



TUGAS AKHIR (MO 184804)

Studi Eksperimen dan Numeris pada Analisis Percepatan Gerak Vertikal di Helideck pada Floating Crane Catamaran

YUNAN SETIAWAN SUWANDONO

NRP. 04311640000122

DOSEN PEMBIMBING:

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D

Ir. Murdjito, M.Sc., Eng.

Ir. Abd. Ghofur. Msc.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER



TUGAS AKHIR (MO 184804)

Studi Eksperimen dan Numeris pada Analisis Percepatan Gerak Vertikal di Helideck pada Floating Crane Catamaran

YUNAN SETIAWAN SUWANDONO

NRP. 04311640000122

DOSEN PEMBIMBING:

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D

Ir. Murdjito, M.Sc., Eng.

Ir. Abd. Ghofur. Msc.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2020



FINAL PROJECT (MO 184804)

Experimental and Numerical Studies on Analysis of Vertical Motion Acceleration in Helideck on the Catamaran Floating Crane

YUNAN SETIAWAN SUWANDONO

NRP. 04311640000122

Supervisors :

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D

Ir. Murdjito, M.Sc., Eng.

Ir. Abd. Ghofur. Msc.

OCEAN ENGINEERING DEPARTEMENT

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2020

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMEN dan Numeris pada Analisis Percepatan Vertikal di
Heideck pada Floating Crane Catamaran

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik untuk Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember

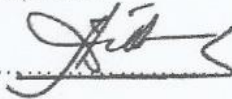
Oleh:

Yunan Setiawan Suwandono

NRP. 0431164000122

Disetujui oleh:

1. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 1)



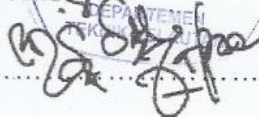
2. Ir. Murdjito, MSc., Eng. (Pembimbing 2)



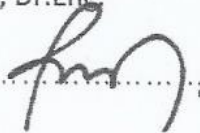
3. Ir. Abd Ghofur, Msc (Pembimbing 3)



4. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., Ph.D. (Penguji 1)



5. Rudi Waluyo Prastianto, S.T., M.T., Dr.Eng (Penguji 2)



6. Wimala L. Dhanista, ST., MT (Penguji 3)



Surabaya,

Agustus 2020

Studi Eksperimen dan Numeris pada Analisis Percepatan Gerak Vertikal di Helideck pada Floating Crane Catamaran

Nama : Yunan Setiawan Suwandono
NRP : 04311640000122
Departemen : Teknik Kelautan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D
Ir. Murdjito, M.Sc., Eng.
Ir. Abd. Ghofur. Msc.

ABSTRAK

Pada tugas akhir ini akan membahas mengenai operabilitas percepatan gerak vertikal di area helideck pada hasil eksperimen dan akan dibandingkan dengan analisa numeris. Untuk eksperimen nya dilaksanakan di fasilitas *Maneuvering and Ocean Engineering Basin (MOB)* Balai Teknologi Hidrodinamika BPPT – ITS. Model yang di uji adalah tipe kapal kataraman dengan skala 1:36 terhadap skala asli. Pengujian eksperimen menggunakan gelombang acak dengan spektrum pierson-maskowitz dengan $H_s=2,5$ dan $H_s= 6,37$ m. Hasil dari pengujian ini berupa *time history* yang mana selanjutnya akan diolah menjadi spektral respon gerak. Pada bagian helideck hanya melakukan uji surge sway dan heave. Sedangkan untuk numeris melakukan analisa akibat gelombang regular saat heading 0^0 45^0 90^0 135^0 180^0 dan didapatkan RAO untuk gerakan *Heave, Roll, Pitch*. Setelah itu hasil RAO di kalikan dengan spectra gelombang sehingga didapatkan harga stokastiknya. Untuk analisa operabilitas pendaratan di Helideck menggunakan kriteria Olson dan dari Marine yang dimana di dapatkan batasan tinggi gelombang menurut olson yaitu untuk arah datang gelombang 0^0 , 90^0 , 180^0 sebaiknya tidak dilakukan lebih dari tinggi gelombang 3 meter, sedangkan untuk kondisi 45^0 dan 135^0 tidak boleh diatas 4 meter. Untuk kategori menurut HCA kondisi kritis yaitu arah datang gelombang 90^0 untuk tinggi gelombang 2 meter. Pada ketinggian 4 meter merupakan batas dari arah gelombang 0^0 45^0 135^0 180^0 .

Kata Kunci : *Floating Crane Catamaran*, Operabilitas, Helideck

**Experimental and Numerical Studies on Analysis of Vertical Motion
Acceleration in Helideck on the Catamaran Floating Crane**

Name : Yunan Setiawan Suwandono
NRP : 04311640000122
Department : Ocean Engineering FTK-ITS
Supervisors : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D
Ir. Murdjito, M.Sc., Eng.
Ir. Abd. Ghofur. Msc.

ABSTRACT

In this final project will discuss the operability of vertical motion acceleration in the helideck area on the experimental results and will be compared with numerical analysis. The experiments were carried out at the Maneuvering and Ocean Engineering Basin (MOB) facility of the BPPT - ITS Hydrodynamics Technology Center. The model being tested is the type of catamaran with a scale of 1:36 to the original scale. Testing experiments using random waves with pierson-maskowitz spectrum with $H_s = 2.5$ and $H_s = 6.37$ m. The results of this test in the form of time history which will then be processed into a specific response to the motion. In the helideck only do surge sway and heave tests. As for numerical analysis of regular waves when heading 0° 45° 90° 135° 180° and obtained RAO for Heave, Roll, Pitch movements. After that the RAO results are multiplied by the wave spectra so that the stochastic price is obtained. For the analysis of the landing operability at Helideck using the Olson criteria and from the Marine where the wave height limit according to Olson is for the incoming wave direction 0° , 90° , 180° it should not be done more than 3 meters wave height, while for conditions 45° and 135° it should not be above 4 meters. For categories according to the HCA the critical condition is the direction of wave 90° for wave height of 2 meters. At 4 meters elevation is the boundary of the wave direction 0° 45° 135° 180° .

Keywords : *Floating Crane Catamaran*, Operabilitas, Helideck

Kata Pengantar

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena atas rahmat dan karunia nya, penulis dapat menuntaskan tugas akhir ini dengan baik dan di beri keadaan sehat dan terhindar dari berbagai macam penyakit di tengah pandemi ini.

Tugas Akhir ini berjudul “**Studi Eksperimen dan Numeris pada Analisis Percepatan Gerak Vertikal di Helideck pada Floating Crane Catamaran**” yang dimana disusun untuk syarat kelulusan jenjang studi Sastra-1 (S1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Tugas Akhir ini membahas mengenai analisa percepatan gerak verikal di bagian helideck pada *floating crane catamaran*, yang dimana diteliti secara eksperimen di laboratorium dan numeris dengan bantuan *Software*. Diharapkan kedepan nya tugas akhir ini dapat menjadi refrensi bagi pembaca.

Penulis sadar bahwa dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini masih tidaklah sempurna. Kritik dan saran sangat diperlukan demi menyempurnakan laporan Tugas Akhir ini ini. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat baik bagi penulis dan memberikan sumbangsih pada ilmu pengetahuan.

Surabaya, 11 Agustus 2020

Yunan Setiawan Suwandono

Ucapan Terimakasih

Tidak lupa juga dalam penyusunan Tugas Akhir ini saya mendapatkan berbagai macam dukungan dan bimbingan serta doa dari berbagai macam pihak. Oleh karena itu saya sebagai penulis ingin menyampaikan banyak ucapan terimakasih kepada berbagai pihak yang sudah membantu sampai selesai dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Sehingga pada kesempatan hari ini akan saya sampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua saya yang sudah mendukung secara penuh baik secara moril maupun secara materi.
2. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M. Sc.,Ph.D, bapak Ir. Murdjito, M.Sc,Eng. dan Bapak Ir. Abd. Ghofur.Msc. sebagai dosen pembimbing yang telah membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T, M, T. Bapak Ir. Wisnu Wardhana, S.E, M.Sc, Ph.d, dan ibu Wimala L. Dhanista, S.T., M.T selaku dosen penguji yang sudah memberikan waktunya dalam memperbaiki tugas akhir ini dan memberikan masukan untuk kesempurnaan tugas akhir ini.
4. Balai Teknologi Hidrodinamika beserta jajarannya yang telah membantu dalam pelaksanaan eksperimen ini dan saran untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Teman seperjuangan dalam kelompok eksperimen ini yaitu Hanif, Aziz, dan Rico yang telah membantu support dari awal pengerjaan hingga selesai.
6. Teman-Teman angkatan “Adhiwamastya” yang telah menemani dalam berbagai suka maupun duka.
7. Anak-anak “Gerbong” yang sudah banyak meluangkan waktu dalam menghibur, menemani dan banyak hal untuk membantu proses pengerjaan ini.

Dan semua pihak yang tidak bisa di sebutkan semua satu-persatu

DAFTAR ISI

IKHTISAR PENELITIAN	i
Kata Pengantar	vi
Ucapan Terimakasih.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	4
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori.....	7
2.2.1 Teori Gerakan Kapal	7
2.2.2 Gerakan Vertikal (Vertikal motion)	8
2.2.3 Spektrum Gelombang.....	9
2.2.4 Pierson-Moskowitz-1964.....	9
2.2.5 Gerakan pada Gelombang Reguler	10
2.2.6 Gerakan kapal di Atas Gelombang Acak	11
2.2.7 Analisa Operabilitas Kapal	11
2.2.8 Kriteria seakeeping.....	12
2.2.9 Teori Pemodelan	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Diagram Alir.....	17
3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian.....	20
3.2.1 Studi Literatur.....	20

3.2.2	Pemodelan	20
3.2.3	Rancang Model Skala	20
3.2.4	Kalibrasi Alat	20
3.2.5	Pengujian Model.....	20
3.2.6	Pengolahan Data.....	20
3.2.7	Running RAO.....	20
3.2.8	Mencari Perbedaan Analisa Gerakan Vertikal	22
3.2.9	Mencari Karakteristik Spektrum Respon	20
3.2.10	Operabilitas untuk Kriteria Helikopter	22
3.2.11	Kesimpulan.....	22
BAB IV ANALISA & PEMBAHASAN.....		23
4.1	Pemodelan Struktur.....	23
4.1.1	Pemodelan Eksperimen.....	25
4.1.2	Pemodelan Tali Tambat	25
4.1.3	Instrumen Pengukuran	27
4.1.3.1	Kalibrasi Perangkat Qualysis	27
4.1.3.2	Kalibrasi Wave Probe & Wave Generator	29
4.2	Persiapan Pengolahan Data Uji Eksperimen	32
4.3.	Analisa Hasil Uji Eksperimen	32
4.3.1	Mode Gerak Surge.....	34
4.3.2	Mode Gerak Sway	35
4.3.3	Mode Gerak Heave	36
4.4	Analisa Hasil Numeris	37
4.4.1	Pemodelan Numeris.....	37
4.4.2	Analisa Gerakan FCC pada Kondisi Free Floating	38
4.4.3	Analisa Gerakan FCC di Atas Gelombang Acak	40
4.4.4	Spektra Respon.....	41
4.4.5	Analisa Gerakan FCC Saat Kondisi Tertambat.....	48
4.4.6	Analisa Operabilitas FCC	53
BAB V PENUTUP.....		57
5.1	Kesimpulan.....	57
5.2	Saran	57

