

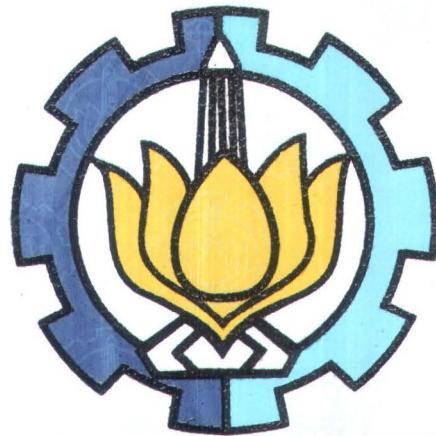
19.887/H/oy



## TUGAS AKHIR (KL 1702)

PREDIKSI DECKWETNESS PADA HYCAT AKIBAT  
GERAKAN KOPEL HEAVING-PITCHING DIATAS  
GELOMBANG ACAK

R S ke  
623.823  
ORG  
P-1  
2004



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	20-2-2004
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	219550

Oleh :

SINDHU PRATAMA

NRP. 4398.100.040

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2004

**PREDIKSI DECKWETNESS PADA HYCAT AKIBAT  
GERAKAN KOPEL HEAVING-PITCHING DIATAS  
GELOMBANG ACAK**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana  
Pada  
Jurusan Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

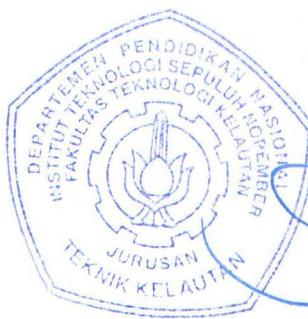
**Surabaya, 15 JANUARI - 2004**

**Mengetahui / Menyetujui**

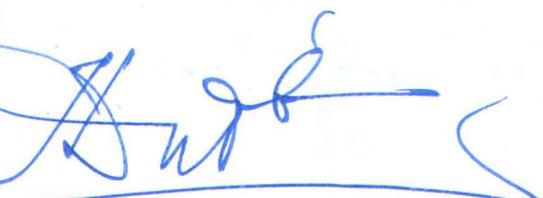
**Dosen Pembimbing I**



**Ir. M. Murtedjo, M.Eng.**  
**NIP. 130.687.431**



**Dosen Pembimbing II**



**Dr. Ir. Eko Budi Djatmiko, MSc.**  
**NIP. 131.407.592**

## **ABSTRAK**

Tugas akhir ini membahas tentang prediksi deckwetness pada HYCAT akibat gerakan kopel heaving-pitching diatas gelombang acak. Teori yang digunakan dalam perhitungan adalah teori strip untuk memperoleh gerakan kopel heaving-pitching dari haluan (bow), teori spektrum gelombang ITTC untuk memperoleh spectrum respons dari kopel, dan untuk probability dari deckwetness menggunakan formulasi statistik tertentu. Dalam perhitungan prediksi deckwetness ini digunakan variasi kecepatan HYCAT 10 knot, 20 knot, 30 knot dan variasi tinggi gelombang signifikan 1~10 m. Hasil prediksi menunjukkan bahwa untuk kecepatan 10 knot dengan variasi tinggi gelombang signifikan 1~10 m menunjukkan bahwa deckwetness mulai terjadi pada saat tinggi gelombang signifikan mencapai 3 m dengan probability sebesar 1,61%, untuk kecepatan 20 knot dengan variasi tinggi gelombang signifikan 1~10 m menunjukkan bahwa deckwetness mulai terjadi pada saat tinggi gelombang signifikan mencapai 4 m dengan probability sebesar 3,56%, sedangkan untuk kecepatan 30 knot dengan variasi tinggi gelombang signifikan 1~10 m menunjukkan bahwa deckwetness mulai terjadi pada saat tinggi gelombang signifikan mencapai 3 m dengan probability sebesar 0,01%. Dari hasil prediksi ini juga menunjukkan bahwa probability dari deckcetness akan naik seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang signifikan, tetapi probability dari deckwetness akan menurun seiring dengan bertambahnya kecepatan dari HYCAT. Sehingga katamaran yang dikaji relative aman bila dioperasikan pada perairan Indonesia, dimana perairan Indonesia tinggi gelombangnya rata-rata tidak melebihi 3 m.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan atas kehadiran ALLAH SWT yang telah memberikan limpahan rahmat dan karunia sehingga penulis berhasil menyelesaikan penulisan Tugas akhir dengan judul STUDI DECKWETNESS HYCAT PADA GELOMBANG REGULAR AKIBAT GERJAN KOPEL HEAVING – PITCHING.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan strata – 1 (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi kelautan – ITS Surabaya. Dalam Tugas Akhir ini di analisa terjadinya deckwetness pada HYCAT akibat gerakan kopel heaving – pitching ketika bertemu dengan gelombang regular.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan Tugas akhir ini tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan . oleh karenanya kritik dan saran sangat diharapkan demi kesempurnaan laporan ini. Semoga laporan Tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan teman-teman mahasiswa lainnya.

Surabaya, Januari 2004

Sindhu Pratama

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Dalam penggerjaan Tugas akhir ini dan selama masa-masa perkuliahan di kampus Teknik Kelautan ,FTK-ITS, begitu banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dorongan baik material maupun spiritual. Sehingga sangatlah wajib hukumnya bagi penulis untuk menyiapkan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi :

1. Bapak dan Ibuku tercinta atas limpahan kasih sayang dan pengorbanan yang begitu besar sehingga anakmu ini dapat mengenyam pendidikan yang belum pernah dirasakan oleh keduanya.
2. Adik- adikku (Angga dan I'ik ) yang telah mengisi dan menemani kehidupanku serta tetap sabar menjadi sasaran amarahku ketika aku stress.
3. Nenek dan kakekku yang telah memberikan banyak wejangan ketika semangatku mulai goyah.
4. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng. selaku dosen pembimbing I yang telah begitu banyak membantu meluangkan waktu, tenaga dan fikiran membimbing penulis dalam penyelesaian Tugas akhir ini.
5. Dr.Ir.Eko Budi Djatmiko,Msc. selaku dosen pembimbing II yang juga turut membimbing penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Ir. Imam Rochani,Msc. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS.
7. Dr.Ir.Handayanu,Msc. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan , FTK-ITS.

8. "Someone special" ku yang telah memberiku semangat untuk segera lulus dan mencarinya.
9. Patner Ku (CE CEP) atas kerjasama dan suka duka selama penggerjaan TA ini.(Akhirnya kita lulus CEP!!)
10. Nuril,Rudy, Puguh, Satryanto , Destra *bussines man* atas persahabatan yang telah kalian berikan serta kritikan-kritikannya.
11. Novian atas pinjaman komputernya selama penulis masih kuliah dan waktunya menemani *melekan* selama pencarian jurnal-jurnal dan sabar menerima keluhanku (terutama pada saat bokek).
12. EX-2-5 SMUXI Empink, Supri,Wawan, Titis, Dian "*marduk*", Ama, atas suntikan dana (*ojok bosen-bosen*) setiap kita jalan-jalan.
13. Tim sumeh Laut 98 ( Mamah, Lalu) tetaplah sumeh walau apapun yang terjadi HIDUP SUMEH.
14. Flum Tank team (Rouf, Dikor, Dony,Wiyono,Iwan,Jatmiko ayo ndang lulus cak), Zakki , Panggi,Sugi "*the Mbulet man*" , Yossi ( wisuda bareng je!).
15. Kos-kosan 6A/2 yang telah membantu penulis dalam mengilangkan kejemuhan dengan sepak bola.
16. Tim mbulet (Rendra, , Sulung) semoga *ojo* tambah mbulet
17. Saudara-saudaraku angkatan 98 yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu, atas warna-warni kehidupan kampusku .
18. Heru Setoe (Mr.Black) moga-moga dapat kembali ke wujud semula.



19. Adik-adiku angkatan 99,00,01,02,dan 03 dan yang akan datang terima kasih  
dan tetap semangat (ingat kata Sony Tulung!)

Sebenarnya masih banyak pihak-pihak yang belum penulis sebutkan, semoga hal ini tidak membuat kecewa dan memutuskan hubungan tali sillaturahmi kita.  
Untuk itu penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya. Terima kasih.

Hormat saya,

Penulis

## **DAFTAR ISI**

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Abstrak	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel	ix
Daftar Notasi	x
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Permasalahan	I-4
1.3 Tujuan	I-4
1.4 Manfaat	I-5
1.5 Batasan Masalah	I-5
1.6 Sistematika laporan	I-6
	II-1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka	II-1

2.2	Dasar Teori	II-2
2.2.1	Hukum Kesamaan	II-2
2.2.1.1	Kesamaan Geometris	II-2
2.2.2	Gerakan Struktur Terapung	II-4
2.2.3	Gerak Bangunan Apung Diatas Gelombang Acak	II-22
2.2.3.1	Spectrum Gelombang	II-24
2.2.3.2	Spektrum Gelombang ITTC	II-25
2.2.3.3	Response Amplitude Operator	II-27
2.2.3.4	Response Spektra Relative Bow Motion pada Gelombang irreguler	II-28
2.2.4	Probability of Deckwetness	II-29
 BAB III METODOLOGI		III-1
3.1	Diagram Alir	III-1
3.2	Metodologi	III-2
3.3	Model HYCAT	III-2
		IV-1
 BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Data-data Ukuran Kapal	IV-1
4.2	Hasil Perhitungan	IV-1
4.2.1	Perhitungan Motion Kopel Heaving-Pitching	IV-1

4.2.2	Perhitungan Relative Motion RAO	IV-2
4.2.3	Penentuan Spectral Analysis Relative Motion di Gelombang acak	IV-4
4.2.4	Penentuan Probability of Deckweteness	IV-6
4.3	Pembahasan	IV-9
4.3.1	Perbandingan Hasil Perhitungan Probability of Deckwtness	IV-9
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	V-1
5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran	V-2
Daftar Pustaka		
Lampiran-lampiran		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	1.1	Konfigurasi Bangunan Apung Type HYCAT	I-2
Gambar	1.2	HYCAT type ferry Super Jet-30	I-3
Gambar	2.1	Enam derajat kebebasan gerakan struktur catamaran	II-4
Gambar	2.2	Gelombang, heaving, dan pitching untuk strip teori	II-9
Gambar	2.3	Koordinat system untuk strip teori	II-10
Gambar	2.4	Prediksi Gerak Kapal Diatas Gelombang Acak	II-23
Gambar	3.1	Diagram alir metodologi TA	III-1
Gambar	3.2	Rencana garis HYCAT	III-3
Gambar	4.1	RAO untuk $V_s = 10$ knot	IV-2
Gambar	4.2	RAO untuk $V_s = 20$ knot	IV-3
Gambar	4.3	RAO untuk $V_s = 30$ knot	IV-3
Gambar	4.4	Analisis spectral RBM untuk $V_s = 10$ knot	IV-4
Gambar	4.5	Analisis spectral RBM untuk $V_s = 20$ knot	IV-5
Gambar	4.6	Analisis spectral RBM untuk $V_s = 30$ knot	IV-5
Gambar	4.7	Grafik probability of deckwetness untuk $V_s = 10$ knot	IV-7
Gambar	4.8	Grafik probability of deckwetness untuk $V_s = 20$ knot	IV-8
Gambar	4.9	Grafik probability of deckwetness untuk $V_s = 30$ knot	IV-9
Gambar	4.10	Grafik perbandingan probability of deckwetness	IV-10

## **DAFTAR TABEL**

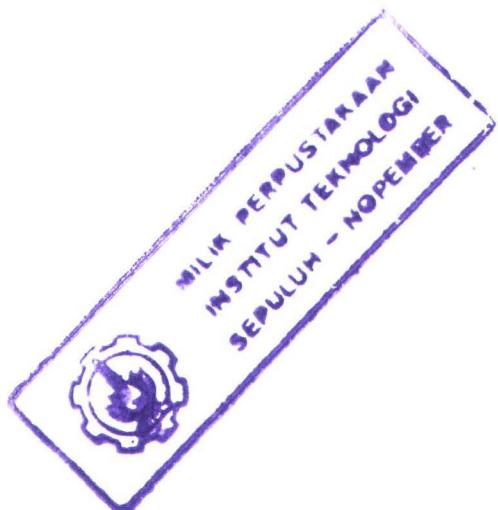
Tabel	4.1	Probability of deckwetness untuk Vs = 10 knot	IV-6
Tabel	4.2	Probability of deckwetness untuk Vs = 20 knot	IV-7
Tabel	4.3	Probability of deckwetness untuk Vs = 30 knot	IV-8

## DAFTAR NOTASI

a	: Massa Tambah
$a_n$	: Sectional Added Mass
$a_n w_r$	: Gaya hidrodinamika akibat percepatan massa tambah
$a_x$	: Percepatan Horisontal
$a_y$	: Percepatan vertical
$A_b$	: Amplitudo gerakan benda
$A_d$	: Amplitudo gerakan gelombang
$A_w$	: Luas garis air
$A_{yy}$	: Massa tambah momen inersia akibat gerakan pitching
$(\xi)$	: Amplitudo ratio
b	: Koefisien redaman
$b_n w_r$	: Gaya damping akibat kecepatan relatif
B	: Koefisien momen damping
$\beta_n$	: Koefisien luasan strip
Bm	: Lebar model
Bn	: Lebar permukaan garis air
Bp	: Lebar prototype
c	: Koefisien pengembali
Ca	: Koefisien massa tambah
Cd	: Koefisien bentuk

Cf	: Koefisien gesek
Cg	: Group Celerity
cz	: Gaya pemgembali
$c_n z_r$	: Gaya hidrostatis akibat perubahan posisi
d	: Kedalaman
Dp	: Diameter prototype
Dm	: Diameter model
$e^{-kz}$	: Faktor penurunan tekanan
F	: Gaya eksitasi
$F_a$	: Gaya inersia
$F_c$	: Gaya pengembali
$F_d$	: Gaya redaman
$F_n$	: Froude Number
$F_o$	: Amplitudo gaya eksitasi
g	: Percepatan gravitasi ( $9.81 \text{ m/dt}^2$ )
H	: Tinggi gelombang
$I_{yy}$	: Massa inersia model kapal
K	: Angka gelombang
$K_{yy}$	: Jari – jari girasi model kapal
$L_m$	: Panjang model
$L_p$	: Panjang prototype
m	: Massa benda
$m_n z_n^{**}$	: Gaya inersia akibat percepatan massa strip

M	: Exciting moment (besar momen yang bekerja pada benda apung)
P	: Tekanan
Rn	: Reynold number
S <sub>n</sub>	: Luasan melintang strip
S	: Luasan permukaan basah
t	: Waktu (dt)
T	: Periode
T <sub>m</sub>	: Tinggi model
T <sub>n</sub>	: Sarat
T <sub>p</sub>	: Tinggi prototype
V	: Kecepatan
W	: Kerja (daya)
X	: Lengan longitudinal terhadap midship
z	: Simpangan heaving struktur
$\dot{z}$	: Kecepatan heaving struktur
$\ddot{z}$	: Percepatan heaving struktur
Z <sub>o</sub>	: Amplitudo simpangan heaving
$\lambda$	: Panjang gelombang
$\alpha$	: Sudut beda phase
$\eta$	: Profil permukaan gelombang
$\pi$	: phi = 3.141592
$\rho$	: Massa jenis fluida
$\phi$	: Kecepatan potensial



$\theta$	: Simpangan angular akibat gerakan pitching
$\dot{\theta}$	: Kecepatan angular
$\ddot{\theta}$	: Percepatan angular
$\nu$	: viskositas
$\omega$	: Kecepatan sudut ( $2\pi/\tau$ )
$\omega_e$	: Frekwensi encountering
$\omega_n$	: Frekwensi natural
$\nabla$	: Displcement
$\ddot{\zeta}$	: Percepatan fluida
$\dot{\zeta}$	: Kecepatan fluida

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

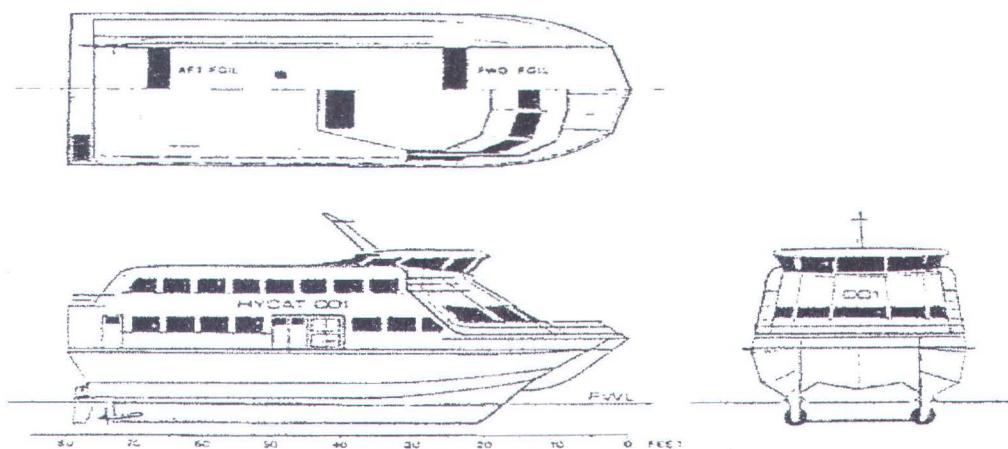
### **I.1. Latar Belakang**

Negara kita, Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar dimana hampir dua pertiga luas wilayahnya berupa lautan, sehingga sangat dibutuhkan sarana penghubung yang ekonomis antara pulau yang satu dengan yang lain.

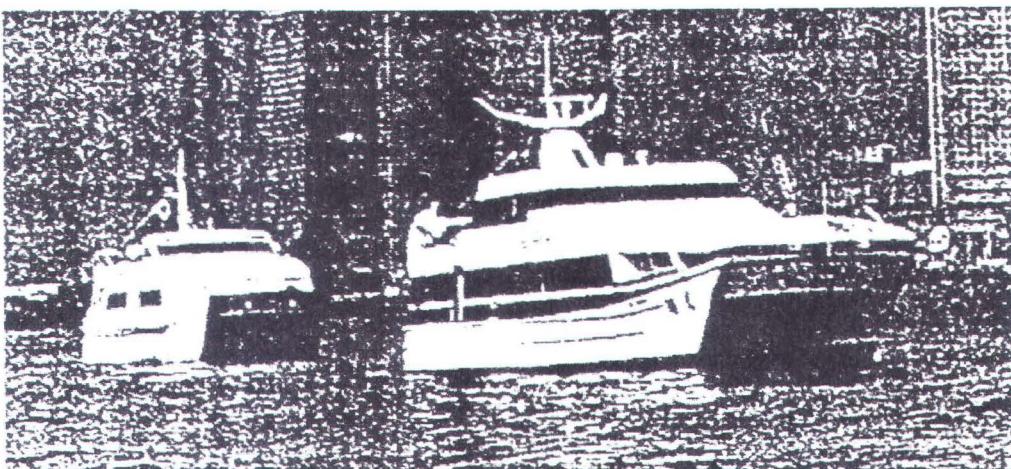
Dalam melakukan analisa kebutuhan akan transportasi laut baik itu untuk angkutan barang atau penumpang dimasa mendatang tidak hanya didasarkan pada kapasitasnya saja, tetapi pada kenyamanan serta kecepatan dalam pengiriman. Perkembangan teknologi dewasa ini khususnya dibidang kemaritiman telah menciptakan alternatif-alternatif lain dalam penggunaan bangunan apung yang selama ini telah menggunakan bangunan apung mono-hull. Alternatif-alternatif itu yaitu peluang akan penggunaan jenis bangunan apung non-konvensional, yang pada umumnya mempunyai karakteristik kecepatan dan kenyamanan lebih tinggi dibanding type konvensional, antara lain bangunan apung hidrofoil cepat, katamaran cepat dan SWATH sebagai pengganti bangunan apung konvensional dalam kaitannya dengan peningkatan aspek pelayanan tersebut. Meskipun sarana transportasi laut di Indonesia cukup memadai dengan keanekaragaman jenis atau tipe bangunan apung dari rancang bangun yang konvesional sampai yang canggih seperti bangunan apung barang (general cargo), bangunan apung tanker, bangunan apung ferry, bangunan apung jetfoil dan lain-lain namun demikian bangunan

apung tipe katamaran ini sebagai wahana transportasi laut belum banyak berkembang di Indonesia.

HYCAT adalah salah satu type bangunan apung yang dapat dipilih sebagai salah satu alternatif.Konsep ini telah direalisasikan berupa bangunan apung eksperimental (Kawaguchi et.al. 1991) dan bangunan apung ferry penumpang (Arii et.al.1993) seperti yang terlihat pada gambar 1.2. HYCAT adalah kombinasi dari lambung katamaran dengan dua buah fully submerged hydrofoil yang dipasang secara tandem pada bagian haluan dan buritan (gambar 1.1).



**Gambar 1.1.** Konfigurasi bangunan apung type HYCAT (Calkins,1991)



Gambar 1.2. HYCAT tipe ferry SuperJet-30(Arii et.al.1993)

Type ini memiliki banyak sekali keunggulan antara lain dalam pengoperasian memberikan karakteristik gerakan yang stabil karena memiliki dua badan penyangga (double hull) yang ramping, serta pengaruh gaya gelombang besar yang dapat menimbulkan goncangan pada bangunan apung dapat diperkecil lebih lincah dalam berlayar karena tekanan terhadap permukaan air laut akan lebih kecil dibanding dengan sistem monohull.

Gerakan katamaran ataupun bangunan apung lainnya dilaut yang bergelombang banyak dipengaruhi oleh efek-efek hidrodinamika, seperti gerakan heaving dan pitching yang pada saat-saat tertentu terdapat limpahan air pada geladak bangunan apung (deck wetness) akibat dari pertemuan gelombang dengan bangunan apung. Deckwetness akan membawa dampak bagi bangunan apung tersebut antara lain bangunan apung akan mengalami pengurangan kecepatan. Untuk memperkirakan terjadinya deckwetness perlu diadakan beberapa analisa yakni analisa terhadap gelombang karena gelombang yang dialami bangunan

apung dilaut lepas adalah gelombang acak dengan tinggi gelombang yang bervariasi, pertemuan gelombang pada arah *headsea* dengan bangunan apung inilah yang akhirnya dapat mengakibatkan terjadinya deckwetness, analisa gerakan kopel heaving dan pitching pada bangunan apung, serta analisa probabilitas deckwetness pada freeboard (Bhattacharyya, 1978).

Berangkat dari pertimbangan diatas maka dalam Tugas akhir ini penulis akan mencoba memprediksikan probability terjadinya deckwetness pada bangunan apung, dengan model bangunan apung yang digunakan adalah bangunan apung tipe katamaran jenis HYCAT. Maka dipilih judul PREDIKSI DECKWETNESS PADA HYCAT AKIBAT GERAKAN KOPEL HEAVING-PITCHING DIATAS GELOMBANG ACAK.

## I.2. Permasalahan

Permasalahan yang hendak diselesaikan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa besar kemungkinan terjadinya deck wetness .
2. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan dan tinggi gelombang terhadap terjadinya deckwetness.

## I.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui besarnya kemungkinan terjadinya deck wetness

2. Mengetahui pengaruh variasi kecepatan dan tinggi gelombang terhadap terjadinya deckwetness.

#### **I.4. Manfaat**

Hasil prediksi ini diharapkan dapat digunakan sebagai pembanding atau referensi bagi studi experimental tentang bangunan apung HYCAT atau pun dengan model bangunan apung yang lain khususnya mengenai perhitungan deck wetness. Ternyata deck wetness tersebut nantinya sangat berpengaruh terhadap power atau kecepatan bangunan apung, serta diharapkan dapat mengurangi kecelakaan yang timbul karena bangunan apung tidak dapat menahan limpahan air yang masuk keatas geladak.

#### **I.5. Batasan Masalah**

Untuk mempersempit ruang lingkup dan mempermudah penggerjaan Tugas Akhir ini, maka perlu adanya batasan-batasan sebagai berikut :

1. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan teori strip dengan arah gelombang dari depan (head seas) menggunakan variasi tinggi gelombang, dan kecepatan model HYCAT.
2. Pada gerakan kopel heaving dan pitching.
3. Power loss atau pengurangan kecepatan akibat deck wetness tidak diperhitungkan.
4. Interaksi gelombang antara kedua lambung lambung katamaran dianggap tidak ada.

5. Tahanan yang diakibatkan adanya foil diabaikan.
6. Efek tiga dimensi seperti interfensi antara strip atau hubungan antara elemen-elemen yang berdekatan diabaikan.

## I.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyelesaian penyusuna Tugas Akhir ini, telah disusun sistematika sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Diuraikan mengenai dasar pemikiran dan latar belakang yang melandasi Tugas Akhir ini, perumusan dan batasan permasalahan serta tujuan yang hendak dicapai.

BAB II Landasan Teori

Diuraikan mengenai tinjauan pustaka yang dipakai dalam penggerjaan Tugas Akhir ini yakni : hukum kesamaan, dan pemilihan teori gerakan struktur terapung, dan teori mengenai deckwetness.

BAB III Metodologi

Berisi penjelasan dan uraian tentang alur penggerjaan dari Tugas Akhir dan dimensi HYCAT.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Diuraikan mengenai perhitungan prediksi dari deckwetness dimana hasil tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik-grafik dari variasi kecepatan dan tinggi gelombang signifikan.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan hasil perhitungan prediksi deckwetness serta saran untuk penyempurnaan hasil penulisan Tugas Akhir.

## **BAB II**

# **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Bangunan apung type HYCAT memiliki gaya buoyancy yang diperoleh dari dua lambung (twin hull). HYCAT dapat menambah kemampuan operasi karena unjuk kerja olah gerak kapal yang baik dalam pelayaran, termasuk mengurangi penurunan kecepatan pada perairan laut yang buruk. Penyusunan badan kapal yang sedemikian rupa mengakibatkan penampang garis air HYCAT lebih kecil daripada kapal konvensional sehingga gerakan HYCAT akibat gelombang dapat diperkecil.

Pada dasarnya ada tiga metode yang digunakan dalam melakukan estimasi gerakan bangunan apung tipe HYCAT. Metode-metode ini adalah : a) teori Morison, b) teori strip, dan c) teori difraksi.

Penerapan teori Morison dalam beberapa hal bisa diterima bilamana asumsi sehubungan dengan benda apung dalam fluida dalam beberapa hal dapat diambil secara tepat (Lamb, 1988) .

Pemecahan masalah dengan teori strip pada dasarnya adalah seperti halnya dengan penerapan teori Morison, yakni lambung benam dibagi menjadi sejumlah elemen. Setiap elemen potongan diperhitungkan secara individual, sehingga interferensi antara dua potongan yang bersebelahan dapat diabaikan. Teori strip selanjutnya juga memerlukan asumsi kelangsungan longitudinal, dan dalam perhitungan gaya hidrodinamis.

Untuk menganalisa gerakan struktur terapung, penting diketahui terlebih dahulu tentang macam gerakan dan sistem koordinat. Gerakan-gerakan struktur terapung di laut mempunyai 6 (enam) macam gerakan, terdiri atas 3 (tiga ) gerakan translasi yaitu surging, swaying, dan heaving , serta 3 (tiga ) gerakan rotasi yaitu rolling , pitching dan yawing . Dari gerakan –gerakan struktur tersebut hanya tiga gerakan saja yang merupakan gerakan osilasi murni, jika struktur tersebut mengalami gangguan dari posisi kesetimbangannya , yaitu heaving, rolling dan pitching.

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Hukum Kesamaan

Agar diperoleh hasil spesifik gaya-gaya yang bekerja pada model sama dengan pada prototipe (full scale), maka model harus memenuhi beberapa hukum kesamaan. Kesamaan tersebut meliputi kesamaan geometri , kinematis, dinamik.

