

14.626/H/02



**TUGAS AKHIR**

**KL 1702**

**STUDI EKSPERIMENTAL  
ADDED RESISTANCE HYCAT AKIBAT GERAKAN  
KOPEL HEAVING DAN PITCHING PADA  
GELOMBANG REGULER**



RSke  
532.5  
8et  
5-1  
2000

Oleh :

**ARI SETIADI**

**NRP. 4395100012**

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2000**

PERPUSTAKAAN	
Tgl. Terbit	17/11/2000
Terbit	H
No. Agenda Pp.	21.2274

**STUDI EKSPERIMENTAL ADDED RESISTANCE HYCAT  
AKIBAT GERAKAN KOPEL HEAVING DAN PITCHING  
PADA GELOMBANG REGULER**

**TUGAS AKHIR**

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

**Mengetahui / Menyetujui**

**Dosen Pembimbing II,**



**Dr. Ir. P. Indiyono, M.Sc.**  
**NIP. 131 453 680**



**Dosen Pembimbing I,**



**Ir. M. Murtedjo, M.Eng.**  
**NIP. 130 687 431**

**SURABAYA**  
**Mei, 2000**

*Untuk Papa dan Mama*



*ABSTRAK*

## ABSTRAK

Tugas Akhir ini mengenai studi eksperimental untuk mengetahui besarnya *added resistance* suatu model HYCAT pada gelombang reguler yang dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia/ BPPT. Model yang digunakan terbuat dari kayu. Dalam penelitian ini digunakan variasi kecepatan 4.432 m/s, 4.771 m/s dan 5.114 m/s dengan rentang periode gelombang 0,8 ~ 1.4 dt, serta tinggi gelombang 10 cm. Dari seluruh hasil eksperimen tersebut diatas selanjutnya dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan menggunakan teori strip yang mana perumusan *added resistance* menggunakan formulasi Jossen. Hasil perhitungan *added resistance* secara teori menunjukkan harga *added resistance* pada periode 0.8 detik berkisar antara 106.02 ~ 282.54 N, untuk periode 1 detik berada dalam rentang 81.03 ~ 216.12 N, untuk periode 1.2 detik berkisar antara 69.33 ~ 200.93 N dan periode 1.4 detik berkisar antara 58.1 ~ 193.37 N. Harga *added resistance* hasil eksperimen untuk periode 0,8 detik berada dalam rentang 68.42 ~ 133.71 N, untuk periode 1 detik dalam rentang 61.57 ~ 127.63 N, untuk periode 1.2 detik berkisar antara 54.73 ~ 120.59 N dan periode 1.4 detik berkisar antara 47.89 ~ 116.01 N. Beda prosentase *added resistance* antara hasil teoritis dan eksperimental, untuk periode 0.8 detik berfluktuasi antara 35.47 % ~ 52.68 % : periode 1 detik berfluktuasi antara 24.01% ~ 40.92%, untuk periode 1.2 detik berfluktuasi sebesar 21.05% ~ 39.98% dan untuk periode 1.4 detik berfluktuasi antara 17.57% ~ 40.01%. Hasil eksperimen apabila dibandingkan dengan perhitungan secara teori menunjukkan trend garis yang sama yaitu naiknya harga *added resistance* seiring dengan naiknya kecepatan. Hasil eksperimen juga menunjukkan dengan naiknya periode maka harga *added resistance* cenderung turun.



*KATA PENGANTAR*

## KATA PENGANTAR

Bismillaahirrahmaanirrokhiiim.

Alhamdulillahirrobbil'alamin. Segala puji hanya kepada Allah SWT, hanya karena kemurahan dan kasih sayang-Nya-lah penulis diberikan kekuatan serta karunia yang tak terhingga untuk menyelesaikan Laporan Tugas Akhir berjudul “*Studi Eksperimental Added Resistance HYCAT Akibat Gerakan Kopel Heaving dan Pitching Pada Gelombang Reguler*”.

Penulis telah banyak sekali mendapatkan bantuan, bimbingan dan pengarahan selama pelaksanaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini Sebagai manusia penulis menyadari bahwa penulis mempunyai banyak kekurangan dan kelemahan, karena itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada siapa saja yang ikut membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, terutama kepada :

1. Papa (alm), Mama, serta mbak Santi, mbak Nani yang selalu memberi dorongan dan kasih sayang.
2. Ir. M Murtedjo, M.Eng selaku dosen pembimbing yang dengan segala kesabarannya memberikan waktu, dan bimbingannya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Ir. P. Indoyono, M.Sc. selaku dosen pembimbing dan dosen wali atas bimbingan dan arahan selama penulis menempuh studi serta dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen pengajar di Teknik Kelautan atas bimbingannya selama penulis menempuh studi di Teknik Kelautan ITS.
5. Ir. Djamaludin, M. Sc., Ir Muryadin, M.Sc dan Ir Taufik D.F M.Sc. serta para teknisi di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia/ BPPT yang telah banyak membantu selama proses percobaan.
6. Nia, yang selalu memberikan dorongan perhatian dan kasih sayang (*I never make it through without you, Nia*)
7. Arek-arek Laut terutama Andhika, Putut 'Bloon', Rozaq, Q-wier, Azhar 'silau man', Iyo, Papi, Susi, Joe, arek T-78 dan juga Heri 'kingkong', Agus'menwa', Fernas, mas Bima yang telah banyak mebantu dan

memberikan informasi dan semua yang tak bisa penulis sebutkan satu persatu. *Thank you for our beautiful friendship all this time.*

8. Seluruh teman seperjuangan angkatan '95
9. Bim-bim , terima kasih banyak atas pinjaman komputernya.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan disini tanpa mengurangi rasa hormat....

Kami menyadari bahwa kami adalah manusia biasa yang tidak akan pernah sempurna. Untuk itu jikalau ada kekurangan atas isi Tugas Akhir ini, kami mohon maaf yang sebesar-besarnya dan kami sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun mengenai Tugas Akhir ini agar kami dapat lebih banyak belajar untuk membenahi kekurangan-kekurangan yang ada pada diri kami, sehingga nantinya kami mampu mengemban nama baik ITS pada umumnya dan FTK pada khususnya dimata dunia nasional maupun internasional.

Cukup sekian saja kata pengantar dari kami. *"Apabila ada jarum yang patah jangan simpan didalam peti, apabila ada kata-kata yang salah janganlah disimpan didalam hati"*.

Pada akhirnya penulis hanya bisa berharap bahwa studi ini dapat sepenuhnya bermanfaat dan berguna. Baik bagi penulis maupun pembaca sekalian.

Surabaya, Mei 2000

Penyusun





*DAFTAR ISI*

## DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	x
BAB I. PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Perumusan Masalah	I-5
I-3 Tujuan	I-5
I-4 Manfaat	I-5
I-5 Batasan Masalah	I-6
BAB II. LANDASAN TEORI	
II.1 Umum	II-1
II.2 Hukum Kesamaan	II-4
II.2.1 Kesamaan Geometris	II-4
II.2.2 Kesamaan Kinematis	II-5
II.2.3 Kesamaan Dinamis	II-6
II.3 Teori Gelombang	II-6
II.3.1 Teori Gelombang Linier	II-8

II.3.2 <i>Region of Validity</i>	II-11
II-4 Gerakan Struktur Terapung	II-12
II-5 Gerakan Kopel Heaving dan Pitching	II-14
II-6 Tahanan	II-24
II.6.1 Tahanan Gesek	II-24
II.6.2 Tahanan Bentuk	II-26
II.6.3 <i>Added Resistance</i>	II-28
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Diagram Alir	III-1
III.2 Metodologi	III-2
III.3 Persiapan Model HYCAT	III-3
III.4 Pengujian Tahanan	III-5
III.4.1 Pengukuran Tahanan	III-5
III.4.2 Pemasangan Model	III-5
III.4.3 Kecepatan Model	III-6
III.4.4 Ketepatan Pengukuran	III-7
III.5 Fasilitas dan Perangkat peralatan eksperimen	III-7
III.5.1 Kolam Uji	III-7
III.5.2 Towing Carriage	III-8
III.5.3 Wave Generator	III-8
III.5.4 Wave Absorber	III-8
III.5.5 Overhead Crane	III-8
III.5.6 D.A.A.S Towing Tank	III-9

III.6 Penentuan parameter gelombang	III-10
III.7 Proses Percobaan	III-10
III.8 Analisa data hasil percobaan	III-11
III.9 Sistematika penulisan	III-12
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV-1 Hasil Perhitungan Secara Teoritis	IV-1
IV-2 Hasil Percobaan	IV-4
IV.2.2 Pengolahan Data Hasil Percobaan	IV-4
IV.2.3 Penentuan Besarnya Added Resistance Hasil Percobaan	IV-4
IV.3 Pembahasan	IV-9
IV.3.1 Perbandingan Hasil Percobaan Added Resistance dengan Teori	IV-9
IV.3.2 Pengaruh kecepatan dan periode terhadap added resistance model HYCAT	IV-10
IV.3.3 Analisa Hasil Percobaan	IV-11
IV.3.4 Faktor – Faktor Penyebab Perbedaan Harga Tahanan Total Hasil Eksperimen dengan Teori	IV-11
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 KESIMPULAN	V-1
V.2 SARAN	V-2
DAFTAR PUSTAKA	

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A : Data Hasil Percobaan

Lampiran B : Perhitungan added resistance

Lampiran C : Foto eksperimen

Lampiran D : Lembar asistensi



*DAFTAR TABEL*

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Resume added resistance hasil perhitungan teori	IV-1
Tabel 4.2 Resume Tahanan Total Percobaan dengan gelombang	IV-5
Tabel 4.3 Resume Total Drag Percobaan pada kondisi air tenang	IV-5
Tabel 4.4 Resume Added Resistance Percobaan	IV-6



*DAFTAR GAMBAR*



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Konfigurasi bangunan apung tipe HYCAT (Calkins 1991)	I-2
Gambar 1.2 HYCAT tipe ferry Superjet-30 (Arii et.al. 1993)	I-3
Gambar 2.1 Kurva koefisien tahanan (Harvald 1983)	II-2
Gambar 2.2 Profil gelombang linier	II-9
Gambar 2.3 <i>Region of validity</i> (Chakrabarti 1987)	II-11
Gambar 2.4 Gerakan struktur terapung dan sistim koordinat	II-12
Gambar 2.5 Penampang floating body berbentuk aerofoil	II-27
Gambar 3.1 Diagram alir metodologi TA	III-1
Gambar 3.2 Rencana garis HYCAT	III-4
Gambar 3.3 Setting model	III-6
Gambar 3.4 Pemasangan peralatan percobaan di laboratorium	III-10
Gambar 4.1 Grafik added resistance secara teori pada periode 0.8 detik	IV-2
Gambar 4.2 Grafik added resistance secara teori pada periode 1 detik	IV-2
Gambar 4.3 Grafik added resistance secara teori pada periode 1.2 detik	IV-3
Gambar 4.4 Grafik added resistance secara teori pada periode 1.4 detik	IV-3
Gambar 4.5. Grafik Added Resistance Eksperimen pada periode 0,8 dt	IV-6
Gambar 4.6. Grafik Added Resistance Eksperimen pada periode 1 dt	IV-7
Gambar 4.7. Grafik Added Resistance Eksperimen pada periode 1.2 dt	IV-7
Gambar 4.8. Grafik Added Resistance Eksperimen pada periode 1.4 dt	IV-8
Gambar 4.9. Grafik perbandingan Added Resistance Eksperimen dengan hasil teori	IV-9



*DAFTAR NOTASI*

## DAFTAR NOTASI

$a$	: Massa Tambah
$a_n$	: Sectional Added Mass
$a_n \dot{w}_r$	: gaya hidrodinamika akibat percepatan massa tambah
$a_x$	: Percepatan Horizontal
$a_y$	: Percepatan Vertikal
$A_b$	: Amplitudo Gerakan Benda
$A_d$	: Amplitudo Gerakan Gelombang
$A_w$	: Luas Garis Air
$A_{yy}$	: Massa Tambah Momen Inersia Akibat gerakan Pitching
$A(x)$	: Sectional Area
$\square(\xi)$	: Amplitudo Ratio
$b$	: Koeffisien Redaman
$b_n \dot{w}_r$	: gaya damping akibat kecepatan relatif
$B$	: Koeffisien Moment Dumping
$\beta_n$	: Koeffisien Luasan Strip
$B_m$	: Lebar Model
$B_n$	: Lebar Permukaan Garis Air
$B_p$	: Lebar Prototype
$c$	: Koeffisien Pengembali
$C_a$	: Koeffisien Massa Tambah
$C_d$	: Koeffisien bentuk
$C_f$	: Koeffisien gesek
$C_g$	: <i>Group Celerity</i>
$c_z$	: Gaya Pengembali
$c_n \dot{z}_r$	: gaya hidrostatis akibat perubahan posisi

d	: Kedalaman Perairan
Dp	: Diameter prototipe
Dm	: Diameter model
$e^{-kz}$	: faktor penurunan tekanan
F	: Gaya Ekitasi
Fa	: Gaya Inersia
Fc	: Gaya Pengembali
Fd	: Gaya Redaman
Fn	: <i>Froude Number</i>
Fo	: Amplitudo Gaya Eksitasi
g	: Percepatan Gravitasi (=9,81 m/dt <sup>2</sup> )
H	: Tinggi Gelombang
I <sub>yy</sub>	: Massa Inersia Model Kapal
K	: Angka Gelombang
K <sub>yy</sub>	: Jari-jari Girasi Model Kapal
Lm	: Panjang Model
Lp	: Panjang Prototype
m	: Massa Benda
$m_n \ddot{z}_n$	: gaya inersia akibat percepatan massa strip
M	: Exiticing Moment (besar moment yang bekerja pada benda apung)
P	: Tekanan
Rt	: Tahanan total
Rd	: Tahanan bentuk
Rf	: Tahanan gesek
Rn	: Reynold number
Sn	: Luasan Melintang Strip
S	: Luas permukaan basah
t	: waktu (dt)
T	: Periode
Tm	: Tinggi Model
Tn	: Sarat

$T_p$	: 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
$Z_0$	: Amplitudo Simpangan Heaving
$\lambda$	: Panjang Gelombang
$\alpha$	: Sudut Beda Phase
$\eta$	: Profil Permukaan Gelombang
$\pi$	: $\pi = 3.141592$
$\rho$	: Massa Jenis Fluida
$\phi$	: Kecepatan Potensial
$\theta$	: Simpangan Angular Akibat Gerakan Pitching
$\dot{\theta}$	: Kecepatan Angular
$\ddot{\theta}$	: Percepatan Angular
$\nu$	: Viskositas Kinematis
$\omega$	: Kecepatan sudut ( $2\pi/\omega$ )
$\omega_e$	: Frekwensi Encountering
$\omega_n$	: Frekwensi Natural
$\nabla$	: Displacement
$\ddot{\xi}$	: percepatan fluida
$\dot{\xi}$	: kecepatan fluida



*BAB I*  
*PENDAHULUAN*

# BAB I

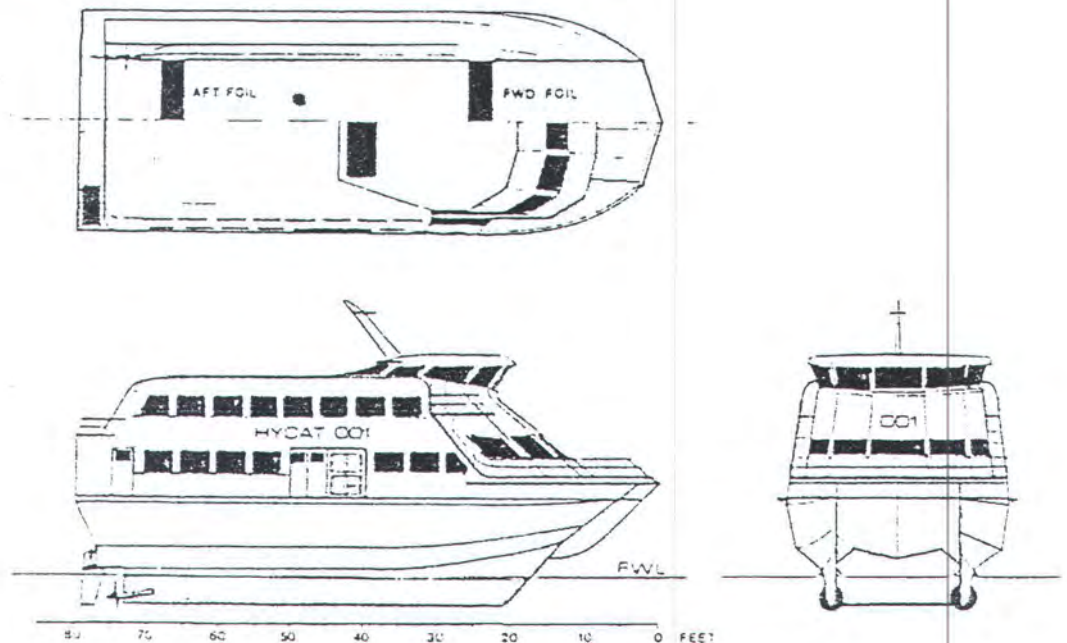
## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya mobilitas manusia dan penambahan jumlah penduduk, mengakibatkan kebutuhan transportasi menjadi meningkat. Indonesia merupakan negara kepulauan dimana 2/3 luas wilayahnya berupa laut, sehingga dibutuhkan alat penghubung yang optimal dan efisien.

Sekarang mulai berkembang jenis bangunan apung yang mampu bergerak dengan kecepatan tinggi dan mempunyai kapasitas yang besar. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi serta kesadaran akan pentingnya waktu, alternatif transportasi laut yang lebih cepat sangat dibutuhkan. Hal inilah yang memberi peluang bagi penggunaan jenis kapal non-konvensional yang pada umumnya mempunyai karakteristik kecepatan dan kenyamanan lebih tinggi dibanding tipe konvensional. Air Cushion Vehicles (ACV), SWATH dan HYCAT merupakan contoh kapal non-konvensional yang memiliki kemampuan seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Hybrid hidrofoil catamaran (HYCAT) merupakan salah satu konsep yang menjanjikan untuk jenis kapal cepat tingkat lanjut. Konsep ini telah direalisasikan berupa kapal eksperimental (Kawaguchi et.al. 1991) dan kapal ferry penumpang (Arii et. al. 1993). HYCAT adalah kombinasi dari lambung catamaran dengan dua buah *fully submerged hydrofoil* yang dipasang secara tandem pada bagian haluan dan buritan (gambar 1.1). Bentuk lambung HYCAT memiliki luas garis air

(WPA) yang kecil, sehingga dapat memperkecil gerakan pada gelombang dan lambung tersebut didisain agar memiliki tahanan dan karakteristik operasional *seastate* lebih baik dari pada kapal hidrofoil.

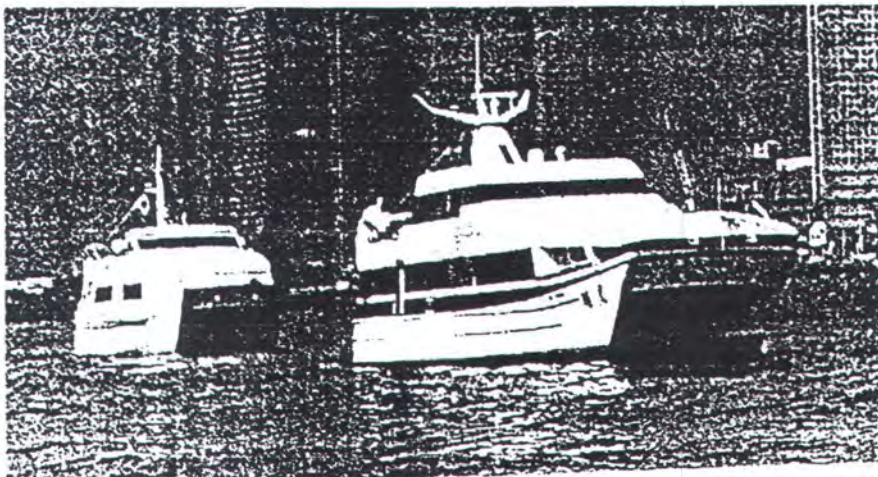


Gambar 1.1 Konfigurasi bangunan apung tipe HYCAT (Calkins 1991)

Sarana transportasi laut telah cukup memadai dengan adanya jenis dan tipe kapal yang konvensional sampai yang canggih, seperti misalnya kapal barang, kapal tangki, kapal ferry dan jet-foil. Tetapi tipe HYCAT sebagai sarana transportasi laut belum berkembang, padahal tipe ini memiliki banyak keunggulan, antara lain dalam pengoperasian memberikan karakteristik gerakan yang stabil karena memiliki dua badan penyangga (*double hull*). Kita mengetahui bahwa perairan laut di Indonesia mempunyai gelombang yang buruk, dan pada musim tertentu bergelombang cukup



tinggi sehingga menimbulkan kecelakaan di laut dan terhentinya transportasi laut. Untuk mengatasi masalah itu, tipe HYCAT mungkin menjadi alternatif terbaik untuk melayari perairan yang bergelombang tersebut. Bangunan apung tipe HYCAT memiliki luasan bidang garis air yang kecil, sehingga akan membawa dampak pada stabilitasnya. Contoh HYCAT tipe ferry yang telah dibangun adalah Superjet, dapat dilihat pada gambar 1.2



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

Tahanan HYCAT di air tenang dengan kecepatan konstan umumnya lebih tinggi daripada tipe monohull dengan displacemen yang sama. Hal ini terutama disebabkan oleh kenaikan luasan permukaan basah (WSA) dan berkurangnya panjang garis air sebagai akibat pemisahan volume yang sama menjadi dua lambung terpisah dan penjumlahan interferensi aliran antara dua lambung. Tidak ada jalan lain kecuali mengurangi tahanan gesek daripada penurunan luas permukaan basah (WSA).

Salah satu masalah pada prediksi tahanan dan optimasi bentuk hull adalah kurangnya tes model dan full-scale data untuk korelasi. Adopsi dari koreksi bentuk drag dan faktor korelasi diperlukan untuk ekstrapolasi hasil tes model atau prediksi teoritis untuk harga tahanan skala penuh. Bagaimanapun, dengan bertambahnya kapal HYCAT dibuat dan dioperasikan, maka diharapkan tingkat keyakinan pada estimasi faktor tersebut akan meningkat.

Untuk pembahasan selanjutnya akan ditinjau mengenai pengaruh aksi gelombang terhadap struktur HYCAT. Karena pada semua struktur terapung yang beroperasi di perairan akan mengalami gerakan dalam arah enam derajat kebebasan. Dimana semua gerakan dapat mempengaruhi *added resistance* atau tahanan yang disebabkan oleh energi gelombang.

Karena pentingnya peranan bangunan apung tipe HYCAT dimasa mendatang maka perlu dipelajari karakteristik bangunan apung tipe HYCAT dalam menghadapi gelombang laut, baik dengan studi teoritis maupun secara eksperimen. Berangkat dari pertimbangan diatas dan juga fasilitas Laboratorium Hidrodinamika Indonesia/BPPT maka dipilih judul STUDI EKSPERIMENTAL ADDED RESISTANCE HYCAT AKIBAT GERAKAN KOPEL HEAVING DAN PITCHING PADA GELOMBANG REGULER.

## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun masalahnya adalah:

1. Bagaimanakah pengaruh gelombang reguler terhadap besarnya *added resistance* bangunan apung tipe HYCAT ?
2. Bagaimanakah pengaruh kecepatan dan periode terhadap besarnya *added resistance* bangunan apung tipe HYCAT ?
3. Apakah besarnya *added resistance* model bangunan apung tipe HYCAT hasil percobaan sesuai dengan teori ?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Menentukan *added resistance* dari model akibat gaya gelombang.
2. Mengetahui pengaruh variasi kecepatan dan periode terhadap besar *added resistance*.
3. Membandingkan *added resistance* hasil eksperimen dengan hasil perhitungan secara teori.

## 1.4 Manfaat

Dengan diketahuinya penentuan tahanan akibat gerakan heaving untuk model HYCAT, ada beberapa manfaat yang dapat dipetik, yaitu:

1. Memperbanyak informasi dan memberikan kontribusi pada studi dan rancang bangun untuk bangunan apung tipe HYCAT.
2. Pertimbangan dalam perencanaan bangunan apung tipe HYCAT.

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang dipakai dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan gelombang reguler (linier) dengan arah datang gelombang dari depan (head seas) menggunakan variasi periode.
2. Model ditarik dengan variasi kecepatan pada kolam uji.
3. Gerakan yang terjadi adalah gerakan kopel heaving dan pitching.
4. Interaksi gelombang antara lambung dianggap tidak ada.



*BAB II*  
*LANDASAN TEORI*

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

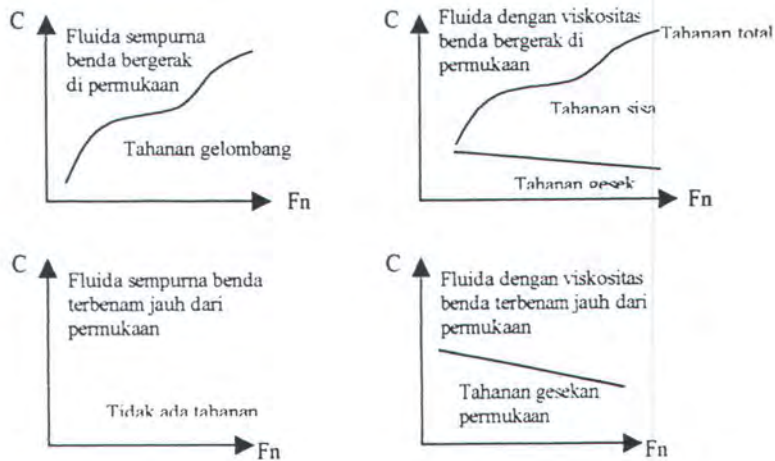
#### **2.1 Umum**

Bangunan apung tipe HYCAT memiliki gaya bouyancy 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 dari pada kapal konvensional sehingga gerakan HYCAT akibat gelombang dapat diperkecil.

Untuk menganalisa gerakan struktur terapung, penting diketahui terlebih dahulu tentang macam gerakan dan sistim koordinat. Gerakan-gerakan struktur terapung di laut mempunyai 6 (enam) macam gerakan, terdiri atas 3 (tiga) gerakan tranlasi yaitu surging swaying dan heaving, dan 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.

Suatu benda terapung atau setengah tenggelam didalam suatu fluida dimana benda itu bergerak akan menerima gaya yang menahan gerak dari benda tersebut. Gaya tersebut sering disebut sebagai tahanan yang sebenarnya merupakan gaya fluida yang bekerja pada suatu struktur bangunan laut sedemikian rupa sehingga melawan gerakan bangunan laut. Tahanan adalah sama dengan komponen gaya fluida yang

bekerja sejajar dengan sumbu gerakan bangunan laut. Pada gambar 2.1 menunjukkan beberapa kurva tahanan untuk benda yang bergerak di permukaan atau jauh terbenam di dalam fluida yang sempurna dan fluida yang mempunyai viskositas.



Gambar 2.1 Kurva koefisien tahanan (Harvald 1983)

Koordinat horisontalnya adalah angka Froude.

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{gl}} \quad (2.1)$$

Sedangkan ordinatnya adalah koefisien tahanan yang didefinisikan sebagai:

$$C = \frac{R}{\frac{1}{2} \rho V^2 S} \quad (2.2)$$

$V$  adalah kecepatan,  $l$  panjang benda,  $g$  percepatan gravitasi,  $\rho$  massa jenis dan  $S$  luas permukaan basah benda.

Eksperimen akan dilakukan pada struktur model HYCAT dengan konfigurasi yang terdiri dari dua lambung. Dengan konfigurasi struktur yang lain dengan badan kapal maka penentuan tahanan total HYCAT akan mempunyai perbedaan dibanding

dengan kapal pada umumnya. Perbedaan tersebut terletak pada unsur luas permukaan basah dan bentuk struktur, dimana luas permukaan basah HYCAT dan kapal sangat jauh berbeda mengingat konfigurasi masing-masing bangunan tersebut. Berdasarkan pendapat William Froude tahanan suatu bangunan laut dapat dipisahkan menjadi dua bagian yaitu tahanan gesek dan tahanan sisa. Tahanan gesek disebabkan karena pengaruh gaya viskositas dan gaya inersia sedangkan tahanan sisa disebabkan karena pengaruh gaya gravitasi dan gaya inersia. Pengelompokan yang dipakai oleh ITTC untuk suatu kapal adalah tahanan gesek dan tahanan sisa dimana tahanan sisa ini masih dipisahkan lagi menjadi tahanan bentuk, tahanan udara dan tahanan gelombang. Dalam penelitian ini tahanan udara sengaja tidak dimasukkan di dalam tahanan sisa karena eksperimen dilakukan dalam ruangan tertutup sehingga pengaruh angin dapat diabaikan. Tahanan gesek adalah komponen tahanan yang dipengaruhi oleh gesekan yang terjadi pada luasan permukaan basah bangunan laut akibat fluida yang bersifat viskos. Tahanan bentuk adalah komponen tahanan yang dipengaruhi oleh bentuk dan konfigurasi bangunan laut. Sedangkan tahanan gelombang adalah komponen tahanan yang dipengaruhi energi gelombang yang bekerja pada bangunan laut.



## 2.2 Hukum Kesamaan

Agar dapat diperoleh hasil spesifik gaya-gaya yang bekerja pada model sama dengan pada prototipe (full scale), maka harus memenuhi beberapa hukum kesamaan. Yang paling lazim ialah kesamaan geometri, kinematis, dinamik.

### 2.2.1 Kesamaan Geometris

Kesamaan geometris adalah kesamaan perbandingan antara ukuran model dengan prototipe, harga perbandingan ini selalu bernilai 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 membesarkannya 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-linier yang sama. Ini berlaku untuk 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 :

$$\frac{D_p}{D_m} = \frac{L_p}{L_m} = \lambda = \text{kons tan} \quad (2.3)$$

dimana :

$D_p$	= diameter protipe	$L_p$	= panjang prototipe
$D_m$	= diameter model	$L_m$	= panjang model
$\lambda$	= angka nisbah		

### 2.2.2 Kesamaan Kinematis

Kesamaan kinematis mensyaratkan model dan prototipe untuk mempunyai nisbah skala panjang dan nisbah skala-waktu yang sama. Hasilnya ialah bahwa nisbah skala-kecepatannya akan sama untuk keduanya. Definisinya adalah :

*Gerak dua sistem adalah serupa secara kinematis, kalau partikel-partikel yang homolog terletak di titik-titik yang homolog pada saat-saat yang homolog.*

Kesetaraan skala-panjang semata-mata menyiratkan keserupaan geometris, tetapi kesetaraan skala-waktu mungkin memerlukan pertimbangan-pertimbangan dinamik lain, seperti kesetaraan bilangan-bilangan Reynold, Mach, dan sebagainya. Secara matematis dengan  $\alpha$  suatu nisbah tak berdimensi, skala-kecepatannya ialah :

$$\frac{V_m}{V_p} = \left( \frac{L_m}{L_p} \right)^{1/2} = \sqrt{\alpha} \quad (2.4)$$

$$\frac{V_m L_m}{\nu_m} = \frac{V_p L_p}{\nu_p} \quad \text{Re}(m) = \text{Re}(p) \quad (2.5)$$

dimana:  $V_m$  = kecepatan model       $\nu_m$  = viskositas kinematis model

$V_p$  = kecepatan prototipe     $\nu_p$  = viskositas kinematis prototipe

$Re$  = Reynold number

### 2.2.3 Kesamaan Dinamis

Kesamaan dinamis adalah jika dua sistim dinamis mempunyai rasio yang sama keduanya, gaya-gaya yang bekerja pada elemen fluida meliputi gaya gravitasi ( $F_g$ ), gaya tekan ( $F_p$ ), gaya viskositas ( $F_v$ ), dan gaya inersia. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{F_g(p)}{F_g(m)} = \frac{F_p(p)}{F_p(m)} = \frac{F_v(p)}{F_v(m)} = \frac{F_i(p)}{F_i(m)} \quad (2.6)$$

$$\left(\frac{F_i}{F_g}\right)_p = \left(\frac{F_i}{F_g}\right)_m ; \left(\frac{F_i}{F_p}\right)_p = \left(\frac{F_i}{F_p}\right)_m ; \left(\frac{F_i}{F_v}\right)_p = \left(\frac{F_i}{F_v}\right)_m \quad (2.7)$$

Jadi untuk mengidealisasikan model agar dapat memenuhi keadaan seperti aslinya, harus dipenuhi ketiga persyaratan kesamaan tersebut.

### 2.3 Teori Gelombang

Tiga diantara parameter pokok yang menentukan pemilihan metode pendekatan atau prosedur untuk perhitungan gaya gelombang adalah geometri struktur, panjang dan tinggi gelombang. Ketiga parameter tersebut umumnya dinyatakan dalam bentuk perbandingan yaitu:

- Perbandingan antara geometri struktur dengan panjang gelombang ( $D/\lambda$ ).
- Perbandingan antara tinggi gelombang dan geometri struktur ( $H/D$ ).

Keterangan lebih lanjut pengertian diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Perbandingan antara diameter struktur dengan panjang gelombang ( $D/\lambda$ ).  
Perbandingan ini menyatakan ukuran struktur relatif terhadap gelombang, yang mengandung pengertian sampai sejauh mana pengaruh struktur tersebut dengan karakteristik gelombang, yaitu sebagai berikut:
  1. Untuk  $D/\lambda \leq 0.2$ , struktur dianggap kecil jika dibandingkan dengan panjang gelombang, sehingga struktur tersebut tidak mempengaruhi atau merubah karakteristik gelombang yang mengenainya, untuk kasus seperti ini perhitungan gelombang dapat menggunakan teori Morison.
  2. Untuk  $D/\lambda > 0.2$ , geometri struktur dianggap cukup besar, sehingga mempengaruhi karakteristik gelombang yang mengenainya, ini berarti refleksi dan radiasi dari energi gelombang akibat ineraksi antara struktur dengan gelombang harus diperhitungkan. Untuk kasus demikian, teori Morison tidak dapat dipakai, pendekatan yang dipakai adalah teori difraksi.
- Perbandingan antara tinggi gelombang dengan geometri struktur ( $H/D$ )
  1. Untuk  $H/D$  kecil ( $H/D < 1.5$ ), diameter orbit pratikel yang terjadi juga kecil, ini berarti bahwa aliran searah yang timbulpun juga kecil, sehingga tidak mampu untuk menimbulkan pemisahan aliran maupun pusaran. Dalam hal ini gaya drag yang terjadi sangatlah kecil, sehingga gaya yang mendominasi adalah gaya inersia.

2. Untuk  $H/D$  yang besar ( $H/D > 8$ ), maka aliran searah yang timbul juga besar, sehingga dibelakang struktur aliran tersebut akan mengalami pemisahan dan timbul pusaran, dalam hal yang demikian ini maka gaya drag yang timbul adalah besar.

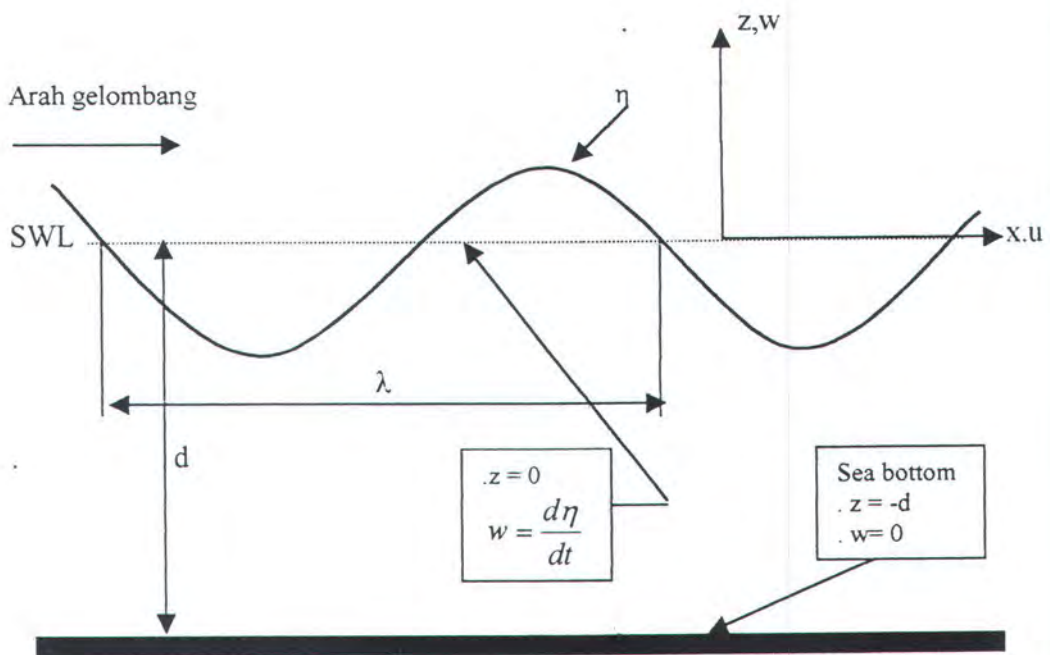
Sebelum menentukan beban gelombang yang diterima oleh suatu struktur terapung, diperlukan terlebih dulu pembahasan mengenai teori gelombang yang dipakai. Penentuan teori gelombang yang sesuai untuk digunakan pada analisa gaya hidrodinamis yang bekerja pada struktur, didasarkan pada *range of validity* dari teori gelombang tersebut.

### 2.3.1 Teori Gelombang Linier

Teori gelombang linier disebut juga sebagai teori gelombang Airy, *small amplitude wave theory* dan juga sebagai teori gelombang sinusoidal. Dikembangkan oleh G.B. Airy (1845) dan Laplace (1816) dan teori ini mempunyai beberapa asumsi antara lain:

1. Amplitudo gelombang  $a_0$  relatif kecil dibandingkan dengan panjang gelombang  $\lambda$  dan kedalaman perairan  $d$ .
2. Kedalaman perairan konstan.
3. Fluida adalah incompressible dan homogen.
4. Fluida adalah non-viscous dan irrotasional.
5. Gaya Coriolis diabaikan. Untuk gelombang-gelombang panjang, seperti gelombang pasang surut gaya ini sangat berpengaruh.

