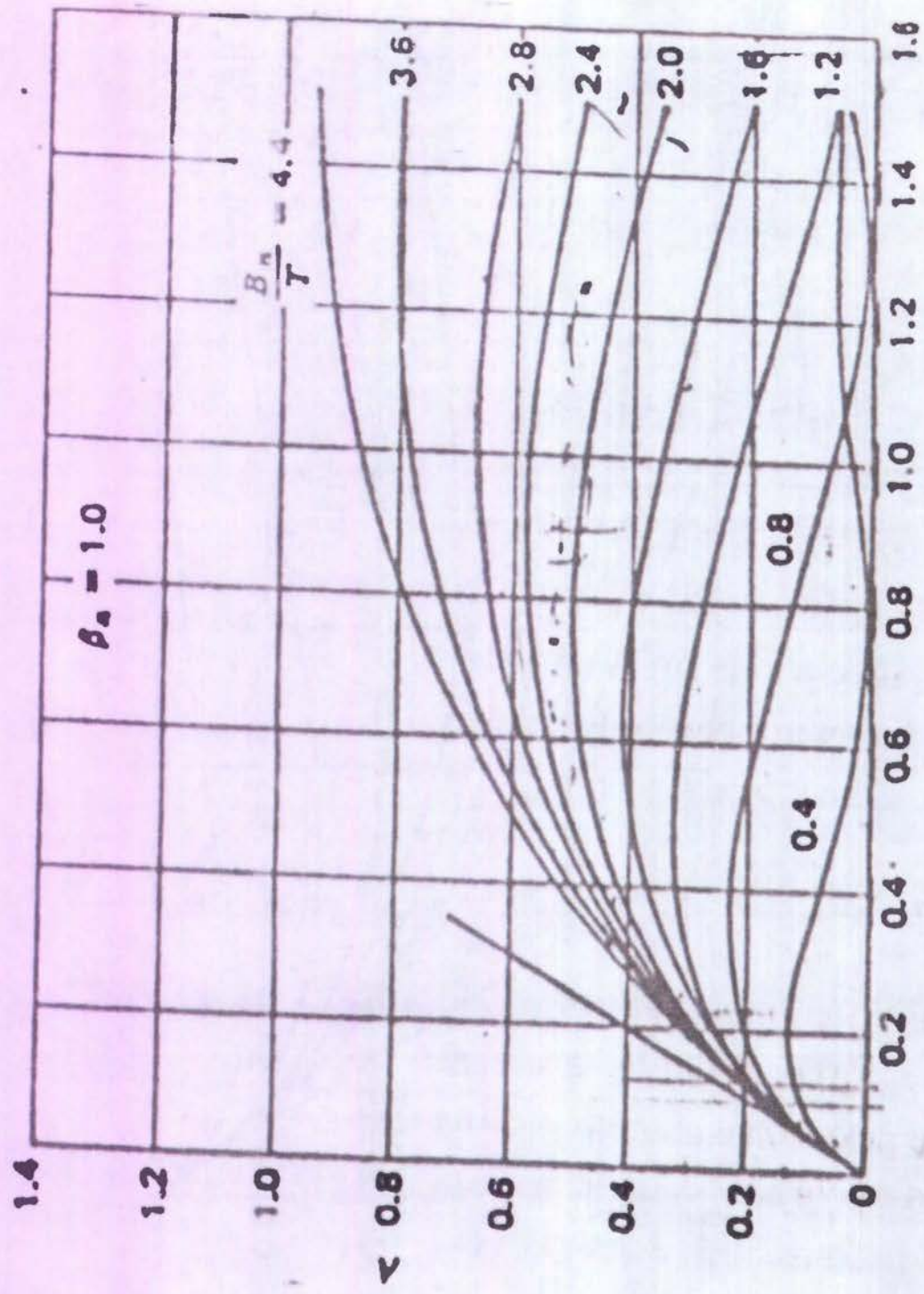
Grafik Amplitudo Ratio Heaving  $\beta_n = 0.7$



Grafik Amplitudo Ratio Heaving  $\beta_n = 0.8$



Grafik Amplitudo Ratio Heaving  $\beta_n = 0.9$



Grafik Amplitudo Ratio Heaving  $\beta_n = 1.0$



Perhitungan Deck Wetness dan Slamming pada Sea State 2,  $\mu = 180^\circ$

TABLE 1.9 CALCULATIONS FOR az AND Ayy

St No.	Bn	Tn	Sn	ξ	$\frac{\omega^2 \times Bn}{2g}$	$\frac{Bn}{Tn}$	$Bn \times Tn$	bn	C	$Bn^2$	$\frac{\rho n}{8} \times Bv^2$	an	Simpson's Multiplier	Product	$\xi^2$	$an \times \xi^2$	Simpson's Multiplier	Product	
(1)	[ft]	[ft]	[ft <sup>2</sup> ]	[ft]	[-]	[-]	[ft <sup>2</sup> ]	[-]	[-]	[ft <sup>2</sup> ]	[lb-sec <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> ]	[lb-sec <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> ]	(14)	(13) x (14)	(5) x (5)	(13) x (16)	(18)	(17) x (18)	
AP	31,1282304	6,5616	25,8428	-60,4487	9,4548	4,744	204,251	0,12652	0,921763	968,967	756,025	696,87573	1	696,87573	3654,050	2546418,9	1	2546418,90	
0,5	34,1924976	6,5616	53,0211	-54,0512	10,3855	5,211	224,3575	0,23632	0,854331	1169,127	912,197	779,31857	4	3117,2743	2921,530	2276802,62	4	9107210,47	
1	36,6071664	6,5616	90,7332	-47,6536	11,1190	5,579	240,2016	0,37774	0,767753	1340,085	1045,585	802,75129	2	1605,5026	2270,867	1822941,81	2	3645883,61	
1,5	38,0507184	6,5616	131,7109	-41,2561	11,5574	5,799	249,6736	0,52753	0,688214	1447,857	1129,673	777,45653	4	3109,8261	1702,062	1323279,6	4	5293118,41	
2	39,0349584	6,5616	164,6362	-34,8585	11,8564	5,949	256,1318	0,64278	0,680584	1523,728	1188,871	809,1258	2	1618,2516	1215,115	983180,913	2	1966361,83	
2,5	39,3499152	6,5616	188,2554	-28,4609	11,9520	5,997	258,1984	0,72911	0,692506	1548,416	1208,133	836,63919	4	3346,5568	810,025	677698,751	4	2710795,01	
3	39,3696	6,5616	205,3017	-22,0634	11,9580	6	258,3276	0,79473	0,70472	1549,965	1209,342	852,24784	2	1704,4957	486,793	414868,057	2	829736,11	
3,5	39,3696	6,5616	218,6957	-15,6658	11,9580	6	258,3276	0,84658	0,725359	1549,965	1209,342	877,20687	4	3508,8275	245,418	215282,282	4	861129,13	
4	39,3696	6,5616	227,7464	-9,2683	11,9580	6	258,3276	0,88162	0,740144	1549,965	1209,342	895,08775	2	1790,1755	85,901	76888,614	2	153777,23	
4,5	39,3696	6,5616	231,9267	-2,8707	11,9580	6	258,3276	0,8978	0,746974	1549,965	1209,342	903,34649	4	3613,386	8,241	7444,4048	4	29777,62	
5	39,3696	6,5616	233,1143	3,5269	11,9580	6	258,3276	0,9024	0,750428	1549,965	1209,342	907,52366	2	1815,0473	12,439	11288,4522	2	22576,90	
5,5	39,3696	6,5616	231,0065	9,9244	11,9580	6	258,3276	0,89424	0,74547	1549,965	1209,342	901,52841	4	3606,1136	98,494	88795,2404	4	355180,96	
6	39,3696	6,5616	224,8746	16,3220	11,9580	6	258,3276	0,8705	0,735453	1549,965	1209,342	889,41404	2	1778,8281	266,407	236946,154	2	473892,31	
6,5	39,3696	6,5616	211,8144	22,7195	11,9580	6	258,3276	0,81994	0,714117	1549,965	1209,342	863,61204	4	3454,4482	516,177	445777,101	4	1783108,40	
7	39,2318064	6,5616	190,7322	29,1171	11,9162	5,979	257,4234	0,74093	0,694691	1539,135	1200,891	834,24899	2	1668,498	847,806	707280,894	2	1414561,79	
7,5	37,8473088	6,5616	159,2189	35,5147	11,4956	5,768	248,3389	0,64114	0,680171	1432,419	1117,628	760,17787	4	3040,7115	1261,291	958805,559	4	3835222,24	
8	35,3145312	6,5616	122,2402	41,9122	10,7263	5,382	231,7198	0,52753	0,687373	1247,116	973,048	668,84664	2	1337,6933	1756,634	1174918,87	2	2349837,74	
8,5	31,65972	6,5616	86,8567	48,3098	9,6162	4,825	207,7384	0,41811	0,741604	1002,338	782,062	579,9808	4	2319,9232	2333,835	1353579,4	4	5414317,59	
9	27,000984	6,5616	52,3300	54,7073	8,2012	4,115	177,1697	0,29537	0,808223	729,053	568,835	459,74549	2	919,49099	2992,893	1375969,09	2	2751938,19	
9,5	22,3816176	6,5616	21,7219	61,1049	6,7981	3,411	146,8592	0,14791	0,891934	500,937	390,850	348,61252	4	1394,4501	3733,809	1301652,5	4	5206610,00	
FP	18,5627664	6,5616	0,0000	67,5025	5,6382	2,829	121,8014	0	1	344,576	268,852	268,85155	1	268,85155	4556,582	1225044,18	1	1225044,18	
														SUM1	45715,127			SUM2	31976498,6

Added mass for heaving, az

$$az = \int an d\xi$$

$$= 1/3 \times S \times SUM1$$

$$= 1/3 \times 6,39756 \times 45715,127$$

$$= 97488,64 \text{ lb-sec}^2/\text{ft}$$

Added mass moment of inertia for pitching, Ayy

$$Ayy = \int an^2 d\xi$$

$$= 1/3 \times S \times SUM2$$

$$= 1/3 \times 6,39756 \times 31976498,6$$

$$= 110040922,8 \text{ lb-sec}^2\text{-ft}$$

Keterangan :

- (2) = Beam of Station, Bn
- (3) = Draft at Station, Tn
- (4) = Sectional Area at Station, Sn
- (5) = Lever Arm from Longitudinal Centre of Buoyancy, x

- (9) = Sectional Area Coefficient, bn = Sn / (Bn x Tn)
- (10) = Added Mass Coefficient, C'
- (13) = Sectional Added Mass, an = C x (ρp/8) x Bn2
- S = Lpp / 20

TABLE 2.9 CALCULATIONS FOR b AND B

Station No.	$\frac{\omega e^2 \xi Bn}{2g}$ [-]	$\frac{Bn}{Tn}$ [-]	$\beta n$ [-]	$\bar{A}$ [-]	$\bar{A}^2$ [-] (5) x (5) (6)	$bn$ [lb-sec/ft <sup>2</sup> ] (7)	Simpson's Multiplier (8)	Product (7) x (8) (9)	$\xi^2$ [ft <sup>2</sup> ] (10)	$bn \times \xi^2$ [lb-sec] (7) x (10) (11)	Simpson's Multiplier (12)	Product (11) x (12) (13)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
AP	9,4548	4,744	0,13	1,0881	1,18	28,17623685	1	28,1762	3654,0502	102957,38	1	102957,383
0,5	10,3855	5,211	0,24	1,1629	1,35	32,18849776	4	128,7540	2921,5301	94039,664	4	376158,6551
1	11,1190	5,579	0,38	1,2585	1,58	37,69705963	2	75,3941	2270,8675	85605,028	2	171210,055
1,5	11,5574	5,799	0,53	1,3260	1,76	41,84653096	4	167,3861	1702,0625	71225,411	4	284901,6422
2	11,8564	5,949	0,64	1,2842	1,65	39,25264258	2	78,5053	1215,1150	47696,476	2	95392,95132
2,5	11,9520	5,997	0,73	1,2553	1,58	37,50349332	4	150,0140	810,0251	30378,771	4	121515,0846
3	11,9580	6	0,79	1,1977	1,43	34,14090954	2	68,2818	486,7927	16619,547	2	33239,0936
3,5	11,9580	6	0,85	1,1446	1,31	31,18127917	4	124,7251	245,4179	7652,4446	4	30609,77824
4	11,9580	6	0,88	1,1082	1,23	29,22665895	2	58,4533	85,9006	2510,5888	2	5021,177617
4,5	11,9580	6	0,90	1,0913	1,19	28,34522592	4	113,3809	8,2409	233,5907	4	934,3627856
5	11,9580	6	0,90	1,0852	1,18	28,03005894	2	56,0601	12,4387	348,65866	2	697,3173125
5,5	11,9580	6	0,89	1,0950	1,20	28,53810656	4	114,1524	98,4941	2810,8355	4	11243,34189
6	11,9580	6	0,87	1,1197	1,25	29,84001974	2	59,6800	266,4070	7949,5911	2	15899,18213
6,5	11,9580	6	0,82	1,1723	1,37	32,70970964	4	130,8388	516,1775	16884,016	4	67536,06431
7	11,9162	5,979	0,74	1,2451	1,55	36,89734788	2	73,7947	847,8055	31281,775	2	62563,54985
7,5	11,4956	5,768	0,64	1,2858	1,65	39,34741679	4	157,3897	1261,2911	49628,546	4	198514,1825
8	10,7263	5,382	0,53	1,3288	1,77	42,02324532	2	84,0465	1756,6342	73819,469	2	147638,9386
8,5	9,6162	4,825	0,42	1,2905	1,67	39,63772361	4	158,5509	2333,8348	92507,9	4	370031,602
9	8,2012	4,115	0,30	1,2161	1,48	35,19735424	2	70,3947	2992,8930	105341,92	2	210683,8337
9,5	6,7981	3,411	0,15	1,1143	1,24	29,55347016	4	118,2139	3733,8088	110347,01	4	441388,0283
FP	5,6382	2,829	0,00	1,0000	1,00	23,80017135	1	23,8002	4556,5821	108447,43	1	108447,4349
							SUM1	2039,993			SUM2	2856583,66

Damping coefficient for heaving, b'

$$b' = \int bn \, d\xi$$

$$= 1/3 \times S \times \text{SUM1}$$

$$= 1/3 \times 6,39756 \times 2039,993$$

$$= 4350,325483 \text{ lb-sec/ft.}$$

Damping coefficient for pitching, B'

$$B' = \int bn \xi^2 \, d\xi$$

$$= 1/3 \times S \times \text{SUM2}$$

$$= 1/3 \times 6,39756 \times 2856583,66$$

$$= 6091721,78 \text{ ft-lb-sec/rad.}$$

Keterangan :

- (4) = Sectional Area Coefficient,  $bn = S_n / (B_n \times T_n)$
- (5) = Amplitude Ratio for Two-Dimensional Body in Heaving Motion,  $A$
- (7) = Sectional Damping Coefficient,  $bn = (\rho g^2 / \omega e^3) \times A^2$
- $S = L_{pp} / 20$

TABLE 3 CALCULATIONS FOR c' AND C'

Station No.	Bn [ft]	cn [lb/ft <sup>2</sup> ]	Simpson's M.	Product (3) x (4)	ξ <sup>2</sup> [ft <sup>2</sup> ]	cn x ξ <sup>2</sup> (3) x (6)	Simpson's M.	Product (7) x (8)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
AP	31,1282304	1989,444	1	1989,4440	3654,0502	7269528,164	1	7269528,164
0,5	34,1924976	2185,285	4	8741,1405	2921,5301	6384376,197	4	25537504,788
1	36,6071664	2339,610	2	4679,2192	2270,8675	5312943,452	2	10625886,905
1,5	38,0507184	2431,869	4	9727,4753	1702,0625	4139192,708	4	16556770,831
2	39,0349584	2494,773	2	4989,5457	1215,1150	3031435,948	2	6062871,897
2,5	39,3499152	2514,902	4	10059,6085	810,0251	2037133,852	4	8148535,410
3	39,3696	2516,160	2	5032,3204	486,7927	1224848,509	2	2449697,017
3,5	39,3696	2516,160	4	10064,6408	245,4179	617510,792	4	2470043,169
4	39,3696	2516,160	2	5032,3204	85,9006	216139,780	2	432279,560
4,5	39,3696	2516,160	4	10064,6408	8,2409	20735,471	4	82941,884
5	39,3696	2516,160	2	5032,3204	12,4387	31297,866	2	62595,732
5,5	39,3696	2516,160	4	10064,6408	98,4941	247826,965	4	991307,860
6	39,3696	2516,160	2	5032,3204	266,4070	670322,768	2	1340645,535
6,5	39,3696	2516,160	4	10064,6408	516,1775	1298785,274	4	5195141,097
7	39,2318064	2507,354	2	5014,7073	847,8055	2125748,234	2	4251496,468
7,5	37,8473088	2418,869	4	9675,4747	1261,2911	3050897,463	4	12203589,853
8	35,3145312	2256,996	2	4513,9914	1756,6342	3964715,796	2	7929431,592
8,5	31,65972	2023,412	4	8093,6486	2333,8348	4722309,797	4	18889239,188
9	27,000984	1725,667	2	3451,3331	2992,8930	5164735,378	2	10329470,756
9,5	22,3816176	1430,437	4	5721,7483	3733,8088	5340978,531	4	21363914,126
FP	18,5627664	1186,370	1	1186,3695	4556,5821	5405790,183	1	5405790,183
			SUM1	138231,55			SUM2	167598682,01