#### 2.2.1.1.Kesamaan Geometris

Kesamaan geometris adalah merupakan perbandingan antara ukuran model dengan prototype, perbandingan ini selalu menghasilkan harga yang konstan. Definisinya adalah sebagai berikut :

*Sebuah model dan prototipe adalah serupa secara geometris jika dan hanya jika semua ukuran benda dalam ketiga koordinatnya mempunyai nisbah skala linier yang sama.*

Perhatikan bahwa semua skala panjang harus sama. Keadaannya seperti bila memotret prototipe dan mengecilkan atau membesarkanya sampai sama besar dengan modelnya. Kalau model itu akan dibuat berukuran sepersepuluhnya prototipe, panjang, lebar dan tingginya masing-masing harus sepersepuluhnya pula. Bukan ini juga, bentuk keseluruhannya harus sepersepuluhnya bentuk prototipe. Secara teknis kita menyebut titik-titiknya *homolog*, artinya mempunyai letak nisbi yang sama. Maka syarat keserupaan geometris ialah bahwa semua titik yang homolog mempunyai nisbah skala linear yang sama. Ini berlaku untuk semua geometri fluida, maupun untuk geometri model :

*Semua sudut dan semua arah aliran dipertahankan dalam keserupaan geometris. Orientasi model dan prototipe terhadap sekelilingnya harus identik.*

Secara matematis hubungannya adalah :

$$\frac{D_p}{D_m} = \frac{L_p}{L_m} = \lambda = \text{konstan} \quad (2.1)$$

Dimana :

D<sub>p</sub> = diameter prototipe

D<sub>m</sub> = diameter model

$\lambda$  = angka nisbah

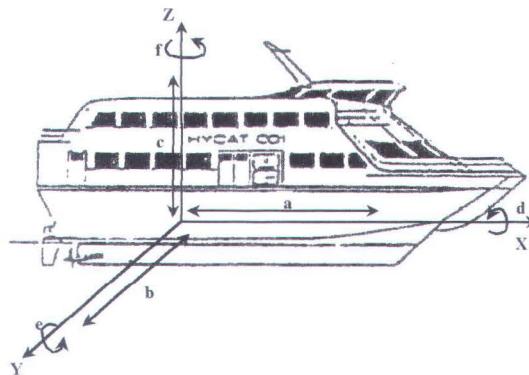
L<sub>p</sub> = panjang prototipe

L<sub>m</sub> = panjang model

## 2.2.2. Gerakan Struktur Terapung

Setiap struktur terapung yang bergerak di atas permukaan laut selalu mengalami gerakan osilasi. Gerakan osilasi ini terdiri dari 6 macam gerakan, yaitu 3 macam gerakan lateral dan 3 macam gerakan rotasional dalam 3 arah sumbu yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1 Macam gerakan itu meliputi :

- a. *Surging* : Gerakan osilasi lateral pada sumbu -x.
- b. *Swaying* : Gerakan osilasi lateral pada sumbu -y.
- c. *Heaving* : Gerakan osilasi lateral pada sumbu -z.
- d. *Rolling* : Gerakan osilasi rotasional terhadap sumbu -x.
- e. *Pitching* : Gerakan osilasi rotasional terhadap sumbu -y.
- f. *Yawing* : Gerakan osilasi rotasional terhadap sumbu -z.



**Gambar 2.1.** Enam Derajat Kebebasan Gerakan Struktur  
catamaran.(Calkins,1981)

Hanya 3 macam gerakan merupakan gerakan osilasi murni yaitu *heaving*, *rolling* dan *pitching*, karena gerakan ini bekerja dibawah gaya atau momen pengembali

ketika struktur itu terganggu dari posisi kesetimbangannya. Untuk gerakan *surging*, *swaying* dan *yawing* struktur tidak kembali menuju posisi kesetimbangannya semula kalau diganggu, kecuali ada gaya atau momen pengembali yang menyebabkannya bekerja dalam arah berlawanan.

Pada penelitian ini akan dibahas struktur terapung yang bergerak dua derajat kebebasan dalam arah gerakan *couple heave-pitch* akibat gelombang dalam arah *head sea*. Seperti diketahui gaya osilasi teredam memiliki empat faktor penting (Bhattacharya, 1978) sebagai berikut :

$$a. \text{ Gaya Inersia} : Fa = (m + a_z) \ddot{z} \quad (2.2)$$

$$b. \text{ Gaya Redaman} : Fb = b \dot{z} \quad (2.3)$$

$$c. \text{ Gaya Pengembali} : Fc = cz \quad (2.4)$$

$$d. \text{ Gaya Eksitasi} : F = Fo \cos \omega_e t \quad (2.5)$$

dimana :

$m$  = masa kapal

$a_z$  = masa tambah

$b$  = koefisien damping

$c$  = koefisien pengembali

$\ddot{z}$  = percepatan vertical

$\dot{z}$  = kecepatan vertical

$z$  = posisi vertikal

Berdasarkan hukum Newton II maka semua gaya yang bekerja pada sebuah benda (strip) adalah sama dengan perkalian antara massa strip terhadap percepatannya.

Persamaan untuk *heaving* :

$$m \ddot{z} = \Sigma F \quad (2.6)$$

Persamaan untuk *pitching* :

$$I \ddot{\theta} = \Sigma M \quad (2.7)$$

dimana:

$\Sigma F$  = Total gaya fluida/ gaya ekstrenal.

$\Sigma M$  = Total momen gaya yang bekerja pada strip akibat gerak relatif terhadap gelombang.

Untuk menghitung elevasi bangunan apung terhadap MWL akibat kopel heaving dan pitching maka digunakan Teori Strip, dimana sebuah benda terapung dibagi secara transversal menjadi beberapa bagian yang selanjutnya disebut sebagai Strip.

Adanya massa tambah pada suatu benda yang bergerak relatif terhadap fluida maka persamaan (2.6) diatas dapat ditulis kembali menjadi :

$$\sum F = (m + a_z) \quad (2.8)$$

dimana:  $m$  = massa strip dari kapal

$a_z$  = massa tambah strip untuk gerakan heaving

Pergerakan dari masa strip dan masa tambah ke arah bawah akan mengakibatkan adanya reaksi perlawanan. Reaksi tersebut sering disebut dengan gaya tahanan/gaya redaman. Sehingga dapat dirumuskan :

$$cz = (m + a_z) \ddot{z} + b \dot{z} \quad (2.9)$$

Bila diamsusikan bahwa pada arah gaya kebawah bernilai positif sedangkan arah gaya keatas bernilai negatif, maka persamaan (2.9) menjadi:

$$cz = (m + a_z)(-\ddot{z}) + b(-\dot{z}) \quad (2.10)$$

Pada persamaan (2.24) dapat dijabarkan sebagai fungsi dari displacement kapal, sehingga persamaannya menjadi:

$$cz = \left( \frac{\Delta}{g} + a_z \right)(-\ddot{z}) + b(-\dot{z}) \quad (2.11)$$

Sehingga menjadi :

$$\left( \frac{\Delta}{g} + a_z \right) \ddot{z} + b \dot{z} + cz = 0 \quad (2.12)$$

dimana :

$\Delta$  = displacement kapal

$g$  = percepatan gravitasi

Jika diasumsikan bahwa strip diganggu oleh suatu gelombang dengan dengan amplitudo  $\zeta_a$ , maka akan menyebabkan adanya gaya perlawanan yang disebabkan oleh perbedaan water level (gaya bouyancy). Lebih jauh lagi fluktuasi dari water level akan menyebabkan external force yang terus menerus, yang disebut *exciting forces*. Nilai dari gaya eksitasi ini adalah sama dengan jumlah

dari percepatan relatif, velocity, dan posisi waktu antara strip dan permukaan air relatif konstan, dimana dirumuskan.

$$m\ddot{z} = F = ma_z(-\ddot{z} + \ddot{\zeta}) + b(-\dot{z} + \dot{\zeta}) + c(z - \zeta) \quad (2.13a)$$

atau

$$m\ddot{z} + a_z(\ddot{z} - \ddot{\zeta}) + b(\dot{z} - \dot{\zeta}) + c(z - \zeta) \quad (2.13b)$$

dimana:  $\ddot{\zeta}$  = percepatan vertikal dari permukaan air

$\dot{\zeta}$  = kecepatan vertikal dari permukaan air

$\zeta$  = posisi vertikal dari permukaan air

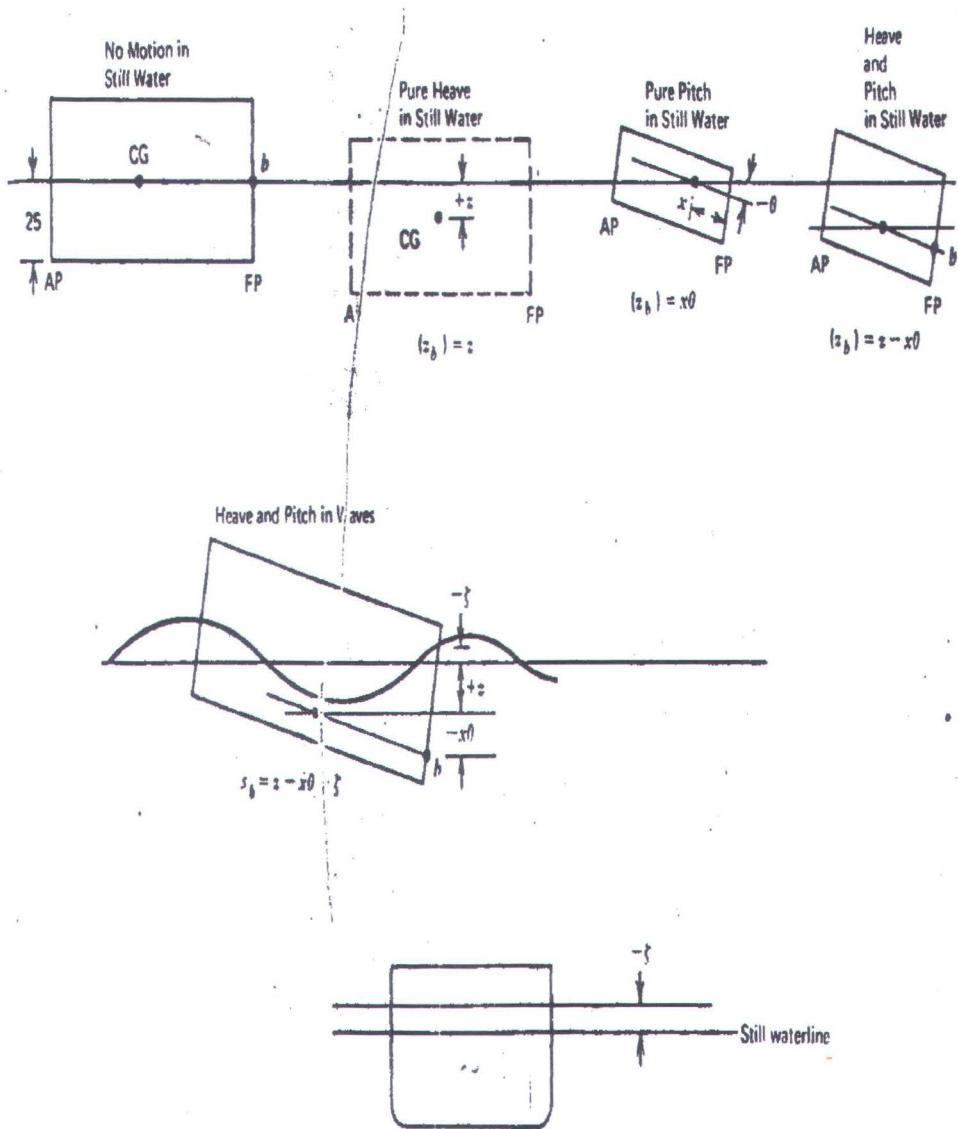
Persamaan (2.13b) diatas dapat disempurnakan lagi menjadi:

$$(m + a_z)\ddot{z} + b\dot{z} + cz = a_z\ddot{\zeta} + b\dot{\zeta} + c\zeta \quad (2.14)$$

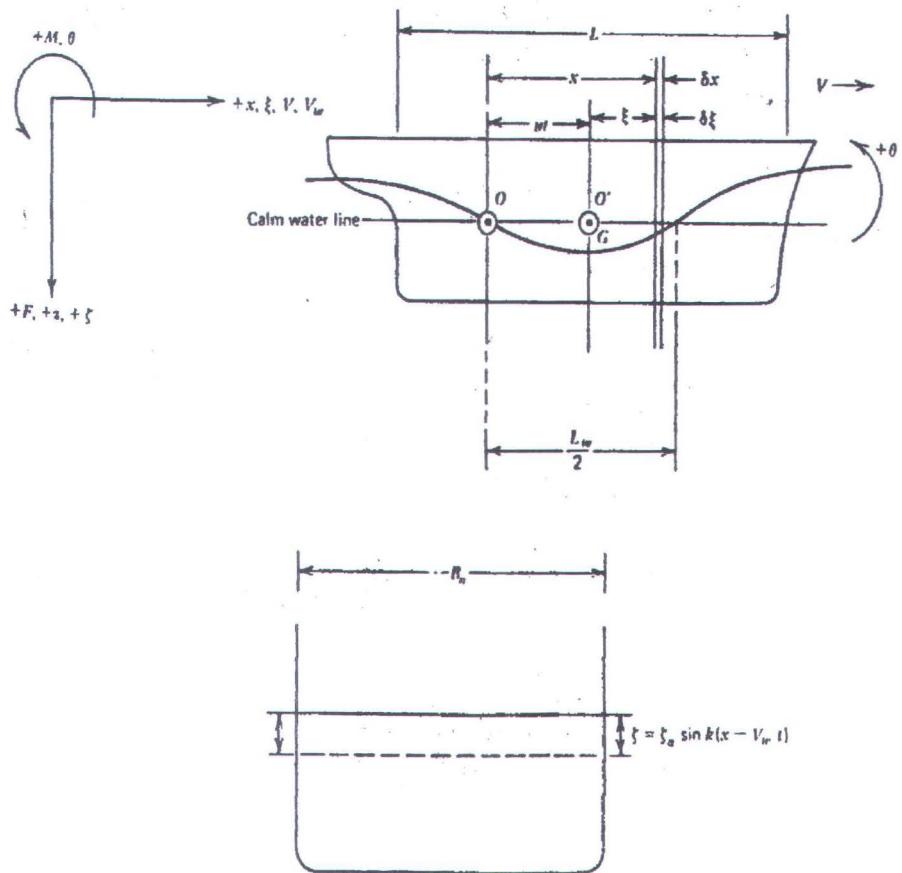
Dimana ruas kanan disebut sebagai exciting force. Untuk mempertimbangkan gerakan kapal digelombang, salah satu yang harus digambarkan yaitu relatif motion antara kapal dan gelombang.

Posisi vertikal absolut setiap titik sepanjang kapal yang dinyatakan dalam  $z - \xi\theta$  dan posisi relatif strip terhadap gelombang dinyatakan pada :  
 $z_r = z - \xi\theta - \zeta$ . Untuk lebih jelasnya pada Gambar 2.2 dibawah :





Gambar 2.2. Gelombang, heaving, dan pitching untuk strip teori  
 (Bhattacharyya, 1978)



**Gambar 2.3.** Coordinat sistem untuk strip teori (Bhattacharyya,1978)

$$zr = z - \xi\theta - \zeta \quad (2.15)$$

Untuk mendapatkan kecepatan relatif persamaan diatas dapat diturunkan menjadi :

$$wr = \dot{zr} = \dot{z} - \left( \xi \dot{\theta} + \theta \dot{\xi} \right) - \dot{\zeta} \quad (2.16)$$

Harus diingat bahwa pada titik suatu kapal yang bergerak ke depan sepanjang air pada kecepatan w mempunyai :

Sehingga percepatan relatifnya menjadi :

$$\begin{aligned}\dot{w}_r &= \ddot{z} - \xi \ddot{\theta} - \dot{\theta}(-u) + u \dot{\theta} - \ddot{\zeta} \\ &= \ddot{z} - \xi \ddot{\theta} + 2u \dot{\theta} - \ddot{\zeta}\end{aligned}\quad (2.17)$$

Pada semua waktu gaya vertikal pada strip harus pada keadaan equilibrium. Meskipun diantara strip mungkin diseimbangkan oleh gaya geser pada struktur kapal dimana bersifat imaginari.

Kontribusi gaya geser pada masing-masing strip diberikan oleh  $\frac{df_n}{d\xi}$  dan

nilai ini sama dengan persamaan gaya yang sudah diturunkan diawal.

$$\frac{\delta f_n}{\delta \xi} = -m_n \ddot{z}_n - (a_n \dot{w}_r + b_n w_r) - c_n z_r \quad (2.18a)$$

dimana :  $m_n \ddot{z}_n$  = gaya inersia yang diperlukan untuk menggerakkan massa strip.

$a_n \dot{w}_r$  = gaya hidrodinamik yang diperlukan untuk menggerakkan massa tambah.

$b_n w_r$  = gaya redaman hydrodynamik akibat kecepatan relatif.

$c_n z_r$  = gaya hidrostatis akibat perubahan posisi relatif.

Koefisien  $a_n, b_n, c_n$  harus dihitung untuk setiap station. Karena berubah dengan perubahan section. Selama gelombang linear melewati strip dan mengubahnya,

penurunan dari  $\frac{d(a_n w_r)}{dt}$  harus diperhitungkan berlawanan dengan  $a_n w_r$  sehingga :

$$\frac{d(a_n w_r)}{dt} = w_r \frac{da_n}{dt} + a_n \frac{dw_r}{dt}$$

$$= w_r \frac{da_n}{dt} + a_n \dot{w}_r$$

Substitusi ke persamaan (2.18a) akan menghasilkan persamaan gaya:

$$\frac{\delta f_n}{\delta \xi} = -m_n \ddot{z}_n - a_n \dot{w}_r - \left( b_n + \frac{da_n}{dt} \right) w_r - c_n z_r \quad (2.18b)$$

Persamaan (2.18b) merupakan gaya strip untuk satu section sedangkan total dari gaya tersebut harus diintegralkan sepanjang x, dimana :

$$\frac{\delta f_n}{dt} dx = 0$$

Disini yang harus diperhatikan displacement horisontal yang terjadi adalah:

$$X = \xi + ut \quad (2.19)$$

dimana :

$ut$  = displacement antara sumbu utama dengan titik pangkal benda untuk waktu  $t$  tertentu.

$\xi$  = jarak dari origin kapal ke titik dari persamaan yang ditinjau.

Untuk kondisi normal  $ut$  bernilai konstan sehingga persamaan(2.19) menjadi:

$$dx = d\xi + d(ut) = d\xi \quad (2.20)$$

Sehingga total dari gaya menjadi :

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

Atau persamaan (2.18b) menjadi:

$$-\int \frac{df_n}{d\xi} d\xi = \int m_n \ddot{z}_n d\xi + \int a_n \dot{w}_r d\xi + \left( \int b_n w_r d\xi - u \int \frac{da_n}{d\xi} w_r d\xi \right) + \int c_n z_n d\xi \quad (2.21)$$

$$\text{dimana : } \ddot{z}_n = \ddot{z} - \xi \ddot{\theta} \quad (2.22)$$

Seperti pada persamaan  $z_r = z - \xi\theta - \xi$ . Dimana seharusnya persamaan tersebut dimodifikasi karena adanya efek pengurangan tekanan. Tidak seperti tekanan hidrostatis yang bervariasi menurut kedalaman air, tekanan air dinamik diatas puncak gelombang menurun secara eksponensial menurut kedalaman . sehingga efek penurunan tekanan akan mempengaruhi posisi relatif vertikalnya persamaannya menjadi:

$$z_r = z - \xi\theta - \zeta e^{-kz} \quad (2.23)$$

dimana:

$e^{-kz}$  = faktor penurunan tekanan dihitung dari tekanan net pada gelombang sepanjang sarat strip.

Sehingga diperoleh persamaan kecepatan relatif dan percepatan relatif baru sebagai berikut :

$$w_r = \frac{dz_r}{dt} = \dot{z} - \xi \dot{\theta} + u \theta - \zeta e^{-kz} \quad (2.24)$$

$$\dot{w}_r = \frac{dw_r}{dt} = \ddot{z} - \xi \ddot{\theta} + 2u \dot{\theta} - \zeta e^{-kz} \quad (2.25)$$

Untuk penyerdahanaan, suku-suku gerakan absolut kapal ( $z, \dot{z}, \ddot{z}, \theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$ ) dipisahkan dari suku-suku gerakan gelombang ( $\xi, \dot{\xi}, \ddot{\xi}$ ). Ruas kiri persamaan menyatakan respon natural pada displcemen awal dalam still water dan ruas kanan menyatakan kondisi gelombang yang disebut force function. Substitusi persamaan (2.22),(2.23),(2.24),(2.25) ke persamaan (2.21). Sehingga menjadi persamaan :

$$\int m_n (\ddot{z} - \xi \ddot{\theta}) d\xi + \int a_n (\ddot{z} - \xi \ddot{\theta} + 2u \dot{\theta} - \zeta e^{-kz}) d\xi + \left( \int b_n (\dot{z} - \xi \dot{\theta} + u \theta - \zeta e^{-kz}) d\xi \right) - \left( u \int \frac{da_n}{d\xi} (\dot{z} - \xi \dot{\theta} + u \theta - \zeta e^{-kz}) d\xi \right) + \int c_n (z - \xi \theta - \zeta e^{-kz}) d\xi = 0 \quad (2.26)$$

Persamaan (2.26) disusun kembali menjadi persamaan sisi kiri dan sisi kanan, sehingga menghasilkan:

$$m_n (\ddot{z} - \xi \ddot{\theta}) + a_n (\ddot{z} - \xi \ddot{\theta} + 2u \dot{\theta} - \zeta e^{-kz}) + b_n (\dot{z} - \xi \dot{\theta} + u \theta) - \frac{da_n}{d\xi} (\dot{z} - \xi \dot{\theta} + u \theta) + c_n (z - \xi \theta) = \ddot{\zeta} e^{-kz} a_n - \dot{\zeta} e^{-kz} b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \dot{\zeta} e^{-kz} + \zeta e^{-kz} c_n \quad (2.27)$$

Pada persamaan (2.27) diatas, ruas kanan menyatakan exciting force untuk masing-masing strip yang disebabkan oleh gelombang,  $df/dx$ . Dengan mengasumsikan gelombang reguler dan harmonik maka:

$$\xi = \xi_a \sin k(x - V_w t) \quad (2.28)$$

masukkan persamaan  $x = \xi + ut$  ke persamaan (2.28) didapatkan:

$$\zeta = \zeta_a \sin k(\xi + (u + V_w)t) \quad (2.29)$$

Karena  $-k(u-Vw) = \omega e$  dan  $\omega e$  merupakan frekuensi encounter maka kecepatan dan percepatan elevasi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\zeta = \zeta_a \sin(k\xi - \omega_e t) \quad (2.30)$$

$$\dot{\zeta} = -\zeta_a \omega_e \cos(k\xi - \omega_e t) \quad (2.31)$$

$$\ddot{\zeta} = -\zeta_a \omega_e^2 \sin(k\xi - \omega_e t) \quad (2.32)$$

substitusi  $\zeta, \dot{\zeta}, \ddot{\zeta}$  ke persamaan (2.27) menjadi :

$$\begin{aligned} & m_n \ddot{z} + a_n \ddot{z} + b_n \dot{z} - u \frac{da_n}{d\xi} \dot{z} + c_n z - m_n \xi \ddot{\theta} - a_n \xi \dot{\theta} + a_n 2u \dot{\theta} - b_n \xi \dot{\theta} + b_n u \theta + u \frac{da_n}{d\xi} \xi \dot{\theta} \\ & - u^2 \frac{da_n}{d\xi} + c_n \xi \theta. \\ & = (m_n + a_z) \ddot{z} + b_n \dot{z} - u \frac{da_n}{d\xi} \dot{z} + c_n z - m_n \xi \ddot{\theta} - a_n \xi \dot{\theta} + a_n 2u \dot{\theta} - b_n \xi \dot{\theta} + u^2 \frac{da_n}{d\xi} \theta - c_n \xi \theta \\ & = -\zeta_a \omega_e^2 \sin(k\xi - \omega_e t) e^{-kz} a_n - \zeta_a \omega_e \cos(k\xi - \omega_e t) e^{-kz} \left( b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) d\xi \\ & + \zeta_a \sin(k\xi - \omega_e t) e^{-kz} c_n d\xi \end{aligned} \quad (2.33)$$

Persamaan (2.33) tersebut dapat dipersingkat, diperoleh persamaan dasar I untuk gerakan translasi pada kopel heaving dan pitching yaitu :

$$(m + a_z) \ddot{z} + b \dot{z} + cz + d \ddot{\theta} + e \dot{\theta} + h \theta = F(t) \quad (2.34)$$

$$\text{dimana : } m = \int m_n d\xi$$

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

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

Selama diasumsikan  $u \int \left( \frac{da_n}{d\xi} \right) d\xi = 0$  maka :

$$c = \int c_n d\xi \quad (2.35)$$

yang dapat dinyatakan juga sebagai  $\rho g \int B_n d\xi$ , dimana  $B_n$  lebar masing-masing seksi.

$$d = - \int a_n \xi d\xi \quad (2.36)$$

Karena  $\int m_n \xi d\xi = 0$ , yaitu momen dari massa total disekitar titik beratnya harus sama dengan nol maka :

$$\begin{aligned} e &= - \int b_n \xi d\xi + 2u \int a_n d\xi + u \int \left( \frac{da_n}{d\xi} \right) \xi d\xi \\ &= - \int b_n \xi d\xi + ua_z \end{aligned} \quad (2.37)$$

Jika  $\int \xi \left( \frac{da_n}{d\xi} \right) d\xi = \int \xi$  dan  $= -a_z$ , maka :

$$\begin{aligned} h &= - \int c_n \xi d\xi + u \int b_n d\xi \\ &= - \int c_n \xi d\xi + ub \end{aligned} \quad (2.38)$$

dan karena  $u^2 \int \left( \frac{da_n}{d\xi} \right) d\xi = 0$  maka:

$$\begin{aligned} F(t) &= \int \frac{dF}{dx} dx = \xi a e^{-kz} \int (-\omega e^2 a_n + c_n) \sin(k\xi - \omega et) d\xi \\ &\quad - \zeta a e^{-kz} \omega e \int \left( b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) \cos(k\xi - \omega et) d\xi \end{aligned} \quad (2.39)$$

Exciting force (f) yang timbul sebagai akibat gerakan heaving merupakan kurva sinusoidal dan secara umum dinyatakan sebagai berikut :

$$F_o = F_1 \cos \omega et + F_2 \sin \omega et$$

$$= F_0 \cos(\omega t + \sigma) \quad (2.40)$$

dimana  $F_0$  merupakan amplitudo dari exciting force yang dinyatakan sebagai

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

Sedangkan  $\sigma$  merupakan sudut fase antara gaya eksitasi dengan gerakan gelombang yang dinyatakan sebagai berikut :

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

$F_0$  dan  $\sigma$  diperoleh dari penyelesaian *Forcing Force*,  $F_1$  dan  $F_2$  dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

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

dimana:

$$\frac{dF_1}{dx} = \zeta a e^{-kz} \left( -\omega e^2 a_n + c_n \right) \sin k\xi + \zeta a e^{-kz} \omega e \left( b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) \cos k\xi \quad (2.41a)$$

dengan cara yang sama diperoleh:

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

$$\frac{dF_2}{dx} = \zeta a e^{-kz} \left( -\omega e^2 a_n + c_n \right) \cos k\xi - \zeta a e^{-kz} \omega e \left( b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) \sin k\xi \quad (2.41b)$$

Hal yang perlu diperhatikan dari persamaan (2.41b) diatas bahwa z dirubah menjadi  $T_m$ , diukur dari garis sarat rata-rata tiap station .

$$Tm = \frac{S_n}{B_n}$$

dimana :

$S_n$  = luasan area tiap station

$B_n$  = lebar tiap station

Persamaan dasar II merupakan persamaan yang menggambarkan perilaku gerakan pitching akibat gerakan kopel heaving dan pitching, yaitu :

$$(Iyy + Ayy)\ddot{\theta} + B\ddot{\theta} + C\dot{\theta} + D\ddot{z} + E\dot{z} + Hz = M(t) \quad (2.42)$$

dimana :

$Ayy$  = massa tambah momen inersia

$$= \int a_n \xi^2 d\xi$$

$B$  = momen peredam

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

$$\text{selama } 2u \int a_n \xi d\xi = -u \int \left( \frac{da_n}{d\xi} \right) \xi^2 d\xi$$

$C$  = momen pengembali

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

Sedangkan  $D, E,$  dan  $H$  merupakan bentuk kopel yang dinyatakan sebagai berikut:

$$D = d$$

$$E = - \int b_n \xi d\xi - u a_z$$

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

M = momen eksitasi

$$= Mo \cos(\omega t + \tau) = \int \frac{dF}{d\xi} \xi d\xi$$

Amplitudo momen eksitasi Mo dapat diperoleh melalui persamaan berikut

$$\therefore Mo = \sqrt{M1^2 + M2^2}$$

Sudut fase  $\tau$  akibat momen eksitasi terhadap gerakan gelombang adalah:

$$\tau = -\tan^{-1}\left(\frac{M1}{M2}\right) \quad (2.43)$$

$$\text{dimana : } M1 = \int \frac{dM1}{dx} d\xi$$

$$M2 = \int \frac{dM2}{dx} d\xi$$

$$\frac{dM1}{dx} = \xi \left( \frac{dF1}{dx} \right)$$

$$\frac{dM2}{dx} = \xi \left( \frac{dF2}{dx} \right)$$

Semua variabel pada persamaan (2.42) dan (2.34) dari  $a_z$  sampai  $h$  dan dari  $A_y$  sampai  $H$  tergantung pada bentuk hull kapal, kecepatan, dan frekuensi.