DAFTAR PUSTAKA	59
Lampiran	
Biodata Penulis	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Helideck pada floating crane catamaran.....	1
Gambar 2. 1	Gerakan kapal dalam 6 derajat kebebasan.....	8
Gambar 3. 1	Diagram alir pengerjaan tugas akhir	17
Gambar 4. 1	Model Floating crane catamaran.....	24
Gambar 4. 2	Proses peletakan model & kalibrasi KG.....	25
Gambar 4. 3	Steel wire sling.....	26
Gambar 4. 4	Motion capture camera	28
Gambar 4. 5	Passive marker	28
Gambar 4. 6	Qualysis calibration kit.....	29
Gambar 4.7	Wave probe	30
Gambar 4.8	Perbandingan antara spektrum gelombang teoritis & numeris	31
Gambar 4.9	Konfigurasi instalasi tali tambat	33
Gambar 4.10	Kondisi catamaran saat pengujian.....	34
Gambar 4.11	Spektra respon surge di helideck.....	35
Gambar 4. 12	Spektra respon sway di helideck	36
Gambar 4. 13	Spektra respon heave di helideck.....	37
Gambar 4. 14	Tampak atas floating crane catamaran	38
Gambar 4. 15	Rao gerakan heave dai fcc untuk tiap arah heading	39
Gambar 4. 16	Rao gerakan roll dai fcc untuk tiap arah heading	39
Gambar 4. 17	Rao gerakan pitch dai fcc untuk tiap arah heading	40
Gambar 4. 18	Kurva spektra gelombang pierson moskowitz.....	41
Gambar 4. 19	Spektra respon heave fcc heading 0^0	41
Gambar 4. 20	Spektra respon roll fcc heading 0^0	42
Gambar 4. 21	Spektra respon pitch fcc heading 0^0	42
Gambar 4. 22	Spektra respon heave fcc heading 45^0	43
Gambar 4. 23	Spektra respon roll fcc heading 45^0	43
Gambar 4. 24	Spektra respon pitch fcc heading 45^0	44
Gambar 4. 25	Spektra respon heave fcc heading 90^0	44
Gambar 4. 26	Spektra respon roll fcc heading 90^0	45
Gambar 4. 27	Spektra respon pitch fcc heading 90^0	45
Gambar 4. 28	Spektra respon heave fcc heading 135^0	46
Gambar 4. 29	Spektra respon roll fcc heading 135^0	46
Gambar 4. 30	Spektra respon pitch fcc heading 135^0	47
Gambar 4. 31	Spektra respon heave fcc heading 180^0	47
Gambar 4. 32	Spektra respon roll fcc heading 180^0	48
Gambar 4. 33	Spektra respon pitch fcc heading 180^0	49
Gambar 4. 34	Model fcc kondisi tertambat	50
Gambar 4. 35	Perbandingan eksperimen & numeris gerakan surge $H_s=2.5$ m ...	51

Gambar 4. 36	Perbandingan eksperimen & numeris gerakan sway $H_s=2.5$ m ...	51
Gambar 4. 37	Perbandingan eksperimen & numeris gerakan heave $H_s=2.5$ m ..	51
Gambar 4. 38	Perbandingan eksperimen & numeris gerakan surge $H_s=6.37$ m .	52
Gambar 4. 39	Perbandingan eksperimen & numeris gerakan heave $H_s=2.5$ m ..	53
Gambar 4. 40	Perbandingan eksperimen & numeris gerakan heave $H_s=6.37$ m	53
Gambar 4. 41	Double amplitude significant roll.....	55
Gambar 4. 42	Double amplitude significant heave	55
Gambar 4. 43	Double amplitude significant pitch	55
Gambar 4. 44	Significant vertikal velocity.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Amplitudo dan tinggi gelombang pada spektrum	9
Tabel 2. 2 Helicopter landing limits.....	13
Tabel 2. 3 Faktor skala dalam model froude	16
Tabel 3.1 Data geometri Floating crane catamaran	20
Tabel 3.2 Data kolam MOB BTH-BPPT	20
Tabel 4.1 Penskalaan model catamaran	23
Tabel 4.2 Keakuan tali tambat	26
Tabel 4.3 Validasi eksperimen dan numers	37
Tabel 4.4 Rangkuman RAO maksimum saat kondisi free floating	40
Tabel 4.5 Spesifikasi mooring pada moses	49
Tabel 4.6 Perbandingan nilai stokastik surge pada $h_s=2.5$ m.....	50
Tabel 4.7 Perbandingan nilai stokastik sway pada $h_s=2.5$ m.....	51
Tabel 4.8 Perbandingan nilai stokastik heave pada $h_s=2.5$ m.....	52
Tabel 4.9 Perbandingan nilai stokastik surge pada $h_s=6.37$ m.....	52
Tabel 4.10 Perbandingan nilai stokastik sway pada $h_s=6.37$ m	53
Tabel 4.11 Perbandingan nilai stokastik heave pada $h_s=6.37$ m	54
Tabel 4.12 Nilai maksimum dari kriteria olson	56
Tabel 4.13 nilai maksimum dari HCA	57

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki keunggulan dalam luasnya wilayah perairan yang dimana hampir 2/3 dari total keseluruhan, ditambah dengan keberadaan wilayah yang sangat strategis. Perairan Indonesia pun mempunyai berbagai potensi laut yang sangat melimpah sehingga diperlukan nya media transportasi berupa kapal-kapal penunjang untuk mengeksplorasi wilayah perairan tersebut, dalam hal ini kapal pengangkut barang banyak dibutuhkan. Salah satunya berupa *floating crane* yang dapat mengamodasikan dan menghubungkan pemindahan barang dari satu kota menuju kota yang lain.

Floating crane sendiri untuk pengoperasiannya sangat dipengaruhi oleh *seaworthiness*, yang dimana merupakan indikasi keselamatan yang harus dimiliki selama beroperasi di laut, meliputi keselamatan pekerja, barang yang diangkut, peralatan penunjang, maupun penumpang di atasnya. Adapun juga istilah *seakindliness* sebagai faktor respon sistem terapung pada kondisi laut yang cukup buruk, kondisi pengoperasian berkaitan dengan kemampuan dalam menjaga kecepatan, memperkecil kerusakan barang yang dibawa serta kenyamanan penumpang. Kelayakan bangunan laut untuk beroperasi secara maksimal merupakan aspek yang penting untuk keselamatan pada berbagai kondisi. Berikut merupakan contoh helideck pada *floating crane* catamaran seperti gambar dibawah ini:



Gambar 1.1 Helideck pada *Floating crane* catamaran

Selama beroperasi di lautan diperlukan juga sarana transportasi untuk pemindahan kru dari daratan menuju kapal dengan menggunakan helikopter, dan meskipun operasi pendaratan sudah menjadi sebuah rutinitas, faktor lingkungan merupakan yang paling menantang bagi pilot (Lumsden and Padfield, 1998). Selain itu juga dibutuhkan fasilitas penunjang berupa helideck untuk tempat pendaratan helikopter di atas kapal.

Mengingat juga untuk lancarnya operasi pendaratan helikopter di helideck pada sebuah Floating crane perlunya mempertimbangkan berbagai aspek agar tidak membahayakan keberlangsungannya operasi di lautan, terutama pada kondisi lingkungan perairan yang tidak tentu dan seringnya berubah-ubah maka beban gelombang tersebut menyebabkan respon gerakan kapal menjadi tidak tentu (Nisa 2010). Berkaitan dengan analisa operabilitas operasi helikopter agar peluang suksesnya jika operasi dikaksanakan dengan berbagai kondisi lingkungan yang bervariasi.

Oleh karena itu pada penelitian tugas akhir ini dilakukan untuk mengetahui katareristik gerakan *floating crane catamaran* untuk mengetahui batas operasi helicopter agar dapat mendarat dengan aman..

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang dikaji dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Karakteristik gerakan RAO *floating crane catamaran* hasil prediksi numeris dan eksperimen pada gelombang reguler ?
2. Bagaimana Perbandingan Karakteristik gerak Vertikal dari heave dan pitch dan gerakan roll pada helideck hasil prediksi numerik dan eksperimental pada gelombang regular?
3. Bagaimana hasil karakteristik spektra respon gerakan vertikal *catamaran crane barge* berdasarkan prediksi numeris dan eksperimen pada gelombang acak?

4. Bagaimana tingkat operabilitas *catamaran crane barge* untuk operasi pendaratan helikopter dengan meninjau intensitas gerak vertical helideck?

1.3 Tujuan

Dalam perumusan masalah diatas, tujuan yang ingin dicapai dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil prediksi karakteristik gerakan *floating crane catamaran* berupa RAO pada kondisi gelombang regular
2. Mengetahui hasil prediksi dari perbandingan karakteristik gerak vertical dari heave dan pitch dan gerakan roll pada helideck saat prediksi numeris dan eksperimen pada gelombang regular
3. Mengetahui prediksi spektra respon gerakan vertikal *floating crane catamaran* pada saat kondisi gelombang acak
4. Mengetahui besarnya operabilitas *floating crane catamaran* saat operasi pendaratan helikopter berdasarkan peninjauan intensitas gerak vertical di helideck

1.4 Manfaat

Hasil yang akan diperoleh dari eksperimen ini diharapkan dapat memberikan evaluasi operabilitas dan rekomendasi bagi operator *floating crane catamaran* saat dioperasikan agar operasi pendaratan helikopter di helideck dapat berjalan dengan lancar.