6. Tegangan permukaan diabaikan. Untuk gelombang pendek efek ini perlu dipertimbangkan.
7. Dasar perairan rata dan permeable
8. Tekanan atmosfer pada permukaan air adalah uniform.



Gambar 2.2 Profil gelombang linier

Kondisi-kondisi batas dari teori gelombang linier antara lain:

1. Kondisi irrotasional :

$$\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} = 0 \tag{2.8}$$

2. Kondisi kontinuitas:

$$\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.9)$$

3. Persamaan Euler:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.10)$$

4. Kondisi batas permukaan air (SWL):

$$w = \frac{\partial \eta}{\partial t} \quad (2.11)$$

pada  $z=0$ ,  $p=p_a$

5. Kondisi batas dasar:

$$w=0, \text{ pada } z=-d \quad (2.12)$$

Berdasarkan kondisi-kondisi batas tersebut, didapatkan persamaan-persamaan gelombang linier, yaitu:

- Elevasi gelombang  $\eta$ :

$$\eta = a_0 \cos(kx - \omega t) \quad (2.13)$$

- Kecepatan horisontal partikel gelombang  $u$ :

$$u = a_0 \omega \frac{\cosh k(z+d)}{\sinh kd} \cos(kx - \omega t) \quad (2.14)$$

- Percepatan horisontal partikel gelombang:

$$\dot{u} = \frac{4\pi^2}{T^2} a_0 \frac{\cosh k(z+d)}{\sinh kd} \cos(kx - \omega t) \quad (2.15)$$

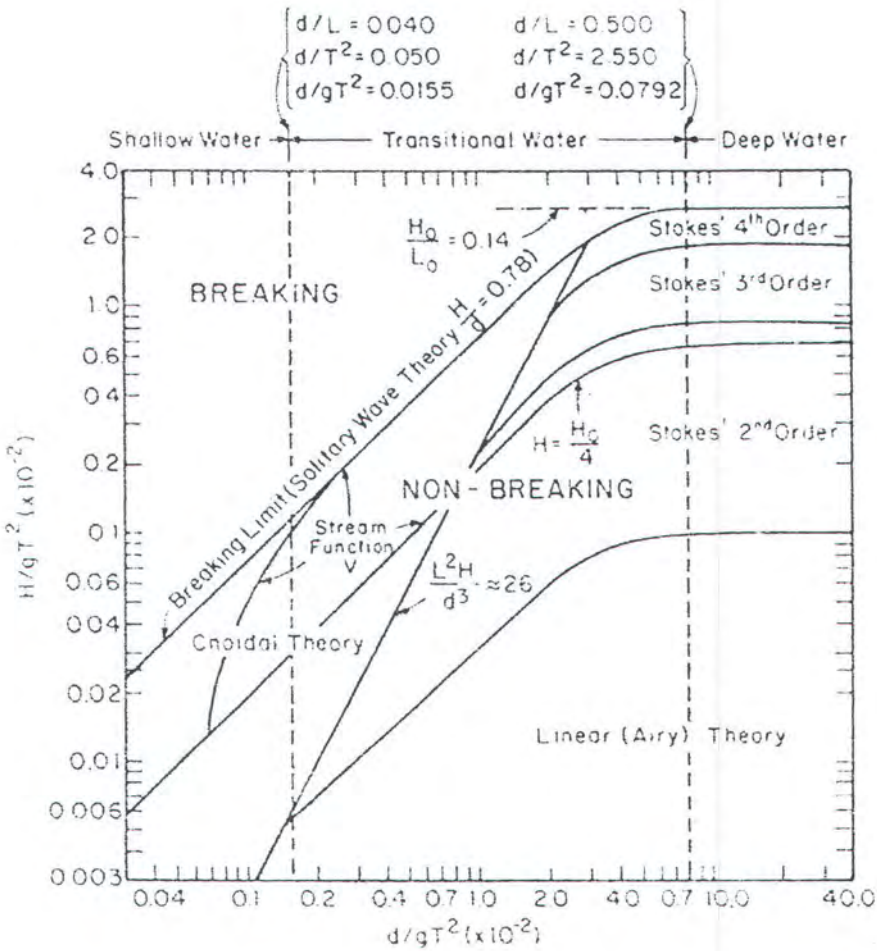
- Tekanan dinamis gelombang p:

$$p = \rho g a_0 \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \cos(kx - \omega t) \tag{2.16}$$

- Hubungan antara parameter-parameter gelombang

$$\omega^2 = gk \tanh kd \tag{2.17}$$

### 2.3.2 Region of Validity



Gambar 2.3 Region of validity (Chakrabarti 1987)

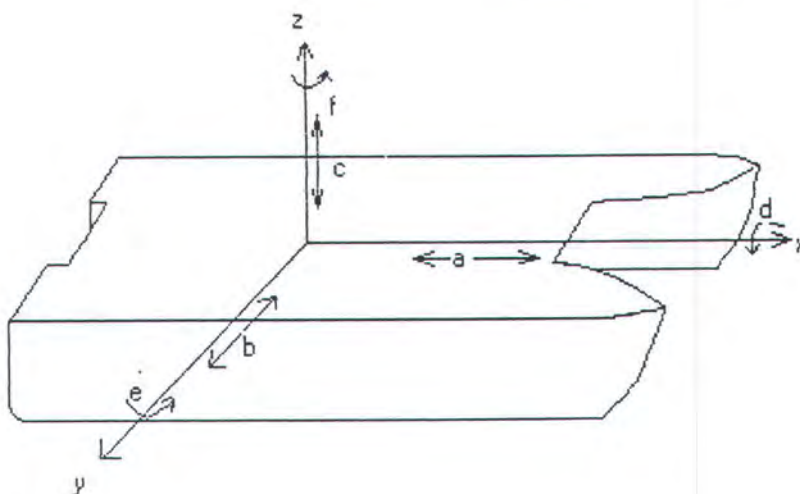


Untuk menentukan teori gelombang mana yang paling sesuai dalam menurunkan persamaan beban-beban yang diterima oleh struktur maka digunakan *region of validity* gelombang dari Chakrabarti S.K. (1987) disajikan dalam bentuk grafik.

Sebagai absis dari grafik ini adalah  $d/T^2$  dan ordinatnya adalah  $H/T^2$ , dimana  $d$  (kedalaman perairan) dan  $T$  (periode gelombang). Jadi dengan menghitung terlebih dahulu  $d/T^2$  (ft/sec<sup>2</sup>) dan  $H/T^2$  (ft/sec<sup>2</sup>) pada masing-masing perairan yang ditinjau dapat ditentukan teori gelombang yang sesuai. Grafik *region of validity* dapat dilihat pada gambar 2.3.

#### 2.4 Gerakan Struktur Terapung

Sebuah struktur pada permukaan air laut hampir selalu dalam gerakan osilasi. Perbedaan jenis gerakan osilasi pada struktur terapung dapat digambarkan pada gambar 2.4, yang menunjukkan enam jenis gerakan (terhadap sumbu transversal maupun longitudinal), tiga linear dan 3 rotasi pada sumbu-sumbunya. Yaitu :



Gambar 2.4 Gerakan struktur terapung dan sistim koordinat

- a. surging = gerakan osilasi lateral searah sumbu x.
- b. swaying = gerakan osilasi lateral searah sumbu y.
- c. heaving = gerakan osilasi lateral searah sumbu z.
- d. rolling = gerakan osilasi rotasional terhadap sumbu putar x.
- e. pitching = gerakan osilasi rotasional terhadap sumbu putar y.
- f. yawing = gerakan osilasi rotasional terhadap sumbu putar z.

Hanya tiga jenis gerakan, yaitu, heaving, rolling, dan pitching yang gerakan osilasi murni, karena gerakan-gerakan ini yang terjadi akibat adanya sebuah *restoring force* (gaya pengembali) atau *restoring moment* (momen pengembali) ketika struktur berpindah dari posisi kesetimbangannya. Pada surging, swaying, atau yawing, struktur tidak kembali pada posisi kesetimbangan semula jika posisinya berpindah dari kesetimbangannya kecuali gaya-gaya atau momen-momen eksitasi yang menyebabkan perpindahannya bekerja lagi pada arah yang berlawanan.

Meskipun dalam kenyataannya semua enam jenis gerakan-gerakan struktur bekerja secara simultan, tetapi hanya diperlakukan satu gerakan pada satu waktu. Bagaimanapun juga, perlu diingat bahwa tidak ada satupun gerakan yang bebas dengan gerakan lainnya, pendekatan pertama adalah gerakan pasangan (*coupled*) diabaikan untuk mempermudah masalah. Jika struktur bebas bergerak ke semua arah, ini dikatakan mempunyai enam derajat kebebasan dari gerakan bebas. Jika gerakan struktur terbatas, sehingga hanya dapat bergerak dalam dua arah atau rotasi dan hanya terhadap dua sumbu, ini dikatakan mempunyai dua derajat kebebasan. Dalam pokok

bahasan selanjutnya hanya dibahas dua derajat kebebasan, yaitu kopel heaving-pitching.

### 2.5 Gerakan kopel Heaving dan Pitching (Bhattacharyya 1978)

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.

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

$$\text{Persamaan untuk heaving} \quad : \quad m \cdot \ddot{z} = \Sigma F \quad (2.18)$$

$$\text{Persamaan untuk pitching} \quad : \quad I \cdot \ddot{\theta} = \Sigma M \quad (2.19)$$

Dimana:  $\Sigma F$  = jumlah gaya fluida

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

Adanya massa tambah pada suatu benda yang bergerak relatif terhadap fluida maka persamaan (2.18) diatas dapat ditulis kembali menjadi:

$$\Sigma F = (m + m_a) \ddot{z} \quad (2.20)$$

dimana :  $m$  = massa strip

$m_a$  = massa tambah strip untuk gerakan heaving

Pergerakan suatu benda didalam fluida akan mengalami gaya reaksi akibat tahanan hidrodinamik yang dikenal sebagai gaya damping atau gaya redaman:

$$cz = (m + ma)\ddot{z} + b\dot{z} \quad (2.21)$$

dimana:  $b$  = koefisien gaya redaman

$c$  = koefisien gaya pengembali

Jika diasumsikan bahwa strip mendapat beban gelombang dengan amplitudo  $\zeta$  a maka akan terjadi perubahan gaya inersia karena adanya perubahan sarat. Perubahan sarat tersebut akan berlangsung secara kontinyu dan mengakibatkan adanya exciting force, sehingga persamaan heaving menjadi:

$$m\ddot{z} = F = ma(-\ddot{z} + \ddot{\zeta}) + b(-\dot{z} + \dot{\zeta}) + c(-z + \zeta)$$

$$\text{atau } (m + ma)\ddot{z} + b\dot{z} + cz = ma\ddot{\zeta} + b\dot{\zeta} + c\zeta \quad (2.22)$$

dimana:  $\ddot{\zeta}$  = percepatan fluida

$\dot{\zeta}$  = kecepatan fluida

$\zeta$  = displacemen fluida

Ruas kanan pada persamaan (2.22) diatas disebut sebagai exciting force.

Posisi absolut setiap titik sepanjang benda yang dinyatakan dalam  $z - \xi\theta$  dan posisi relatif strip terhadap gelombang dinyatakan pada:  $zr = z - \xi\theta - \xi$

Untuk mendapatkan kecepatan relatif persamaan diatas dapat diturunkan menjadi:

$$w_r = \dot{z}_r = \dot{z} - (\xi\dot{\theta} + \theta\dot{\xi}) - \dot{\xi} \quad (2.23)$$

Apabila strip tersebut memiliki kecepatan  $u$  maka:

$$d\xi / dt = \dot{\xi} = -u \quad (2.24)$$

sehingga percepatan relatifnya menjadi:

$$\begin{aligned} \dot{w}_r &= \ddot{z} - \xi \ddot{\theta} - \dot{\theta}(-u) + u \dot{\theta} - \ddot{\zeta} \\ &= \ddot{z} - \xi \ddot{\theta} + 2u \dot{\theta} - \ddot{\zeta} \end{aligned} \tag{2.25}$$

Berdasarkan persamaan-persamaan dasar diatas maka akan terdapat gaya geser di antara masing-masing strip. Besar gaya geser tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:

$$\frac{\delta f_n}{\delta \zeta} = -m_n \ddot{z}_n - (a_n \dot{w}_r + b_n w_r) - c_n z_r \tag{2.25}$$

dimana:  $m_n \ddot{z}_n$  = gaya inersia akibat percepatan massa strip

$a_n \dot{w}_r$  = gaya hidrodinamika akibat percepatan massa tambah

$b_n w_r$  = gaya damping akibat kecepatan relatif

$c_n z_r$  = gaya hidrostatis akibat perubahan posisi

jika: 
$$\begin{aligned} \frac{d(a_n w_r)}{dt} &= w_r \frac{da_n}{dt} + a_n \frac{dw_r}{dt} \\ &= w_r \frac{da_n}{dt} + a_n w_r \end{aligned} \tag{2.26}$$

maka persamaan (2.25) dapat ditulis kembali menjadi:

$$\frac{\delta f_n}{\delta \zeta} = -m_n \ddot{z}_n - a_n \dot{w}_r - \left( b_n + \frac{da_n}{dt} \right) w_r - c_n z_r \tag{2.27}$$

Agar diperoleh gaya sepanjang benda, diperlukan penjumlahan gaya pada setiap strip yang dinyatakan dalam bentuk:

$$\frac{\delta f_n}{dt} dx = 0 \tag{2.28}$$

Displacement horizontal yang terjadi adalah:

$$x = \xi + ut \quad (2.29)$$

dimana  $ut$  adalah displacement antara sumbu utama dengan titik pangkal benda.

Untuk waktu  $t$  tertentu,  $ut$  akan konstan, sehingga:

$$dx = d\xi + d(ut) = d\xi \quad (2.30)$$

Untuk mendapatkan penjumlahan gaya, persamaan (2.27) diintegrasikan menjadi :

$$-\int \frac{\delta f_n}{\delta \xi} d\xi = \int m_n \ddot{z}_n d\xi + \int a_n \dot{w}_r d\xi + \left( \int b_n w_r d\xi - u \int \frac{da_n}{d\xi} w_r d\xi \right) + \int c_n z_r d\xi \quad (2.31)$$

dimana:  $\ddot{z}_n = \ddot{z} - \xi \ddot{\theta}$  (2.31a)

$$z_r = z - \xi \theta - \zeta e^{-kz} \quad (2.31b)$$

$$e^{-kz} = \text{faktor penurunan tekanan}$$

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

$$w_r = \frac{dz_r}{dt} = \dot{z} - \xi \dot{\theta} + u \theta - \dot{\zeta} e^{-kz} \quad (2.32)$$

$$\dot{w}_r = \frac{dw_r}{dt} = \ddot{z} - \xi \ddot{\theta} + 2u \dot{\theta} - \ddot{\zeta} e^{-kz} \quad (2.33)$$

Untuk penyederhanaan, 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 displacement awal dalam still water dan ruas kanan menyatakan kondisi gelombang yang disebut force function. Substitusi  $z_r, w_r, \dot{w}_r$  dan  $\ddot{z}_n$  dari persamaan (2.31a) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& m_n(\ddot{z} - \xi\ddot{\theta}) + a_n(\ddot{z} - \xi\ddot{\theta} + 2u\dot{\theta}) + b_n(\dot{z} - \xi\dot{\theta} + u\theta) - \frac{da_n}{d\xi}(\dot{z} - \xi\dot{\theta} + u\theta) + c_n(z - \xi\theta) \\
& = \ddot{\zeta}e^{-k\xi}a_n - \dot{\zeta}e^{-k\xi}b_n - u\frac{da_n}{dt}\xi e^{-k\xi} + \zeta e^{-k\xi}c_n
\end{aligned}
\tag{2.34}$$

Pada persamaan (2.34) diatas, ruas kanan menyatakan exiting force untuk masing-masing strip yang disebabkan oleh gelombang  $df/dx$ . Dengan mengasumsikan gelombang reguler dan harmonik maka dengan mensubtitusikan formulasi  $x = \xi + ut$  kedalam persamaan diatas maka :

$$\zeta = \zeta a \sin k(\xi + (u + Vw)t) \tag{2.35}$$

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

$$\zeta = \zeta a \sin(k\xi - \omega e t) \tag{2.36}$$

$$\dot{\zeta} = -\zeta a \omega e \cos(k\xi - \omega e t) \tag{2.37}$$

$$\ddot{\zeta} = -\zeta a \omega e^2 \sin(k\xi - \omega e t) \tag{2.38}$$

Dengan mensubtitusikan ke dalam persamaan (2.34), dan kemudian hasilnya diintegrasikan terhadap panjang benda, diperoleh persamaan dasar I untuk gerakan translasi pada kopel heaving dan pitching, yaitu :

$$(m + ma)\ddot{z} + b\dot{z} + cz + d\ddot{\theta} + e\dot{\theta} + h\theta = F(t) \tag{2.39}$$

dimana :  $m = \int m_n d\xi$

$$ma = \int a_n d\xi$$

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

Karena diasumsikan  $u \int (da_n / d\xi) d\xi = 0$  maka :

$$c = \int c_n d\xi \quad (2.40)$$

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

$$d = - \int a_n \xi d\xi \quad (2.50)$$

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

$$\begin{aligned} e &= - \int b_n \xi d\xi + 2u \int a_n d\xi + u \int (da_n / dt) \xi d\xi \\ &= - \int b_n \xi d\xi + u \text{ ma} \end{aligned} \quad (2.51)$$

Jika  $\int \xi (da_n / d\xi) d\xi = \int \xi$  dan  $= - \text{ma}$ , maka:

$$\begin{aligned} h &= - \int c_n \xi d\xi + u \int b_n d\xi \\ &= - \int c_n \xi d\xi + ub \end{aligned} \quad (2.52)$$



dan karena  $u^2 \int (da_n / d\xi) d\xi = 0$  maka :

$$\begin{aligned} F(t) &= \int \frac{dF}{dx} dx = \zeta a e^{-k\xi} \int (-\omega e^2 a_n + c_n) \sin(k\xi - \omega t) d\xi \\ &\quad - \zeta a e^{-k\xi} \omega e \int \left( b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) \cos(k\xi - \omega t) d\xi \end{aligned} \quad (2.53)$$



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

$$\begin{aligned} F_0 &= F_1 \cos \omega e t + F_2 \sin \omega e t \\ &= F_0 \cos(\omega e t - \sigma) \end{aligned} \quad (2.54)$$

dimana  $F_0$  merupakan simpangan dari exciting force yang dinyatakan sebagai berikut:  $F_0 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$

Sedangkan  $\sigma$  merupakan sudut phase yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\sigma = -\tan^{-1}(F_1/F_2)$$

$F_1$  dan  $F_2$  dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$\begin{aligned} F_1 &= \int \frac{dF_1}{dx} dx \\ \frac{dF_1}{dx} &= \zeta a e^{-kz} (-\omega e^2 a_n + c_n) \sin k\xi + \zeta a e^{-kz} \omega e \left( b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) \cos k\xi \end{aligned} \quad (2.54a)$$

$$\begin{aligned} F_2 &= \int \frac{dF_2}{dx} dx \\ \frac{dF_2}{dx} &= \zeta a e^{-kz} (-\omega e^2 a_n + c_n) \cos k\xi - \zeta a e^{-kz} \omega e \left( b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) \sin k\xi \end{aligned} \quad (2.54b)$$

Hal yang perlu diperhatikan dari persamaan diatas adalah bahwa  $z$  diukur dari garis sarat rata-rata.

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

$$(I_{yy} + A_{yy})\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + C\theta + D\ddot{z} + E\dot{z} + Hz = M(t) \quad (2.55)$$

dimana :  $A_{yy}$  = massa tambah momen inersia

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

B = momen peredam

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

C = momen pengembali

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

M = momen eksitasi

$$= M_0 \cos(\omega t + \tau) = \int \frac{dF}{d\xi} \xi d\xi$$

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

$$D = d$$

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

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

Amplitudo momen eksitasi  $M_0$  dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$M_0 = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} \quad (2.56)$$

Sudu phase  $\tau$  akibat momen eksitasi terhadap gerakan gelombang adalah :

$$\tau = - \tan^{-1}(M_2 / M_1) \quad (2.57)$$

dimana:  $M_1 = \int \frac{dM_1}{dx} d\xi$

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

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

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

Koefisien-koefisien pada persamaan dasar I dan II dapat diperoleh dengan mengasumsikan pendekatan gerak kopel untuk calm water sehingga ruas kanan pada masing-masing persamaan sama dengan nol. Dimana koefisien-koefisien tersebut adalah sebagai berikut :

$$P = -(m + ma)\omega^2 + iB\omega + c \quad (2.58)$$

$$Q = -d\omega^2 + ie\omega + h \quad (2.59)$$

$$S = -(I_{yy} + A_{yy})\omega^2 + iB\omega + c \quad (2.60)$$

$$R = -D\omega^2 + iE\omega + H \quad (2.61)$$

Sedangkan untuk memudahkan penyelesaian, gaya dan momen eksitasi pada persamaan dasar I dan II dapat diperoleh dengan metode bilangan kompleks, yaitu sebagai berikut :

$$\bar{F} = F_0 e^{i\sigma} \quad (2.62)$$

$$\bar{M} = M_0 e^{i\tau} \quad (2.63)$$

Jika  $\bar{z}$  menyatakan seluruh komponen  $z$  dan  $\bar{\theta}$  menyatakan seluruh komponen  $\theta$  maka persamaan dasar I dan II dapat ditulis kembali dalam bentuk berikut :

$$P\bar{z} + Q\bar{\theta} = \bar{F} \quad (2.64)$$

$$S\bar{\theta} + R\bar{z} = \bar{M} \quad (2.65)$$

Sehingga untuk persamaan heaving adalah :

$$\bar{z} = \frac{\bar{F} - Q\bar{\theta}}{P} \quad (2.66)$$

$$\bar{\theta} = \frac{\bar{F} - P\bar{z}}{Q} \quad (2.67)$$

Sedangkan untuk persamaan pitching adalah :

$$\bar{z} = \frac{\bar{M} - S\bar{\theta}}{R} \quad (2.68)$$

$$\bar{\theta} = \frac{\bar{M} - R\bar{z}}{S} \quad (2.69)$$

Jika persamaan ( ) diatas disubtitusikan akan diperoleh persamaan berikut :

$$\frac{\bar{F} - Q\bar{\theta}}{P} = \frac{\bar{M} - S\bar{\theta}}{R} \text{ dan } \frac{\bar{F} - P\bar{z}}{Q} = \frac{\bar{M} - R\bar{z}}{S} \quad (2.70)$$

$$\bar{z} = \frac{\bar{M}Q - \bar{F}S}{QR - PS} \quad (2.71)$$

$$\bar{\theta} = \frac{\bar{F}R - \bar{M}P}{QR - PS} \quad (2.72)$$

Dari persamaan (2.66), (2.67), (2.68) dan (2.69) tersebut diatas maka didapatkan solusi akhir untuk persamaan gerak kopel heaving dan pitching. Simpangan dan susut phase untuk  $\bar{z}$  dan  $\bar{\theta}$  dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$\bar{z} = z_a e^{i\delta} = z_a (\cos \delta + i \sin \delta) \quad (2.73)$$

$$\bar{\theta} = \theta_a e^{i\varepsilon} = \theta_a (\cos \varepsilon + i \sin \varepsilon) \quad (2.74)$$

## 2.6 Tahanan

Tahanan pada bangunan apung adalah sedemikian rupa sehingga melawan gerakan bangunan tersebut. Tahanan yang dimaksud disini adalah tahanan total (RT) yang merupakan penjumlahan berbagai komponen tahanan yang terjadi karena berbagai sebab. Menurut F.H. Todd dalam Murtedjo (1995) tentang tahanan yang bekerja pada bangunan apung dapat dibagi dalam 4 kelompok :

1. Tahanan gesek,  $R_f$ .
2. Tahanan bentuk,  $R_d$ .
3. Added resistance/Tahanan gelombang,  $R_w$ .
4. Tahanan udara,  $R_a$ .

Dalam penelitian ini tahanan udara sengaja tidak dimasukkan karena eksperimen dilakukan dalam ruangan tertutup sehingga pengaruh angin dapat diabaikan. Maka penentuan tahanan total pada penelitian ini yang akan diperhitungkan adalah tahanan gesek, tahanan bentuk dan tahanan gelombang akibat gerakan heaving.

### 2.6.1 Tahanan Gesek

Jenis tahanan ini timbul disebabkan oleh bergeraknya badan floating body yang mempunyai berbagai macam tingkat kekasaran dalam suatu fluida yang mempunyai viskositas. Kekasaran permukaan badan kapal (kampus las, keling dll) akan menambah besarnya tahanan gesek. Faktor-faktor penyebab bertambahnya tahanan gesek antara lain korosi, fouling. Besaran tahanan gesek pada dasarnya bergantung pada luas permukaan basah floating body, kekasaran permukaan dan Reynolds

number ( $R_n$ ). Angka Reynold untuk silinder dengan aksis normal terhadap arah aliran fluida dinyatakan dengan persamaan :

$$R_n = \frac{VL}{\nu} \quad (2.75)$$

Dimana :

- $R_n$  = Reynold number
- $V$  = kecepatan (m/s)
- $\nu$  = viskositas kinematik ( $m^2 / s$ )
- $L$  = panjang model (m)

Persamaan tahanan gesek (ATTC) :

$$R_f = 0.5 \cdot \rho \cdot C_f \cdot S \cdot V^2 \quad (2.76)$$

dimana :

- $\rho$  = massa jenis air ( $Kg/m^3$ )
- $C_f$  = koefisien gesek, sebagai fungsi dari  $R_n$
- $S$  = luas permukaan basah ( $m^2$ )
- $V$  = kecepatan (m/s)
- $R_n$  = Reynolds number =  $\frac{VL}{\nu}$
- $L$  = panjang model (m)
- $\nu$  = viskositas kinematis air ( $m^2/s$ )

Nilai  $C_f$  biasanya dihitung menggunakan persamaan empiris yang tergantung dari harga  $R_n$  (Reynold Number) didapat dari formula “friction coefficient” (Schoenherr), yaitu :

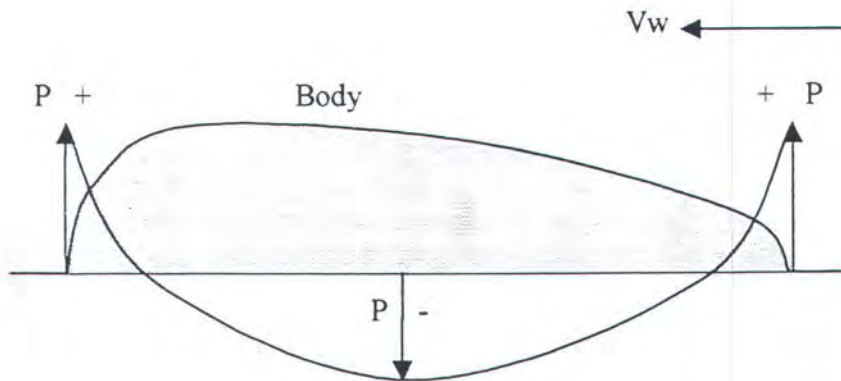
$$\frac{0.242}{\sqrt{C_f}} = \text{Log}_{10} \left( \frac{VL}{\nu} \cdot C_f \right) \quad (2.77)$$

Formula ini dipergunakan untuk struktur dengan permukaan halus (smoth). Bila suatu struktur beroperasi pada waktu lama, yang memungkinkan tumbuhnya marine growth, harga koefisien gesek akan bertambah sekitar dua sampai tiga kali lipat.

### 2.6.2 Tahanan Bentuk

Suatu floating body yang bergerak pada / dalam fluida yang mempunyai viskositas, maka pada floating body tersebut akan bekerja tahanan bentuk / tahanan tekanan. Oleh karena itu besar kecilnya tahanan tersebut terutama tergantung pada faktor “bentuk” floating body di bawah permukaan air.

Untuk memahami proses timbulnya tahanan ini dapat dipakai pendekatan teori “Potential flow/ Bernoulli”, tentang distribusi tekanan dan kecepatan sepanjang floating body yang bergerak dalam air. Diambil contoh suatu floating body berbentuk penampang aerofoil, maka distribusi tekanan yang bekerja pada penampang tersebut dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Penampang floating body berbentuk aerofoil

Menurut teori Potential flow / Bernoulli, pada penampang tersebut akan terjadi bahwa pada bagian depan tekananya tinggi dan kecepatannya rendah, kemudian pada bagian tengah kecepatan naik / tinggi, dan tekanan berkurang / rendah, dan pada akhirnya di bagian belakang tekanan akan naik tinggi / lagi dan kecepatan menjadi berkurang / rendah.

Akibat adanya viskositas, aliran fluida sepanjang penampang tersebut akan mempunyai bentuk aliran yang bermacam-macam. Turunnya kecepatan pada daerah belakang menjadi rendah dapat mencapai nol. Hal ini tergantung pada bentuk dan konstruksi penampang pada daerah belakang.

Pada kejadian dimana kecepatan aliran pada daerah belakang menjadi nol, maka pada bagian ini akan terjadi pengumpulan fluida yang telah kehilangan energi kinetiknya.

Persamaan tahanan bentuk adalah :

$$R_D = 0.5 \cdot \rho \cdot C_D \cdot S \cdot V^2 \quad (2.78)$$



dimana :

$\rho$  = massa jenis air ( $\text{Kg/m}^3$ )

$C_D$  = koefisien bentuk, yang diambil dari buku Miller 1986

$S$  = luas permukaan basah ( $\text{m}^2$ )

$V$  = kecepatan (m/s)

### 2.6.3 Added Resistance

Suatu floating body yang bergerak pada suatu perairan dengan gelombang reguler, maka pada kapal tersebut akan mengalami / menerima “ tahanan tambahan” yang disebabkan faktor-faktor berikut :

1. Akibat langsung dari gaya gelombang
2. Akibat timbulnya gerakan-gerakan floating body (heaving, pitching, rolling, dll).

Berdasarkan pemikiran tersebut diatas akan dapat diklasifikasikan formula-formula tahanan gelombang sebagai berikut :

1. Akibat langsung dari gaya gelombang

Timbulnya tahanan tambahan disini hanya mempertimbangkan pada kondisi gelombang saja. Dari “Formula Energi Balance” , besarnya tahanan gelombang adalah :

$$R_{w'} = \frac{(V_0 - U)E_0}{V_0} \quad (2.79)$$

dimana

- $V_0$  = kecepatan gelombang  
 $E_0$  = energi gelombang =  $\frac{1}{2} \rho g \zeta^2$   
 $U$  = kecepatan energi gelombang  
 =  $\frac{1}{2} V_0$  ; untuk deep water  
 =  $V_0$  ; untuk shalow water

Sedangkan “Eksperimental Formula” (formula dengan menggunakan grafik-grafik sebagai hasil eksperimen) untuk menentukan tahanan gelombang antara lain sebagai berikut :

a Formula MARUO :

$$R_w = K_w \rho g (2\zeta_a)^2 B^2 / L \quad (2.80)$$

dimana

$K_w$  = koefisien tahanan gelombang

## 2. Akibat Timbulnya Gerakan-Gerakan Floating Body

Dalam hal ini timbulnya tahanan tambahan disebabkan oleh adanya gerakan-gerakan kapal (heaving, pitching, rolling, dll) diatas gelombang reguler.

Berikut Theoretical Formula untuk menghitung tahanan gelombang antara lain dari :

a. HAVELOCK

$$R_w = \frac{k}{2} (F_a \cdot Z_a \cdot \sin \epsilon_H + M_a \cdot \theta_a \cdot \sin \epsilon_P) \quad (2.81)$$

dimana

$k$  = wave number

$F_a$  = amplitudo dari gaya eksitasi gerakan heaving

$M_a$  = amplitudo dari momen eksitasi gerakan pitching

$Z_a$  = amplitudo gerakan heaving

$\theta_a$  = amplitudo gerakan pitching

$\varepsilon_H$  = sudut fase antara gaya eksitasi dan gerakan heaving

$\varepsilon_P$  = sudut fase antara momen eksitasi dan gerakan pitching

b. JOOSEN

$$R_w = \frac{\omega_e^2}{2g} (b_H Z_a^2 + b_P \theta_a^2) \quad (2.82)$$

dimana

$\omega_e$  = frekwensi encountering

$b_H$  = koefisien damping heaving

$b_P$  = koefisien damping pitching



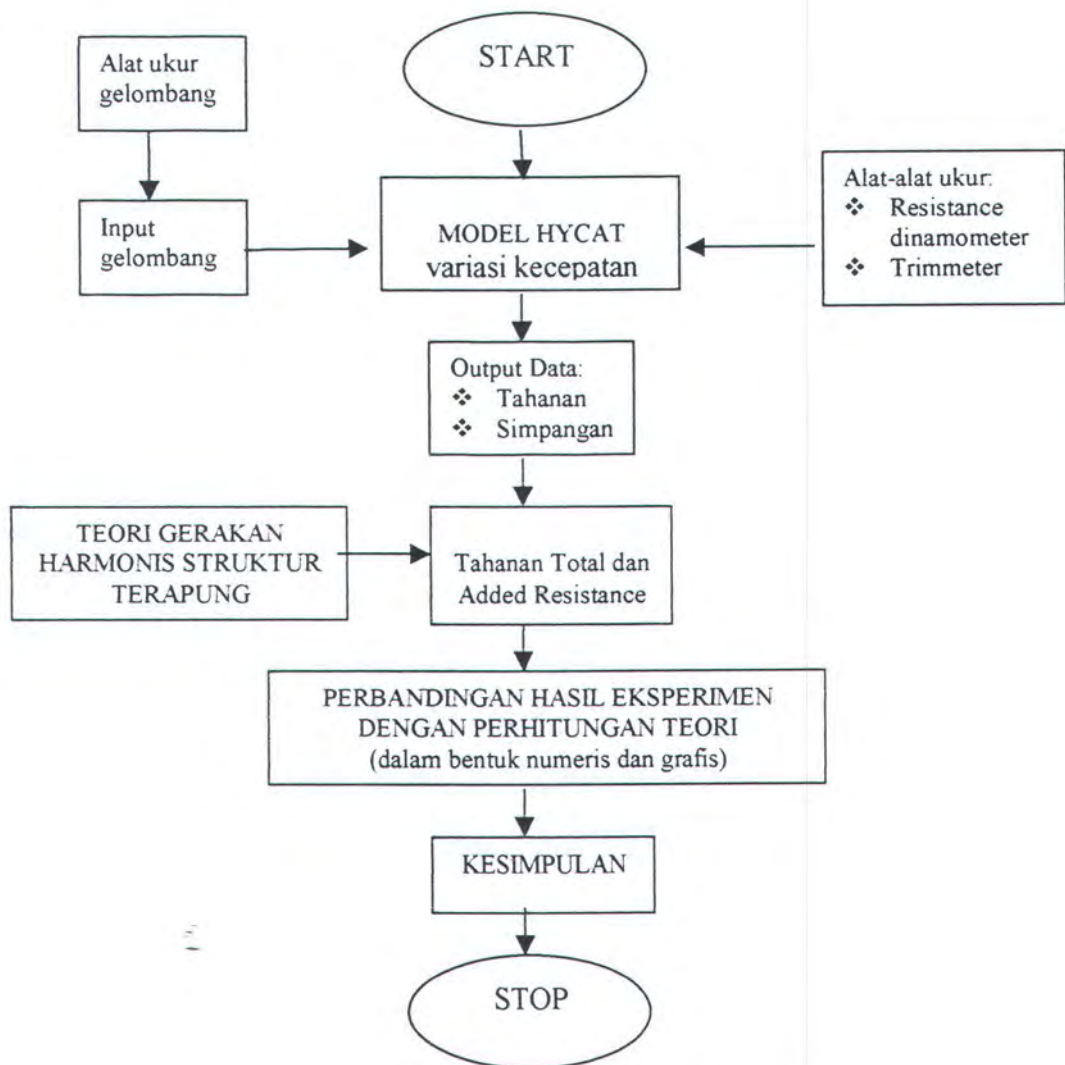
*BAB III*  
*METODOLOGI PENELITIAN*

# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir

Adapun urutan kegiatan atau diagram alir dari penelitian dan penulisan laporan tugas akhir ini, adalah :



Gambar 3.1 Diagram alir metodologi TA

### 3.2 Metodologi

Tahapan pelaksanaan tugas akhir ini akan dibagi dalam :

1. Melakukan studi literatur tentang tahanan dan perumusannya; teori dan gaya gelombang; dan gerakan struktur terapung.
2. Melakukan eksperimen di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia / BPPT, dengan urutan sebagai berikut:
  - Penempatan model bangunan apung tipe HYCAT yang terbuat dari bahan dasar kayu , dan kemudian model tersebut ditarik dengan kecepatan tertentu. Tes dilakukan pada kondisi air tenang dan gelombang dari arah haluan (head seas).
  - Gelombang sinusoidal dibangkitkan sejajar dengan sumbu X, eksperimen dilakukan tiga variasi kecepatan (4.432 m/s, 4.771 m/s dan 5.114 m/s) dan empat variasi periode gelombang (0.8 dt, 1 dt, 1.2 dt dan 1.4 dt).
  - Pengukuran beban total yang mengenai model menggunakan *resistance dynamometer*. Alat ukur tersebut dipasang sedemikian rupa pada model untuk mendapatkan data yang valid.
  - Dari *resistance dynamometer* dapat diperoleh besar tahanan total yang terjadi pada model.
  - *Added resistance* diperoleh dari hasil pengurangan antara tahanan total hasil eksperimen menggunakan gelombang dengan tahanan total hasil eksperimen pada kondisi air tenang (tanpa gelombang).