Pengembangan persamaan-persamaan diatas digunakan untuk menyelesaikan masalah strip teori.

Karena penyelesaian persamaan gerak meliputi kedua amplitudo dan perbedaan phase, persamaan tersebut ditulis dalam persamaan complex, dimana  $\bar{M}$  dan  $\bar{F}$  menunjukkan *Forcing Function* dalam persamaan komplex :

$$\bar{F} = Fo.e^{i\sigma} \quad (2.44)$$

$$\bar{M} = Mo.e^{i\tau} \quad (2.45)$$

Koefisien-koefisien pada persamaan (2.42) dan (2.34) dapat diperoleh dengan mengasumsikan pendekatan gerak kopel untuk calm water sehingga ruas kanan pada masing-masing persamaan sama dengan nol. Dimana koefisien-koefisien tersebut dapat diganti variabelnya untuk memperoleh penyelesaian dari displacement, sebagai berikut :

$$P = -(m + a_z)\omega^2 + iB\omega + c \quad (2.46)$$

$$Q = -d\omega^2 + ie\omega + h \quad (2.47)$$

$$S = -(Iyy + Ayy)\omega^2 + iB\omega + c \quad (2.48)$$

$$R = -D\omega^2 + iE\omega + H \quad (2.49)$$

Jika  $\bar{z}$  menyatakan seluruh komponen z dan  $\bar{\theta}$  menyatakan seluruh komponen  $\theta$ , maka persamaan (2.42) dan (2.34) dapat ditulis kembali dalam bentuk berikut :

$$P\bar{F} + Q\bar{\theta} = \bar{F} \quad (2.50)$$

$$S\bar{Q} + R\bar{z} = \bar{M} \quad (2.51)$$

Sehingga untuk persamaan heaving adalah :

$$\bar{z} = \frac{\bar{F} - Q\bar{\theta}}{P} \quad (2.52)$$

$$\bar{\theta} = \frac{\bar{F} - \bar{P}\bar{z}}{\bar{Q}} \quad (2.53)$$

Sedangkan untuk persamaan pitching adalah :

$$\bar{z} = \frac{\bar{M} - \bar{S}\bar{\theta}}{\bar{R}} \quad (2.54)$$

$$\bar{\theta} = \frac{\bar{M} - \bar{R}\bar{z}}{\bar{S}} \quad (2.55)$$

Jika persamaan diatas disubtitusikan akan diperoleh persamaan berikut:

$$\frac{\bar{F} - \bar{Q}\bar{\theta}}{\bar{P}} = \frac{\bar{M} - \bar{S}\bar{\theta}}{\bar{R}} \quad \text{dan} \quad \frac{\bar{F} - \bar{P}\bar{z}}{\bar{Q}} = \frac{\bar{M} - \bar{R}\bar{z}}{\bar{S}} \quad (2.56)$$

$$\bar{z} = \frac{\bar{M}\bar{Q} - \bar{F}\bar{S}}{\bar{Q}\bar{R} - \bar{P}\bar{S}} \quad (2.57)$$

$$\bar{\theta} = \frac{\bar{F}\bar{R} - \bar{M}\bar{P}}{\bar{Q}\bar{R} - \bar{P}\bar{S}} \quad (2.58)$$

Simpangan dan sudut fase untuk  $\bar{z}$  dan  $\bar{\theta}$  dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$\bar{z} = z_a e^{i\delta} = z_a (\cos \sigma + i \sin \sigma) \quad (2.59)$$

$$\bar{\theta} = \theta_a e^{i\xi} = \theta_a (\cos \xi + i \sin \xi) \quad (2.60)$$

dimana :

$Z_a$  = amplitudo heaving

$\delta$  = beda phase untuk heaving

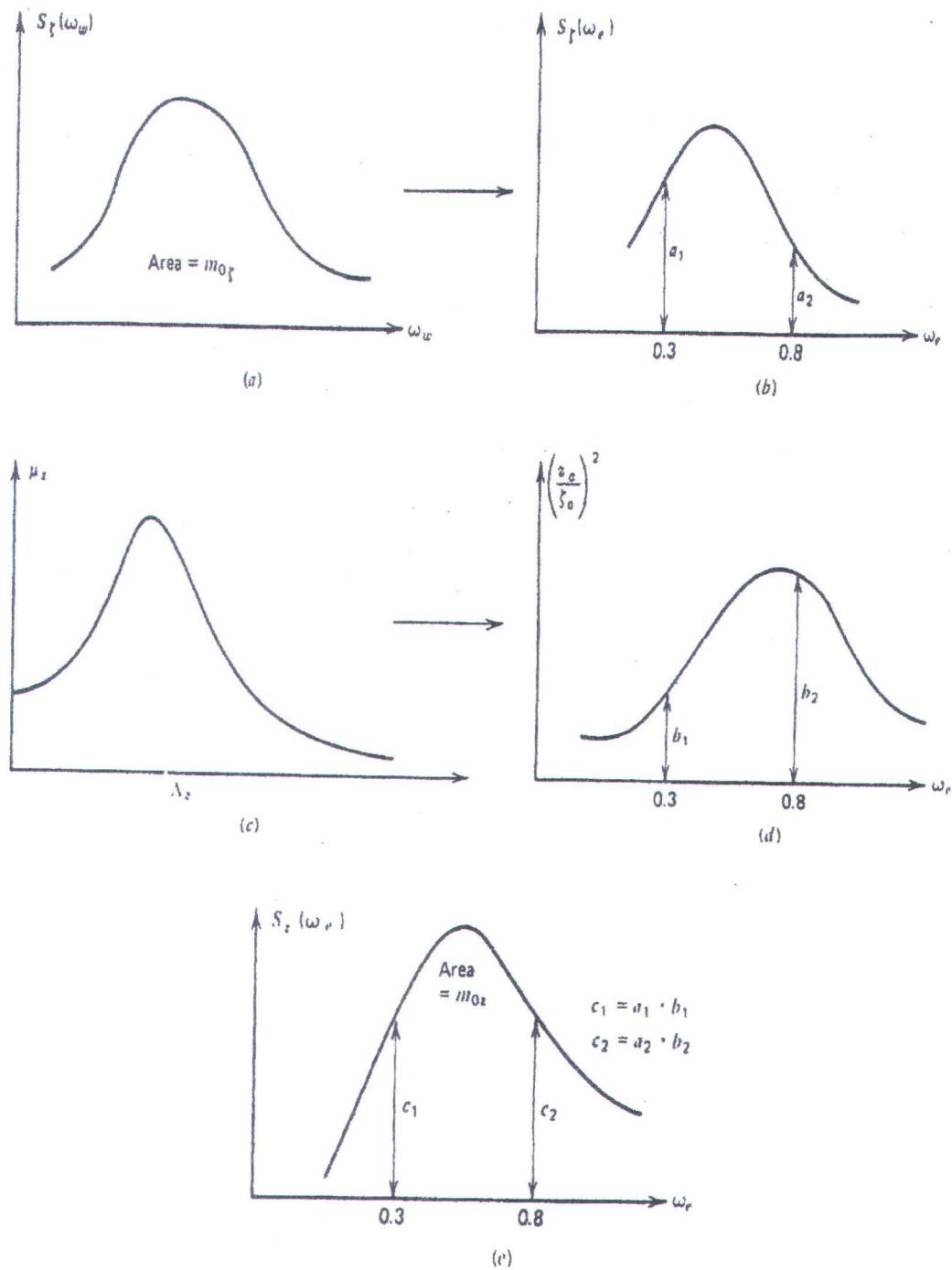
$\theta_a$  = amplitudo pitching

$\xi$  = beda phase untuk pitching

### **2.2.3. Gerak Bangunan Apung Diatas Gelombang Acak**

Gerak Bangunan Apung Diatas Gelombang Acak dapat dapat ditentukan dengan beberapa langkah sebagai berikut :

1. Menentukan data – data dimana bangunan apung akan dioperasikan hal ini sangat berguna sekali untuk menentukan spectrum gelombang yang dipilih.
2. Spektrum gelombang ditransformasikan kedalam bentuk spectrum gelombang encountering dimana frekuensi encountering ( $\omega_e$ ) sebagai absis yang sebelumnya berupa frekuensi gelombang ( $\omega_w$ ).
3. Menentukan respon motion dari bangunan apung (persamaan 2.59 & 2.60 ).
4. Dari langkah 3 diatas kemudian diubah kedalam bentuk RAO ( Respon Amplitude Operator ) dengan mengambil amplitude respon yang dibagi dengan amplitude gelombang.
5. Dengan mengkuadratkan RAO yang kemudian dikalikan dengan spektrum gelombang encountering maka akan didapatkan respon spektra diatas gelombang acak.
6. Harga signifikan dari respon spektra itulah yang digunakan dalam mendefinisikan karakteristik gerak dari bangunan apung diatas gelombang acak seperti gerakan relative bow untuk memprediksikan deckwetness dari bangunan apung.



**Gambar 2.4** Prediksi gerak kapal diatas gelombang acak  
 (a) Wave spectrum, (b) Encountering wave spectrum,  
 (b) Respon motion , (d) Response Amplitude Operator,  
 (e) Response spectrum.

### 2.2.3.1. Spektrum Gelombang

Pada gelombang irregular, sejumlah gelombang sinusoidal dengan perbedaan panjang gelombang dan tinggi gelombang membentuk gelombang irregular dengan superposisi.

Dimana energi gelombang sinusoidal diberikan dengan persamaan:

$$\frac{1}{2} \rho g \zeta_a^2 \text{ (per meter persegi dari permukaan gelombang)} \quad (2.61)$$

dimana :

$\rho$  = massa jenis air laut

$g$  = percepatan gravitasi

$\zeta_a$  = amplitude gelombang

Sehingga total dari energi per meter persegi untuk semua panjang dan tinggi gelombang.

$$E_T = \frac{1}{2} \rho g [\zeta_{a1}^2 + \zeta_{a2}^2 + \dots + \zeta_{an}^2] \quad (2.62)$$

dimana :

$E_T$  = Total energi dari semua komponen gelombang (kN/m)

Adapun gelombang-gelombang tersebut dapat digambarkan oleh distribusi energi terhadap frekuensi atau periode dengan bermacam-macam komponen .

Distribusi frekuensi energi disebut *Spectrum Energi*. Total energi spectrum digambarkan oleh luasan dibawah kurva untuk semua komponen gelombang. Dimana luasan dibawah kurva dirumuskan dengan persamaan.

$$mo = \int_0^{\infty} S_{\zeta}(\omega_w) d\omega_w$$

dimana:

$mo$  = luasan dibawah kurva

$S_{\zeta}(\omega_w)$  = energi gelombang fungsi frekuensi gelombang

Sedangkan untuk memperoleh  $H_s$  dari gelombang yang terjadi dapat dirumuskan dengan.

$$(h_w)_{1/3} = 4\sqrt{area} \quad \text{atau} \quad (h_w)_{1/3} = 4\sqrt{mo}$$

### 2.2.3.2. Spektrum Gelombang ITTC

Ketika spectrum gelombang pada laut normal tidak bisa diwakili oleh suatu spectrum yang memadai, maka International Towing Tank Conference (ITTC) bisa digunakan sebagai persamaan:

$$S(\omega_w) = \frac{A}{\omega_w^5} e^{-B/\omega_w^4} \quad (2.63)$$

dimana :

$\omega_w$  = frekuensi gelombang ( rad/s)

$$A = 8,1 \times 10^{-2} g^2$$



$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$B = 3,11 \times 10^4 / \text{Hs}$

$H_s$  = tinggi gelombang significant (m)

$S(\omega_w)$  = spektrum gelombang ( $\text{m}^2\text{-sec}$ )

Untuk mengubah spektrum gelombang kedalam spektrum gelombang encountering maka frekuensi gelombang ( $\omega_w$ ) juga harus diubah kedalam bentuk frekuensi encountering ( $\omega_e$ ) yakni :

$$\omega_e = \omega_w - \frac{\omega_w V}{g} \cos \mu \quad (2.64)$$

dimana :  $V$  = kecepatan kapal

$\mu$  = sudut pertemuan gelombang (head sea =  $180^\circ$ )

Karena energi spektrum total pada permukaan air adalah sama maka :

$$\int S_\zeta(\omega_e) d\omega_e = \int S_\zeta(\omega_w) d\omega_w \quad (2.65)$$

dengan  $\omega_e = \omega_w - \frac{\omega_w V}{g} \cos \mu$  maka

$$\frac{d\omega_e}{d\omega_w} = 1 - \frac{2\omega_w}{g} \cos \mu \quad \text{sehingga}$$

$$S_\zeta(\omega_e) d\omega_e \left( 1 - \frac{2\omega_w}{g} \cos \mu \right) = S_\zeta(\omega_w) d\omega_w$$

$$\text{atau } S_\zeta(\omega_e) = \frac{S_\zeta(\omega_w)}{1 - \left( \frac{2\omega_w V}{g} \right) \cos \mu} \quad (2.66)$$

dan apabila ditulis dalam  $\omega_e$  maka persamaan diatas menjadi :

$$S_\zeta(\omega_e) = S_\zeta(\omega_w) \frac{1}{[1 - (4\omega_e V/g)\cos\mu]^{1/2}} \quad (2.67)$$

dimana :  $S_\zeta(\omega_e)$  adalah spektrum gelombang encountering ( m<sup>2</sup>-sec)

### 2.2.3.3. Response Amplitude Operator

Amplitude respon secara umum dipengaruhi oleh amplitudo gelombang. Pada sistem linear, respon berada dalam varian dengan amplitudo gelombang pada frequensi gelombang. Fungsi respon terbentuk ketika frekensi gelombang yang mengenai struktur maka hal inilah yang disebut dengan Response amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan fungsi transfer, karena terdapat transfer *exciting wave* terhadap respon struktur. Berbagai variasi dari respon itulah yang menyebabkan RAO unik.

Banyak sekali yang menyebutkan dalam praktiknya bahwa RAO didefinisikan sebagai *response amplitude per unit wave height*. Tetapi untuk lebih mudah dalam pemahaman bahwa **RAO didefinisikan sebagai amplitudo respon**

**per amplitudo gelombang**  $\left( \frac{S_b}{\zeta_a} \right)$ . Dalam perhitungan RAO gelombang selalu dianggap sebagai gelombang regular dan frekuensi gelombang yang dipilih dimasukkan kedalam range frekuensi yang dipakai dalam membuat spektrum gelombang. Apabila dalam perhitungan menemui kesulitan dan atau membutuhkan verifikasi asumsi matematika sangat diperlukan maka, perlu

dilakukan percobaan terhadap struktur dengan kondisi gelombang regular yang dikontrol didalam laboratorium. Kemudian hasil test model RAO diskala menjadi RAO yang sesunguhnya.

#### **2.2.3.4. Response Spectra Relative Bow Motion pada gelombang irreguler**

Respon spektra didefinisikan sebagai density respon energi dari struktur akibat input energi gelombang dan density spektrum energi. Pada sistem linear, respon spektra didapat dengan mengkuadratkan RAO yang kemudian dikalikan dengan spektrum gelombang, yang secara persamaan dituliskan :

$$S_R(\omega) = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad (2.68)$$

dimana :

$S_R$  = Respon spektrum ( $\text{ft}^2\text{-sec}$ )

$S(\omega)$  = Spektrum gelombang ( $\text{ft}^2\text{-sec}$ )

RAO = Response Amplitude Operator

$\omega$  = frekuensi gelombang ( $\text{rad/sec}$ )

Untuk membantu dalam menganalisa probability dari deckwetness perlu didapat terlebih dahulu amplitudo signifikan respon spektra dengan menggunakan persamaan :

$$(s_a)_{1/3} = 2x\sqrt{m_0}xCF \quad (2.69)$$

dimana :  $\int S_s(\omega_e)d\omega_e = m_0$

CF = Faktor koreksi

$$= (1 - \varepsilon^2)^{1/2}$$

$$\varepsilon^2 = \frac{m_0 m_4 - m_{2s}^2}{m_0 m_4} \quad \text{sedangkan} \quad \int \omega_e^2 S_\zeta(\omega_e) d\omega_e = m_2$$

$$\int \omega_e^4 S_\zeta(\omega_e) d\omega_e = m_4$$

#### 2.2.4. Probability of Deckwetness

Tak kalah pentingnya untuk memprediksikan kemungkinan terjadinya deckwetness pada gerakan Particular cycle. Jika histogram mengikuti distribusi relay angka terbesar diperkirakan dari observasi n (n seharusnya merupakan angka yang besar, paling tidak  $> 1000$ ) sehingga kemungkinan amplitudo gelombang tertinggi adalah  $\sqrt{2 \log_e n} \cdot x \sqrt{m_0} \times CF$ .

dimana :

$n$  = jumlah observasi

$m_0$  = area dibawah wave spectrum (varian)

$CF$  = faktor koreksi  $= (1 - \varepsilon^2)^{1/2}$

Jika efektif freeboard  $f'$  diperoleh dari persamaan diatas maka harga n juga dapat ditentukan dengan persamaan :

$$n = e^{\frac{(f')^2}{2m_0}} \quad (2.70)$$

Dengan kata lain air akan mencapai daerah deck setiap n cycle. Selain itu persentasi cycle pada deck yang diperkirakan dapat diprediksikan dengan perbandingan terbalik padapersamaan n diatas . Kemungkinan terjadinya pencelupan yang melebihi efektif freeboard  $f'(l)$  didefinisikan sebagai berikut:

$$P\{S \geq f^*(l)\} = e^{-[f^*(l)^2]/2m_0} \quad (2.71)$$

Dimana  $m_{os}$  adalah area dibawah respon spektrum untuk gerakan relatif bow

$$\text{pada } f^*(l) \text{ yang mana } m_{os} = \frac{1}{4} [(Sa)_{1/3}]^2$$

Dan  $f^*(l)$  = efektif freeboard pada FP. Oleh karenanya kemungkinan terjadinya deckwetness adalah fungsi dari gerakan relatif bow pada gelombang dan kuadrat dari bagian depan freeboard.

## **BAB III**

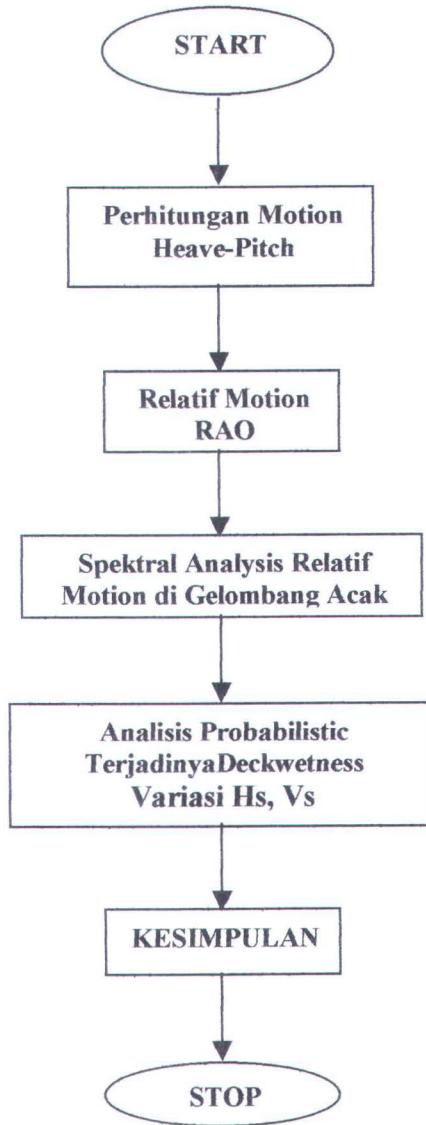
# **METODOLOGI**

## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1. Diagram alir

Adapun urutan pelaksanaan atau diagram alir dari penulisan laporan tugas akhir ini, adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1. Diagram alir metodologi TA

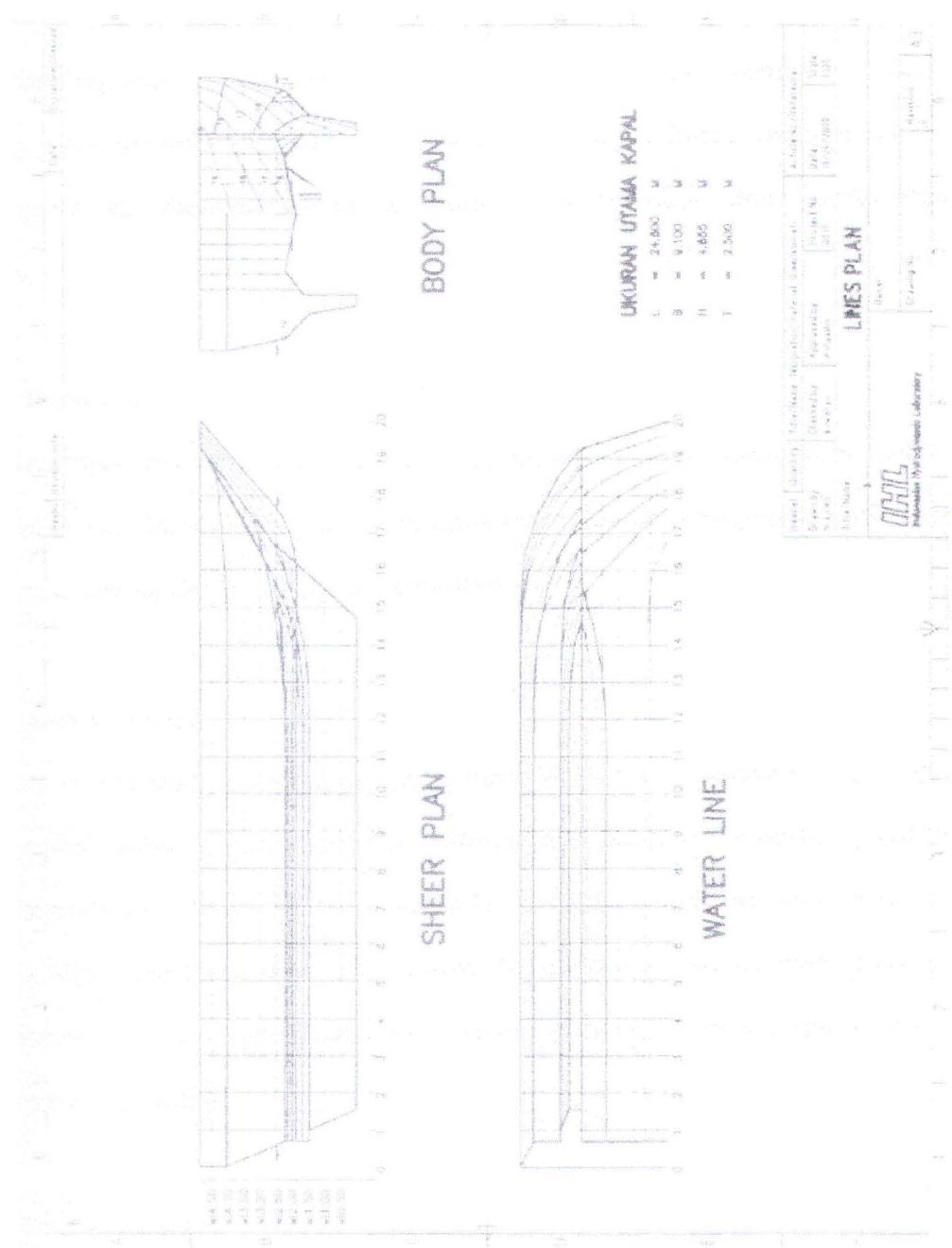
### **3.2. Metodologi**

Tahapan pelaksanaan Tugas Akhir ini akan dibagi dalam :

1. Melakukan perhitungan motion heaving-pitching dengan menggunakan teori strip. Dimana hasil perhitungan ini berupa persamaan dari bow motion coupled heaving-pitching .
2. Dari persamaan bow motion coupled heaving-pitching diatas akan dapat diketahui amplitude bow motion tertinggi. Dengan membagi dengan amplitude dari tinggi gelombang signifikan maka akan didapatkan respose amplitude operator.
3. Dengan mengalikan response amplitude operator dengan spektrum encountering dari gelombang acak maka akan didapatkan spektral analysis relatif motion di gelombang acak.
4. Memprediksikan probabilistic deckwetness dengan memvariasikan kecepatan kapal dan tinggi gelombang signifikan.
5. Penarikan kesimpulan dan saran perhitungan deckwetness .

### **3.3. Model HYCAT**

Perhitungan prediksi deckwetness dilakukan pada model HYCAT yang sudah ada di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia – BPPT. Adapun dimensi dan rencana garis dari model HYCAT adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2. Rencana garis HYCAT

**BAB IV**  
**ANALISA HASIL DAN**  
**PEMBAHASAN**

## **BAB IV**

### **ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. DATA – DATA UKURAN KAPAL**

Ukuran HYCAT yang dianalisa adalah sebagai berikut :

- Type : Catamaran
- Panjang (lpp) : 24,6 m
- Lebar (B) : 9,1 m
- Tinggi (H) : 4,885 m
- Sarat (T) : 2,5 m
- Coefisien Blok (cb) : 0.71
- Displacement : 407,285 ton

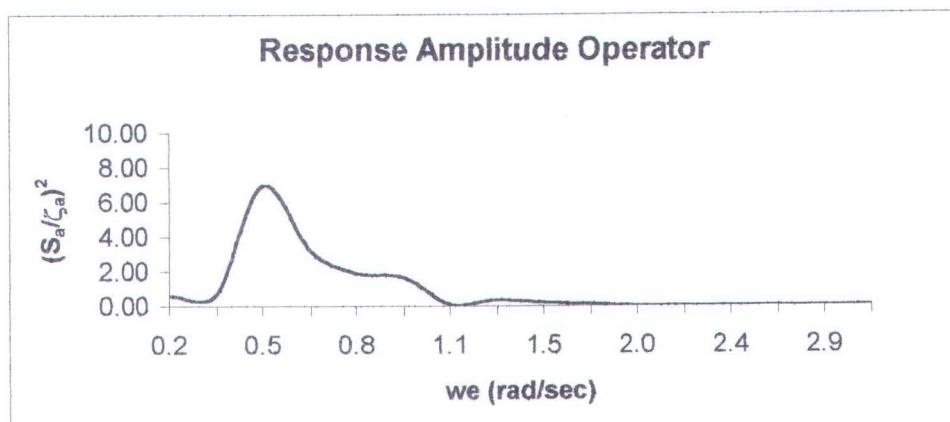
#### **4.2. HASIL PERHITUNGAN**

##### **4.2.1. PERHITUNGAN MOTION KOPEL HEAVING-PITCHING**

Untuk perhitungan motion kopel heaving-pitching ini menggunakan teori strip. Dimana proses perhitungan motion kopel heaving-pitching dengan metode teori strip dapat dilihat pada lampiran.