1.5 Batasan Masalah

Batasan yang dilakukan pada eksperimen ini antara lain:

1. Studi eksperimen menggunakan skenario berdasarkan Balai Teknologi Hidrodinamika
2. Untuk pengujian eksperimen ini dilakukan di fasilitas MOB Balai Teknologi Hidrodinamika BPPT – ITS
3. Untuk model eksperimen yaitu *floating crane catamaran* dengan skala 1 : 36 terhadap ukuran asli
4. Untuk eksperimen ini hanya menguji beban gelombang saja
5. Studi eksperimen pada kondisi tertambat dengan konfigurasi *spread mooring line* sebanyak delapan line

6. Pengaruh gelombang yang digunakan pada eksperimen hanya dari arah 90^0
7. Untuk gelombang yang digunakan dalam pengujian eksperimen ini merupakan gelombang acak spectra *Pierson-Moskowitz*(1964).
8. Tidak memperhitungkan tegangan pada tali tambat.
9. Analisa operabilitas hanya difokuskan pada kriteria helicopter saja.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari tugas akhir ini adalah

- Bab I Pendahuluan
Dalam bab ini berisi mengenai latar belakang penelitian ini kenapa dilakukan, rumusan masalah yang akan dibahas, tujuan permasalahan yang ingin diteliti, manfaat yang dihasilkan dari penelitian ini, batasan-batasan masalah yang dibahas, dan sistematika penulisan yang diterapkan dalam menyusun laporan tugas akhir ini.
- Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori
Dalam bab ini berisi mengenai tinjauan pustaka dan dasar teori yang akan digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir ini dan sebagai acuan.
- Bab III Metodologi Penelitian
Bab ini menguraikan tentang tahapan dan metode yang digunakan untuk mengerjakan tugas akhir ini.
- Bab IV Analisa dan Pembahasan
Pada bab ini membahas bagaimana untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini. Juga dilakukan validasi, analisis, dan pembahasan data hasil dari *output* eksperimen.
- Bab V Kesimpulan dan Saran
Berisi kesimpulan dari tugasakhir, hasil dari analisis, serta saran-saran yang perlu diberikan untuk penelitian selanjutnya. Bab ini juga untuk menjawab permasalahan yang telah dirumuskan pada Bab I.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Salah satu jenis kapal yang memiliki kemudahan dalam media transportasi laut berupa pemindahan barang, baik dalam hal keunggulannya berupa kecepatan yang cukup tinggi atau biasa disebut dengan *Advanced Marine Vehicles* biasa disebut katamaran. Dalam hal ini penelitian mengenai kapal model katamaran yang memiliki dua lambung yang terpisah tetapi melekat dengan geladak utama (Elcin, 2003). Keuntungan inilah yang membuat katamaran dapat digunakan dalam pemindahan barang. Selain itu juga kelebihan dalam hal luas geladak yang besar memberikan stabilitas melintang lebih menguntungkan untuk aspek keselamatan selama beroperasi di perairan (Utama, 1999).

Pemicu dalam penggunaan sarana transportasi pemindahan barang menghasilkan penelitian untuk bagian hambatan yang dihasilkan katamaran (Insel, 1990) dan juga apabila kapal dengan lambung yang tunggal dibandingkan dengan katamaran mempunyai hambatan yang relatif kecil (Bukhanevych, 2010). Di kesempatan yang lain Molland dan utama (1997) mencoba penelitian untuk menguji komponen hambatan viskos dan juga efek interaksi antara satu lambung dengan yang lainnya. Pada penelitian selanjutnya oleh Course (1998) memfokuskan pada perhitungan gaya samping dan *induced drag* pada sebuah kapal katamaran dan menghasilkan gaya samping pada demihull bekerja berlawanan, sedangkan *induced drag* pada kedua demihull bekerja bersamaan untuk menghambat gerakan maju kapal. Selanjutnya pada beberapa tahun kemudian Jamaluddin (2010) melanjutkan eksperimen untuk meneliti *viscous form factor* pada demihull dan katamaran dengan jenis konfigurasi lambung, selain itu penelitian yang dilakukan oleh Sakti (2012) menganalisa aliran CFD dan hambatan pada lambung katamaran asimetris *flat side outside* dengan variasi jarak demihull dengan hasilnya berupa pengaruh jarak pemisah lambung *demihull* maka semakin kecil hambatan yang ditimbulkan secara rata-rata.

Untuk menganalisa karakteristik pada kapal katamaran telah dilakukan analisa oleh sumardiono(2019) yang dimana menggunakan variasi arah gelombang dengan menggunakan *linier strip theory method* menghasilkan bahwa respon pada gerakan kapal katamaran akibat gelombang regular dipengaruhi oleh arah datangnya gelombang berlangsung, yang dimana terdapat beberapa besaran dari kondisi gelombang beam seas, *following* dan *head seas* untuk gerakan *heave* dan *pitch*.

Fitriadhy(2017) telah melakukan studi pendekatan simulasi CFD untuk menganalisis kinerja seakeeping bentuk lambung bulat dari kapal katamaran menggunakan gelombang regular dan menghasilkan peningkatan angka Froude hingga mencapai 0,47 dibandingkan dengan peningkatan gerakan *heave* pada katamaran yang dimana kondisi ini cenderung menurunkan kinerja dari performa seakeeping. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Iqbal(2014) yang dimana melakukan analisa pada optimasi bentuk demihull kapal katamaran untuk meningkatkan kualitas seakeeping dengan berbagai peningkatan modifikasi parameter nilai koefisien blok (C_b) $\pm 10\%$ dan untuk parameter yang lain nya tetap. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dari perubahan dari parameter tersebut berupa pengurangan respon pitch sebesar 9,84% dan percepatan heave sebesar 22,8% sedangkan untuk respon gerakan roll bertambah 1,12% tetapi dari perubahan tersebut masih memenuhi kriteria umum seakeeping dan memiliki respon gerakan paling minimum.

Sehingga pada tugas akhir ini, kapal katamaran akan dianalisa dengan kondisi tertambat dan kemudian akan diuji di fasilitas kolam MOB BTH-BPPT dengan menggunakan gelombang acak agar mengetahui analisa spectra respon struktur kapal katamaran pada bagian helideck dan dicari kriteria seakeeping untuk operasi pendaratan helicopter agar dapat mendarat dengan kondisi yang aman.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Teori Gerakan Kapal

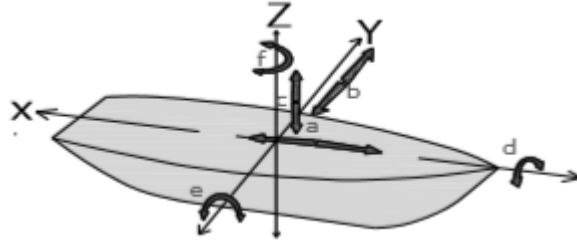
Teori gerakan kapal diawali dengan penelitian yang dikemukakan oleh Froude pada tahun 1861 yang dimana menghasilkan analisa gerakan *rolling* untuk kapal, Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Krylov pada tahun 1896 untuk menghasilkan gerakan *pitching* dan *heaving* dari kapal akibat beban gelombang. Kemudian beberapa tahun kemudian peneliti ini menghasilkan teori dasar gerakan kapal dalam mode derajat kebebasan.

Teori gerakan kapal banyak juga dikembangkan pada awal abad ke 20. Keberhasilan dalam pengembangan ditunjukkan dengan dihasilkan nya metode perhitungan koefisien massa tambah, redaman untuk benda 2 dimensi dan 3 dimensi. Perkembangan teori ini dikemukakan oleh sejumlah peneliti, diantaranya Lewis (1929) dan Haskind (1946). Lewis(1929) telah mengembangkan hipotesis dari Froude-Krylov dengan mempertimbangkan gangguan benda terapung pada medan tekanan gelombang insiden. Perkembangan selanjutnya dilakukan oleh Korvin-Krokovsky (1955) serta Korvin-Kroukovsky & Jacobs (1957) menghasilkan penerapan konsep gerakan dalam memecahkan permasalahan difraksi atau refleksi gelombang insiden yang diakibatkan oleh keberadaan benda. Dalam hal ini gerakan isolasi dari tiap-tiap strip 2-dimensi dalam kasus radiasi secara sederhana digantikan dengan gerakan relative antara benda yang tidak bergerak dan pada keadaan permukaan gelombang setiap waktu, untuk kemudian diperoleh gaya difraksi.

Dalam buku, Journee dan Massie (2001) menyebutkan bahwa bangunan apung memiliki 6 gerakan kapal dapat terlihat pada gambar 2.1, sehingga dalam sistem koordinat stasioner didefinisikan sebagai berikut:

1. Gerakan rotasi, gerak ini merupakan gerak putaran meliputi :
 - Rolling berotasi terhadap sumbu x.
 - Pitching berotasi terhadap sumbu y.
 - Yawing berotasi terhadap sumbu z.
2. Gerakan linier, gerak ini merupakan gerak lurus beraturan sesuai dengan sumbunya meliputi :

- Surging dalam arah longitudinal sumbu x.
- Swaying dalam arah lateral sumbu y.
- Heaving dalam arah vertical sumbu z.



Gambar 2.1 Gerakan kapal dalam 6 Derajat Kebebasan.

Respon dari gerakan kapal ini meliputi :

- o Added mass inertial force adalah penambahan massa pada kapal untuk kembali pada posisi semula
- o Damping force adalah gaya peredam yang berlawanan arah dengan arah gerak kapal yang menghasilkan pengurangan amplitude gerakan kapal secara berangsur- angsur
- o Restoring force adalah gaya untuk mengembalikan kapal ke posisi semula (equilibrium position). Gaya ini merupakan gaya buoyancy tambahan
- o Exciting force adalah gaya eksternal yang bekerja pada kapal. Exciting force berasal dari hasil integrasi gaya apung tambahan dan gelombang sepanjang kapal.

2.2.2 Gerakan Vertikal (Vertikal motion)

Gerakan vertikal merupakan gerakan di setiap titik sepanjang bangunan apung di atas gelombang regular. Dalam persamaan ini gerakan heaving dan pitching dinyatakan dalam persamaan dibawah ini

$$Z = Z_a \cos (\omega t + \epsilon z) \quad (2.1)$$

$$\theta = \theta_a \cos (\omega t + \epsilon \theta) \quad (2.2)$$

dengan,

ϵz = sudut fase gerakan heaving terhadap gelombang.