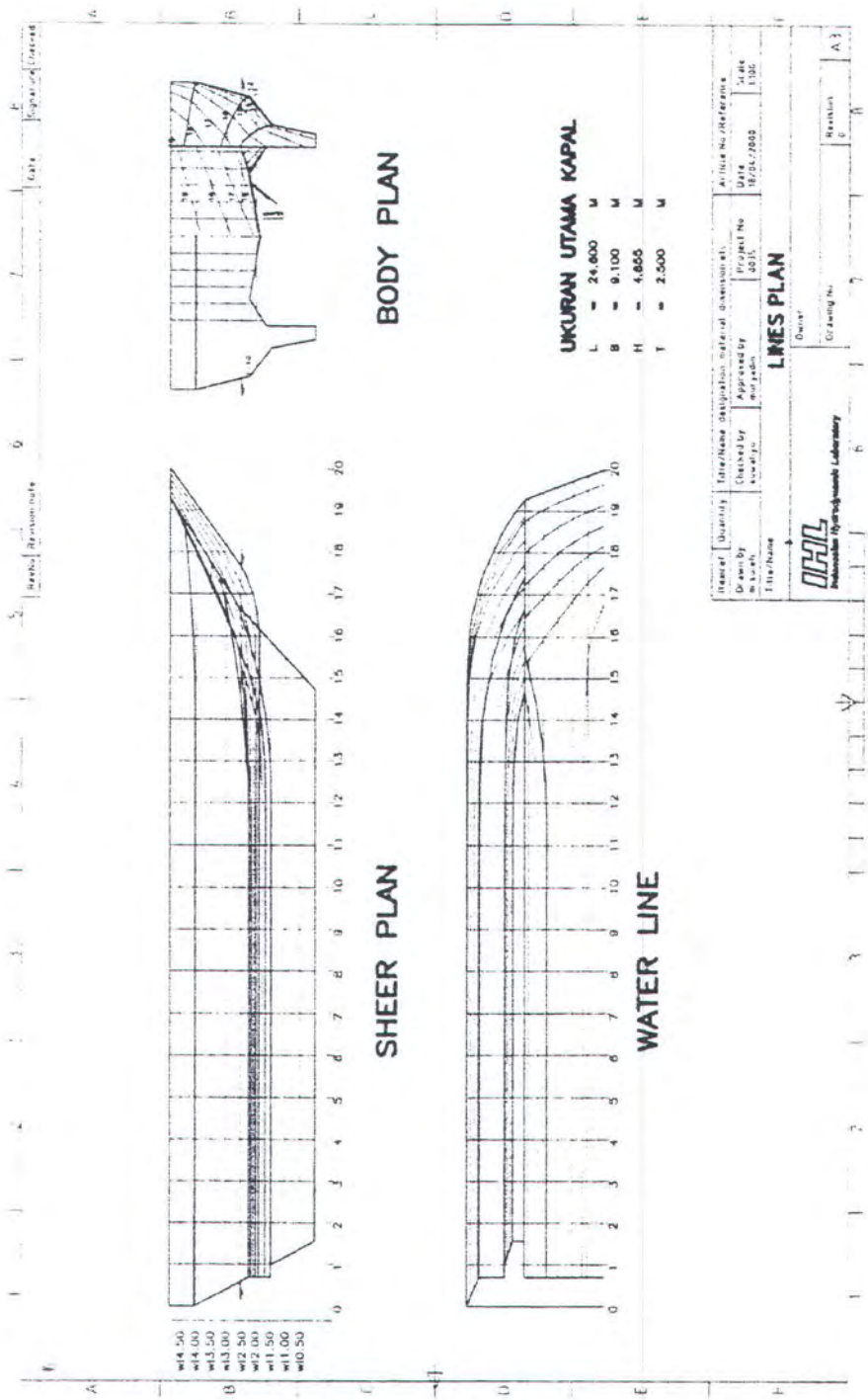
3. Kemudian hasil eksperimen dibandingkan dengan hasil perhitungan secara numeris menggunakan persamaan tahanan untuk gerakan harmonis struktur terapung.
4. Dan kedua hasil disajikan dalam bentuk numeris maupun grafis, sehingga mempermudah analisis.

### 3.3 Persiapan Model HYCAT

Pada penelitian ini, percobaan dilakukan dengan menggunakan model HYCAT yang sudah ada di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia/ BPPT. Model HYCAT dan dimensinya dengan skala 1:9 adalah sebagai berikut :

- Lpp	: 2.733 m
- B	: 0.933 m
- T	: 0.278 m
- Displ	: 159.117 kg
- WSA	: 3.619 m <sup>2</sup>
- Vol. Displ	: 0.159 m <sup>3</sup>

Model kapal dibuat berdasarkan rencana garis dari suatu rencana kapal. Rencana garis model diharapkan sama dengan rencana garis kapal sesungguhnya, sampai pada ujung garis air. Garis kapal digambar berdasarkan dimensi *moulded* (ukuran luar), dan pada model perlu dicatat bahwa dimensi luar model diaplikasikan secara langsung pada kapal secara berlapis, kecil dan tidak signifikan, serta memungkinkan terjadi penyimpangan.



Gambar 3.2 Rencana garis HYCAT



Untuk mendapatkan sarat yang diinginkan model diletakkan di kolam dalam keadaan kedap dan digunakan pemberat berupa logam dengan berat tertentu. Sebelum model dipasang pada pemegang bearing, maka kondisi sarat harus dicapai terlebih dahulu, yaitu garis air diusahakan tepat pada sarat tersebut dan model tidak mengalami trim.

### **3.4 Pengujian Tahanan**

Pengujian tahanan dilakukan untuk mendapatkan data mengenai tahanan model pada berbagai kecepatan yang diinginkan, melalui pengukuran besarnya tahanan dan kecepatan model di air secara simultan.

#### **3.4.1 Pengukuran Tahanan**

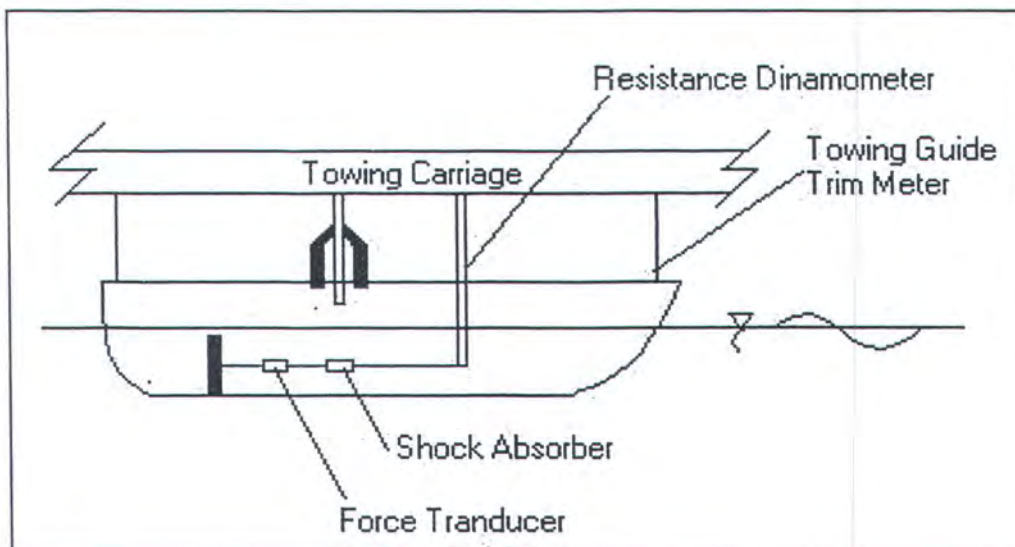
Tahanan merupakan komponen gaya horisontal yang melawan arah gerak maju dalam kondisi stabil. Tahanan ini dapat ditentukan dengan mengukur gaya tarik yang mengimbangkannya. Gaya ini bekerja pada titik pusat tahanan, akan tetapi titik ini umumnya tidak diketahui dan sulit untuk ditentukan. Dalam pengujian, gaya tarik ini dilakukan secara longitudinal dan horisontal melalui pusat gaya apung dari bagian model yang tenggelam.

#### **3.4.2 Pemasangan Model**

Model ditarik dengan menggunakan dinamometer yang dipasang pada towing carriage yang digerakkan pada kecepatan nominal model yang telah ditentukan. Model dirangkaikan pada alat ukur dinamometer melalui suatu saluran yang hanya

dapat mengirimkan besaran gaya tarik horisontal. Titik tarik sebaiknya berada pada bidang horisontal yang sama dengan titik pusat gaya apung dari model tersebut.

Guide dipasang untuk mencegah model dari gerak yawing dan swaying, guide ini tidak menahan model dari arah gerak yang lain, dan juga tidak membebani model dari gaya atau momen yang dapat menyebabkan model terguling atau list. Susunan dari guide-guide yang terdiri dari kontak sliding dan rolling sebaiknya diatur sedemikian rupa agar gaya gesekan yang terjadi sekecil mungkin.



Gambar 3.3 Setting model

### 3.4.3 Kecepatan model

Perlu diperhatikan bahwa kecepatan model di air harus konstan selama pengujian tahanan berlangsung, dan berada pada jarak yang signifikan sebelum pengukuran dimulai. Kestabilan kereta tarik merupakan elemen yang penting untuk

mencapai kecepatan model yang stabil, tapi tidak menjadi syarat yang cukup perlu karena laju perubahan dari percepatan awal dan momen serta cara pelepasan model dapat saling berinteraksi dengan sistem model-dinamometer yang dapat menyebabkan osilasi.

#### 3.4.4 Ketepatan pengukuran

Resistance dynamometer digunakan untuk mengukur gaya tarik dengan ketelitian sebesar  $\pm 0.01$  lb (5gm). Hal ini berarti bahwa tahanan itu sendiri tidak perlu diukur dalam batas toleransi yang sama dengan nilai sebenarnya. Kecepatan kereta relatif terhadap air sebaiknya diukur dengan ketelitian sebesar  $\pm 0.01$  ft/sec (3mm/sec).

### 3.5 Fasilitas dan Perangkat Peralatan Eksperimen

#### 3.5.1 Kolam Uji

Pengujian model dilaksanakan di Towing Tank yang mempunyai luas bangunan sebesar  $7520 \text{ m}^2$  yang mempunyai kolam uji, yaitu kolam tempat eksperimen yang digunakan untuk mensimulasikan keadaan perairan tertentu. Kolam uji pada Laboratorium Hidrodinamika Indonesia memiliki ukuran utama sebagai berikut :

- Panjang : 234,5 m
- Lebar : 11 m
- Kedalaman :  $\pm 5,5$  m
- Panjang *Harbour* : 14,5 m

### 3.5.2 Towing Carriage

Towing Carriage adalah suatu kereta tarik yang dipasang pada Towing Tank yang digunakan untuk menarik model yang akan dicoba dan dirancang untuk menarik model dengan ukuran berkisar antara 4 sampai 9 meter.

### 3.5.3 Wave Generator

Wave generator ini dipasang pada sisi timur dari Towing Tank dan merupakan dual flap system, yaitu upperflap dan main flap yang digerakkan secara hydraulic. Gerakan dari wave dikontrol dengan komputer yang dapat mengatur gerakan sesuai dengan yang dikehendaki.

### 3.5.4 Wave Absorber

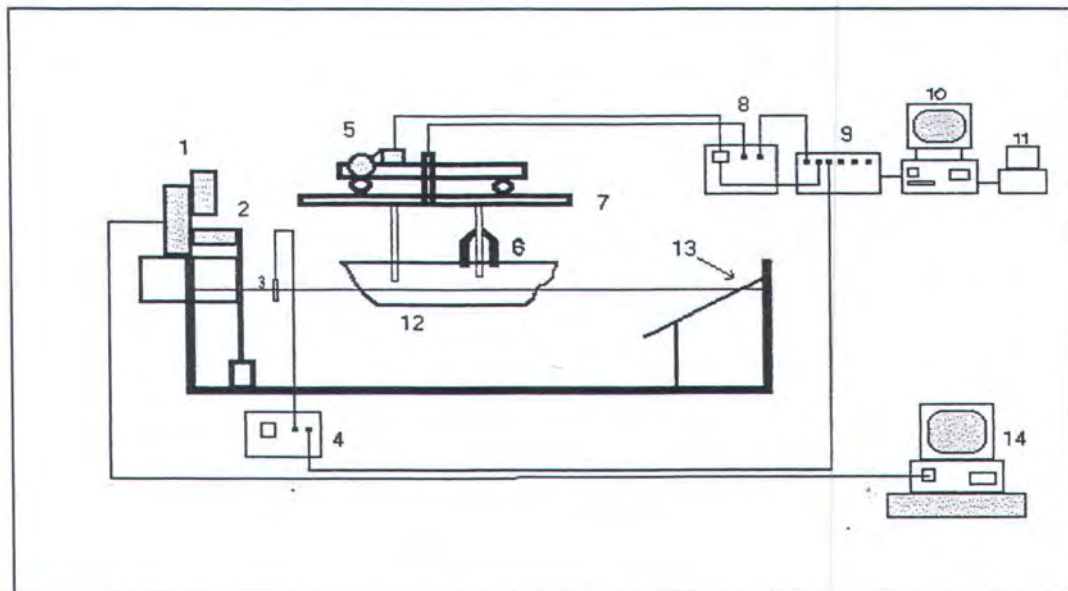
Satu set wave absorber yang terdiri dari tiga bagian dipasang pada bagian ujung dari harbour. Bagian tengah dari wave absorber ini dapat digerakkan naik atau turun dan maju atau mundur untuk memungkinkan lewatnya model serta digunakannya bagian harbour untuk lintasa percobaan

### 3.5.5 Overhead Crane

Overhead crane pada Towing Tank, dipasang pada kedua ujungnya, yaitu ujung sebelah timur dan barat dengan kapasitas masing-masing 3 dan 7,5 ton. Crane pada sisi timur digunakan antara lain untuk melakukan perbaikan pada wave generator Towing Tank, sedangkan crane pada sisi barat digunakan untuk mengangkat model dari *preparation shop* ke Towing Tank dan sebaliknya.

### 3.5.6 Data Acquisition & Analysis System (D.A.A.S.) Towing Tank

Untuk pengumpulan dan analisa data pada percobaan model di Towing tank digunakan komputer VAX 3400 dengan 16 measurement channels dan maksimum sample frequency 100 z.H. Rangkaian dan hubungan input dan output peralatan pendukung dapat dilihat pada gambar 3.4



Gambar 3.4 Pemasangan peralatan percobaan di laboratorium

Keterangan:

- |                           |                                |
|---------------------------|--------------------------------|
| 1. Wave maker             | 8. Strain gauge amplifier      |
| 2. Flap                   | 9. Analog digital system       |
| 3. Wave probe             | 10. Komputer                   |
| 4. Seasim amplifier       | 11. Printer                    |
| 5. Rotary encoder         | 12. Model                      |
| 6. Resistance dynamometer | 13. Peredam gelombang          |
| 7. Kereta tarik           | 14. Unit pengontrol wave maker |

### 3.6 Penentuan Parameter Gelombang.

Karena dalam penelitian ini menggunakan beban gelombang, sudah barang tentu sebelumnya harus ditentukan dulu karakteristik gelombang yang akan dipakai. Penentuan parameter gelombang ini dengan asumsi bahwa model akan digunakan di laut dalam, beban yang digunakan dominan beban inersia, untuk laut dalam dan menggunakan teori gelombang linier. Untuk teori gelombang linier pada laut dalam syarat dan karakteristik gelombangnya sebagai berikut :

$$kd > \pi, \quad d / \lambda > 0.5, \quad d/(gT^2) > 0.08$$

$$\text{panjang gel. } \lambda = gT^2/2\pi$$

Sedangkan pemilihan teori gelombang yang sesuai dapat dilihat pada grafik *region of validity* Chakrabarti S.K. (1987) yang merupakan fungsi dari  $H/T^2$  (ft/sec<sup>2</sup>) dan  $d/T^2$  (ft/sec<sup>2</sup>).

Untuk dimensi struktur yang paling diperhatikan adalah dimensi hull, kedalaman kolam dan rencana tinggi gelombang .

### 3.7 Proses Percobaan

Model HYCAT diletakkan dan diatur sesuai sarat yang diinginkan. Kedudukan model harus even keel, sedangkan gelombang yang dipakai dalam arah headseas.

Setelah kalibrasi dilakukan maka model HYCAT siap diuji dan gelombang siap dibangkitkan. Dalam pengujian ini, untuk membangkitkan gelombang yang sesuai dengan karakteristik yang diinginkan, digunakan komputer yang dihubungkan

dengan perangkat Analog System yang akan menggerakkan wave maker. Adapun urutan pengerjaan pengujian ini adalah sebagai berikut.

- Selama proses pengujian, masing-masing tahap dilakukan perekaman data dengan jumlah dan rentang waktu yang sama, yang akan dibaca oleh *resistance dynamometer* dan probe gelombang.
- Jumlah data yang direkam untuk tiap langkah pengujian berjumlah 100 buah dengan rentang waktu pencatatan selama 20 detik.
- Tiap- tiap pengujian nama yang digunakan dicatat.

### 3.8 Analisa Data Hasil Percobaan

Setelah percobaan selesai dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisa terhadap data yang diperoleh selama percobaan. Data-data tersebut dalam hal ini adalah hasil pembacaan *resistance dynamometer*, dan output dari sistim komputar (DAAS) telah dikalibrasi secara otomatis. Sehingga dapat langsung diperoleh nilai tahanan, kecepatan, tinggi gelombang dan simpangan model.

Untuk mengetahui besarnya tahanan total yang terjadi dapat diketahui dengan *resistance dynamometer* yang mencatat hasil percobaan. Hasil percobaan kemudian dibandingkan perhitungan dengan teori perhitungan tahanan total setelah itu dianalisa. Sebagai langkah terakhir adalah membuat kesimpulan dari hasil percobaan yang telah dilakukan.

### 3.9 Sistematika Penulisan

Dalam penyelesaian penyusunan tugas akhir ini, telah disusun sistematika sebagai berikut:

#### BAB I Pendahuluan

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

#### BAB II Landasan Teori

Diuraikan mengenai tinjauan pustaka yang dipakai dalam penelitian, hukum kesamaan dan pemilihan teori gelombang yang sesuai, gerakan struktur terapan, formulasi tahanan secara teoritis.

#### BAB III Metodologi Penelitian

Berisi penjelasan dan uraian tentang persiapan model HYCAT, persiapan peralatan dan fasilitas percobaan dan proses percobaan.

#### BAB IV Hasil dan Pembahasan

Diuraikan mengenai perhitungan teoritis dan hasil percobaan dimana kedua hasil tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik-grafik. Selain itu disajikan pula beberapa perbandingan hasil pengujian dengan hasil pengujian sejenis yang telah dipublikasikan atau hasil perhitungan teoritis.

#### BAB V Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan hasil percobaan, hasil perbandingan serta saran untuk penyempurnaan hasil penelitian.





*BAB IV*  
*HASIL DAN PEMBAHASAN*

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

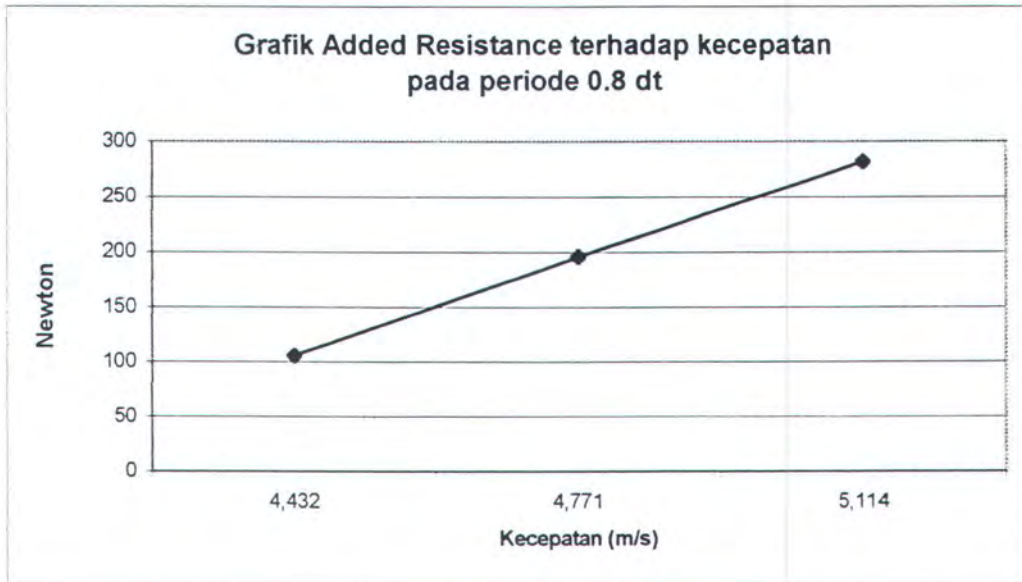
#### 4.1 Hasil Perhitungan Secara Teoritis

Perhitungan *added resistance* ini merupakan perumusan masalah dari dasar teori yang sudah dijelaskan pada Bab II. Perhitungan tahanan menggunakan formula tahanan gesek, tahanan bentuk, dan *added resistance* berdasarkan formula Joosen. Penggunaan formula Joosen memerlukan nilai koefisien redaman dan simpangan gerakan.

Untuk perhitungan koefisien redaman dan simpangan gerakan menggunakan teori strip untuk gerakan kopel heaving dan pitching. Proses perhitungan *Added Resistance* menggunakan koefisien redaman dan simpangan gerak dengan metode teori strip dapat dilihat pada Lampiran. Resume hasil perhitungan *added resistance* dapat dilihat pada table 4.1. Sedangkan grafik hasil perhitungan *added resistance* secara teori dapat dilihat pada gambar 4.1 s/d 4.4

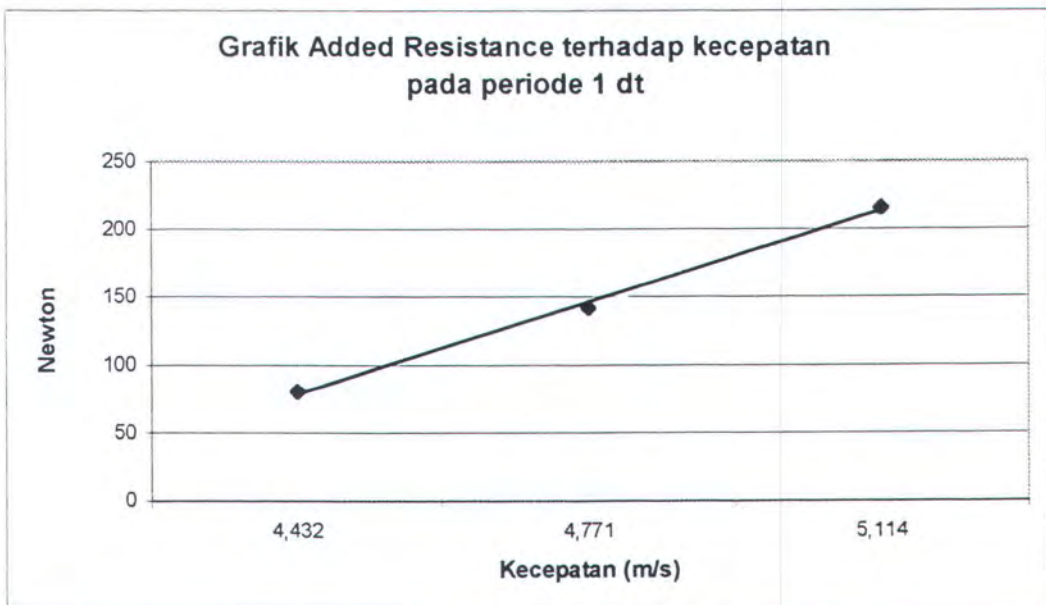
Tabel 4.1 Resume added resistance hasil perhitungan teori

No	Kecepatan m/s	AddedResistance				
		T=0,8det	T=1det	T=1.2det	T=1.4det	
1	4,432	106,02	81,03	69,33	58,10	Newton
2	4,771	196,23	142,16	132,11	123,11	Newton
4	5,114	282,54	216,12	200,93	193,37	Newton



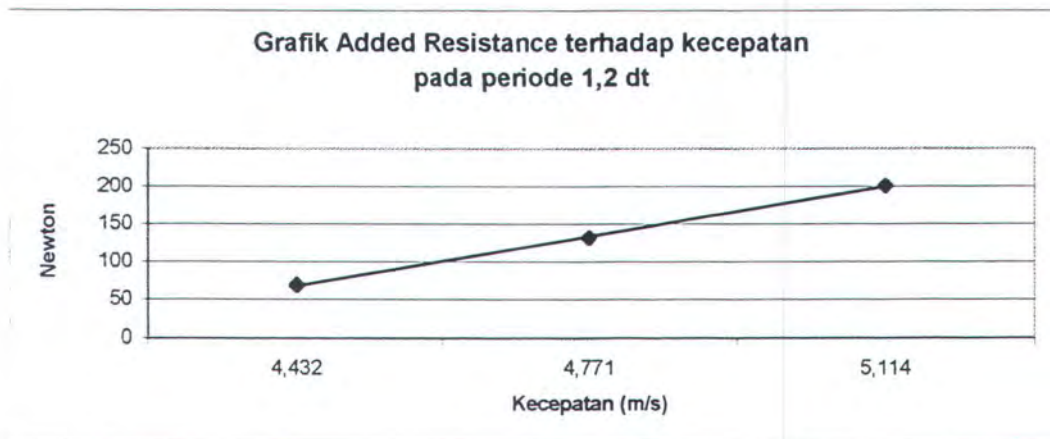
Gambar 4.1 Grafik added resistance secara teori pada periode 0.8 detik

Untuk periode 0.8 detik menunjukkan adanya trend garis *added resistance* yang cenderung meningkat seiring dengan naiknya kecepatan. Hasil perhitungan *added resistance* berkisar antara 106.02 ~ 282.54 N.



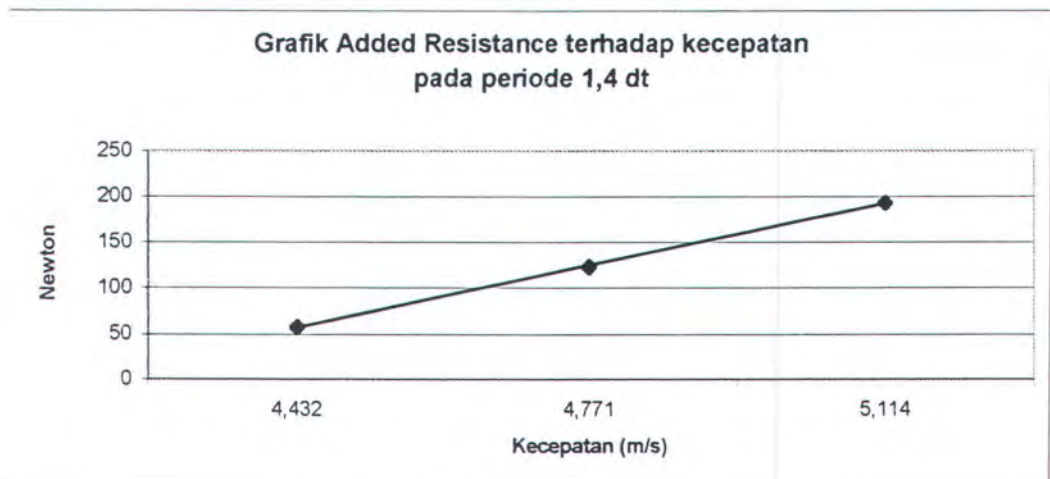
Gambar 4.2 Grafik added resistance secara teori pada periode 1 detik

Untuk periode 1 detik menunjukkan adanya trend garis *added resistance* yang cenderung meningkat seiring dengan naiknya kecepatan. Hasil perhitungan *added resistance* berkisar antara 81.03 ~ 216.12 N.



Gambar 4.3 Grafik added resistance secara teori pada periode 1.2 detik

Untuk periode 1.2 detik menunjukkan adanya trend garis *added resistance* yang cenderung meningkat seiring dengan naiknya kecepatan. Hasil perhitungan *added resistance* berkisar antara 69.33 ~ 200.93 N.



Gambar 4.4 Grafik added resistance secara teori pada periode 1.4 detik

Untuk periode 1.4 detik menunjukkan adanya trend garis *added resistance* yang cenderung meningkat seiring dengan naiknya kecepatan. Hasil perhitungan *added resistance* berkisar antara 58.10 ~ 193.37 N.

Secara umum dari hasil di atas menunjukkan adanya kesamaan trend garis *added resistance* hasil perhitungan secara teori pada periode 0.8 ~ 1.4 detik Trend garis *added resistance* cenderung meningkat seiring dengan naiknya kecepatan. Hal tersebut menunjukkan bahwa besaran *added resistance* sangat tergantung pada kecepatan, dan juga periode.

## **4.2 Hasil Percobaan.**

### **4.2.1 Pengolahan Data Hasil Percobaan**

Keluaran yang diperoleh dari percobaan pada setiap kondisi variasi kecepatan dan periode merupakan hasil pembacaan dari resistance dinamometer , trimmeter dan seasim. Dari hasil keluaran sistim komputer (DAAS) pada Laboratorium Hidrodinamika/ BPPT dapat langsung diketahui nilai tahanan, simpangan dan tinggi gelombang yang terjadi pada saat pengujian. Proses pengolahan data percobaan dalam menentukan besarnya *added resistance* secara lengkap dapat dilihat pada lampiran.

### **4.2.2 Penentuan Besarnya Added Resistance Hasil Percobaan.**

Pertama model HYCAT ditarik pada kondisi air tenang untuk mendapatkan tahanan totalnya pada beberapa variasi kecepatan. Kemudian model HYCAT ditarik pada kondisi air bergelombang dengan beberapa variasi periode. *Added Resistance*

didapatkan dengan mengurangi tahanan yang terjadi pada air bergelombang dengan tahanan yang terjadi pada air tenang. Dari hasil rata-rata untuk resistance dinamometer menunjukkan tahanan yang terjadi pada HYCAT. Proses pengolahan data dan perhitungan added resistance dapat dilihat pada lampiran. Sedangkan garis besar hasil Added Resistance dapat dilihat tabel 4.2 s/d 4.4.

Tabel 4.2 Resume Tahanan Total Percobaan dengan gelombang

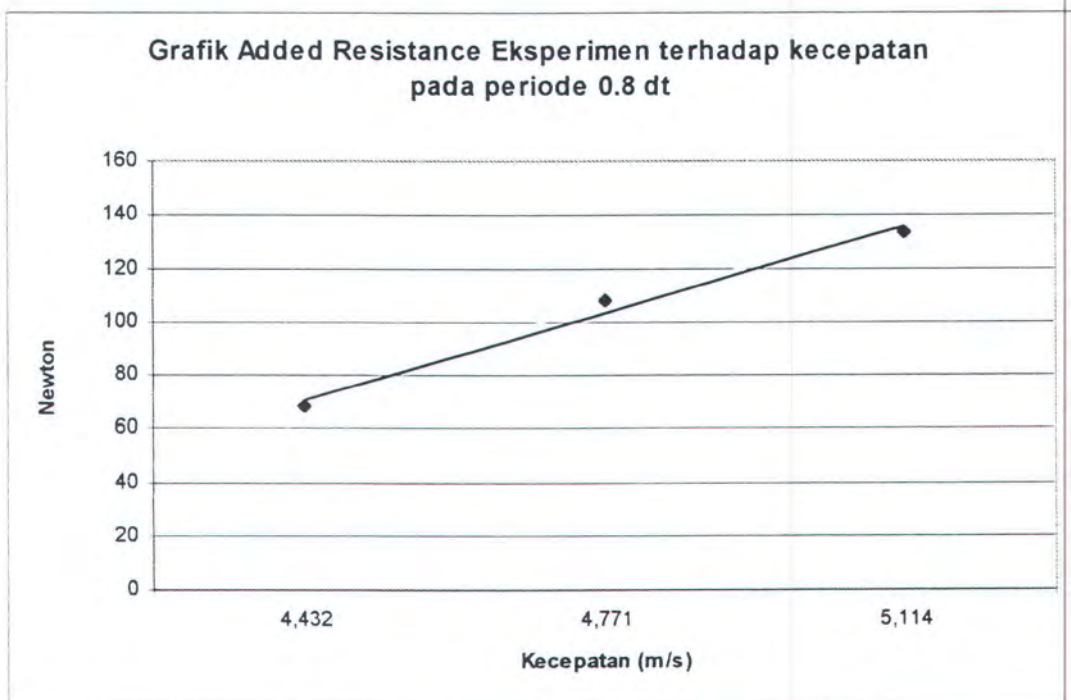
No	Kecepatan m/s	Total Resistance			
		T=0,8det	T=1det	T=1.2det	T=1.4det
1	4,432	358,99	352,15	345,30	338,46 Newton
2	4,771	404,90	397,68	390,47	383,25 Newton
4	5,114	438,80	432,77	425,68	421,10 Newton

Tabel 4.3 Resume Total Drag Percobaan pada kondisi air tenang

No	Kecepatan m/s	Total Drag
1	4,432	290,57 Newton
2	4,771	296,65 Newton
4	5,114	305,09 Newton

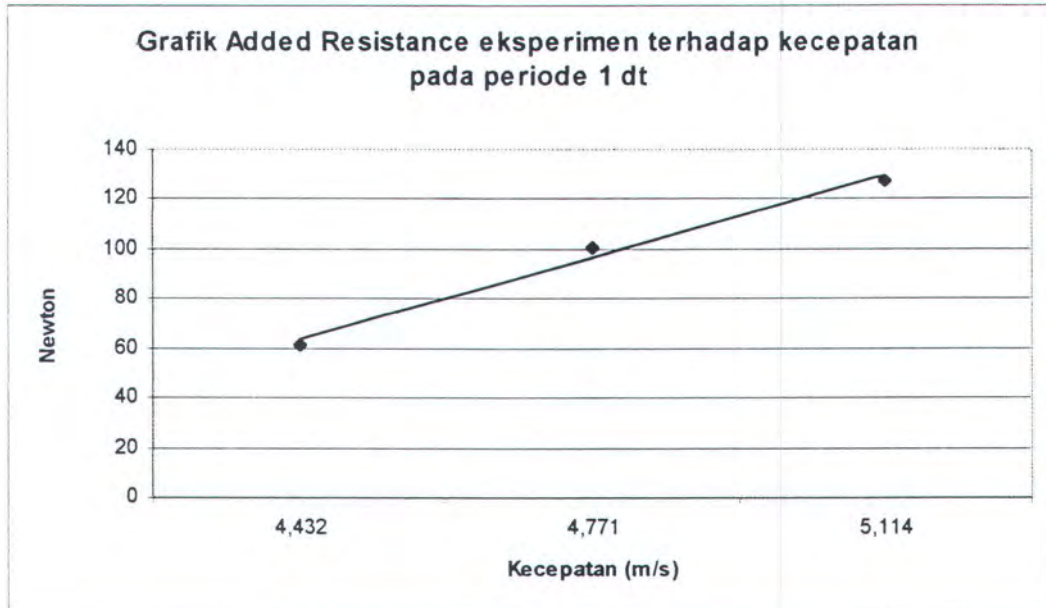
Tabel 4.4 Resume Added Resistance Percobaan

No	Kecepatan m/s	AddedResistance				
		T=0,8det	T=1det	T=1.2det	T=1.4det	
1	4,432	68,42	61,57	54,73	47,89	Newton
2	4,771	108,24	101,03	93,81	86,60	Newton
4	5,114	133,71	127,68	120,59	116,01	Newton



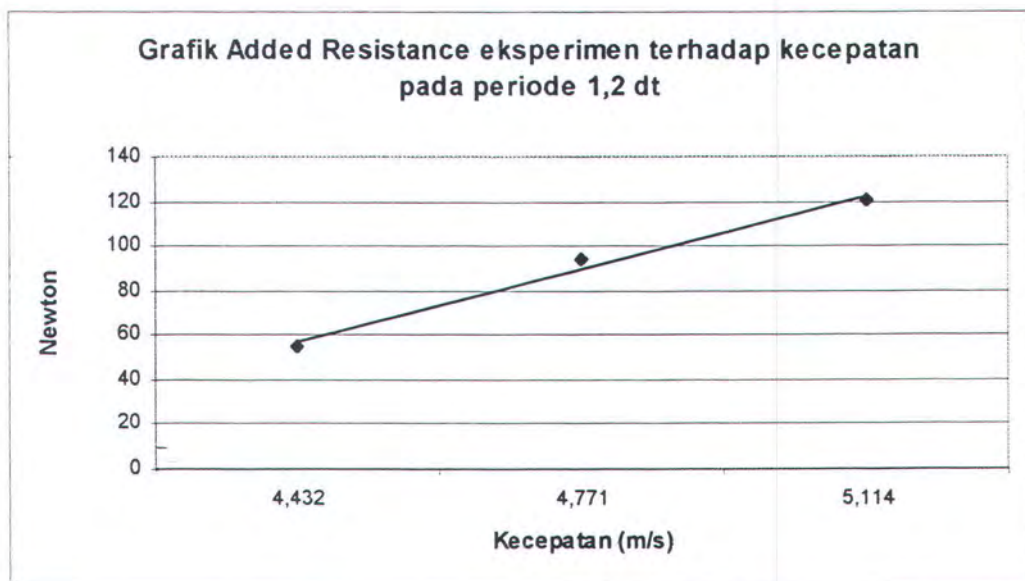
Gambar 4.5. Grafik Added Resistance Eksperimen pada periode 0,8 dt

Untuk periode 0.8 detik menunjukkan adanya trend garis *added resistance* yang cenderung meningkat seiring dengan naiknya kecepatan. Hasil perhitungan *added resistance* berkisar antara 68.42 ~ 133.71 N



Gambar 4.6. Grafik Added Resistance Eksperimen pada periode 1 dt

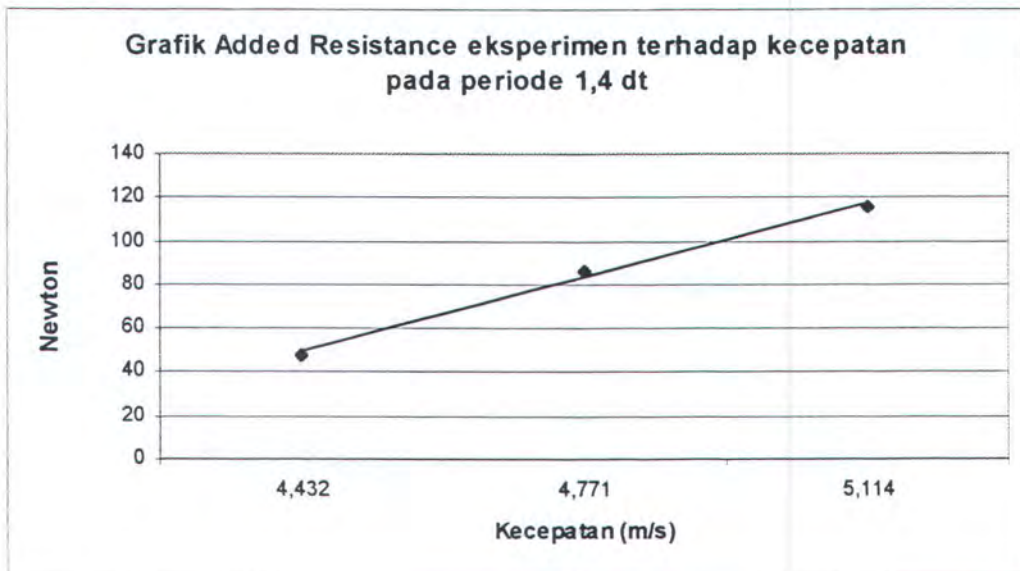
Untuk periode 1 detik menunjukkan adanya trend garis *added resistance* yang cenderung meningkat seiring dengan naiknya kecepatan. Hasil perhitungan *added resistance* berkisar antara 61.57 ~ 127.68 N



Gambar 4.7. Grafik Added Resistance Eksperimen pada periode 1.2 dt



Untuk periode 1.2 detik menunjukkan adanya trend garis *added resistance* yang cenderung meningkat seiring dengan naiknya kecepatan. Hasil perhitungan *added resistance* berkisar antara 54.73 ~ 120.59 N



Gambar 4.8. Grafik Added Resistance Eksperimen pada periode 1.4 dt

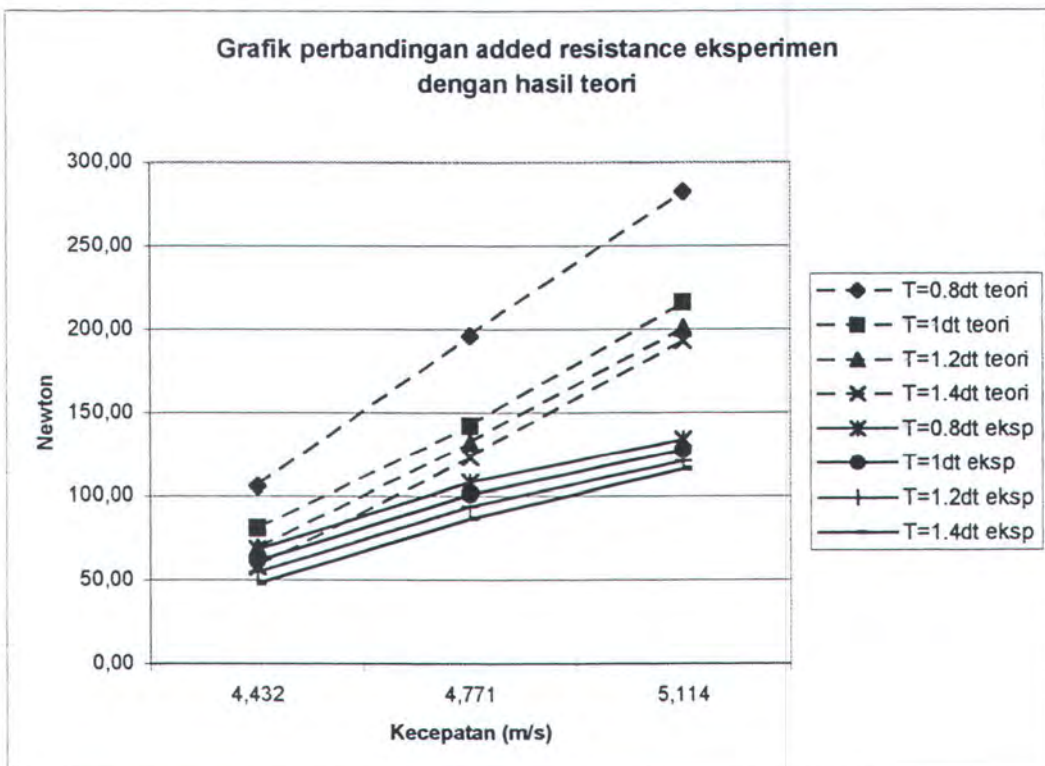
Untuk periode 1.4 detik menunjukkan adanya trend garis *added resistance* yang cenderung meningkat seiring dengan naiknya kecepatan. Hasil perhitungan *added resistance* berkisar antara 47.89 ~ 116.01 N.