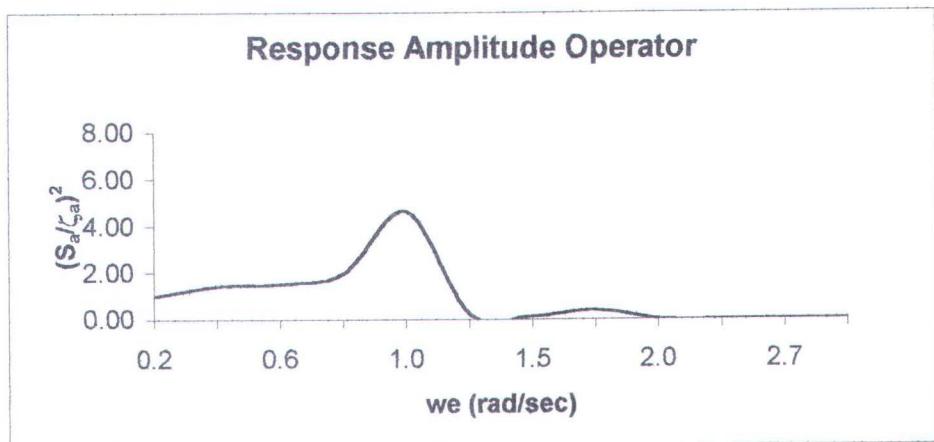
#### 4.2.2. PERHITUNGAN RELATIVE MOTION RAO

Untuk mendapatkan spektrum relative motion RAO, maka diambil setengah nilai tertinggi (amplitudo relative bow motion) dari perhitungan motion kopel heaving-pitching yang nantinya nilai-nilai ini akan dibagi dengan setengah dari tinggi gelombang signifikan (amplitudo gelombang signifikan). Untuk prosesnya dapat dilihat pada lampiran. Spektrum dari relative motion RAO untuk variasi kecepatan 10 knot, 20 knot dan 30 knot dengan tinggi gelombang signifikan 1~10 m dapat dilihat pada gambar 4.1 s/d 4.3 :



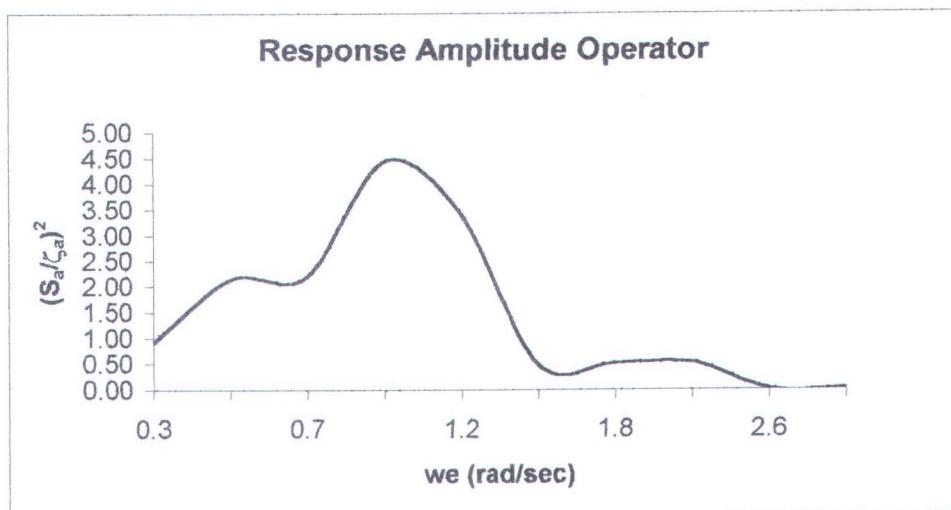
Gambar 4.1. RAO untuk Vs = 10 knot

Sedangkan spektrum relative motion RAO untuk kecepatan 20 knot adalah sebagai berikut :



Gambar 4.2. RAO untuk Vs = 20 knot

Untuk kecepatan 30 knot spectrum relative motion RAO adalah sebagai berikut :

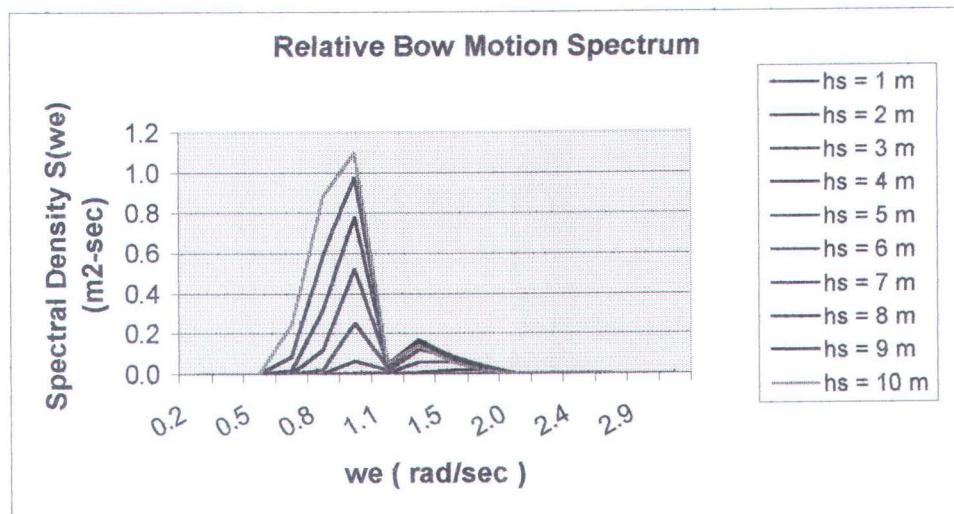


Gambar 4.3. RAO untuk Vs = 30 knot

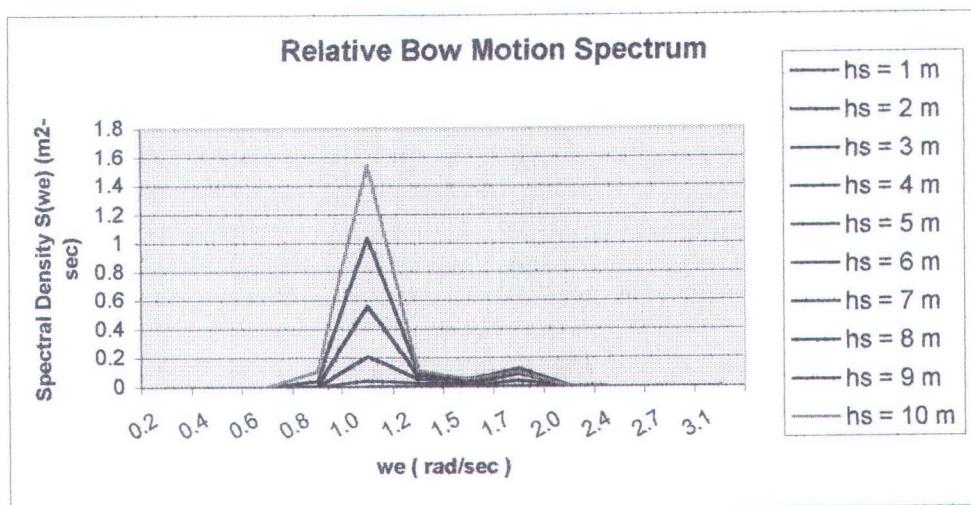
Perhitungan RAO ini nantinya digunakan dalam membuat spectral analisis relative motion di gelombang acak.

#### 4.2.3. PENENTUAN SPECTRAL ANALISIS RELATIVE MOTION DI GELOMBANG ACAK.

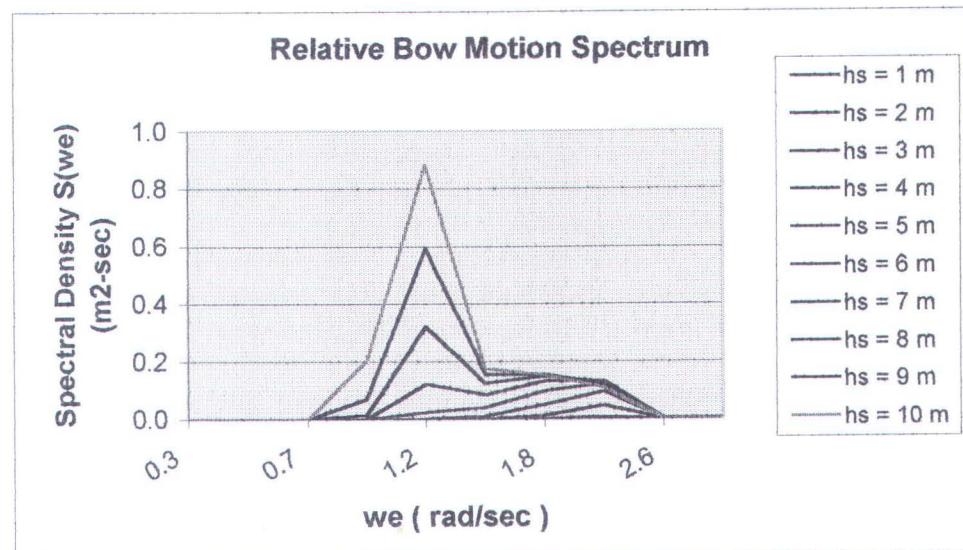
Spectral analisis relative motion dapat ditentukan dengan cara mengalikan perhitungan dari RAO dengan perhitungan dari spectrum wave encountering. Proses ini juga dapat dilihat pada lampiran . Spectral analisis relative motion ini berguna untuk proses lebih lanjut dalam menentukan probability dari deckwetness. Gambar 4.4 s/d 4.6 menunjukkan hasil dari spectral analisis relative motion di gelombang acak pada variasi kecepatan 10 knot, 20 knot dan 30 knot dan variasi tinggi gelombang signifikan 1~10 m.



Gambar 4.4. Analisis spectral RBM untuk Vs = 10 knot



Gambar 4.5. Analisis spectral RBM untuk  $V_s = 20$  knot



Gambar 4.6. Analisis spectral RBM untuk  $V_s = 30$  knot



#### 4.2.4. PENENTUAN PROBABILITIY DARI DECKWETNESS

Probability dari deckwetness ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$P\{S \geq f^1(l)\} = e^{-[f^1(l)]^2 / 2m_0}$$

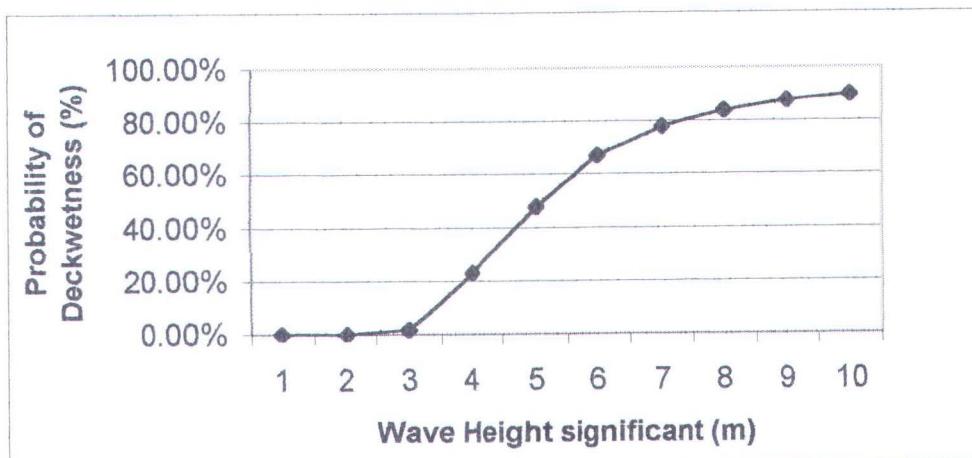
Dimana :  $f(l)$ = tinggi freeboard

$m_0$  = area dibawah response spectrum

Dalam hal ini tinggi freeboard dari HYCAT = 2.385 m. Proses pengolahan data dan perhitungan probability dari deckwetness untuk variasi kecepatan 10 knot, 20 knot dan 30 knot pada variasi tinggi gelombang signifikan 1~10 m dapat dilihat pada lampiran, sedangkan hasil dari perhitungan probability dari deckwetness dapat dilihat pada tabel 4.1 s/d 4.3 dan gambar 4.7 s/d 4.9 berikut ini :

Tabel 4.1. Probability dari deckwetness untuk Vs = 10 knot

Probability of Deck wetness	Hs	Probability of Deck wetness (%)
2.88123E-47	1	0.00%
9.40478E-10	2	0.00%
0.016149189	3	1.61%
0.23082332	4	23.08%
0.47876816	5	47.88%
0.669129219	6	66.91%
0.780012547	7	78.00%
0.839900782	8	83.99%
0.875221927	9	87.52%
0.898912173	10	89.89%

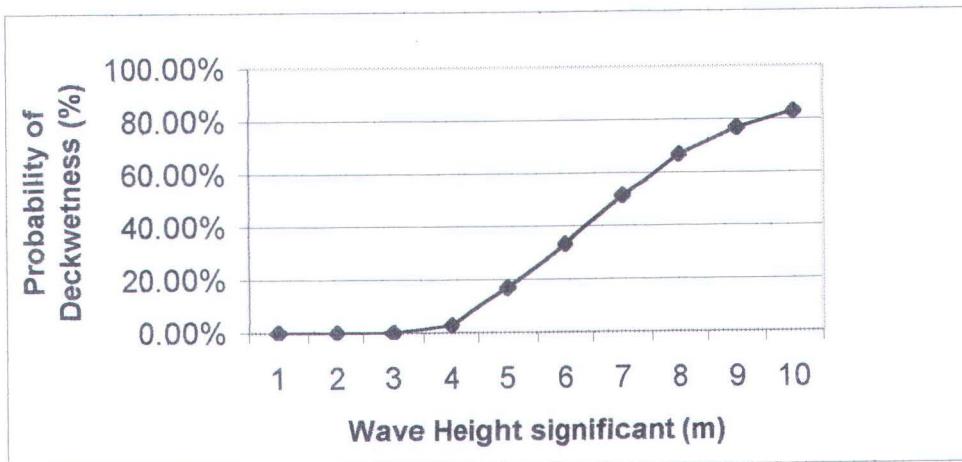


Gambar 4.7. Grafik Probability of deckwetness untuk Vs = 10 knot

Dari tabel 4.1.dan gambar grafik 4.7. diatas menunjukkan bahwa *Probability of Deckwetness* dari HYCAT pada kecepatan 10 knot dengan variasi tinggi gelombang signifikan 1~10 m berkisar antara 0 ~ 89,89 %.

Tabel 4.2. Probability dari deckwetness untuk Vs = 20 knot

Probability of Deck wetness	Hs	Probability of Deck wetness (%)
1.08308E-75	1	0.00%
4.31834E-12	2	0.00%
1.75896E-05	3	0.00%
0.035630458	4	3.56%
0.185542787	5	18.55%
0.347319138	6	34.73%
0.523859602	7	52.39%
0.678404984	8	67.84%
0.784167249	9	78.42%
0.850332642	10	85.03%

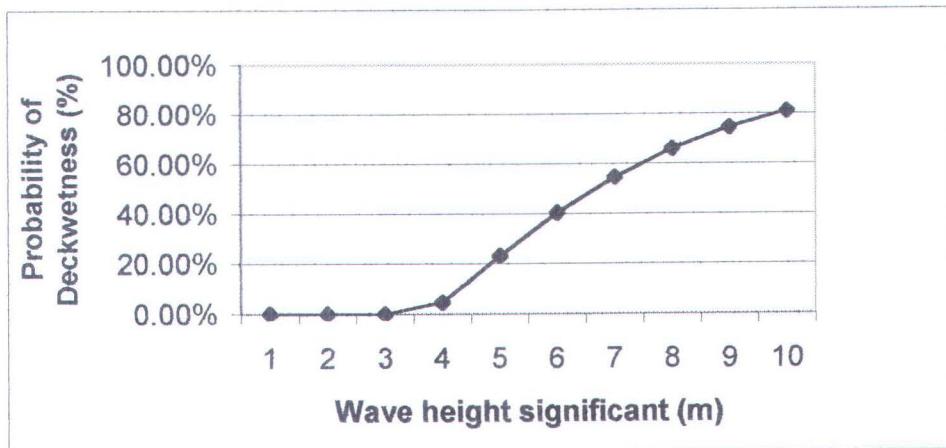


Gambar 4.8. Grafik Probability of deckwetness untuk Vs = 20 knot

Dari tabel 4.2 dan gambar grafik 4.8. diatas menunjukkan bahwa *Probability of Deckwetness* dari HYCAT pada kecepatan 20 knot dengan variasi tinggi gelombang signifikan 1~10 m berkisar antara 0 ~ 85,03 %.

Tabel 4.3. Probability dari deckwetness untuk Vs = 30 knot

Probability of Deck wetness	Hs	Probability of Deck wetness (%)
2.78372E-75	1	0.00%
1.81331E-10	2	0.00%
6.125E-05	3	0.01%
0.046209073	4	4.62%
0.231496879	5	23.15%
0.405745654	6	40.57%
0.546507882	7	54.65%
0.659323293	8	65.93%
0.745729472	9	74.57%
0.809330617	10	80.93%



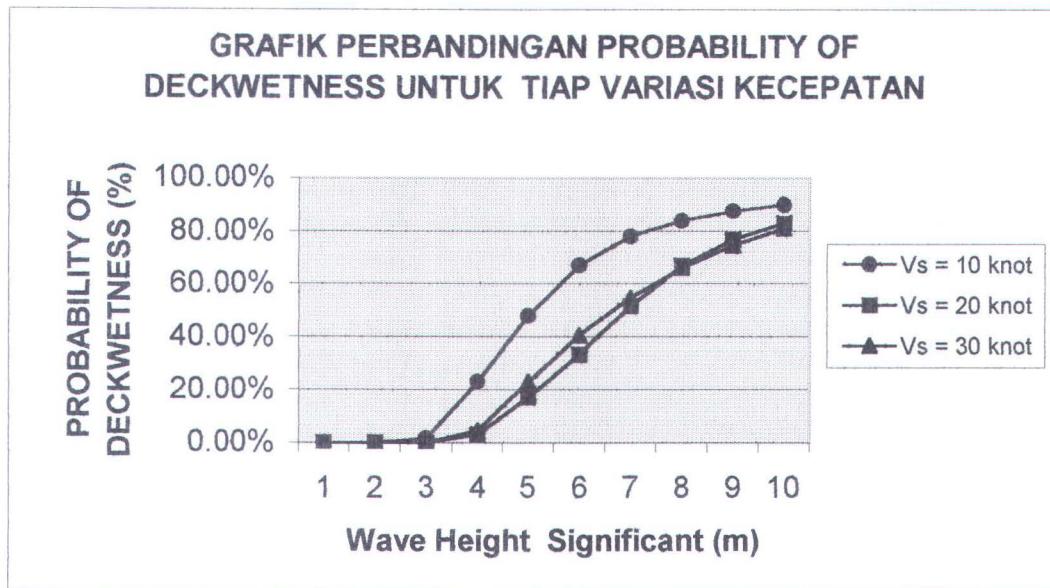
Gambar 4.9. Grafik Probability of deckwetness untuk  $V_s = 30$  knot

Dari tabel 4.3.dan gambar grafik 4.9. diatas menunjukkan bahwa *Probability of Deckwetness* dari HYCAT pada kecepatan 30 knot dengan variasi tinggi gelombang signifikan 1~10 m berkisar antara 0 ~ 80,93 %.

#### 4.3. PEMBAHASAN

##### 4.3.1. PERBANDINGAN HASIL PERHITUNGAN PROBABILITY OF DECKWETNESS

Perhitungan *Probability of deckwetness* untuk tiap variasi kecepatan yakni 10 knot, 20 knot dan 30 knot dengan menggunakan teori strip kemudian dapat digambarkan dalam satu grafik.



Gambar 4.10. Grafik perbandingan Probability of deckwetnes

Secara umum dari hasil prediksi diatas menunjukkan adanya kesamaan trend grafik dari *probability of deckwetness* dari variasi kecepatan 10 knot, 20 knot dan 30 knot dimana cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang signifikan tetapi semakin bertambah kecepatan kapal prosentase *probability of deckwetness* akan semakin menurun.

**BAB V**

**KESIMPULAN DAN SARAN**

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. KESIMPULAN**

Dari hasil perhitungan prediksi deckwetness HYCAT akibat kopel heaving-pitching diatas gelombang acak, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Prediksi deckwetness pada HYCAT diatas gelombang acak untuk kecepatan 10 knot dengan variasi tinggi gelombang signifikan 1~10 m menunjukkan bahwa deckwetness mulai terjadi pada tinggi gelombang signifikan mencapai 3 m dengan probability sebesar 1,61%.
2. Untuk prediksi deckwetness pada HYCAT untuk kecepatan 20 knot dengan variasi tinggi gelombang signifikan 1~10 m menunjukkan bahwa deckwetness mulai terjadi pada tinggi gelombang signifikan mencapai 4 m dengan probability sebesar 3,56%.
3. Untuk prediksi deckwetness pada HYCAT untuk kecepatan 30 knot dengan variasi tinggi gelombang signifikan 1~10 m menunjukkan bahwa deckwetness mulai terjadi pada tinggi gelombang signifikan mencapai 3 m dengan probability sebesar 0,01%
4. Dari hasil prediksi menunjukkan bahwa prosentase deckwetness bertambah besar seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang signifikan. Dan hasil prediksi juga menunjukkan bahwa prosentase deckwetness berkurang seiring dengan bertambahnya kecepatan HYCAT.

5. Bahwa setelah melihat hasil analisa dan pembahasan sehingga dapat dikatakan bahwa katamaran yang dikaji relatif aman bila dioperasikan pada perairan Indonesia, dimana perairan Indonesia tinggi gelombangnya rata-rata tidak melebihi 3 meter.

## **5.2. SARAN**

Hasil prediksi deckwetness pada HYCAT ini akan menjadi lebih baik apabila juga dilakukan suatu percobaan tentang proses terjadinya deckwetness pada HYCAT dimana hasil dari percobaan itu nantinya akan dapat dibandingkan dengan hasil perhitungan secara teori dengan variasi – variasi seperti yang dipakai dalam perhitungan yakni variasi kecepatan kapal dan tinggi gelombang atau bisa juga dengan cara menambah variasi-variasi yang lain seperti: variasi tinggi freeboard ataupun variasi jenis – jenis bangunan apung.

# **DAFTAR PUSTAKA**

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Arii T.,et.al.1993." *Development of a Foil-Assisted Catamaran Superjet-30,*" FAST'93.
- Bhattacharyya,R.1978." *Dynamic of Marine Vehicles*",John Wiley and sons Inc.,New york.
- Calkins,D.E.1981." *HYCAT:Hibrid Hydrofoil Catamaran,*" AIAA6<sup>th</sup> Marine System Conference.
- Djatmiko,E.B.,T. Achmadi,dan P.E. Panunggal.1994." Peluang Pemanfaatan Advance Marine Vehicle untuk Menunjang Sistem Transportasi Nasional di Indonesia," *Pros. Seminar dalam rangka HUT BKI ke- 30, Jakarta.*
- Kawaguchi.,et.al.1991.," *Full-Scale Experiments by the First Hydrofoil Catamaran WINGSTAR 12 Exceller .*" FAST 91.
- Lamb,G.R.1998. " *Some Guidance for Hull form Selection for HYCAT Ships,*" Marine Technology, SNAME, Vol 25, No24.Oct.
- Murtedjo, M. 2002. "Studi Eksperimental Added ResestanceI HYCAT Akibat Gerakan Kopel Heaving-Pitching Pada Gelombang Regular," *Jurnal IPTEK-ITS, Vol.13, No.1.*



# LAMPIRAN

Type	=	<b>CATAMARAN</b>
Panjang (Lpp)	=	<b>24.6 m.</b>
Lebar (B)	=	<b>9.1 m.</b>
Tinggi (H)	=	<b>4.885 m.</b>
Sarat (T)	=	<b>2.5 m.</b>
Koefisien Block (Cb)	=	<b>0.71</b>
Kecepatan (Vs)	=	<b>10 knot = 5.144 m/s</b>
Sarat (Tfree board)	=	<b>3.920219 m.</b>
LCG	=	<b>0.983 m.</b>
Displacement (D)	=	<b>407.285 ton. = 3995.47 kN</b>
Gaya grafitasi (g)	=	<b>9.81 m/sec2.</b>
Berat jenis air laut (r)	=	<b>1.025 ton/m3.</b>

TABLE 1.1 CALCULATIONS FOR  $a_z$  AND  $A_{yy}$   
untuk  $w_e = 0.221$

St No.	$B_n$ [m]	$T_n$ [m]	$S_n$ [m <sup>2</sup> ]	$\xi$ [-]	$\frac{\omega_e^2}{2g} \times B_n$ [-]	$\frac{B_n}{T_n}$ (2) / (3)	$B_n \times T_n$ (2) x (3)	$\beta_n$ [-]	$C$ [-]	$B_n^2$ [-]	$\frac{\rho\pi}{8} \times B_n^2$ [kN-sec <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ] (12) x (10)	$a_n$ [-]	Simpson's Multiplier (13) x (14)	Product (15)	$\xi^2$ [m <sup>2</sup> ] (5) x (5)	$a_n \times \xi^2$ [kN-sec <sup>2</sup> ] (13) x (16)	Simpson's Multiplier (17)	Product (18)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)
Ap	0.000	2.500	0.000	9.720	0.000	0.000	0.000	#DIV/0!	0.000	0.000	0.000	1	0.000	94.478	0.000	1	0.000	
2	8.397	2.500	19.076	7.290	0.021	3.359	20.993	0.909	1.670	70.510	28.381	47.397	4	189.587	53.144	2518.857	4	10075.430
4	8.397	2.500	19.076	4.860	0.021	3.359	20.993	0.909	1.670	70.510	28.381	47.397	2	94.793	23.620	1119.492	2	2238.984
6	8.397	2.500	19.076	2.340	0.021	3.359	20.993	0.909	1.670	70.510	28.381	47.397	4	189.587	5.476	259.526	4	1038.102
8	8.397	2.500	19.041	-0.090	0.021	3.359	20.993	0.907	1.670	70.510	28.381	47.397	2	94.793	0.008	0.384	2	0.768
10	8.397	2.500	18.797	-2.520	0.021	3.359	20.993	0.895	1.670	70.510	28.381	47.397	4	189.587	6.350	300.988	4	1203.953
12	8.397	2.500	18.304	-5.040	0.021	3.359	20.993	0.872	1.670	70.510	28.381	47.397	2	94.793	25.402	1203.953	2	2407.906
14	7.920	2.500	17.639	-7.470	0.020	3.168	19.800	0.891	1.470	62.726	25.248	37.115	4	148.461	55.801	2071.060	4	8284.239
16	4.860	2.500	16.686	-9.900	0.012	1.944	12.150	1.373	1.210	23.620	9.507	11.504	2	23.008	98.010	1127.488	2	2254.977
18	0.000	2.500	8.875	-12.420	0.000	0.000	0.000	#DIV/0!	0.000	0.000	0.000	0.000	4	0.000	154.256	0.000	4	0.000
FP	0.000	2.500	0.000	-14.850	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1	0.000	220.523	0.000	1	0.000
														SUM <sub>1</sub>	1024.610			SUM <sub>2</sub> 27504.360