Restoring force coefficient for heaving, c'

$$c' = \int cn \, d\xi = (\rho \gamma A_w) \int cn \, d\xi$$

$$= 1/3 \times S \times \text{SUM1}$$

$$= 1/3 \times 6,39756 \times 138231,551 = 294781,5467 \text{ lb/ft.}$$

Restoring moment coefficient for heaving, C'

$$C' = \int cn \xi^2 \, dx - uE, \text{ (uE dihitung pada tabel 4)}$$

$$= (1/3 \times S \times \text{SUM2}) - (V_s \times E)$$

$$= 6,39756 \times 167598682 \times 20,268 - 397731008 \text{ ft-lb/rad.}$$

3,9

Keterangan :

- (2) = Beam of Station, Bn
- (3) = Sec. Rest. Force Coef., cn = rg Bn
- S = Lpp / 20

TABLE 4.9 CALCULATIONS FOR d', e', h', D', E' AND H'

Station No.	$\xi$ [ft]	$an$ [slugs/ft]	$an \times \xi$ [slugs] (2) x (3)	Simpson's M.	Product (4) x (5)	$bn$ [lb-sec/ft <sup>2</sup> ]	$bn \times \xi$ [lb-sec/ft] (2) x (7)	Simpson's M.	Product (8) x (9)	$cn$ [lb/ft <sup>2</sup> ]	$cn \times \xi$ [lb/ft] (2) x (11)	Simpson's M.	Product (12) x (13)		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)		
AP	-60,4487	696,8757348	-42125,26	1	-42125,26	28,1762	-1703,22	1	-1703,2180	1989,4440	-120259,3828	1	-120259,3828		
0,5	-54,0512	779,3185668	-42123,09	4	-168492,35	32,1885	-1739,83	4	-6959,3051	2185,2851	-118117,2399	4	-472468,9597		
1	-47,6536	802,7512867	-38254,00	2	-76508,01	37,6971	-1796,40	2	-3592,8027	2339,6096	-111490,8679	2	-222981,7358		
1,5	-41,2561	777,4565338	-32074,79	4	-128299,17	41,8465	-1726,42	4	-6905,6920	2431,8688	-100329,3263	4	-401317,3054		
2	-34,8585	809,125799	-28204,91	2	-56409,82	39,2526	-1368,29	2	-2736,5765	2494,7728	-86964,0389	2	-173928,0777		
2,5	-28,4609	836,6391938	-23811,54	4	-95246,15	37,5035	-1067,38	4	-4269,5387	2514,9021	-71576,4782	4	-286305,9129		
3	-22,0634	852,2478369	-18803,47	2	-37606,94	34,1409	-753,26	2	-1506,5277	2516,1602	-55514,9986	2	-111029,9971		
3,5	-15,6658	877,2068673	-13742,16	4	-54968,66	31,1813	-488,48	4	-1953,9212	2516,1602	-39417,7127	4	-157670,8509		
4	-9,2683	895,0877544	-8295,91	2	-16591,81	29,2267	-270,88	2	-541,7605	2516,1602	-23320,4269	2	-46640,8538		
4,5	-2,8707	903,3464914	-2593,24	4	-10372,95	28,3452	-81,37	4	-325,4826	2516,1602	-7223,1411	4	-28892,5643		
5	3,5269	907,523658	3200,71	2	6401,42	28,0301	98,86	2	197,7162	2516,1602	8874,1447	2	17748,2895		
5,5	9,9244	901,528409	8947,15	4	35788,59	28,5381	283,22	4	1132,8966	2516,1602	24971,4306	4	99885,7223		
6	16,3220	889,4140408	14517,00	2	29034,00	29,8400	487,05	2	974,0964	2516,1602	41068,7164	2	82137,4328		
6,5	22,7195	863,6120375	19620,87	4	78483,47	32,7097	743,15	4	2972,5982	2516,1602	57166,0022	4	228664,0089		
7	29,1171	834,2489914	24290,91	2	48581,82	36,8973	1074,34	2	2148,6875	2507,3536	73006,8665	2	146013,7331		
7,5	35,5147	760,177867	26997,46	4	107989,83	39,3474	1397,41	4	5589,6405	2418,8687	85905,2984	4	343621,1934		
8	41,9122	668,8466397	28032,85	2	56065,70	42,0232	1761,29	2	3522,5750	2256,9957	94595,7002	2	189191,4003		
8,5	48,3098	579,9807993	28018,74	4	112074,98	39,6377	1914,89	4	7659,5588	2023,4122	97750,5962	4	391002,3848		
9	54,7073	459,7454941	25151,45	2	50302,91	35,1974	1925,55	2	3851,1073	1725,6665	94406,6258	2	188813,2517		
9,5	61,1049	348,6125213	21301,93	4	85207,73	29,5535	1805,86	4	7223,4474	1430,4371	87406,7142	4	349626,8569		
FP	67,5025	268,851554	18148,14	1	18148,14	23,8002	1606,57	1	1606,5701	1186,3695	80082,8619	1	80082,8619		
SUM1					-58542,54	SUM2					6384,07	SUM3			95291,495

Coupling terms, d, D, e, E, h, H

$$d = -\int an\xi d\xi$$

$$= -1/3 \times S \times \text{SUM1}$$

$$= -1/3 \times 6,39756 \times -58542,541$$

$$= 124843,139 \text{ lb-sec}^2$$

$$e = -\int bn\xi d\xi + Vsaz$$

$$= (-1/3 \times S \times \text{SUM2}) + Vs.az$$

$$= (-1/3 \times 6,39756 \times 6384,069) + (20,268 \times 97488,64)$$

$$= 1962285,5 \text{ lb-sec}^2/\text{sec}$$

$$h = -\int cn\xi d\xi + Vsb$$

$$= (-1/3 \times S \times \text{SUM3}) + Vs.b$$

$$= -1/3 \times 6,39756 \times 95291,495 + (20,268 \times 4350,325483)$$

$$= -115038,6 \text{ lb}$$

$$D = d$$

$$= 124843,139 \text{ lb-sec}^2$$

$$E = -\int bn\xi d\xi - Vsaz$$

$$= (-1/3 \times S \times \text{SUM2}) - Vs.az$$

$$= (-1/3 \times 6,39756 \times 6384,069) - (20,268 \times 97488,64)$$

$$= -1989513,8 \text{ lb-sec}^2/\text{sec}$$

$$H = -\int cn\xi d\xi$$

$$= (-1/3 \times S \times \text{SUM3})$$

$$= (-1/3 \times 6,39756 \times 95291,495)$$

$$= -203211,0 \text{ lb}$$

TABLE 5 CALCULATIONS FOR m' AND Iyy

Station No.	Weight per foot [lb/ft]	$m_n$ [lb-sec <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> ]	Simpson's Multiplier	Product (3) x (4)	$\xi^2$ [ft <sup>2</sup> ]	$m_n \times \xi^2$ [lb-sec <sup>2</sup> ] (3) x (6)	Simpson's Multiplier	Product (7) x (8)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
AP	218661,05	6797,69	1	6797,69	3654,0502	24839103,07	1	24839103,07
0,5	310741,39	9660,27	4	38641,06	2921,5301	28222757,27	4	112891029,07
1	267888,58	8328,07	2	16656,13	2270,8675	18911935,24	2	37823870,48
1,5	316990,50	9854,54	4	39418,15	1702,0625	16773037,80	4	67092151,21
2	411670,17	12797,92	2	25595,84	1215,1150	15550944,42	2	31101888,84
2,5	594552,14	18483,32	4	73933,27	810,0251	14971951,38	4	59887805,51
3	372689,61	11586,10	2	23172,20	486,7927	5640029,21	2	11280058,41
3,5	382520,35	11891,72	4	47566,86	245,4179	2918440,12	4	11673760,49
4	444440,80	13816,69	2	27633,37	85,9006	1186862,26	2	2373724,52
4,5	428360,87	13316,80	4	53267,19	8,2409	109742,64	4	438970,55
5	465558,43	14473,19	2	28946,37	12,4387	180028,23	2	360056,46
5,5	516473,98	16056,04	4	64224,16	98,4941	1581425,36	4	6325701,43
6	565548,44	17581,66	2	35163,31	266,4070	4683876,90	2	9367753,80
6,5	464907,91	14452,96	4	57811,86	516,1775	7460294,78	4	29841179,13
7	351655,77	10932,20	2	21864,41	847,8055	9268382,75	2	18536765,49
7,5	327043,36	10167,06	4	40668,23	1261,2911	12823620,07	4	51294480,29
8	228878,62	7115,33	2	14230,67	1756,6342	12499036,74	2	24998073,49
8,5	212828,59	6616,37	4	26465,49	2333,8348	15441520,93	4	61766083,72
9	209621,88	6516,68	2	13033,37	2992,8930	19503735,49	2	39007470,98
9,5	238809,30	7424,06	4	29696,22	3733,8088	27720004,09	4	110880016,37
FP	331158,61	10294,99	1	10294,99	4556,5821	46909978,63	1	46909978,63
			SUM1	695080,85			SUM2	758689921,95

*Keterangan :*

(2) = Weight per meter

(3) = Mass Distribution, Weight per Meter/g

S = Lpp / 20

Note :

If the distribution of weight along the length is not known, ship mass m dan Iyy

Ship mass moment of inertia Iyy are obtained as :

Ship mass, m  
m =

Ship mass mom  $\Delta/g$  (lb-sec<sup>2</sup>/ft)

Iyy =

where,  $r_{yy}$  the radius of gyration (lb-sec<sup>2</sup>-ft)

Ship mass, m

$$m = 1/3 \times S \times \text{SUM}_1$$

$$= 1/3 \times 6,39756 \times 695080,85$$

$$= 1482273,810 \text{ [lb-sec}^2\text{/ft]}$$

Ship mass moment of inertia, Iyy

$$I_{yy} = 1/3 \times S \times \text{SUM}_2$$

$$= 1/3 \times 6,39756 \times 758689921,95$$

$$= 1617921432,351 \text{ [lb-sec}^2\text{-ft]}$$

TABLE 6.9 CALCULATIONS FOR EXCITING FORCES AND MOMENTS (F' AND M')

Station No.	$\xi$ [ft]	$k\xi$	$\sin k\xi$	$\cos k\xi$	$T_m$ [ft]	$\frac{2\pi \cos \mu \times T_m}{Lw}$ [-]	$e^{-[(2\pi/Lw)T_m]}$	$cn$	$cn \times \zeta a$	$an$	$an(-\zeta a \omega e^2)$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
AP	-60,4487	-7,3041	-0,8526	0,5226	0,8302	0,1003	0,9046	1989,4440	3282,5826	696,88	-22468,67353
0,5	-54,0512	-6,5310	-0,2453	0,9694	1,5507	0,1874	0,8291	2185,2851	3605,7205	779,32	-25126,79604
1	-47,6536	-5,7580	0,5014	0,8652	2,4786	0,2995	0,7412	2339,6096	3860,3559	802,75	-25882,314
1,5	-41,2561	-4,9850	0,9631	0,2692	3,4615	0,4182	0,6582	2431,8688	4012,5836	777,46	-25066,76036
2	-34,8585	-4,2120	0,8774	-0,4798	4,2177	0,5096	0,6007	2494,7728	4116,3752	809,13	-26087,84108
2,5	-28,4609	-3,4389	0,2930	-0,9561	4,7841	0,5781	0,5610	2514,9021	4149,5885	836,64	-26974,9282
3	-22,0634	-2,6659	-0,4579	-0,8890	5,2147	0,6301	0,5325	2516,1602	4151,6643	852,25	-27478,18221
3,5	-15,6658	-1,8929	-0,9486	-0,3166	5,5549	0,6712	0,5111	2516,1602	4151,6643	877,21	-28282,91148
4	-9,2683	-1,1199	-0,9001	0,4358	5,7848	0,6990	0,4971	2516,1602	4151,6643	895,09	-28859,4272
4,5	-2,8707	-0,3469	-0,3400	0,9404	5,8910	0,7118	0,4908	2516,1602	4151,6643	903,35	-29125,70547
5	3,5269	0,4262	0,4134	0,9106	5,9212	0,7155	0,4890	2516,1602	4151,6643	907,52	-29260,38571
5,5	9,9244	1,1992	0,9317	0,3631	5,8676	0,7090	0,4921	2516,1602	4151,6643	901,53	-29067,08684
6	16,3220	1,9722	0,9205	-0,3907	5,7119	0,6902	0,5015	2516,1602	4151,6643	889,41	-28676,49528
6,5	22,7195	2,7452	0,3861	-0,9225	5,3802	0,6501	0,5220	2516,1602	4151,6643	863,61	-27844,58686
7	29,1171	3,5182	-0,3678	-0,9299	4,8617	0,5874	0,5557	2507,3536	4137,1335	834,25	-26897,86327
7,5	35,5147	4,2913	-0,9126	-0,4088	4,2069	0,5083	0,6015	2418,8687	3991,1333	760,18	-24509,66143
8	41,9122	5,0643	-0,9387	0,3447	3,4615	0,4183	0,6582	2256,9957	3724,0429	668,85	-21564,9592
8,5	48,3098	5,8373	-0,4313	0,9022	2,7434	0,3315	0,7179	2023,4122	3338,6301	579,98	-18699,746
9	54,7073	6,6103	0,3213	0,9470	1,9381	0,2342	0,7912	1725,6665	2847,3498	459,75	-14823,11824
9,5	61,1049	7,3833	0,8913	0,4535	0,9705	0,1173	0,8893	1430,4371	2360,2212	348,61	-11239,96796
FP	67,5025	8,1564	0,9546	-0,2978	0,0000	0,0000	1,0000	1186,3695	1957,5097	268,85	-8668,314152

Keterangan :

- (2) = Lever Arm from Longitudinal Centre of Buoyancy,  $\xi$
- (3) =  $k\xi = (2\pi \cos \mu/Lw) \times \xi$
- (6) = Mean Draft,  $T_m = S_n / B_n$
- (9) = Sectional Restoring Force Coefficient,  $cn = \rho g B_n$

- (11) = Sectional Added Mass,  $an = C \times (\rho\pi/8) \times B_n^2$
- (14) = Slope of the added mass curve,  $dan/d\xi$
- S =  $L_{pp} / 20$

lanjutan TABLE 6

(10) + (12) (13)	$\frac{dan}{d\xi}$ (14)	$Vs \zeta a \omega e \frac{dan}{d\xi}$ (15)	$bn \zeta a \omega e$ (16)	(16) - (15) (17)	(13) x (4) (18)	(17) x (5) (19)	(18) + (19) (20)	(13) x (5) (21)	(17) x (4) (22)	(21) - (22) (23)	(20) x (8) (24)	Simpson's Multiplier (25)	Product (24) x (25) (26)
-19186,09	12,88660552	1905,032756	205,5114	-1699,521	16357,31	-888,218	15469,09	-10027,2	1448,945	-11476,14	13992,61	1	13992,61432
-21521,08	8,274682211	1223,250036	234,776	-988,474	5279,452	-958,27	4321,183	-20863,5	242,488	-21105,95	3582,861	4	14331,44483
-22021,96	-0,145526807	-21,5132941	274,9543	296,4676	-11041	256,5145	-10784,52	-19054,2	148,6384	-19202,83	-7993,473	2	-15986,94601
-21054,18	0,498198715	73,64894271	305,2196	231,5707	-20276,7	62,34743	-20214,38	-5668,57	223,0197	-5891,586	-13305,06	4	-53220,25602
-21971,47	4,625408744	683,7762789	286,3004	-397,4759	-19277,4	190,7064	-19086,65	10541,8	-348,738	10890,507	-11465,78	2	-22931,56448
-22825,34	3,370194099	498,2173269	273,5425	-224,6749	-6687,68	214,8149	-6472,869	21823,6	-65,82835	21889,463	-3631,151	4	-14524,6051
-23326,52	3,170558273	468,7050719	249,0165	-219,6886	10681,88	195,3007	10877,18	20737	100,6017	20636,416	5792,53	2	11585,06036
-24131,25	3,348145029	494,9578028	227,4296	-267,5282	22890,15	84,69167	22974,84	7639,25	253,7689	7385,483	11742,26	4	46969,02493
-24707,76	2,042937	302,0083061	213,173	-88,83531	22238,27	-38,7129	22199,55	-10767,2	79,95638	-10847,18	11035,18	2	22070,36192
-24974,04	0,971925517	143,6801914	206,744	63,06382	8490,027	59,30787	8549,335	-23486,6	-21,4388	-23465,2	4195,615	4	16782,45832
-25108,72	-0,142091862	-21,00550462	204,4453	225,4508	-10379,2	205,2871	-10173,91	-22863,1	93,19463	-22956,27	-4974,715	2	-9949,430281
-24915,42	-1,415353446	-209,2323438	208,1508	417,3832	-23214,7	151,5639	-23063,1	-9047,51	388,8922	-9436,402	-11350,31	4	-45401,23025
-24524,83	-2,963346294	-438,0728308	217,6467	655,7195	-22575,5	-256,192	-22831,7	9581,95	603,6005	8978,3536	-11449,89	2	-22899,78292
-23692,92	-4,311413208	-637,358176	238,5776	875,9358	-9147,39	-808,02	-9955,411	21855,9	338,1823	21517,705	-5196,733	4	-20786,93031
-22760,73	-8,083876553	-1195,043149	269,1214	1464,165	8371,367	-1361,53	7009,833	21165,3	-538,5178	21703,844	3895,709	2	7791,417645
-20518,53	-12,92698715	-1911,002391	286,9916	2197,994	18725,73	-898,533	17827,2	8387,91	-2005,945	10393,855	10723,17	4	42892,66114
-17840,92	-14,08326515	-2081,935495	306,5086	2388,444	16747,71	823,2199	17570,93	-6149,19	-2242,091	-3907,099	11565,13	2	23130,26239
-15361,12	-16,34225748	-2415,883358	289,1091	2704,992	6624,666	2440,516	9065,182	-13859,2	-1166,56	-12692,65	6507,461	4	26029,84201
-11975,77	-18,08254069	-2673,150216	256,722	2929,872	-3848,12	2774,497	-1073,626	-11340,7	941,4435	-12282,12	-849,4747	2	-1698,949442
-8879,75	-14,91927705	-2205,523514	215,5567	2421,08	-7914,3	1097,87	-6816,428	-4026,64	2157,849	-6184,484	-6062,163	4	-24248,65209
-6710,80	-12,46740435	-1843,062057	173,5934	2016,655	-6406,35	-600,533	-7006,885	1998,39	1925,165	73,224557	-7006,885	1	-7006,884703
												SUM1	-13080,084