Secara umum dari hasil di atas menunjukkan adanya kesamaan trend garis *added resistance* hasil eksperimen pada periode 0.8 ~ 1.4 detik Trend garis *added resistance* cenderung meningkat seiring dengan naiknya kecepatan. Hal tersebut menunjukkan bahwa besaran *added resistance* sangat tergantung pada kecepatan, dan juga periode.

### 4.3 Pembahasan

#### 4.3.1. Perbandingan Hasil Percobaan Added Resistance dengan Teori

Perhitungan Added Resistance hasil percobaan dan hasil dari perhitungan secara teori dengan menggunakan teori strip kemudian digambarkan dalam satu grafik untuk dilakukan analisa serta perbedaannya dalam prosentase.



Gambar 4.9. Grafik perbandingan Added Resistance Eksperimen dengan hasil teori

Gambar 4.9 menunjukkan hasil percobaan dan perhitungan Added Resistance secara teori. Hasil perhitungan added resistance secara teori menunjukkan harga added resistance pada periode 0.8 detik berkisar antara 106.02 ~ 282.54 N, untuk periode 1 detik berada dalam rentang 81.03 ~ 216.12 N, untuk periode 1.2 detik

berkisar antara 69.33 ~ 200.93 N dan periode 1.4 detik berkisar antara 58.1 ~ 193.37 N. Harga added resistance eksperimen untuk periode 0,8 detik berada dalam rentang 68.42 ~ 133.71 N, untuk periode 1 detik dalam rentang 61.57 ~ 127.63 N, untuk periode 1.2 detik berkisar antara 54.73 ~ 120.59 N dan periode 1.4 detik berkisar antara 47.89 ~ 116.01 N.

Beda prosentase added resistance antara hasil teoritis dan eksperimental, untuk periode 0.8 detik berfluktuasi antara 35.47 % ~ 52.68 % : periode 1 detik berfluktuasi antara 24.01% ~ 40.92%, untuk periode 1.2 detik berfluktuasi sebesar 21.05% ~ 39.98% dan untuk periode 1.4 detik berfluktuasi antara 17.57% ~ 40.01%. Tetapi semua trend data menunjukkan kecenderungan yang sama dengan hasil teoritis yaitu terjadi kenaikan Added Resistance seiring dengan naiknya kecepatan .

#### **4.3.2 Pengaruh kecepatan dan periode terhadap besarnya *added resistance* model HYCAT**

Gambar 4.9 menunjukkan perbandingan added resistance hasil eksperimen dengan hasil perhitungan teori. Untuk hasil eksperimen terlihat dengan bertambahnya kecepatan model, harga added resistance mengalami kecenderungan naik. Harga added resistance hasil eksperimen untuk periode 0,8 detik berada dalam rentang 68.42 ~ 133.71 N, untuk periode 1 detik dalam rentang 61.57 ~ 127.63 N, untuk periode 1.2 detik berkisar antara 54.73 ~ 120.59 N dan periode 1.4 detik berkisar antara 47.89 ~ 116.01 N. Hasil perhitungan added resistance secara teori menunjukkan harga added resistance pada periode 0.8 detik berkisar antara 106.02 ~ 282.54 N, untuk periode 1 detik berada dalam rentang 81.03 ~ 216.12 N, untuk

periode 1.2 detik berkisar antara 69.33 ~ 200.93 N dan periode 1.4 detik berkisar antara 58.1 ~ 193.37

Untuk gambar 4.1 sampai gambar 4.9 terlihat bahwa dengan bertambahnya kecepatan akan menunjukkan kenaikan added resistance baik itu hasil percobaan maupun hasil perhitungan secara teoritis.

Dari data tabel 4.4 untuk hasil percobaan terlihat bahwa added resistance menunjukkan kecenderungan turun seiring dengan naiknya periode. Untuk kecepatan 4.432 m/s added resistance berkisar 47.89 ~ 68.42 N, untuk kecepatan 4.771 memiliki rentang harga 86.60 ~ 108.24 N, untuk kecepatan 5.114 m/s berkisar antara 116.01 ~ 133.71 N.

#### **4.3.3 Analisa Hasil Percobaan**

Dari hasil percobaan menunjukkan hasil adanya kenaikan Added Resistance seiring dengan naiknya kecepatan. Hal ini dikarenakan gelombang dalam arah Head seas yaitu berlawanan dengan arah gerak model HYCAT sehingga untuk kecepatan yang lebih tinggi maka gaya yang diperlukan juga akan semakin besar.

#### **4.3.4 Faktor – Faktor Penyebab Perbedaan Harga Added Resistance Hasil Eksperimen dengan Teori**

Timbulnya perbedaan antara hasil eksperimen dengan perhitungan secara teoritis itu bias dikarenakan bermacam-macam sebab, salah satunya adalah efek tiga dimensi (3-D), terutama pada ujung-ujung model yang tidak diperhitungkan secara akurat dengan teori dua dimensi (2-D), selain itu grafik-grafik yang digunakan dalam

perhitungan secara teoritis adalah juga merupakan suatu hasil studi dengan kondisi percobaan yang berbeda maka akan timbul perbedaan dalam penentuan harga added resistance. Keterbatasan dari instrumen-instrumen yang digunakan juga mempengaruhi timbulnya perbedaan tersebut.



*BAB V*  
*KESIMPULAN DAN SARAN*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari Studi eksperimen Added Resistance model HYCAT, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan added resistance secara teori menunjukkan harga added resistance pada periode 0.8 detik berkisar antara 106.02 ~ 282.54 N, untuk periode 1 detik berada dalam rentang 81.03 ~ 216.12 N, untuk periode 1.2 detik berkisar antara 69.33 ~ 200.93 N dan periode 1.4 detik berkisar antara 58.1 ~ 193.37 N
2. Harga added resistance hasil eksperimen untuk periode 0,8 detik berada dalam rentang 68.42 ~ 133.71 N, untuk periode 1 detik dalam rentang 61.57 ~ 127.63 N, untuk periode 1.2 detik berkisar antara 54.73 ~ 120.59 N dan periode 1.4 detik berkisar antara 47.89 ~ 116.01 N.
3. Hasil eksperimental menunjukkan bahwa Added Resistance pada periode yang sama bertambah besar seiring dengan naiknya kecepatan. Hasil ekperimental juga menunjukkan Added Resistance berkurang nilainya seiring dengan naiknya periode
4. Faktor-faktor yang menyebabkan perbedaan harga Added Resistance hasil percobaan dan teori karena dalam perhitungan teoritis diasumsikan aliran dua dimensi (2-D) sedangkan dalam eksperimen aliran yang terjadi adalah aliran tiga dimensi (3-D).

5. Beda prosentase added resistance antara hasil teoritis dan eksperimental, untuk periode 0.8 detik berfluktuasi antara 35.47 % ~ 52.68 % : periode 1 detik berfluktuasi antara 24.01% ~ 40.92%, untuk periode 1.2 detik berfluktuasi sebesar 21.05% ~ 39.98% dan untuk periode 1.4 detik berfluktuasi antara 17.57% ~ 40.01%.

## 5.2 Saran

Untuk kesempurnaan eksperimen lebih lanjut, terutama yang dilakukan di Lab. Hidrodinamika Indonesia, beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah :

1. Penyempurnaan setting model untuk percobaan sejenis selanjutnya, terutama masalah pengikatan, faktor gesekan, dan lain-lain untuk dapat dikurangi semaksimal mungkin tanpa mengurangi fungsi percobaan, agar didapat gerakan yang osilasi sempurna.
2. Perlu dikembangkan studi dan penelitian mengenai tahanan bahkan sampai pada aspek hidrodinamis pada struktur HYCAT, karena hasil penelitian mengenai HYCAT masih kurang sekali.





*DAFTAR PUSTAKA*

## DAFTAR PUSTAKA

- Arii T., Miyata H., dan Kawaguchi. 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: Hybrid Hydrofoil Catamaran." AIAA 6<sup>th</sup> Marine Systems Conference.
- Chakrabarti, S.K. 1987. "Hydrodynamics of Offshore Structures". Springer- Verlag, Berlin.
- Djatmiko, E.B., T. Achmadi, dan P.E. Panunggal. 1994. "Peluang Pemanfaatan Advance Marine Vehicle untuk Menunjang Sistim Transportasi Nasional di Indonesia", *Pros. Seminar dalam rangka HUT BKI ke-30*, Jakarta.
- Harvald, Sv. Aa. 1983. "Resistance and Propulsion of Ship", John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Kawaguchi et.all. 1991. "Full-Scale Experiments by the First Hydrofoil Catamaran WINGSTAR 12 Exceller." FAST'91.
- Miller, N.S. 1986. "Waves and Wave Forecasting", Department of Naval Architecture, University of Glasgow.
- Murtedjo, M. 1995. "Tahanan dan Propulsi". FTK-ITS, Surabaya.
- Murtedjo, M. 1998. "Studi Eksperimental Penentuan Tahanan Total yang Bekerja pada Model Semisubmersible", *Laporan Penelitian*, Lembaga Penelitian-ITS, Surabaya.



LAMPIRAN A

RESISTANCE MEASUREMENT

=====

RESULT OF THE MEASUREMENT

-----

FACILITY : TT

-----

TEST NUMBER : 10103030014      RES.TEST LHI 035 CALM

DATE : 01-MEI-2000              ORDER NUMBER : P0039

START MEASURE TIME : 10:15:48.92      END MEASURE TIME : 10:16:25.72

NUMBER OF MEASURED SAMPLES : 368      SAMPLE RATE : 25

I RESULTS IN MODEL VALUES

CH.	SYMB.	NOTATION	I CAL.NR.	MEAN	ST.DEV.	MIN.	MAX.	CAL.DIM.	CH.
1	V	SPEED CARRIAGE	0	4.462	1.95	4.41	4.48	m/s	1
5	R	RESISTANCE	5	29.620	3.67	23.64	35.84	Kg	5

MEASURE RANGE IS TOO LOW!      (>3V , <-3V). CHANNEL : 1

MEASURE RANGE IS TOO LOW!      (>3V , <-3V). CHANNEL : 5

RESISTANCE MEASUREMENT

RESULT OF THE MEASUREMENT

FACILITY : TT

TEST NUMBER : 1010303015 RES.TEST LHI 035 CALM

DATE : 01-MEI-2000

ORDER NUMBER : P0039

START MEASURE TIME : 11:47:54.12

END MEASURE TIME : 11:48:30.42

NUMBER OF MEASURED SAMPLES : 368

SAMPLE RATE : 25

I RESULTS IN MODEL VALUES

CH.	SYMB.	NOTATION	I CAL.NR.	MEAN	ST.DEV.	MIN.	MAX.	CAL.DIM.	CH.
1	V	SPEED CARRIAGE	0	4.708	2.45	4.70	4.81	m/s	1
5	R	RESISTANCE	5	30.240	5.21	26.41	37.45	Kg	5

MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 1  
MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 5

RESISTANCE MEASUREMENT

=====

RESULT OF THE MEASUREMENT

-----

FACILITY : TT

-----

TEST NUMBER : 1010303016 RES.TEST LHI 035 CALM

DATE : 01-MEI-2000

ORDER NUMBER : P0039

START MEASURE TIME : 13:43:17.94

END MEASURE TIME : 13:43:39.47

NUMBER OF MEASURED SAMPLES : 368

SAMPLE RATE : 25

I RESULTS IN MODEL VALUES

I

CH.	SYMB.	NOTATION	I CAL.NR.	MEAN	ST.DEV.	MIN.	MAX.	CAL.DIM.	CH.
1	V	SPEED CARRIAGE	0	5.120	2.15	4.95	5.22	m/s	1
5	R	RESISTANCE	5	31.190	3.49	26.62	36.14	Kg	5

MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 1

MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 5

RESISTANCE MEASUREMENT

=====

RESULT OF THE MEASUREMENT

-----

FACILITY : TT

-----

TEST NUMBER : 1010303001      RES.TEST LHI 035      0.8 S

DATE : 27-APR-2000      ORDER NUMBER : P0039

START MEASURE TIME : 09:26:45.92      END MEASURE TIME : 09:27:08.68

NUMBER OF MEASURED SAMPLES : 368      SAMPLE RATE : 25

I RESULTS IN MODEL VALUES

CH.	SYMB.	NOTATION	I CAL.NR.	MEAN	ST.DEV.	MIN.	MAX.	CAL.DIM.	CH.
1	V	SPEED CARRIAGE	0	4.438	1.84	4.41	4.45	m/s	1
5	R	RESISTANCE	5	36.590	5.74	34.46	37.94	Kg	5
9	H	WAVE	1	10.548	3.68	-14.62	11.72	Cm	9
10	Ta	TRIM STERN	0	46.490	2.64	43.58	49.46	mm	10
11	Tf	TRIM BOW	0	-52.547	3.14	-50.18	-54.46	mm	11

MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 1  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 5  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 9  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 10  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 11

RESISTANCE MEASUREMENT

=====

RESULT OF THE MEASUREMENT

-----

FACILITY : TT

-----

TEST NUMBER : 1010303002      RES.TEST LHI 035      1 S  
 DATE : 27-APR-2000              ORDER NUMBER : P0039  
 START MEASURE TIME : 10:09:23.58      END MEASURE TIME : 10:09:58.14  
 NUMBER OF MEASURED SAMPLES : 368      SAMPLE RATE : 25

I RESULTS IN MODEL VALUES

CH.	SYMB.	NOTATION	I CAL.NR.	MEAN	ST.DEV.	MIN.	MAX.	CAL.DIM.	CH.
1	V	SPEED CARRIAGE	0	4.414	1.67	4.29	4.63	m/s	1
5	R	RESISTANCE	5	35.900	5.25	33.16	36.04	Kg	5
9	H	WAVE	1	10.264	3.15	-12.84	13.67	Cm	9
10	Ta	TRIM STERN	0	65.090	2.39	53.28	78.02	mm	10
11	Tf	TRIM BOW	0	-72.249	3.29	-67.49	-78.92	mm	11

MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 1  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 5  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 9  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 10  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 11



RESISTANCE MEASUREMENT

=====

RESULT OF THE MEASUREMENT

-----

FACILITY : TT

-----

TEST NUMBER : 1010303003      RES.TEST LHI 035      1.2 S

DATE : 27-APR-2000      ORDER NUMBER : P0039

START MEASURE TIME : 13:21:14.36      END MEASURE TIME : 13:22:02.47

NUMBER OF MEASURED SAMPLES : 368      SAMPLE RATE : 25

I RESULTS IN MODEL VALUES

CH.	SYMB.	NOTATION	I CAL.NR.	MEAN	ST.DEV.	MIN.	MAX.	CAL.DIM.	CH.
1	V	SPEED CARRIAGE	0	4.572	1.79	4.47	4.71	m/s	1
5	R	RESISTANCE	5	35.260	4.27	30.15	36.28	Kg	5
9	H	WAVE	1	10.245	3.49	-14.62	12.74	Cm	9
10	Ta	TRIM STERN	0	83.698	2.59	78.46	88.47	mm	10
11	Tf	TRIM BOW	0	-97.258	3.48	-105.94	-90.48	mm	11

MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 1  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 5  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 9  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 10  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 11



RESISTANCE MEASUREMENT

=====

RESULT OF THE MEASUREMENT

-----

FACILITY : TT

-----

TEST NUMBER : 1010303004      RES.TEST LHI 035      1.4 S

DATE : 27-APR-2000      ORDER NUMBER : P0039

START MEASURE TIME : 13:47:15.04      END MEASURE TIME : 13:47:53.19

NUMBER OF MEASURED SAMPLES : 368      SAMPLE RATE : 25

I RESULTS IN MODEL VALUES

I

CH.	SYMB.	NOTATION	I CAL.NR.	MEAN	ST.DEV.	MIN.	MAX.	CAL.DIM.	CH.
1	V	SPEED CARRIAGE	0	4.429	1.94	4.41	4.45	m/s	1
5	R	RESISTANCE	5	34.590	5.57	32.56	35.64	Kg	5
9	H	WAVE	1	10.154	3.19	-13.47	12.98	Cm	9
10	Ta	TRIM STERN	0	97.698	2.54	94.81	101.28	mm	10
11	Tf	TRIM BOW	0	-108.547	3.19	-112.94	-102.37	mm	11

MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 1  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 5  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 9  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 10  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 11

RESISTANCE MEASUREMENT

=====

RESULT OF THE MEASUREMENT

-----

FACILITY : TT

-----

TEST NUMBER : 1010303005      RES.TEST LHI 035      0.8 S

DATE : 28-APR-2000      ORDER NUMBER : P0039

START MEASURE TIME : 08:48:12.76      END MEASURE TIME : 08:48:36.49

NUMBER OF MEASURED SAMPLES : 368      SAMPLE RATE : 25

I RESULTS IN MODEL VALUES

I

CH.	SYMB.	NOTATION	I CAL.NR.	MEAN	ST.DEV.	MIN.	MAX.	CAL.DIM.	CH.
1	V	SPEED CARRIAGE	0	4.751	1.67	4.56	4.98	m/s	1
5	R	RESISTANCE	5	41.270	4.89	38.75	42.43	Kg	5
9	H	WAVE	1	10.213	3.68	-13.76	13.85	Cm	9
10	Ta	TRIM STERN	0	78.960	2.14	73.84	82.47	mm	10
11	Tf	TRIM BOW	0	-82.547	3.23	-75.54	-89.91	mm	11

MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 1  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 5  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 9  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 10  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 11

RESISTANCE MEASUREMENT

=====

RESULT OF THE MEASUREMENT

-----

FACILITY : TT

-----

TEST NUMBER : 1010303006 RES.TEST LHI 035 1 S

DATE : 28-APR-2000 ORDER NUMBER : P0039

START MEASURE TIME : 09:23:10.47 END MEASURE TIME : 09:23:34.48

NUMBER OF MEASURED SAMPLES : 368 SAMPLE RATE : 25

I RESULTS IN MODEL VALUES

CH.	SYMB.	NOTATION	I CAL.NR.	MEAN	ST.DEV.	MIN.	MAX.	CAL.DIM.	CH.
1	V	SPEED CARRIAGE	0	4.746	1.72	4.54	4.91	m/s	1
5	R	RESISTANCE	5	40.540	4.82	37.54	44.87	Kg	5
9	H	WAVE	1	10.264	2.16	-18.47	11.69	Cm	9
10	Ta	TRIM STERN	0	107.510	2.67	102.69	113.64	mm	10
11	Tf	TRIM BOW	0	-136.258	3.29	-130.47	-140.05	mm	11

MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 1  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 5  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 9  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 10  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 11

RESISTANCE MEASUREMENT

=====

RESULT OF THE MEASUREMENT

-----

FACILITY : TT

-----

TEST NUMBER : 1010303007      RES.TEST LHI 035      1.2 S

DATE : 28-APR-2000      ORDER NUMBER : P0039

START MEASURE TIME : 14:06:24.72      END MEASURE TIME : 14:06:52.67

NUMBER OF MEASURED SAMPLES : 368      SAMPLE RATE : 25

I RESULTS IN MODEL VALUES

CH.	SYMB.	NOTATION	I CAL.NR.	MEAN	ST.DEV.	MIN.	MAX.	CAL.DIM.	CH.
1	V	SPEED CARRIAGE	0	4.795	1.62	4.65	4.82	m/s	1
5	R	RESISTANCE	5	39.810	4.52	345.45	41.54	Kg	5
9	H	WAVE	1	10.154	3.94	-11.48	10.14	Cm	9
10	Ta	TRIM STERN	0	132.417	2.49	125.87	139.57	mm	10
11	Tf	TRIM BOW	0	-167.547	3.16	-160.21	-174.63	mm	11

MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 1  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 5  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 9  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 10  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 11

RESISTANCE MEASUREMENT

=====

RESULT OF THE MEASUREMENT

-----

FACILITY : TT

-----

TEST NUMBER : 1010303008      RES.TEST LHI 035      1.4 S

DATE : 28-APR-2000              ORDER NUMBER : P0039

START MEASURE TIME : 14:52:47.95      END MEASURE TIME : 14:53:23.97

NUMBER OF MEASURED SAMPLES : 368      SAMPLE RATE : 25

I RESULTS IN MODEL VALUES

I

CH.	SYMB.	NOTATION	I CAL.NR.	MEAN	ST.DEV.	MIN.	MAX.	CAL.DIM.	CH.
1	V	SPEED CARRIAGE	0	4.784	1.54	4.54	5.08	m/s	1
5	R	RESISTANCE	5	39.070	6.24	35.59	42.54	Kg	5
9	H	WAVE	1	10.056	3.19	-11.14	13.05	Cm	9
10	Ta	TRIM STERN	0	159.156	2.68	151.24	167.47	mm	10
11	Tf	TRIM BOW	0	-192.478	2.98	-185.64	-199.64	mm	11

MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 1  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 5  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 9  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 10  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 11

RESISTANCE MEASUREMENT

=====

RESULT OF THE MEASUREMENT

-----

FACILITY : TT

-----

TEST NUMBER : 1010303009      RES.TEST LHI 035      0.8 S

DATE : 01-MEI-2000      ORDER NUMBER : P0039

START MEASURE TIME : 10:15:48.92      END MEASURE TIME : 10:16:25.72

NUMBER OF MEASURED SAMPLES : 368      SAMPLE RATE : 25

I RESULTS IN MODEL VALUES

CH.	SYMB.	NOTATION	I CAL.NR.	MEAN	ST.DEV.	MIN.	MAX.	CAL.DIM.	CH.
1	V	SPEED CARRIAGE	0	5.123	1.95	5.02	5.24	m/s	1
5	R	RESISTANCE	5	44.730	3.67	40.64	46.84	Kg	5
9	H	WAVE	1	10.124	3.67	-11.74	12.47	Cm	9
10	Ta	TRIM STERN	0	106.730	2.54	100.42	112.45	mm	10
11	Tf	TRIM BOW	0	-82.547	3.57	-76.78	-89.01	mm	11

MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 1  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 5  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 9  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 10  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 11

RESISTANCE MEASUREMENT

=====

RESULT OF THE MEASUREMENT

-----

FACILITY : TT

-----

TEST NUMBER : 1010303010

RES.TEST LHI 035 1 S

DATE : 01-MEI-2000

ORDER NUMBER : P0039

START MEASURE TIME : 11:47:54.12

END MEASURE TIME : 11:48:30.42

NUMBER OF MEASURED SAMPLES : 368

SAMPLE RATE : 25

I RESULTS IN MODEL VALUES

CH.	SYMB.	NOTATION	I CAL.NR.	MEAN	ST.DEV.	MIN.	MAX.	CAL.DIM.	CH.
1	V	SPEED CARRIAGE	0	5.108	2.45	5.07	5.21	m/s	1
5	R	RESISTANCE	5	44.120	5.21	41.41	47.45	Kg	5
9	H	WAVE	1	10.264	2.62	-15.48	14.92	Cm	9
10	Ta	TRIM STERN	0	139.410	2.81	130.21	148.61	mm	10
11	Tf	TRIM BOW	0	-162.549	4.65	-140.14	-184.62	mm	11

MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 1  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 5  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 9  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 10  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 11



RESISTANCE MEASUREMENT

=====

RESULT OF THE MEASUREMENT

-----

FACILITY : TT

-----

TEST NUMBER : 1010303011      RES.TEST LHI 035      1.2 S

DATE : 01-MEI-2000      ORDER NUMBER : P0039

START MEASURE TIME : 13:43:17.94      END MEASURE TIME : 13:43:39.47

NUMBER OF MEASURED SAMPLES : 368      SAMPLE RATE : 25

I RESULTS IN MODEL VALUES

CH.	SYMB.	NOTATION	I CAL.NR.	MEAN	ST.DEV.	MIN.	MAX.	CAL.DIM.	CH.
1	V	SPEED CARRIAGE	0	5.120	2.15	4.65	4.82	m/s	1
5	R	RESISTANCE	5	43.390	3.49	40.62	45.14	Kg	5
9	H	WAVE	1	10.154	4.15	-14.68	12.73	Cm	9
10	Ta	TRIM STERN	0	167.027	3.12	150.45	184.14	mm	10
11	Tf	TRIM BOW	0	-235.436	4.05	-201.15	-259.15	mm	11

MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 1  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 5  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 9  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 10  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 11

RESISTANCE MEASUREMENT

RESULT OF THE MEASUREMENT

FACILITY : TT

TEST NUMBER : 1010303012      RES.TEST LHI 035      1.4 S

DATE : 01-MEI-2000      ORDER NUMBER : P0039

START MEASURE TIME : 14:30:14.45      END MEASURE TIME : 14:30:47.54

NUMBER OF MEASURED SAMPLES : 368      SAMPLE RATE : 25

I RESULTS IN MODEL VALUES

CH.	SYMB.	NOTATION	I CAL.NR.	MEAN	ST.DEV.	MIN.	MAX.	CAL.DIM.	CH.
1	V	SPEED CARRIAGE	0	5.121	1.16	4.54	5.08	m/s	1
5	R	RESISTANCE	5	42.930	4.25	38.14	46.23	Kg	5
9	H	WAVE	1	10.056	2.87	-14.26	12.38	Cm	9
10	Ta	TRIM STERN	0	217.562	3.19	196.26	238.64	mm	10
11	Tf	TRIM BOW	0	-254.251	3.52	-240.18	-268.135	mm	11

MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 1  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 5  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 9  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 10  
 MEASURE RANGE IS TOO LOW! (>3V , <-3V). CHANNEL : 11



*LAMPIRAN B*

H (tinggi gelombang) = 0,1 m  
 Kecepatan model = 4,452 m/s

Periode	0,8	1	1,2	1,4	detik
Panjang Hull	2,733	2,733	2,733	2,733	m
Panjang Foil	0,100	0,100	0,100	0,100	m
Kecepatan model	4,452	4,452	4,452	4,452	m/s
Rn Hull	1,07E+07	1,07E+07	1,07E+07	1,07E+07	
Rn Foil	3,91E+05	3,91E+05	3,91E+05	3,91E+05	
Cf Hull (ITTC)	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	
Cf Foil	0,0058	0,0058	0,0058	0,0058	
WSA Hull	3,6190	3,6190	3,6190	3,6190	m <sup>2</sup>
WSA Foil	0,1421	0,1421	0,1421	0,1421	m <sup>2</sup>
<b>Frictional Drag Hull</b>	106,39	106,39	106,39	106,39	N
<b>Frictional Drag Foil</b>	8,19	8,19	8,19	8,19	N
C D Hull	0,65	0,65	0,65	0,65	
C D Foil	1,15	1,15	1,15	1,15	
<b>Form Drag Hull</b>	131,50	131,50	131,50	131,50	N
<b>Form Drag Foil</b>	90,26	90,26	90,26	90,26	N
<b>Total Drag</b>	336,34	336,34	336,34	336,34	N
$\omega$ encountering	35,69	24,10	17,61	13,58	rad/s
coef.damping (b)	0,24	0,79	2,01	4,39	
coef.damping (b)	0,05	0,17	0,45	0,97	
Heaving amplitude	0,10	0,10	0,21	0,22	
Pitching amplitude	0,90	0,78	0,60	0,50	
<b>Added Resistance</b>	106,0231	81,0287	69,3257	58,0956	N
<b>Total Resistance</b>	442,36	417,36	405,66	394,43	N

H (tinggi gelombang) = 0,1 m  
 Kecepatan model = 4,771 m/s

Periode	0,8	1	1,2	1,4	detik
Panjang Hull	2,733	2,733	2,733	2,733	m
Panjang Foil	0,100	0,100	0,100	0,100	m
Kecepatan model	4,771	4,771	4,771	4,771	m/s
Rn Hull	1,14E+07	1,14E+07	1,14E+07	1,14E+07	
Rn Foil	4,19E+05	4,19E+05	4,19E+05	4,19E+05	
Cf Hull (ITTC)	0,0029	0,0029	0,0029	0,0029	
Cf Foil	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057	
WSA Hull	3,6190	3,6190	3,6190	3,6190	m <sup>2</sup>
WSA Foil	0,1421	0,1421	0,1421	0,1421	m <sup>2</sup>
<b>Frictional Drag Hull</b>	120,73	120,73	120,73	120,73	N
<b>Frictional Drag Foil</b>	9,25	9,25	9,25	9,25	N
C D Hull	0,65	0,65	0,65	0,65	
C D Foil	1,15	1,15	1,15	1,15	
<b>Form Drag Hull</b>	151,02	151,02	151,02	151,02	N
<b>Form Drag Foil</b>	103,66	103,66	103,66	103,66	N
<b>Total Drag</b>	384,66	384,66	384,66	384,66	N
$\omega$ encountering	37,81	25,46	18,55	14,27	rad/s
coef.damping (b)	0,20	0,67	1,72	3,78	
coef.damping (b)	0,04	0,15	0,38	0,84	
Heaving amplitude	0,10	0,12	0,19	0,22	
Pitching amplitude	1,24	1,04	0,95	0,88	
<b>Added Resistance</b>	196,2310	142,1598	132,1054	123,1107	N
<b>Total Resistance</b>	580,89	526,82	516,76	507,77	N

H (tinggi gelombang) = 0,1 m  
 Kecepatan model = 5,114 m/s

Periode	0,8	1	1,2	1,4	detik
Panjang Hull	2,733	2,733	2,733	2,733	m
Panjang Foil	0,100	0,100	0,100	0,100	m
Kecepatan model	5,114	5,114	5,114	5,114	m/s
Rn Hull	1,23E+07	1,23E+07	1,23E+07	1,23E+07	
Rn Foil	4,49E+05	4,49E+05	4,49E+05	4,49E+05	
Cf Hull (ITTC)	0,0029	0,0029	0,0029	0,0029	
Cf Foil	0,0056	0,0056	0,0056	0,0056	
WSA Hull	3,6190	3,6190	3,6190	3,6190	m <sup>2</sup>
WSA Foil	0,1421	0,1421	0,1421	0,1421	m <sup>2</sup>
<b>Frictional Drag Hull</b>	137,08	137,08	137,08	137,08	N
<b>Frictional Drag Foil</b>	10,45	10,45	10,45	10,45	N
C D Hull	0,65	0,65	0,65	0,65	
C D Foil	1,15	1,15	1,15	1,15	
<b>Form Drag Hull</b>	173,51	173,51	173,51	173,51	N
<b>Form Drag Foil</b>	119,10	119,10	119,10	119,10	N
<b>Total Drag</b>	440,14	440,14	440,14	440,14	N
$\omega$ encountering	39,95	26,82	19,50	14,97	rad/s
coef.damping (b)	0,17	0,57	1,48	3,28	
coef.damping (b)	0,04	0,13	0,33	0,73	
Heaving amplitude	0,14	0,20	0,20	0,26	
Pitching amplitude	1,48	1,25	1,20	1,12	
<b>Added Resistance</b>	282,5404	216,1160	200,9284	193,3718	N
<b>Total Resistance</b>	722,68	656,26	641,07	633,51	N

Vmodel= 4,432      we= 35,690      s= 0,273      h= 0,1  
 periode= 0,8      Lw= 1,000      disp= 159,117  
 Ww= 7,850      ampli= 0,05      kyy= 0,68325

PERHITUNGAN a dan Ayy

NO STAT	Bn (m)	Tn (m)	Sn (m)	$\xi$ (m)	$we2xBn/2g$	Bn/Tn	BnxTn (m2)	$\beta n$	C
0	0,000	0,278	0,000	1,080	0	0	0	#DIV/0!	0,00
2	0,933	0,278	0,072	0,810	60,57271	3,356115	0,259374	0,277877	0,45
4	0,933	0,278	0,072	0,540	60,57271	3,356115	0,259374	0,277591	0,45
6	0,933	0,278	0,072	0,260	60,57271	3,356115	0,259374	0,277591	0,45
8	0,933	0,278	0,072	-0,010	60,57271	3,356115	0,259374	0,277591	0,45
10	0,933	0,278	0,072	-0,280	60,57271	3,356115	0,259374	0,277591	0,45
12	0,933	0,278	0,072	-0,560	60,57271	3,356115	0,259374	0,277591	0,45
14	0,880	0,278	0,063	-0,830	57,13182	3,165468	0,24464	0,25907	0,45
16	0,540	0,278	0,018	-1,100	35,05816	1,942446	0,15012	0,12041	0,41
18	0,000	0,278	0,000	-1,380	0	0	0	#DIV/0!	0,00
20	0,000	0,278	0,000	-1,650	0	0	0	#DIV/0!	0,00

Bn2	$\rho \pi \xi Bn^2/8$	an	simpson	hasil	$\xi^2$	$an \times \xi^2$	simpson	hasil	
0	0	0	1	0	1,1664	0	1	0	
0,87049	341,6669	153,7501	4	615,00048	0,6561	100,8755	4	403,5018	
0,87049	341,6669	153,7501	2	307,50024	0,2916	44,83353	2	89,66707	
0,87049	341,6669	153,7501	4	615,00048	0,0676	10,39351	4	41,57403	
0,87049	341,6669	153,7501	2	307,50024	0,0001	0,015375	2	0,03075	
0,87049	341,6669	153,7501	4	615,00048	0,0784	12,05401	4	48,21604	
0,87049	341,6669	153,7501	2	307,50024	0,3136	48,21604	2	96,43208	
0,7744	303,952	136,7784	4	547,1136	0,6889	94,22664	4	376,9066	
0,2916	114,453	46,92573	2	93,85146	1,21	56,78013	2	113,5603	
0	0	0	4	0	1,9044	0	4	0	
0	0	0	1	0	2,7225	0	1	0	
sum1				3408,4672	sum2				1169,889

PERHITUNGAN b dan B

NO STAT	A	A2	bn	simpson	hasil	$bn \times \xi^2$	simpson	hasil		
0	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
2	0,100	0,01	0,021169	4	0,084675	0,013889	4	0,055555		
4	0,100	0,01	0,021169	2	0,042338	0,006173	2	0,012346		
6	0,100	0,01	0,021169	4	0,084675	0,001431	4	0,005724		
8	0,350	0,1225	0,259318	2	0,518636	2,59E-05	2	5,19E-05		
10	0,350	0,1225	0,259318	4	1,037272	0,020331	4	0,081322		
12	0,350	0,1225	0,259318	2	0,518636	0,081322	2	0,162644		
14	0,200	0,04	0,084675	4	0,338701	0,058333	4	0,233331		
16	0,085	0,007225	0,015294	2	0,030589	0,018506	2	0,037013		
18	0,000	0	0	4	0	0	4	0		
20	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
sum3					2,655521	sum4				0,587987