Added mass for heaving,  $a_z$

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

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

$$= 1/3 \times 2.457 \times 1024.610$$

$$= \underline{\underline{839.16}} \text{ kN-sec}^2/\text{m}$$

Added mass moment of inertia for pitching,  $A_{yy}$

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

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

$$= 1/3 \times 2.457 \times 27504.4$$

$$= \underline{\underline{22526.071}} \text{ kN-sec}^2\text{-m.}$$

Keterangan :

(2) = Beam of Station,  $B_n$

(3) = Draft at Station,  $T_n$

(4) = Sectional Area at Station,  $S_n$

(5) = Lever Arm from Longitudinal Centre of Buoyancy,  $\xi$

(9) = Sectional Area Coefficient,  $\beta_n = S_n / (B_n \times T_n)$

(10) = Added Mass Coefficient,  $C$

(13) = Sectional Added Mass,  $a_n = C \times (\rho\pi/8) \times B_n^2$

$S = L_{pp} / 20$

TABLE 2.1 CALCULATIONS FOR  $b$  AND  $B$

untuk  $w_e = 0.221$

Station No.	$\frac{\omega_e^2 \times B_n}{2g}$ [-]	$B_n / T_n$ [-]	$\beta_n$ [-]	$\bar{A}$ [-]	$A^{2-}$ (5) x (5)	$b_n$ [kN-sec/m <sup>2</sup> ] (6)	Simpson's Multiplier (7)	Product (7) x (8) (8)	$\xi^2$ [m <sup>2</sup> ] (9)	$b_n \times \xi^2$ [kN-sec] (7) x (10) (10)	Simpson's Multiplier (11)	Product (11) x (12) (12)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Ap	0.000	0.000	#DIV/0!	0.000	0.000000	0.000	1	0.000	94.478	0.000	1	0.000
2	0.021	3.359	0.909	0.045	0.002025	10.980	4	43.922	53.144	583.545	4	2334.182
4	0.021	3.359	0.909	0.045	0.002025	10.980	2	21.961	23.620	259.354	2	518.707
6	0.021	3.359	0.909	0.045	0.002025	10.980	4	43.922	5.476	60.124	4	240.498
8	0.021	3.359	0.907	0.045	0.002025	10.980	2	21.961	0.008	0.089	2	0.178
10	0.021	3.359	0.895	0.045	0.002025	10.980	4	43.922	6.350	69.730	4	278.921
12	0.021	3.359	0.872	0.045	0.002025	10.980	2	21.961	25.402	278.921	2	557.841
14	0.020	3.168	0.891	0.045	0.002025	10.980	4	43.922	55.801	612.718	4	2450.873
16	0.012	1.944	1.373	0.032	0.001024	5.553	2	11.105	98.010	544.208	2	1088.416
18	0.000	0.000	#DIV/0!	0.000	0.000000	0.000	4	0.000	154.256	0.000	4	0.000
FP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.000	1	0.000	220.523	0.000	1	0.000
							SUM <sub>1</sub>	252.675			SUM <sub>2</sub>	7469.62

Damping coefficient for heaving,  $b$

$$\begin{aligned} b &= \int b_n d\xi \\ &= 1/3 \times S \times \text{SUM}_1 \\ &= 1/3 \times 2.457 \times 252.675 \\ &= \underline{\underline{206.94}} \quad \text{kN-sec/m.} \end{aligned}$$

Damping coefficient for pitching,  $B$

$$\begin{aligned} B &= \int b_n \xi^2 d\xi \\ &= 1/3 \times S \times \text{SUM}_2 \\ &= 1/3 \times 2.457 \times 7469.62 \\ &= \underline{\underline{6117.62}} \quad \text{m-kN-sec/rad.} \end{aligned}$$

Keterangan :

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

TABLE 3.1 CALCULATIONS FOR  $c$  AND  $C$ untuk  $w_e = 0.221$ 

Station No.	$B_n$ [m]	$c_n$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Simpson's Multiplier	Product (3) x (4)	$\xi^2$ [m <sup>2</sup> ]	$c_n \times \xi^2$ [kN] (3) x (6)	Simpson's Multiplier	Product (7) x (8)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Ap	0.000	0.000	1	0.000	94.478	0.000	1	0.000
2	8.397	84.434	4	337.736	53.144	4487.165	4	17948.662
4	8.397	84.434	2	168.868	23.620	1994.296	2	3988.592
6	8.397	84.434	4	337.736	5.476	462.326	4	1849.306
8	8.397	84.434	2	168.868	0.008	0.684	2	1.368
10	8.397	84.434	4	337.736	6.350	536.189	4	2144.757
12	8.397	84.434	2	168.868	25.402	2144.757	2	4289.514
14	7.920	79.638	4	318.550	55.801	4443.849	4	17775.395
16	4.860	48.869	2	97.737	98.010	4789.603	2	9579.206
18	0.000	0.000	4	0.000	154.256	0.000	4	0.000
FP	0.000	0.000	1	0.000	220.523	0.000	1	0.000
			SUM <sub>1</sub>	1936.098			SUM <sub>2</sub>	57576.799

Restoring force coefficient for heaving,  $c$ 

$$\begin{aligned}
 c &= \int c_n d\xi = (\rho g A_w) \\
 &= 1/3 \times S \times \text{SUM}_1 \\
 &= 1/3 \times 2.457 \times 1936.098 \\
 &= \underline{\underline{1585.66}} \quad \text{kN/m.}
 \end{aligned}$$

Restoring moment coefficient for pitching,  $C$ 

$$\begin{aligned}
 C &= \int c_n \xi^2 d\xi \\
 &= 1/3 \times S \times \text{SUM}_2 \\
 &= 1/3 \times 2.457 \times 57576.799 \\
 &= \underline{\underline{47155.4}} \quad \text{m-kN/rad.}
 \end{aligned}$$

*Keterangan :*

- (2) = Beam of Station,  $B_n$   
(3) = Sectional Restoring Force Coefficient,  $c_n = \rho g B_n$   
S =  $L_{pp} / 20$

TABLE 4.1 CALCULATIONS FOR  $d$ ,  $e$ ,  $h$ ,  $D$ ,  $E$  AND  $H$ untuk  $we = 0.221$ 

Station No.	$\xi$ [m]	$a_n$ [ton/m]	$a_n \times \xi$ (2) x (3)	Simpson's Multiplier (5)	Product (4) x (5) (6)	$b_n$ [kN-sec/m <sup>2</sup> ] (7)	$b_n \times \xi$ (2) x (7) (8)	Simpson's Multiplier (9)	Product (8) x (9) (10)	$c_n$ [kN/m <sup>2</sup> ] (11)	$c_n \times \xi$ (2) x (11) (12)	Simpson's Multiplier (13)	Product (12) x (13) (14)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Ap	9.720	0.000	0.000	1	0.000	0.000	0.000	1	0.000	0.000	0.000	1	0.000
2	7.290	47.397	345.522	4	1382.09	10.980	80.047	4	320.190	84.434	615.523	4	2462.094
4	4.860	47.397	230.348	2	460.70	10.980	53.365	2	106.730	84.434	410.349	2	820.698
6	2.340	47.397	110.908	4	443.63	10.980	25.694	4	102.777	84.434	197.575	4	790.302
8	-2.520	47.397	-119.440	2	-238.880	10.980	-27.671	2	-55.341	84.434	-212.774	2	-425.547
10	-5.040	47.397	-238.880	4	-955.518	10.980	-55.341	4	-221.366	84.434	-425.547	4	-1702.188
12	-7.470	47.397	-354.054	2	-708.107	10.980	-82.024	2	-164.048	84.434	-630.721	2	-1261.443
14	-9.900	37.115	-367.440	4	-1469.761	10.980	-108.706	4	-434.825	79.638	-788.412	4	-3153.648
16	-12.420	11.504	-142.877	2	-285.755	5.553	-68.963	2	-137.926	48.869	-606.947	2	-1213.894
18	-14.850	0.000	0.000	4	0.000	0.000	0.000	4	0.000	0.000	0.000	4	0.000
FP	0.000	0.000	0.000	1	0.000	0.000	0.000	1	0.000	0.000	0.000	1	0.000
				SUM <sub>1</sub>	-1371.60			SUM <sub>2</sub>	-483.810			SUM <sub>3</sub>	-3683.627

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

$$\begin{aligned} d &= -\int a_n \xi d\xi \\ &= -1/3 \times S \times \text{SUM}_1 \\ &= -1/3 \times 2.457 \times -1371.602 \\ &= \underline{\underline{1123.342}} \text{ kN-sec}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e &= -\int b_n \xi d\xi + V_s a_z \\ &= (-1/3 \times S \times \text{SUM}_2) + V_s a_z \\ &= (-1/3 \times 2.457 \times -483.810) + (5.144 \times 839.1553676) \\ &= \underline{\underline{4712.9}} \text{ kN-sec}^2/\text{sec.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= -\int c_n \xi d\xi + V_s b \\ &= (-1/3 \times S \times \text{SUM}_3) + V_s b \\ &= (-1/3 \times 2.457 \times -3683.627) + (5.144 \times 206.9406522) \\ &= \underline{\underline{4081.4}} \text{ kN-sec}^2/\text{sec.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= d \\ &= \underline{\underline{1123.342}} \text{ kN-sec}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= -\int b_n \xi d\xi - V_s a_z \\ &= (-1/3 \times S \times \text{SUM}_2) - V_s a_z \\ &= (-1/3 \times 2.457 \times -483.810) - (5.144 \times 839.1553676) \\ &= \underline{\underline{-3920.4}} \text{ kN-sec}^2/\text{sec.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H &= -\int c_n \xi d\xi \\ &= (-1/3 \times S \times \text{SUM}_3) \\ &= (-1/3 \times 2.457 \times -3683.627) \\ &= \underline{\underline{3016.9}} \text{ kN-sec}^2/\text{sec.} \end{aligned}$$

**Keterangan :**Centre of Buoyancy,  $\xi$  $a_n = C \times (\rho\pi/8) \times B_n^2$  $b_n = (\rho g^2/\omega_e^3) \times A$ Coefficient,  $c_n = \rho g B_n$

If the distribution of weight along the length is not known, ship mass  $m$  and Ship mass moment of inertia  $I_{yy}$  are obtained as :

Ship mass,  $m$

$$\begin{aligned} m &= \Delta/g \\ &= 3995.466 / 9.81 \\ &= \underline{\underline{407.285}} \quad \text{kN-sec}^2/\text{m.} \end{aligned}$$

Ship mass moment of inertia,  $I_{yy}$

$$I_{yy} = \Delta/g (k_{yy}^2)$$

where,

$k_{yy}$ , the *radius of gyration*, is assumed to be between  $0.24L$  and  $0.26L$ .

$$\begin{aligned} k_{yy} &= 0.26 L \\ &= 0.26 \times 24.600 \\ &= 6.396 \quad \text{m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{yy} &= (3995.466 / 9.81) \times 6.396^2 \\ &= \underline{\underline{16661.547}} \quad \text{kN-sec}^2\text{-m.} \end{aligned}$$

TABLE 6.1 CALCULATIONS FOR EXITING FORCES AND MOMENTS ( $F$  AND  $M$ )

untuk  $w_e = 0.221$

Station No.	$\xi$ [m]	$k\xi$	Sin $k\xi$	Cos $k\xi$	$T_m$ [m]	$\frac{2\pi \cos \mu \times T_m}{L_w}$ [-]	$e^{-[(2\pi \cos \mu/L_w)T_m]}$	$c_n$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$c_n \times \zeta_a$ [kN/m]	$a_n$ [ton/m]	$a_n (-\zeta_a \omega_e^2)$ [ton/sec <sup>2</sup> ]	(10) + (12) [kN-sec <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]	$\frac{da_n}{d\xi}$ (13)	$V_s \zeta_a \omega_e \frac{da_n}{d\xi}$ (14)	$b_n \zeta_a \omega_e$ (15)	$b_n \zeta_a \omega_e$ [ton/sec]	(16)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)		
Ap	9.720	0.040	0.040	0.999	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-9.752	-427.055	0.000		
2	7.290	0.030	0.030	1.000	2.272	0.009	0.991	84.434	3252.714	47.397	-89.158	3163.556	-9.752	-427.055	93.474		
4	4.860	0.020	0.020	1.000	2.272	0.009	0.991	84.434	3252.714	47.397	-89.158	3163.556	0.000	0.000	93.474		
6	2.340	0.010	0.010	1.000	2.272	0.009	0.991	84.434	3252.714	47.397	-89.158	3163.556	0.000	0.000	93.474		
8	-2.520	-0.010	-0.010	1.000	2.268	0.009	0.991	84.434	3252.714	47.397	-89.158	3163.556	0.000	0.000	93.474		
10	-5.040	-0.021	-0.021	1.000	2.239	0.009	0.991	84.434	3252.714	47.397	-89.158	3163.556	0.000	0.000	93.474		
12	-7.470	-0.030	-0.030	1.000	2.180	0.008	0.992	84.434	3252.714	47.397	-89.158	3163.556	2.116	92.639	93.474		
14	-9.900	-0.040	-0.040	0.999	2.227	0.009	0.991	79.638	3067.941	37.115	-69.818	2998.123	7.197	315.162	93.474		
16	-12.420	-0.051	-0.051	0.999	3.433	0.013	0.987	48.869	1882.600	11.504	-21.640	1860.960	7.449	326.175	47.268		
18	-14.850	-0.061	-0.061	0.998	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.367	103.652	0.000		
FP	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	#DIV/0!	#DIV/0!	0.000		

Keterangan :

(2) = Lever Arm from Longitudinal

(11) = Sectional Added Mass,  $a_n$

Centre of Buoyancy,  $\xi$

$$a_n = C \times (\rho\pi/8) \times B_n^2$$

(3) =  $k\xi = (2\pi \cos \mu/L_w) \times \xi$

(14) = Slope of the added mass

(6) = Mean Draft,  $T_m = S_n / B_n$

curve,  $da_n/d\xi$

(9) = Sectional Restoring Force

$$S = L_{pp} / 20$$

Coefficient,  $c_n = \rho g B_n$

lanjutan TABLE 6.1

(16) - (15)	(13) x (4)	(17) x (5)	(18) + (19)	(13) x (5)	(17) x (4)	(21) - (22)	(20) x (8)	Simpson's Multiplier	Product		Simpson's Multiplier	Product		Simpson's Multiplier	Product		Simpson's Multiplier	Product		Simpson's Multiplier	Product		
(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(24) x (25)	(23) x (8)	(26)	(27)	(28)	(27) x (28)	(24) x (2)	(29)	(30)	(31)	(30) x (31)	(27) x (2)	(33)	(34)	(35)
427.055	0.000	426.720	426.720	0.000	16.921	-16.921	#DIV/0!	1	0.000	0.000	1	0.000	#DIV/0!	1	#DIV/0!	0.000	1	0.000	0.000	1	0.000	0.000	
520.529	94.022	520.300	614.322	3162.158	15.470	3146.688	608.941	4	2435.763	3119.126	4	12476.503	4439.178	4	17756.711	22738.428	4	90953.710					
93.474	62.687	93.456	156.142	3162.935	1.852	3161.083	154.775	2	309.549	3133.394	2	6266.789	752.204	2	1504.408	15228.296	2	30456.592					
93.474	30.184	93.470	123.654	3163.412	0.892	3162.520	122.571	4	490.282	3134.819	4	12539.277	286.815	4	1147.260	7335.477	4	29341.908					
93.474	-32.506	93.469	60.963	3163.389	-0.960	3164.349	60.430	2	120.861	3136.683	2	6273.366	-152.284	2	-304.569	-7904.441	2	-15808.883					
93.474	-65.008	93.454	28.446	3162.888	-1.921	3164.809	28.201	4	112.803	3137.491	4	12549.966	-142.132	4	-568.527	-15812.957	4	-63251.828					
0.835	-96.343	0.834	-95.509	3162.089	-0.025	3162.114	-94.706	2	-189.412	3135.533	2	6271.066	707.453	2	1414.905	-23422.430	2	-46844.860					
-221.688	-120.992	-221.507	-342.500	2995.681	8.946	2986.734	-339.558	4	-1358.233	2961.085	4	11844.338	3361.628	4	13446.510	-29314.737	4	-117258.949					
-278.907	-94.203	-278.549	-372.752	1858.574	14.118	1844.456	-367.829	2	-735.657	1820.094	2	3640.188	4568.432	2	9136.864	-22605.569	2	-45211.137					
-103.652	0.000	-103.462	-103.462	0.000	6.272	-6.272	#DIV/0!	4	0.000	0.000	4	0.000	0.000	4	0.000	0.000	4	0.000	0.000	4	0.000	0.000	
#DIV/0!	0.000	#DIV/0!	#DIV/0!	0.000	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1	0.000	0.000	1	0.000	0.000	1	0.000	0.000	1	0.000	0.000	1	0.000	0.000	
								SUM <sub>1</sub>	1185.956		SUM <sub>2</sub>	71861.49		SUM <sub>3</sub>	43533.56		SUM <sub>4</sub>	-137623					



Exiting force component,  $F_1$

$$\begin{aligned}F_1 &= 1/3 \times S \times \text{SUM}_1 \\&= 1/3 \times 2.457 \times 1185.956 \\&= \underline{\underline{971.298}} \quad \text{kN.}\end{aligned}$$

Exiting force component,  $F_2$

$$\begin{aligned}F_2 &= 1/3 \times S \times \text{SUM}_2 \\&= 1/3 \times 2.457 \times 71861.493 \\&= \underline{\underline{58854.563}} \quad \text{kN.}\end{aligned}$$

Amplitude of the exiting force,  $F_0$

$$\begin{aligned}F_0 &= \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \\&= \sqrt{971.298^2 + 58854.563^2} \\&= \underline{\underline{58862.577}} \quad \text{kN.}\end{aligned}$$

$$F = F_0 \cos(\omega_e t + \sigma)$$

$$\begin{aligned}\sigma &= \tan^{-1}(F_2/F_1) \\&= 89.055 \quad {}^\circ\end{aligned}$$

$$F = 58862.57 \bar{q} \cos(\omega_e t + 89.055 {}^\circ) \text{ kN.}$$

$$\begin{aligned}\overline{F} &= F_1 + iF_2 \\&= 971.298 + (-58854.563) i\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P &= -(m + \alpha)\omega_e^2 + ib\omega_e + c \\&= 1524.801 + 45.729 i\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S &= -(I_{yy} + A_{yy})\omega_e^2 + iB\omega_e + C \\&= 47155.398 + 1351.837198 i\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q &= -d\omega_e^2 + ie\omega_e + h \\&= 4026.541 + 1041.421 i\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R &= D\omega_e^2 + iE\omega_e + H \\&= 3071.743 + (-866.303) i\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}PS &= 71840783 + (-4217633.606) i \\QR &= 13270686 + (-289226.636) i\end{aligned}$$

Exiting moment component,  $M_1$

$$\begin{aligned}M_1 &= 1/3 \times S \times \text{SUM}_3 \\&= 1/3 \times 2.457 \times 43533.6 \\&= \underline{\underline{35654}} \quad \text{kN-m.}\end{aligned}$$

Exiting moment component,  $M_2$

$$\begin{aligned}M_2 &= 1/3 \times S \times \text{SUM}_4 \\&= 1/3 \times 2.457 \times -137623 \\&= \underline{\underline{-112714}} \quad \text{kN-m.}\end{aligned}$$

Amplitude of the exiting moment,  $M_0$

$$\begin{aligned}M_0 &= \sqrt{M_1^2 + M_2^2} \\&= \sqrt{35654^2 + -112714^2} \\&= \underline{\underline{118218}} \quad \text{kN-m.}\end{aligned}$$

$$M = M_0 \cos(\omega_e t + \tau)$$

$$\begin{aligned}\tau &= \tan^{-1}(M_2/M_1) \\&= -72.447 \quad {}^\circ\end{aligned}$$

$$M = 118218.3 \cos(\omega_e t + -72.447 {}^\circ) \text{ kN.}$$

$$\begin{aligned}\overline{M} &= M_1 + iM_2 \\&= 35654 + (-112714) i\end{aligned}$$

$$PS - QR = 58570097 + (-4506860.24) i$$

$$\overline{PS - QR} = 58570097 + (-4506860.242) i$$

$$(PS - QR) (\overline{PS - QR}) = 3.45077E+15$$

$$\bar{FS} = -33759864 + 2776623380 i$$

$$\bar{MQ} = 260944550 + -416715125.5 i$$

$$\bar{FS} \cdot \bar{MQ} = -294704414 + (-3193338505) i$$

$$(\bar{FS} \cdot \bar{MQ}) (\overline{PS - QR}) = -2.86894E+15 + (1.88362E+17) i$$

$$\bar{MP} = 59519474.79 + -170235412.6 i$$

$$\bar{FR} = 53969458.65 + (-179944663.1) i$$

$$\bar{MP} \cdot \bar{FR} = 5550016.143 + -350180075.6 i$$

$$(\bar{MP} \cdot \bar{FR}) (\overline{PS - QR}) = -1.25315E+15 + (-0.05351E+16) i$$

$$\begin{aligned}\bar{z} &= \frac{(\bar{FS} \cdot \bar{MQ}) (\overline{PS - QR})}{(PS - QR) (\overline{PS - QR})} \\ &= -0.83139051 + (-54.58562676) i\end{aligned}$$

$$z_1 = z \text{ (real)} = -0.831$$

$$z_2 = z \text{ (imaginer)} = 54.586$$

$$z_a = \sqrt{z_1^2 + z_2^2} = 54.592 \text{ m.}$$

$$\delta = \tan^{-1}(z_2/z_1) = -89.127^\circ$$

$$z = z_a \cos(\omega_e t + \delta) = 54.592 \cos(\omega_e t + -89.127^\circ)$$

$$\zeta = \zeta_a \sin(k\xi - \omega_e t), \text{ since } \xi = 0 \text{ at the CG of the ship} \\ = -38.524 \sin \omega_e t$$

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{(\bar{MP} - \bar{FR}) (PS - QR)}{(PS - QR) (\overline{PS - QR})} \\ &= -0.363150362 + (-5.9508764) i\end{aligned}$$

$$\theta_1 = \theta \text{ (real)} = -0.363$$

$$\theta_2 = \theta \text{ (imaginer)} = -5.951$$

$$\theta_a = \sqrt{\theta_1^2 + \theta_2^2} = 5.962 \text{ rad.}$$

$$\varepsilon = \tan^{-1}(\theta_2/\theta_1) = 86.508^\circ$$

$$\theta = \theta_a \cos(\omega_e t + \theta) = 5.962 \cos(\omega_e t + 86.508^\circ)$$

*Keterangan :*

$z_a$  = amplitude of heaving motion

$\theta_a$  = amplitude of pitching motion

$\delta$  = phase of heaving motion after wave node at CG

$\varepsilon$  = phase of pitching motion after wave node at CG

TABLE 7.1

$$\zeta = -38,524 \sin \omega_e t, \text{ Equation of wave motion}$$

$$z = 54,592 \cos (\omega_e t + -89,127^\circ), \text{ Equation of heaving motion}$$

$$\theta = 5,962 \cos (\omega_e t + 86,508^\circ), \text{ Equation of pitching motion}$$

$$F = 58862,58 \cos (\omega_e t + 89,055^\circ), \text{ Equation of exciting force}$$

$$M = 118218,2864 \cos (\omega_e t + -72,447^\circ), \text{ Equation of exciting moment}$$

$$\xi = -14,850 \text{ m.}, \text{ Lever Arm from Longitudinal Centre of Buoyancy to bow}$$

$zb - \zeta$ , Relative motion

$\omega_e t$ [rad]	$t$ [sec]	$\zeta$ [m]	$z$ [m]	$\theta$ [rad]	$F$ [kN]	$M$ [kN-m]	$zb$ [m]	$zb - \zeta$ [m]
0 $\pi$	0,000	0,000	0,831	0,363	971,298	35654,0	6,224	6,224
0,25 $\pi$	3,554	-27,240	39,19	-3,951	-40929,649	104911,7	-19,488	7,752
0,5 $\pi$	7,108	-38,524	54,59	-5,951	-58854,563	112713,6	-33,785	4,739
0,75 $\pi$	10,663	-27,240	38,01	-4,465	-42303,271	54489,4	-28,291	-1,050
1 $\pi$	14,217	0,000	-0,831	-0,363	-971,298	-35654,0	-6,224	-6,224
1,25 $\pi$	17,771	27,240	-39,186	3,951	40929,649	-104911,7	19,488	-7,752
1,5 $\pi$	21,325	38,524	-54,586	5,951	58854,563	-112713,6	33,785	-4,739
1,75 $\pi$	24,880	27,240	-38,010	4,465	42303,271	-54489,4	28,291	1,050
2 $\pi$	28,434	0,000	0,831	0,363	971,298	35654,0	6,224	6,224

TABEL 8.1

$$\omega_e = 0,22$$

$\omega_e t$ [rad]	$\zeta$ [m]	$Zb$ [m]	$z - \zeta$ [m]	$H \cdot T_{peren}$ [m]
0 $\pi$	0	6,2241734	6,22417	2,385
0,25 $\pi$	-27,240	-19,488	7,752	2,385
0,5 $\pi$	-38,524	-33,785	4,739	2,385
0,75 $\pi$	-27,240	-28,291	-1,050	2,385
1 $\pi$	0,000	-6,224	-6,224	2,385
1,25 $\pi$	27,240	19,488	-7,752	2,385
1,5 $\pi$	38,524	33,785	-4,739	2,385
1,75 $\pi$	27,240	28,291	1,050	2,385
2 $\pi$	0,000	6,224	6,224	2,385

Membuat Relative motion spectrum dan Response Amplitudo Operator (RAO)

$\omega_w$	$\omega_e$	Sa [m]	$\zeta a$ [m]	$Sa/\zeta a$	$(Sa/\zeta a)^2$ RAO	$S\zeta(\omega_e)$	$S(\omega_e)$
0.2	0.221	3.876	5.000	0.775	0.601	0.000000	0.000000
0.3	0.347	4.348	5.000	0.870	0.756	0.000000	0.000000
0.4	0.484	13.191	5.000	2.638	6.960	0.000108	0.000755
0.5	0.631	8.924	5.000	1.785	3.185	0.076035	0.242185
0.6	0.789	6.912	5.000	1.382	1.911	0.460881	0.880792
0.7	0.957	6.449	5.000	1.290	1.663	0.659683	1.097357
0.8	1.136	1.535	5.000	0.307	0.094	0.568954	0.053605
0.9	1.325	2.958	5.000	0.592	0.350	0.406365	0.142229
1	1.524	2.328	5.000	0.466	0.217	0.271459	0.058837
1.1	1.734	1.714	5.000	0.343	0.117	0.178345	0.020951
1.2	1.955	0.430	5.000	0.086	0.007	0.117741	0.000871
1.3	2.186	0.363	5.000	0.073	0.005	0.078825	0.000416
1.4	2.428	0.387	5.000	0.077	0.006	0.053700	0.000322
1.5	2.680	0.550	5.000	0.110	0.012	0.037259	0.000451
1.6	2.942	0.392	5.000	0.078	0.006	0.026320	0.000162