$\epsilon \theta$ = sudut fase gerakan pitching terhadap gelombang. Sehingga gerakan haluan

(Zb) dapat dituliskan menjadi:

$$Z_b = (Z_b)_a \cos(\omega t + \epsilon_b) \quad (2.3)$$

dengan,

Z_b = gerakan relatif gabungan (m)

$(Z_b)_a$ = amplitudo gerak titik b (m)

ϵ_b = sudut fase terkait (rad)

Dimana

$$(Z_b)_a = \sqrt{Z_a^2 + (\xi\theta a)^2 + 2Z_a\xi\theta a \cos(\epsilon_z - \epsilon\theta)} \quad (2.4)$$

Dan

$$\tan \epsilon_b = \frac{Z_a \sin \epsilon_z + \xi\theta a \sin \epsilon\theta}{Z_a \cos \epsilon_z + \xi\theta a \cos \epsilon\theta} \quad (2.5)$$

Dengan,

$(Z_{br})_a$ = amplitudo Gerak haluan relatif

$(Z_b)_a$ = amplitudo gerak titik b

ζ_a = amplitudo gelombang

k_e = angka gelombang efektif

ϵ_b = Sudut fase gerakan vertikal haluan

2.2.3 Spektrum Gelombang

Pemilihan spektrum energi gelombang didasarkan pada kondisi real dari perairan yang ditinjau. Bila tidak ada, maka dapat digunakan model spektrum yang dikeluarkan oleh berbagai institusi dengan mempertimbangkan kesamaan fisik lingkungan. Dari spektrum gelombang dapat diketahui parameter-parameter gelombang seperti tabel dibawah ini:

Tabel 2.1 Amplitudo dan Tinggi Gelombang pada Spektrum

Profil Gelombang	Amplitudo	Tinggi
Gelombang rata-rata	$1,25\sqrt{m_0}$	$2,5\sqrt{m_0}$
Gelombang signifikan	$2,00\sqrt{m_0}$	$4,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/10 gelombang tertinggi	$2,55\sqrt{m_0}$	$5,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/100 gelombang tertinggi	$3,44\sqrt{m_0}$	$6,67\sqrt{m_0}$

dengan :

$$m_0 = \text{Luasan dibawah kurva spektrum (zero moment)} = \int S(\omega) d\omega$$

2.2.4 Pierson-Moskowitz-1964

Persamaan spektra gelombang ini didasarkan pada teori similaritas dari

Kataigorodskii. Formulasi yang secara luas dikenal dengan spectra P-M ini

merupakan persamaan dengan parameter tunggal yakni kecepatan angin U_w . Kecepatan angin yang dipakai sebagai data masukan persamaan diperoleh dari pengukuran pada ketinggian 19.5m dari permukaan air tenang, dengan satuan m/det. Spektra P-M yang sesuai untuk kondisi gelombang fully develop mempunyai bentuk:

$$S_{PM}(\omega) = \frac{5}{16} \cdot H_s^2 \omega_p^4 \cdot \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^4\right) \quad (2.6)$$

Dimana

$$\omega_p = 2\pi/T_p \quad (2.7)$$

2.2.5 Gerakan pada Gelombang Reguler

Akibat adanya gelombang regular, struktur akan memberikan respon berupa gerakan (motion). Kita dapat menghitung gerakan dengan terlebih dahulu menghitung gaya yang bekerja pada struktur. Ada beberapa teori untuk menghitung gaya gelombang yang mengenai struktur seperti teori Morrison, difraksi, dan strip theory. Meskipun rumus matematik dan teori-teori ini berbeda satu sama lain, semua teori tersebut menghitung hal yang sama yaitu gaya eksitasi, *added mass*, dan damping pada struktur sebagai fungsi dari frekuensi dan heading. Jika persamaan gerak diselesaikan per satuan amplitudo gelombang, kita akan mendapatkan sejumlah nilai yang dinamakan *Response Amplitudo Operator* atau RAO. RAO adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai sebuah struktur lepas pantai. RAO juga disebut sebagai Transfer Function karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur. RAO dapat juga didefinisikan sebagai hubungan antara amplitudo gerakan struktur terhadap amplitudo gelombang. RAO gerakan translasi (surge, sway, heave) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan bangunan apung dibanding dengan amplitudo gelombang yang terjadi dan dinyatakan dalam satuan m/m. Bentuk umum persamaan RAO dalam fungsi frekuensi adalah sebagai berikut (Bhattacharyya, 1987):

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \quad (2.8)$$

Dimana :

$X_p(\omega)$ = Amplitudo Struktur

$\eta(\omega)$ = Amplitudo Gelombang

2.2.6 Gerakan kapal di Atas Gelombang Acak

Gerakan kapal pada gelombang acak dapat dilakukan dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spectrum gerakan kapal. Hal ini dapat dilakukan dengan memperkalikan harga pangkat dua dari *response amplitude operator* (RAO) dan mode gerakan tertentu dengan ordinat spectrum gelombang, pada frekuensi yang sama. Pendekatan yang diusulkan oleh Denis dan Pierson (1953) ini valid jika harga RAO adalah merupakan normalisasi amplitude gerakan dengan amplitude gelombang.

Dalam perancangan kapal seringkali di perlukan informasi kondisi ekstrem yang akan terjadi bila kapal berjalan di atas gelombang. Untuk masalah ini, Ochi (1973) telah memperkenalkan formulasi stokastik harga ekstrem. Untuk kapal yang bergerak di atas gelombang yang mempunyai karakteristik tertentu (spektrumnya tetap), maka gerakan terbesar yang paling mungkin terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\bar{\xi}_n = \left[2 \ln \frac{(60^2 T)}{2\pi} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \right]^{\frac{1}{2}} \sqrt{m_0} \quad (2.9)$$

Dimana n adalah jumlah observasi depresi gerakan. Harga n dapat dihitung dengan mempertimbangkan lamannya (waktu) kapal di atas gelombang tersebut (misalnya T jam) yang perumusannya adalah:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.10)$$

Gelombang acak mempunyai tinggi, amplitudo, dan periode gelombang yang bervariasi. Rekaman gelombang dapat dianalisa statistik menggunakan metode zero-upcrossing (T_p) atau zero-downcrossing (T_z)

2.2.7 Analisa Operabilitas Kapal

Dalam rangka melakukan evaluasi kemampuan kapal untuk beroperasi dengan efektif pada kondisi gelombang tertentu, biasanya diperlukan suatu acuan

standar, yakni biasa disebut sebagai kriteria seakeeping. Acuan ini akan dipakai untuk melihat harga-harga statistic gerakan, sebagaimana yang akan dihitung, apabila melampaui batasan-batasan tertentu atau tidak. Bagi perancang ada sejumlah kriteria seakeeping yang dapat dipakai, yang telah dipublikasikan oleh beberapa institusi atau peneliti secara individual. Kriteria-kriteria tersebut biasanya disusun berdasarkan informasi pengalaman operator kapal, antara lain meliputi berbagai gerakan kapal yang melampaui kemampuan tubuh ABK, Tingkat mabuk laut penumpang, bahaya dari kerusakan struktur yang diakibatkan oleh hempasan, dan faktor-faktor keselamatan lainnya.

2.2.8 Kriteria seakeeping

Salah satu kriteria seakeeping yang banyak dipakai dalam acuan evaluasi operabilitas kapal telah dikemukakan oleh Olson (1978). Kriteria seakeeping dari Olson pada dasarnya dapat mempertimbangkan helicopter kategori yang dimana dapat dijabarkan lebih lanjut:

1. Double Amplitudo Roll Signifikan Sebesar 12.8°:

Kriteria ini menunjukkan resiko dan kesulitan yang akan dialami bila helicopter akan mendarat di atas geladak kapal, yaitu adanya kemungkinan tergelincir, karena kaki-kaki helicopter di kedua sisi mungkin saja tidak akan menapak bersama-sama. Kriteria helicopter juga dapat diberlakukan dalam operasi pemuatan atau pemindahan barang dilakukan antar kapal. Kemiringan roll yang relatif besar akan dapat menyebabkan barang tergelincir secara transversal, yang dalam hal tertentu bila bobot barang cukup besar akan menyebabkan kemiringan kapal membesar dan membahayakan stabilitas.

2. Double Amplitudo Signifikan Displasemen (Gerak) Vertikal Sebesar 2.55m:

Kriteria ini mengimplikasikan tentang keselamatan dan kemudahan mendaratnya helicopter, atau pemindahan / pemuatan barang atau personel antara satu kapal ke kapal lain, ataupun dari helicopter ke kapal dan sebaliknya. Harus dipahami bahwa osilasi vertikal dengan intensitas 2.55m adalah merupakan ukuran yang besar, dan tidak mudah mengontrol keamanannya.

3. Double Amplitudo Signifikan Pitch Sebesar 6⁰.

4. Amplitudo Signifikan Kecepatan Vertikal Sebesar 2.13m/det:

Kriteria ini mengindikasikan kondisi kritis oleh kemungkinan terjadinya benturan yang berlebihan antara helikopter yang akan mendarat dengan geladak kapal, atau barang yang dipindahkan dengan geladak. Meskipun gerakan vertikal ini rendah, misalnya tidak sampai melampaui 2.55m/det (kriteria-6) tetapi benturan dengan kecepatan di atas 2.13m/det jelas sangat kritis efeknya terhadap struktur kapal, terutama bila barang-barang yang dipindahkan cukup berat atau mempunyai kekerasan tinggi. Bila sebaliknya, barang yang dipindahkan relatif lemah maka benturan dengan geladak akan mudah merusakkannya

Selain itu juga terdapat kategori yang dikeluarkan oleh Norwegian Helideck Certification Association (HCA) yang dimana sudah diakui secara de facto sejak 2001. Memiliki batas pada gerakan *roll*, *pitch*, *heave amplitude* dan *velocity*, yang dimana tergantung pada ukuran kapal, kelincahan helikopter dan ukuran. Beikut merupakan batasan yang dimiliki oleh marine :

Tabel 2.2 Helicopter landing limits

AIRCRAFT		HELIDECK CATEGORY											
CATEGORY		1				2				3			
		P/R	INC	H/R	H/A	P/R	INC	H/R	H/A	P/R	INC	H/R	H/A
Heavy	DAY	±3	3.5	1.3	5.0	±2	2.5	1.0	3.0	±2	2.5	1.0	3.0
	NT	±3	3.5	1	4.0	±2	2.5	0.5	1.5	±1	1.5	0.5	1.5
Medium	DAY	±4	4.5	1.3	5.0	±2	3.5	1.0	3.0	±3	3.5	1.0	3.0
	NT	±4	4.5	1	4.0	±2	2.5	0.5	1.5	±1.5	2.0	0.5	1.5

Dimana:

P/R = Pitch and Roll (deg)

INC = Helideck Inclination (deg)

H/R = Heave Rate (m/s)

H/A = Heave Amplitude (metres) i.e. peak to trough distance

2.2.9 Teori Pemodelan

Dalam melakukan pemodelan perlu diperhatikan agar model dapat merepresentasikan perilaku geometri struktur, aliran fluida dan interaksi antara keduanya. Oleh karena itu, harus dicari kesamaan dalam geometri, kinematika fluida, dan dinamika dari struktur yang dikenai oleh fluida di sekitarnya (Munson, 2009).