PERHITUNGAN c dan C

NO STAT	Cn	simpson	hasil	Cn x ξ <sup>2</sup>	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0
2	9152,73	4	36610,92	6005,1062	4	24020,42
4	9152,73	2	18305,46	2668,9361	2	5337,872
6	9152,73	4	36610,92	618,72455	4	2474,898
8	9152,73	2	18305,46	0,915273	2	1,830546
10	9152,73	4	36610,92	717,57403	4	2870,296
12	9152,73	2	18305,46	2870,2961	2	5740,592
14	8632,8	4	34531,2	5947,1359	4	23788,54
16	5297,4	2	10594,8	6409,854	2	12819,71
18	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0
		sum5	209875,1		sum6	77054,17

PERHITUNGAN d, e, h, b, D, E, dan H

NO STAT	an x ξ	simpson	hasil	bn x ξ	simpson	hasil	Cn x ξ	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
2	124,5376	4	498,1504	0,0171467	4	0,068587	7413,711	4	29654,85
4	83,02506	2	166,0501	0,0114312	2	0,022862	4942,474	2	9884,948
6	39,97503	4	159,9001	0,0055039	4	0,022016	2379,71	4	9518,839
8	-1,5375	2	-3,075	-0,002593	2	-0,00519	-91,5273	2	-183,055
10	-43,05	4	-172,2	-0,072609	4	-0,29044	-2562,76	4	-10251,1
12	-86,1001	2	-172,2	-0,145218	2	-0,29044	-5125,53	2	-10251,1
14	-113,526	4	-454,104	-0,07028	4	-0,28112	-7165,22	4	-28660,9
16	-51,6183	2	-103,237	-0,016824	2	-0,03365	-5827,14	2	-11654,3
18	0	4	0	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0	0	1	0
		sum7	-80,7155		sum8	-0,78736		sum9	-11941,7

Added mass :

$az = 1/3 * S * \text{sum1} = 31,01705 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

$Ayy = 1/3 * s * \text{sum2} = 10,64599 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

Damping Coefficient:

$b = 1/3 * S * \text{sum3} = 0,241652 \text{ kg-s}/\text{m}$

$B = 1/3 * S * \text{sum4} = 0,053507 \text{ m-kg-s}/\text{rad}$

Coupling terms :

$d = -1/3 * S * \text{sum7} = 7,345113 \text{ kg-s}^2$

$D = -1/3 * S * \text{sum7} = 7,345113 \text{ kg-s}^2$

$e = (-1/3 * S * \text{sum8}) + ua = 137,5392 \text{ kg-s}^2/\text{s}$

$E = (-1/3 * S * \text{sum8}) - ua = -137,396 \text{ kg-s}^2/\text{s}$

$h = (-1/3 * S * \text{sum9}) + ub = 1087,767 \text{ kg}$

$H = (-1/3 * S * \text{sum9}) = 1086,696 \text{ kg}$

Restoring force coefficient for heaving :

$c = 1/3 * S * \text{sum5} = 19098,64 \text{ kg}/\text{m}$

Ship mass :

$m = \text{disp}/g = 16,21988 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

Restoring moment coefficient for pitching :

$C = (1/3 * S * \text{sum6}) - uE = 7620,868 \text{ m-kg}/\text{rad}$

Ship mass moment of inertia :

$Iyy = (\text{disp} * kyy^2)/g = 7,571935 \text{ kg-s}^2\text{-m}$



PERHITUNGAN Exciting Forces dan Moments (F dan M)

NO STAT	k ξ	sin k ξ	cos k ξ	Tm (m)	2π*Tm/Lw	e	Cn x ζ	8	9	10	11	12	13	14	15
0	6,764128	0,480253	0,877113	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0		0	0	0	0	0
2	5,068096	-0,93025	0,366931	0,07725	0,485252	1,624564	457,6365	-9792,19	-9334,55		0	0,037776	0,037776	8683,453	0,013661
4	3,392064	-0,24786	-0,9688	0,07717	0,484754	1,623775	457,6365	-9792,19	-9334,55		0	0,037776	0,037776	2313,67	-0,0366
6	1,833216	0,998053	-0,06238	0,07717	0,484754	1,623775	457,6365	-9792,19	-9334,55		0	0,037776	0,037776	-9316,38	-0,00236
8	-0,06282	-0,06277	0,998028	0,07717	0,484754	1,623775	457,6365	-9792,19	-9334,55		0	0,462754	0,462754	585,9738	0,461841
10	-1,75885	-0,96237	-0,18695	0,07717	0,484754	1,623775	457,6365	-9792,19	-9334,55		0	0,462754	0,462754	9169,989	-0,08651
12	-3,5177	0,367299	-0,9301	0,07717	0,484754	1,623775	457,6365	-9792,19	-9334,55		0	0,462754	0,462754	-3426,57	-0,43041
14	-5,21373	0,87694	0,480601	0,072022	0,452411	1,572098	431,64	-8711,28	-8279,64		0	0,151103	0,151103	-7260,74	0,07262
16	-6,90976	-0,56637	0,810041	0,033474	0,210271	1,234012	264,87	-2988,65	-2723,78		0	0,027293	0,027293	1597,155	0,022108
18	-8,66861	-0,68614	-0,72747	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0		0	0	0	0	0
20	-10,3646	0,807477	-0,5899	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0		0	0	0	0	0

16	17	18	19	20	simpson	hasil	23	simpson	hasil	26	simpson	hasil	29	simpson	hasil
0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
8683,467	-3425,13	-0,03514	-3425,1	14107,02	4	56428,09	-5564,36	4	-22257,4	11426,69	4	45706,76	-4507,13	4	-18028,5
2313,634	9043,275	-0,00936	9043,285	3756,821	2	7513,642	14684,26	2	29368,52	2028,683	2	4057,367	7929,5	2	15859
-9316,38	582,2825	0,037702	582,2448	-15127,7	4	-60510,8	945,4346	4	3781,738	-3933,2	4	-15732,8	245,613	4	963,252
586,4357	-9316,14	-0,02905	-9316,11	952,2396	2	1904,479	-15127,3	2	-30254,5	-9,5224	2	-19,0448	151,2727	2	302,5455
9169,902	1745,052	-0,4548	1745,506	14889,86	4	59559,43	2634,31	4	11337,24	-4169,16	4	-16676,6	-793,607	4	-3174,43
-3429	6682,095	0,169969	6681,925	-5587,93	2	-11135,9	14097,49	2	26194,99	3118,042	2	6236,084	-7894,6	2	-15789,2
-7260,67	-3979,2	0,132508	-3979,33	-11414,5	4	-45657,9	-6255,9	4	-25023,6	9474,022	4	37896,09	5192,395	4	20769,58
1597,177	-2206,37	-0,016	-2206,38	1970,936	2	3941,872	-2722,67	2	-5445,35	-2168,03	2	-4336,06	2994,94	2	5969,68
0	0	0	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0
0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
					sum10	12042,92		sum11	-10298,4		sum12	57131,74		sum13	6912,107

Exciting force component

$F1 = 1/3 * S * sum10 = 1095,905 \text{ kg}$   
 $F2 = 1/3 * S * sum11 = -937,158 \text{ kg}$   
 Amplitude of the exciting force  
 $F0 = \text{SQRT}(F1^2 + F2^2) = 1027037 \text{ kg}$

Exciting moment component

$M1 = 1/3 * S * sum12 = 5198,988 \text{ m-kg}$   
 $M2 = 1/3 * S * sum13 = 629,0017 \text{ m-kg}$   
 Amplitude of the exciting moment  
 $M0 = \text{SQRT}(M1^2 + M2^2) = 3270173 \text{ m-kg}$

Phase angle :

$b = \arctan(F2/F1) = -40,5353$   
 $p = \arctan(M2/M1) = 6,898425$

Solution of equations of motion

$F = 780554,4$   
 $= -667486$   
 $M = 3246499$   
 $= 392778,9$   
 $P = -41070,8$   
 $= 8,624588$   
 $S = -2894,42$   
 $= 1,909661$   
 $Q = -8268,29$   
 $= 4908,782$

Heaving amplitude :

$Za = \text{SQRT}(z1^2 + z2^2) = 0,1 \text{ m}$

Pitching amplitude :

$O = \text{SQRT}(O1^2 + O2^2) = 2,92 \text{ rad}$

Vmodel= 4,432 we= 17,607 s= 0,273 h= 0,1  
 periode= 1,2 Lw= 2,249 disp= 159,117  
 Ww 5,233 ampli= 0,05 kyy= 0,68325

PERHITUNGAN a dan Ayy

NO STAT	Bn (m)	Tn (m)	Sn (m)	$\xi$ (m)	$w e 2 x B n / 2 g$	Bn/Tn	BnxTn (m <sup>2</sup> )	$\beta n$	C
0	0,000	0,278	0,000	1,080	0	0	0	#DIV/0!	0,00
2	0,933	0,278	0,072	0,810	14,74138	3,356115	0,259374	0,277877	0,57
4	0,933	0,278	0,072	0,540	14,74138	3,356115	0,259374	0,277591	0,57
6	0,933	0,278	0,072	0,260	14,74138	3,356115	0,259374	0,277591	0,57
8	0,933	0,278	0,072	-0,010	14,74138	3,356115	0,259374	0,277591	0,57
10	0,933	0,278	0,072	-0,280	14,74138	3,356115	0,259374	0,277591	0,57
12	0,933	0,278	0,072	-0,560	14,74138	3,356115	0,259374	0,277591	0,57
14	0,880	0,278	0,063	-0,830	13,90398	3,165468	0,24464	0,25907	0,51
16	0,540	0,278	0,018	-1,100	8,531987	1,942446	0,15012	0,12041	0,00
18	0,000	0,278	0,000	-1,380	0	0	0	#DIV/0!	0,00
20	0,000	0,278	0,000	-1,650	0	0	0	#DIV/0!	0,00

Bn2	$\rho \pi \xi B n^2 / 8$	an	simpson	hasil	$\xi^2$	anx $\xi^2$	simpson	hasil	
0	0	0	1	0	1,1664	0	1	0	
0,87049	341,6669	194,7502	4	779,00061	0,6561	127,7756	4	511,1023	
0,87049	341,6669	194,7502	2	389,5003	0,2916	56,78914	2	113,5783	
0,87049	341,6669	194,7502	4	779,00061	0,0676	13,16511	4	52,66044	
0,87049	341,6669	194,7502	2	389,5003	0,0001	0,019475	2	0,03895	
0,87049	341,6669	194,7502	4	779,00061	0,0784	15,26841	4	61,07365	
0,87049	341,6669	194,7502	2	389,5003	0,3136	61,07365	2	122,1473	
0,7744	303,952	155,0155	4	620,06208	0,6889	106,7902	4	427,1608	
0,2916	114,453	0	2	0	1,21	0	2	0	
0	0	0	4	0	1,9044	0	4	0	
0	0	0	1	0	2,7225	0	1	0	
sum1				4125,5648	sum2				1287,762

PERHITUNGAN b dan B

NO STAT	A	A2	bn	simpson	hasil	bn x $\xi^2$	simpson	hasil		
0	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
2	0,100	0,01	0,176321	4	0,705285	0,115684	4	0,462738		
4	0,100	0,01	0,176321	2	0,352643	0,051415	2	0,102831		
6	0,100	0,01	0,176321	4	0,705285	0,011919	4	0,047677		
8	0,350	0,1225	2,159936	2	4,319873	0,000216	2	0,000432		
10	0,350	0,1225	2,159936	4	8,639745	0,169339	4	0,677356		
12	0,350	0,1225	2,159936	2	4,319873	0,677356	2	1,354712		
14	0,200	0,04	0,705285	4	2,821141	0,485871	4	1,943484		
16	0,085	0,007225	0,127392	2	0,254784	0,154145	2	0,308289		
18	0,000	0	0	4	0	0	4	0		
20	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
sum3					22,11863	sum4				4,897519

PERHITUNGAN c dan C

NO STAT	Cn	simpson	hasil	Cn x $\xi^2$	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0
2	9152,73	4	36610,92	6005,1062	4	24020,42
4	9152,73	2	18305,46	2668,9361	2	5337,872
6	9152,73	4	36610,92	618,72455	4	2474,898
8	9152,73	2	18305,46	0,915273	2	1,830546
10	9152,73	4	36610,92	717,57403	4	2870,296
12	9152,73	2	18305,46	2870,2961	2	5740,592
14	8632,8	4	34531,2	5947,1359	4	23788,54
16	5297,4	2	10594,8	6409,854	2	12819,71
18	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0
		sum5	209875,1		sum6	77054,17

PERHITUNGAN d, e, h, b, D, E, dan H

NO STAT	an x $\xi$	simpson	hasil	bn x $\xi$	simpson	hasil	Cn x $\xi$	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
2	157,7476	4	630,9905	0,1428203	4	0,571281	7413,711	4	29654,85
4	105,1651	2	210,3302	0,0952135	2	0,190427	4942,474	2	9884,948
6	50,63504	4	202,5402	0,0458435	4	0,183374	2379,71	4	9518,839
8	-1,9475	2	-3,895	-0,021599	2	-0,0432	-91,5273	2	-183,055
10	-54,53	4	-218,12	-0,604782	4	-2,41913	-2562,76	4	-10251,1
12	-109,06	2	-218,12	-1,209564	2	-2,41913	-5125,53	2	-10251,1
14	-128,663	4	-514,652	-0,585387	4	-2,34155	-7165,22	4	-28660,9
16	0	2	0	-0,140131	2	-0,28026	-5827,14	2	-11654,3
18	0	4	0	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0	0	1	0
		sum7	89,07394		sum8	-6,55818		sum9	-11941,7

Added mass :

$$a_z = 1/3 * S * \text{sum}1 = 37,54264 \text{ kg-s}^2/\text{m}$$

$$A_{yy} = 1/3 * s * \text{sum}2 = 11,71863 \text{ kg-s}^2/\text{m}$$

Damping Coefficient:

$$b = 1/3 * S * \text{sum}3 = 2,012795 \text{ kg-s}/\text{m}$$

$$B = 1/3 * S * \text{sum}4 = 0,445674 \text{ m-kg-s}/\text{rad}$$

Restoring force coefficient for heaving :

$$c = 1/3 * S * \text{sum}5 = 19098,64 \text{ kg}/\text{m}$$

Restoring moment coefficient for pitching :

$$C = (1/3 * S * \text{sum}6) - uE = 7746,72 \text{ m-kg}/\text{rad}$$

Coupling terms :

$$d = -1/3 * S * \text{sum}7 = -8,10573 \text{ kg-s}^2$$

$$D = -1/3 * S * \text{sum}7 = -8,10573 \text{ kg-s}^2$$

$$e = (-1/3 * S * \text{sum}8) + ua = 166,9858 \text{ kg-s}^2/\text{s}$$

$$E = (-1/3 * S * \text{sum}8) - ua = -165,792 \text{ kg-s}^2/\text{s}$$

$$h = (-1/3 * S * \text{sum}9) + ub = 1095,617 \text{ kg}$$

$$H = (-1/3 * S * \text{sum}9) = 1086,696 \text{ kg}$$

Ship mass :

$$m = \text{disp}/g = 16,21988 \text{ kg-s}^2/\text{m}$$

Ship mass moment of inertia :

$$I_{yy} = (\text{disp} * k_{yy}^2) / g = 7,571935 \text{ kg-s}^2\text{-m}$$

PERHITUNGAN Exciting Forces dan Moments (F dan M)

NO STAT	k ξ	sin k ξ	cos k ξ	Tm (m)	2π*Tm/Lw	e	Cn x ζ	8	9	10	11	12	13	14	15
0	3,015168	0,126088	-0,99202	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2,261376	0,770677	-0,63696	0,07725	0,215668	1,24069	457,6365	-3018,58	-2560,95	0	0,155222	0,155222	-1974,17	-0,09887	
4	1,507584	0,996003	0,06317	0,07717	0,215446	1,240415	457,6365	-3018,58	-2560,95	0	0,155222	0,155222	-2555,83	0,009805	
6	0,725874	0,663789	0,74792	0,07717	0,215446	1,240415	457,6365	-3018,58	-2560,95	0	0,155222	0,155222	-1699,93	0,116093	
8	-0,02792	-0,02791	0,99961	0,07717	0,215446	1,240415	457,6365	-3018,58	-2560,95	0	1,901466	1,901466	71,46782	1,900725	
10	-0,78171	-0,70449	0,70971	0,07717	0,215446	1,240415	457,6365	-3018,58	-2560,95	0	1,901466	1,901466	1804,173	1,349469	
12	-1,56342	-0,99997	0,007376	0,07717	0,215446	1,240415	457,6365	-3018,58	-2560,95	0	1,901466	1,901466	2560,878	0,014025	
14	-2,31721	-0,73413	0,67901	0,072022	0,201071	1,222712	431,64	-2402,71	-1971,07	0	0,620687	0,620687	1447,013	-0,42159	
16	-3,071	-0,07053	-0,99751	0,033474	0,093454	1,09796	264,67	0	264,67	0	0,112148	0,112148	-18,6811	-0,11187	
18	-3,85271	0,652664	-0,75763	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	-4,60651	0,9944	-0,10568	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0

16	17	18	19	20	simpson	hasil	23	simpson	hasil	26	simpson	hasil	29	simpson	hasil	
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	
-1974,27	1631,263	0,119657	1631,164	-2449,46	4	-9797,85	2023,768	4	8095,072	-1984,06	4	-7936,26	1639,252	4	6557,006	
-2555,62	-161,775	0,154912	-161,93	-3170,28	2	-6340,56	-200,861	2	-401,722	-1711,95	2	-3423,9	-108,465	2	-216,93	
-1699,61	-1915,38	0,103035	-1915,49	-2108,47	4	-8433,9	-2376	4	-9503,99	-548,203	4	-2192,81	-617,759	4	-2471,04	
73,36654	-2559,95	-0,05308	-2559,9	91,03226	2	182,0645	-3175,33	2	-6350,67	-0,91032	2	-1,82065	31,75334	2	63,50668	
1805,522	-1817,53	-1,33957	-1816,19	2239,597	4	8958,368	-2252,83	4	-9011,32	-627,087	4	-2508,35	630,7922	4	2523,169	
2560,892	-18,8868	-1,90141	-16,9874	3176,569	2	6353,136	-21,0714	2	-42,1429	-1778,86	2	-3557,76	11,8	2	23,6	
1446,591	1338,378	-0,45581	1338,834	1768,765	4	7075,058	1637,008	4	6548,033	-1468,07	4	-5872,3	-1356,72	4	-5434,67	
-18,793	-264,21	-0,00791	-264,202	-20,6339	2	-41,2679	-290,084	2	-580,167	22,69734	2	45,39469	319,0921	2	638,1841	
0	0	0	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	
sum10						-2044,92		sum11		-11246,9		sum12		-25447,8	sum13	1682,633

**Exciting force component**  
 $F1 = 1/3 * S * sum10 = -166,088 \text{ kg}$   
 $F2 = 1/3 * S * sum11 = -1023,47 \text{ kg}$   
 Amplitude of the exciting force  
 $F0 = \text{SQRT}(F1^2 + F2^2) = 190455,2 \text{ kg}$   
 $R = -1426,04$   
 $V = 8,15E+15$   
 $PS = 12618664$   
 $QR = 3436532$   
 $z1 = -34,1768$   
 $z2 = 57,36512$

**Exciting moment component**  
 $M1 = 1/3 * S * sum12 = -2315,75 \text{ m-kg}$   
 $M2 = 1/3 * S * sum13 = 153,1196 \text{ m-kg}$   
 Amplitude of the exciting moment  
 $M0 = \text{SQRT}(M1^2 + M2^2) = 354586,7 \text{ m-kg}$   
 $PS-QR = 9182132$   
 $O1 = 26,5172$   
 $O2 = -8,01157$   
 $T = 3,07E+14$   
**Heaving amplitude :**  
 $Za = \text{SQRT}(z1^2 + z2^2) = 0,1 \text{ m}$

**Phase angle :**  
 $n = \arctan(F2/F1) = 79,69499$   
 $p = \arctan(M2/M1) = -3,78294$   
 $FS = 1,75E+08$   
 $FS-MQ = -1,2E+09$   
**Pitching amplitude :**  
 $O = \text{SQRT}(O1^2 + O2^2) = 2,54 \text{ rad}$

**Solution of equations of motion**  
 $F = 34070,18$   
 $U = -1E+16$   
 $M = 353814,1$   
 $P = 2432,497$   
 $Q = 3608,356$   
 $R = 2940,067$   
 $FR = 4,98E+08$   
 $MP-FR = 3,63E+08$   
 $U = 1,76E+16$   
 $MP = 8,61E+08$   
 $MP-FR = 3,63E+08$   
 $FR = 4,98E+08$   
 $MP-FR = 3,63E+08$   
 $U = 1,76E+16$   
 $MP = 8,61E+08$   
 $MP-FR = 3,63E+08$

Vmodel= 4,432 we= 24,098 s= 0,273 h= 0,1  
 periode= 1 Lw= 1,562 disp= 159,117  
 Ww 6,280 ampli= 0,05 kyy= 0,68325

PERHITUNGAN a dan Ayy

NO STAT	Bn (m)	Tn (m)	Sn (m)	$\xi$ (m)	we2xBn/2g	Bn/Tn	BnxTn (m2)	$\beta_n$	C
0	0,000	0,278	0,000	1,080	0	0	0	#DIV/0!	0,00
2	0,933	0,278	0,072	0,810	27,61414	3,356115	0,259374	0,277877	0,55
4	0,933	0,278	0,072	0,540	27,61414	3,356115	0,259374	0,277591	0,55
6	0,933	0,278	0,072	0,260	27,61414	3,356115	0,259374	0,277591	0,55
8	0,933	0,278	0,072	-0,010	27,61414	3,356115	0,259374	0,277591	0,55
10	0,933	0,278	0,072	-0,280	27,61414	3,356115	0,259374	0,277591	0,55
12	0,933	0,278	0,072	-0,560	27,61414	3,356115	0,259374	0,277591	0,55
14	0,880	0,278	0,063	-0,830	26,04549	3,165468	0,24464	0,25907	0,48
16	0,540	0,278	0,018	-1,100	15,98246	1,942446	0,15012	0,12041	0,00
18	0,000	0,278	0,000	-1,380	0	0	0	#DIV/0!	0,00
20	0,000	0,278	0,000	-1,650	0	0	0	#DIV/0!	0,00

Bn2	$\rho \pi \xi B v^2/8$	an	simpson	hasil	$\xi^2$	anx $\xi^2$	simpson	hasil	
0	0	0	1	0	1,1664	0	1	0	
0,87049	341,6669	187,9168	4	751,66725	0,6561	123,2922	4	493,1689	
0,87049	341,6669	187,9168	2	375,83363	0,2916	54,79654	2	109,5931	
0,87049	341,6669	187,9168	4	751,66725	0,0676	12,70318	4	50,81271	
0,87049	341,6669	187,9168	2	375,83363	0,0001	0,018792	2	0,037583	
0,87049	341,6669	187,9168	4	751,66725	0,0784	14,73268	4	58,93071	
0,87049	341,6669	187,9168	2	375,83363	0,3136	58,93071	2	117,8614	
0,7744	303,952	145,897	4	583,58784	0,6889	100,5084	4	402,0337	
0,2916	114,453	0	2	0	1,21	0	2	0	
0	0	0	4	0	1,9044	0	4	0	
0	0	0	1	0	2,7225	0	1	0	
sum1				3966,0905	sum2				1232,438

PERHITUNGAN b dan B

NO STAT	A	A2	bn	simpson	hasil	bn x $\xi^2$	simpson	hasil		
0	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
2	0,100	0,01	0,068772	4	0,27509	0,045122	4	0,180487		
4	0,100	0,01	0,068772	2	0,137545	0,020054	2	0,040108		
6	0,100	0,01	0,068772	4	0,27509	0,004649	4	0,018596		
8	0,350	0,1225	0,842463	2	1,684926	8,42E-05	2	0,000168		
10	0,350	0,1225	0,842463	4	3,369852	0,066049	4	0,264196		
12	0,350	0,1225	0,842463	2	1,684926	0,264196	2	0,528393		
14	0,200	-0,04	0,27509	4	1,10036	0,189509	4	0,758038		
16	0,085	0,007225	0,049688	2	0,099376	0,060123	2	0,120245		
18	0,000	0	0	4	0	0	4	0		
20	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
sum3					8,627166	sum4				1,910232

PERHITUNGAN c dan C

NO STAT	Cn	simpson	hasil	Cn x ξ <sup>2</sup>	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0
2	9152,73	4	36610,92	6005,1062	4	24020,42
4	9152,73	2	18305,46	2668,9361	2	5337,872
6	9152,73	4	36610,92	618,72455	4	2474,898
8	9152,73	2	18305,46	0,915273	2	1,830546
10	9152,73	4	36610,92	717,57403	4	2870,296
12	9152,73	2	18305,46	2870,2961	2	5740,592
14	8632,8	4	34531,2	5947,1359	4	23788,54
16	5297,4	2	10594,8	6409,854	2	12819,71
18	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0
		sum5	209875,1		sum6	77054,17

PERHITUNGAN d, e, h, b, D, E, dan H

NO STAT	an x ξ	simpson	hasil	bn x ξ	simpson	hasil	Cn x ξ	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
2	152,2126	4	608,8505	0,0557057	4	0,222823	7413,711	4	29654,85
4	101,4751	2	202,9502	0,0371371	2	0,074274	4942,474	2	9884,948
6	48,85837	4	195,4335	0,0178808	4	0,071523	2379,71	4	9518,839
8	-1,879168	2	-3,758336	-0,0084246	2	-0,016849	-91,5273	2	-183,0546
10	-52,61671	4	-210,4668	-0,2358897	4	-0,943559	-2562,764	4	-10251,06
12	-105,2334	2	-210,4668	-0,4717793	2	-0,943559	-5125,529	2	-10251,06
14	-121,0945	4	-484,3779	-0,2283247	4	-0,913299	-7165,224	4	-28660,9
16	0	2	0	-0,0546569	2	-0,109314	-5827,14	2	-11654,28
18	0	4	0	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0	0	1	0
		sum7	98,16421		sum8	-2,557959		sum9	-11941,71

**Added mass :**

$az = 1/3 * S * sum1 = 36,09142 \text{ kg-s}^2/\text{m}$   
 $Ayy = 1/3 * s * sum2 = 11,21519 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

**Damping Coefficient:**

$b = 1/3 * S * sum3 = 0,785072 \text{ kg-s}/\text{m}$   
 $B = 1/3 * S * sum4 = 0,173831 \text{ m-kg-s}/\text{rad}$

**Restoring force coefficient for heaving :**

$c = 1/3 * S * sum5 = 19098,64 \text{ kg}/\text{m}$

**Restoring moment coefficient for pitching :**

$C = (1/3 * S * sum6) - uE = 7719,828 \text{ m-kg}/\text{rad}$

**Coupling terms :**

$d = -1/3 * S * sum7 = -8,932943 \text{ kg-s}^2$   
 $D = -1/3 * S * sum7 = -8,932943 \text{ kg-s}^2$   
 $e = (-1/3 * S * sum8) + ua = 160,19 \text{ kg-s}^2/\text{s}$   
 $E = (-1/3 * S * sum8) - ua = -159,7244 \text{ kg-s}^2/\text{s}$   
 $h = (-1/3 * S * sum9) + ub = 1090,175 \text{ kg}$   
 $H = (-1/3 * S * sum9) = 1086,696 \text{ kg}$

**Ship mass :**

$m = disp/g = 16,21988 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

**Ship mass moment of inertia :**

$Iyy = (disp * kyy^2) / g = 7,571935 \text{ kg-s}^2\text{-m}$

PERHITUNGAN Exciting Forces dan Moments (F dan M)

NO STAT	k E	sin k E	cos k E	Tn (m)	2π*Tn/Lw	e	Cn x ζ	8	9	10	11	12	13	14	15
0	4,341842	-0,93213	-0,36213	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3,256382	-0,11454	-0,99342	0,07725	0,310561	1,364191	457,6365	-5456,13	-4998,49	0	0,082863	0,082863	572,5125	-0,08232	
4	2,170921	0,825265	-0,56475	0,07717	0,310242	1,363756	457,6365	-5456,13	-4998,49	0	0,082863	0,082863	-4125,08	-0,0468	
6	1,045258	0,865054	0,501678	0,07717	0,310242	1,363756	457,6365	-5456,13	-4998,49	0	0,082863	0,082863	-4323,96	0,04157	
8	-0,0402	-0,04019	0,999192	0,07717	0,310242	1,363756	457,6365	-5456,13	-4998,49	0	1,015068	1,015068	200,8964	1,014248	
10	-1,12566	-0,90255	0,430578	0,07717	0,310242	1,363756	457,6365	-5456,13	-4998,49	0	1,015068	1,015068	4511,403	0,437067	
12	-2,25133	-0,77724	-0,6292	0,07717	0,310242	1,363756	457,6365	-5456,13	-4998,49	0	1,015068	1,015068	3885,026	-0,63869	
14	-3,33679	0,193956	-0,98101	0,072022	0,289543	1,335817	431,64	-4236,09	-3804,45	0	0,331451	0,331451	-737,897	-0,32518	
16	-4,42225	0,958203	-0,28609	0,033474	0,134573	1,144048	264,87	0	264,87	0	0,059868	0,059868	253,7993	-0,01713	
18	-5,54791	0,670792	0,741646	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	-6,63337	-0,34307	0,939309	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0

16	17	18	19	20	simpson	hasil	23	simpson	hasil	26	simpson	hasil	29	simpson	hasil
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0
572,4301	4965,595	-0,00949	4965,605	780,9038	4	3123,615	6774,031	4	27096,12	632,5321	4	2530,128	5486,965	4	21947,86
4125,13	2822,875	0,068384	2822,806	-5625,66	2	-11251,3	3849,618	2	7699,236	-3037,86	2	-6075,72	2078,794	2	4157,587
4323,92	-4,42225	0,071681	-2507,71	-5896,77	4	-23587,1	-3419,9	4	-13679,6	-1533,16	4	-6132,65	-889,174	4	-3556,7
201,9106	-4994,45	-0,0408	-4994,41	275,3568	2	550,7135	-6811,16	2	-13622,3	-2,75357	2	-5,50714	68,11156	2	136,2231
4511,84	-2152,24	-0,91615	-2151,33	6153,048	4	24612,19	-2933,88	4	-11735,5	-1722,85	4	-6891,41	821,4871	4	3285,949
3984,387	3145,072	-0,78895	3145,861	5297,355	2	10594,71	4290,186	2	8580,372	-2966,52	2	-5933,04	-2402,5	2	-4805,01
-738,222	3732,203	0,064287	3732,139	-986,13	4	-3944,52	4985,453	4	19941,81	818,4875	4	3273,95	-4137,93	4	-16551,7
253,7821	-75,7763	0,057366	-75,8336	290,3391	2	580,6782	-86,7574	2	-173,515	-319,373	2	-638,746	95,43311	2	190,8662
0	0	0	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0
sum10						678,9607		sum11	24106,59		sum12	-19873		sum13	4805,076

Exciting force component

$F1 = 1/3 * S * \text{sum}10 = 61,78542 \text{ kg}$   
 $F2 = 1/3 * S * \text{sum}11 = 2193,7 \text{ kg}$   
 Amplitude of the exciting force  
 $F0 = \text{SQRT}(F1^2 + F2^2) = 135538,7 \text{ kg}$

Exciting moment component

$M1 = 1/3 * S * \text{sum}12 = -1808,44 \text{ m-kg}$   
 $M2 = 1/3 * S * \text{sum}13 = 437,2619 \text{ m-kg}$   
 Amplitude of the exciting moment  
 $M0 = \text{SQRT}(M1^2 + M2^2) = 790762,7 \text{ m-kg}$

Phase angle :

$\theta = \arctan(F2/F1) = 88,38669$   
 $\phi = \arctan(M2/M1) = -13,5926$

Solution of equations of motion

$E = 3815,925$   
 $U = 135484,9$   
 $M = 763614,4$   
 $P = -185843$   
 $S = -11278,3$   
 $Q = 18,91828$   
 $S = 2926,075$   
 $Q = 4,188918$   
 $Q = 6277,499$   
 $= 3860,199$

$R = -4100,63$   
 $V = 3,1E+17$   
 $W = -3848,98$   
 $X = 3,08E+17$   
 $Y = -3,3E+07$   
 $Z = 8112,633$   
 $z1 = 31,68435$   
 $z2 = 120,7768$   
 $PS-QR = -2,2E+07$   
 $O1 = 148,4204$   
 $O2 = 147,2104$   
 $PS-QR = -2,2E+07$   
 $T = 2,09E+15$   
 $FS = 10598149$   
 $FS-MQ = -5,5E+09$   
 $MP = 1,8E+09$   
 $MP-FR = -8,7E+09$   
 $FR = 5,06E+08$   
 $MP-FR = -9,2E+09$   
 $= 2,68E+09$

Heaving amplitude :  
 $Za = \text{SQRT}(z1^2 + z2^2) = 0,21 \text{ m}$

Pitching amplitude :  
 $O = \text{SQRT}(O1^2 + O2^2) = 2,06 \text{ rad}$

Vmodel= 4,432 we= 17,607 s= 0,273 h= 0,1  
 periode= 1,2 Lw= 2,249 disp= 159,117  
 Ww 5,233 ampli= 0,05 kyy= 0,68325

PERHITUNGAN a dan Ayy

NO STAT	Bn (m)	Tn (m)	Sn (m)	$\xi$ (m)	we2xBn/2g	Bn/Tn	BnxTn (m2)	$\beta n$	C
0	0,000	0,278	0,000	1,080	0	0	0	#DIV/0!	0,00
2	0,933	0,278	0,072	0,810	14,74138	3,356115	0,259374	0,277877	0,57
4	0,933	0,278	0,072	0,540	14,74138	3,356115	0,259374	0,277591	0,57
6	0,933	0,278	0,072	0,260	14,74138	3,356115	0,259374	0,277591	0,57
8	0,933	0,278	0,072	-0,010	14,74138	3,356115	0,259374	0,277591	0,57
10	0,933	0,278	0,072	-0,280	14,74138	3,356115	0,259374	0,277591	0,57
12	0,933	0,278	0,072	-0,560	14,74138	3,356115	0,259374	0,277591	0,57
14	0,880	0,278	0,063	-0,830	13,90398	3,165468	0,24464	0,25907	0,51
16	0,540	0,278	0,018	-1,100	8,531987	1,942446	0,15012	0,12041	0,00
18	0,000	0,278	0,000	-1,380	0	0	0	#DIV/0!	0,00
20	0,000	0,278	0,000	-1,650	0	0	0	#DIV/0!	0,00

Bn2	$\rho \xi B \nu^{2/8}$	an	simpson	hasil	$\xi^2$	anx $\xi^2$	simpson	hasil	
0	0	0	1	0	1,1664	0	1	0	
0,87049	341,6669	194,7502	4	779,00061	0,6561	127,7756	4	511,1023	
0,87049	341,6669	194,7502	2	389,5003	0,2916	56,78914	2	113,5783	
0,87049	341,6669	194,7502	4	779,00061	0,0676	13,16511	4	52,66044	
0,87049	341,6669	194,7502	2	389,5003	0,0001	0,019475	2	0,03895	
0,87049	341,6669	194,7502	4	779,00061	0,0784	15,26841	4	61,07365	
0,87049	341,6669	194,7502	2	389,5003	0,3136	61,07365	2	122,1473	
0,7744	303,952	155,0155	4	620,06208	0,6889	106,7902	4	427,1608	
0,2916	114,453	0	2	0	1,21	0	2	0	
0	0	0	4	0	1,9044	0	4	0	
0	0	0	1	0	2,7225	0	1	0	
sum1				4125,5648	sum2				1287,762

PERHITUNGAN b dan B

NO STAT	A	A2	bn	simpson	hasil	bn x $\xi^2$	simpson	hasil		
0	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
2	0,100	0,01	0,176321	4	0,705285	0,115684	4	0,462738		
4	0,100	0,01	0,176321	2	0,352643	0,051415	2	0,102831		
6	0,100	0,01	0,176321	4	0,705285	0,011919	4	0,047677		
8	0,350	0,1225	2,159936	2	4,319873	0,000216	2	0,000432		
10	0,350	0,1225	2,159936	4	8,639745	0,169339	4	0,677356		
12	0,350	0,1225	2,159936	2	4,319873	0,677356	2	1,354712		
14	0,200	0,04	0,705285	4	2,821141	0,485871	4	1,943484		
16	0,085	0,007225	0,127392	2	0,254784	0,154145	2	0,308289		
18	0,000	0	0	4	0	0	4	0		
20	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
sum3					22,11863	sum4				4,897519



PERHITUNGAN c dan C

NO STAT	Cn	simpson	hasil	Cn x $\xi^2$	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0
2	9152,73	4	36610,92	6005,1062	4	24020,42
4	9152,73	2	18305,46	2668,9361	2	5337,872
6	9152,73	4	36610,92	618,72455	4	2474,898
8	9152,73	2	18305,46	0,915273	2	1,830546
10	9152,73	4	36610,92	717,57403	4	2870,296
12	9152,73	2	18305,46	2870,2961	2	5740,592
14	8632,8	4	34531,2	5947,1359	4	23788,54
16	5297,4	2	10594,8	6409,854	2	12819,71
18	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0
		sum5	209875,1		sum6	77054,17

PERHITUNGAN d, e, h, b, D, E, dan H

NO STAT	an x $\xi$	simpson	hasil	bn x $\xi$	simpson	hasil	Cn x $\xi$	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
2	157,7476	4	630,9905	0,1428203	4	0,571281	7413,711	4	29654,85
4	105,1651	2	210,3302	0,0952135	2	0,190427	4942,474	2	9884,948
6	50,63504	4	202,5402	0,0458435	4	0,183374	2379,71	4	9518,839
8	-1,9475	2	-3,895	-0,021599	2	-0,0432	-91,5273	2	-183,055
10	-54,53	4	-218,12	-0,604782	4	-2,41913	-2562,76	4	-10251,1
12	-109,06	2	-218,12	-1,209564	2	-2,41913	-5125,53	2	-10251,1
14	-128,663	4	-514,652	-0,585387	4	-2,34155	-7165,22	4	-28660,9
16	0	2	0	-0,140131	2	-0,28026	-5827,14	2	-11654,3
18	0	4	0	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0	0	1	0
		sum7	89,07394		sum8	-6,55818		sum9	-11941,7

Added mass :

$az = 1/3 * S * sum1 = 37,54264 \text{ kg-s}^2/\text{m}$   
 $Ayy = 1/3 * s * sum2 = 11,71863 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