Mentransformasikan Wave spectrum kedalam frekwesi encountering

$\omega_w$	$S_\zeta(\omega_w)$ [m <sup>2</sup> -sec]	$\eta = \omega_w V \cos\mu / g$	$\omega_e = \omega_w(1-\eta)$	$S_\zeta(\omega_e)$ [m <sup>2</sup> -sec]
0.2	0.000E+00	-0.105	0.221	0.000000
0.3	0.000E+00	-0.157	0.347	0.000000
0.4	0.000E+00	-0.210	0.484	0.000000
0.5	1.575E-232	-0.262	0.631	0.000000
0.6	3.462E-112	-0.315	0.789	0.000000
0.7	9.160E-61	-0.367	0.957	0.000000
0.8	6.197E-36	-0.419	1.136	0.000000
0.9	8.040E-23	-0.472	1.325	0.000000
1	2.070E-15	-0.524	1.524	0.000000
1.1	5.359E-11	-0.577	1.734	0.000000
1.2	2.926E-08	-0.629	1.955	0.000000
1.3	1.652E-06	-0.682	2.186	0.000001
1.4	2.324E-05	-0.734	2.428	0.000009
1.5	1.354E-04	-0.787	2.680	0.000053
1.6	4.430E-04	-0.839	2.942	0.000165

Membuat wave spektrum dengan ITTC

$$H_{1/3} = 1 \text{ m.}$$

$$= 1 \text{ m.}$$

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

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

$$g = 9.8 \text{ m/sec}^2$$

$$A = 0.778$$

$$B = 33.56 / (H_{1/3})^2$$

$$= 33.560$$

$\omega_e$	S ( $\omega_e$ ) [m <sup>2</sup> - sec]	Simpson	product	$\omega_e^2$	$\omega_e^2 S$	Simpson	product	$\omega_e^4$	$\omega_e^4 S$	Simpson	product
0.221	0.0000	1	0.0000	0.0488	0.0000E+00	1	0.0000E+00	0.0024	0.0000E+00	1	0.0000E+00
0.347	0.0000	4	0.0000	0.1205	0.0000E+00	4	0.0000E+00	0.0145	0.0000E+00	4	0.0000E+00
0.484	0.0000	2	0.0000	0.2342	0.0000	2	0.0000	0.0548	0.0000	2	0.0000
0.631	0.0000	4	0.0000	0.3983	0.0000	4	0.0000	0.1586	0.0000	4	0.0000
0.789	0.0000	2	0.0000	0.6222	0.0000	2	0.0000	0.3871	0.0000	2	0.0000
0.957	0.0000	4	0.0000	0.9157	0.0000	4	0.0000	0.8386	0.0000	4	0.0000
1.136	0.0000	2	0.0000	1.2896	0.0000	2	0.0000	1.6630	0.0000	2	0.0000
1.325	0.0000	4	0.0000	1.7549	0.0000	4	0.0000	3.0797	0.0000	4	0.0000
1.524	0.0000	2	0.0000	2.3237	0.0000	2	0.0000	5.3995	0.0000	2	0.0000
1.734	0.0000	4	0.0000	3.0084	0.0000	4	0.0000	9.0506	0.0000	4	0.0000
1.955	0.0000	2	0.0000	3.8223	0.0000	2	0.0000	14.6103	0.0000	2	0.0000
2.186	0.0000	4	0.0000	4.7794	0.0000	4	0.0000	22.8422	0.0000	4	0.0000
2.428	0.0000	2	0.0000	5.8940	0.0000	2	0.0001	34.7390	0.0002	2	0.0004
2.680	0.0001	4	0.0003	7.1814	0.0005	4	0.0018	51.5727	0.0033	4	0.0131
2.942	0.0001	2	0.0002	8.6575	0.0009	2	0.0018	74.9529	0.0076	2	0.0152
3.215	0.0003	4	0.0012	10.3389	0.0032	4	0.0127	106.8919	0.0329	4	0.1318
3.499	0.0008	2	0.0016	12.2426	0.0096	2	0.0192	149.8801	0.1176	2	0.2351
3.793	0.0003	4	0.0011	14.3865	0.0039	4	0.0155	206.9705	0.0558	4	0.2230
4.097	0.0002	2	0.0005	16.7891	0.0042	2	0.0083	281.8742	0.0698	2	0.1396
4.412	0.0001	4	0.0002	19.4698	0.0011	4	0.0044	379.0665	0.0212	4	0.0847
4.738	0.0002	2	0.0004	22.4479	0.0039	2	0.0079	503.9061	0.0883	2	0.1765
5.074	0.0001	4	0.0004	25.7443	0.0028	4	0.0114	662.7667	0.0731	4	0.2923
5.420	0.0001	2	0.0002	29.3800	0.0027	2	0.0055	863.1832	0.0803	2	0.1605
5.777	0.0001	4	0.0004	33.3768	0.0029	4	0.0117	1114.0126	0.0975	4	0.3901
6.145	0.0001	2	0.0001	37.5753	0.0021	2	0.0042	1425.6102	0.0785	2	0.1570
6.523	0.0001	4	0.0005	42.5444	0.0049	4	0.0194	1810.0245	0.2065	4	0.8260
6.911	0.0000	2	0.0001	47.7620	0.0017	2	0.0033	2281.2078	0.0788	2	0.1577
7.310	0.0000	4	0.0001	53.4345	0.0011	4	0.0043	2855.2480	0.0575	4	0.2300
7.719	0.0000	2	0.0000	59.5871	0.0011	2	0.0022	3550.6187	0.0669	2	0.1338
8.139	0.0001	4	0.0002	66.2454	0.0034	4	0.0137	4388.4524	0.2262	4	0.9048
8.569	0.0000	2	0.0000	73.4359	0.0017	2	0.0033	5392.8343	0.1218	2	0.2436
9.010	0.0000	4	0.0002	81.1857	0.0031	4	0.0123	6591.1213	0.2503	4	1.0012
9.462	0.0000	2	0.0001	89.5225	0.0024	2	0.0048	8014.2848	0.2150	2	0.4299
9.923	0.0000	4	0.0001	98.4748	0.0030	4	0.0119	9697.2803	0.2939	4	1.1754
10.396	0.0000	2	0.0000	108.0715	0.0003	2	0.0006	11679.4437	0.0301	2	0.0602
10.879	0.0000	4	0.0000	118.3424	0.0008	4	0.0033	14004.9170	0.0976	4	0.3904
11.372	0.0000	2	0.0000	129.3178	0.0013	2	0.0025	16723.1037	0.1635	2	0.3271
11.876	0.0000	4	0.0001	141.0289	0.0019	4	0.0074	19889.1553	0.2616	4	1.0463
12.390	0.0000	2	0.0000	153.5073	0.0026	2	0.0052	23564.4914	0.3996	2	0.7992
12.915	0.0000	4	0.0000	166.7854	0.0014	4	0.0055	27817.3531	0.2287	4	0.9149
13.450	0.0000	2	0.0000	180.8961	0.0001	2	0.0002	32723.3930	0.0151	2	0.0302
13.995	0.0000	4	0.0000	195.8732	0.0020	4	0.0080	38366.3021	0.3902	4	1.5607
14.552	0.0000	1	0.0000	211.7510	0.0042	1	0.0042	44838.4746	0.8928	1	0.8928
		SUM <sub>0</sub>	0.01			SUM <sub>2</sub>	0.22			SUM <sub>4</sub>	13.14

$$\begin{aligned}
 m_0 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_0 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad 0.01 \\
 &= 0.00027 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_2 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_2 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad 0.22 \\
 &= 0.01 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_4 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_4 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad 13.14 \\
 &= 0.44 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon^2 &= (m_0 m_4 - m_2^2) / m_0 m_4 \\
 &= \quad 0.55
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CF} &= (1 - \varepsilon^2)^{1/2} \\
 &= (1 - \quad 0.55 )^{1/2} \\
 &= 0.67
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (S_a)_{1/3} &= 2\sqrt{m_0} \times \text{CF} \\
 &= 2\sqrt{0.00027} \times \quad 0.67 \\
 &= 0.0218 \quad \text{m.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{freeboard} &= f \\
 &= 2.385 \quad \text{m.}
 \end{aligned}$$

### Probabilitas

$$\begin{aligned}
 Pf = n &= e^{(f)^2/2\text{mos}} \\
 &= 2.88123E-47
 \end{aligned}$$

Mentransformasikan Wave spectrum kedalam frekwesi encountering

$\omega_w$	$S_\zeta(\omega_w)$ [m <sup>2</sup> -sec]	$\eta = \omega_w V \cos\mu / g$	$\omega_e = \omega_w(1-\eta)$	$S_\zeta(\omega_e)$ [m <sup>2</sup> -sec]
0.2	0.000E+00	-0.105	0.221	0.000000
0.3	0.000E+00	-0.157	0.347	0.000000
0.4	3.527E-141	-0.210	0.484	0.000000
0.5	1.249E-57	-0.262	0.631	0.000000
0.6	7.673E-28	-0.315	0.789	0.000000
0.7	3.087E-15	-0.367	0.957	0.000000
0.8	3.018E-09	-0.419	1.136	0.000000
0.9	3.682E-06	-0.472	1.325	0.000002
1	1.767E-04	-0.524	1.524	0.000086
1.1	1.568E-03	-0.577	1.734	0.000728
1.2	5.468E-03	-0.629	1.955	0.002421
1.3	1.110E-02	-0.682	2.186	0.004698
1.4	1.629E-02	-0.734	2.428	0.006598
1.5	1.953E-02	-0.787	2.680	0.007591
1.6	2.062E-02	-0.839	2.942	0.007701

Membuat wave spektrum dengan ITTC

$$H_{1/3} = 2 \text{ m.}$$

$$= 2 \text{ m.}$$

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

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

$$g = 9.8 \text{ m/sec}^2$$

$$A = 0.778$$

$$B = 33.56 / (H_{1/3})^2$$

$$= 8.390$$

$\omega_e$	S ( $\omega_e$ ) [m <sup>2</sup> - sec]	Simpson	product	$\omega_e^2$	$\omega_e^2 S$	Simpson	product	$\omega_e^4$	$\omega_e^4 S$	Simpson	product
0.221	0.0000	1	0.0000	0.0488	0.0000E+00	1	0.0000E+00	0.0024	0.0000E+00	1	0.0000E+00
0.347	0.0000	4	0.0000	0.1205	0.0000E+00	4	0.0000E+00	0.0145	0.0000E+00	4	0.0000E+00
0.484	0.0000	2	0.0000	0.2342	0.0000	2	0.0000	0.0548	0.0000	2	0.0000
0.631	0.0000	4	0.0000	0.3983	0.0000	4	0.0000	0.1586	0.0000	4	0.0000
0.789	0.0000	2	0.0000	0.6222	0.0000	2	0.0000	0.3871	0.0000	2	0.0000
0.957	0.0000	4	0.0000	0.9157	0.0000	4	0.0000	0.8386	0.0000	4	0.0000
1.136	0.0000	2	0.0000	1.2896	0.0000	2	0.0000	1.6630	0.0000	2	0.0000
1.325	0.0000	4	0.0001	1.7549	0.0000	4	0.0001	3.0797	0.0001	4	0.0002
1.524	0.0005	2	0.0009	2.3237	0.0011	2	0.0022	5.3995	0.0025	2	0.0050
1.734	0.0021	4	0.0086	3.0084	0.0064	4	0.0257	9.0506	0.0193	4	0.0774
1.955	0.0004	2	0.0009	3.8223	0.0017	2	0.0034	14.6103	0.0065	2	0.0131
2.186	0.0006	4	0.0025	4.7794	0.0030	4	0.0119	22.8422	0.0142	4	0.0566
2.428	0.0010	2	0.0020	5.8940	0.0058	2	0.0116	34.7390	0.0343	2	0.0687
2.680	0.0023	4	0.0092	7.1814	0.0165	4	0.0660	51.5727	0.1185	4	0.4742
2.942	0.0012	2	0.0024	8.6575	0.0102	2	0.0205	74.9529	0.0887	2	0.1774
3.215	0.0016	4	0.0063	10.3389	0.0162	4	0.0649	106.8919	0.1677	4	0.6708
3.499	0.0022	2	0.0043	12.2426	0.0264	2	0.0528	149.8801	0.3233	2	0.6465
3.793	0.0005	4	0.0019	14.3865	0.0067	4	0.0267	206.9705	0.0962	4	0.3846
4.097	0.0003	2	0.0006	16.7891	0.0050	2	0.0100	281.8742	0.0841	2	0.1683
4.412	0.0001	4	0.0002	19.4696	0.0010	4	0.0040	379.0665	0.0193	4	0.0773
4.738	0.0001	2	0.0003	22.4479	0.0029	2	0.0058	503.9061	0.0646	2	0.1292
5.074	0.0001	4	0.0003	25.7443	0.0017	4	0.0070	662.7667	0.0449	4	0.1797
5.420	0.0000	2	0.0001	29.3800	0.0015	2	0.0029	863.1832	0.0429	2	0.0857
5.777	0.0000	4	0.0002	33.3768	0.0014	4	0.0056	1114.0126	0.0464	4	0.1857
6.145	0.0000	2	0.0000	37.5753	0.0009	2	0.0018	1425.6102	0.0340	2	0.0681
6.523	0.0000	4	0.0002	42.5444	0.0019	4	0.0078	1810.0245	0.0829	4	0.3316
6.911	0.0000	2	0.0000	47.7620	0.0006	2	0.0012	2281.2078	0.0297	2	0.0594
7.310	0.0000	4	0.0000	53.4345	0.0004	4	0.0015	2855.2480	0.0205	4	0.0821
7.719	0.0000	2	0.0000	59.5871	0.0004	2	0.0008	3550.6187	0.0228	2	0.0456
8.139	0.0000	4	0.0001	66.2454	0.0011	4	0.0045	4388.4524	0.0743	4	0.2971
8.569	0.0000	2	0.0000	73.4359	0.0005	2	0.0011	5392.8343	0.0387	2	0.0774
9.010	0.0000	4	0.0000	81.1857	0.0010	4	0.0038	6591.1213	0.0774	4	0.3095
9.482	0.0000	2	0.0000	89.5225	0.0007	2	0.0014	8014.2848	0.0649	2	0.1298
9.923	0.0000	4	0.0000	98.4748	0.0009	4	0.0035	9697.2803	0.0869	4	0.3475
10.396	0.0000	2	0.0000	108.0715	0.0001	2	0.0002	11679.4437	0.0087	2	0.0175
10.879	0.0000	4	0.0000	118.3424	0.0002	4	0.0009	14004.9170	0.0279	4	0.1116
11.372	0.0000	2	0.0000	129.3178	0.0004	2	0.0007	16723.1037	0.0461	2	0.0923
11.876	0.0000	4	0.0000	141.0289	0.0005	4	0.0021	19889.1553	0.0729	4	0.2916
12.390	0.0000	2	0.0000	153.5073	0.0007	2	0.0014	23564.4914	0.1102	2	0.2205
12.915	0.0000	4	0.0000	166.7854	0.0004	4	0.0015	27817.3531	0.0625	4	0.2500
13.450	0.0000	2	0.0000	180.8961	0.0000	2	0.0000	32723.3930	0.0041	2	0.0082
13.995	0.0000	4	0.0000	195.8732	0.0005	4	0.0021	38366.3021	0.1050	4	0.4200
14.552	0.0000	1	0.0000	211.7510	0.0011	1	0.0011	44838.4746	0.2387	1	0.2387
			SUM <sub>0</sub>	0.04		SUM <sub>2</sub>	0.36			SUM <sub>4</sub>	6.80

$$\begin{aligned}
 m_0 &= 1/3 \times \Delta\omega_e \times \text{SUM}_0 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad 0.04 \\
 &= 0.00137 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_2 &= 1/3 \times \Delta\omega_e \times \text{SUM}_2 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad 0.36 \\
 &= 0.01 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_4 &= 1/3 \times \Delta\omega_e \times \text{SUM}_4 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad 6.80 \\
 &= 0.23 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon^2 &= (m_0 m_4 - m_2^2) / m_0 m_4 \\
 &= \quad 0.54
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CF} &= (1 - \varepsilon^2)^{1/2} \\
 &= (1 - \quad 0.54 )^{1/2} \\
 &= 0.68
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (S_a)_{1/3} &= 2\sqrt{m_0 \times \text{CF}} \\
 &= 2\sqrt{0.00137 \times 0.68} \\
 &= 0.0502 \quad \text{m.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{freeboard} &= f \\
 &= 2.385 \quad \text{m.}
 \end{aligned}$$

#### Probabilitas

$$\begin{aligned}
 Pf = n &= e^{(f)^2/2\text{mos}} \\
 &= 9.40478E-10
 \end{aligned}$$



Mentransformasikan Wave spectrum kedalam frekwensi encountering

$\omega_w$	$S_\zeta(\omega_w)$ [m <sup>2</sup> -sec]	$\eta = \omega_w V \cos \mu / g$	$\omega_e = \omega_w(1-\eta)$	$S_\zeta(\omega_e)$ [m <sup>2</sup> -sec]
0.2	0.000E+00	-0.105	0.221	0.000000
0.3	3.758E-198	-0.157	0.347	0.000000
0.4	4.182E-62	-0.210	0.484	0.000000
0.5	3.056E-25	-0.262	0.631	0.000000
0.6	3.195E-12	-0.315	0.789	0.000000
0.7	8.329E-07	-0.367	0.957	0.000000
0.8	2.641E-04	-0.419	1.136	0.000144
0.9	4.482E-03	-0.472	1.325	0.002306
1	1.869E-02	-0.524	1.524	0.009120
1.1	3.783E-02	-0.577	1.734	0.017568
1.2	5.177E-02	-0.629	1.955	0.022921
1.3	5.678E-02	-0.682	2.186	0.024026
1.4	5.480E-02	-0.734	2.428	0.022200
1.5	4.904E-02	-0.787	2.680	0.019061
1.6	4.200E-02	-0.839	2.942	0.015683

Membuat wave spektrum dengan ITTC

$$H_{1/3} = 3 \text{ m.}$$

$$= 3 \text{ m.}$$

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

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

$$g = 9.8 \text{ m/sec}^2$$

$$A = 0.778$$

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

$$= 3.729$$

$\omega_e$	$S(\omega_e)$ [m <sup>2</sup> - sec]	Simpson	product	$\omega_e^2$	$\omega_e^2 S$	Simpson	product	$\omega_e^4$	$\omega_e^4 S$	Simpson	product
0.221	0.0000	1	0.0000	0.0488	0.0000E+00	1	0.0000E+00	0.0024	0.0000E+00	1	0.0000E+00
0.347	0.0000	4	0.0000	0.1205	2.8961E-198	4	1.1584E-197	0.0145	3.4910E-199	4	1.3964E-198
0.484	0.0000	2	0.0000	0.2342	0.0000	2	0.0000	0.0548	0.0000	2	0.0000
0.631	0.0000	4	0.0000	0.3983	0.0000	4	0.0000	0.1586	0.0000	4	0.0000
0.789	0.0000	2	0.0000	0.6222	0.0000	2	0.0000	0.3871	0.0000	2	0.0000
0.957	0.0000	4	0.0000	0.9157	0.0000	4	0.0000	0.8386	0.0000	4	0.0000
1.136	0.0002	2	0.0003	1.2896	0.0002	2	0.0004	1.6630	0.0003	2	0.0005
1.325	0.0090	4	0.0359	1.7549	0.0157	4	0.0629	3.0797	0.0276	4	0.1105
1.524	0.0220	2	0.0439	2.3237	0.0510	2	0.1021	5.3995	0.1186	2	0.2372
1.734	0.0229	4	0.0917	3.0084	0.0690	4	0.2759	9.0506	0.2075	4	0.8301
1.955	0.0019	2	0.0038	3.8223	0.0072	2	0.0144	14.6103	0.0275	2	0.0550
2.186	0.0014	4	0.0056	4.7794	0.0067	4	0.0269	22.8422	0.0322	4	0.1287
2.428	0.0015	2	0.0030	5.8940	0.0087	2	0.0174	34.7390	0.0513	2	0.1027
2.680	0.0026	4	0.0103	7.1814	0.0184	4	0.0737	51.5727	0.1323	4	0.5292
2.942	0.0011	2	0.0021	8.6575	0.0093	2	0.0185	74.9529	0.0803	2	0.1606
3.215	0.0012	4	0.0049	10.3389	0.0126	4	0.0504	106.8919	0.1302	4	0.5209
3.499	0.0015	2	0.0030	12.2426	0.0183	2	0.0366	149.8801	0.2240	2	0.4479
3.793	0.0003	4	0.0012	14.3865	0.0042	4	0.0170	206.9705	0.0611	4	0.2445
4.097	0.0002	2	0.0004	16.7891	0.0030	2	0.0060	281.8742	0.0500	2	0.1001
4.412	0.0000	4	0.0001	19.4696	0.0006	4	0.0022	379.0665	0.0109	4	0.0436
4.738	0.0001	2	0.0001	22.4479	0.0016	2	0.0031	503.9061	0.0350	2	0.0701
5.074	0.0000	4	0.0001	25.7443	0.0009	4	0.0037	662.7667	0.0236	4	0.0943
5.420	0.0000	2	0.0001	29.3800	0.0007	2	0.0015	863.1832	0.0219	2	0.0438
5.777	0.0000	4	0.0001	33.3768	0.0007	4	0.0028	1114.0126	0.0233	4	0.0930
6.145	0.0000	2	0.0000	37.5753	0.0004	2	0.0009	1425.6102	0.0168	2	0.0335
6.523	0.0000	4	0.0001	42.5444	0.0009	4	0.0038	1810.0245	0.0402	4	0.1609
6.911	0.0000	2	0.0000	47.7620	0.0003	2	0.0006	2281.2078	0.0142	2	0.0285
7.310	0.0000	4	0.0000	53.4345	0.0002	4	0.0007	2855.2480	0.0097	4	0.0390
7.719	0.0000	2	0.0000	59.5871	0.0002	2	0.0004	3550.6187	0.0107	2	0.0215
8.139	0.0000	4	0.0000	66.2454	0.0005	4	0.0021	4388.4524	0.0347	4	0.1389
8.569	0.0000	2	0.0000	73.4359	0.0002	2	0.0005	5392.8343	0.0180	2	0.0360
9.010	0.0000	4	0.0000	81.1857	0.0004	4	0.0018	6591.1213	0.0358	4	0.1431
9.462	0.0000	2	0.0000	89.5225	0.0003	2	0.0007	8014.2848	0.0299	2	0.0597
9.923	0.0000	4	0.0000	98.4748	0.0004	4	0.0016	9697.2803	0.0398	4	0.1593
10.396	0.0000	2	0.0000	108.0715	0.0000	2	0.0001	11679.4437	0.0040	2	0.0080
10.879	0.0000	4	0.0000	118.3424	0.0001	4	0.0004	14004.9170	0.0127	4	0.0509
11.372	0.0000	2	0.0000	129.3178	0.0002	2	0.0003	16723.1037	0.0210	2	0.0419
11.876	0.0000	4	0.0000	141.0289	0.0002	4	0.0009	19889.1553	0.0331	4	0.1323
12.390	0.0000	2	0.0000	153.5073	0.0003	2	0.0007	23564.4914	0.0499	2	0.0998
12.915	0.0000	4	0.0000	166.7854	0.0002	4	0.0007	27817.3531	0.0282	4	0.1130
13.450	0.0000	2	0.0000	180.8961	0.0000	2	0.0000	32723.3930	0.0018	2	0.0037
13.995	0.0000	4	0.0000	195.8732	0.0002	4	0.0010	38366.3021	0.0473	4	0.1892
14.552	0.0000	1	0.0000	211.7510	0.0005	1	0.0005	44838.4746	0.1074	1	0.1074
		SUM <sub>0</sub>	0.21		SUM <sub>2</sub>	0.73			SUM <sub>4</sub>	5.38	

$$\begin{aligned}
 m_0 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_0 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad \quad 0.21 \\
 &= 0.00689 \quad \quad \quad m^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_2 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_2 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad \quad 0.73 \\
 &= 0.02 \quad \quad \quad m^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_4 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_4 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad \quad 5.38 \\
 &= 0.18 \quad \quad \quad m^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon^2 &= (m_0 m_4 - m_2^2) / m_0 m_4 \\
 &= \quad \quad \quad 0.52
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CF &= (1 - \varepsilon^2)^{1/2} \\
 &= (1 - \quad \quad \quad 0.52 )^{1/2} \\
 &= 0.70
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (S_a)_{1/3} &= 2\sqrt{m_0} \times CF \\
 &= 2\sqrt{ \quad \quad 0.00689 } \times \quad \quad 0.70 \\
 &= 0.1154 \quad \quad \quad m.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{freeboard} &= f \\
 &= 2.385 \quad \quad \quad m.
 \end{aligned}$$

### Probabilitas

$$\begin{aligned}
 Pf = n &= e^{(f)^2/2\text{mos}} \\
 &= 0.016149189
 \end{aligned}$$

Mentransformasikan Wave spectrum kedalam frekensi encountering

$\omega_w$	$S_\zeta(\omega_w)$ [m <sup>2</sup> -sec]	$\eta = \omega_w V \cos \mu / g$	$\omega_e = \omega_w(1-\eta)$	$S_\zeta(\omega_e)$ [m <sup>2</sup> -sec]
0.2	0.000E+00	-0.105	0.221	0.000000
0.3	1.108E-110	-0.157	0.347	0.000000
0.4	1.983E-34	-0.210	0.484	0.000000
0.5	6.625E-14	-0.262	0.631	0.000000
0.6	9.362E-07	-0.315	0.789	0.000001
0.7	7.438E-04	-0.367	0.957	0.000429
0.8	1.418E-02	-0.419	1.136	0.007708
0.9	5.387E-02	-0.472	1.325	0.027711
1	9.550E-02	-0.524	1.524	0.046614
1.1	1.153E-01	-0.577	1.734	0.053534
1.2	1.137E-01	-0.629	1.955	0.050340
1.3	1.005E-01	-0.682	2.186	0.042535
1.4	8.379E-02	-0.734	2.428	0.033946
1.5	6.769E-02	-0.787	2.680	0.026308
1.6	5.387E-02	-0.839	2.942	0.020116