lanjutan tabel 6

(23) x (8) (27)	Simpson's Multiplier (28)	Product (27) x (28) (29)	(24) x (2) (30)	Simpson's Multiplier (31)	Product (30) x (31) (32)	(27) x (2) (33)	Simpson's Multiplier (34)	Product (33) x (34) (35)
-10380,78	1	-10380,781	-845835,9	1	-845835,905	627505,1268	1	627505,1268
-17499,77	4	-69999,066	-193657,88	4	-774631,504	945883,0231	4	3783532,092
-14233,12	2	-28466,241	380917,92	2	761835,85	678259,7211	2	1356519,442
-3877,83	4	-15511,319	548914,52	4	2195658,076	159983,9759	4	639935,9034
6542,174	2	13084,3483	399679,97	2	799359,9404	-228050,3772	2	-456100,754
12279,56	4	49118,2231	103345,98	4	413383,9142	-349487,7	4	-1397950,8
10989,71	2	21979,4215	-127802,79	2	-255605,5891	-242470,1646	2	-484940,329
3774,661	4	15098,6438	-183952,07	4	-735808,2902	-59133,15901	4	-236532,636
-5392,026	2	-10784,052	-102276,93	2	-204553,8526	49974,6978	2	99949,39561
-11515,62	4	-46062,497	-12044,351	4	-48177,4031	33057,90237	4	132231,6095
-11224,88	2	-22449,755	-17545,124	2	-35090,24768	-39588,57076	2	-79177,1415
-4644,044	4	-18576,174	-112645,22	4	-450580,8775	-46089,43929	4	-184357,757
4502,564	2	9005,12708	-186884,9	2	-373769,7988	73490,75208	2	146981,5042
11232,26	4	44929,0369	-118067,37	4	-472269,4946	255191,7625	4	1020767,05
12061,89	2	24123,7863	113431,74	2	226863,4867	351207,349	2	702414,698
6251,966	4	25007,8623	380829,57	4	1523318,277	222036,432	4	888145,7279
-2571,641	2	-5143,2815	484720,32	2	969440,646	-107783,1733	2	-215566,347
-9111,445	4	-36445,782	314373,99	4	1257495,941	-440171,9218	4	-1760687,69
-9717,862	2	-19435,725	-46472,502	2	-92945,00475	-531638,4002	2	-1063276,8
-5500,147	4	-22000,586	-370427,87	4	-1481711,461	-336085,9049	4	-1344343,62
73,22456	1	73,2245567	-472981,95	1	-472981,9544	4942,83771	1	4942,83771
SUM2		-102836		SUM3	1903394,75		SUM4	2179992

Exciting force component, F1

$$\begin{aligned}
 F1 &= 1/3 \times S \times \text{SUM1} \\
 &= 1/3 \times 6,39756 \times -13080,084 \\
 &= -27893,540 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Exciting force component, F2

$$\begin{aligned}
 F2 &= 1/3 \times S \times \text{SUM2} \\
 &= 1/3 \times 6,39756 \times -102835,584 \\
 &= -219298,940 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Amplitude of the exciting force, F0

$$\begin{aligned}
 F0 &= \sqrt{F1^2 + F2^2} \\
 &= \sqrt{(-27893,5)^2 + (-219298,9)^2} \\
 &= 221065,8 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

$$F' = F0 \cos(\omega t + s)$$

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \tan^{-1}(F2/F1) \\
 &= -97,249^\circ
 \end{aligned}$$

$$F' = 221065,770 \cos(\omega t + -97,249^\circ) \text{ lb}$$

$$\begin{aligned}
 \overline{F'} &= F1 + iF2 \\
 &= -27893,5 + (-219298,9)i
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= -(m + a)\omega^2 + i b \omega + c \\
 &= -30574742,462 + 19230,511i
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= -(I_{yy} + A_{yy})\omega^2 + i B \omega + C \\
 &= -33383342305,034 + 26928312,21i
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= -d\omega^2 + i e \omega + h \\
 &= -2554549,874 + 8674236,84869266i
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R &= -D\omega^2 + i E \omega + H \\
 &= -2642722,271 + -8794598,948i
 \end{aligned}$$

$$PS = 1020686575661850000 + -1465304942610030,000i$$

$$QR = 83037400105758 - 457357268818,117i$$

$$PS - QR = 1020603538261740000 + -1464847585341210,00i$$

$$\overline{PS - QR} = 1020603538261740000 + 1,46485E+15i$$

Exciting moment component, M1

$$\begin{aligned}
 M1 &= 1/3 \times S \times \text{SUM3} \\
 &= 1/3 \times 6,39756 \times 1903394,7 \\
 &= 4059027 \text{ ft-lb}
 \end{aligned}$$

Exciting moment component, M2

$$\begin{aligned}
 M2 &= 1/3 \times S \times \text{SUM4} \\
 &= 1/3 \times 6,39756 \times 2179992 \\
 &= 4648876 \text{ ft-lb}
 \end{aligned}$$

Amplitude of the exciting moment, M0

$$\begin{aligned}
 M0 &= \sqrt{M1^2 + M2^2} \\
 &= \sqrt{4059027^2 + 4648876^2} \\
 &= 6171527 \text{ ft-lb}
 \end{aligned}$$

$$M' = M0 \cos(\omega t + t)$$

$$\begin{aligned}
 \tau &= \tan^{-1}(M2/M1) \\
 &= 48,875^\circ
 \end{aligned}$$

$$M' = 6171527,1 \cos(\omega t + 48,875^\circ) \text{ ft-lb}$$

$$\begin{aligned}
 \overline{M'} &= M1 + iM2 \\
 &= 4059027 + (4648876)i
 \end{aligned}$$

$$(\overline{PS} - \overline{QR}) (\overline{PS} - \overline{QR}) = 1,04163E+36$$

$$\begin{aligned} \overline{F'S} &= 937084948671631 + 7320180466392770 i \\ \overline{MQ} &= -5,06944E+13 + 23333180425462,3 i \end{aligned}$$

$$\overline{F'S} - \overline{MQ} = 987779383751456 + 7296847285967310 )i$$

$$(\overline{F'S} - \overline{MQ}) (\overline{PS} - \overline{QR}) = 9,97442E+32 + ( 7,4486E+33 ) i$$

$$\begin{aligned} \overline{MP} &= -1,24193E+14 + -1,4206E+14 i \\ \overline{F'R} &= -1,85493E+12 + ( 8,24859E+11 ) i \end{aligned}$$

$$\overline{MP} - \overline{F'R} = -1,22338E+14 + -1,42885E+14 i$$

$$(\overline{MP} - \overline{F'R}) (\overline{PS} - \overline{QR}) = -1,24649E+32 + ( -1,46E+32 ) i$$

$$\begin{aligned} z &= \frac{(\overline{FS} - \overline{MQ}) (\overline{PS} - \overline{QR})}{(\overline{PS} - \overline{QR}) (\overline{PS} - \overline{QR})} \\ &= 0,000957575 + ( 0,007150916 ) i \end{aligned}$$

$$z1 = z \text{ (real)} = 9,58E-04$$

$$z2 = z \text{ (imaginer)} = 7,15E-03$$

$$\begin{aligned} za &= \sqrt{z1^2 + z2^2} \\ &= 7,215E-03 \quad [\text{ft}] \end{aligned}$$

$$\delta = \tan^{-1}(z2/z1)$$

$$= 82,373$$

$$z = \zeta a \cos(\omega et + \delta)$$

$$= 7,215E-03$$

$$\zeta = \zeta a \sin(k\xi - \omega et)$$

$$= -1,300 \sin \omega et$$

$$\begin{aligned} &\cos(\omega et + 82,373^\circ) \\ &\text{since } \zeta = 0 \text{ at the CG of the ship} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{(\overline{MP} - \overline{FR}) (\overline{PS} - \overline{QR})}{(\overline{PS} - \overline{QR}) (\overline{PS} - \overline{QR})} \\ &= -0,000119667 + -0,000140172 ) i \end{aligned}$$

$$\theta1 = \theta \text{ (real)} = -1,196673E-04$$

$$\theta2 = \theta \text{ (imaginer)} = -1,401722E-04$$

$$\begin{aligned} \theta a &= \sqrt{\theta1^2 + \theta2^2} \\ &= 1,843E-04 \quad \text{rad.} \end{aligned}$$

$$\varepsilon = \tan^{-1}(\theta2/\theta1)$$

$$= -130,488$$

$$\theta = \theta a \cos(\omega et + \theta)$$

$$= 1,843E-04$$

$$\cos(\omega et + -130,488^\circ)$$

TABLE 7.9

- $\zeta = -1,300 \sin \omega t$  , Equation of wave motion
- $z = 0,007 \cos (\omega t + 82,373^\circ)$  , Equation of heaving motion
- $\theta = 0,000 \cos (\omega t + -130,488^\circ)$  , Equation of pitching motion
- $F' = 221065,77 \cos (\omega t + -97,249^\circ)$  , Equation of exciting force
- $M' = 6171527 \cos (\omega t + 48,875^\circ)$  , Equation of exciting moment
- $z_{9.5} = z - \xi \theta$  , Equation of station 9.5 motion
- $\xi = 61,105 \text{ ft.}$  , Lever Arm from Longitudinal Centre of Buoyancy to station 9.5
- $z_{9.5} - z$  , Relative station 9.5 motion

$\omega t$ [rad]	$t$ [sec]	$\zeta$ [ft]	$z$ [ft]	$\theta$ [rad]	$F$ [lb]	$M$ [lb-ft]	$z_{9.5}$ [ft]	$z_{9.5} - z$ [ft]
0	0,000	0,000	0,001	-0,00012	-27893,540	4059027,4	0,008	0,008
0,25 $\pi$	0,178	-0,919	-0,004	0,00001	135344,056	-417085,6	-0,005	0,914
0,5 $\pi$	0,355	-1,300	-0,007	0,00014	219298,940	-4648875,5	-0,016	1,284
0,75 $\pi$	0,533	-0,919	-0,006	0,00018	174791,479	-6157417,2	-0,017	0,902
1 $\pi$	0,711	0,000	-0,001	0,00012	27893,540	-4059027,4	-0,008	-0,008
1,25 $\pi$	0,888	0,919	0,004	-0,00001	-135344,056	417085,6	0,005	-0,914
1,5 $\pi$	1,066	1,300	0,007	-0,00014	-219298,940	4648875,5	0,016	-1,284
1,75 $\pi$	1,244	0,919	0,006	-0,00018	-174791,479	6157417,2	0,017	-0,902
2 $\pi$	1,421	0,000	0,001	-0,00012	-27893,540	4059027,4	0,008	0,008

### Membuat Wave Spektrum dari ITTC

Standart Wave Spectrum (Direkomendasikan oleh International Towing Tank Conference), Untuk kecepatan angin sebesar Dynamics of Marine Vehicles halaman 118 grafik 5.15 dapat diketahui significant wave height sebesar :

13.5 knot, dari buku

$$H_{1/3} = 5,6849 \text{ ft (tabel hal. 117, Dynamics of Marines Vehicles).}$$

$$= 1,73275752 \text{ m.} = 173,275752 \text{ cm}$$

$$S(\omega w) = (A/ww^5) e^{-B/ww^4}$$

$$A = 8,10 \times 10^{-3} \text{ g}^2$$

$$g = 32,16696 \text{ ft/sec}^2$$

$$A = 8,381$$

$$B = 33,56 / (H)_{1/3}^2$$

$$= 1,038$$

$\omega w$ [rad/sec]	$B/\omega w^4$	$e^{-B/\omega w^4}$	$S(\omega w)$ [ft <sup>2</sup> - sec]
1	2	3	4
0,37	54,5275	0,0000	0,00
0,57	9,7355	0,00006	0,01
0,77	2,9314	0,053324724	1,64
0,97	1,1658	0,311665267	3,02
1,17	0,5514	0,576168991	2,19
1,37	0,2935	0,745646643	1,29
1,57	0,1703	0,843437644	0,74
1,77	0,1054	0,899923684	0,43
1,97	0,0687	0,933570311	0,26
2,17	0,0467	0,954370298	0,17
2,37	0,0328	0,967701258	0,11
2,57	0,0237	0,976531022	0,07
2,77	0,0176	0,982553415	0,05
2,97	0,0133	0,986768971	0,04
3,17	0,0103	0,989788273	0,03
3,37	0,0080	0,991995249	0,02
3,57	0,0064	0,993637962	0,01
3,77	0,0051	0,99488067	0,01
3,97	0,0042	0,995834579	0,01

Wave Characteristic from ITTC Standard Spectrum,  $(hw)^{1/3} = 5,6849 \text{ ft}$

$\omega w$ [rad/sec] 1	S ( $\omega w$ ) [ft2 - sec] 2	Simpson's Multiplier 3	product 2x3 4	$\omega w^2$ 5	$\omega w^2$ S( $\omega w$ ) 6	Simpson's Multiplier 7	product 6x7 8	$\omega w^{-1}$ 9	$\omega w^{-1}$ S( $\omega w$ ) 9x2 10	Simpson's Multiplier 11	product 9x11 12
0,37	0,00	1	2,46954E-21	0,14	0,00	1	0,00	0,02	0,00	1	0,02
0,57	0,01	4	0,032527874	0,33	0,00	4	0,01	0,11	0,00	4	0,43
0,77	1,64	2	3,270610742	0,60	0,97	2	1,95	0,35	0,58	2	0,71
0,97	3,02	4	12,07466358	0,94	2,85	4	11,40	0,89	2,69	4	3,56
1,17	2,19	2	4,377266614	1,37	3,00	2	6,01	1,88	4,12	2	3,77
1,37	1,29	4	5,151625451	1,88	2,42	4	9,69	3,54	4,56	4	14,15
1,57	0,74	2	1,475156579	2,47	1,82	2	3,64	6,10	4,50	2	12,20
1,77	0,43	4	1,729356279	3,14	1,36	4	5,43	9,85	4,26	4	39,39
1,97	0,26	2	0,52543104	3,89	1,02	2	2,04	15,11	3,97	2	30,21
2,17	0,17	4	0,662672161	4,72	0,78	4	3,12	22,23	3,68	4	88,94
2,37	0,11	2	0,216259553	5,62	0,61	2	1,22	31,63	3,42	2	63,26
2,57	0,07	4	0,291160129	6,61	0,48	4	1,93	43,73	3,18	4	174,90
2,77	0,05	2	0,100723148	7,68	0,39	2	0,77	59,00	2,97	2	118,00
2,97	0,04	4	0,142795165	8,83	0,32	4	1,26	77,96	2,78	4	311,86
3,17	0,03	2	0,051708827	10,06	0,26	2	0,52	101,17	2,62	2	202,34
3,37	0,02	4	0,076342975	11,37	0,22	4	0,87	129,21	2,47	4	516,83
3,57	0,01	2	0,028662868	12,76	0,18	2	0,37	162,70	2,33	2	325,41
3,77	0,01	4	0,043709381	14,22	0,16	4	0,62	202,32	2,21	4	809,30
3,97	0,01	1	0,008447499	15,77	0,13	1	0,13	248,78	2,10	1	248,78
		SUM <sub>0</sub>	30,26	ft <sup>2</sup> -sec		SUM <sub>2</sub>	50,97	ft <sup>2</sup> /sec		SUM <sub>4</sub>	2964,04
											ft <sup>2</sup> /sec <sup>3</sup>

$$\begin{aligned}
 m_0 &= 1/3 \times \Delta\omega w \times \text{SUM}_0 \\
 &= 1/3 \times 0,20 \times 30,26 \\
 &= 2,01727 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (H)1/3 &= 4,0 \sqrt{m_0} \\
 &= 4,0 \sqrt{2,017} \\
 &= 5,7 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (H) \text{ average} &= 2,506 \sqrt{m_0} \\
 &= 2,506 \sqrt{2,017} \\
 &= 3,56 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (H)1/10 &= 5,090 \sqrt{m_0} \\
 &= 5,090 \sqrt{2,017} \\
 &= 7,23 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (H)1/100 &= 6,671 \sqrt{m_0} \\
 &= 6,671 \sqrt{2,017} \\
 &= 9,47 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_2 &= 1/3 \times \Delta\omega w \times \text{SUM}_2 \\
 &= 1/3 \times 0,20 \times 50,97 \\
 &= 3,40 \text{ ft}^2/\text{sec}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_4 &= 1/3 \times \Delta\omega w \times \text{SUM}_4 \\
 &= 1/3 \times 0,20 \times 2964,04 \\
 &= 197,60 \text{ ft}^2/\text{sec}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_0 &= 1/2\pi \times \sqrt{m_2 / m_0} \\
 &= 1/2\pi \times \sqrt{3,40 / 2,0173} \\
 &= 0,207 \text{ sec}^{-1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{\text{average}} &= 1/N_0 \\
 &= 1 / 0,207 \\
 &= 4,84 \text{ sec}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_e &= 2\pi \times \sqrt{m_2 / m_4} \\
 &= 2\pi \times \sqrt{3,40 / 197,60} \\
 &= 0,82 \text{ sec}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (Lw)z &= L_{\text{average}} \\
 &= 2\pi g \times \sqrt{m_0 / m_4} \\
 &= 2\pi g \times \sqrt{2,0173 / 197,603} \\
 &= 20,42 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Energi} &= \rho g m_0 \\
 &= 63,91124615 \times 2,017 \\
 &= 128,93 \text{ lb-sec/ft.}
 \end{aligned}$$

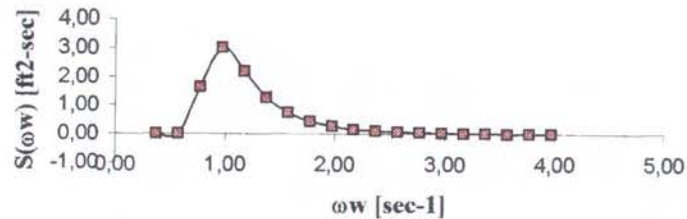
$$\begin{aligned}
 e^2 &= (m_0 m_4 - m_2^2) / m_0 m_4 \\
 &= (2,0173 \times 197,60 - 3,40^2) / (2,0173 \times 197,60) \\
 &= 0,971031899
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CF &= (1 - e^2)^{1/2} \\
 &= (1 - 0,971032)^{1/2} \\
 &= 0,17
 \end{aligned}$$

Maka, amplitudo gelombang signifikan adalah

$$\begin{aligned}
 (z_a)1/3 &= 2\sqrt{m_0} \times CF \\
 &= 2 \times 1,419 \times 0,17 \\
 &= 0,48 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Wave spektrum for a significant wave height of 5.6849 ft (1.7328 m.)