Damping Coefficient:

$b = 1/3 * S * sum3 = 2,012795 \text{ kg-s}/\text{m}$   
 $B = 1/3 * S * sum4 = 0,445674 \text{ m-kg-s}/\text{rad}$

Restoring force coefficient for heaving :

$c = 1/3 * S * sum5 = 19098,64 \text{ kg}/\text{m}$

Restoring moment coefficient for pitching :

$C = (1/3 * S * sum6) - uE = 7746,72 \text{ m-kg}/\text{rad}$

Coupling terms :

$d = -1/3 * S * sum7 = -8,10573 \text{ kg-s}^2$   
 $D = -1/3 * S * sum7 = -8,10573 \text{ kg-s}^2$   
 $e = (-1/3 * S * sum8) + ua = 166,9858 \text{ kg-s}^2/\text{s}$   
 $E = (-1/3 * S * sum8) - ua = -165,792 \text{ kg-s}^2/\text{s}$   
 $h = (-1/3 * S * sum9) + ub = 1095,617 \text{ kg}$   
 $H = (-1/3 * S * sum9) = 1086,696 \text{ kg}$

Ship mass :

$m = disp/g = 16,21988 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

Ship mass moment of inertia :

$lyy = (disp * kyy^2)/g = 7,571935 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

PERHITUNGAN Exciting Forces dan Moments (F dan M)

NO STAT	k ξ	sin k ξ	cos k ξ	Tm (m)	2π*Trv/Lw	a	Cn x ζ	δ	9	10	11	12	13	14	15
0	3,015168	0,126088	-0,99202	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0		0	0	0	0	0
2	2,261376	0,770877	-0,63698	0,07725	0,215668	1,24069	457,6365	-3018,58	-2560,95		0	0,155222	0,155222	-1974,17	-0,09887
4	1,507584	0,998003	0,06317	0,07717	0,215446	1,240415	457,6365	-3018,58	-2560,95		0	0,155222	0,155222	-2555,83	0,009805
6	0,725874	0,663789	0,74792	0,07717	0,215446	1,240415	457,6365	-3018,58	-2560,95		0	0,155222	0,155222	-1699,93	0,116093
8	-0,02792	-0,02791	0,99961	0,07717	0,215446	1,240415	457,6365	-3018,58	-2560,95		0	1,901466	1,901466	71,48782	1,900725
10	-0,78171	-0,70449	0,70971	0,07717	0,215446	1,240415	457,6365	-3018,58	-2560,95		0	1,901466	1,901466	1804,173	1,349489
12	-1,56342	-0,99997	0,007376	0,07717	0,215446	1,240415	457,6365	-3018,58	-2560,95		0	1,901466	1,901466	2560,878	0,014025
14	-2,31721	-0,73413	-0,67901	0,072022	0,201071	1,222712	431,64	-2402,71	-1971,07		0	0,620887	0,620887	1447,013	-0,42159
16	-3,071	-0,07053	-0,99751	0,033474	0,093454	1,09796	264,87	0	264,87		0	0,112148	0,112148	-18,6811	-0,11187
18	-3,85271	0,652684	-0,75763	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0		0	0	0	0	0
20	-4,60651	0,9944	-0,10568	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0		0	0	0	0	0

16	17	18	19	20	simpson	hasil	23	simpson	hasil	26	simpson	hasil	29	simpson	hasil	
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	
-1974,27	1631,283	0,119657	1631,164	-2449,46	4	-9797,85	2023,768	4	8095,072	-1984,06	4	-7936,26	1639,252	4	6557,008	
-2555,82	-161,775	0,154912	-161,93	-3170,28	2	-6340,56	-200,861	2	-401,722	-1711,95	2	-3423,9	-108,485	2	-216,93	
-1699,81	-1915,38	0,103035	-1915,49	-2108,47	4	-8433,9	-2376	4	-9503,99	-548,203	4	-2192,81	-617,759	4	-2471,04	
73,38854	-2559,95	-0,05308	-2559,9	91,03226	2	182,0645	-3175,33	2	-6350,67	-0,91032	2	-1,82065	31,75334	2	63,50668	
1805,522	-1817,53	-1,33957	-1816,19	2239,597	4	8958,388	-2252,83	4	-9011,32	-627,087	4	-2508,35	630,7922	4	2523,169	
2560,892	-18,8888	-1,90141	-16,9874	3176,569	2	6353,138	-21,0714	2	-42,1429	-1778,88	2	-3557,76	11,8	2	23,6	
1446,591	1338,378	-0,45581	1338,834	1768,765	4	7075,058	1637,008	4	6548,033	-1468,07	4	-5872,3	-1358,72	4	-5434,87	
-13,793	-264,21	-0,00791	-264,202	-20,6339	2	-41,2679	-290,084	2	-580,167	22,69734	2	45,39469	319,0921	2	638,1841	
0	0	0	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	
				sum10		-2044,92		sum11		-11246,9		sum12		sum13		1682,633

Exciting force component

$F1 = 1/3 * S * \text{sum}10 = -186,088 \text{ kg}$   
 $F2 = 1/3 * S * \text{sum}11 = -1023,47 \text{ kg}$   
 Amplitude of the exciting force  
 $Fo = \text{SQRT}(F1^2 + F2^2) = 190455,2 \text{ kg}$   
 $R = -1426,04$   
 $V = 8,15E+15$   
 $PS = 12618664$   
 $z1 = -34,1768$   
 $QR = 3436532$   
 $z2 = 57,36512$   
 $O1 = 26,5172$   
 $O2 = -8,01157$

Exciting moment component

$M1 = 1/3 * S * \text{sum}12 = -2315,75 \text{ m-kg}$   
 $M2 = 1/3 * S * \text{sum}13 = 153,1196 \text{ m-kg}$   
 Amplitude of the exciting moment  
 $Mo = \text{SQRT}(M1^2 + M2^2) = 354586,7 \text{ m-kg}$   
 $FS = 1,75E+08$   
 $O1 = 26,5172$   
 $O2 = -8,01157$   
 $PS - QR = 9182132$   
 $RS - QR = 9182132$   
 $T = 3,07E+14$

Heaving amplitude :

$Za = \text{SQRT}(z1^2 + z2^2) = 0,21 \text{ m}$

Phase angle :

$h = \arctan(F2/F1) = 79,69499$   
 $p = \arctan(M2/M1) = -3,78294$

Pitching amplitude :

$O = \text{SQRT}(O1^2 + O2^2) = 2,06 \text{ rad}$

Solution of equations of motion

$F = 34070,18$   
 $= 187383,1$   
 $M = 353814,1$   
 $= -23394,5$   
 $P = 2432,497$   
 $= 35,43866$   
 $Q = 5187,65$   
 $= 7,846848$   
 $R = 3608,356$   
 $= 2940,067$   
 $U = -1E+16$   
 $= 1,76E+16$   
 $MP = 8,61E+08$   
 $= -4,4E+07$   
 $FR = 4,98E+08$   
 $= -3,7E+08$   
 $MP - FR = 3,63E+08$   
 $= 3,22E+08$

Vmodel= 4,770 we= 37,813 s= 0,273 h= 0,05  
 periode= 0,8 Lw= 1,000 disp= 159,117  
 Ww 7,850 ampli= 0,025 kyy= 0,68325

PERHITUNGAN a dan Ayy

NO STAT	Bn (m)	Tn (m)	Sn (m)	$\xi$ (m)	we2xBn/2g	Bn/Tn	BnxTn (m2)	$\beta n$	C
0	0,000	0,278	0,000	1,080	0	0	0	#DIV/0!	0,00
2	0,933	0,278	0,072	0,810	67,99395	3,356115	0,259374	0,277877	0,43
4	0,933	0,278	0,072	0,540	67,99395	3,356115	0,259374	0,277591	0,43
6	0,933	0,278	0,072	0,260	67,99395	3,356115	0,259374	0,277591	0,44
8	0,933	0,278	0,072	-0,010	67,99395	3,356115	0,259374	0,277591	0,43
10	0,933	0,278	0,072	-0,280	67,99395	3,356115	0,259374	0,277591	0,43
12	0,933	0,278	0,072	-0,560	67,99395	3,356115	0,259374	0,277591	0,43
14	0,880	0,278	0,063	-0,830	64,13149	3,165468	0,24464	0,25907	0,38
16	0,540	0,278	0,018	-1,100	39,35341	1,942446	0,15012	0,12041	0,00
18	0,000	0,278	0,000	-1,380	0	0	0	#DIV/0!	0,00
20	0,000	0,278	0,000	-1,650	0	0	0	#DIV/0!	0,00

Bn2	$\rho \pi \xi B n^2 / 8$	an	simpson	hasil	$\xi^2$	anx $\xi^2$	simpson	hasil	
0	0	0	1	0	1,1664	0	1	0	
0,87049	341,6669	146,9168	4	587,66712	0,6561	96,3921	4	385,5684	
0,87049	341,6669	146,9168	2	293,83356	0,2916	42,84093	2	85,68187	
0,87049	341,6669	148,9668	4	595,86713	0,0676	10,07015	4	40,28062	
0,87049	341,6669	146,9168	2	293,83356	0,0001	0,014692	2	0,029383	
0,87049	341,6669	146,9168	4	587,66712	0,0784	11,51828	4	46,0731	
0,87049	341,6669	146,9168	2	293,83356	0,3136	46,0731	2	92,14621	
0,7744	303,952	115,5018	4	462,00704	0,6889	79,56916	4	318,2766	
0,2916	114,453	0	2	0	1,21	0	2	0	
0	0	0	4	0	1,9044	0	4	0	
0	0	0	1	0	2,7225	0	1	0	
sum1				3114,7091	sum2				968,0562

PERHITUNGAN b dan B

NO STAT	A	A2	bn	simpson	hasil	bn x $\xi^2$	simpson	hasil		
0	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
2	0,100	0,01	0,017799	4	0,071198	0,011678	4	0,046713		
4	0,100	0,01	0,017799	2	0,035599	0,00519	2	0,010381		
6	0,100	0,01	0,017799	4	0,071198	0,001203	4	0,004813		
8	0,350	0,1225	0,218043	2	0,436086	2,18E-05	2	4,36E-05		
10	0,350	0,1225	0,218043	4	0,872173	0,017095	4	0,068378		
12	0,350	0,1225	0,218043	2	0,436086	0,068378	2	0,136757		
14	0,200	0,04	0,071198	4	0,284791	0,049048	4	0,196193		
16	0,085	0,007225	0,01286	2	0,02572	0,015561	2	0,031121		
18	0,000	0	0	4	0	0	4	0		
20	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
sum3					2,232852	sum4				0,494399

PERHITUNGAN c dan C

NO STAT	Cn	simpson	hasil	Cn x ξ <sup>2</sup>	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0
2	9152,73	4	36610,92	6005,1062	4	24020,42
4	9152,73	2	18305,46	2668,9361	2	5337,872
6	9152,73	4	36610,92	618,72455	4	2474,898
8	9152,73	2	18305,46	0,915273	2	1,830546
10	9152,73	4	36610,92	717,57403	4	2870,296
12	9152,73	2	18305,46	2870,2961	2	5740,592
14	8632,8	4	34531,2	5947,1359	4	23788,54
16	5297,4	2	10594,8	6409,854	2	12819,71
18	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0
		sum5	209875,1		sum6	77054,17

PERHITUNGAN d, e, h, b, D, E, dan H

NO STAT	an x ξ	simpson	hasil	bn x ξ	simpson	hasil	Cn x ξ	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
2	119,0026	4	476,0104	0,0144176	4	0,05767	7413,711	4	29654,85
4	79,33506	2	158,6701	0,0096117	2	0,019223	4942,474	2	9884,948
6	38,73136	4	154,9255	0,0046279	4	0,018511	2379,71	4	9518,839
8	-1,46917	2	-2,93834	-0,00218	2	-0,00436	-91,5273	2	-183,055
10	-41,1367	4	-164,547	-0,061052	4	-0,24421	-2562,76	4	-10251,1
12	-82,2734	2	-164,547	-0,122104	2	-0,24421	-5125,53	2	-10251,1
14	-95,8665	4	-383,466	-0,059094	4	-0,23638	-7165,22	4	-28660,9
16	0	2	0	-0,014146	2	-0,02829	-5827,14	2	-11654,3
18	0	4	0	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0	0	1	0
		sum7	74,10818		sum8	-0,66204		sum9	-11941,7

Added mass :

$az = 1/3 * S * \text{sum}1 = 28,34385 \text{ kg-s}^2/\text{m}$   
 $Ayy = 1/3 * s * \text{sum}2 = 8,809312 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

Damping Coefficient:

$b = 1/3 * S * \text{sum}3 = 0,20319 \text{ kg-s}/\text{m}$   
 $B = 1/3 * S * \text{sum}4 = 0,04499 \text{ m-kg-s}/\text{rad}$

Restoring force coefficient for heaving :

$c = 1/3 * S * \text{sum}5 = 19098,64 \text{ kg}/\text{m}$

Restoring moment coefficient for pitching :

$C = (1/3 * S * \text{sum}6) - uE = 7656,547 \text{ m-kg}/\text{rad}$

Coupling terms :

$d = -1/3 * S * \text{sum}7 = -6,74384 \text{ kg-s}^2$   
 $D = -1/3 * S * \text{sum}7 = -6,74384 \text{ kg-s}^2$   
 $e = (-1/3 * S * \text{sum}8) + ua = 135,2604 \text{ kg-s}^2/\text{s}$   
 $E = (-1/3 * S * \text{sum}8) - ua = -135,14 \text{ kg-s}^2/\text{s}$   
 $h = (-1/3 * S * \text{sum}9) + ub = 1087,665 \text{ kg}$   
 $H = (-1/3 * S * \text{sum}9) = 1086,696 \text{ kg}$

PERHITUNGAN Exciting Forces dan Moments (F dan M)

NO STAT	k ξ	sin k ξ	cos k ξ	Tm (m)	2π*Tm/Lw	e	Cn x ζ	8	9	10	11	12	13	14	15
0	6,784128	0,480253	0,877113	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5,088096	-0,93025	0,366931	0,07725	0,485252	1,624584	228,8183	-5251,69	-5022,87	0	0,016826	0,016826	4672,518	0,006174	0
4	3,392064	-0,24766	-0,9668	0,07717	0,484754	1,623775	228,8183	-5251,69	-5022,87	0	0,016826	0,016826	1244,973	-0,0163	0
6	1,633216	0,998053	-0,06238	0,07717	0,484754	1,623775	228,8183	-5324,97	-5096,15	0	0,016826	0,016826	-5086,23	-0,00105	0
8	-0,06282	-0,06277	0,998028	0,07717	0,484754	1,623775	228,8183	-5251,69	-5022,87	0	0,206123	0,206123	315,3093	0,205716	0
10	-1,75685	-0,98237	-0,18695	0,07717	0,484754	1,623775	228,8183	-5251,69	-5022,87	0	0,206123	0,206123	4934,32	-0,03853	0
12	-3,51177	0,367299	-0,9301	0,07717	0,484754	1,623775	228,8183	-5251,69	-5022,87	0	0,206123	0,206123	-1844,9	-0,19172	0
14	-5,21373	0,87894	0,480601	0,072022	0,452411	1,572098	215,82	-4128,73	-3912,91	0	0,067305	0,067305	-3431,36	0,032347	0
16	-6,90976	-0,58637	0,810041	0,033474	0,210271	1,234012	132,435	0	132,435	0	0,012157	0,012157	-77,6564	0,009848	0
18	-8,66861	-0,66814	-0,72747	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	-10,3646	0,807477	-0,5899	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0

16	17	18	19	20	simpson	hasil	23	simpson	hasil	26	simpson	hasil	29	simpson	hasil	
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	
4672,524	-1843,05	-0,01565	-1843,03	7590,909	4	30363,63	-2994,16	4	-11976,6	6148,636	4	24594,54	-2425,27	4	-9701,07	
1244,957	4866,136	-0,00417	4866,14	2021,53	2	4043,06	7901,517	2	15803,03	1091,626	2	2183,252	4266,819	2	8533,638	
-5086,23	317,8941	0,016794	317,8773	-8258,89	4	-33035,6	516,1612	4	2064,645	-2147,31	4	-8589,24	134,2019	4	536,8077	
315,515	-5012,96	-0,01294	-5012,95	512,3253	2	1024,651	-8139,91	2	-16279,8	-5,12325	2	-10,2465	81,39906	2	162,7981	
4934,261	939,0026	-0,20249	939,2051	8012,163	4	32048,65	1525,058	4	6100,231	-2243,41	4	-8973,62	-427,016	4	-1708,06	
-1845,09	4671,787	0,075709	4671,711	-2996,01	2	-5992,02	7585,808	2	15171,62	1677,765	2	3355,529	-4248,05	2	-8496,11	
-3431,35	-1860,55	0,059023	-1860,6	-5394,42	4	-21577,7	-2956,49	4	-11826	4477,369	4	17909,47	2453,69	4	9815,56	
-77,6466	107,2777	-0,00713	107,2848	-95,8168	2	-191,634	132,3908	2	264,7816	105,3985	2	210,797	-145,63	2	-291,26	
0	0	0	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	
					sum10	6683,11			sum11	-678,109			sum12	30680,48		
													sum13	-1147,69		

Exciting force component

F1=1/3\*S\*sum10 = 608,163 kg  
 F2=1/3\*S\*sum11 = -61,7079 kg  
 Amplitude of the exciting force  
 Fo=SQRT(F1^2+F2^2) = 37528,46 kg

R= -8555,93  
 = -5110,08  
 PS= -1,4E+08  
 = 14868,21  
 QR= -6,6E+07  
 = -9,9E+07  
 PS-QR= -7,7E+07

V= 4,96E+17  
 = 5,52E+17  
 z1= 5,678235  
 z2= 25,26341

Exciting moment component

M1=1/3\*S\*sum12 = 2791,924 m-kg  
 M2=1/3\*S\*sum13 = -104,44 m-kg  
 Amplitude of the exciting moment  
 Mo=SQRT(M1^2+M2^2) = 291589,1 m-kg

O1= 31,56284  
 O2= 35,08969  
 PS-QR= -7,7E+07  
 PS-QR= -7,7E+07  
 T= 1,57E+16

Heaving amplitude :  
 Za=SQRT(z1^2+z2^2) = 0,1 m

Phase angle :

n=arctan(F2/F1) = -5,79375  
 p=arctan(M2/M1) = -2,14232

FS= 2,49E+08  
 = -2,5E+07  
 MQ= 3,18E+09  
 = 1,37E+09

Pitching amplitude :  
 O=SQRT(O1^2+O2^2) = 4 rad

Solution of equations of motion

E= 37336,76  
 = -3788,41  
 M= 291385,3  
 = -10900,1  
 P= -21428,6  
 = 7,683253  
 S= 6679,608  
 = 1,70123  
 Q= 10730,29  
 = 5114,634

FS-MQ= -2,9E+09  
 = -1,4E+09  
 U= 8,93E+16  
 = 3,96E+17  
 MP= -6,2E+09  
 = 2,36E+08  
 FR= 3,4E+08  
 = -1,6E+08  
 MP-FR= -5,9E+09  
 = 3,94E+08

Vmodel= 4,770 we= 25,456 s= 0,273 h= 0,1  
 periode= 1 Lw= 1,562 disp= 159,117  
 Ww 6,280 ampli= 0,05 kyy= 0,68325

PERHITUNGAN a dan Ayy

NO STAT	Bn (m)	Tn (m)	Sn (m)	$\xi$ (m)	we2xBn/2g	Bn/Tn	BnxTn (m2)	$\beta n$	C
0	0,000	0,278	0,000	1,080	0	0	0	#DIV/0!	0,00
2	0,933	0,278	0,072	0,810	30,81619	3,356115	0,259374	0,277877	0,45
4	0,933	0,278	0,072	0,540	30,81619	3,356115	0,259374	0,277591	0,45
6	0,933	0,278	0,072	0,260	30,81619	3,356115	0,259374	0,277591	0,45
8	0,933	0,278	0,072	-0,010	30,81619	3,356115	0,259374	0,277591	0,45
10	0,933	0,278	0,072	-0,280	30,81619	3,356115	0,259374	0,277591	0,45
12	0,933	0,278	0,072	-0,560	30,81619	3,356115	0,259374	0,277591	0,45
14	0,880	0,278	0,063	-0,830	29,06565	3,165468	0,24464	0,25907	0,42
16	0,540	0,278	0,018	-1,100	17,83574	1,942446	0,15012	0,12041	0,00
18	0,000	0,278	0,000	-1,380	0	0	0	#DIV/0!	0,00
20	0,000	0,278	0,000	-1,650	0	0	0	#DIV/0!	0,00

Bn2	$\rho \pi \xi B n^2 / 8$	an	simpson	hasil	$\xi^2$	anx $\xi^2$	simpson	hasil	
0	0	0	1	0	1,1664	0	1	0	
0,87049	341,6669	153,7501	4	615,00048	0,6561	100,8755	4	403,5018	
0,87049	341,6669	153,7501	2	307,50024	0,2916	44,83353	2	89,66707	
0,87049	341,6669	153,7501	4	615,00048	0,0676	10,39351	4	41,57403	
0,87049	341,6669	153,7501	2	307,50024	0,0001	0,015375	2	0,03075	
0,87049	341,6669	153,7501	4	615,00048	0,0784	12,05401	4	48,21604	
0,87049	341,6669	153,7501	2	307,50024	0,3136	48,21604	2	96,43208	
0,7744	303,952	127,6598	4	510,63936	0,6889	87,94486	4	351,7795	
0,2916	114,453	0	2	0	1,21	0	2	0	
0	0	0	4	0	1,9044	0	4	0	
0	0	0	1	0	2,7225	0	1	0	
sum1				3278,1415	sum2				1031,201

PERHITUNGAN b dan B

NO STAT	A	A2	bn	simpson	hasil	bn x $\xi^2$	simpson	hasil		
0	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
2	0,100	0,01	0,058337	4	0,233348	0,038275	4	0,153099		
4	0,100	0,01	0,058337	2	0,116674	0,017011	2	0,034022		
6	0,100	0,01	0,058337	4	0,233348	0,003944	4	0,015774		
8	0,350	0,1225	0,714627	2	1,429255	7,15E-05	2	0,000143		
10	0,350	0,1225	0,714627	4	2,858509	0,056027	4	0,224107		
12	0,350	0,1225	0,714627	2	1,429255	0,224107	2	0,448214		
14	0,200	0,04	0,233348	4	0,933391	0,160753	4	0,643013		
16	0,085	0,007225	0,042148	2	0,084297	0,051	2	0,101999		
18	0,000	0	0	4	0	0	4	0		
20	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
sum3					7,318075	sum4				1,620372

PERHITUNGAN c dan C

NO STAT	Cn	simpson	hasil	Cn x ξ <sup>2</sup>	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0
2	9152,73	4	36610,92	6005,1062	4	24020,42
4	9152,73	2	18305,46	2668,9361	2	5337,872
6	9152,73	4	36610,92	618,72455	4	2474,898
8	9152,73	2	18305,46	0,915273	2	1,830546
10	9152,73	4	36610,92	717,57403	4	2870,296
12	9152,73	2	18305,46	2870,2961	2	5740,592
14	8632,8	4	34531,2	5947,1359	4	23788,54
16	5297,4	2	10594,8	6409,854	2	12819,71
18	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0
		sum5	209875,1		sum6	77054,17

PERHITUNGAN d, e, h, b, D, E, dan H

NO STAT	an x ξ	simpson	hasil	bn x ξ	simpson	hasil	Cn x ξ	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
2	124,5376	4	498,1504	0,0472529	4	0,189012	7413,711	4	29654,85
4	83,02506	2	166,0501	0,0315019	2	0,063004	4942,474	2	9884,948
6	39,97503	4	159,9001	0,0151676	4	0,06067	2379,71	4	9518,839
8	-1,5375	2	-3,075	-0,007146	2	-0,01429	-91,5273	2	-183,055
10	-43,05	4	-172,2	-0,200096	4	-0,80038	-2562,76	4	-10251,1
12	-86,1001	2	-172,2	-0,400191	2	-0,80038	-5125,53	2	-10251,1
14	-105,958	4	-423,831	-0,193679	4	-0,77471	-7165,22	4	-28660,9
16	0	2	0	-0,046363	2	-0,09273	-5827,14	2	-11654,3
18	0	4	0	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0	0	1	0
		sum7	52,7947		sum8	-2,16981		sum9	-11941,7

**Added mass :**

$az = 1/3 * S * \text{sum1} = 29,83109 \text{ kg-s}^2/\text{m}$   
 $Ayy = 1/3 * s * \text{sum2} = 9,383931 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

**Damping Coefficient:**

$b = 1/3 * S * \text{sum3} = 0,665945 \text{ kg-s}/\text{m}$   
 $B = 1/3 * S * \text{sum4} = 0,147454 \text{ m-kg-s}/\text{rad}$

**Restoring force coefficient for heaving :**

$c = 1/3 * S * \text{sum5} = 19098,64 \text{ kg}/\text{m}$

**Restoring moment coefficient for pitching :**

$C = (1/3 * S * \text{sum6}) * uE = 7689,731 \text{ m-kg}/\text{rad}$

**Coupling terms :**

$d = -1/3 * S * \text{sum7} = -4,80432 \text{ kg-s}^2$   
 $D = -1/3 * S * \text{sum7} = -4,80432 \text{ kg-s}^2$   
 $e = (-1/3 * S * \text{sum8}) + ua = 142,4917 \text{ kg-s}^2/\text{s}$   
 $E = (-1/3 * S * \text{sum8}) - ua = -142,097 \text{ kg-s}^2/\text{s}$   
 $h = (-1/3 * S * \text{sum9}) + ub = 1089,872 \text{ kg}$   
 $H = (-1/3 * S * \text{sum9}) = 1086,696 \text{ kg}$

**Ship mass :**

$m = \text{disp}/g = 16,21988 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

**Ship mass moment of inertia :**

$Iyy = (\text{disp} * kyy^2) / g = 7,571935 \text{ kg-s}^2\text{-m}$

PERHITUNGAN Exciting Forces dan Moments (F dan M)

NO STAT	k ξ	sin k ξ	cos k ξ	Tm (m)	2π*Tm/Lw	e	Cn x ζ	8	9	10	11	12	13	14	15
0	4,341842	-0,93213	-0,36213	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3,256382	-0,11454	-0,99342	0,07725	0,310561	1,364191	457,6365	-4981,75	-4524,11	0	0,074253	0,074253	0,074253	518,1788	-0,07376
4	2,170921	0,825265	-0,56475	0,07717	0,310242	1,363756	457,6365	-4981,75	-4524,11	0	0,074253	0,074253	0,074253	-3733,59	-0,04193
6	1,045258	0,865054	0,501678	0,07717	0,310242	1,363756	457,6365	-4981,75	-4524,11	0	0,074253	0,074253	0,074253	-3913,6	0,037251
8	-0,0402	-0,04019	0,999192	0,07717	0,310242	1,363756	457,6365	-4981,75	-4524,11	0	0,909594	0,909594	0,909594	181,8305	0,906859
10	-1,12566	-0,90255	0,430578	0,07717	0,310242	1,363756	457,6365	-4981,75	-4524,11	0	0,909594	0,909594	0,909594	4083,252	0,391652
12	-2,25133	-0,77724	-0,6292	0,07717	0,310242	1,363756	457,6365	-4981,75	-4524,11	0	0,909594	0,909594	0,909594	3516,32	-0,57232
14	-3,33679	0,193966	-0,96101	0,072022	0,289543	1,335817	431,64	-4136,38	-3704,74	0	0,29701	0,29701	0,29701	-718,558	-0,29137
16	-4,42225	0,958203	-0,26609	0,033474	0,134573	1,144048	264,87	0	264,87	0	0,053648	0,053648	0,053648	253,7993	-0,01535
18	-5,54791	0,670792	0,741646	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	-6,63337	-0,34307	0,939309	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0

16	17	18	19	20	simpson	hasil	23	simpson	hasil	26	simpson	hasil	29	simpson	hasil
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0
518,1048	4494,339	-0,0085	4494,347	706,7937	4	2827,175	6131,146	4	24524,59	572,5029	4	2290,012	4966,228	4	19864,91
-3733,63	2554,972	0,061278	2554,911	-5091,76	2	-10183,5	3484,274	2	6968,547	-2749,55	2	-5499,11	1881,508	2	3763,015
-3913,56	-2269,65	0,064233	-2269,71	-5337,15	4	-21348,6	-3095,34	4	-12381,3	-1367,66	4	-5550,63	-804,787	4	-3219,15
182,7393	-4520,46	-0,03656	-4520,42	249,2118	2	496,4236	-6164,75	2	-12329,5	-2,49212	2	-4,98424	61,64748	2	123,295
4083,644	-1947,99	-0,82096	-1947,16	5569,092	4	22276,37	-2655,46	4	-10621,8	-1559,35	4	-6237,38	743,5277	4	2974,111
3515,748	2846,592	-0,70697	2847,299	4794,621	2	9589,242	3863,02	2	7766,039	-2684,99	2	-5369,98	-2174,49	2	-4348,98
-718,85	3634,39	0,057607	3634,332	-960,251	4	-3641,01	4854,802	4	19419,21	797,0087	4	3168,035	-4029,49	4	-16117,9
253,7839	-75,7763	0,051405	-75,8277	290,3411	2	580,6822	-86,7505	2	-173,501	-319,375	2	-638,75	95,4256	2	190,8512
0	0	0	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0
sum10						398,7708		sum11	23172,22		sum12	-17622,8		sum13	3230,114

Exciting force component

$F1 = 1/3 * S * sum10 = 36,28814 \text{ kg}$   
 $F2 = 1/3 * S * sum11 = 2108,672 \text{ kg}$   
 Amplitude of the exciting force  
 $F0 = \text{SQRT}(F1^2 + F2^2) = 76519,78 \text{ kg}$

Exciting moment component

$M1 = 1/3 * S * sum12 = -1621,87 \text{ m-kg}$   
 $M2 = 1/3 * S * sum13 = 293,9403 \text{ m-kg}$   
 Amplitude of the exciting moment  
 $M0 = \text{SQRT}(M1^2 + M2^2) = 476734 \text{ m-kg}$

Phase angle :

$\theta = \arctan(F2/F1) = 89,01409$   
 $\phi = \arctan(M2/M1) = -10,2725$

Solution of equations of motion

$F = 1316,634$   
 $= 76508,45$   
 $M = 469092,3$   
 $= -85016$   
 $P = -10743,9$   
 $= -16,9526$   
 $S = 2340,108$   
 $= 3,753655$   
 $Q = 4203,223$   
 $= 3627,337$

$R = -2026,86$   
 $V = 1,82E+17$   
 $= -3617,28$   
 $= 8,77E+16$   
 $PS = -2,5E+07$   
 $QR = 4602622$   
 $O1 = 130,8996$   
 $O2 = 62,91135$   
 $PS-QR = -3E+07$   
 $T = 1,39E+15$   
 $FS = 2793881$   
 $FS-MQ = -2,3E+09$   
 $FS-MQ = -2,3E+09$   
 $U = 4,15E+16$   
 $MP = -5E+09$   
 $FR = 2,74E+08$   
 $MP-FR = -5,3E+09$   
 $= 1,08E+09$

Heaving amplitude :

$Za = \text{SQRT}(z1^2 + z2^2) = 0,12 \text{ m}$

Pitching amplitude :

$O = \text{SQRT}(O1^2 + O2^2) = 3,4 \text{ rad}$



Vmodel= 4,770 we= 18,550 s= 0,273 h= 0,1  
 periode= 1,2 Lw= 2,249 disp= 159,117  
 Ww 5,233 ampli= 0,05 kyy= 0,68325

PERHITUNGAN a dan Ayy

NO STAT	Bn (m)	Tn (m)	Sn (m)	$\xi$ (m)	we2xBn/2g	Bn/Tn	BnxTn (m2)	$\beta n$	C
0	0,000	0,278	0,000	1,080	0	0	0	#DIV/0!	0,00
2	0,933	0,278	0,072	0,810	16,36386	3,356115	0,259374	0,277877	0,47
4	0,933	0,278	0,072	0,540	16,36386	3,356115	0,259374	0,277591	0,47
6	0,933	0,278	0,072	0,260	16,36386	3,356115	0,259374	0,277591	0,47
8	0,933	0,278	0,072	-0,010	16,36386	3,356115	0,259374	0,277591	0,47
10	0,933	0,278	0,072	-0,280	16,36386	3,356115	0,259374	0,277591	0,47
12	0,933	0,278	0,072	-0,560	16,36386	3,356115	0,259374	0,277591	0,47
14	0,880	0,278	0,063	-0,830	15,43429	3,165468	0,24464	0,25907	0,45
16	0,540	0,278	0,018	-1,100	9,471044	1,942446	0,15012	0,12041	0,00
18	0,000	0,278	0,000	-1,380	0	0	0	#DIV/0!	0,00
20	0,000	0,278	0,000	-1,650	0	0	0	#DIV/0!	0,00

Bn2	$p\pi\xi Bn/2g$	an	simpson	hasil	$\xi^2$	anx $\xi^2$	simpson	hasil	
0	0	0	1	0	1,1664	0	1	0	
0,87049	341,6669	160,5835	4	642,33383	0,6561	105,3588	4	421,4352	
0,87049	341,6669	160,5835	2	321,16692	0,2916	46,82614	2	93,65227	
0,87049	341,6669	160,5835	4	642,33383	0,0676	10,85544	4	43,42177	
0,87049	341,6669	160,5835	2	321,16692	0,0001	0,016058	2	0,032117	
0,87049	341,6669	160,5835	4	642,33383	0,0784	12,58974	4	50,35897	
0,87049	341,6669	160,5835	2	321,16692	0,3136	50,35897	2	100,7179	
0,7744	303,952	136,7784	4	547,1136	0,6889	94,22664	4	376,9066	
0,2916	114,453	0	2	0	1,21	0	2	0	
0	0	0	4	0	1,9044	0	4	0	
0	0	0	1	0	2,7225	0	1	0	
sum1				3437,6158	sum2				1086,525

PERHITUNGAN b dan B

NO STAT	A	A2	bn	simpson	hasil	bn x $\xi^2$	simpson	hasil		
0	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
2	0,100	0,01	0,150759	4	0,603036	0,098913	4	0,395652		
4	0,100	0,01	0,150759	2	0,301518	0,043961	2	0,087923		
6	0,100	0,01	0,150759	4	0,603036	0,010191	4	0,040765		
8	0,350	0,1225	1,846798	2	3,693596	0,000185	2	0,000369		
10	0,350	0,1225	1,846798	4	7,387193	0,144789	4	0,579156		
12	0,350	0,1225	1,846798	2	3,693596	0,579156	2	1,158312		
14	0,200	0,04	0,603036	4	2,412145	0,415432	4	1,661726		
16	0,085	0,007225	0,108923	2	0,217847	0,131797	2	0,263595		
18	0,000	0	0	4	0	0	4	0		
20	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
sum3					18,91197	sum4				4,187498

PERHITUNGAN Exciting Forces dan Moments (F dan M)

NO STAT	k ξ	sin k ξ	cos k ξ	Tm (m)	2π*Tm/Lw	α	Cn x ζ	8	9	10	11	12	13	14	15
0	3,015168	0,126088	-0,99202	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0		0	0	0	0	0
2	2,261376	0,770877	-0,63698	0,07725	0,215868	1,24069	457,6365	-2762,96	-2305,32		0	0,139831	0,139831	-1777,12	-0,08907
4	1,507584	0,998003	0,06317	0,07717	0,215446	1,240415	457,6365	-2762,96	-2305,32		0	0,139831	0,139831	-2300,71	0,008833
6	0,725874	0,663789	0,74792	0,07717	0,215446	1,240415	457,6365	-2762,96	-2305,32		0	0,139831	0,139831	-1530,25	0,104583
8	-0,02792	-0,02791	0,99961	0,07717	0,215446	1,240415	457,6365	-2762,96	-2305,32		0	1,712935	1,712935	64,35206	1,712268
10	-0,78171	-0,70449	0,70971	0,07717	0,215446	1,240415	457,6365	-2762,96	-2305,32		0	1,712935	1,712935	1624,084	1,215687
12	-1,56342	-0,99997	0,007376	0,07717	0,215446	1,240415	457,6365	-2762,96	-2305,32		0	1,712935	1,712935	2305,258	0,012634
14	-2,31721	-0,73413	-0,67901	0,072022	0,201071	1,222712	431,64	-2353,37	-1921,73		0	0,559326	0,559326	1410,795	-0,37979
16	-3,071	-0,07053	-0,99751	0,033474	0,093454	1,09796	264,87	0	264,87		0	0,101028	0,101028	-18,6811	-0,10078
18	-3,85271	0,652684	-0,75763	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0		0	0	0	0	0
20	-4,60651	0,9944	-0,10588	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0		0	0	0	0	0

16	17	18	19	20	simpson	hasil	23	simpson	hasil	26	simpson	hasil	29	simpson	hasil			
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0			
-1777,21	1468,452	0,107793	1468,344	-2204,96	4	-8819,85	1821,76	4	7287,039	-1786,02	4	-7144,08	1475,625	4	5902,501			
-2300,71	-145,627	0,139552	-145,767	-2853,83	2	-5707,66	-180,811	2	-361,623	-1541,07	2	-3082,14	-97,6382	2	-195,276			
-1520,14	-1724,19	0,092819	-1724,29	-1898,01	4	-7592,04	-2138,83	4	-8555,32	-493,483	4	-1973,93	-556,096	4	-2224,38			
66,06432	-2304,42	-0,04782	-2304,37	81,94719	2	163,8944	-2958,38	2	-5716,76	-0,81947	2	-1,63894	28,58379	2	57,16758			
1625,3	-1636,11	-1,20675	-1634,9	2016,046	4	8064,186	-2027,96	4	-8111,82	-564,493	4	-2257,97	567,8275	4	2271,31			
2305,269	-17,0034	-1,71289	-15,2905	2859,491	2	5718,981	-18,9685	2	-37,9331	-1601,31	2	-3202,63	10,62127	2	21,24254			
1410,416	1304,88	-0,41062	1305,29	1724,532	4	6898,13	1595,994	4	6383,977	-1431,36	4	-5725,45	-1324,68	4	-5298,7			
-18,7819	-264,21	-0,00713	-264,203	-20,6218	2	-41,2435	-290,085	2	-580,169	22,68395	2	45,36789	319,093	2	638,186			
0	0	0	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0			
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0			
				sum10		-1315,6		sum11		-9692,61		sum12		-23342,5		sum13		1172,046