1. Kesamaan Geometri

Model yang akan dibuat harus memiliki kesamaan bentuk, tetapi bisa berbeda dimensi. Model yang dibuat disesuaikan dengan suatu faktor skala, sehingga sebanding dengan prototipe yang dijadikan acuan. Rasio skala tersebut dapat diasumsikan dengan rasio skala konstan diantara dimensi model dan prototipe. Jika seluruh bentuk dan dimensi model sebanding dengan prototipe, maka dapat dikatakan keduanya sama secara geometri. Rasio ini selanjutnya akan digunakan sebagai faktor skala untuk model yang didefinisikan sebagai λ

$$\frac{l_p}{l_m} = a \quad (2.11)$$

dengan,

l_p = dimensi prototype (diameter/panjang/dll)

l_m = dimensi model (diameter/panjang/dll)

a = rasio skala

2. Kesamaan Kinematik

Rasio dari kecepatan dan percepatan yang digunakan dalam model harus dijaga agar tetap konstan. Rasio dari kecepatan pada prototipe dengan kecepatan model yang bersesuaian harus konstan. Hal ini berlaku pada seluruh kecepatan termasuk kecepatan partikel fluida, angin, towing, model pada arah tertentu. Sama seperti sebelumnya, rasio dari percepatan model harus sama dengan

prototipe, tetapi dengan rasio yang berbeda dengan kecepatan. Ketika percepatan dan kecepatan model sudah sama dengan prototipe, maka keduanya dapat dikatakan memiliki kesamaan kinematik.

3. Kesamaan Hidrodinamik

Hukum skala dalam kesamaan hidrodinamik ditentukan oleh rasio dari gaya. Ada beberapa hukum skala dalam kesamaan hidrodinamik berdasarkan masalah interaksi struktur dengan fluida. Kesamaan dinamik antara model dan prototipe didapatkan dengan memenuhi hukum kesamaan tersebut. Dalam kebanyakan kasus, hanya satu dari beberapa hukum skala tersebut yang dapat memenuhi model struktur. Oleh karena itu, hal penting yang perlu dipahami adalah proses fisik yang dialami oleh struktur. Kemudian memilih hukum skala yang paling penting yang mengatur proses tersebut.

5. Hukum Model Froude

Bilangan froude didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya gravitasi yang dihasilkan oleh benda pada suatu medium. Bilangan froude didefinisikan dengan persamaan,

$$Fr = \frac{u^2}{(gD)} \quad (2.12)$$

Model froude harus memenuhi hubungan,

$$\frac{u_p^2}{(gD_p)} = \frac{u_m^2}{(gD_m)} \quad (2.13)$$

Dengan mengasumsikan faktor skala kesamaan geometri adalah λ , hubungan antara model dengan prototipe untuk bermacam parameter dapat diperoleh. Tabel berikut merupakan faktor skala dari variabel-variabel yang umum digunakan dan memenuhi persyaratan model Froude. Berikut merupakan tabel untuk penskalaan model Froude:

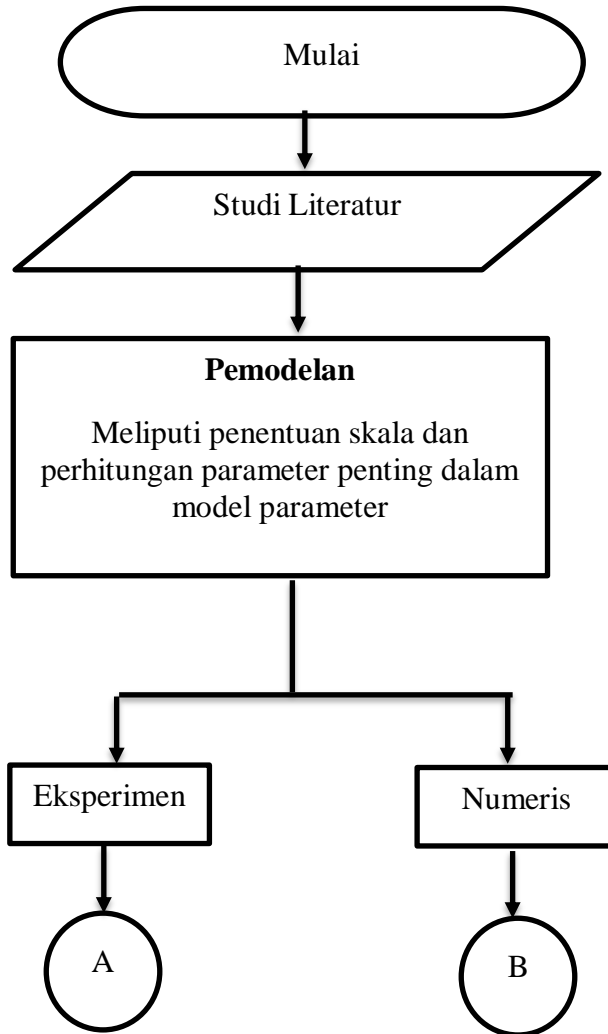
Tabel 2.3 Faktor skala dalam model Froude. (Cakhrabarti, 1994)

VARIABLE	UNIT	SCALE FACTOR	REMARKS
<u>GEOMETRY</u>			
<i>Length</i>	<i>L</i>	λ	<i>Any Characteristic dimension of the object</i>
<i>Area</i>	L^2	λ^2	<i>Surface area or projected area on a plane</i>
<i>Volume</i>	L^3	λ^3	<i>For any portion of the object</i>
<i>Angle</i>	<i>None</i>	<i>1</i>	<i>e.g., between members or solid angle</i>
<i>Radius of Gyration</i>	<i>L</i>	λ	<i>Measured from a fixed point</i>
<i>Moment of Inertia Area</i>	L^4	λ^4	
<i>Moment of Inertia Mass</i>	ML^2	λ^5	<i>Taken about fixed point</i>
<i>Center of Gravity</i>	<i>L</i>	λ	<i>Measured from a reference point</i>
<u>KINEMATICS & DYNAMICS</u>			
<i>Time</i>	<i>T</i>	$\lambda^{1/2}$	<i>Same reference point (e.g., starting time) is considered as zero time</i>
<i>Acceleration</i>	LT^{-2}	<i>1</i>	<i>Rate of change of velocity</i>
<i>Velocity</i>	LT^{-1}	$\lambda^{1/2}$	<i>Rate of change of displacement</i>
<i>Displacement</i>	<i>L</i>	λ	<i>Position at rest is considered as zero</i>
<i>Spring Constant (Linear)</i>	MT^{-2}	λ^2	<i>Force per unit length of extension</i>
<i>Damping Coefficient</i>	MT^{-1}	$\lambda^{5/2}$	<i>Resistance (viscous) against oscillation</i>
<i>Damping Factor</i>	<i>None</i>	<i>1</i>	<i>Ration of damping and critical damping coefficient</i>
<i>Natural Period</i>	<i>T</i>	$\lambda^{1/2}$	<i>Period at which inertia force = restoring force</i>

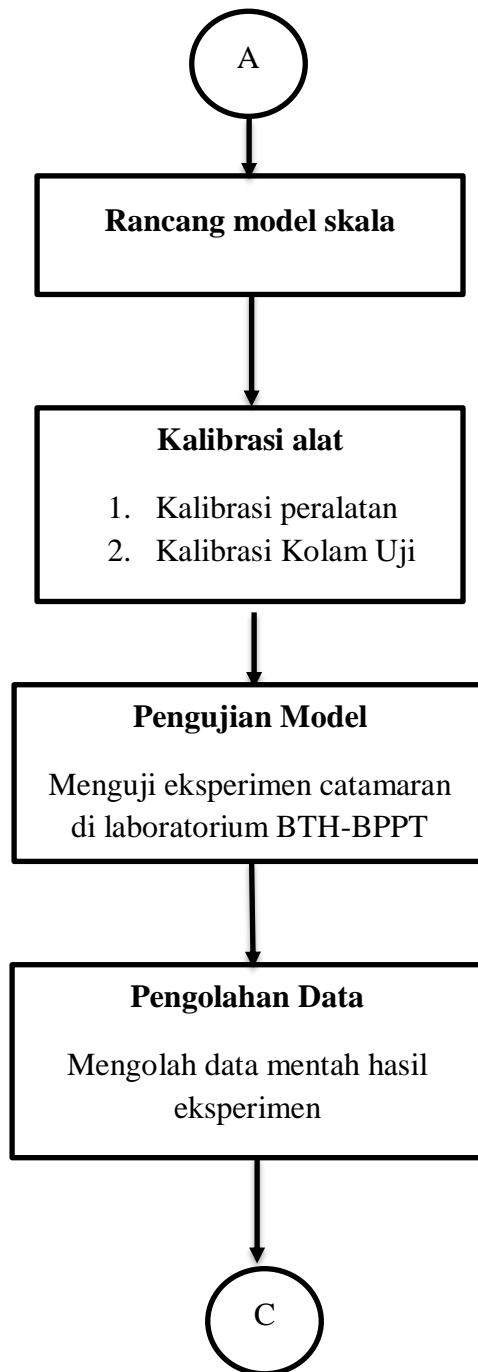
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