Simpson's Multiplier 11	product 9x11 12
1	0,02
4	0,43
2	0,71
4	3,56
2	3,77
4	14,15
2	12,20
4	39,39
2	30,21
4	88,94
2	63,26
4	174,90
2	118,00
4	311,86
2	202,34
4	516,83
2	325,41
4	809,30
1	248,78
SUM <sub>4</sub>	2964,04

ft<sup>2</sup>/sec<sup>3</sup>

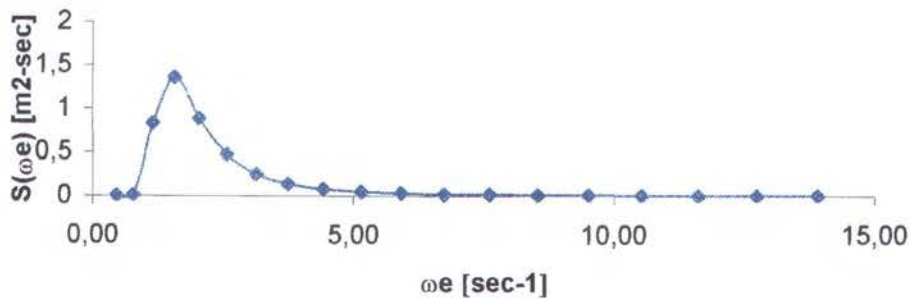
112



## ENCOUNTERING WAVE SPECTRUM

$\omega_w$ [rad/sec]	$S(\omega_w)$ [ft <sup>2</sup> -sec]	$\eta = \omega_w V \cos \theta / g$	$\omega_e = \omega_w(1-\eta)$	$S(\omega_e)$ [ft <sup>2</sup> -sec]
0,371484	0,00	-0,23	0,46	1,682E-21
0,571484	0,01	-0,36	0,78	0,0047274
0,771484	1,64	-0,49	1,15	0,8291762
0,971484	3,02	-0,61	1,57	1,3571674
1,171484	2,19	-0,74	2,04	0,883841
1,371484	1,29	-0,86	2,56	0,4720528
1,571484	0,74	-0,99	3,13	0,2474808
1,771484	0,43	-1,12	3,75	0,1337526
1,971484	0,26	-1,24	4,42	0,0753973
2,171484	0,17	-1,37	5,14	0,0443384
2,371484	0,11	-1,49	5,92	0,0271105
2,571484	0,07	-1,62	6,74	0,0171654
2,771484	0,05	-1,75	7,61	0,01121
2,971484	0,04	-1,87	8,53	0,0075241
3,171484	0,03	-2,00	9,51	0,0051744
3,371484	0,02	-2,12	10,53	0,0036363
3,571484	0,01	-2,25	11,61	0,0026054
3,771484	0,01	-2,38	12,73	0,0018995
3,971484	0,01	-2,50	13,91	0,0014068

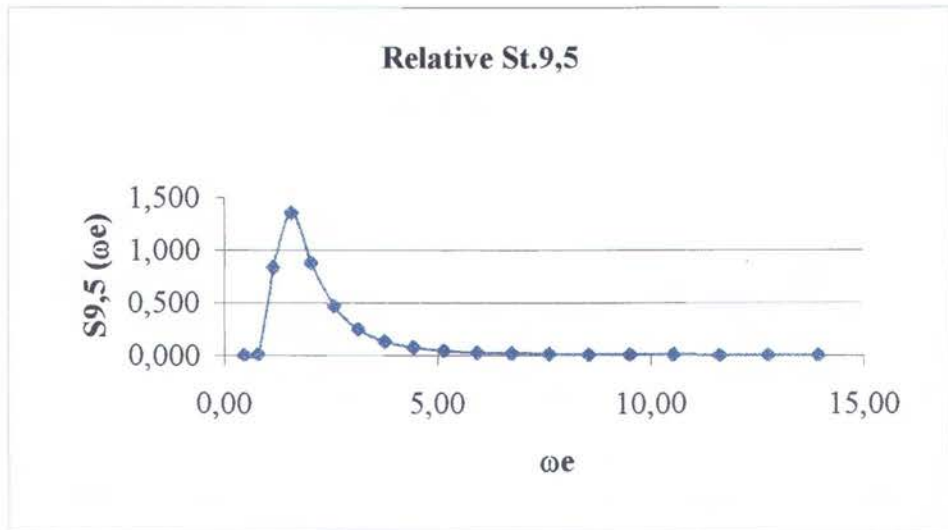
**Encountering wave spektrum for a significant wave height of 2.81 m**



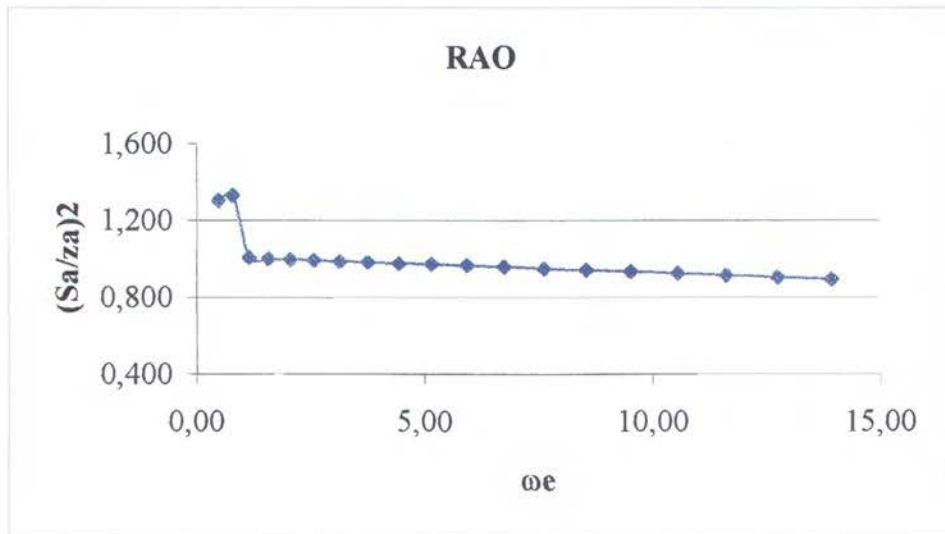
## RAO & RELATIVE STATION 9.5 MOTION SPECTRUM

Encountering Wave Spectrum:

$\omega_w$ [rad/sec]	$\omega_e$ [rad/sec]	Sa [ft]	za [ft]	Sa/za	(Sa/za) <sup>2</sup> RAO	Sz ( $\omega_e$ ) [ft <sup>2</sup> -sec]	S <sub>9,5</sub> ( $\omega_e$ ) [ft <sup>2</sup> -sec]	S <sub>9,5</sub> ( $\omega_w$ ) [ft <sup>2</sup> -sec]
0,37	0,46	4,180	-3,661	-1,142	1,303	0,000	0,000	3,219E-21
0,57	0,78	1,783	-1,547	-1,153	1,328	0,005	0,006	1,080E-02
0,77	1,15	8,515	-8,489	-1,003	1,006	0,829	0,834	1,645E+00
0,97	1,57	5,346	-5,354	-0,998	0,997	1,357	1,353	3,009E+00
1,17	2,04	3,671	-3,682	-0,997	0,994	0,884	0,879	2,176E+00
1,37	2,56	2,674	-2,686	-0,995	0,991	0,472	0,468	1,276E+00
1,57	3,13	2,032	-2,046	-0,993	0,986	0,247	0,244	7,274E-01
1,77	3,75	1,595	-1,610	-0,991	0,981	0,134	0,131	4,243E-01
1,97	4,42	1,284	-1,300	-0,988	0,976	0,075	0,074	2,564E-01
2,17	5,14	1,055	-1,072	-0,985	0,970	0,044	0,043	1,607E-01
2,37	5,92	0,882	-0,898	-0,982	0,964	0,027	0,026	1,042E-01
2,57	6,74	0,747	-0,764	-0,978	0,957	0,017	0,016	6,964E-02
2,77	7,61	0,641	-0,658	-0,974	0,949	0,011	0,011	4,781E-02
2,97	8,53	0,555	-0,572	-0,970	0,941	0,008	0,007	3,361E-02
3,17	9,51	0,485	-0,502	-0,966	0,933	0,005	0,005	2,412E-02
3,37	10,53	0,427	-0,445	-0,961	0,924	0,004	0,003	1,764E-02
3,57	11,61	0,379	-0,396	-0,956	0,915	0,003	0,002	1,311E-02
3,77	12,73	0,338	-0,355	-0,951	0,905	0,002	0,002	9,889E-03
3,97	13,91	0,303	-0,320	-0,946	0,895	0,001	0,001	7,557E-03



Grafik Relative Station 9,5



Grafik RAO

DECK WETNESS & SLAMMING (pada Sea State 2,  $\mu = 180^\circ$ )

$\omega w$	S9.5 ( $\omega e$ ) [ft <sup>2</sup> - sec]	Simpson's Multiplier	product	$\omega w^2$	$\omega w^2$ S9.5	Simpson's Multiplier	product	$\omega w^4$	$\omega w^4$ S9.5	Simpson's Multiplier	product
0,37	0,00	1	0,00	0,14	0,00	1	0,00	0,02	0,00	1	0,00
0,57	0,01	4	0,03	0,33	0,00	4	0,01	0,11	0,00	4	0,00
0,77	0,83	2	1,67	0,60	0,50	2	0,99	0,35	0,30	2	0,59
0,97	1,35	4	5,41	0,94	1,28	4	5,11	0,89	1,21	4	4,82
1,17	0,88	2	1,76	1,37	1,21	2	2,41	1,88	1,66	2	3,31
1,37	0,47	4	1,87	1,88	0,88	4	3,52	3,54	1,65	4	6,62
1,57	0,24	2	0,49	2,47	0,60	2	1,21	6,10	1,49	2	2,98
1,77	0,13	4	0,53	3,14	0,41	4	1,65	9,85	1,29	4	5,17
1,97	0,07	2	0,15	3,89	0,29	2	0,57	15,11	1,11	2	2,22
2,17	0,04	4	0,17	4,72	0,20	4	0,81	22,23	0,96	4	3,83
2,37	0,03	2	0,05	5,62	0,15	2	0,29	31,63	0,83	2	1,65
2,57	0,02	4	0,07	6,61	0,11	4	0,43	43,73	0,72	4	2,87
2,77	0,01	2	0,02	7,68	0,08	2	0,16	59,00	0,63	2	1,26
2,97	0,01	4	0,03	8,83	0,06	4	0,25	77,96	0,55	4	2,21
3,17	0,00	2	0,01	10,06	0,05	2	0,10	101,17	0,49	2	0,98
3,37	0,00	4	0,01	11,37	0,04	4	0,15	129,21	0,43	4	1,74
3,57	0,00	2	0,00	12,76	0,03	2	0,06	162,70	0,39	2	0,78
3,77	0,00	4	0,01	14,22	0,02	4	0,10	202,32	0,35	4	1,39
3,97	0,00	1	0,00	15,77	0,02	1	0,02	248,78	0,31	1	0,31
		SUM <sub>0</sub>	12,27			SUM <sub>2</sub>	17,85			SUM <sub>4</sub>	42,72

$$\begin{aligned}
 m_0 &= 1/3 \times \Delta\omega w \times \text{SUM}_0 \\
 &= 1/3 \times 0,2 \times 12,27 \\
 &= 0,8180 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{HS9.5})_{1/3} &= 4,0 \sqrt{m_0} \\
 &= 4,0 \sqrt{0,8180} \\
 &= 3,6 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{HS9.5})_{\text{avrg}} &= 2,506 \sqrt{m_0} \\
 &= 2,506 \sqrt{0,818} \\
 &= 2,27 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{HS9.5})_{1/10} &= 5,090 \sqrt{m_0} \\
 &= 5,090 \sqrt{0,818} \\
 &= 4,60 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{HS9.5})_{1/100} &= 6,671 \sqrt{m_0} \\
 &= 6,671 \sqrt{0,818} \\
 &= 6,03 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_2 &= 1/3 \times \Delta\omega w \times \text{SUM}_2 \\
 &= 1/3 \times 0,2 \times 17,85 \\
 &= 1,18975 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_4 &= 1/3 \times \Delta\omega w \times \text{SUM}_4 \\
 &= 1/3 \times 0,2 \times 42,72 \\
 &= 2,85 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_o &= 1/2\pi \times \sqrt{m_2 / m_0} \\
 &= 1/2\pi \times \sqrt{1,1898 / 0,8180} \\
 &= 0,192 \text{ sec}^{-1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{\text{average}} &= 1/N_o \\
 &= 1 / 0,192 \\
 &= 5,21 \text{ sec}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_c &= 2\pi \times \sqrt{m_2 / m_4} \\
 &= 2\pi \times \sqrt{1,1898 / 2,85} \\
 &= 4,06 \text{ sec}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (Lw)_z &= L_{\text{average}} \\
 &= \frac{2\pi g \times \sqrt{m_0 / m_4}}{2\pi g \times \sqrt{0,8180 / 2,848}} \\
 &= 108,31 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Energi} &= \rho g m_0 \\
 &= 63,91124615 \times 0,8180 \\
 &= 52,2778 \text{ lb-sec/ft.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e^2 &= (m_0 m_4 - m_2^2) / m_0 m_4 \\
 &= (0,8180 \times 2,85 - 1,19^2) / 0,8180 \times 2,85 \\
 &= 0,392409
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CF &= (1 - e^2)^{1/2} \\
 &= (1 - 0,3924)^{1/2} \\
 &= 0,7795
 \end{aligned}$$

Maka, amplitudo gerakan significant relatif station 9.5 adalah

$$\begin{aligned}
 (\text{Sa9.5})_{1/3} &= 2\sqrt{m_0} \times CF \\
 &= 2\sqrt{0,8180} \times 0,7795 \\
 &= 1,41 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{freeboard} &= f \\
 &= 3,31 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

jika  $(\text{Sa9.5})_{1/3} > \text{freeboard}$  (H9.5 - T freeboard), maka terjadi deck wetness

Probabilitas

$$\begin{aligned}
 P_f = n &= e^{-(T/T_{\text{average}})^2} \\
 &= 0,001249339
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 NT &= (P_f / T_{\text{average}}) \times 3600 \\
 &= \frac{0,001249339}{5,21} \times 3600 \\
 &= 0,8632986 \text{ per-hour.}
 \end{aligned}$$

jadi akan terjadi deck wetness sebanyak

$$(\text{standart Deck Wetness} \leq 30 \text{ kali/jam}) = 0,863299$$

kali tiap jam.  
tidak terjadi deck wetness  
memenuhi standart

$$\text{Prob (forefoot emergence)} = e^{-(T^2/2m_0s)} = 0,1115$$

$$T = 1/2\pi(2m_2s/2m_0s)^{0.5} = 1,89443 \text{ sec}$$

$$\text{Prob Slamming} = e^{-(T^2/2m_0s + v_0^2/2m_2s)} = 3,8E-08 \text{ (} v_0 = \text{threshold velocity, diambil } 0,92 \text{ ft/sec dr pembacaan grafik)}$$

$$\text{Freq Slamming (Ns)} = Ns = 1/2\pi(m_2s/m_0s)^{1/2} \times \text{Prob \{slam\}} = 7,3E-09 \text{ sec}$$

Jadi akan terjadi Slamming sebanyak  
 (standart slamming  $\leq 32$  kali/jam) =  $2,63E-05$  kali tiap jam  
 tidak terjadi slamming  
 memenuhi standart