Exciting force component

$F1 = 1/3 * S * \text{sum10} = -119,72 \text{ kg}$   
 $F2 = 1/3 * S * \text{sum11} = -882,028 \text{ kg}$   
 Amplitude of the exciting force  
 $F0 = \text{SQRT}(F1^2 + F2^2) = 105596,2 \text{ kg}$   
 $R = -281,883$   
 $V = 2,53E+15$   
 $PS = 13433153$   
 $QR = 6967410$   
 $z1 = -39,8337$   
 $z2 = 33,89773$

Exciting moment component

$M1 = 1/3 * S * \text{sum12} = -2124,16 \text{ m-k}$   
 $M2 = 1/3 * S * \text{sum13} = 106,6562 \text{ m-k}$   
 Amplitude of the exciting moment  
 $M0 = \text{SQRT}(M1^2 + M2^2) = 226555,3 \text{ m-k}$   
 $PS-QR = 6465743$   
 $O1 = 24,86844$   
 $O2 = -22,9207$   
 $T = 1,02E+14$

Heaving amplitude :

$Za = \text{SQRT}(z1^2 + z2^2) = 0,19 \text{ m}$

Pitching amplitude :

$O = \text{SuRT}(O1^2 + O2^2) = 3,24 \text{ rad}$

Phase angle :

$\theta = \arctan(F2/F1) = 82,27034$   
 $\phi = \arctan(M2/M1) = -2,87446$

Solution of equations of motion

$F = 14202,6$   
 $= 104636,7$   
 $M = 226270,2$   
 $= -11361,2$   
 $P = 2752,443$   
 $= 31,92491$   
 $S = 4880,529$   
 $= 7,068831$   
 $Q = 2463,484$   
 $= 2777,482$   
 $FS-MQ = -5,2E+08$   
 $= -9E+07$   
 $U = -4,1E+15$   
 $= 3,46E+15$   
 $MP = 6,23E+08$   
 $= -2,4E+07$   
 $FR = 2,85E+08$   
 $= -6,9E+07$   
 $MP-FR = 3,39E+08$   
 $= 44626479$

Vmodel= 4,770 we= 14,270 s= 0,273 h= 0,1  
 periode= 1,4 Lw= 3,062 disp= 159,117  
 Ww 4,486 ampli= 0,05 kyy= 0,68325

PERHITUNGAN a dan Ayy

NO STAT	Bn (m)	Tn (m)	Sn (m)	$\xi$ (m)	$w_{e2} \times B_n / 2g$	Bn/Tn	Bn x Tn (m <sup>2</sup> )	$\beta_n$	C
0	0,000	0,278	0,000	1,080	0	0	0	#DIV/0!	0,00
2	0,933	0,278	0,072	0,810	9,682955	3,356115	0,259374	0,277877	0,52
4	0,933	0,278	0,072	0,540	9,682955	3,356115	0,259374	0,277591	0,52
6	0,933	0,278	0,072	0,260	9,682955	3,356115	0,259374	0,277591	0,52
8	0,933	0,278	0,072	-0,010	9,682955	3,356115	0,259374	0,277591	0,52
10	0,933	0,278	0,072	-0,280	9,682955	3,356115	0,259374	0,277591	0,52
12	0,933	0,278	0,072	-0,560	9,682955	3,356115	0,259374	0,277591	0,52
14	0,880	0,278	0,063	-0,830	9,132905	3,165468	0,24464	0,25907	0,49
16	0,540	0,278	0,018	-1,100	5,604283	1,942446	0,15012	0,12041	0,00
18	0,000	0,278	0,000	-1,380	0	0	0	#DIV/0!	0,00
20	0,000	0,278	0,000	-1,650	0	0	0	#DIV/0!	0,00

Bn2	$\rho \pi \xi B_n^2 / 8$	an	simpson	hasil	$\xi^2$	an x $\xi^2$	simpson	hasil	
0	0	0	1	0	1,1664	0	1	0	
0,87049	341,6669	177,6668	4	710,66722	0,6561	116,5672	4	466,2688	
0,87049	341,6669	177,6668	2	355,33361	0,2916	51,80764	2	103,6153	
0,87049	341,6669	177,6668	4	710,66722	0,0676	12,01028	4	48,0411	
0,87049	341,6669	177,6668	2	355,33361	0,0001	0,017767	2	0,035533	
0,87049	341,6669	177,6668	4	710,66722	0,0784	13,92908	4	55,71631	
0,87049	341,6669	177,6668	2	355,33361	0,3136	55,71631	2	111,4326	
0,7744	303,952	148,9365	4	595,74592	0,6889	102,6023	4	410,4094	
0,2916	114,453	0	2	0	1,21	0	2	0	
0	0	0	4	0	1,9044	0	4	0	
0	0	0	1	0	2,7225	0	1	0	
sum1				3793,7484	sum2				1195,519

PERHITUNGAN b dan B

NO STAT	A	A <sup>2</sup>	bn	simpson	hasil	bn x $\xi^2$	simpson	hasil		
0	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
2	0,100	0,01	0,331207	4	1,32483	0,217305	4	0,869221		
4	0,100	0,01	0,331207	2	0,662415	0,09658	2	0,19316		
6	0,100	0,01	0,331207	4	1,32483	0,02239	4	0,089558		
8	0,350	0,1225	4,057291	2	8,114583	0,000406	2	0,000811		
10	0,350	0,1225	4,057291	4	16,22917	0,318092	4	1,272367		
12	0,350	0,1225	4,057291	2	8,114583	1,272367	2	2,544733		
14	0,200	0,04	1,32483	4	5,299319	0,912675	4	3,650701		
16	0,085	0,007225	0,239297	2	0,478595	0,28955	2	0,5791		
18	0,000	0	0	4	0	0	4	0		
20	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
sum3					41,54832	sum4				9,199652

PERHITUNGAN c dan C

NO STAT	Cn	simpson	hasil	Cn x ξ <sup>2</sup>	simpson	hasil	
0	0	1	0	0	1	0	
2	9152,73	4	36610,92	6005,1062	4	24020,42	
4	9152,73	2	18305,46	2668,9361	2	5337,872	
6	9152,73	4	36610,92	618,72455	4	2474,898	
8	9152,73	2	18305,46	0,915273	2	1,830546	
10	9152,73	4	36610,92	717,57403	4	2870,296	
12	9152,73	2	18305,46	2870,2961	2	5740,592	
14	8632,8	4	34531,2	5947,1359	4	23788,54	
16	5297,4	2	10594,8	6409,854	2	12819,71	
18	0	4	0	0	4	0	
20	0	1	0	0	1	0	
sum5			209875,1	sum6			77054,17

PERHITUNGAN d, e, h, b, D, E, dan H

NO STAT	an x ξ	simpson	hasil	bn x ξ	simpson	hasil	Cn x ξ	simpson	hasil		
0	0	1	0	0	1	0	0	1	0		
2	143,9101	4	575,6404	0,268278	4	1,073112	7413,711	4	29654,85		
4	95,94007	2	191,8801	0,178852	2	0,357704	4942,474	2	9884,948		
6	46,19337	4	184,7735	0,0861139	4	0,344456	2379,71	4	9518,839		
8	-1,77667	2	-3,55334	-0,040573	2	-0,08115	-91,5273	2	-183,055		
10	-49,7467	4	-198,987	-1,136042	4	-4,54417	-2562,76	4	-10251,1		
12	-99,4934	2	-198,987	-2,272083	2	-4,54417	-5125,53	2	-10251,1		
14	-123,617	4	-494,469	-1,099609	4	-4,39844	-7165,22	4	-28660,9		
16	0	2	0	-0,263227	2	-0,52645	-5827,14	2	-11654,3		
18	0	4	0	0	4	0	0	4	0		
20	0	1	0	0	1	0	0	1	0		
sum7			56,29798	sum8			-12,3191	sum9			-11941,7

Added mass :

$$a_z = 1/3 \cdot S \cdot \text{sum1} = 34,52311 \text{ kg-s}^2/\text{m}$$

$$A_{yy} = 1/3 \cdot s \cdot \text{sum2} = 10,87922 \text{ kg-s}^2/\text{m}$$

Damping Coefficient:

$$b = 1/3 \cdot S \cdot \text{sum3} = 3,780897 \text{ kg-s}/\text{m}$$

$$B = 1/3 \cdot S \cdot \text{sum4} = 0,837168 \text{ m-kg-s}/\text{rad}$$

Restoring force coefficient for heaving :

$$c = 1/3 \cdot S \cdot \text{sum5} = 19098,64 \text{ kg}/\text{m}$$

Restoring moment coefficient for pitching :

$$C = (1/3 \cdot S \cdot \text{sum6}) \cdot uE = 7792,083 \text{ m-kg}/\text{rad}$$

Coupling terms :

$$d = -1/3 \cdot S \cdot \text{sum7} = -5,12312 \text{ kg-s}^2$$

$$D = -1/3 \cdot S \cdot \text{sum7} = -5,12312 \text{ kg-s}^2$$

$$e = (-1/3 \cdot S \cdot \text{sum8}) + u_a = 165,7963 \text{ kg-s}^2/\text{s}$$

$$E = (-1/3 \cdot S \cdot \text{sum8}) - u_a = -163,554 \text{ kg-s}^2/\text{s}$$

$$h = (-1/3 \cdot S \cdot \text{sum9}) + u_b = 1104,731 \text{ kg}$$

$$H = (-1/3 \cdot S \cdot \text{sum9}) = 1086,696 \text{ kg}$$

Ship mass :

$$m = \text{disp}/g = 16,21988 \text{ kg-s}^2/\text{m}$$

Ship mass moment of inertia :

$$I_{yy} = (\text{disp} \cdot k_{yy}^2)/g = 7,571935 \text{ kg-s}^2\text{-m}$$

PERHITUNGAN Exciting Forces dan Moments (F dan M)

NO STAT	k ξ	sin k ξ	cos k ξ	Tm (m)	2π*Tm/Lw	ε	Cn x ζ	8	9	10	11	12	13	14	15
0	2,215226	0,799443	-0,60074	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1,061419	0,995897	-0,0905	0,07725	0,15845	1,171693	457,6365	-1808,85	-1351,21	0	0,23631	0,23631	-1345,66	-0,02139	
4	1,107613	0,894635	0,446798	0,07717	0,158287	1,171502	457,6365	-1808,85	-1351,21	0	0,23631	0,23631	-1208,84	0,105583	
6	0,533295	0,508374	0,861137	0,07717	0,158287	1,171502	457,6365	-1808,85	-1351,21	0	0,23631	0,23631	-686,919	0,203496	
8	-0,02051	-0,02051	0,99979	0,07717	0,158287	1,171502	457,6365	-1808,85	-1351,21	0	2,894802	2,894802	27,71318	2,894193	
10	-0,57432	-0,54326	0,839563	0,07717	0,158287	1,171502	457,6365	-1808,85	-1351,21	0	2,894802	2,894802	734,0609	2,430369	
12	-1,14864	-0,91221	0,409733	0,07717	0,158287	1,171502	457,6365	-1808,85	-1351,21	0	2,894802	2,894802	1232,581	1,186094	
14	-1,70244	-0,99135	-0,13127	0,072022	0,147726	1,159195	431,64	-1516,34	-1084,7	0	0,945241	0,945241	1075,314	-0,12408	
16	-2,25625	-0,77413	-0,63302	0,033474	0,06866	1,071072	264,87	0	264,87	0	0,170734	0,170734	-205,045	-0,10808	
18	-2,83057	-0,30604	-0,95202	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	-3,38437	0,240402	-0,97067	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0

16	17	18	19	20	simpson	hasil	23	simpson	hasil	26	simpson	hasil	29	simpson	hasil
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0
-1345,69	122,283	0,235341	122,0476	-1576,73	4	-6306,92	143,0023	4	572,0093	-1277,15	4	-5108,61	115,8319	4	463,3275
-1208,73	-603,718	0,211411	-603,93	-1416,03	2	-2832,07	-707,505	2	-1415,01	-764,658	2	-1529,32	-382,053	2	-764,105
-686,716	-1163,58	0,120134	-1163,7	-804,489	4	-3217,96	-1363,27	4	-5453,09	-209,167	4	-836,669	-354,451	4	-1417,8
30,60738	-1350,93	-0,05937	-1350,87	35,85661	2	71,71322	-1582,54	2	-3165,08	-0,35857	2	-0,71713	15,82542	2	31,65085
736,4912	-1134,43	-1,57264	-1132,85	862,8012	4	3451,205	-1327,14	4	-5308,56	-241,584	4	-966,337	371,5991	4	1486,397
1233,767	-553,634	-2,64065	-550,994	1445,361	2	2890,722	-645,49	2	-1290,98	-809,402	2	-1618,8	361,4747	2	722,9493
1075,189	142,3838	-0,93706	143,3208	1246,354	4	4985,418	166,1368	4	664,5472	-1034,47	4	-4137,9	-137,894	4	-551,574
-205,153	-167,669	0,13217	-167,537	-219,733	2	-439,467	-179,444	2	-358,888	241,7066	2	483,4132	197,3881	2	394,7763
0	0	0	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0
sum10						-1397,36		sum11		-15755,1		sum12		-13714,9	
														sum13	365,6175

Exciting force component

$F1 = 1/3 * S * \text{sum10} = -127,159 \text{ kg}$   
 $F2 = 1/3 * S * \text{sum11} = -1433,71 \text{ kg}$   
 Amplitude of the exciting force  
 $F_0 = \text{SQRT}(F1^2 + F2^2) = 182309,7 \text{ kg}$   
 $R = 43,51533$   
 $V = -2,8E+15$   
 $PS = 53571076$   
 $QR = 5615026$   
 $OR = -4909968$   
 $OS = 47958049$   
 $OT = 5344399$   
 $PS\_QR = 47958049$   
 $T = 2,33E+15$   
 $O1 = -1,1967$   
 $O2 = 0,596841$   
**Heaving amplitude :**  
 $Za = \text{SQRT}(O1^2 + O2^2) = 0,22 \text{ m}$

Phase angle :

$\theta = \arctan(F2/F1) = 84,93156$   
 $\phi = \arctan(M2/M1) = -1,52705$   
**Pitching amplitude :**  
 $O = \text{SQRT}(O1^2 + O2^2) = 3,1 \text{ rad}$

Solution of equations of motion

$E = 16106,28$   
 $F = 181596,8$   
 $M = 41509,67$   
 $N = -1106,58$   
 $P = 8766,235$   
 $Q = 53,95199$   
 $S = 6111,143$   
 $T = 11,94808$   
 $U = 2147,911$   
 $V = 2365,851$   
 $FS = 96258407$   
 $G = 1,11E+09$   
 $HQ = 91777086$   
 $I = 95828858$   
 $FS\_MQ = 4481320$   
 $J = 1,01E+09$   
 $K = 5,63E+15$   
 $L = 4,86E+16$   
 $MP = 3,64E+08$   
 $N = -7461004$   
 $FR = 4,25E+08$   
 $O = -3E+07$   
 $MP\_FR = -0,1E+07$   
 $P = 22226511$

Vmodel= 5,110 we= 39,949 s= 0,273 h= 0,1  
 periode= 0,8 Lw= 1,000 disp= 159,117  
 Ww 7,850 ampli= 0,05 kyy= 0,68325

PERHITUNGAN a dan Ayy

NO STAT	Bn (m)	Tn (m)	Sn (m)	$\xi$ (m)	$w e 2 x B n / 2 g$	Bn/Tn	BnxTn (m2)	$\beta n$	C
0	0,000	0,278	0,000	1,080	0	0	0	#DIV/0!	0,00
2	0,933	0,278	0,072	0,810	75,89165	3,356115	0,259374	0,277877	0,35
4	0,933	0,278	0,072	0,540	75,89165	3,356115	0,259374	0,277591	0,35
6	0,933	0,278	0,072	0,260	75,89165	3,356115	0,259374	0,277591	0,35
8	0,933	0,278	0,072	-0,010	75,89165	3,356115	0,259374	0,277591	0,35
10	0,933	0,278	0,072	-0,280	75,89165	3,356115	0,259374	0,277591	0,35
12	0,933	0,278	0,072	-0,560	75,89165	3,356115	0,259374	0,277591	0,35
14	0,880	0,278	0,063	-0,830	71,58055	3,165468	0,24464	0,25907	0,32
16	0,540	0,278	0,018	-1,100	43,92443	1,942446	0,15012	0,12041	0,00
18	0,000	0,278	0,000	-1,380	0	0	0	#DIV/0!	0,00
20	0,000	0,278	0,000	-1,650	0	0	0	#DIV/0!	0,00

Bn2	$p \pi \xi B n / 2 / 8$	an	simpson	hasil	$\xi^2$	anx $\xi^2$	simpson	hasil	
0	0	0	1	0	1,1664	0	1	0	
0,87049	341,6669	119,5834	4	478,33371	0,6561	78,45869	4	313,8347	
0,87049	341,6669	119,5834	2	239,16685	0,2916	34,87053	2	69,74105	
0,87049	341,6669	119,5834	4	478,33371	0,0676	8,08384	4	32,33536	
0,87049	341,6669	119,5834	2	239,16685	0,0001	0,011958	2	0,023917	
0,87049	341,6669	119,5834	4	478,33371	0,0784	9,375341	4	37,50136	
0,87049	341,6669	119,5834	2	239,16685	0,3136	37,50136	2	75,00273	
0,7744	303,952	97,26464	4	389,05856	0,6889	67,00561	4	268,0224	
0,2916	114,453	0	2	0	1,21	0	2	0	
0	0	0	4	0	1,9044	0	4	0	
0	0	0	1	0	2,7225	0	1	0	
sum1				2541,5602	sum2				796,4616

PERHITUNGAN b dan B

NO STAT	A	A2	bn	simpson	hasil	bn x $\xi^2$	simpson	hasil		
0	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
2	0,100	0,01	0,015095	4	0,060378	0,009904	4	0,039614		
4	0,100	0,01	0,015095	2	0,030189	0,004402	2	0,008803		
6	0,100	0,01	0,015095	4	0,060378	0,00102	4	0,004082		
8	0,350	0,1225	0,184909	2	0,369817	1,85E-05	2	3,7E-05		
10	0,350	0,1225	0,184909	4	0,739634	0,014497	4	0,057987		
12	0,350	0,1225	0,184909	2	0,369817	0,057987	2	0,115975		
14	0,200	0,04	0,060378	4	0,241513	0,041595	4	0,166378		
16	0,085	0,007225	0,010906	2	0,021812	0,013196	2	0,026392		
18	0,000	0	0	4	0	0	4	0		
20	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
sum3					1,893539	sum4				0,419269

PERHITUNGAN c dan C

NO STAT	Cn	simpson	hasil	Cn x ξ <sup>2</sup>	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0
2	9152,73	4	36610,92	6005,1062	4	24020,42
4	9152,73	2	18305,46	2668,9361	2	5337,872
6	9152,73	4	36610,92	618,72455	4	2474,898
8	9152,73	2	18305,46	0,915273	2	1,830546
10	9152,73	4	36610,92	717,57403	4	2870,296
12	9152,73	2	18305,46	2870,2961	2	5740,592
14	8632,8	4	34531,2	5947,1359	4	23788,54
16	5297,4	2	10594,8	6409,854	2	12819,71
18	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0
		sum5	209875,1		sum6	77054,17

PERHITUNGAN d, e, h, b, D, E, dan H

NO STAT	an x ξ	simpson	hasil	bn x ξ	simpson	hasil	Cn x ξ	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
2	96,86258	4	387,4503	0,0122266	4	0,048906	7413,711	4	29654,85
4	64,57505	2	129,1501	0,0081511	2	0,016302	4942,474	2	9884,948
6	31,09169	4	124,3668	0,0039246	4	0,015698	2379,71	4	9518,839
8	-1,19583	2	-2,39167	-0,001849	2	-0,0037	-91,5273	2	-183,055
10	-33,4834	4	-133,933	-0,051774	4	-0,2071	-2562,76	4	-10251,1
12	-66,9667	2	-133,933	-0,103549	2	-0,2071	-5125,53	2	-10251,1
14	-80,7297	4	-322,919	-0,050114	4	-0,20046	-7165,22	4	-28660,9
16	0	2	0	-0,011996	2	-0,02399	-5827,14	2	-11654,3
18	0	4	0	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0	0	1	0
		sum7	47,79002		sum8	-0,56144		sum9	-11941,7

Added mass :

$az = 1/3 * S * \text{sum}1 = 23,1282 \text{ kg-s}^2/\text{m}$   
 $Ayy = 1/3 * s * \text{sum}2 = 7,247801 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

Damping Coefficient:

$b = 1/3 * S * \text{sum}3 = 0,172312 \text{ kg-s}/\text{m}$   
 $B = 1/3 * S * \text{sum}4 = 0,038153 \text{ m-kg-s}/\text{rad}$

Restoring force coefficient for heaving :

$c = 1/3 * S * \text{sum}5 = 19098,64 \text{ kg}/\text{m}$

Restoring moment coefficient for pitching :

$C = (1/3 * S * \text{sum}6) - uE = 7615,594 \text{ m-kg}/\text{rad}$

Coupling terms :

$d = -1/3 * S * \text{sum}7 = -4,34889 \text{ kg-s}^2$   
 $D = -1/3 * S * \text{sum}7 = -4,34889 \text{ kg-s}^2$   
 $e = (-1/3 * S * \text{sum}8) + ua = 118,2362 \text{ kg-s}^2/\text{s}$   
 $E = (-1/3 * S * \text{sum}8) - ua = -118,134 \text{ kg-s}^2/\text{s}$   
 $h = (-1/3 * S * \text{sum}9) + ub = 1087,576 \text{ kg}$   
 $H = (-1/3 * S * \text{sum}9) = 1086,696 \text{ kg}$

Ship mass :

$m = \text{disp}/g = 16,21988 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

Ship mass moment of inertia :

$Iyy = (\text{disp} * kyy^2) / g = 7,571935 \text{ kg-s}^2\text{-m}$

PERHITUNGAN Exciting Forces dan Moments (F dan M)

NO STAT	k ξ	sin k ξ	cos k ξ	Tm (m)	2π*Tm/Lw	e	Cn x ζ	8	9	10	11	12	13	14	15
0	6,784128	0,480253	0,87713	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5,088096	-0,93025	0,366931	0,07725	0,485252	1,624564	457,6365	-9542,28	-9084,65	0	0,030151	0,030151	8450,978	0,011063	0
4	3,392064	-0,24786	-0,9688	0,07717	0,484754	1,623775	457,6365	-9542,28	-9084,65	0	0,030151	0,030151	2251,728	-0,02921	0
6	1,633216	0,998053	-0,06238	0,07717	0,484754	1,623775	457,6365	-9542,28	-9084,65	0	0,030151	0,030151	-9066,96	-0,00188	0
8	-0,06282	-0,06277	0,998028	0,07717	0,484754	1,623775	457,6365	-9542,28	-9084,65	0	0,369345	0,369345	570,286	0,368617	0
10	-1,75885	-0,98237	-0,18695	0,07717	0,484754	1,623775	457,6365	-9542,28	-9084,65	0	0,369345	0,369345	8924,488	-0,06905	0
12	-3,5177	0,367299	-0,9301	0,07717	0,484754	1,623775	457,6365	-9542,28	-9084,65	0	0,369345	0,369345	-3336,78	-0,34353	0
14	-5,21373	0,87694	0,480601	0,072022	0,452411	1,572098	431,64	-7761,33	-7329,69	0	0,120603	0,120603	-6427,7	0,057962	0
16	-6,90976	-0,58637	0,610041	0,033474	0,210271	1,234012	264,87	0	264,87	0	0,021784	0,021784	-155,313	0,017646	0
18	-8,66861	-0,68614	-0,72747	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	-10,3846	0,607477	-0,5899	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0	0	0	0	0	0	0

16	17	18	19	20	simpson	hasil	23	simpson	hasil	26	simpson	hasil	29	simpson	hasil
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0
8450,969	-3333,44	-0,02805	-3333,41	13729,34	4	54917,38	-5415,4	4	-21661,6	11120,77	4	44483,07	-4366,48	4	-17545,9
2251,699	8601,167	-0,00747	8601,175	3656,253	2	7312,506	14291,13	2	28582,26	1974,377	2	3948,753	7717,209	2	15434,42
-9066,96	566,6935	0,030092	566,6634	-14722,7	4	-58890,8	920,134	4	3680,536	-3827,9	4	-15311,6	239,2348	4	956,9393
570,6547	-9066,73	-0,02319	-9066,71	926,6148	2	1853,23	-14722,3	2	-29444,6	-9,26615	2	-18,5323	147,2229	2	294,4459
8924,419	1698,333	-0,36283	1698,696	14491,25	4	57985	2758,3	4	11033,2	-4057,55	4	-16230,2	-772,324	4	-3089,3
-3337,13	8449,657	0,13566	8449,521	-5418,74	2	-10837,5	13720,12	2	27440,24	3034,497	2	6068,993	-7683,27	2	-15366,5
-6427,64	-3522,65	0,105761	-3522,76	-10104,9	4	-40419,5	-5538,12	4	-22152,5	8387,05	4	33548,2	4596,642	4	18386,57
-155,295	214,5554	-0,01277	214,5682	-191,636	2	-363,272	264,7798	2	529,5595	210,7998	2	421,5996	-291,258	2	-582,515
0	0	0	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0
					sum10	11517,03		sum11	-1992,89		sum12	56910,28		sum13	-1511,88

Exciting force component

$F1 = 1/3 * S * sum10 = 1048,05 \text{ kg}$   
 $F2 = 1/3 * S * sum11 = -181,353 \text{ kg}$   
 Amplitude of the exciting force :  
 $F0 = \text{SQRT}(F1^2 + F2^2) = 190067 \text{ kg}$

$R = -5853,79$   
 $V = -7,9E+18$   
 $PS = 2,43E+08$   
 $QR = -2,5E+07$   
 $O1 = -104,019$   
 $O2 = 31,13382$

Exciting moment component

$M1 = 1/3 * S * sum12 = 5178,836 \text{ m-kg}$   
 $M2 = 1/3 * S * sum13 = -137,581 \text{ m-kg}$   
 Amplitude of the exciting moment  
 $M0 = \text{SQRT}(M1^2 + M2^2) = 712507,8 \text{ m-kg}$

$FS = -1E+09$   
 $FS\_QR = 2,68E+08$   
 $T = 7,59E+16$   
 Heaving amplitude :  
 $Za = \text{SQRT}(z1^2 + z2^2) = 0,14 \text{ m}$

Phase angle :

$\theta = \arctan(F2/F1) = -9,81716$   
 $\rho = \arctan(M2/M1) = -1,52176$

$MQ = 5,81E+09$   
 $MP = -3,1E+10$   
 $MP\_FR = -3E+10$   
 Pitching amplitude :  
 $Q = \text{SQRT}(Q1^2 + Q2^2) = 4,76 \text{ rad}$

Solution of equations of motion

$F = 167263,6$   
 $= -32407,3$   
 $M = 712256,5$   
 $= -18921,8$   
 $P = -43697,8$   
 $= -6,883692$   
 $S = -5559,03$   
 $= 1,524191$   
 $Q = 8028,063$   
 $= 4723,415$

$FS\_MQ = -6,8E+09$   
 $= -3E+09$   
 $U = -2E+18$   
 $= -3,6E+17$   
 $MP = -3,1E+10$   
 $= 8,32E+08$   
 $FR = -1,2E+09$   
 $= -6,9E+08$   
 $MP\_FR = -3E+10$   
 $= 1,53E+09$



Vmodel= 5,110 we= 26,823 s= 0,273 h= 0,1  
 periode= 1 Lw= 1,562 disp= 159,117  
 Ww 6,280 ampli= 0,05 kyy= 0,68325

PERHITUNGAN a dan Ayy

NO STAT	Bn (m)	Tn (m)	Sn (m)	$\xi$ (m)	$w e 2 x B n / 2 g$	Bn/Tn	BnxTn (m2)	$\beta n$	C
0	0,000	0,278	0,000	1,080	0	0	0	#DIV/0!	0,00
2	0,933	0,278	0,072	0,810	34,21437	3,356115	0,259374	0,277877	0,38
4	0,933	0,278	0,072	0,540	34,21437	3,356115	0,259374	0,277591	0,38
6	0,933	0,278	0,072	0,260	34,21437	3,356115	0,259374	0,277591	0,38
8	0,933	0,278	0,072	-0,010	34,21437	3,356115	0,259374	0,277591	0,38
10	0,933	0,278	0,072	-0,280	34,21437	3,356115	0,259374	0,277591	0,38
12	0,933	0,278	0,072	-0,560	34,21437	3,356115	0,259374	0,277591	0,38
14	0,880	0,278	0,063	-0,830	32,27079	3,165468	0,24464	0,25907	0,34
16	0,540	0,278	0,018	-1,100	19,80253	1,942446	0,15012	0,12041	0,00
18	0,000	0,278	0,000	-1,380	0	0	0	#DIV/0!	0,00
20	0,000	0,278	0,000	-1,650	0	0	0	#DIV/0!	0,00

Bn2	$\rho \pi \xi B n^2 / 8$	an	simpson	hasil	$\xi^2$	anx $\xi^2$	simpson	hasil	
0	0	0	1	0	1,1664	0	1	0	
0,87049	341,6669	129,8334	4	519,33374	0,6561	85,18372	4	340,7349	
0,87049	341,6669	129,8334	2	259,66687	0,2916	37,85943	2	75,71886	
0,87049	341,6669	129,8334	4	519,33374	0,0676	8,77674	4	35,10696	
0,87049	341,6669	129,8334	2	259,66687	0,0001	0,012983	2	0,025967	
0,87049	341,6669	129,8334	4	519,33374	0,0784	10,17894	4	40,71577	
0,87049	341,6669	129,8334	2	259,66687	0,3136	40,71577	2	81,43153	
0,7744	303,952	103,3437	4	413,37472	0,6889	71,19346	4	284,7738	
0,2916	114,453	0	2	0	1,21	0	2	0	
0	0	0	4	0	1,9044	0	4	0	
0	0	0	1	0	2,7225	0	1	0	
sum1				2750,3765	sum2				858,5078

PERHITUNGAN b dan B

NO STAT	A	A2	bn	simpson	hasil	bn x $\xi^2$	simpson	hasil		
0	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
2	0,100	0,01	0,049865	4	0,199462	0,032717	4	0,130867		
4	0,100	0,01	0,049865	2	0,099731	0,014541	2	0,029081		
6	0,100	0,01	0,049865	4	0,199462	0,003371	4	0,013484		
8	0,350	0,1225	0,610851	2	1,221702	6,11E-05	2	0,000122		
10	0,350	0,1225	0,610851	4	2,443404	0,047891	4	0,191563		
12	0,350	0,1225	0,610851	2	1,221702	0,191563	2	0,383126		
14	0,200	0,04	0,199462	4	0,797846	0,137409	4	0,549636		
16	0,085	0,007225	0,036028	2	0,072055	0,043594	2	0,087187		
18	0,000	0	0	4	0	0	4	0		
20	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
sum3					6,255363	sum4				1,385066

PERHITUNGAN c dan C

NO STAT	Cn	simpson	hasil	Cn x ξ2	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0
2	9152,73	4	36610,92	6005,1062	4	24020,42
4	9152,73	2	18305,46	2668,9361	2	5337,872
6	9152,73	4	36610,92	618,72455	4	2474,898
8	9152,73	2	18305,46	0,915273	2	1,830546
10	9152,73	4	36610,92	717,57403	4	2870,296
12	9152,73	2	18305,46	2870,2961	2	5740,592
14	8632,8	4	34531,2	5947,1359	4	23788,54
16	5297,4	2	10594,8	6409,854	2	12819,71
18	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0
		sum5	209875,1		sum6	77054,17

PERHITUNGAN d, e, h, b, D, E, dan H

NO STAT	an x ξ	simpson	hasil	bn x ξ	simpson	hasil	Cn x ξ	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
2	105,1651	4	420,6603	0,040391	4	0,161564	7413,711	4	29654,85
4	70,11005	2	140,2201	0,0269273	2	0,053855	4942,474	2	9884,948
6	33,75669	4	135,0268	0,012965	4	0,05186	2379,71	4	9518,839
8	-1,29833	2	-2,59667	-0,006109	2	-0,01222	-91,5273	2	-183,055
10	-36,3534	4	-145,413	-0,171038	4	-0,68415	-2562,76	4	-10251,1
12	-72,7067	2	-145,413	-0,342077	2	-0,68415	-5125,53	2	-10251,1
14	-85,7753	4	-343,101	-0,165553	4	-0,66221	-7165,22	4	-28660,9
16	0	2	0	-0,039631	2	-0,07926	-5827,14	2	-11654,3
18	0	4	0	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0	0	1	0
		sum7	59,38263		sum8	-1,85472		sum9	-11941,7

**Added mass :**

$$a_z = 1/3 * S * \text{sum1} = 25,02843 \text{ kg-s}^2/\text{m}$$

$$A_{yy} = 1/3 * s * \text{sum2} = 7,812421 \text{ kg-s}^2/\text{m}$$

**Damping Coefficient:**

$$b = 1/3 * S * \text{sum3} = 0,569238 \text{ kg-s}/\text{m}$$

$$B = 1/3 * S * \text{sum4} = 0,126041 \text{ m-kg-s}/\text{rad}$$

**Restoring force coefficient for heaving :**

$$c = 1/3 * S * \text{sum5} = 19098,64 \text{ kg}/\text{m}$$

**Restoring moment coefficient for pitching :**

$$C = (1/3 * S * \text{sum6}) - uE = 7664,611 \text{ m-kg}/\text{rad}$$

**Coupling terms :**

$$d = -1/3 * S * \text{sum7} = -5,40382 \text{ kg-s}^2$$

$$D = -1/3 * S * \text{sum7} = -5,40382 \text{ kg-s}^2$$

$$e = (-1/3 * S * \text{sum8}) + ua = 128,064 \text{ kg-s}^2/\text{s}$$

$$E = (-1/3 * S * \text{sum8}) - ua = -127,726 \text{ kg-s}^2/\text{s}$$

$$h = (-1/3 * S * \text{sum9}) + ub = 1089,605 \text{ kg}$$

$$H = (-1/3 * S * \text{sum9}) = 1086,696 \text{ kg}$$

**Ship mass :**

$$m = \text{disp}/g = 16,21988 \text{ kg-s}^2/\text{m}$$

**Ship mass moment of inertia :**

$$I_{yy} = (\text{disp} * k_{yy}^2) / g = 7,571935 \text{ kg-s}^2\text{-m}$$

PERHITUNGAN Exciting Forces dan Moments (F dan M)

NO STAT	k ξ	sin k ξ	cos k ξ	Tin (m)	2π*Tin/Lw	θ	Cn x ζ	8	9	10	11	12	13	14	15
0	4,341842	-0,93213	-0,36213	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0		0	0	0	0	0
2	3,256382	-0,11454	-0,99342	0,07725	0,310561	1,364191	457,6365	-4670,71	-4213,07		0	0,066878	0,066878	482,5526	-0,06644
4	2,170921	0,825265	-0,56475	0,07717	0,310242	1,363756	457,6365	-4670,71	-4213,07		0	0,066878	0,066878	-3476,9	-0,03777
6	1,045258	0,665054	0,501678	0,07717	0,310242	1,363756	457,6365	-4670,71	-4213,07		0	0,066878	0,066878	-3644,53	0,033551
8	-0,0402	-0,04019	0,999192	0,07717	0,310242	1,363756	457,6365	-4670,71	-4213,07		0	0,819253	0,819253	169,3292	0,818591
10	-1,12566	-0,90255	0,430576	0,07717	0,310242	1,363756	457,6365	-4670,71	-4213,07		0	0,819253	0,819253	3602,518	0,352753
12	-2,25133	-0,77724	-0,6292	0,07717	0,310242	1,363756	457,6365	-4670,71	-4213,07		0	0,819253	0,819253	3274,565	-0,51548
14	-3,33679	0,193956	0,98101	0,072022	0,289543	1,335817	431,64	-3717,75	-3286,11		0	0,267511	0,267511	-637,361	-0,26243
16	-4,42225	0,958203	-0,26609	0,033474	0,134573	1,144048	264,67	0	264,67		0	0,048319	0,048319	253,7993	-0,01382
18	-5,54791	0,670792	0,741646	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0		0	0	0	0	0
20	-6,63337	-0,34307	0,939309	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	0		0	0	0	0	0

16	17	18	19	20	simpson	hasil	23	simpson	hasil	26	simpson	hasil	29	simpson	hasil
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0
482,4861	-4185,342	-0,00766	4185,35	656,203	4	2632,812	5709,615	4	22638,46	533,1444	4	2132,578	4624,788	4	16499,15
-3476,94	2379,311	0,055192	2379,256	-4741,69	2	-9483,38	3244,724	2	6469,448	-2560,51	2	-5121,03	1752,151	2	3504,302
-3644,5	-2113,61	0,057853	-2113,66	-4970,21	4	-19880,8	-2882,52	4	-11530,1	-1292,25	4	-5169,01	-749,455	4	-2997,82
170,1478	-4209,66	-0,03293	-4209,63	232,04	2	464,08	-5740,91	2	-11461,8	-2,3204	2	-4,6408	57,40909	2	114,8182
3802,871	-1814,06	-0,73942	-1813,32	5186,187	4	20744,75	-2472,92	4	-9891,68	-1452,13	4	-5608,53	692,4179	4	2769,672
3274,049	2650,882	-0,63676	2651,518	4465,003	2	8930,006	3616,023	2	7232,046	-2500,4	2	-5000,8	-2024,97	2	-4049,95
-637,624	3223,704	0,051866	3223,652	-851,749	4	-3406,99	4306,209	4	17224,84	706,9513	4	2827,805	-3574,15	4	-14296,6
253,7855	-75,7763	0,0463	-75,8226	290,3429	2	580,6857	-86,7447	2	-173,489	-319,377	2	-638,754	95,41918	2	190,8364
0	0	0	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0	#DIV/0!	4	0
0	0	0	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0	#DIV/0!	1	0
					sum10	561,1306		sum11	20707,72		sum12	-16782,4		sum13	3734,401

**Exciting force component**  
 $F1 = 1/3 * S * sum10 = 52,68288 \text{ kg}$   
 $F2 = 1/3 * S * sum11 = 1884,402 \text{ kg}$   
 Amplitude of the exciting force  
 $F0 = \sqrt{F1^2 + F2^2} = 99652,62 \text{ kg}$