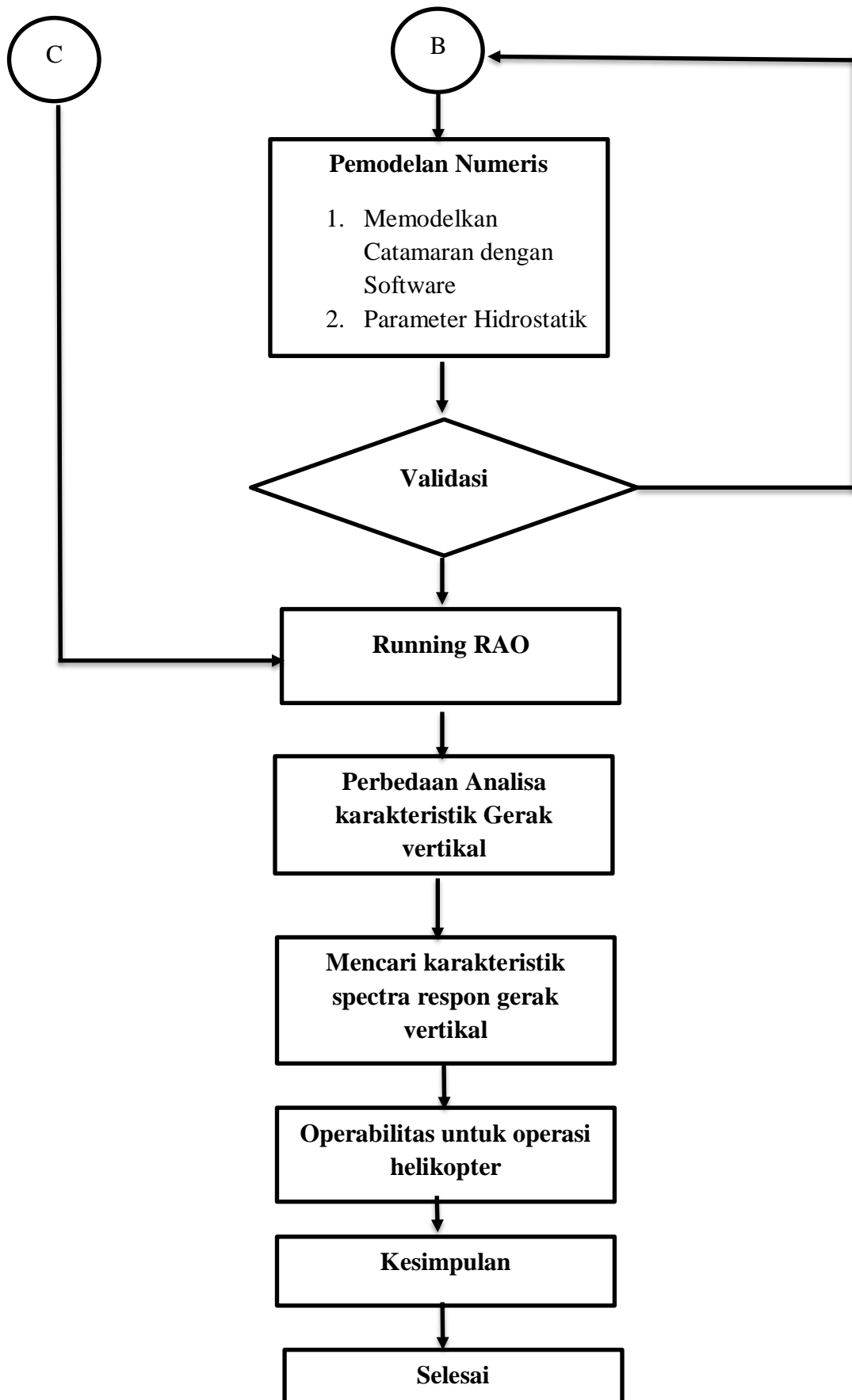
Metode penelitian selama proses pengerjaan tugas akhir ini ditampilkan dalam diagram alir dibawah ini



Gambar 3.1 Gambar Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1 Gambar Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)



Gambar 3.1 Gambar Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)

3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur ini dilakukan dengan mencari, mempelajari, serta memahami jurnal, buku-buku, dan laporan tugas akhir alumni baik dari institusi sendiri maupun dari institusi lain yang membahas mengenai operabilitas dan eksperimen. Literatur-literatur tersebut juga digunakan sebagai acuan dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini.

Tabel 3.1 Data Geometri floating crane catamaran

<i>Principal Dimension</i>	Besaran	Satuan
Length Overall (LOA)	111	m
Length Perpendicular (LPP)	108	m
Breadth (B)	37.80	m
Depth (H)	10.50	m
Draft (T)	4.70	m
Service Speed (V)	12.00	Knots

Tabel 3.2 Data kolam MOB BTH-BPPT (bth.bppt.go.id)

Deskripsi	Ukuran	Satuan
Panjang	45	m
Lebar	30	m
Kedalaman	1.5	m
Maximum Waves Period	0.5-3	detik
Waves Direction	0° - 90°	<i>Degree</i>

3.2.2 Pemodelan

Untuk pemodelan yang dilakukan secara eksperimen dilakukan pertimbangan aspek geometri, kinematis, dan dinamis, skala yang

digunakan yaitu 1:36, dan akan ditempatkan pada fasilitas kolam MOB Balai Teknologi Hidrodinamika.

3.2.3 Rancang Model Skala

Untuk rancang model skala telah dibuat oleh pihak ketiga yang dimana sudah pernah melakukan uji lab pada tahun sebelumnya dan dilakukan pengujian ulang untuk tahap selanjutnya

3.2.4 Kalibrasi alat

Untuk peralatan yang dibutuhkan yaitu

1. Motion Capture Camera

Berfungsi untuk pengambilan gambar pada eksperimen ini

2. Passive Marker

Digunakan untuk mendapatkan posisi titik dimana yang akan di uji. Setiap detiknya akan ditangkap oleh kamera dan menjadi *Time History*

3. Calibration Kit

Digunakan untuk mengkalibrasi posisi sumbu x dan y agar sesuai dengan tujuan eksperimen

3.2.5 Pengujian Model

Model diuji di fasilitas MOB BTH-BPPT. Spektrum gelombang yang digunakan yaitu spectrum gelombang Pierson-Moskowitz dengan $H_s=6,37$ dan $H_s=2,5$. Output dari hasil eksperimen yaitu *time history* yang mana selanjutnya di olah menjadi spektral respon gerak struktur

3.2.6 Pengolahan data

Pengolahan data dilakukan menggunakan program perangkat lunak OKTAVE. Dari hasil pengolahan tersebut didapatkan grafik spectrum gelombang dan spectra respon

3.2.7 Running RAO

Analisa RAO pada kondisi tertambat menggunakan *software* MOSES untuk mendapatkan nilai perbandingan amplitude struktur per 1 meter amplitude gelombang.

3.2.8 Mencari Perbedaan Analisa gerakan Vertikal

Mencari Perbedaan pada numeris dan eksperimen pada analisa gerak vertikal dari kombinasi heave dan pitch di bagian Helideck

3.2.9 Mencari karakteristik spectrum respon

Setelah mendapatkan perbedan analisa gerakan vertikal dilakukan analisa spectrum respon dengan menggunakan spectrum Pierson-Mokowitz

3.2.10 Operabilitas untuk kriteria helicopter

Setelah didapatkan perbandingan numeris dan eksperimen dilakukan operabilitas untuk kriteria helicopter dengan membandingkan harga stokastik gerakan struktur.

3.2.11 Kesimpulan

Semua hasil pengerjaan yang telah dikerjakan akan diambil kesimpulan dan harus menjawab dari rumusan-rumusan masalah pada bagian awal tugas akhir ini

BAB IV
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 PEMODELAN STRUKTUR

4.1.1 Pemodelan Ekseperimen

Selama melakukan studi eksperimen, *floating crane catamaran* akan dimodelkan secara fisik terlebih dahulu sebelum diuji. Untuk penskalaan model dilakukan dengan menggunakan metode hukum Froude, dengan skala yang sudah ditentukan oleh yaitu 1:36 seperti tabel berikut:

Tabel 4.1 Penskalaan model Catamaran

Catamaran Poperties (skala 1:36)			
Parameter	<i>full scale</i>	faktor skala	<i>Scale Model</i>
Loa (m)	111.00	λ	3.08
Lwl (m)	111.00	λ	3.08
Lpp (m)	108.00	λ	3.00
B (m)	37.80	λ	1.05
H (m)	14.40	λ	0.40
T (m)	4.70	λ	0.13
Displacement (Kg)	846400.00	λ^3	181.00
Tinggi Helideck diukur dari main deck catamaran (m)	16.4	λ	0.46
Posisi Fairlead			
<i>Bow-Vertical</i>	1.25	λ	0.035
<i>Bow-Horizontal</i>	5.642	λ	0.157
<i>Stern- Vertical</i>	1.25	λ	0.035
<i>Stern- Horizontal</i>	4.5	λ	0.125
LCG	50.94	λ	1.42
KG	15.41	λ	0.43

Catamaran yang dibuat dan dimodelkan untuk eksperimen menggunakan kayu berjenis balsa untuk keseluruhan mode. Pada bagian main deck ditutupi oleh tripleks agar waktu di uji air tidak masuk ke geladak. Pada bagian topside helideck diberi sensor *qualisys* untuk menangkap gerakan xyz. Adapun model dari uji eksperimen sebagai berikut:



Gambar 4.1 Model Floating Crane Catamaran

Selanjutnya adalah mencari parameter distribusi massa dari *floating crane catamaran* sebagai berikut:

1. Menghitung massa total dari model eksperimen harus sesuai dengan penskalaan dengan metode Froude. Masing-masing komponen pada bagian model ditimbang dan menghasilkan nilai total **181 kg**
2. Kalibrasi KG

Kalibrasi untuk mencari besar *keel to gravity (KG)* dari skala yang sudah ditentukan menggunakan bantuan meja osilator yang dimana model tersebut diletakkan di atasnya. Meja osilator merupakan alat yang fungsinya untuk mencari distribusi massa dari model yang sudah ada seperti mencari nilai KG dan jari-jari girasi. Proses kalibrasi dilaksanakan sesudah masing-masing

seluruh komponen terpasang dan didapatkan KG model sebesar **43** cm dari keel. Untuk proses kalibrasi dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 : Proses peletakan model dan kalibrasi KG

3. Kalibrasi jari-jari girasi

Setelah didapatkan nilai KG pada model selanjutnya dilakukan proses kalibrasi jari-jari girasi untuk mendapatkan besarnya jari-jari girasi dari skala model. Untuk pengukuran ini hanya jari-jari girasi (K_{yy}) saja, dan didapatkan hasilnya senilai **0,768** m.

4.1.2 Pemodelan Tali Tambat

Dalam Pemodelan tali tambat dilakukan menggunakan delapan tali mooring yang dilengkapi dengan spring yang memiliki kekakuan tertentu.

Proses pemilihan tali tambat menggunakan tali *steel wire sling* seperti gambar berikut :



Gambar 4.3 : Steel wire sling

Adapun perhitungan dalam kekakuan tali tambat dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel 4.2 kekakuan tali tambat

keterangan	Model Scale	Full Scale
	Keakuan (N/m)	Kekakuan (KN/m)
Pegas 1	44.334	58.893
Pegas 2	44.015	58.47
Pegas 3	43.576	57.886
Pegas 4	43.45	57.72
Pegas 5	43.925	58.35
Pegas 6	44.007	58.458
Pegas 7	44.204	58.721
Pegas 8	43.258	57.464
Rata-Rata	43.846125	58.24525

4.1.3 Instrumen pengukuran

Adapun dalam pengujian eksperimen, terdapat tiga komponen utama yaitu, untuk mengukur respons gerakan struktur, digunakan perangkat *Qualysis*. Untuk mengukur tinggi gelombang uji menggunakan *Wave Prove*, dengan dibantu *Wave Generator* untuk pembangkit gelombang dalam pengujian eksperimen ini. Alat tersebut sebelum digunakan perlunya kalibrasi agar selama proses pengujian dapat berjalan lancar.