Threshold velocity ( $v_0$ ) dengan scale factor, dimana diketahui Threshold vel. Untuk kapal dengan  $L = 520$  ft = 12 ft/sec  
 kapal dengan  $L = 2000$  ft =  $12\sqrt{\lambda}$ ,  $\lambda =$  scale factor dari 520 ft = 23,53394  
 jadi kapal ini dengan  $L = 1,28E+02$  ft,  $\lambda = 2,46E-01$ , maka  $v_0 = 5,953$  ft/sec

Perhitungan Deck Wetness dan Slamming pada Sea State 2,  $\mu = 135^\circ$

TABLE 1.9 CALCULATIONS FOR az AND Ayy

St No.	Bn [ft]	Tn [ft]	Sn [ft <sup>2</sup> ]	ξ [ft]	$\frac{\omega e^2 \times Bn}{2g}$ [-]	$\frac{Bn}{Tn}$ [-]	Bn x Tn [ft <sup>2</sup> ]	bn [-]	C [-]	Bn <sup>2</sup> [ft <sup>2</sup> ]	$\frac{\rho \pi \times Bv^2}{8}$ [[lb-sec <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> ]	an [[lb-sec <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> ]	Simpson's Multiplier (14)	Product (13) x (14) (15)	ξ <sup>2</sup> [ft <sup>2</sup> ]	an x ξ <sup>2</sup> [[lb-sec <sup>2</sup> ] (13) x (16) (17)	Simpson's Multiplier (18)	Product (17) x (18) (19)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)
AP	31,1282304	6,5616	25,8428	-60,4487	6,6354	4,744	204,251	0,12652	0,92184	968,967	756,025	696,93361	1	696,93361	3654,050	2546630,37	1	2546630,37
0,5	34,1924976	6,5616	53,0211	-54,0512	7,2886	5,211	224,357	0,23632	0,854479	1169,127	912,197	779,4539	4	3117,8156	2921,530	2277197,99	4	9108791,96
1	36,6071664	6,5616	90,7332	-47,6536	7,8033	5,579	240,202	0,37774	0,767995	1340,085	1045,585	803,00447	2	1606,0089	2270,867	1823516,76	2	3647033,51
1,5	38,0507184	6,5616	131,7109	-41,2561	8,1110	5,799	249,674	0,52753	0,68853	1447,857	1129,673	777,81382	4	3111,2553	1702,062	1323887,72	4	5295550,88
2	39,0349584	6,5616	164,6362	-34,8585	8,3208	5,949	256,132	0,64278	0,680887	1523,728	1188,871	809,48614	2	1618,9723	1215,115	983618,763	2	1967237,53
2,5	39,3499152	6,5616	188,2554	-28,4609	8,3879	5,997	258,198	0,72911	0,692744	1548,416	1208,133	836,92739	4	3347,7096	810,025	677932,201	4	2711728,80
3	39,3696	6,5616	205,3017	-22,0634	8,3921	6	258,328	0,79473	0,704799	1549,965	1209,342	852,34287	2	1704,6857	486,793	414914,32	2	829828,64
3,5	39,3696	6,5616	218,6957	-15,6658	8,3921	6	258,328	0,84658	0,725293	1549,965	1209,342	877,12704	4	3508,5082	245,418	215262,692	4	861050,77
4	39,3696	6,5616	227,7464	-9,2683	8,3921	6	258,328	0,88162	0,739979	1549,965	1209,342	894,88809	2	1789,7762	85,901	76871,4631	2	153742,93
4,5	39,3696	6,5616	231,9267	-2,8707	8,3921	6	258,328	0,8978	0,746763	1549,965	1209,342	903,09148	4	3612,3659	8,241	7442,30329	4	29769,21
5	39,3696	6,5616	233,1143	3,5269	8,3921	6	258,328	0,9024	0,750202	1549,965	1209,342	907,25068	2	1814,5014	12,439	11285,0566	2	22570,11
5,5	39,3696	6,5616	231,0065	9,9244	8,3921	6	258,328	0,89424	0,745269	1549,965	1209,342	901,28558	4	3605,1423	98,494	88771,3235	4	355085,29
6	39,3696	6,5616	224,8746	16,3220	8,3921	6	258,328	0,8705	0,735319	1549,965	1209,342	889,25241	2	1778,5048	266,407	236903,093	2	473806,19
6,5	39,3696	6,5616	211,8144	22,7195	8,3921	6	258,328	0,81994	0,714127	1549,965	1209,342	863,62333	4	3454,4933	516,177	445782,928	4	1783131,71
7	39,2318064	6,5616	190,7322	29,1171	8,3627	5,979	257,423	0,74093	0,694901	1539,135	1200,891	834,50068	2	1669,0014	847,806	707494,273	2	1414988,55
7,5	37,8473088	6,5616	159,2189	35,5147	8,0676	5,768	248,339	0,64114	0,680471	1432,419	1117,628	760,51361	4	3042,0544	1261,291	959229,03	4	3836916,12
8	35,3145312	6,5616	122,2402	41,9122	7,5277	5,382	231,72	0,52753	0,687683	1247,116	973,048	669,14828	2	1338,2966	1756,634	1175448,75	2	2350897,50
8,5	31,65972	6,5616	86,8567	48,3098	6,7487	4,825	207,738	0,41811	0,741859	1002,338	782,062	580,18008	4	2320,7203	2333,835	1354044,47	4	5416177,90
9	27,000984	6,5616	52,3300	54,7073	5,7556	4,115	177,17	0,29537	0,808286	729,053	568,835	459,78155	2	919,5631	2992,893	1376077	2	2752154,01
9,5	22,3816176	6,5616	21,7219	61,1049	4,7709	3,411	146,859	0,14791	0,891935	500,937	390,850	348,61283	4	1394,4513	3733,809	1301653,64	4	5206614,57
FP	18,5627664	6,5616	0,0000	67,5025	3,9569	2,829	121,801	0	1	344,576	268,852	268,85155	1	268,85155	4556,582	1225044,18	1	1225044,18
													SUM1	45719,612			SUM2	51988750,7

Added mass for heaving, az

$$a_z = \int an d\xi$$

$$= 1/3 \times S \times \text{SUM}_1$$

$$= 1/3 \times 6,39756 \times 45719,612$$

$$= 97497,99 \text{ lb-sec}^2/\text{ft.}$$

Added mass moment of inertia for pitching, Ayy

$$A_{yy} = \int an\xi^2 d\xi$$

$$= 1/3 \times S \times \text{SUM}_2$$

$$= 1/3 \times 6,39756 \times 51988750,7$$

$$= 110867050,7 \text{ lb-sec}^2\text{-ft.}$$

Keterangan :

(2) = Beam of Station, Bn

(3) = Draft at Station, Tn

(4) = Sectional Area at Station, Sn

(5) = Lever Arm from Longitudinal Centre of Buoyancy, x

(9) = Sectional Area Coefficient, bn = Sn / (Bn x Tn)

(10) = Added Mass Coefficient, C'

(13) = Sectional Added Mass, an = C' x (ρπ/8) x Bn<sup>2</sup>

S = Lpp / 20



TABLE 2.9 CALCULATIONS FOR b AND B

Station No.	$\frac{\omega c^2 \times Bn}{2g}$ [-]	$\frac{Bn}{Tn}$ [-]	$\beta n$ [-]	$A$ [-]	$A^2$ [-] (5) x (5)	$bn$ [lb-sec/ft <sup>2</sup> ]	Simpson's Multiplier	Product (7) x (8)	$\xi^2$ [ft <sup>2</sup> ]	$bn \times \xi^2$ [lb-sec] (7) x (10)	Simpson's Multiplier	Product (11) x (12)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
AP	6,6354	4,744	0,13	1,0881	1,18	47,92621049	1	47,9262	3654,0502	175124,78	1	175124,7775
0,5	7,2886	5,211	0,24	1,1630	1,35	54,75230196	4	219,0092	2921,5301	159960,5	4	639841,984
1	7,8033	5,579	0,38	1,2586	1,58	64,1247269	2	128,2495	2270,8675	145618,76	2	291237,5164
1,5	8,1110	5,799	0,53	1,3261	1,76	71,18912	4	284,7565	1702,0625	121168,33	4	484673,3225
2	8,3208	5,949	0,64	1,2846	1,65	66,80596833	2	133,6119	1215,1150	81176,936	2	162353,8714
2,5	8,3879	5,997	0,73	1,2560	1,58	63,85946337	4	255,4379	810,0251	51727,769	4	206911,0743
3	8,3921	6	0,79	1,1985	1,44	58,14423313	2	116,2885	486,7927	28304,19	2	56608,38077
3,5	8,3921	6	0,85	1,1455	1,31	53,11472284	4	212,4589	245,4179	13035,305	4	52141,21841
4	8,3921	6	0,88	1,1091	1,23	49,79288124	2	99,5858	85,9006	4277,2405	2	8554,481073
4,5	8,3921	6	0,90	1,0922	1,19	48,2948152	4	193,1793	8,2409	397,99364	4	1591,974542
5	8,3921	6	0,90	1,0862	1,18	47,75895938	2	95,5179	12,4387	594,06135	2	1188,122696
5,5	8,3921	6	0,89	1,0959	1,20	48,62263612	4	194,4905	98,4941	4789,0434	4	19156,17354
6	8,3921	6	0,87	1,1206	1,26	50,83530455	2	101,6706	266,4070	13542,883	2	27085,76512
6,5	8,3921	6	0,82	1,1731	1,38	55,71209102	4	222,8484	516,1775	28757,328	4	115029,311
7	8,3627	5,979	0,74	1,2458	1,55	62,82911148	2	125,6582	847,8055	53266,867	2	106533,7341
7,5	8,0676	5,768	0,64	1,2862	1,65	66,9652337	4	267,8609	1261,2911	84462,652	4	337850,6064
8	7,5277	5,382	0,53	1,3289	1,77	71,48797938	2	142,9760	1756,6342	125578,23	2	251156,4568
8,5	6,7487	4,825	0,42	1,2906	1,67	67,42411812	4	269,6965	2333,8348	157356,76	4	629427,0247
9	5,7556	4,115	0,30	1,2163	1,48	59,88621571	2	119,7724	2992,8930	179233,04	2	358466,0775
9,5	4,7709	3,411	0,15	1,1144	1,24	50,27186765	4	201,0875	3733,8088	187705,54	4	750822,1681
FP	3,9569	2,829	0,00	1,0000	1,00	40,481979	1	40,4820	4556,5821	184459,46	1	184459,4612
							SUM1	3472,564			SUM2	4860213,50

Damping coefficient for heaving, b'

$$b' = \int bn \, d\xi$$

$$= 1/3 \times S \times \text{SUM1}$$

$$= 1/3 \times 6,39756 \times 3472,564$$

$$= 7405,313098 \text{ lb-sec/ft.}$$

Damping coefficient for pitching, B'

$$B' = \int bn\xi^2 \, d\xi$$

$$= 1/3 \times S \times \text{SUM2}$$

$$= 1/3 \times 6,39756 \times 4860213,50$$

$$= 10364502,50 \text{ ft-lb-sec/rad.}$$

Keterangan :

- (4) = Sectional Area Coefficient,  $bn = S_n / (B_n \times T_n)$
- (5) = Amplitude Ratio for Two-Dimensional Body in Heaving Motion,  $A$
- (7) = Sectional Damping Coefficient,  $bn = (\rho g^2 / w^3) \times A^{-1}$
- $S = L_{pp} / 20$

TABLE 3 CALCULATIONS FOR c' AND C'

Station No.	Bn [ft]	cn [lb/ft <sup>2</sup> ]	Simpson's M.	Product (3) x (4) (5)	ξ <sup>2</sup> [ft <sup>2</sup> ]	cn x ξ <sup>2</sup> (3) x (6) (7)	Simpson's M.	Product (7) x (8) (9)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
AP	31,1282304	1989,444	1	1989,4440	3654,0502	7269528,164	1	7269528,164
0,5	34,1924976	2185,285	4	8741,1405	2921,5301	6384376,197	4	25537504,788
1	36,6071664	2339,610	2	4679,2192	2270,8675	5312943,452	2	10625886,905
1,5	38,0507184	2431,869	4	9727,4753	1702,0625	4139192,708	4	16556770,831
2	39,0349584	2494,773	2	4989,5457	1215,1150	3031435,948	2	6062871,897
2,5	39,3499152	2514,902	4	10059,6085	810,0251	2037133,852	4	8148535,410
3	39,3696	2516,160	2	5032,3204	486,7927	1224848,509	2	2449697,017
3,5	39,3696	2516,160	4	10064,6408	245,4179	617510,792	4	2470043,169
4	39,3696	2516,160	2	5032,3204	85,9006	216139,780	2	432279,560
4,5	39,3696	2516,160	4	10064,6408	8,2409	20735,471	4	82941,884
5	39,3696	2516,160	2	5032,3204	12,4387	31297,866	2	62595,732
5,5	39,3696	2516,160	4	10064,6408	98,4941	247826,965	4	991307,860
6	39,3696	2516,160	2	5032,3204	266,4070	670322,768	2	1340645,535
6,5	39,3696	2516,160	4	10064,6408	516,1775	1298785,274	4	5195141,097
7	39,2318064	2507,354	2	5014,7073	847,8055	2125748,234	2	4251496,468
7,5	37,8473088	2418,869	4	9675,4747	1261,2911	3050897,463	4	12203589,853
8	35,3145312	2256,996	2	4513,9914	1756,6342	3964715,796	2	7929431,592
8,5	31,65972	2023,412	4	8093,6486	2333,8348	4722309,797	4	18889239,188
9	27,000984	1725,667	2	3451,3331	2992,8930	5164735,378	2	10329470,756
9,5	22,3816176	1430,437	4	5721,7483	3733,8088	5340978,531	4	21363914,126
FP	18,5627664	1186,370	1	1186,3695	4556,5821	5405790,183	1	5405790,183
			SUM1	138231,55			SUM2	167598682,01

Restoring force coefficient for heaving, c'

$$c' = \int cn d\xi = (\rho \gamma A_w) \\ = 1/3 \times S \times SUM1 \\ = 1/3 \times 6,39756 \times 138231,551 \\ = 294781,5467 \text{ lb/ft.}$$

Restoring moment coefficient for heaving, C'

$$C' = \int cn\xi^2 dx - uE, (uE \text{ dihitung pada tabel 4}) \\ = (1/3 \times S \times SUM2) - (Vs \times E) \\ = 6,39756 \times 167598682 \times 20,268 \times -1989513,846 \\ = 397731008 \text{ ft-lb/rad.}$$

Keterangan :

- (2) = Beam of Station, Bn
- (3) = Sec. Rest. Force Coef.,  
cn = ρg Bn
- S = Lpp / 20, u = Vs

TABLE 4.9 CALCULATIONS FOR d', e', h', D', E' AND H'

Station No.	$\xi$ [ft]	$an$ [slugs/ft]	$an \times \xi$ [slugs] (2) x (3)	Simpson's M.	Product (4) x (5)	$bn$ [lb-sec/ft <sup>2</sup> ]	$bn \times \xi$ [lb-sec/ft] (2) x (7)	Simpson's M.	Product (8) x (9)	$cn$ [lb/ft <sup>2</sup> ]	$cn \times \xi$ [lb/ft] (2) x (11)	Simpson's M.	Product (12) x (13)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
AP	-60,4487	696,933608	-42128,76	1	-42128,76	47,9262	-2897,08	1	-2897,0790	1989,4440	-120259,3828	1	-120259,3828
0,5	-54,0512	779,4538967	-42130,40	4	-168521,61	54,7523	-2959,43	4	-11837,7061	2185,2851	-118117,2399	4	-472468,9597
1	-47,6536	803,0044715	-38266,07	2	-76532,14	64,1247	-3055,78	2	-6111,5507	2339,6096	-111490,8679	2	-222981,7358
1,5	-41,2561	777,8138173	-32089,53	4	-128358,13	71,1891	-2936,98	4	-11747,9304	2431,8688	-100329,3263	4	-401317,3054
2	-34,8585	809,4861355	-28217,47	2	-56434,94	66,8060	-2328,76	2	-4657,5117	2494,7728	-86964,0389	2	-173928,0777
2,5	-28,4609	836,9273943	-23819,74	4	-95278,96	63,8595	-1817,50	4	-7270,0014	2514,9021	-71576,4782	4	-286305,9129
3	-22,0634	852,3428735	-18805,56	2	-37611,13	58,1442	-1282,86	2	-2565,7166	2516,1602	-55514,9986	2	-111029,9971
3,5	-15,6658	877,1270444	-13740,91	4	-54963,66	53,1147	-832,09	4	-3328,3427	2516,1602	-39417,7127	4	-157670,8509
4	-9,2683	894,8880941	-8294,06	2	-16588,11	49,7929	-461,49	2	-922,9867	2516,1602	-23320,4269	2	-46640,8538
4,5	-2,8707	903,0914812	-2592,50	4	-10370,02	48,2948	-138,64	4	-554,5597	2516,1602	-7223,1411	4	-28892,5643
5	3,5269	907,2506769	3199,75	2	6399,49	47,7590	168,44	2	336,8783	2516,1602	8874,1447	2	17748,2895
5,5	9,9244	901,2855835	8944,74	4	35778,95	48,6226	482,55	4	1930,2058	2516,1602	24971,4306	4	99885,7223
6	16,3220	889,2524056	14514,36	2	29028,72	50,8353	829,73	2	1659,4656	2516,1602	41068,7164	2	82137,4328
6,5	22,7195	863,6233269	19621,12	4	78484,50	55,7121	1265,75	4	5063,0123	2516,1602	57166,0022	4	228664,0089
7	29,1171	834,5006761	24298,24	2	48596,48	62,8291	1829,40	2	3658,8030	2507,3536	73006,8665	2	146013,7331
7,5	35,5147	760,5136109	27009,38	4	108037,53	66,9652	2378,25	4	9512,9900	2418,8687	85905,2984	4	343621,1934
8	41,9122	669,1482831	28045,49	2	56090,98	71,4880	2996,22	2	5992,4398	2256,9957	94595,7002	2	189191,4003
8,5	48,3098	580,180075	28028,37	4	112113,49	67,4241	3257,24	4	13028,9773	2023,4122	97750,5962	4	391002,3848
9	54,7073	459,7815496	25153,43	2	50306,85	59,8862	3276,22	2	6552,4311	1725,6665	94406,6258	2	188813,2517
9,5	61,1049	348,6128268	21301,95	4	85207,81	50,2719	3071,86	4	12287,4298	1430,4371	87406,7142	4	349626,8569
FP	67,5025	268,851554	18148,14	1	18148,14	40,4820	2732,63	1	2732,6332	1186,3695	80082,8619	1	80082,8619
				SUM1	-58594,53			SUM2	10861,88			SUM3	95291,495