**Exciting moment component**  
 $M1 = 1/3 * S * sum12 = -1527,2 \text{ m-kg}$   
 $M2 = 1/3 * S * sum13 = 339,8304 \text{ m-kg}$   
 Amplitude of the exciting moment  
 $M0 = \sqrt{M1^2 + M2^2} = 516986,1 \text{ m-kg}$

**Phase angle :**  
 $\theta = \arctan(F2/F1) = 88,3925$   
 $\phi = \arctan(M2/M1) = 12,545$

**Solution of equations of motion**  
 $F = 2795,499$   
 $U = 99613,4$   
 $M = 508597,6$   
 $P = 10579,2$   
 $FR = 15,26887$   
 $MP = 1725,073$   
 $FR = 3,360841$   
 $MP = 4977,609$   
 $FR = 3435,106$

$R = -2601,31$   
 $V = 1,31E+17$   
 $PS = -1,6E+07$   
 $z1 = 20,45078$   
 $z2 = 96,56581$   
 $Q1 = 135,3127$   
 $Q2 = 131,6477$   
**Heaving amplitude :**  
 $Za = \sqrt{z1^2 + z2^2} = 0,2 \text{ m}$

**Pitching amplitude :**  
 $\theta = \sqrt{z1^2 + z2^2} = 4,12 \text{ rad}$



Vmodel= 5,110 we= 19,500 s= 0,273 h= 0,1  
 periode= 1,2 Lw= 2,249 disp= 159,117  
 Ww 5,233 ampli= 0,05 kyy= 0,68325

PERHITUNGAN a dan Ayy

NO STAT	Bn (m)	Tn (m)	Sn (m)	$\xi$ (m)	$w e 2 x B n / 2 g$	Bn/Tn	BnxTn (m2)	$\beta n$	C
0	0,000	0,278	0,000	1,080	0	0	0	#DIV/0!	0,00
2	0,933	0,278	0,072	0,810	18,08138	3,356115	0,259374	0,277877	0,41
4	0,933	0,278	0,072	0,540	18,08138	3,356115	0,259374	0,277591	0,41
6	0,933	0,278	0,072	0,260	18,08138	3,356115	0,259374	0,277591	0,41
8	0,933	0,278	0,072	-0,010	18,08138	3,356115	0,259374	0,277591	0,41
10	0,933	0,278	0,072	-0,280	18,08138	3,356115	0,259374	0,277591	0,41
12	0,933	0,278	0,072	-0,560	18,08138	3,356115	0,259374	0,277591	0,41
14	0,880	0,278	0,063	-0,830	17,05425	3,165468	0,24464	0,25907	0,37
16	0,540	0,278	0,018	-1,100	10,46511	1,942446	0,15012	0,12041	0,00
18	0,000	0,278	0,000	-1,380	0	0	0	#DIV/0!	0,00
20	0,000	0,278	0,000	-1,650	0	0	0	#DIV/0!	0,00

Bn2	$\rho \pi \xi B n / 2 / 8$	an	simpson	hasil	$\xi^2$	anx $\xi^2$	simpson	hasil	
0	0	0	1	0	1,1664	0	1	0	
0,87049	341,6669	140,0834	4	560,33377	0,6561	91,90875	4	367,635	
0,87049	341,6669	140,0834	2	280,16688	0,2916	40,84833	2	81,69666	
0,87049	341,6669	140,0834	4	560,33377	0,0676	9,469641	4	37,87856	
0,87049	341,6669	140,0834	2	280,16688	0,0001	0,014008	2	0,028017	
0,87049	341,6669	140,0834	4	560,33377	0,0784	10,98254	4	43,93017	
0,87049	341,6669	140,0834	2	280,16688	0,3136	43,93017	2	87,86034	
0,7744	303,952	112,4622	4	449,84896	0,6889	77,47524	4	309,9009	
0,2916	114,453	0	2	0	1,21	0	2	0	
0	0	0	4	0	1,9044	0	4	0	
0	0	0	1	0	2,7225	0	1	0	
			sum1	2971,3509				sum2	928,9297

PERHITUNGAN b dan B

NO STAT	A	A2	bn	simpson	hasil	bn x $\xi^2$	simpson	hasil		
0	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
2	0,100	0,01	0,129797	4	0,519188	0,08516	4	0,340639		
4	0,100	0,01	0,129797	2	0,259594	0,037849	2	0,075698		
6	0,100	0,01	0,129797	4	0,519188	0,008774	4	0,035097		
8	0,350	0,1225	1,590013	2	3,180026	0,000159	2	0,000318		
10	0,350	0,1225	1,590013	4	6,360051	0,124657	4	0,498628		
12	0,350	0,1225	1,590013	2	3,180026	0,498628	2	0,997256		
14	0,200	0,04	0,519188	4	2,076751	0,357669	4	1,430674		
16	0,085	0,007225	0,093778	2	0,187557	0,113472	2	0,226943		
18	0,000	0	0	4	0	0	4	0		
20	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
					sum3	16,28238	sum4			3,605253

PERHITUNGAN c dan C

NO STAT	Cn	simpson	hasil	Cn x ξ <sup>2</sup>	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0
2	9152,73	4	36610,92	6005,1062	4	24020,42
4	9152,73	2	18305,46	2668,9361	2	5337,872
6	9152,73	4	36610,92	618,72455	4	2474,898
8	9152,73	2	18305,46	0,915273	2	1,830546
10	9152,73	4	36610,92	717,57403	4	2870,296
12	9152,73	2	18305,46	2870,2961	2	5740,592
14	8632,8	4	34531,2	5947,1359	4	23788,54
16	5297,4	2	10594,8	6409,854	2	12819,71
18	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0
		sum5	209875,1		sum6	77054,17

PERHITUNGAN d, e, h, b, D, E, dan H

NO STAT	an x ξ	simpson	hasil	bn x ξ	simpson	hasil	Cn x ξ	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
2	113,4676	4	453,8704	0,1051355	4	0,420542	7413,711	4	29654,85
4	75,64506	2	151,2901	0,0700904	2	0,140181	4942,474	2	9884,948
6	36,4217	4	145,6868	0,0337472	4	0,134989	2379,71	4	9518,839
8	-1,40083	2	-2,80167	-0,0159	2	-0,0318	-91,5273	2	-183,055
10	-39,2234	4	-156,893	-0,445204	4	-1,78081	-2562,76	4	-10251,1
12	-78,4467	2	-156,893	-0,890407	2	-1,78081	-5125,53	2	-10251,1
14	-93,3437	4	-373,375	-0,430926	4	-1,7237	-7165,22	4	-28660,9
16	0	2	0	-0,103156	2	-0,20631	-5827,14	2	-11654,3
18	0	4	0	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0	0	1	0
		sum7	60,88403		sum8	-4,82773		sum9	-11941,7

Added mass :

$az = 1/3 * S * \text{sum}1 = 27,03929 \text{ kg-s}^2/\text{m}$   
 $Ayy = 1/3 * s * \text{sum}2 = 8,45326 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

Damping Coefficient:

$b = 1/3 * S * \text{sum}3 = 1,481697 \text{ kg-s}/\text{m}$   
 $B = 1/3 * S * \text{sum}4 = 0,328078 \text{ m-kg-s}/\text{rad}$

Restoring force coefficient for heaving :

$c = 1/3 * S * \text{sum}5 = 19098,64 \text{ kg}/\text{m}$

Restoring moment coefficient for pitching :

$C = (1/3 * S * \text{sum}6) - uE = 7715,737 \text{ m-kg}/\text{rad}$

Coupling terms :

$d = -1/3 * S * \text{sum}7 = -5,54045 \text{ kg-s}^2$   
 $D = -1/3 * S * \text{sum}7 = -5,54045 \text{ kg-s}^2$   
 $e = (-1/3 * S * \text{sum}8) + ua = 138,6101 \text{ kg-s}^2/\text{s}$   
 $E = (-1/3 * S * \text{sum}8) - ua = -137,731 \text{ kg-s}^2/\text{s}$   
 $h = (-1/3 * S * \text{sum}9) + ub = 1094,267 \text{ kg}$   
 $H = (-1/3 * S * \text{sum}9) = 1086,696 \text{ kg}$

Ship mass :

$m = \text{disp}/g = 16,21988 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

Ship mass moment of inertia :

$Iyy = (\text{disp} * kyy^2) / g = 7,571935 \text{ kg-s}^2\text{-m}$

Vmodel= 5,110 we= 14,967 s= 0,273 h= 0,1  
 periode= 1,4 Lw= 3,062 disp= 159,117  
 Ww 4,486 ampli= 0,05 kyy= 0,68325

PERHITUNGAN a dan Ayy

NO STAT	Bn (m)	Tn (m)	Sn (m)	$\xi$ (m)	$w e 2 x B n / 2 g$	Bn/Tn	BnxTn (m2)	$\beta n$	C
0	0,000	0,278	0,000	1,080	0	0	0	#DIV/0!	0,00
2	0,933	0,278	0,072	0,810	10,65253	3,356115	0,259374	0,277877	0,45
4	0,933	0,278	0,072	0,540	10,65253	3,356115	0,259374	0,277591	0,45
6	0,933	0,278	0,072	0,260	10,65253	3,356115	0,259374	0,277591	0,45
8	0,933	0,278	0,072	-0,010	10,65253	3,356115	0,259374	0,277591	0,45
10	0,933	0,278	0,072	-0,280	10,65253	3,356115	0,259374	0,277591	0,45
12	0,933	0,278	0,072	-0,560	10,65253	3,356115	0,259374	0,277591	0,45
14	0,880	0,278	0,063	-0,830	10,04741	3,165468	0,24464	0,25907	0,39
16	0,540	0,278	0,018	-1,100	6,165454	1,942446	0,15012	0,12041	0,00
18	0,000	0,278	0,000	-1,380	0	0	0	#DIV/0!	0,00
20	0,000	0,278	0,000	-1,650	0	0	0	#DIV/0!	0,00

Bn2	$\rho \pi \xi B n^2 / 8$	an	simpson	hasil	$\xi^2$	anx $\xi^2$	simpson	hasil	
0	0	0	1	0	1,1664	0	1	0	
0,87049	341,6669	153,7501	4	615,00048	0,6561	100,8755	4	403,5018	
0,87049	341,6669	153,7501	2	307,50024	0,2916	44,83353	2	89,66707	
0,87049	341,6669	153,7501	4	615,00048	0,0676	10,39351	4	41,57403	
0,87049	341,6669	153,7501	2	307,50024	0,0001	0,015375	2	0,03075	
0,87049	341,6669	153,7501	4	615,00048	0,0784	12,05401	4	48,21604	
0,87049	341,6669	153,7501	2	307,50024	0,3136	48,21604	2	96,43208	
0,7744	303,952	118,5413	4	474,16512	0,6889	81,66309	4	326,6524	
0,2916	114,453	0	2	0	1,21	0	2	0	
0	0	0	4	0	1,9044	0	4	0	
0	0	0	1	0	2,7225	0	1	0	
sum1				3241,6673	sum2				1006,074

PERHITUNGAN b dan B

NO STAT	A	A2	bn	simpson	hasil	bn x $\xi^2$	simpson	hasil		
0	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
2	0,100	0,01	0,287033	4	1,148134	0,188323	4	0,753291		
4	0,100	0,01	0,287033	2	0,574067	0,083699	2	0,167398		
6	0,100	0,01	0,287033	4	1,148134	0,019403	4	0,077614		
8	0,350	0,1225	3,51616	2	7,032321	0,000352	2	0,000703		
10	0,350	0,1225	3,51616	4	14,06464	0,275667	4	1,102668		
12	0,350	0,1225	3,51616	2	7,032321	1,102668	2	2,205336		
14	0,200	0,04	1,148134	4	4,592536	0,79095	4	3,163798		
16	0,085	0,007225	0,207382	2	0,414763	0,250932	2	0,501864		
18	0,000	0	0	4	0	0	4	0		
20	0,000	0	0	1	0	0	1	0		
sum3					36,00692	sum4				7,972671

PERHITUNGAN c dan C

NO STAT	Cn	simpson	hasil	Cn x ξ <sup>2</sup>	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0
2	9152,73	4	36610,92	6005,1062	4	24020,42
4	9152,73	2	18305,46	2668,9361	2	5337,872
6	9152,73	4	36610,92	618,72455	4	2474,898
8	9152,73	2	18305,46	0,915273	2	1,830546
10	9152,73	4	36610,92	717,57403	4	2870,296
12	9152,73	2	18305,46	2870,2961	2	5740,592
14	8632,8	4	34531,2	5947,1359	4	23788,54
16	5297,4	2	10594,8	6409,854	2	12819,71
18	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0
		sum5	209875,1		sum6	77054,17

PERHITUNGAN d, e, h, b, D, E, dan H

NO STAT	an x ξ	simpson	hasil	bn x ξ	simpson	hasil	Cn x ξ	simpson	hasil
0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
2	124,5376	4	498,1504	0,2324971	4	0,929989	7413,711	4	29654,85
4	83,02506	2	166,0501	0,1549981	2	0,309996	4942,474	2	9884,948
6	39,97503	4	159,9001	0,0746287	4	0,298515	2379,71	4	9518,839
8	-1,5375	2	-3,075	-0,035162	2	-0,07032	-91,5273	2	-183,055
10	-43,05	4	-172,2	-0,984525	4	-3,9381	-2562,76	4	-10251,1
12	-86,1001	2	-172,2	-1,96905	2	-3,9381	-5125,53	2	-10251,1
14	-98,3893	4	-393,557	-0,952951	4	-3,8118	-7165,22	4	-28660,9
16	0	2	0	-0,22812	2	-0,45624	-5827,14	2	-11654,3
18	0	4	0	0	4	0	0	4	0
20	0	1	0	0	1	0	0	1	0
		sum7	83,06832		sum8	-10,6761		sum9	-11941,7

Added mass :

az=1/3\*S\*sum1 = 29,49917 kg-s<sup>2</sup>/m  
 Ayy=1/3\*s\*sum2 = 9,155275 kg-s<sup>2</sup>/m

Damping Coefficient:

b=1/3\*S\*sum3 = 3,276629 kg-s/m  
 B=1/3\*S\*sum4 = 0,725513 m-kg-s/rad

Restoring force coefficient for heaving :

c=1/3\*S\*sum5 = 19098,64 kg/m

Restoring moment coefficient for pitching :

C=(1/3\*S\*sum6)-uE = 7777,25 m-kg/rad

Coupling terms :

d=-1/3\*S\*sum7 = -7,55922 kg-s<sup>2</sup>  
 D=-1/3\*S\*sum7 = -7,55922 kg-s<sup>2</sup>  
 e=(-1/3\*S\*sum8)+ua = 151,7123 kg-s<sup>2</sup>/s  
 E=(-1/3\*S\*sum8)-ua = -149,769 kg-s<sup>2</sup>/s  
 h=(-1/3\*S\*sum9)+ub = 1103,439 kg  
 H=(-1/3\*S\*sum9) = 1086,696 kg

Ship mass :

m=disp/g = 16,21988 kg-s<sup>2</sup>/m

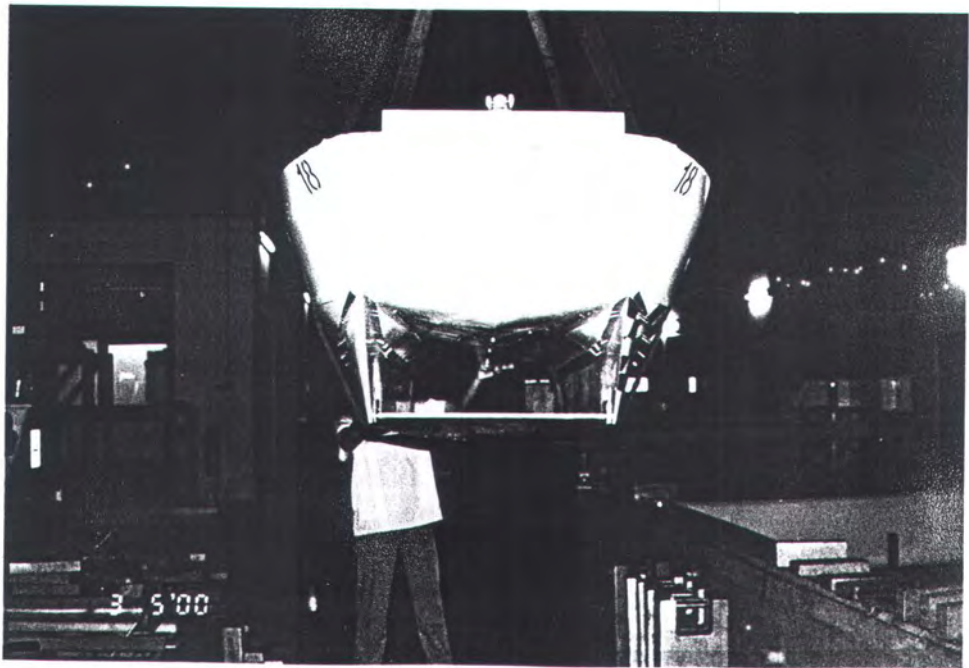
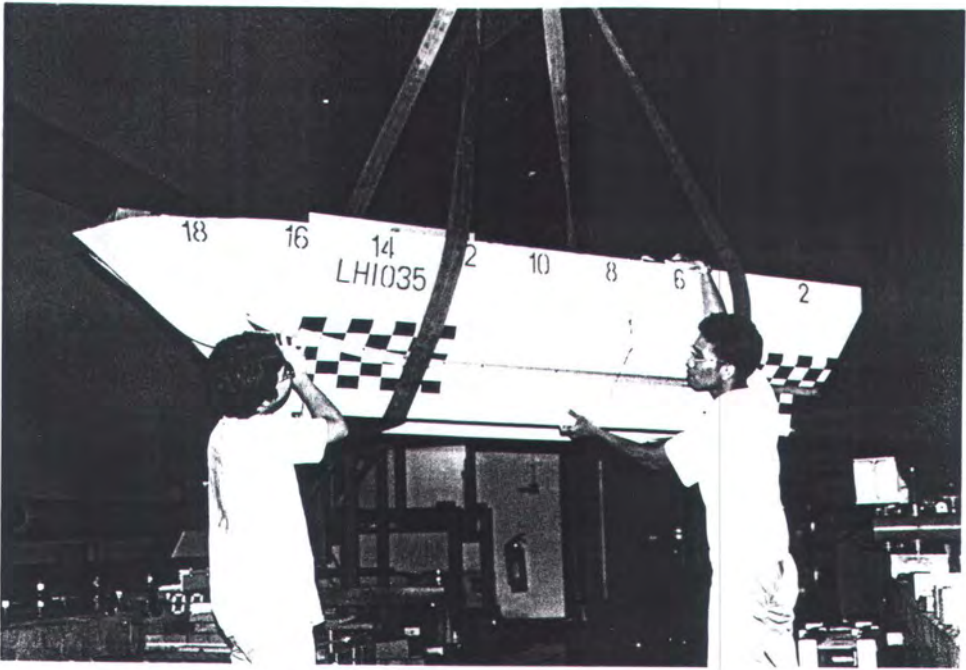
Ship mass moment of inertia :

Iyy=(disp\*kyy<sup>2</sup>)/g = 7,571935 kg-s<sup>2</sup>-m

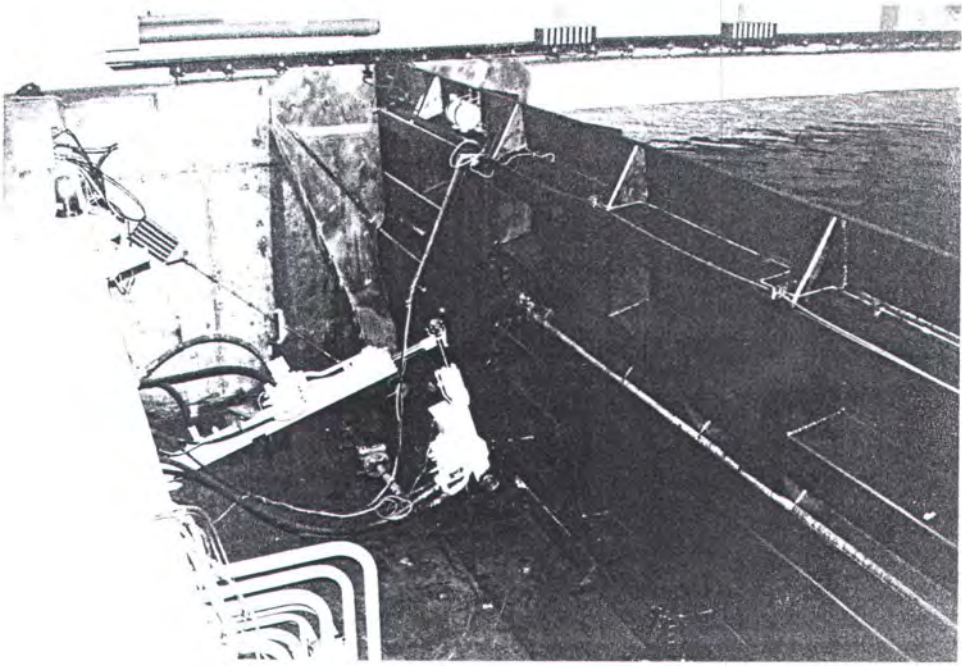


LAMPIRAN C

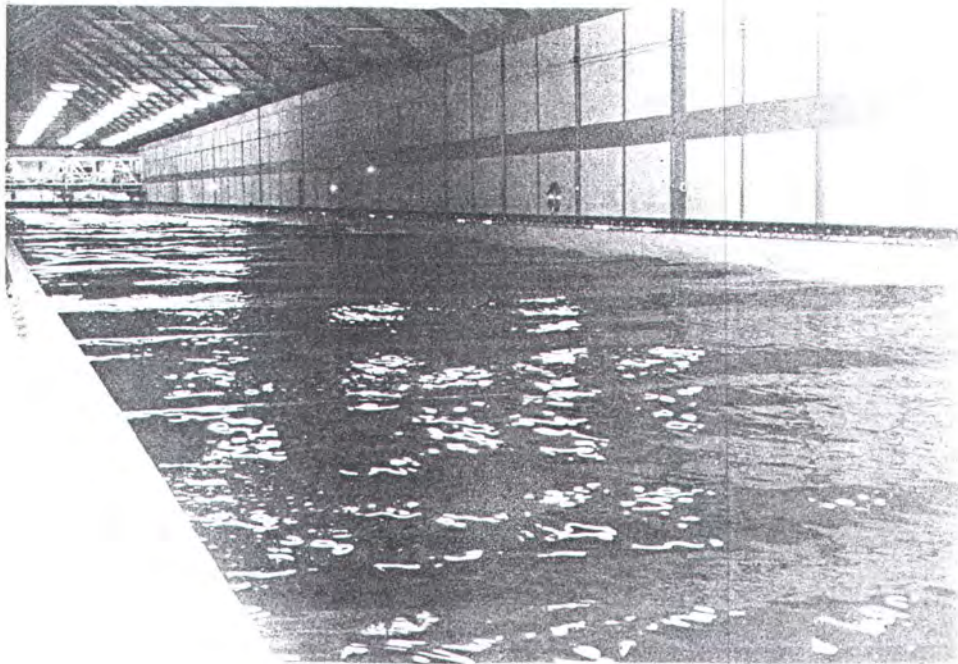




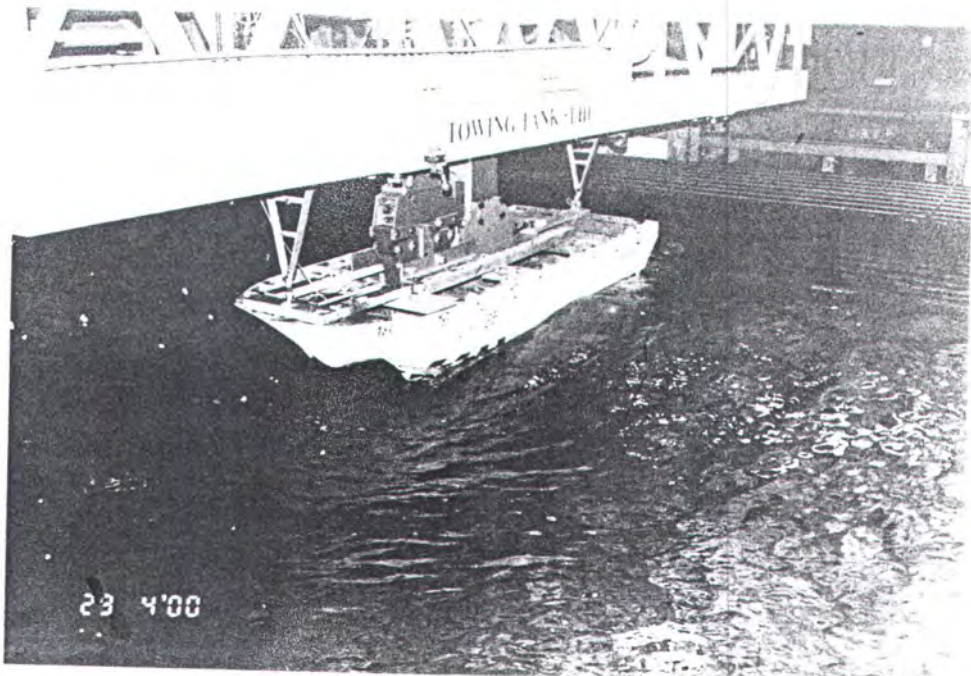
Gambar 1. Foto model HYCAT



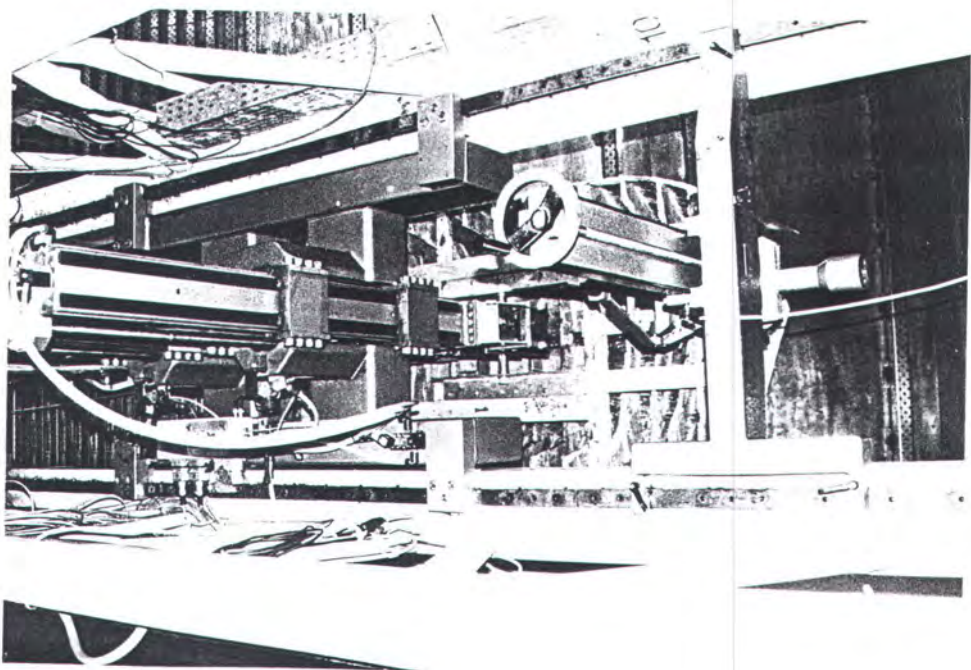
Gambar 2 .Foto flap pembangkit gelombang



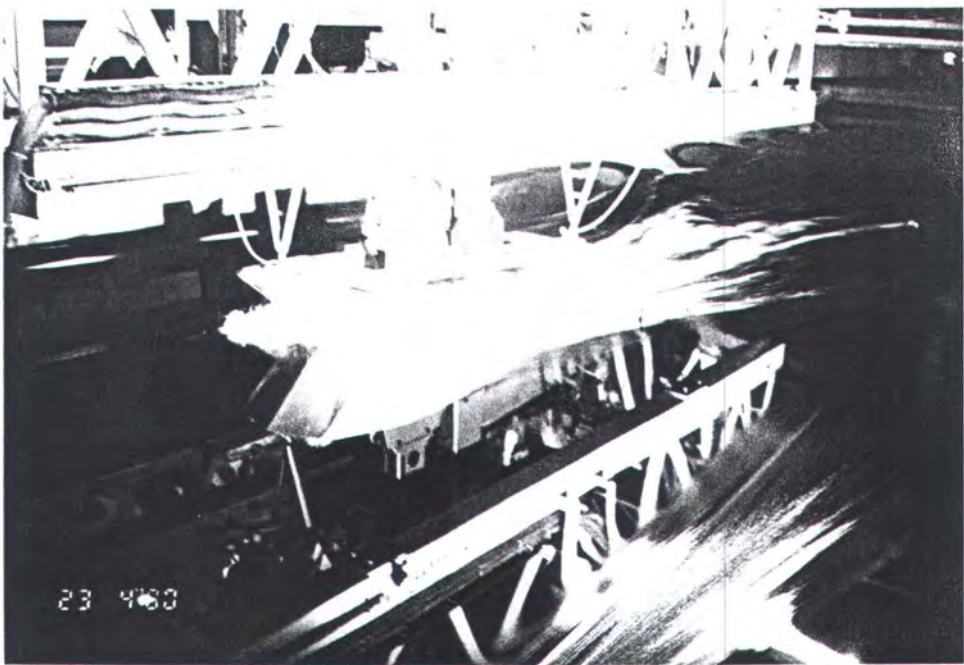
Gambar 3. Foto setting gelombang



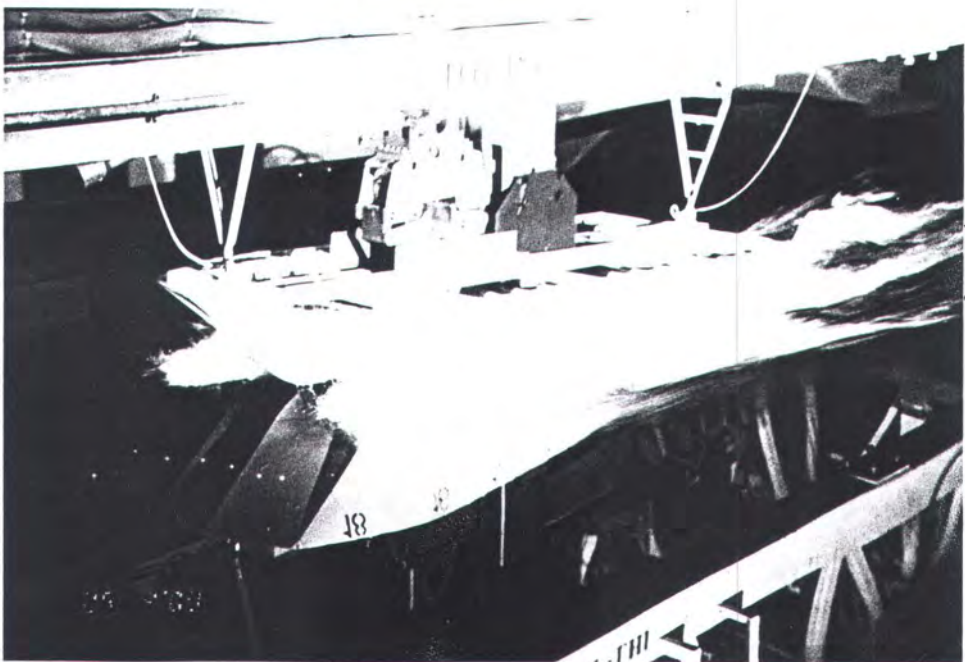
Gambar 4. Setting model HYCAT



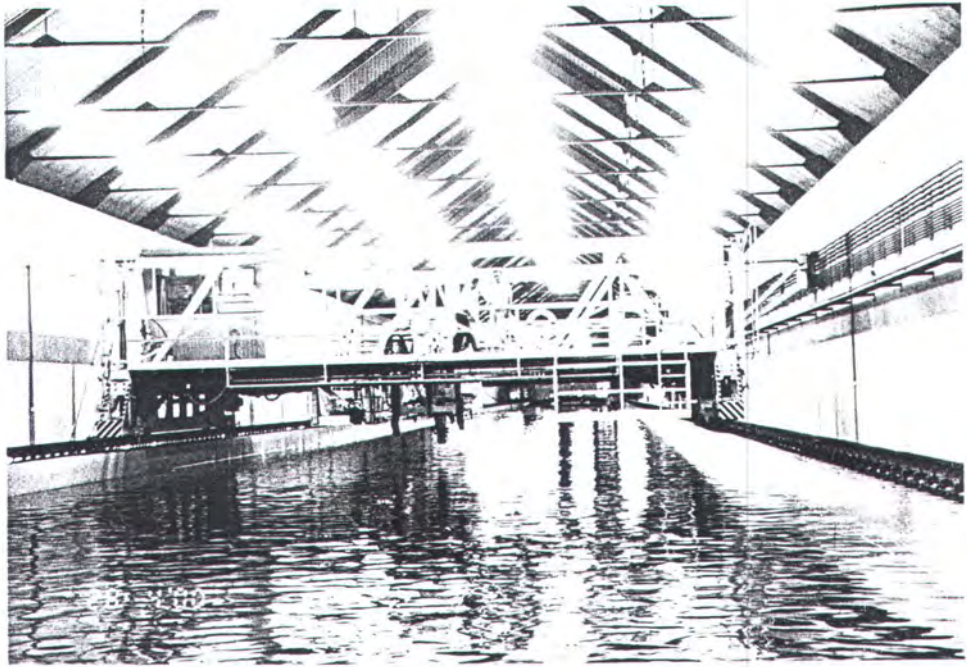
Gambar 5. Setting model tampak atas



Gambar 6. Foto pengujian model kecepatan 4,4 m/s



Gambar 7. Foto Pengujian model kecepatan 4,77 m/s



Gambar 8. Foto kereta tarik



Gambar 9. Foto ruang kontrol laboratorium



LAMPIRAN D



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

FORMULIR EVALUASI KEMAJUAN TUGAS AKHIR

Kami dosen Pembimbing Tugas Akhir dari mahasiswa :

Nama : Ari Setiadi  
NRP : 4395 100 012  
Judul TA : STUDI EKSPERIMENTAL ADDED RESISTANCE HYCAT  
AKIBAT GERAKAN KOPEL HEAVING DAN PITCHING  
PADA GELOMBANG REGULER

Setelah mempertimbangkan butir-butir berikut :

- Keaktifan mahasiswa dalam mengadakan asistensi
- Proporsi Materi TA yang telah diselesaikan sampai saat ini
- Prospek penyelesaian TA dalam jangka waktu yang relevan
- Masa studi yang tersisa

Dengan ini kami mengusulkan agar TA mahasiswa tersebut diputuskan untuk :

- Dibatalkan keseluruhannya dan mengajukan judul baru
- Diperkenankan menyelesaikan tanpa perubahan
- Diperkenankan mengikuti Ujian Tugas Akhir dengan Judul :  
STUDI EKSPERIMENTAL ADDED RESISTANCE HYCAT AKIBAT  
GERAKAN KOPEL HEAVING DAN PITCHING PADA  
GELOMBANG REGULER

Selanjutnya mahasiswa diatas diharuskan untuk dapat menyelesaikan Tugas  
Akhirnya dan dapat mengikuti Ujian Tugas Akhir untuk Wisuda.....20.....

Surabaya, 22-5-2000

Dosen Pembimbing




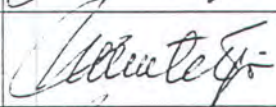
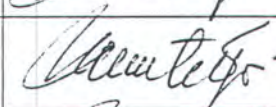
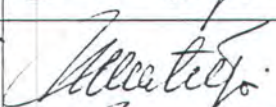
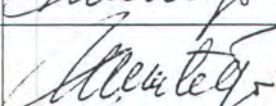
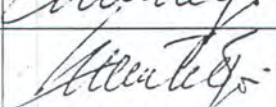
(Ir. M. Murtedjo, M.Eng)  
NIP. 130 687 431



(Dr. Ir. P. Indiyono, Msc)  
NIP. 131 687 431

**LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR**

NAMA MAHASISWA : ARI SETIADI  
 NOMOR POKOK : 4395 100 012  
 DOSEN PEMBIMBING : Ir.M. MURTEDJO, M.Eng.  
 TUGAS MULAI : September 1999  
 DISELESAIKAN : Mei 2000  
 JUDUL TUGAS AKHIR : STUDI EKSPERIMENTAL ADDED RESISTANCE  
 HYCAT AKIBAT GERAKAN KOPEL HEAVING DAN  
 PITCHING PADA GELOMBANG REGULER

No	Tanggal	Konsultasi Mengenai	Tanda Tangan Dosen Pembimbing
1	23-11-99	Asistengi I	
2	16-12-99	Asistensi Bab I + Bab II	
3	9-3-2000	Revisi Bab II	
4	12-3-2000	Bab III	
5	19-4-2000	Bab IV : Perhitungan teori	
6	27-5-2000	Bab IV : Perbandingan teori & Percobaan	
7	28-5-2000	Abstrak & Bab V	
8	3-5-2000	Kesimpulan	

CATATAN : LEMBAR ASISTENSI INI HARUS DITUNJUKKAN PADA SAAT UJIAN TUGAS AKHIR



JURUSAN TEKNIK KELAUTAN  
 FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : ARI SETIADI  
 NOMOR POKOK : 4395 100 012  
 DOSEN PEMBIMBING : Dr. Ir.P. INDIYONO, M.Sc.  
 TUGAS MULAI : September 1999  
 DISELESAIKAN : Mei 2000  
 JUDUL TUGAS AKHIR : STUDI EKSPERIMENTAL ADDED RESISTANCE  
 HYCAT AKIBAT GERAKAN KOPEL HEAVING DAN  
 PITCHING PADA GELOMBANG REGULER

No	Tanggal	Konsultasi Mengenai	Tanda Tangan Dosen Pembimbing
1	24-02-2000	Konsultasi I	
2	16-03-2000	Bab I, Bab II	
3	22-03-2000	Revisi Bab II	
4	28-5-2000	Bab IV	
5	2-5-2000	Kesimpulan + Abstrak	

CATATAN : LEMBAR ASISTENSI INI HARUS DITUNJUKKAN PADA SAAT UJIAN TUGAS AKHIR