4.1.3.1 Kalibrasi perangkat qualisis

Dalam pengukuran gerakan respon pada floating crane catamaran saat melakukan eksperimen, diperlukan sebuah instrumen khusus yang dapat melakukan perekaman perpindahan posisi floating crane catamaran ketika di uji dan terkena gelombang nantinya. Perangkat *Qualysis* dapat menangkap dan merekam gerakan respons dari *floating crane catamaran* pada gerakan x,y, dan z, dengan cara merekam perpindahan dari bola sensor yang diletakkan di beberapa objek yang ingin di analisis. Sebelum digunakan diperlukan kalibrasi terlebih dahulu, setelah itu hasil dari rekaman tersebut dikelompokkan berdasarkan enam derajat kebebasan.

Perangkat *Qualysis* terdiri dari beberapa komponen diantaranya:

1. *Motion Capture Camera*

Kamera khusus ini dapat menangkap posisi marker yang dipasang pada beberapa deck CATAMARAN. Memiliki *frame rate* 180-1750 fps.



Gambar 4.4 *Motion Capture Camera*

2. *Passive Marker*

Marker khusus berbentuk bola yang digunakan sebagai penanda pada koordinat CATAMARAN. Selama uji eksperimen berlangsung, *Qualysis motion camera* akan merekam perpindahan posisi dari *passive marker* dan dihasilkan menjadi *time history*.



Gambar 4.5 *Passive Marker* (Sumber : www.qualisys.com)

3. *Calibration Kit*

Alat yang digunakan untuk menentukan arah sumbu Cartesian agar dapat tidak terjadi kesalahan dalam merekam

gerakan CATAMARAN. Kalibrasi ini penting dikarenakan untuk menentukan titik nol koordinat CATAMARAN.



Gambar 4.6 *Qualysis Calibration Kit*

4.1.3.2 Kalibrasi wave probe dan wave generator

Untuk mengetahui dan mengukur bahwa tinggi gelombang yang dibangkitkan saat melakukan uji eksperimen sesuai dengan penskalaan menggunakan *wave probe* yang dimana akan diletakkan di dekat model.

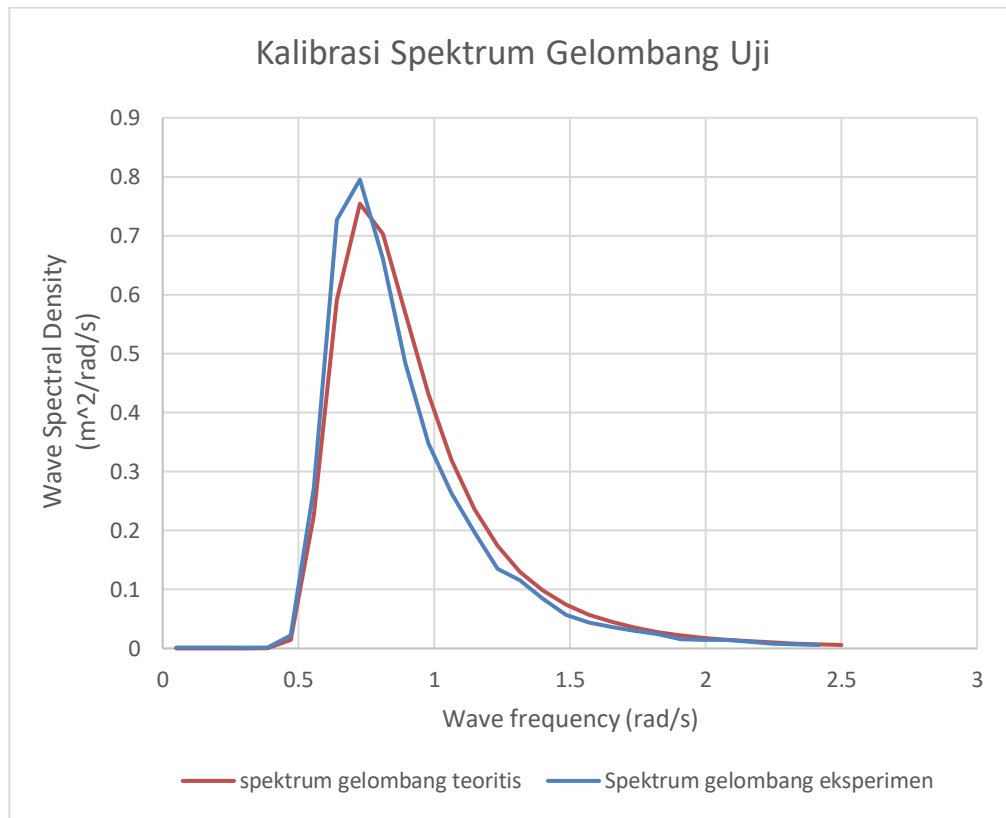


Gambar 4.7 *Wave Probe*

Dari hasil perekaman tinggi gelombang yang dihasilkan oleh *wave probe*, menghasilkan grafik *time history gelombang*, selanjutnya perekaman ini dikonversi menjadi spektrum gelombang. Spektrum gelombang ini dalam bentuk gelombang acak, yang merupakan representasi resultan dari energy gelombang-gelombang regular yang bersuperposisi membentuk karakteristik dari gelombang acak itu sendiri, dimana energi gelombang tersebut di identifikasikan pada setiap satuan luas permukaannya merupakan ekuivalen dengan harga kuadrat amplitudonya (Djarmiko,2012). Dalam pembuatan spektrum gelombang, langkah awal data rekaman berupa *time history* yang

menggunakan *time domain* harus ditransformasikan menjadi *frequency domain* menggunakan metode *fast fourier transform (FFT)* yang dimana dalam studi eksperimen ini dilakukan menggunakan bantuan *software* OCTAVE yang sudah ada fungsi FFT di dalamnya. Setelah perekaman *time history* gelombang ditransformasi ke dalam domain frekuensi, kurva spektrum gelombang dapat dibentuk dengan mengplotkan besar ordinat spektrum gelombang dengan frekuensi gelombang sebagai absis.

Spektrum gelombang yang digunakan untuk studi eksperimen ini kemudian di validasi dengan spektrum gelombang teoritis. Perbandingan keduanya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.8 : Perbandingan antara spektrum gelombang teoritis dan eksperimen

Dari gambar 4.5 diatas dapat didapatkan bahwasanya spektrum gelombang eksperimen berdekatan, dan mirip dengan spektrum gelombang hasil perhitungan teoritis. Hal ini dikarenakan gelombang

uji yang dibentuk pada kolam MOB dapat dianggap mempunyai profil gelombang yang sesuai dengan input di bagian awal.

4.2 PERSIAPAN PENGOLAHAN DATA UJI EKSPERIMEN

Sesudah melaksanakan uji eksperimen pada model *catamaran crane barge*, didapatkan data rekaman respon gerak yang berupa sinyal acak. Sinyal tersebut harus ditransformasikan menjadi kurva spektrum respon. Adapun persiapan yang perlu dilakukan terlebih dahulu.

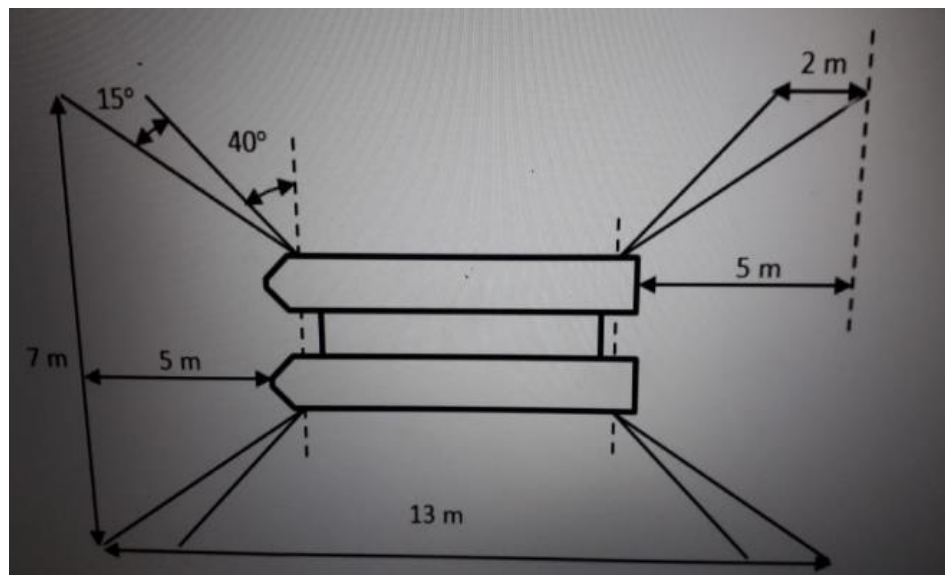
Pertama, rekaman sinyal dibagi menjadi beberapa segmen, yang selanjutnya beberapa segmen ditentukan sejumlah titik data dengan jumlah yang relatif sama, sesuai interval. Titik-titik yang dibaca merupakan elevasi. Selanjutnya ditentukan frekuensi *incremental* dan rentang frekuensinya atau biasa dikenal dengan nama *Nyquist frequency* (Djarmiko,2012). Pada studi eksperimen ini *nyquist frequency* yang digunakan adalah 50.

Selanjutnya rekaman sinyal dibagi menjadi beberapa segmen, setelah itu dilakukan proses FFT dapat dilakukan secara numerik dengan bantuan *software* OCTAVE. Hasil yang didapatkan banyak berfluktuasi. Proses pengolahan yang pertama yaitu penghalusan dengan *spectral window*. Proses ini dilakukan agar menghilangkan *noise* yang terdapat di kurva spectra. Selanjutnya, pengolahan kedua adalah *filtering*, yang dimana untuk mengeliminasi komponen menjadi efek komplementer terhadap spektra

4.3 ANALISA HASIL UJI EKSPERIMEN

Uji eksperimen model kapal *floating crane catamaran* dilaksanakan di fasilitas *Manuuvering and Ocean Engineering Basin* (MOB) Balai Teknologi Hidrodinamika (BTH)-BPPT. Adapun dimensi dari kolam MOB BTH-BPPT dapat dilihat di tabel 3.2

Floating crane catamaran dan sistem tambatnya dikalibrasi di kolam uji dan berikut konfigurasi dari instalasinya dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 4.9 : Konfigurasi Instalasi Tali Tambat

Eksperimen dilakukan dalam beberapa skenario yaitu :

1. CATAMARAN pada kondisi tali tambat keadaan *Intact* dengan $H_s = 2,5$
2. CATAMARAN pada kondisi tali tambat keadaan *Intact* dengan $H_s = 6,37$.
3. CATAMARAN pada kondisi tali tambat keadaan *Damaged* dengan $H_s = 6,37$.