Coupling terms: d', D', e', E', h', H'

$$d' = -\int an\xi d\xi$$

$$= -1/3 \times S \times \text{SUM1}$$

$$= -1/3 \times 6,39756 \times -58594,533$$

$$= 124954,015 \text{ lb-sec}^2$$

$$e' = -\int bn\xi d\xi + Vs_{az}$$

$$= (-1/3 \times S \times \text{SUM2}) + Vs_{az}$$

$$= (-1/3 \times 6,39756 \times 10861,881) + (20,268 \times 97497,99)$$

$$= 1952925,1 \text{ lb-sec}^2/\text{sec.}$$

$$h' = -\int cn\xi d\xi + Vs_b$$

$$= (-1/3 \times S \times \text{SUM3}) + Vs_b$$

$$= -1/3 \times 6,39756 \times 95291,495 + (20,268 \times 7405,313098)$$

$$= -51120,1 \text{ lb}$$

$$D' = d'$$

$$= 124954,015 \text{ lb-sec}^2$$

$$E' = -\int bn\xi d\xi - Vs_{az}$$

$$= (-1/3 \times S \times \text{SUM2}) - Vs_{az}$$

$$= (-1/3 \times 6,39756 \times 10861,881) - (20,268 \times 97497,99)$$

$$= -1999252,1 \text{ lb-sec}^2/\text{sec.}$$

$$H' = -\int cn\xi d\xi$$

$$= (-1/3 \times S \times \text{SUM3})$$

$$= (-1/3 \times 6,39756 \times 95291,495)$$

$$= -203211,0 \text{ lb}$$

TABLE 5 CALCULATIONS FOR m AND Iyy

Station No.	Weight per foot [lb/ft]	$m_n$ [lb-sec <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> ]	Simpson's Multiplier	Product (3) x (4)	$\xi^2$ [ft <sup>2</sup> ]	$m_n \times \xi^2$ [lb-sec <sup>2</sup> ] (3) x (6)	Simpson's Multiplier	Product (7) x (8)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
AP	218661,05	6797,69	1	6797,69	3654,0502	24839103,07	1	24839103,07
0,5	310741,39	9660,27	4	38641,06	2921,5301	28222757,27	4	112891029,07
1	267888,58	8328,07	2	16656,13	2270,8675	18911935,24	2	37823870,48
1,5	316990,50	9854,54	4	39418,15	1702,0625	16773037,80	4	67092151,21
2	411670,17	12797,92	2	25595,84	1215,1150	15550944,42	2	31101888,84
2,5	594552,14	18483,32	4	73933,27	810,0251	14971951,38	4	59887805,51
3	372689,61	11586,10	2	23172,20	486,7927	5640029,21	2	11280058,41
3,5	382520,35	11891,72	4	47566,86	245,4179	2918440,12	4	11673760,49
4	444440,80	13816,69	2	27633,37	85,9006	1186862,26	2	2373724,52
4,5	428360,87	13316,80	4	53267,19	8,2409	109742,64	4	438970,55
5	465558,43	14473,19	2	28946,37	12,4387	180028,23	2	360056,46
5,5	516473,98	16056,04	4	64224,16	98,4941	1581425,36	4	6325701,43
6	565548,44	17581,66	2	35163,31	266,4070	4683876,90	2	9367753,80
6,5	464907,91	14452,96	4	57811,86	516,1775	7460294,78	4	29841179,13
7	351655,77	10932,20	2	21864,41	847,8055	9268382,75	2	18536765,49
7,5	327043,36	10167,06	4	40668,23	1261,2911	12823620,07	4	51294480,29
8	228878,62	7115,33	2	14230,67	1756,6342	12499036,74	2	24998073,49
8,5	212828,59	6616,37	4	26465,49	2333,8348	15441520,93	4	61766083,72
9	209621,88	6516,68	2	13033,37	2992,8930	19503735,49	2	39007470,98
9,5	238809,30	7424,06	4	29696,22	3733,8088	27720004,09	4	110880016,37
FP	331158,61	10294,99	1	10294,99	4556,5821	46909978,63	1	46909978,63
			SUM1	695080,85			SUM2	758689921,95

Keterangan :

(2) = Weight per feet

(3) = Mass Distribution, Weight per feet/g

S =  $L_{pp} / 20$

Note :

If the distribution of weight along the length is not known, ship mass m dan Iyy

Ship mass moment of inertia Iyy are obtained as :

Ship mass, m  
m =

Ship mass mom  $\Delta/g$  (lb-sec<sup>2</sup>/ft)  
Iyy =

where, /  
kyy, the radius c  $\Delta/g(k^2yy)$  (lb-sec<sup>2</sup>-ft)

Ship mass, m

$$m = 1/3 \times S \times \text{SUM}_1$$

$$= 1/3 \times 6,39756 \times 695080,85$$

$$= 1482273,810 \text{ [lb-sec}^2\text{/ft]}$$

Ship mass moment of inertia, Iyy

$$I_{yy} = 1/3 \times S \times \text{SUM}_2$$

$$= 1/3 \times 6,39756 \times 758689921,95$$

$$= 1617921432,351 \text{ [lb-sec}^2\text{-ft]}$$

TABLE 6.9 CALCULATIONS FOR EXCITING FORCES AND MOMENTS (F' AND M')

Station No.	$\xi$ [ft]	$k\xi$	$\sin k\xi$	$\cos k\xi$	$Tm$ [ft]	$\frac{2\pi \cos \mu \times Tm}{Lw}$ [-]	$e^{-[(2\pi/Lw)Tm]}$	$cn$	$cn \times \zeta a$	$an$	$an(-\zeta a \omega e^2)$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
AP	-60,4487	-7,3041	-0,8526	0,5226	0,8302	0,1003	0,9046	1989,4440	3282,5826	696,93	-15769,78352
0,5	-54,0512	-6,5310	-0,2453	0,9694	1,5507	0,1874	0,8291	2185,2851	3605,7205	779,45	-17637,00168
1	-47,6536	-5,7580	0,5014	0,8652	2,4786	0,2995	0,7412	2339,6096	3860,3559	803,00	-18169,88955
1,5	-41,2561	-4,9850	0,9631	0,2692	3,4615	0,4182	0,6582	2431,8688	4012,5836	777,81	-17599,89097
2	-34,8585	-4,2120	0,8774	-0,4798	4,2177	0,5096	0,6007	2494,7728	4116,3752	809,49	-18316,55264
2,5	-28,4609	-3,4389	0,2930	-0,9561	4,7841	0,5781	0,5610	2514,9021	4149,5885	836,93	-18937,47651
3	-22,0634	-2,6659	-0,4579	-0,8890	5,2147	0,6301	0,5325	2516,1602	4151,6643	852,34	-19286,28846
3,5	-15,6658	-1,8929	-0,9486	-0,3166	5,5549	0,6712	0,5111	2516,1602	4151,6643	877,13	-19847,08938
4	-9,2683	-1,1199	-0,9001	0,4358	5,7848	0,6990	0,4971	2516,1602	4151,6643	894,89	-20248,97545
4,5	-2,8707	-0,3469	-0,3400	0,9404	5,8910	0,7118	0,4908	2516,1602	4151,6643	903,09	-20434,59663
5	3,5269	0,4262	0,4134	0,9106	5,9212	0,7155	0,4890	2516,1602	4151,6643	907,25	-20528,70834
5,5	9,9244	1,1992	0,9317	0,3631	5,8676	0,7090	0,4921	2516,1602	4151,6643	901,29	-20393,73389
6	16,3220	1,9722	0,9205	-0,3907	5,7119	0,6902	0,5015	2516,1602	4151,6643	889,25	-20121,45457
6,5	22,7195	2,7452	0,3861	-0,9225	5,3802	0,6501	0,5220	2516,1602	4151,6643	863,62	-19541,53559
7	29,1171	3,5182	-0,3678	-0,9299	4,8617	0,5874	0,5557	2507,3536	4137,1335	834,50	-18882,56623
7,5	35,5147	4,2913	-0,9126	-0,4088	4,2069	0,5083	0,6015	2418,8687	3991,1333	760,51	-17208,43258
8	41,9122	5,0643	-0,9387	0,3447	3,4615	0,4183	0,6582	2256,9957	3724,0429	669,15	-15141,07434
8,5	48,3098	5,8373	-0,4313	0,9022	2,7434	0,3315	0,7179	2023,4122	3338,6301	580,18	-13127,95664
9	54,7073	6,6103	0,3213	0,9470	1,9381	0,2342	0,7912	1725,6665	2847,3498	459,78	-10403,65312
9,5	61,1049	7,3833	0,8913	0,4535	0,9705	0,1173	0,8893	1430,4371	2360,2212	348,61	-7888,195874
FP	67,5025	8,1564	0,9546	-0,2978	0,0000	0,0000	1,0000	1186,3695	1957,5097	268,85	-6083,407022

Keterangan :

- (2) = Lever Arm from Longitudinal Centre of Buoyancy,  $\xi$
- (3) =  $k\xi = (2\pi \cos \mu/Lw) \times \xi$
- (6) = Mean Draft,  $Tm = S_n / B_n$
- (9) = Sectional Restoring Force Coefficient,  $cn = \rho g B_n$

- (11) = Sectional Added Mass,  $an = C' \times (\rho \pi/8) \times B_n^2$
- (14) = Slope of the added mass curve,  $dan/d\xi$
- S =  $L_{pp} / 20$

lanjutan TABLE 6

(10) + (12) (13)	$\frac{dan}{d\xi}$ (14)	$Vs \zeta a we \frac{dan}{d\xi}$ (15)	$bn \zeta a we$ (16)	(16) - (15) (17)	(13) x (4) (18)	(17) x (5) (19)	(18) + (19) (20)	(13) x (5) (21)	(17) x (4) (22)	(21) - (22) (23)	(20) x (8) (24)	Simpson's Multiplier (25)	Product (24) x (25) (26)
-12487,20	12,8987	1597,41	292,84	-1304,57	10646,1	-681,805	9964,291	-6526,17	1112,224	-7638,389	9013,233	1	9013,2325
-14031,28	8,2899	1026,65	334,55	-692,10	3442,09	-670,95	2771,14	-13602,5	169,7824	-13772,31	2297,66	4	9190,641623
-14309,53	-0,1282	-15,87	391,82	407,69	-7174,29	352,7502	-6821,544	-12381,1	204,4025	-12585,53	-5056,122	2	-10112,24324
-13587,31	0,5066	62,74	434,98	372,25	-13085,6	100,223	-12985,36	-3658,21	358,5025	-4016,71	-8546,936	4	-34187,74449
-14200,18	4,6200	572,15	408,20	-163,95	-12459	78,66343	-12380,31	6813,15	-143,849	6957,0034	-7437,131	2	-14874,26278
-14787,89	3,3495	414,81	390,20	-24,61	-4332,76	23,52838	-4309,231	14138,9	-7,21009	14146,122	-2417,394	4	-9669,574406
-15134,62	3,1418	389,09	355,28	-33,81	6930,577	30,05864	6960,636	13454,5	15,48356	13439,031	3706,815	2	7413,629617
-15695,43	3,3251	411,79	324,54	-87,25	14888,19	27,61963	14915,81	4968,72	82,75909	4885,9566	7623,351	4	30493,40339
-16097,31	2,0292	251,31	304,25	52,94	14488,41	23,07038	14511,48	-7014,93	-47,6488	-6967,285	7213,517	2	14427,03379
-16282,93	0,9662	119,66	295,09	175,44	5535,449	164,9887	5700,438	-15313,2	-59,64066	-15253,51	2797,509	4	11190,03548
-16377,04	-0,1411	-17,48	291,82	309,30	-6769,78	281,6357	-6488,147	-14912,3	127,8547	-15040,19	-3172,495	2	-6344,990165
-16242,07	-1,4067	-174,20	297,10	471,30	-15133,4	171,1426	-14962,23	-5897,96	439,1285	-6337,093	-7363,53	4	-29454,11977
-15969,79	-2,9435	-364,53	310,62	675,15	-14700,5	-263,782	-14964,23	6239,46	621,4824	5617,9815	-7504,429	2	-15008,85759
-15389,87	-4,2791	-529,94	340,41	870,35	-5941,74	-802,868	-6744,608	14196,6	336,0261	13860,589	-3520,691	4	-14082,76237
-14745,43	-8,0585	-997,99	383,90	1381,89	5423,351	-1285,03	4138,325	13711,9	-508,2572	14220,115	2299,871	2	4599,741121
-13217,30	-12,9231	-1600,43	409,17	2009,60	12062,44	-821,519	11240,92	5403,19	-1834,014	7237,2046	6761,483	4	27045,93108
-11417,03	-14,0939	-1745,43	436,81	2182,24	10717,45	752,1475	11469,6	-3935,08	-2048,521	-1886,563	7549,253	2	15098,50675
-9789,33	-16,3630	-2026,44	411,98	2438,42	4221,765	2200,005	6421,769	-8832,19	-1051,596	-7780,596	4609,881	4	18439,52315
-7556,30	-18,0981	-2241,31	365,92	2607,23	-2428,04	2468,969	40,93409	-7155,58	837,7717	-7993,354	32,38788	2	64,77575425
-5527,97	-14,9221	-1847,99	307,17	2155,16	-4926,95	977,2872	-3949,659	-2506,73	1920,845	-4427,576	-3512,614	4	-14050,45562
-4125,90	-12,4675	-1544,00	247,36	1791,36	-3938,72	-533,442	-4472,158	1228,64	1710,087	-481,4493	-4472,158	1	-4472,157624
SUMI													-5280,714

lanjutan tabel 6

(23) x (8) (27)	Simpson's Multiplier (28)	Product (27) x (28) (29)	(24) x (2) (30)	Simpson's Multiplier (31)	Product (30) x (31) (32)	(27) x (2) (33)	Simpson's Multiplier (34)	Product (33) x (34) (35)
-6909,331	1	-6909,3305	-544838,55	1	-544838,548	417660,3255	1	417660,3255
-11419,16	4	-45676,65	-124191,26	4	-496765,0247	617219,2029	4	2468876,812
-9328,381	2	-18656,762	240942,5	2	481884,9965	444531,1342	2	889062,2684
-2643,79	4	-10575,162	352612,91	4	1410451,638	109072,3744	4	436289,4976
4179,23	2	8358,45901	259247,24	2	518494,4893	-145681,6717	2	-291363,343
7935,695	4	31742,7783	68801,294	4	275205,177	-225857,3273	4	-903429,309
7156,817	2	14313,6348	-81784,864	2	-163569,7274	-157903,5815	2	-315807,163
2497,173	4	9988,69245	-119426,04	4	-477704,1687	-39120,26448	4	-156481,058
-3463,369	2	-6926,738	-66856,75	2	-133713,5002	32099,40436	2	64198,80872
-7485,712	4	-29942,849	-8030,8087	4	-32123,23485	21489,23386	4	85956,93542
-7354,167	2	-14708,335	-11188,946	2	-22377,89201	-25937,11873	2	-51874,2375
-3118,746	4	-12474,982	-73078,764	4	-292315,0553	-30951,74132	4	-123806,965
2817,367	2	5634,73435	-122487,14	2	-244974,2733	45985,0107	2	91970,02139
7235,238	4	28940,9532	-79988,471	4	-319953,8831	164381,2861	4	657525,1445
7902,817	2	15805,6342	66965,561	2	133931,1222	230107,1159	2	460214,2317
4353,222	4	17412,8867	240131,76	4	960527,0465	154603,1874	4	618412,7495
-1241,73	2	-2483,4597	316405,97	2	632811,9366	-52043,65462	2	-104087,309
-5585,317	4	-22341,27	222702,33	4	890809,3065	-269825,4549	4	-1079301,82
-6324,503	2	-12649,007	1771,8546	2	3543,709211	-345996,7554	2	-691993,511
-3937,647	4	-15750,589	-214637,92	4	-858551,6859	-240609,5428	4	-962438,171
-481,4493	1	-481,44925	-301881,64	1	-301881,6411	-32499,00889	1	-32499,0089
SUM2		-67379	SUM3		1418890,79	SUM4		1477085