Membuat wave spektrum dengan ITTC

$$H_{1/3} = 4 \text{ m.}$$

$$= 4 \text{ m.}$$

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

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

$$g = 9.8 \text{ m/sec}^2$$

$$A = 0.778$$

$$B = 33.56 / (H_{1/3})^2$$

$$= 2.098$$

$\omega_e$	S ( $\omega_e$ ) [m <sup>2</sup> - sec]	Simpson	product	$\omega_e^2$	$\omega_e^2 S$	Simpson	product	$\omega_e^4$	$\omega_e^4 S$	Simpson	product
0.221	0.0000	1	0.0000	0.0488	0.0000E+00	1	0.0000E+00	0.0024	0.0000E+00	1	0.0000E+00
0.347	0.0000	4	0.0000	0.1205	4.8024E-111	4	1.9210E-110	0.0145	5.7890E-112	4	2.3156E-111
0.484	0.0000	2	0.0000	0.2342	0.0000	2	0.0000	0.0548	0.0000	2	0.0000
0.631	0.0000	4	0.0000	0.3983	0.0000	4	0.0000	0.1586	0.0000	4	0.0000
0.789	0.0000	2	0.0000	0.6222	0.0000	2	0.00001	0.3871	0.0000	2	0.0000
0.957	0.0045	4	0.0178	0.9157	0.0041	4	0.0163	0.8386	0.0037	4	0.0150
1.136	0.0045	2	0.0091	1.2896	0.0059	2	0.0117	1.6630	0.0075	2	0.0151
1.325	0.0060	4	0.2425	1.7549	0.1064	4	0.4255	3.0797	0.1867	4	0.7468
1.524	0.0631	2	0.1263	2.3237	0.1467	2	0.2935	5.3995	0.3410	2	0.6819
1.734	0.0393	4	0.1572	3.0084	0.1182	4	0.4730	9.0506	0.3557	4	1.4229
1.955	0.0023	2	0.0047	3.8223	0.0089	2	0.0178	14.6103	0.0340	2	0.0680
2.186	0.0014	4	0.0056	4.7794	0.0067	4	0.0268	22.8422	0.0321	4	0.1282
2.428	0.0013	2	0.0025	5.8940	0.0075	2	0.0150	34.7390	0.0442	2	0.0883
2.680	0.0020	4	0.0080	7.1814	0.0143	4	0.0572	51.5727	0.1027	4	0.4109
2.942	0.0008	2	0.0015	8.6575	0.0067	2	0.0134	74.9529	0.0579	2	0.1159
3.215	0.0008	4	0.0033	10.3389	0.0086	4	0.0345	106.8919	0.0891	4	0.3562
3.499	0.0010	2	0.0020	12.2426	0.0120	2	0.0240	149.8801	0.1472	2	0.2943
3.793	0.0002	4	0.0008	14.3865	0.0027	4	0.0108	206.9705	0.0390	4	0.1558
4.097	0.0001	2	0.0002	16.7891	0.0019	2	0.0037	281.8742	0.0312	2	0.0623
4.412	0.0000	4	0.0001	19.4696	0.0003	4	0.0014	379.0665	0.0067	4	0.0267
4.738	0.0000	2	0.0001	22.4479	0.0009	2	0.0019	503.9081	0.0211	2	0.0423
5.074	0.0000	4	0.0001	25.7443	0.0005	4	0.0022	682.7667	0.0141	4	0.0562
5.420	0.0000	2	0.0000	29.3800	0.0004	2	0.0009	863.1832	0.0130	2	0.0259
5.777	0.0000	4	0.0000	33.3768	0.0004	4	0.0016	1114.0126	0.0136	4	0.0546
6.145	0.0000	2	0.0000	37.7573	0.0003	2	0.0005	1425.6102	0.0098	2	0.0195
6.523	0.0000	4	0.0001	42.5444	0.0005	4	0.0022	1810.0245	0.0233	4	0.0933
6.911	0.0000	2	0.0000	47.7620	0.0002	2	0.0003	2281.2078	0.0082	2	0.0164
7.310	0.0000	4	0.0000	53.4345	0.0001	4	0.0004	2855.2480	0.0056	4	0.0224
7.719	0.0000	2	0.0000	59.5871	0.0001	2	0.0002	3550.6187	0.0062	2	0.0123
8.139	0.0000	4	0.0000	66.2454	0.0003	4	0.0012	4388.4524	0.0199	4	0.0795
8.589	0.0000	2	0.0000	73.4359	0.0001	2	0.0003	5392.8343	0.0103	2	0.0206
9.010	0.0000	4	0.0000	81.1857	0.0003	4	0.0010	6591.1213	0.0204	4	0.0816
9.462	0.0000	2	0.0000	89.5225	0.0002	2	0.0004	8014.2848	0.0170	2	0.0340
9.923	0.0000	4	0.0000	98.4748	0.0002	4	0.0009	9697.2803	0.0226	4	0.0906
10.396	0.0000	2	0.0000	108.0715	0.0000	2	0.0000	11679.4437	0.0023	2	0.0045
10.879	0.0000	4	0.0000	118.3424	0.0001	4	0.0002	14004.9170	0.0072	4	0.0289
11.372	0.0000	2	0.0000	129.3178	0.0001	2	0.0002	16723.1037	0.0119	2	0.0238
11.876	0.0000	4	0.0000	141.0289	0.0001	4	0.0005	19889.1553	0.0187	4	0.0749
12.390	0.0000	2	0.0000	153.5073	0.0002	2	0.0004	23564.4914	0.0282	2	0.0565
12.915	0.0000	4	0.0000	166.7854	0.0001	4	0.0004	27817.3531	0.0160	4	0.0639
13.450	0.0000	2	0.0000	180.8961	0.0000	2	0.0000	32723.3930	0.0010	2	0.0021
13.995	0.0000	4	0.0000	195.8732	0.0001	4	0.0005	38366.3021	0.0267	4	0.1069
14.552	0.0000	1	0.0000	211.7510	0.0003	1	0.0003	44838.4746	0.0607	1	0.0607
		SUM <sub>0</sub>	0.58		SUM <sub>2</sub>	1.44			SUM <sub>4</sub>	5.66	

$$\begin{aligned}
 m_0 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_0 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad 0.58 \\
 &= 0.01940 \quad \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_2 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_2 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad 1.44 \\
 &= 0.05 \quad \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_4 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_4 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad 5.66 \\
 &= 0.19 \quad \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon^2 &= (m_0 m_4 - m_2^2) / m_0 m_4 \\
 &= \quad \quad \quad 0.37
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CF} &= (1 - \varepsilon^2)^{1/2} \\
 &= (1 - \quad \quad 0.37)^{1/2} \\
 &= 0.79
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (S_a)_{1/3} &= 2\sqrt{m_0} \times \text{CF} \\
 &= 2\sqrt{0.01940} \times \quad 0.79 \\
 &= 0.2212 \quad \quad \text{m.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{freeboard} &= f \\
 &= 2.385 \quad \quad \text{m.}
 \end{aligned}$$

### Probabilitas

$$\begin{aligned}
 P_f = n &= e^{(f)^2/2\text{mos}} \\
 &= 0.23082332
 \end{aligned}$$

Mentransformasikan Wave spectrum kedalam frekwensi encountering

$\omega_w$	$S_\zeta(\omega_w)$ [m <sup>2</sup> -sec]	$\eta = \omega_w V \cos\mu / g$	$\omega_e = \omega_w(1-\eta)$	$S_\zeta(\omega_e)$ [m <sup>2</sup> -sec]
0.2	0.000E+00	-0.105	0.221	0.000000
0.3	3.392E-70	-0.157	0.347	0.000000
0.4	1.280E-21	-0.210	0.484	0.000000
0.5	1.170E-08	-0.262	0.631	0.000000
0.6	3.175E-04	-0.315	0.789	0.000195
0.7	1.727E-02	-0.367	0.957	0.009959
0.8	8.957E-02	-0.419	1.136	0.048705
0.9	1.703E-01	-0.472	1.325	0.087596
1	2.032E-01	-0.524	1.524	0.099187
1.1	1.931E-01	-0.577	1.734	0.089663
1.2	1.636E-01	-0.629	1.955	0.072454
1.3	1.309E-01	-0.682	2.186	0.055408
1.4	1.020E-01	-0.734	2.428	0.041319
1.5	7.858E-02	-0.787	2.680	0.030540
1.6	6.045E-02	-0.839	2.942	0.022572

Membuat wave spektrum dengan ITTC

$$H_{1/3} = 5 \text{ m.}$$

$$= 5 \text{ m.}$$

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

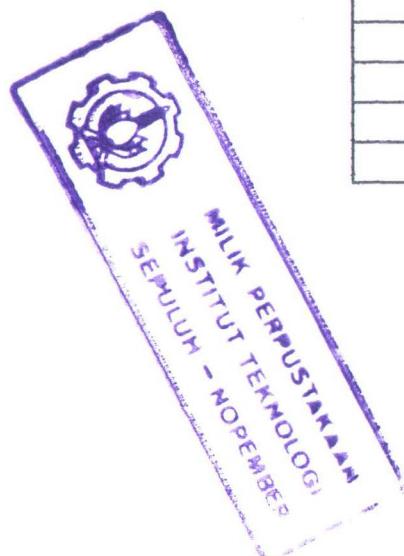
$$A = 8,10 \times 10^{-3} \text{ g}^2$$

$$g = 9.8 \text{ m/sec}^2$$

$$A = 0.778$$

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

$$= 1.342$$



$\omega_e$	S ( $\omega_e$ ) [m <sup>2</sup> - sec]	Simpson	product	$\omega_e^2$	$\omega_e^2 S$	Simpson	product	$\omega_e^4$	$\omega_e^4 S$	Simpson	product
0.221	0.0000	1	0.0000	0.0488	0.0000E+00	1	0.0000E+00	0.0024	0.0000E+00	1	0.0000E+00
0.347	0.0000	4	0.0000	0.1205	9.4089E-71	4	3.7636E-70	0.0145	1.1342E-71	4	4.5367E-71
0.484	0.0000	2	0.0000	0.2342	0.0000	2	0.0000	0.0548	0.0000	2	0.0000
0.631	0.0000	4	0.0000	0.3983	0.0000	4	0.0000	0.1586	0.0000	4	0.0000
0.789	0.0015	2	0.0030	0.6222	0.0009	2	0.00185	0.3871	0.0006	2	0.0012
0.957	0.0663	4	0.2651	0.9157	0.0607	4	0.2427	0.8386	0.0556	4	0.2223
1.136	0.0184	2	0.0367	1.2896	0.0237	2	0.0473	1.6630	0.0305	2	0.0611
1.325	0.1226	4	0.4905	1.7549	0.2152	4	0.8609	3.0797	0.3777	4	1.5107
1.524	0.0860	2	0.1720	2.3237	0.1998	2	0.3996	5.3995	0.4643	2	0.9286
1.734	0.0421	4	0.1685	3.0084	0.1268	4	0.5070	9.0506	0.3813	4	1.5253
1.955	0.0021	2	0.0043	3.8223	0.0082	2	0.0164	14.6103	0.0313	2	0.0626
2.186	0.0012	4	0.0047	4.7794	0.0056	4	0.0224	22.8422	0.0267	4	0.1069
2.428	0.0010	2	0.0020	5.8940	0.0058	2	0.0117	34.7390	0.0344	2	0.0688
2.680	0.0015	4	0.0059	7.1814	0.0106	4	0.0425	51.5727	0.0763	4	0.3052
2.942	0.0008	2	0.0011	8.6575	0.0048	2	0.0096	74.9529	0.0416	2	0.0832
3.215	0.0006	4	0.0023	10.3389	0.0060	4	0.0241	106.8919	0.0624	4	0.2496
3.499	0.0007	2	0.0014	12.2426	0.0083	2	0.0165	149.8801	0.1012	2	0.2024
3.793	0.0001	4	0.0005	14.3865	0.0018	4	0.0073	206.9705	0.0264	4	0.1057
4.097	0.0001	2	0.0001	16.7891	0.0012	2	0.0025	281.8742	0.0209	2	0.0418
4.412	0.0000	4	0.0000	19.4696	0.0002	4	0.0009	379.0665	0.0044	4	0.0178
4.738	0.0000	2	0.0001	22.4479	0.0006	2	0.0012	503.9061	0.0140	2	0.0279
5.074	0.0000	4	0.0001	25.7443	0.0004	4	0.0014	662.7667	0.0092	4	0.0370
5.420	0.0000	2	0.0000	29.3800	0.0003	2	0.0006	863.1832	0.0085	2	0.0170
5.777	0.0000	4	0.0000	33.3768	0.0003	4	0.0011	1114.0126	0.0089	4	0.0356
6.145	0.0000	2	0.0000	37.7573	0.0002	2	0.0003	1425.6102	0.0064	2	0.0127
6.523	0.0000	4	0.0000	42.5444	0.0004	4	0.0014	1810.0245	0.0151	4	0.0606
6.911	0.0000	2	0.0000	47.7620	0.0001	2	0.0002	2281.2078	0.0053	2	0.0107
7.310	0.0000	4	0.0000	53.4345	0.0001	4	0.0003	2855.2480	0.0036	4	0.0145
7.719	0.0000	2	0.0000	59.5871	0.0001	2	0.0001	3550.6187	0.0040	2	0.0080
8.139	0.0000	4	0.0000	66.2454	0.0002	4	0.0008	4388.4524	0.0128	4	0.0513
8.569	0.0000	2	0.0000	73.4359	0.0001	2	0.0002	5392.8343	0.0066	2	0.0132
9.010	0.0000	4	0.0000	81.1857	0.0002	4	0.0006	6591.1213	0.0131	4	0.0525
9.462	0.0000	2	0.0000	89.5225	0.0001	2	0.0002	8014.2848	0.0109	2	0.0219
9.923	0.0000	4	0.0000	98.4748	0.0001	4	0.0006	9697.2803	0.0146	4	0.0583
10.396	0.0000	2	0.0000	108.0715	0.0000	2	0.0000	11679.4437	0.0015	2	0.0029
10.879	0.0000	4	0.0000	118.3424	0.0000	4	0.0002	14004.9170	0.0046	4	0.0185
11.372	0.0000	2	0.0000	129.3178	0.0001	2	0.0001	16723.1037	0.0076	2	0.0153
11.876	0.0000	4	0.0000	141.0289	0.0001	4	0.0003	19889.1553	0.0120	4	0.0481
12.390	0.0000	2	0.0000	153.5073	0.0001	2	0.0002	23564.4914	0.0181	2	0.0363
12.915	0.0000	4	0.0000	166.7854	0.0001	4	0.0002	27817.3531	0.0103	4	0.0410
13.450	0.0000	2	0.0000	180.8961	0.0000	2	0.0000	32723.3930	0.0007	2	0.0013
13.995	0.0000	4	0.0000	195.8732	0.0001	4	0.0004	38366.3021	0.0171	4	0.0686
14.552	0.0000	1	0.0000	211.7510	0.0002	1	0.0002	44838.4746	0.0389	1	0.0389
		SUM <sub>0</sub>	1.16		SUM <sub>2</sub>	2.22			SUM <sub>4</sub>	6.19	

$$\begin{aligned}
 m_0 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_0 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad 1.16 \\
 &= 0.03861 \quad \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_2 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_2 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad 2.22 \\
 &= 0.07 \quad \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_4 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_4 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad 6.19 \\
 &= 0.21 \quad \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon^2 &= (m_0 m_4 - m_2^2) / m_0 m_4 \\
 &= \quad \quad \quad 0.31
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CF} &= (1 - \varepsilon^2)^{1/2} \\
 &= (1 - \quad \quad 0.31)^{1/2} \\
 &= 0.83
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (S_a)_{1/3} &= 2\sqrt{m_0} \times \text{CF} \\
 &= 2\sqrt{0.03861} \times \quad 0.83 \\
 &= 0.3266 \quad \quad \text{m.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{freeboard} &= f \\
 &= 2.385 \quad \quad \text{m.}
 \end{aligned}$$

### Probabilitas

$$\begin{aligned}
 Pf = n &= e^{(f)^2/2\text{mos}} \\
 &= 0.47876816
 \end{aligned}$$

Mentransformasikan Wave spectrum kedalam frekwensi encountering

$\omega_w$	$S_\zeta(\omega_w)$ [m <sup>2</sup> -sec]	$\eta = \omega_w V \cos\mu / g$	$\omega_e = \omega_w(1-\eta)$	$S_\zeta(\omega_e)$ [m <sup>2</sup> -sec]
0.2	2.233E-250	-0.105	0.221	0.000000
0.3	3.332E-48	-0.157	0.347	0.000000
0.4	1.164E-14	-0.210	0.484	0.000000
0.5	8.286E-06	-0.262	0.631	0.000005
0.6	7.521E-03	-0.315	0.789	0.004616
0.7	9.533E-02	-0.367	0.957	0.054974
0.8	2.438E-01	-0.419	1.136	0.132582
0.9	3.182E-01	-0.472	1.325	0.163679
1	3.063E-01	-0.524	1.524	0.149484
1.1	2.555E-01	-0.577	1.734	0.118655
1.2	1.994E-01	-0.629	1.955	0.088302
1.3	1.512E-01	-0.682	2.186	0.063965
1.4	1.135E-01	-0.734	2.428	0.045975
1.5	8.521E-02	-0.787	2.680	0.033117
1.6	6.435E-02	-0.839	2.942	0.024030

Membuat wave spektrum dengan ITTC

$$H_{1/3} = 6 \text{ m.}$$

$$= 6 \text{ m.}$$

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

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

$$g = 9.8 \text{ m/sec}^2$$

$$A = 0.778$$

$$B = 33.56 / (H_{1/3})^2$$

$$= 0.932$$

$\omega_e$	S ( $\omega_e$ ) [m <sup>2</sup> - sec]	Simpson	product	$\omega_e^2$	$\omega_e^2 S$	Simpson	product	$\omega_e^4$	$\omega_e^4 S$	Simpson	product
0.221	0.0000	1	0.0000	0.0488	1.5047E-251	1	1.5047E-251	0.0024	7.3475E-253	1	7.3475E-253
0.347	0.0000	4	0.0000	0.1205	6.4197E-49	4	2.5679E-48	0.0145	7.7385E-50	4	3.0954E-49
0.484	0.0000	2	0.0000	0.2342	0.0000	2	0.0000	0.0548	0.0000	2	0.0000
0.631	0.0000	4	0.0002	0.3983	0.0000	4	0.0001	0.1586	0.0000	4	0.0000
0.789	0.0245	2	0.0490	0.6222	0.0152	2	0.03049	0.3871	0.0095	2	0.0190
0.957	0.2540	4	1.0161	0.9157	0.2326	4	0.9305	0.8386	0.2130	4	0.8521
1.136	0.0347	2	0.0894	1.2896	0.0447	2	0.0895	1.6630	0.0577	2	0.1154
1.325	0.1591	4	0.6365	1.7549	0.2793	4	1.1171	3.0797	0.4901	4	1.9604
1.524	0.0900	2	0.1800	2.3237	0.2091	2	0.4183	5.3995	0.4859	2	0.9719
1.734	0.0387	4	0.1549	3.0084	0.1165	4	0.4659	9.0506	0.3504	4	1.4017
1.955	0.0018	2	0.0036	3.8223	0.0069	2	0.0139	14.6103	0.0265	2	0.0530
2.186	0.0009	4	0.0038	4.7794	0.0045	4	0.0179	22.8422	0.0214	4	0.0857
2.428	0.0008	2	0.0015	5.8940	0.0045	2	0.0090	34.7390	0.0266	2	0.0532
2.680	0.0011	4	0.0045	7.1814	0.0080	4	0.0320	51.5727	0.0575	4	0.2299
2.942	0.0004	2	0.0008	8.6575	0.0036	2	0.0071	74.9529	0.0308	2	0.0615
3.215	0.0004	4	0.0017	10.3389	0.0044	4	0.0176	106.8919	0.0455	4	0.1820
3.499	0.0005	2	0.0010	12.2426	0.0060	2	0.0119	149.8801	0.0731	2	0.1462
3.793	0.0001	4	0.0004	14.3865	0.0013	4	0.0053	206.9705	0.0189	4	0.0757
4.097	0.0001	2	0.0001	16.7891	0.0009	2	0.0018	281.8742	0.0149	2	0.0298
4.412	0.0000	4	0.0000	19.4696	0.0002	4	0.0006	379.0665	0.0031	4	0.0126
4.738	0.0000	2	0.0000	22.4479	0.0004	2	0.0009	503.9061	0.0099	2	0.0197
5.074	0.0000	4	0.0000	25.7443	0.0003	4	0.0010	662.7667	0.0065	4	0.0261
5.420	0.0000	2	0.0000	29.3800	0.0002	2	0.0004	863.1832	0.0060	2	0.0119
5.777	0.0000	4	0.0000	33.3768	0.0002	4	0.0007	1114.0126	0.0062	4	0.0250
6.145	0.0000	2	0.0000	37.7573	0.0001	2	0.0002	1425.6102	0.0045	2	0.0089
6.523	0.0000	4	0.0000	42.5444	0.0002	4	0.0010	181.0245	0.0106	4	0.0424
6.911	0.0000	2	0.0000	47.7620	0.0001	2	0.0002	2281.2078	0.0037	2	0.0074
7.310	0.0000	4	0.0000	53.4345	0.0000	4	0.0002	2855.2480	0.0025	4	0.0101
7.719	0.0000	2	0.0000	59.5871	0.0000	2	0.0001	3550.6187	0.0028	2	0.0056
8.139	0.0000	4	0.0000	66.2454	0.0001	4	0.0005	4388.4524	0.0089	4	0.0358
8.569	0.0000	2	0.0000	73.4359	0.0001	2	0.0001	5392.8343	0.0046	2	0.0092
9.010	0.0000	4	0.0000	81.1857	0.0001	4	0.0005	6591.1213	0.0092	4	0.0366
9.462	0.0000	2	0.0000	89.5225	0.0001	2	0.0002	8014.2848	0.0076	2	0.0152
9.923	0.0000	4	0.0000	98.4748	0.0001	4	0.0004	9697.2803	0.0101	4	0.0406
10.396	0.0000	2	0.0000	108.0715	0.0000	2	0.0000	11679.4437	0.0010	2	0.0020
10.879	0.0000	4	0.0000	118.3424	0.0000	4	0.0001	14004.9170	0.0032	4	0.0129
11.372	0.0000	2	0.0000	129.3178	0.0000	2	0.0001	16723.1037	0.0053	2	0.0106
11.876	0.0000	4	0.0000	141.0289	0.0001	4	0.0002	19889.1553	0.0084	4	0.0335
12.390	0.0000	2	0.0000	153.5073	0.0001	2	0.0002	23564.4914	0.0126	2	0.0252
12.915	0.0000	4	0.0000	166.7854	0.0000	4	0.0002	27817.3531	0.0071	4	0.0285
13.450	0.0000	2	0.0000	180.8961	0.0000	2	0.0000	32723.3930	0.0005	2	0.0009
13.995	0.0000	4	0.0000	195.8732	0.0001	4	0.0002	38366.3021	0.0119	4	0.0477
14.552	0.0000	1	0.0000	211.7510	0.0001	1	0.0001	44838.4746	0.0271	1	0.0271
		SUM <sub>0</sub>	2.12		SUM <sub>2</sub>	3.18			SUM <sub>4</sub>	6.73	

$$\begin{aligned}
 m_0 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_0 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad \quad 2.12 \\
 &= 0.07079 \quad \quad \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_2 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_2 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad \quad 3.18 \\
 &= 0.11 \quad \quad \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_4 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_4 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad \quad 6.73 \\
 &= 0.22 \quad \quad \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon^2 &= (m_0 m_4 - m_2^2) / m_0 m_4 \\
 &= \quad \quad \quad 0.29
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CF} &= (1 - \varepsilon^2)^{1/2} \\
 &= (1 - \quad \quad 0.29)^{1/2} \\
 &= 0.84
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (S_a)_{1/3} &= 2\sqrt{m_0} \times \text{CF} \\
 &= 2\sqrt{0.07079} \times \quad 0.84 \\
 &= 0.4470 \quad \quad \quad \text{m.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{freeboard} &= f \\
 &= 2.385 \quad \quad \quad \text{m.}
 \end{aligned}$$

### Probabilitas

$$\begin{aligned}
 Pf = n &= e^{(f)^2/2\text{mos}} \\
 &= 0.669129219
 \end{aligned}$$

Mentransformasikan Wave spectrum kedalam frekwensi encountering

$\omega_w$	$S_\zeta(\omega_w)$ [m <sup>2</sup> -sec]	$\eta = \omega_w V \cos\mu / g$	$\omega_e = \omega_w(1-\eta)$	$S_\zeta(\omega_e)$ [m <sup>2</sup> -sec]
0.2	3.028E-183	-0.105	0.221	0.000000
0.3	6.073E-35	-0.157	0.347	0.000000
0.4	1.826E-10	-0.210	0.484	0.000000
0.5	4.334E-04	-0.262	0.631	0.000284
0.6	5.071E-02	-0.315	0.789	0.031123
0.7	2.671E-01	-0.367	0.957	0.154001
0.8	4.460E-01	-0.419	1.136	0.242505
0.9	4.638E-01	-0.472	1.325	0.238619
1	3.922E-01	-0.524	1.524	0.191428
1.1	3.026E-01	-0.577	1.734	0.140491
1.2	2.247E-01	-0.629	1.955	0.099488
1.3	1.648E-01	-0.682	2.186	0.069751
1.4	1.210E-01	-0.734	2.428	0.049033
1.5	8.948E-02	-0.787	2.680	0.034775
1.6	6.683E-02	-0.839	2.942	0.024954

Membuat wave spektrum dengan ITTC

$$H_{1/3} = 7 \text{ m.}$$

$$= 7 \text{ m.}$$

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

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

$$g = 9.8 \text{ m/sec}^2$$

$$A = 0.778$$

$$B = 33.56 / (H_{1/3})^2$$

$$= 0.685$$

$\omega_e$	S ( $\omega_e$ ) [m <sup>2</sup> - sec]	Simpson	product	$\omega_e^2$	$\omega_e^2 S$	Simpson	product	$\omega_e^4$	$\omega_e^4 S$	Simpson	product
0.221	0.0000	1	0.0000	0.0488	1.4990E-184	1	1.4990E-184	0.0024	7.3193E-186	1	7.3193E-186
0.347	0.0000	4	0.0000	0.1205	8.5962E-36	4	3.4385E-35	0.0145	1.0362E-36	4	4.1449E-36
0.484	0.0000	2	0.0000	0.2342	0.0000	2	0.0000	0.0548	0.0000	2	0.0000
0.631	0.0018	4	0.0074	0.3983	0.0007	4	0.0029	0.1586	0.0003	4	0.0012
0.789	0.1214	2	0.2428	0.6222	0.0755	2	0.15104	0.3871	0.0470	2	0.0940
0.957	0.5228	4	2.0912	0.9157	0.4787	4	1.9150	0.8386	0.4384	4	1.7536
1.136	0.0466	2	0.0933	1.2896	0.0601	2	0.1203	1.6630	0.0775	2	0.1551
1.325	0.1704	4	0.6818	1.7549	0.2991	4	1.1965	3.0797	0.5249	4	2.0997
1.524	0.0847	2	0.1693	2.3237	0.1968	2	0.3935	5.3995	0.4572	2	0.9144
1.734	0.0337	4	0.1347	3.0084	0.1013	4	0.4053	9.0506	0.3048	4	1.2194
1.955	0.0015	2	0.0030	3.8223	0.0057	2	0.0115	14.6103	0.0219	2	0.0439
2.186	0.0008	4	0.0030	4.7794	0.0036	4	0.0144	22.8422	0.0172	4	0.0687
2.428	0.0006	2	0.0012	5.8940	0.0035	2	0.0071	34.7390	0.0208	2	0.0417
2.680	0.0009	4	0.0034	7.1814	0.0062	4	0.0247	51.5727	0.0443	4	0.1773
2.942	0.0003	2	0.0006	8.6575	0.0027	2	0.0054	74.9529	0.0235	2	0.0469
3.215	0.0003	4	0.0013	10.3389	0.0033	4	0.0133	106.8919	0.0344	4	0.1378
3.499	0.0004	2	0.0007	12.2426	0.0045	2	0.0090	149.8801	0.0550	2	0.1100
3.793	0.0001	4	0.0003	14.3865	0.0010	4	0.0039	206.9705	0.0142	4	0.0567
4.097	0.0000	2	0.0001	16.7891	0.0007	2	0.0013	281.8742	0.0111	2	0.0222
4.412	0.0000	4	0.0000	19.4696	0.0001	4	0.0005	379.0665	0.0023	4	0.0094
4.738	0.0000	2	0.0000	22.4479	0.0003	2	0.0007	503.9061	0.0073	2	0.0147
5.074	0.0000	4	0.0000	25.7443	0.0002	4	0.0008	662.7667	0.0048	4	0.0193
5.420	0.0000	2	0.0000	29.3800	0.0002	2	0.0003	863.1832	0.0044	2	0.0088
5.777	0.0000	4	0.0000	33.3768	0.0001	4	0.0006	1114.0126	0.0046	4	0.0185
6.145	0.0000	2	0.0000	37.7573	0.0001	2	0.0002	1425.6102	0.0033	2	0.0066
6.523	0.0000	4	0.0000	42.5444	0.0002	4	0.0007	1810.0245	0.0078	4	0.0313
6.911	0.0000	2	0.0000	47.7620	0.0001	2	0.0001	2281.2078	0.0027	2	0.0055
7.310	0.0000	4	0.0000	53.4345	0.0000	4	0.0001	2855.2480	0.0019	4	0.0075
7.719	0.0000	2	0.0000	59.5871	0.0000	2	0.0001	3550.6187	0.0020	2	0.0041
8.139	0.0000	4	0.0000	66.2454	0.0001	4	0.0004	4388.4524	0.0066	4	0.0264
8.569	0.0000	2	0.0000	73.4359	0.0000	2	0.0001	5392.8343	0.0034	2	0.0068
9.010	0.0000	4	0.0000	81.1857	0.0001	4	0.0003	6591.1213	0.0067	4	0.0270
9.462	0.0000	2	0.0000	89.5225	0.0001	2	0.0001	8014.2848	0.0056	2	0.0112
9.923	0.0000	4	0.0000	98.4748	0.0001	4	0.0003	9697.2803	0.0075	4	0.0299
10.396	0.0000	2	0.0000	108.0715	0.0000	2	0.0000	11679.4437	0.0007	2	0.0015
10.879	0.0000	4	0.0000	118.3424	0.0000	4	0.0001	14004.9170	0.0024	4	0.0095
11.372	0.0000	2	0.0000	129.3178	0.0000	2	0.0001	16723.1037	0.0039	2	0.0078
11.876	0.0000	4	0.0000	141.0289	0.0000	4	0.0002	19889.1553	0.0062	4	0.0246
12.390	0.0000	2	0.0000	153.5073	0.0001	2	0.0001	23564.4914	0.0093	2	0.0185
12.915	0.0000	4	0.0000	166.7854	0.0000	4	0.0001	27817.3531	0.0052	4	0.0210
13.450	0.0000	2	0.0000	180.8961	0.0000	2	0.0000	32723.3930	0.0003	2	0.0007
13.995	0.0000	4	0.0000	195.8732	0.0000	4	0.0002	38366.3021	0.0088	4	0.0351
14.552	0.0000	1	0.0000	211.7510	0.0001	1	0.0001	44838.4746	0.0199	1	0.0199
		SUM <sub>0</sub>	3.43			SUM <sub>2</sub>	4.28			SUM <sub>4</sub>	7.31

$$\begin{aligned}
 m_0 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_0 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad \quad 3.43 \\
 &= 0.11448 \quad \quad \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_2 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_2 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad \quad 4.28 \\
 &= 0.14 \quad \quad \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_4 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_4 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad \quad 7.31 \\
 &= 0.24 \quad \quad \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon^2 &= (m_0 m_4 - m_2^2) / m_0 m_4 \\
 &= \quad \quad \quad 0.27
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CF} &= (1 - \varepsilon^2)^{1/2} \\
 &= (1 - \quad \quad \quad 0.27 \quad )^{1/2} \\
 &= 0.85
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (S_a)_{1/3} &= 2\sqrt{m_0} \times \text{CF} \\
 &= 2\sqrt{0.11448} \times \quad 0.85 \\
 &= 0.5783 \quad \quad \quad \text{m.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{freeboard} &= f \\
 &= 2.385 \quad \quad \quad \text{m.}
 \end{aligned}$$