Exciting force component, F1

$$\begin{aligned}
 F1 &= 1/3 \times S \times \text{SUM1} \\
 &= 1/3 \times 6,39756 \quad \times \quad -5280,714 \\
 &= -11261,228 \quad \text{lb}
 \end{aligned}$$

Exciting force component, F2

$$\begin{aligned}
 F2 &= 1/3 \times S \times \text{SUM2} \\
 &= 1/3 \times 6,39756 \quad \times \quad -67378,809 \\
 &= -143686,658 \quad \text{lb}
 \end{aligned}$$

Amplitude of the exciting force, F0

$$\begin{aligned}
 F0 &= \sqrt{F1^2 + F2^2} \\
 &= \sqrt{(-11261,2)^2 + (-143686,7)^2} \\
 &= 144127,3 \quad \text{lb}
 \end{aligned}$$

$$F' = F0 \cos(\omega t + s)$$

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \tan^{-1}(F2/F1) \\
 &= -94,481
 \end{aligned}$$

$$F' = 144127,274 \quad \cos(\omega t + -94,481^\circ) \quad \text{lb}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{F}' &= F1 + iF2 \\
 &= -11261,2 \quad + ( \quad -143686,7 \quad ) i
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= -(m + a)\omega e^2 + i b \omega e + c' \\
 &= -21369522,173 \quad + \quad 27423,231 \quad i
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= -(I_{yy} + A_{yy})\omega e^2 + i B \omega e + C' \\
 &= -23309925399,085 \quad + \quad 38381650,84 \quad i
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= -d' \omega e^2 + i e \omega e + h' \\
 &= -1766685,174 \quad + \quad 7232042,65883807 \quad i
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R &= -D' \omega e^2 + i E' \omega e + H' \\
 &= -1916776,060 \quad + \quad -7403597,645 \quad ) i
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 PS &= 498120915117896000 \quad + \quad -1459430997149280,000 \quad ) i \\
 QR &= 56929473842955 \quad \cdot \quad -782380039063,648 \quad i
 \end{aligned}$$

$$PS - QR = 498063985644053000 \quad + \quad -1458648617110220,00 \quad ) i$$

$$\overline{PS} - QR = 498063985644053000 \quad + \quad 1,45865E+15 \quad i$$

Exciting moment component, M1

$$\begin{aligned}
 M1 &= 1/3 \times S \times \text{SUM3} \\
 &= 1/3 \times 6,39756 \quad \quad \quad 1418890,8 \\
 &= 3025813 \quad \quad \quad \text{gt-lb}
 \end{aligned}$$

Exciting moment component, M2

$$\begin{aligned}
 M2 &= 1/3 \times S \times \text{SUM4} \\
 &= 1/3 \times 6,39756 \quad \quad \quad 1477085 \\
 &= 3149913 \quad \quad \quad \text{ft-lb}
 \end{aligned}$$

Amplitude of the exciting moment, M0

$$\begin{aligned}
 M0 &= \sqrt{M1^2 + M2^2} \\
 &= \sqrt{3025813^2 + 3149913^2} \\
 &= 4367779 \quad \quad \quad \text{ft-lb}
 \end{aligned}$$

$$M' = M0 \cos(\omega t + t)$$

$$\begin{aligned}
 \tau &= \tan^{-1}(M2/M1) \\
 &= 46,151
 \end{aligned}$$

$$M' = 4367779,4 \quad \cos(\omega t + 46,151^\circ) \quad \text{ft-lb}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{M}' &= M1 + iM2 \\
 &= 3025813 \quad + \quad ( \quad 3149913 \quad ) i
 \end{aligned}$$



$$(\overline{PS - QR}) (\overline{PS - QR}) = 2,4807E+35$$

$$\begin{aligned} \overline{F'S} &= 268013311747330 + 3348893062760760 i \\ \overline{MQ} &= -2,8126E+13 + 16317903808821,4 i \end{aligned}$$

$$\overline{F'S} - \overline{MQ} = 296139276502458 + 3332575158951940 i$$

$$(\overline{F'S} - \overline{MQ}) (\overline{PS - QR}) = 1,42635E+32 + (1,66E+33) i$$

$$\begin{aligned} \overline{MP} &= -6,47466E+13 + -6,72292E+13 i \\ \overline{F'R} &= -1,04221E+12 + 3,58789E+11 i \end{aligned}$$

$$\overline{MP} - \overline{F'R} = -6,37043E+13 + -6,75879E+13 i$$

$$(\overline{MP} - \overline{F'R}) (\overline{PS - QR}) = -3,16303E+31 + (-3,38E+31) i$$

$$\begin{aligned} z &= \frac{(\overline{FS} - \overline{MQ}) (\overline{PS - QR})}{(\overline{PS - QR}) (\overline{PS - QR})} \\ &= 0,00057498 + (0,006692742) i \end{aligned}$$

$$z1 = z \text{ (real)} = 5,75E-04$$

$$z2 = z \text{ (imaginer)} = 6,69E-03$$

$$\begin{aligned} za &= \sqrt{z1^2 + z2^2} \\ &= 6,717E-03 \quad [\text{ft}] \end{aligned}$$

$$\delta = \tan^{-1}(z2/z1)$$

$$= 85,090$$

$$z = \zeta a \cos(\omega et + \delta)$$

$$= 6,717E-03$$

$$\cos(\omega et + 85,090^\circ)$$

$$\zeta = \zeta a \sin(k\xi - \omega et) \quad \text{since } \zeta = 0 \text{ at the CG of the ship}$$

$$= -1,300 \sin \omega et$$

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{(\overline{MP} - \overline{FR}) (\overline{PS - QR})}{(\overline{PS - QR}) (\overline{PS - QR})} \\ &= -0,000127505 - 0,000136075 i \end{aligned}$$

$$\theta1 = \theta \text{ (real)} = -1,27505 \text{ 4E-04}$$

$$\theta2 = \theta \text{ (imaginer)} = -1,36074 \text{ 8E-04}$$

$$\begin{aligned} \theta a &= \sqrt{\theta1^2 + \theta2^2} \\ &= 1,865E-04 \quad \text{rad.} \end{aligned}$$

$$\epsilon = \tan^{-1}(\theta2/\theta1)$$

$$= -133,138$$

$$\theta = \theta a \cos(\omega et + \theta)$$

$$= 1,865E-04$$

$$\cos(\omega et + 133,138^\circ)$$

### Membuat Wave Spektrum dari ITTC

Standart Wave Spectrum (Direkomendasikan oleh International Towing Tank Conference), Untuk kecepatan angin sebesar 13,5 knot, dari buku Dynamics of Marine Vehicles halaman 118 grafik 5.15 dapat diketahui significant wave height sebesar :

$$H1/3 = 5,6849 \text{ ft (tabel hal. 117, Dynamics of Marines Vehicles).}$$

$$= 1,73275752 \text{ m.} = 173,275752 \text{ cm}$$

$$S(\omega w) = (A/ww^5) e^{-B/ww^4}$$

$$A = 8,10 \times 10^{-3} \text{ g}^2$$

$$g = 32,16696 \text{ ft/sec}^2$$

$$A = 8,381$$

$$B = 33,56 / (H)_{1/3}^2$$

$$= 1,038$$

$\omega w$ [rad/sec]	$B/\omega w^4$	$e^{-B/\omega w^4}$	$S(\omega w)$ [ft <sup>2</sup> - sec]
1	2	3	4
0,37	54,5275	0,0000	0,00
0,57	9,7355	0,00006	0,01
0,77	2,9314	0,05332472	1,64
0,97	1,1658	0,31166527	3,02
1,17	0,5514	0,57616899	2,19
1,37	0,2935	0,74564664	1,29
1,57	0,1703	0,84343764	0,74
1,77	0,1054	0,89992368	0,43
1,97	0,0687	0,93357031	0,26
2,17	0,0467	0,9543703	0,17
2,37	0,0328	0,96770126	0,11
2,57	0,0237	0,97653102	0,07
2,77	0,0176	0,98255341	0,05
2,97	0,0133	0,98676897	0,04
3,17	0,0103	0,98978827	0,03
3,37	0,0080	0,99199525	0,02
3,57	0,0064	0,99363796	0,01
3,77	0,0051	0,99488067	0,01
3,97	0,0042	0,99583458	0,01

TABLE 7.9

- $\zeta = -1,300 \sin \omega t$  , Equation of wave motion
- $z = 0,007 \cos (\omega t + 85,090^\circ)$  , Equation of heaving motion
- $\theta = 0,000 \cos (\omega t + -133,138^\circ)$  , Equation of pitching motion
- $F' = 144127,27 \cos (\omega t + -94,481^\circ)$  , Equation of exciting force
- $M' = 4367779 \cos (\omega t + 46,151^\circ)$  , Equation of exciting moment
- $z_{9.5} = z - \xi\theta$  , Equation of station 9.5 motion
- $\xi = 61,105 \text{ ft.}$  , Lever Arm from Longitudinal Centre of Buoyancy to station 9.5
- $z_{9.5} - z$  , Relative station 9.5 motion

$\omega t$ [rad]	$t$ [sec]	$\zeta$ [ft]	$z$ [ft]	$\theta$ [rad]	$F$ [lb]	$M$ [lb-ft]	$z_{9.5}$ [ft]	$z_{9.5} - z$ [ft]
0	0,000	0,000	0,001	-0,00013	-11261,228	3025813,0	0,008	0,008
0,25 $\pi$	0,212	-0,919	-0,004	0,00001	93638,920	-87752,0	-0,005	0,915
0,5 $\pi$	0,424	-1,300	-0,007	0,00014	143686,658	-3149913,1	-0,015	1,285
0,75 $\pi$	0,636	-0,919	-0,005	0,00019	109564,701	-4366897,8	-0,017	0,903
1 $\pi$	0,848	0,000	-0,001	0,00013	11261,228	-3025813,0	-0,008	-0,008
1,25 $\pi$	1,060	0,919	0,004	-0,00001	-93638,920	87752,0	0,005	-0,915
1,5 $\pi$	1,273	1,300	0,007	-0,00014	-143686,658	3149913,1	0,015	-1,285
1,75 $\pi$	1,485	0,919	0,005	-0,00019	-109564,701	4366897,8	0,017	-0,903
2 $\pi$	1,697	0,000	0,001	-0,00013	-11261,228	3025813,0	0,008	0,008



### Membuat Wave Spektrum dari ITTC

Standart Wave Spectrum (Direkomendasikan oleh International Towing Tank Conference), Untuk kecepatan angin sebesar 13,5 knot, dari buku Dynamics of Marine Vehicles halaman 118 grafik 5.15 dapat diketahui significant wave height sebesar :

$$H_{1/3} = 5,6849 \text{ ft (tabel hal. 117, Dynamics of Marines Vehicles).}$$

$$= 1,73275752 \text{ m.} = 173,275752 \text{ cm}$$

$$S(\omega w) = (A/ww^5) e^{-B/ww^4}$$

$$A = 8,10 \times 10^{-3} \text{ g}^2$$

$$g = 32,16696 \text{ ft/sec}^2$$

$$A = 8,381$$

$$B = 33,56 / (H)_{1/3}^2$$

$$= 1,038$$

$\omega w$ [rad/sec]	$B/\omega w^4$	$e^{-B/\omega w^4}$	$S(\omega w)$ [ft <sup>2</sup> - sec]
1	2	3	4
0,37	54,5275	0,0000	0,00
0,57	9,7355	0,00006	0,01
0,77	2,9314	0,05332472	1,64
0,97	1,1658	0,31166527	3,02
1,17	0,5514	0,57616899	2,19
1,37	0,2935	0,74564664	1,29
1,57	0,1703	0,84343764	0,74
1,77	0,1054	0,89992368	0,43
1,97	0,0687	0,93357031	0,26
2,17	0,0467	0,9543703	0,17
2,37	0,0328	0,96770126	0,11
2,57	0,0237	0,97653102	0,07
2,77	0,0176	0,98255341	0,05
2,97	0,0133	0,98676897	0,04
3,17	0,0103	0,98978827	0,03
3,37	0,0080	0,99199525	0,02
3,57	0,0064	0,99363796	0,01
3,77	0,0051	0,99488067	0,01
3,97	0,0042	0,99583458	0,01

Wave Characteristic from ITTC Standard Spectrum,  $(hw)1/3 = 5,6849 \text{ ft}$

$\omega w$ [rad/sec] 1	S( $\omega w$ ) [ft <sup>2</sup> - sec] 2	Simpson's Multiplier 3	product 2x3 4	$\omega w^2$ 5	$\omega w^2$ S( $\omega w$ ) 6	Simpson's Multiplier 7	product 6x7 8	$\omega w^{-1}$ 9	$\omega w^{-1}$ S( $\omega w$ ) 9x2 10	Simpson's Multiplier 11	product 9x11 12
0,37	0,00	1	2,46954E-21	0,14	0,00	1	0,00	0,02	0,00	1	0,02
0,57	0,01	4	0,032527874	0,33	0,00	4	0,01	0,11	0,00	4	0,43
0,77	1,64	2	3,270610742	0,60	0,97	2	1,95	0,35	0,58	2	0,71
0,97	3,02	4	12,07466358	0,94	2,85	4	11,40	0,89	2,69	4	3,56
1,17	2,19	2	4,377266614	1,37	3,00	2	6,01	1,88	4,12	2	3,77
1,37	1,29	4	5,151625451	1,88	2,42	4	9,69	3,54	4,56	4	14,15
1,57	0,74	2	1,475156579	2,47	1,82	2	3,64	6,10	4,50	2	12,20
1,77	0,43	4	1,729356279	3,14	1,36	4	5,43	9,85	4,26	4	39,39
1,97	0,26	2	0,52543104	3,89	1,02	2	2,04	15,11	3,97	2	30,21
2,17	0,17	4	0,662672161	4,72	0,78	4	3,12	22,23	3,68	4	88,94
2,37	0,11	2	0,216259553	5,62	0,61	2	1,22	31,63	3,42	2	63,26
2,57	0,07	4	0,291160129	6,61	0,48	4	1,93	43,73	3,18	4	174,90
2,77	0,05	2	0,100723148	7,68	0,39	2	0,77	59,00	2,97	2	118,00
2,97	0,04	4	0,142795165	8,83	0,32	4	1,26	77,96	2,78	4	311,86
3,17	0,03	2	0,051708827	10,06	0,26	2	0,52	101,17	2,62	2	202,34
3,37	0,02	4	0,076342975	11,37	0,22	4	0,87	129,21	2,47	4	516,83
3,57	0,01	2	0,028662868	12,76	0,18	2	0,37	162,70	2,33	2	325,41
3,77	0,01	4	0,043709381	14,22	0,16	4	0,62	202,32	2,21	4	809,30
3,97	0,01	1	0,008447499	15,77	0,13	1	0,13	248,78	2,10	1	248,78
		SUM <sub>11</sub>	30,26	ft <sup>2</sup> -sec		SUM <sub>7</sub>	50,97	ft <sup>2</sup> /sec		SUM <sub>11</sub>	2964,04
											ft <sup>2</sup> /sec <sup>3</sup>

$$\begin{aligned}
 m_0 &= 1/3 \times \Delta\omega w \times \text{SUM}_0 \\
 &= 1/3 \times 0,20 \times 30,26 \\
 &= 2,01727 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (H)1/3 &= 4,0 \sqrt{m_0} \\
 &= 4,0 \sqrt{2,017} \\
 &= 5,7 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (H) \text{ average} &= 2,506 \sqrt{m_0} \\
 &= 2,506 \sqrt{2,017} \\
 &= 3,56 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (H)1/10 &= 5,090 \sqrt{m_0} \\
 &= 5,090 \sqrt{2,017} \\
 &= 7,23 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (H)1/100 &= 6,671 \sqrt{m_0} \\
 &= 6,671 \sqrt{2,017} \\
 &= 9,47 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_2 &= 1/3 \times \Delta\omega w \times \text{SUM}_2 \\
 &= 1/3 \times 0,20 \times 50,97 \\
 &= 3,40 \text{ ft}^2/\text{sec}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_4 &= 1/3 \times \Delta\omega w \times \text{SUM}_4 \\
 &= 1/3 \times 0,20 \times 2964,04 \\
 &= 197,60 \text{ ft}^2/\text{sec}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N0 &= 1/2\pi \times \sqrt{m_2 / m_0} \\
 &= 1/2\pi \times \sqrt{3,40 / 2,0173} \\
 &= 0,207 \text{ sec}^{-1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T \text{ average} &= 1/N0 \\
 &= 1 / 0,207 \\
 &= 4,84 \text{ sec}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_e &= 2\pi \times \sqrt{m_2 / m_4} \\
 &= 2\pi \times \sqrt{3,40 / 197,60} \\
 &= 0,82 \text{ sec}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (Lw)z &= L \text{ average} \\
 &= 2\pi g \times \sqrt{m_0 / m_4} \\
 &= 2\pi g \times \sqrt{2,0173 / 197,603} \\
 &= 20,42 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