### Probabilitas

$$\begin{aligned}
 Pf = n &= e^{(f)^2/2\text{mos}} \\
 &= 0.780012547
 \end{aligned}$$

Mentransformasikan Wave spectrum kedalam frekwesi encountering

$\omega_w$	$S_\zeta(\omega_w)$ [m <sup>2</sup> -sec]	$\eta = \omega_w V \cos\mu / g$	$\omega_e = \omega_w(1-\eta)$	$S_\zeta(\omega_e)$ [m <sup>2</sup> -sec]
0.2	1.129E-139	-0.105	0.221	0.000000
0.3	2.455E-26	-0.157	0.347	0.000000
0.4	9.656E-08	-0.210	0.484	0.000000
0.5	5.654E-03	-0.262	0.631	0.003709
0.6	1.750E-01	-0.315	0.789	0.107398
0.7	5.211E-01	-0.367	0.957	0.300523
0.8	6.599E-01	-0.419	1.136	0.358857
0.9	5.924E-01	-0.472	1.325	0.304761
1	4.605E-01	-0.524	1.524	0.224761
1.1	3.376E-01	-0.577	1.734	0.156770
1.2	2.428E-01	-0.629	1.955	0.107496
1.3	1.744E-01	-0.682	2.186	0.073783
1.4	1.262E-01	-0.734	2.428	0.051125
1.5	9.236E-02	-0.787	2.680	0.035896
1.6	6.848E-02	-0.839	2.942	0.025573

Membuat wave spektrum dengan ITTC

$$H_{1/3} = 8 \text{ m.}$$

$$= 8 \text{ m.}$$

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

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

$$g = 9.8 \text{ m/sec}^2$$

$$A = 0.778$$

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

$$= 0.524$$

$\omega_e$	$S(\omega_e)$ [m <sup>2</sup> - sec]	Simpson	product	$\omega_e^2$	$\omega_e^2 S$	Simpson	product	$\omega_e^4$	$\omega_e^4 S$	Simpson	product
0.221	0.0000	1	0.0000	0.0488	4.2776E-141	1	4.2776E-141	0.0024	2.0887E-142	1	2.0887E-142
0.347	0.0000	4	0.0000	0.1205	2.6608E-27	4	1.0643E-26	0.0145	3.2075E-28	4	1.2830E-27
0.484	0.0000	2	0.0000	0.2342	0.0000	2	0.0000	0.0548	0.0000	2	0.0000
0.631	0.0185	4	0.0738	0.3983	0.0074	4	0.0294	0.1586	0.0029	4	0.0117
0.789	0.3207	2	0.6414	0.6222	0.1995	2	0.39905	0.3871	0.1241	2	0.2483
0.957	0.7811	4	3.1244	0.9157	0.7153	4	2.8611	0.8386	0.6550	4	2.6200
1.136	0.0528	2	0.1057	1.2896	0.0681	2	0.1363	1.8630	0.0879	2	0.1757
1.325	0.1667	4	0.6667	1.7549	0.2925	4	1.1700	3.0797	0.5133	4	2.0532
1.524	0.0761	2	0.1522	2.3237	0.1789	2	0.3537	5.3995	0.4110	2	0.8220
1.734	0.0288	4	0.1151	3.0084	0.0866	4	0.3463	9.0506	0.2604	4	1.0417
1.955	0.0012	2	0.0025	3.8223	0.0047	2	0.0095	14.6103	0.0181	2	0.0363
2.186	0.0006	4	0.0024	4.7794	0.0029	4	0.0116	22.8422	0.0139	4	0.0556
2.428	0.0005	2	0.0010	5.8940	0.0028	2	0.0056	34.7390	0.0166	2	0.0333
2.680	0.0007	4	0.0027	7.1814	0.0049	4	0.0195	51.5727	0.0350	4	0.1401
2.942	0.0002	2	0.0005	8.6575	0.0021	2	0.0043	74.9529	0.0184	2	0.0368
3.215	0.0003	4	0.0010	10.3389	0.0026	4	0.0104	106.8919	0.0289	4	0.1075
3.499	0.0003	2	0.0006	12.2426	0.0035	2	0.0070	149.8801	0.0427	2	0.0855
3.793	0.0001	4	0.0002	14.3865	0.0008	4	0.0031	206.9705	0.0110	4	0.0440
4.097	0.0000	2	0.0001	16.7891	0.0005	2	0.0010	281.8742	0.0086	2	0.0172
4.412	0.0000	4	0.0000	19.4696	0.0001	4	0.0004	379.0665	0.0018	4	0.0072
4.738	0.0000	2	0.0000	22.4479	0.0003	2	0.0005	503.9061	0.0058	2	0.0113
5.074	0.0000	4	0.0000	25.7443	0.0001	4	0.0006	662.7667	0.0037	4	0.0149
5.420	0.0000	2	0.0000	29.3800	0.0001	2	0.0002	863.1832	0.0034	2	0.0068
5.777	0.0000	4	0.0000	33.3768	0.0001	4	0.0004	1114.0126	0.0035	4	0.0142
6.145	0.0000	2	0.0000	37.7573	0.0001	2	0.0001	1425.6102	0.0025	2	0.0051
6.523	0.0000	4	0.0000	42.5444	0.0001	4	0.0006	1810.0245	0.0060	4	0.0240
6.911	0.0000	2	0.0000	47.7620	0.0000	2	0.0001	2281.2078	0.0021	2	0.0042
7.310	0.0000	4	0.0000	53.4345	0.0000	4	0.0001	2855.2480	0.0014	4	0.0057
7.719	0.0000	2	0.0000	59.5871	0.0000	2	0.0001	3550.6187	0.0016	2	0.0031
8.139	0.0000	4	0.0000	66.2454	0.0001	4	0.0003	4388.4524	0.0051	4	0.0202
8.589	0.0000	2	0.0000	73.4359	0.0000	2	0.0001	5392.8343	0.0026	2	0.0052
9.010	0.0000	4	0.0000	81.1857	0.0001	4	0.0003	6591.1213	0.0052	4	0.0207
9.462	0.0000	2	0.0000	89.5225	0.0000	2	0.0001	8014.2848	0.0043	2	0.0086
9.923	0.0000	4	0.0000	98.4748	0.0001	4	0.0002	9697.2803	0.0057	4	0.0229
10.396	0.0000	2	0.0000	108.0715	0.0000	2	0.0000	11679.4437	0.0006	2	0.0011
10.879	0.0000	4	0.0000	118.3424	0.0000	4	0.0001	14004.9170	0.0018	4	0.0073
11.372	0.0000	2	0.0000	129.3178	0.0000	2	0.0000	16723.1037	0.0030	2	0.0060
11.876	0.0000	4	0.0000	141.0289	0.0000	4	0.0001	19889.1553	0.0047	4	0.0189
12.390	0.0000	2	0.0000	153.5073	0.0000	2	0.0001	23564.4914	0.0071	2	0.0142
12.915	0.0000	4	0.0000	166.7854	0.0000	4	0.0001	27817.3531	0.0040	4	0.0161
13.450	0.0000	2	0.0000	180.8961	0.0000	2	0.0000	32723.3930	0.0003	2	0.0005
13.995	0.0000	4	0.0000	195.8732	0.0000	4	0.0001	38366.3021	0.0067	4	0.0269
14.552	0.0000	1	0.0000	211.7510	0.0001	1	0.0001	44838.4746	0.0152	1	0.0152
		SUM <sub>0</sub>	4.89		SUM <sub>2</sub>	5.37			SUM <sub>4</sub>	7.81	

$$\begin{aligned}
 m_0 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_0 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad 4.89 \\
 &= 0.16301 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_2 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_2 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad 5.37 \\
 &= 0.18 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_4 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_4 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad 7.81 \\
 &= 0.26 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon^2 &= (m_0 m_4 - m_2^2) / m_0 m_4 \\
 &= \quad 0.24
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CF &= (1 - \varepsilon^2)^{1/2} \\
 &= (1 - \quad 0.24 )^{1/2} \\
 &= 0.87
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (S_a)_{1/3} &= 2\sqrt{m_0} \times CF \\
 &= 2\sqrt{0.16301} \times \quad 0.87 \\
 &= 0.7020 \quad \text{m.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{freeboard} &= f \\
 &= 2.385 \quad \text{m.}
 \end{aligned}$$

#### Probabilitas

$$\begin{aligned}
 Pf = n &= e^{(f)^2/2\text{mos}} \\
 &= 0.839900782
 \end{aligned}$$



Mentransformasikan Wave spectrum kedalam frekwesi encountering

$\omega_w$	$S_\zeta(\omega_w)$ [m <sup>2</sup> -sec]	$\eta = \omega_w V \cos \mu / g$	$\omega_e = \omega_w(1-\eta)$	$S_\zeta(\omega_e)$ [m <sup>2</sup> -sec]
0.2	8.413E-110	-0.105	0.221	0.000000
0.3	1.954E-20	-0.157	0.347	0.000000
0.4	7.109E-06	-0.210	0.484	0.000005
0.5	3.289E-02	-0.262	0.631	0.021578
0.6	4.090E-01	-0.315	0.789	0.251068
0.7	8.242E-01	-0.367	0.957	0.475274
0.8	8.634E-01	-0.419	1.136	0.469472
0.9	7.006E-01	-0.472	1.325	0.360419
1	5.140E-01	-0.524	1.524	0.250909
1.1	3.640E-01	-0.577	1.734	0.169009
1.2	2.560E-01	-0.629	1.955	0.113355
1.3	1.812E-01	-0.682	2.186	0.076682
1.4	1.299E-01	-0.734	2.428	0.052611
1.5	9.439E-02	-0.787	2.680	0.036685
1.6	6.964E-02	-0.839	2.942	0.026006

Membuat wave spektrum dengan ITTC

$$H_{1/3} = 9 \text{ m.}$$

$$= 9 \text{ m.}$$

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

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

$$g = 9.8 \text{ m/sec}^2$$

$$A = 0.778$$

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

$$= 0.414$$

$\omega_e$	S ( $\omega_e$ ) [m <sup>2</sup> - sec]	Simpson	product	$\omega_e^2$	$\omega_e^2 S$	Simpson	product	$\omega_e^4$	$\omega_e^4 S$	Simpson	product
0.221	0.0000	1	0.0000	0.0488	2.5194E-111	1	2.5194E-111	0.0024	1.2302E-112	1	1.2302E-112
0.347	0.0000	4	0.0000	0.1205	1.6728E-21	4	6.6911E-21	0.0145	2.0164E-22	4	8.0656E-22
0.484	0.0000	2	0.0001	0.2342	0.0000	2	0.0000	0.0548	0.0000	2	0.0000
0.631	0.0849	4	0.3394	0.3983	0.0338	4	0.1352	0.1586	0.0135	4	0.0538
0.789	0.5924	2	1.1847	0.6222	0.3685	2	0.73709	0.3871	0.2293	2	0.4586
0.957	0.9760	4	3.9042	0.9157	0.8938	4	3.5752	0.8386	0.8185	4	3.2739
1.136	0.0546	2	0.1092	1.2896	0.0704	2	0.1408	1.6630	0.0908	2	0.1816
1.325	0.1557	4	0.6230	1.7549	0.2733	4	1.0932	3.0797	0.4796	4	1.9185
1.524	0.0671	2	0.1343	2.3237	0.1560	2	0.3120	5.3995	0.3625	2	0.7250
1.734	0.0245	4	0.0980	3.0084	0.0737	4	0.2950	9.0506	0.2218	4	0.8874
1.955	0.0010	2	0.0021	3.8223	0.0040	2	0.0079	14.6103	0.0151	2	0.0302
2.186	0.0005	4	0.0020	4.7794	0.0024	4	0.0096	22.8422	0.0114	4	0.0457
2.428	0.0004	2	0.0008	5.8940	0.0023	2	0.0046	34.7390	0.0135	2	0.0270
2.680	0.0005	4	0.0022	7.1814	0.0039	4	0.0158	51.5727	0.0283	4	0.1132
2.942	0.0002	2	0.0004	8.6575	0.0017	2	0.0034	74.9529	0.0148	2	0.0296
3.215	0.0002	4	0.0008	10.3389	0.0021	4	0.0083	106.8919	0.0215	4	0.0861
3.499	0.0002	2	0.0005	12.2426	0.0028	2	0.0056	149.8801	0.0341	2	0.0683
3.793	0.0000	4	0.0002	14.3865	0.0006	4	0.0024	206.9705	0.0088	4	0.0350
4.097	0.0000	2	0.0000	16.7891	0.0004	2	0.0008	281.8742	0.0068	2	0.0137
4.412	0.0000	4	0.0000	19.4696	0.0001	4	0.0003	379.0665	0.0014	4	0.0057
4.738	0.0000	2	0.0000	22.4479	0.0002	2	0.0004	503.9061	0.0045	2	0.0090
5.074	0.0000	4	0.0000	25.7443	0.0001	4	0.0005	662.7667	0.0029	4	0.0118
5.420	0.0000	2	0.0000	29.3800	0.0001	2	0.0002	863.1832	0.0027	2	0.0054
5.777	0.0000	4	0.0000	33.3768	0.0001	4	0.0003	1114.0126	0.0028	4	0.0113
6.145	0.0000	2	0.0000	37.7573	0.0001	2	0.0001	1425.6102	0.0020	2	0.0040
6.523	0.0000	4	0.0000	42.5444	0.0001	4	0.0004	1810.0245	0.0048	4	0.0190
6.911	0.0000	2	0.0000	47.7620	0.0000	2	0.0001	2281.2078	0.0017	2	0.0033
7.310	0.0000	4	0.0000	53.4345	0.0000	4	0.0001	2855.2480	0.0011	4	0.0045
7.719	0.0000	2	0.0000	59.5871	0.0000	2	0.0000	3550.6187	0.0012	2	0.0025
8.139	0.0000	4	0.0000	66.2454	0.0001	4	0.0002	4388.4524	0.0040	4	0.0160
8.569	0.0000	2	0.0000	73.4359	0.0000	2	0.0001	5392.8343	0.0021	2	0.0041
9.010	0.0000	4	0.0000	81.1857	0.0001	4	0.0002	6591.1213	0.0041	4	0.0163
9.462	0.0000	2	0.0000	89.5225	0.0000	2	0.0001	8014.2848	0.0034	2	0.0068
9.923	0.0000	4	0.0000	98.4748	0.0000	4	0.0002	9697.2803	0.0045	4	0.0181
10.396	0.0000	2	0.0000	108.0715	0.0000	2	0.0000	11679.4437	0.0005	2	0.0009
10.879	0.0000	4	0.0000	118.3424	0.0000	4	0.0000	14004.9170	0.0014	4	0.0058
11.372	0.0000	2	0.0000	129.3178	0.0000	2	0.0000	16723.1037	0.0024	2	0.0047
11.876	0.0000	4	0.0000	141.0289	0.0000	4	0.0001	19889.1553	0.0037	4	0.0149
12.390	0.0000	2	0.0000	153.5073	0.0000	2	0.0001	23564.4914	0.0056	2	0.0112
12.915	0.0000	4	0.0000	166.7854	0.0000	4	0.0001	27817.3531	0.0032	4	0.0127
13.450	0.0000	2	0.0000	180.8961	0.0000	2	0.0000	32723.3930	0.0002	2	0.0004
13.995	0.0000	4	0.0000	195.8732	0.0000	4	0.0001	38366.3021	0.0053	4	0.0212
14.552	0.0000	1	0.0000	211.7510	0.0001	1	0.0001	44838.4746	0.0120	1	0.0120
		SUM <sub>0</sub>	6.40			SUM <sub>2</sub>	6.35			SUM <sub>4</sub>	8.17

$$\begin{aligned}
 m_0 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_0 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad 6.40 \\
 &= 0.21340 \quad \quad \quad m^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_2 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_2 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad 6.35 \\
 &= 0.21 \quad \quad \quad m^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_4 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_4 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad 8.17 \\
 &= 0.27 \quad \quad \quad m^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon^2 &= (m_0 m_4 - m_2^2) / m_0 m_4 \\
 &= \quad \quad \quad 0.23
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CF &= (1 - \varepsilon^2)^{1/2} \\
 &= (1 - \quad \quad 0.23 )^{1/2} \\
 &= 0.88
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (S_a)_{1/3} &= 2\sqrt{m_0 \times CF} \\
 &= 2\sqrt{0.21340 \times 0.88} \\
 &= 0.8113 \quad \quad \quad m.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{freeboard} &= f \\
 &= 2.385 \quad \quad \quad m.
 \end{aligned}$$

### Probabilitas

$$\begin{aligned}
 Pf = n &= e^{(f)^2/2\text{mos}} \\
 &= 0.875221927
 \end{aligned}$$

Mentransformasikan Wave spectrum kedalam frekwesi encountering

$\omega_w$	$S_\zeta(\omega_w)$ [m <sup>2</sup> -sec]	$\eta = \omega_w V \cos\mu / g$	$\omega_e = \omega_w(1-\eta)$	$S_\zeta(\omega_e)$ [m <sup>2</sup> -sec]
0.2	1.961E-88	-0.105	0.221	0.000000
0.3	3.248E-16	-0.157	0.347	0.000000
0.4	1.539E-04	-0.210	0.484	0.000108
0.5	1.159E-01	-0.262	0.631	0.076035
0.6	7.509E-01	-0.315	0.789	0.460881
0.7	1.144E+00	-0.367	0.957	0.659683
0.8	1.046E+00	-0.419	1.136	0.568954
0.9	7.899E-01	-0.472	1.325	0.406365
1	5.561E-01	-0.524	1.524	0.271459
1.1	3.841E-01	-0.577	1.734	0.178345
1.2	2.659E-01	-0.629	1.955	0.117741
1.3	1.863E-01	-0.682	2.186	0.078825
1.4	1.325E-01	-0.734	2.428	0.053700
1.5	9.587E-02	-0.787	2.680	0.037259
1.6	7.049E-02	-0.839	2.942	0.026320

Membuat wave spektrum dengan ITTC

$$H_{1/3} = 10 \text{ m.}$$

$$= 10 \text{ m.}$$

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

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

$$g = 9.8 \text{ m/sec}^2$$

$$A = 0.778$$

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

$$= 0.336$$

$\omega_e$	S ( $\omega_e$ ) [m <sup>2</sup> - sec]	Simpson	product	$\omega_e^2$	$\omega_e^2 S$	Simpson	product	$\omega_e^4$	$\omega_e^4 S$	Simpson	product
0.221	0.0000	1	0.0000	0.0488	4.7571E-90	1	4.7571E-90	0.0024	2.3229E-91	1	2.3229E-91
0.347	0.0000	4	0.0000	0.1205	2.2525E-17	4	9.0102E-17	0.0145	2.7153E-18	4	1.0861E-17
0.484	0.0008	2	0.0015	0.2342	0.0002	2	0.0004	0.0548	0.0000	2	0.0001
0.631	0.2422	4	0.9687	0.3983	0.0965	4	0.3858	0.1586	0.0384	4	0.1537
0.789	0.8808	2	1.7616	0.6222	0.5480	2	1.09599	0.3871	0.3409	2	0.6819
0.957	1.0974	4	4.3894	0.9157	1.0049	4	4.0195	0.8386	0.9202	4	3.6808
1.136	0.0536	2	0.1072	1.2896	0.0691	2	0.1383	1.6630	0.0891	2	0.1783
1.325	0.1422	4	0.5689	1.7549	0.2496	4	0.9984	3.0797	0.4380	4	1.7521
1.524	0.0588	2	0.1177	2.3237	0.1367	2	0.2734	5.3995	0.3177	2	0.6354
1.734	0.0210	4	0.0838	3.0084	0.0630	4	0.2521	9.0506	0.1896	4	0.7585
1.955	0.0009	2	0.0017	3.8223	0.0033	2	0.0067	14.6103	0.0127	2	0.0254
2.186	0.0004	4	0.0017	4.7794	0.0020	4	0.0080	22.8422	0.0095	4	0.0380
2.428	0.0003	2	0.0006	5.8940	0.0019	2	0.0038	34.7390	0.0112	2	0.0224
2.680	0.0005	4	0.0018	7.1814	0.0032	4	0.0130	51.5727	0.0233	4	0.0931
2.942	0.0002	2	0.0003	8.6575	0.0014	2	0.0028	74.9529	0.0121	2	0.0243
3.215	0.0002	4	0.0007	10.3389	0.0017	4	0.0068	106.8919	0.0176	4	0.0704
3.499	0.0002	2	0.0004	12.2426	0.0023	2	0.0045	149.8801	0.0278	2	0.0557
3.793	0.0000	4	0.0001	14.3865	0.0005	4	0.0020	206.9705	0.0071	4	0.0285
4.097	0.0000	2	0.0000	16.7891	0.0003	2	0.0007	281.8742	0.0056	2	0.0111
4.412	0.0000	4	0.0000	19.4696	0.0001	4	0.0002	379.0665	0.0012	4	0.0047
4.738	0.0000	2	0.0000	22.4479	0.0002	2	0.0003	503.9061	0.0036	2	0.0073
5.074	0.0000	4	0.0000	25.7443	0.0001	4	0.0004	662.7667	0.0024	4	0.0096
5.420	0.0000	2	0.0000	29.3800	0.0001	2	0.0001	863.1832	0.0022	2	0.0044
5.777	0.0000	4	0.0000	33.3768	0.0001	4	0.0003	1114.0126	0.0023	4	0.0091
6.145	0.0000	2	0.0000	37.7573	0.0000	2	0.0001	1425.6102	0.0016	2	0.0032
6.523	0.0000	4	0.0000	42.5444	0.0001	4	0.0004	1810.0245	0.0039	4	0.0154
6.911	0.0000	2	0.0000	47.7620	0.0000	2	0.0001	2281.2078	0.0014	2	0.0027
7.310	0.0000	4	0.0000	53.4345	0.0000	4	0.0001	2855.2480	0.0009	4	0.0037
7.719	0.0000	2	0.0000	59.5871	0.0000	2	0.0000	3550.6187	0.0010	2	0.0020
8.139	0.0000	4	0.0000	66.2454	0.0000	4	0.0002	4388.4524	0.0032	4	0.0130
8.569	0.0000	2	0.0000	73.4359	0.0000	2	0.0000	5392.8343	0.0017	2	0.0033
9.010	0.0000	4	0.0000	81.1857	0.0000	4	0.0002	6591.1213	0.0033	4	0.0132
9.462	0.0000	2	0.0000	89.5225	0.0000	2	0.0001	8014.2848	0.0028	2	0.0055
9.923	0.0000	4	0.0000	98.4748	0.0000	4	0.0001	9697.2803	0.0037	4	0.0147
10.396	0.0000	2	0.0000	108.0715	0.0000	2	0.0000	11679.4437	0.0004	2	0.0007
10.879	0.0000	4	0.0000	118.3424	0.0000	4	0.0000	14004.9170	0.0012	4	0.0047
11.372	0.0000	2	0.0000	129.3178	0.0000	2	0.0000	16723.1037	0.0019	2	0.0038
11.876	0.0000	4	0.0000	141.0289	0.0000	4	0.0001	19889.1553	0.0030	4	0.0121
12.390	0.0000	2	0.0000	153.5073	0.0000	2	0.0001	23564.4914	0.0046	2	0.0091
12.915	0.0000	4	0.0000	166.7854	0.0000	4	0.0001	27817.3531	0.0026	4	0.0103
13.450	0.0000	2	0.0000	180.8961	0.0000	2	0.0000	32723.3930	0.0002	2	0.0003
13.995	0.0000	4	0.0000	195.8732	0.0000	4	0.0001	38366.3021	0.0043	4	0.0172
14.552	0.0000	1	0.0000	211.7510	0.0000	1	0.0000	44838.4746	0.0098	1	0.0098
		SUM <sub>0</sub>	8.01		SUM <sub>2</sub>	7.22			SUM <sub>4</sub>	8.39	

$$\begin{aligned}
 m_0 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_0 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad 8.01 \\
 &= 0.26688 \quad \quad \quad m^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_2 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_2 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad 7.22 \\
 &= 0.24 \quad \quad \quad m^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_4 &= 1/3 \times \Delta\omega e \times \text{SUM}_4 \\
 &= 1/3 \times 0,1 \times \quad \quad 8.39 \\
 &= 0.28 \quad \quad \quad m^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon^2 &= (m_0 m_4 - m_2^2) / m_0 m_4 \\
 &= \quad \quad 0.22
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CF &= (1 - \varepsilon^2)^{1/2} \\
 &= (1 - \quad \quad 0.22)^{1/2} \\
 &= 0.88
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (S_a)_{1/3} &= 2\sqrt{m_0} \times CF \\
 &= 2\sqrt{0.26688} \times \quad 0.88 \\
 &= 0.9096 \quad \quad \quad m.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{freeboard} &= f \\
 &= 2.385 \quad \quad \quad m.
 \end{aligned}$$

### Probabilitas

$$\begin{aligned}
 Pf = n &= e^{(f)^2/2m_0 s} \\
 &= 0.898912173
 \end{aligned}$$