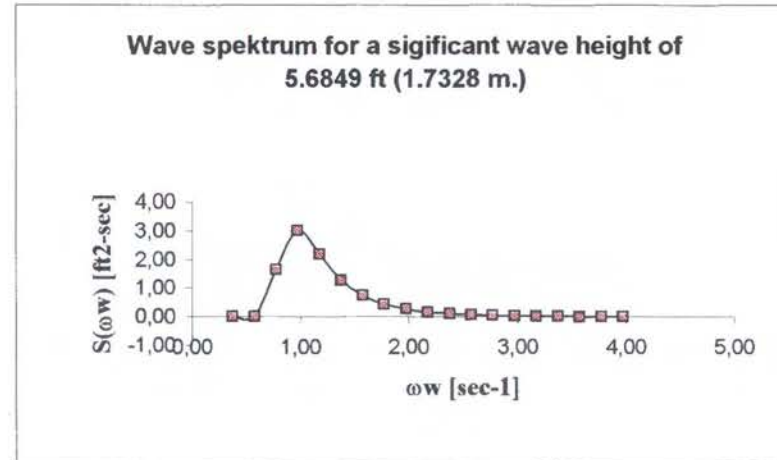
$$\begin{aligned}
 \text{Energi} &= \rho g m_0 \\
 &= 63,91124615 : 2,017 \\
 &= 128,93 \text{ lb-sec/ft.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e^2 &= (m_0 m_4 - m_2^2) / m_0 m_4 \\
 &= (2,0173 \times 197,60 - 3,40^2) / 2,0173 \times 197,60 \\
 &= 0,9710
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CF &= (1 - e^2)^{1/2} \\
 &= (1 - 0,971032)^{1/2} \\
 &= 0,17
 \end{aligned}$$

Maka, amplitudo gelombang signifikan adalah

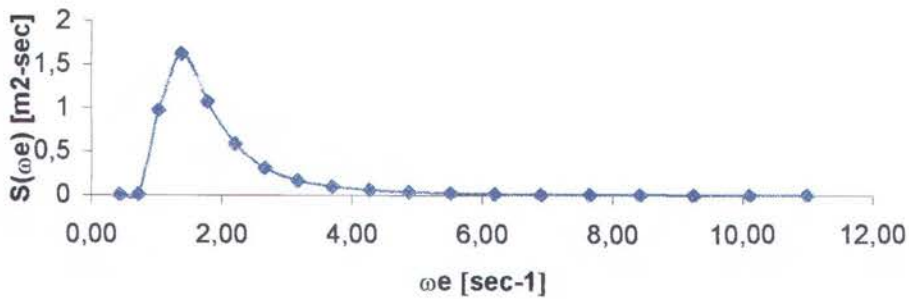
$$\begin{aligned}
 (\zeta_a)1/3 &= 2\sqrt{m_0} \times CF \\
 &= 2 \sqrt{2,01727} \times 0,17 \\
 &= 0,48 \text{ ft}
 \end{aligned}$$



## ENCOUNTERING WAVE SPECTRUM

$\omega_w$ [rad/sec]	$S(\omega_w)$ [ft <sup>2</sup> -sec]	$\eta = \omega_w V \cos \mu / g$	$\omega_e = \omega_w(1-\eta)$	$S(\omega_e)$ [ft <sup>2</sup> -sec]
0,371484	0,00	-0,17	0,43	1,855E-21
0,571484	0,01	-0,25	0,72	0,0053881
0,771484	1,64	-0,34	1,04	0,969097
0,971484	3,02	-0,43	1,39	1,6180077
1,171484	2,19	-0,52	1,78	1,0708207
1,371484	1,29	-0,61	2,21	0,5795898
1,571484	0,74	-0,70	2,67	0,3072839
1,771484	0,43	-0,79	3,17	0,1676687
1,971484	0,26	-0,88	3,70	0,0952991
2,171484	0,17	-0,97	4,27	0,0564464
2,371484	0,11	-1,06	4,88	0,0347329
2,571484	0,07	-1,15	5,52	0,0221153
2,771484	0,05	-1,23	6,19	0,0145151
2,971484	0,04	-1,32	6,91	0,0097863
3,171484	0,03	-1,41	7,65	0,0067575
3,371484	0,02	-1,50	8,44	0,0047664
3,571484	0,01	-1,59	9,25	0,0034265
3,771484	0,01	-1,68	10,11	0,0025059
3,971484	0,01	-1,77	11,00	0,0018611

**Encountering wave spektrum for a significant wave height of 2.81 m**

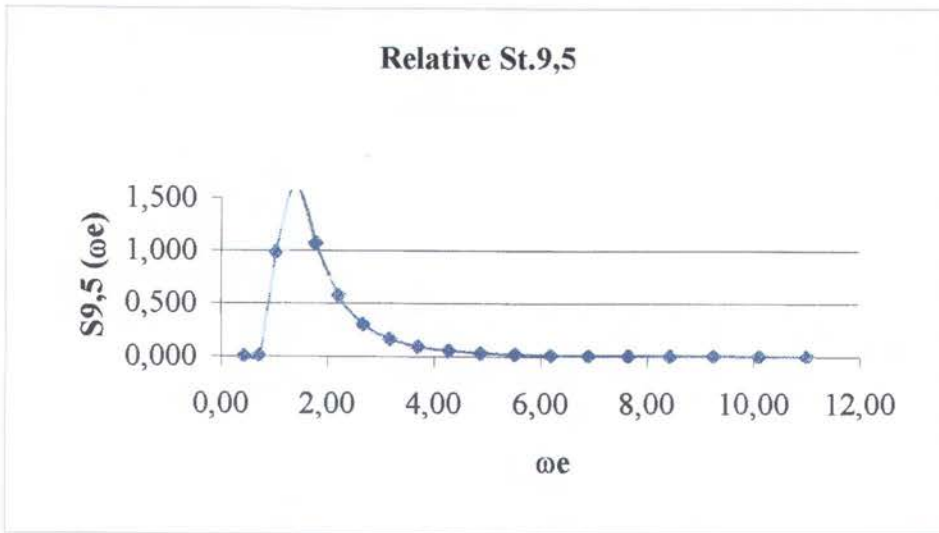


## RAO & RELATIVE STATION 9.5 MOTION SPECTRUM

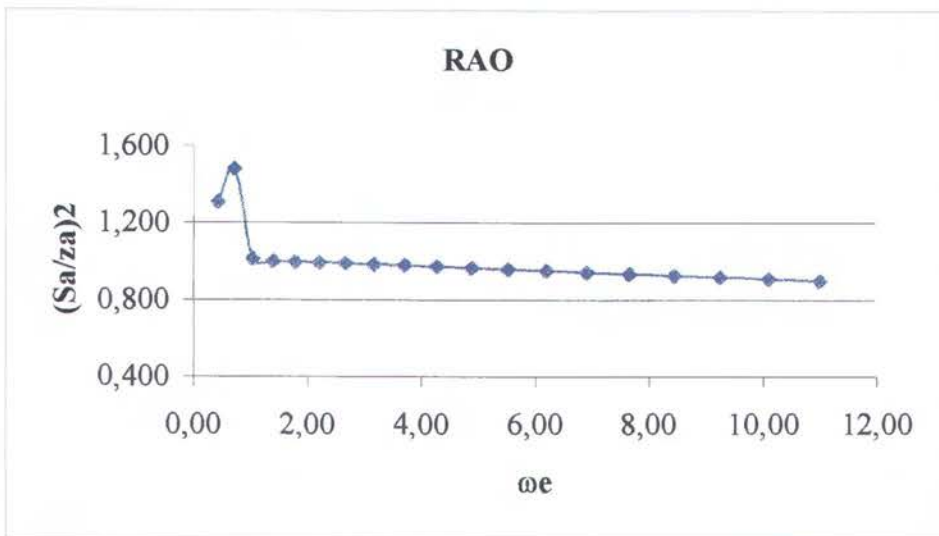
Encountering Wave Spectrum:

$\omega_w$ [rad/sec]	$\omega_e$ [rad/sec]	Sa [ft]	$\zeta_a$ [ft]	Sa/ $\zeta_a$	(Sa/ $\zeta_a$ ) <sup>2</sup> RAO	Sz ( $\omega_e$ ) [ft <sup>2</sup> -sec]	S <sub>9,5</sub> ( $\omega_e$ ) [ft <sup>2</sup> -sec]	S <sub>9,5</sub> ( $\omega_w$ ) [ft <sup>2</sup> -sec]
0,37	0,43	4,182	-3,661	-1,142	1,304	0,000	0,000	3,221E-21
0,57	0,72	1,881	-1,547	-1,216	1,479	0,005	0,008	1,202E-02
0,77	1,04	8,541	-8,489	-1,006	1,012	0,969	0,981	1,655E+00
0,97	1,39	5,351	-5,354	-1,000	0,999	1,618	1,617	3,016E+00
1,17	1,78	3,673	-3,682	-0,997	0,995	1,071	1,065	2,178E+00
1,37	2,21	2,675	-2,686	-0,996	0,992	0,580	0,575	1,277E+00
1,57	2,67	2,033	-2,046	-0,994	0,987	0,307	0,303	7,282E-01
1,77	3,17	1,596	-1,610	-0,991	0,982	0,168	0,165	4,248E-01
1,97	3,70	1,285	-1,300	-0,988	0,977	0,095	0,093	2,567E-01
2,17	4,27	1,056	-1,072	-0,985	0,971	0,056	0,055	1,609E-01
2,37	4,88	0,882	-0,898	-0,982	0,965	0,035	0,034	1,043E-01
2,57	5,52	0,748	-0,764	-0,979	0,958	0,022	0,021	6,971E-02
2,77	6,19	0,641	-0,658	-0,975	0,950	0,015	0,014	4,785E-02
2,97	6,91	0,555	-0,572	-0,971	0,942	0,010	0,009	3,364E-02
3,17	7,65	0,485	-0,502	-0,966	0,934	0,007	0,006	2,414E-02
3,37	8,44	0,428	-0,445	-0,962	0,925	0,005	0,004	1,765E-02
3,57	9,25	0,379	-0,396	-0,957	0,916	0,003	0,003	1,312E-02
3,77	10,11	0,338	-0,355	-0,952	0,906	0,003	0,002	9,897E-03
3,97	11,00	0,303	-0,320	-0,946	0,895	0,002	0,002	7,564E-03





Grafik Relative Station 9,5



Grafik RAO

**DECK WETNESS & SLAMMING (pada Sea State 2,  $\mu = 0^\circ$ )**

$\omega w$	S9.5 ( $\omega e$ ) [ft <sup>2</sup> -sec]	Simpson's Multiplier	product	$\omega w^2$	$\omega w^2$ S9.5	Simpson's Multiplier	product	$\omega w^4$	$\omega w^4$ S9.5	Simpson's Multiplier	product
0,37	0,00	1	0,00	0,14	0,00	1	0,00	0,02	0,00	1	0,00
0,57	0,01	4	0,03	0,33	0,00	4	0,01	0,11	0,00	4	0,00
0,77	0,98	2	1,96	0,60	0,58	2	1,17	0,35	0,35	2	0,69
0,97	1,62	4	6,47	0,94	1,53	4	6,10	0,89	1,44	4	5,76
1,17	1,07	2	2,13	1,37	1,46	2	2,92	1,88	2,01	2	4,01
1,37	0,57	4	2,30	1,88	1,08	4	4,32	3,54	2,03	4	8,13
1,57	0,30	2	0,61	2,47	0,75	2	1,50	6,10	1,85	2	3,70
1,77	0,16	4	0,66	3,14	0,52	4	2,07	9,85	1,62	4	6,49
1,97	0,09	2	0,19	3,89	0,36	2	0,72	15,11	1,41	2	2,81
2,17	0,05	4	0,22	4,72	0,26	4	1,03	22,23	1,22	4	4,88
2,37	0,03	2	0,07	5,62	0,19	2	0,38	31,63	1,06	2	2,12
2,57	0,02	4	0,08	6,61	0,14	4	0,56	43,73	0,93	4	3,70
2,77	0,01	2	0,03	7,68	0,11	2	0,21	59,00	0,81	2	1,63
2,97	0,01	4	0,04	8,83	0,08	4	0,33	77,96	0,72	4	2,88
3,17	0,01	2	0,01	10,06	0,06	2	0,13	101,17	0,64	2	1,28
3,37	0,00	4	0,02	11,37	0,05	4	0,20	129,21	0,57	4	2,28
3,57	0,00	2	0,01	12,76	0,04	2	0,08	162,70	0,51	2	1,02
3,77	0,00	4	0,01	14,22	0,03	4	0,13	202,32	0,46	4	1,84
3,97	0,00	1	0,00	15,77	0,03	1	0,03	248,78	0,41	1	0,41
		SUM <sub>0</sub>	14,82			SUM <sub>2</sub>	21,89			SUM <sub>4</sub>	53,64

$$\begin{aligned}
 m_0 &= 1/3 \times \Delta\omega w \times \text{SUM}_0 \\
 &= 1/3 \times 0,2 \times 14,82 \\
 &= 0,9883 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{HS9.5})_{1/3} &= 4,0 \sqrt{m_0} \\
 &= 4,0 \sqrt{0,9883} \\
 &= 4,0 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{HS9.5})_{\text{avrg}} &= 2,506 \sqrt{m_0} \\
 &= 2,506 \sqrt{0,988} \\
 &= 2,49 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{HS9.5})_{1/10} &= 5,090 \sqrt{m_0} \\
 &= 5,090 \sqrt{0,988} \\
 &= 5,06 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\text{HS9.5})_{1/100} &= 6,671 \sqrt{m_0} \\
 &= 6,671 \sqrt{0,988} \\
 &= 6,63 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_2 &= 1/3 \times \Delta\omega w \times \text{SUM}_2 \\
 &= 1/3 \times 0,2 \times 21,89 \\
 &= 1,45941 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_4 &= 1/3 \times \Delta\omega w \times \text{SUM}_4 \\
 &= 1/3 \times 0,2 \times 53,64 \\
 &= 3,58 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_0 &= 1/2\pi \times \sqrt{m_2 / m_0} \\
 &= 1/2\pi \times \sqrt{1,4594 / 0,9883} \\
 &= 0,193 \text{ sec}^{-1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{\text{average}} &= 1/N_0 \\
 &= 1 / 0,193 \\
 &= 5,17 \text{ sec}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_c &= 2\pi \times \sqrt{m_2 / m_4} \\
 &= 2\pi \times \sqrt{1,4594 / 3,58} \\
 &= 4,01 \text{ sec}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (Lw)z &= L_{\text{average}} \\
 &= 2\pi \times \sqrt{m_0 / m_4} \\
 &= 2\pi \times \sqrt{0,9883 / 3,576} \\
 &= 106,25 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Energi} &= \rho g m_0 \\
 &= 63,91124615 \times 0,9883 \\
 &= 63,1641 \text{ lb-sec/ft.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e^2 &= (m_0 m_4 - m_2^2) / m_0 m_4 \\
 &= (0,9883 \times 3,58 - 1,46^2) / 0,9883 \times 3,58 \\
 &= 0,397331
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CF &= (1 - e^2)^{1/2} \\
 &= (1 - 0,3973)^{1/2} \\
 &= 0,7763
 \end{aligned}$$

Maka, amplitudo gerakan significant relatif station 9.5 adalah

$$\begin{aligned}
 (\text{Sa9.5})_{1/3} &= 2\sqrt{m_0} \times CF \\
 &= 2\sqrt{0,9883} \times 0,7763 \\
 &= 1,54 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{freeboard} &= f \\
 &= 3,31 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

jika  $(\text{Sa9.5})_{1/3} > \text{freeboard}$  (H9.5 - T freeboard), maka terjadi deck wetness

Probabilitas

$$\begin{aligned}
 P_f = n &= e^{-(f)^2/2m_0} \\
 &= 0,003954259
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 NT &= (P_f / T_{\text{average}}) \times 3600 \\
 &= \frac{0,003954259}{5,17} \times 3600 \\
 &= 2,753151781 \text{ per-hour.}
 \end{aligned}$$

jadi akan terjadi deck wetness sebanyak (standart Deck Wetness  $\leq 30$  kali/jam) = 2,753152 kali tiap jam. terjadi deck wetness memenuhi standart

$$\text{Prob (forefoot emergence)} = e^{-(T^2/2m_0s)} = 0,15829$$

$$T = 1/2\pi(2m_2s/2m_0s)^{0.5} = 1,90881 \text{ sec}$$

$$\text{Prob Slamming} = e^{-(T^2/2m_0s + v_0^2/2m_2s)} = 8,5E-07 \text{ (} v_0 = \text{threshold velocity, diambil } 0,92 \text{ ft/sec dr pembacaan grafik)}$$

$$\text{Freq Slamming (Ns)} = Ns = 1/2\pi(m_2s/m_0s)^{1/2} \times \text{Prob \{slam\}} = 1,6E-07 \text{ sec}$$

Jadi akan terjadi Slamming sebanyak  
 (standart slamming  $\leq 32$  kali/jam) = 0,000589 kali tiap jam  
 tidak terjadi slamming  
 memenuhi standart

Threshold velocity ( $v_0$ ) dengan scale factor, dimana diketahui Threshold vel. Untuk kapal dengan L = 520 ft = 12 ft/sec  
 kapal dengan L = 2000 ft =  $12\sqrt{\lambda}$ ,  $\lambda$  = scale factor dari 520 ft = 23,53394  
 di kapal ini dengan L = 1,28E+02 ft,  $\lambda$  = 2,46E-01, maka  $v_0$  = 5,953 ft/sec

## BIODATA PENULIS

### DATA PRIBADI



Nama lengkap Solikah, dilahirkan di Tulungagung pada tanggal 16 Agustus 1982. Memulai pendidikan di TK Dharma Wanita desa Bantengan, Bandung, Tulungagung. Kemudian SDN Bantengan 01, MTs Al- Huda Bandung, SMUN 1 Pakel Tulungagung dan terakhir menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (Angkatan 2001) dengan Tugas Akhir berjudul “ Analisa Ketahanan Gelombang Kapal Ferry Ro – Ro 600 GT”.

Mempunyai hobi membaca, makan dan olah raga. Motto hidup adalah “Setiap waktu yang datang merupakan perjuangan”.