Skenario pengujian uji eksperimen ini dilakukan dengan durasi 30 menit untuk masing-masing skenario.

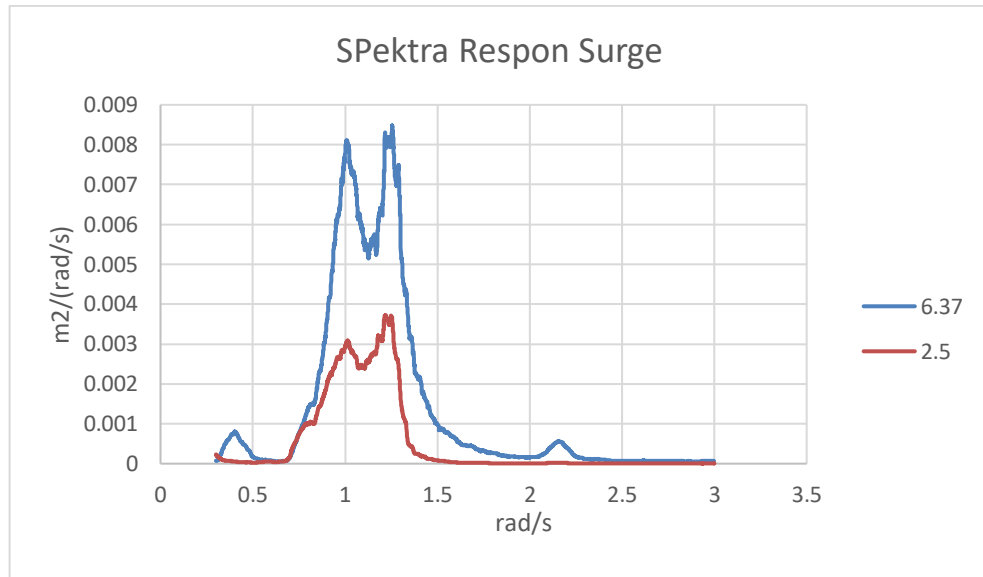


Gambar 4.10 Kondisi CATAMARAN saat pengujian

Dalam pengujian eksperimen terdapat data yang perlu diamati, yaitu data respon gerak CATAMARAN dalam 6 mode gerak di titik cog, akselerasi di titik helideck dan respon gerak pada titik helideck dengan 3 kondisi *surge*, *sway*, *heave*. Hasil eksperimen tersebut berupa *time history*.

4.3.1 Mode Gerak Surge

Pada bagian ini akan dijelaskan respon dari CATAMARAN pada gerakan surge pada akselerasi di helideck dan gerakan di helideck. Dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:

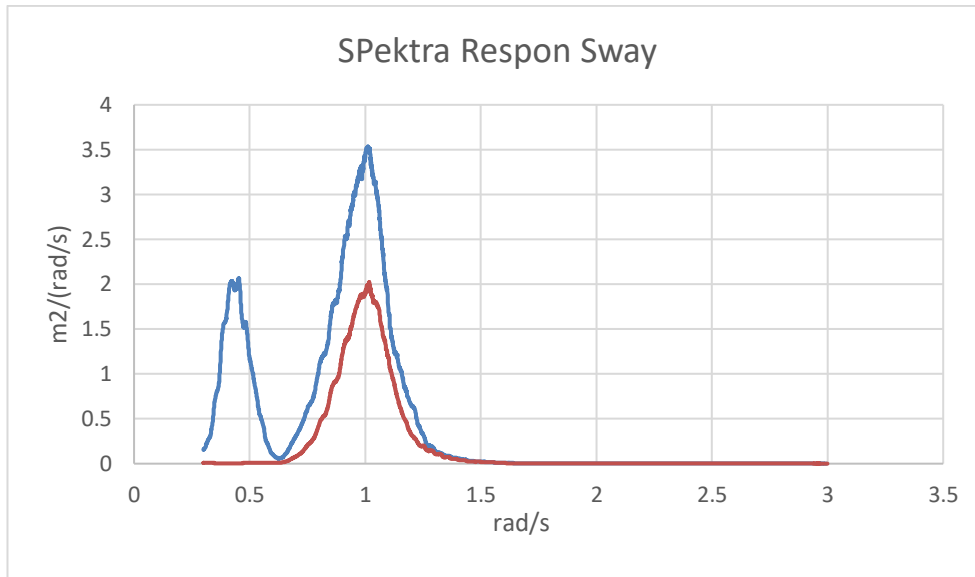


Gambar 4.11 Spektra Respon Surge di Helideck

Dapat di lihat pada gambar 4.9 yang merupakan hasil spectra respon dari gerakan surge struktur floating crane catamaran pada titik helideck. Terdapat dua puncak pada grafik spectra respon tersebut. Puncak pertama yang terjadi pada $H_s = 6.37$ m terletak pada frekuensi 1.01 rad/s sampai dengan 1.25 rad/s mempunyai nilai puncak sebesar $8.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/(\text{rad/s})$.

4.3.2 Mode Gerak Sway

Mode gerakan yang dibahas selanjutnya yaitu mode gerak *Sway*. Time History di dapat dari melakukan uji eksperimen kemudian ditransformasi menjadi spektrum respon gerak menggunakan FFT. Adapun gerakan yang dihasilkan, yaitu spektra respon di helideck. Dapat dilihat dari gambar berikut

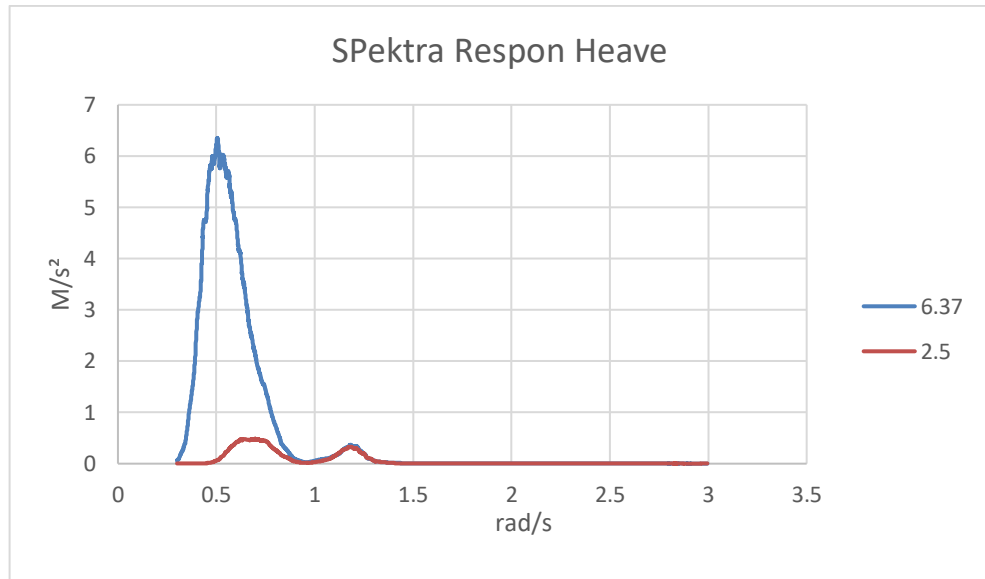


Gambar 4.12 Spektra Respon Sway di Helideck

Dapat di lihat pada gambar 4.10 yang merupakan hasil spectra respon dari gerakan sway struktur floating crane catamaran pada titik helideck. Terdapat dua puncak pada grafik spectra respon tersebut. Puncak pertama yang terjadi pada $H_s = 6.37$ m terletak pada frekuensi 0.452 rad/s sampai dengan 1.013 rad/s mempunyai nilai puncak sebesar $2.06 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$, sedangkan pada puncak kedua memiliki nilai puncak spectra respon sebesar $3.53 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$

4.3.3 Mode Gerak Heave

Analisa eksperimen selanjutnya dilakukan pada mode gerakan *Heave*. Rekaman *time history* pada gerakan *Heave* didapatkan dari melakukan uji eksperimen yang dimana kemudian di transformasikan menjadi spektrum respon menggunakan metode FFT. Adapun gerakan yang dihasilkan, yaitu spektra respon di helideck. Dapat dilihat dari gambar berikut



Gambar 4.13 Spektra Respon Heave di Helideck

Dapat di lihat pada gambar 4.11 yang merupakan hasil spectra respon dari gerakan heave struktur floating crane catamaran pada titik helideck. Terdapat dua puncak pada grafik spectra respon tersebut. Puncak pertama yang terjadi pada $H_s = 6.37$ m terletak pada frekuensi 0.504 rad/s sampai dengan 1.013 rad/s mempunyai nilai puncak sebesar $6.36 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$, sedangkan pada puncak kedua memiliki nilai puncak spectra respon sebesar $0.364 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$.

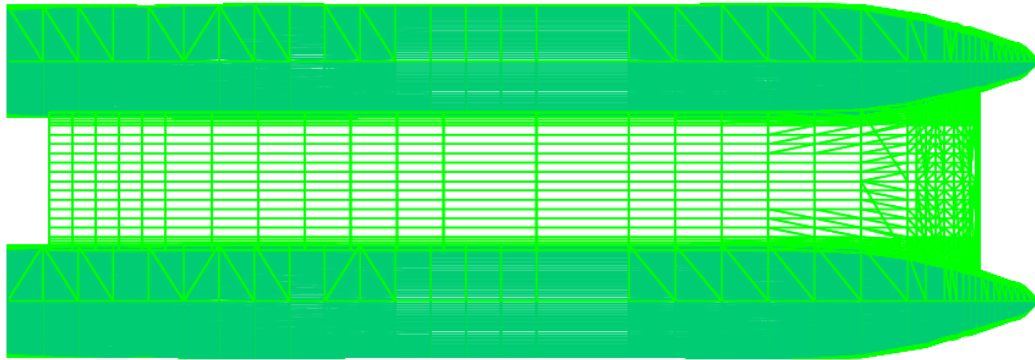
4.4 ANALISA HASIL NUMERIS

4.4.1 Pemodelan Numeris

Analisa yang dilakukan untuk memodelkan floating crane catamaran untuk bagian numeris. Hal ini agar didapatkan data hidrostatis dan di bandingkan dengan eksperimen. Berikut merupakan perbandingan antara keduanya :

Tabel 4.3 Validasi Eksperimen dan Numeris

Validasi Eksperimen dan Numeris				
<i>Principal Dimension</i>	Eksperimen	Numeris	Satuan	Error
LOA	111	111	m	0%
LWL	111	111	m	0%
B	37.80	37.8	m	0%
H	10.50	10.5	m	0%
T	4.70	4.7	m	0%
Displ	8646	8571	ton	0.86 %



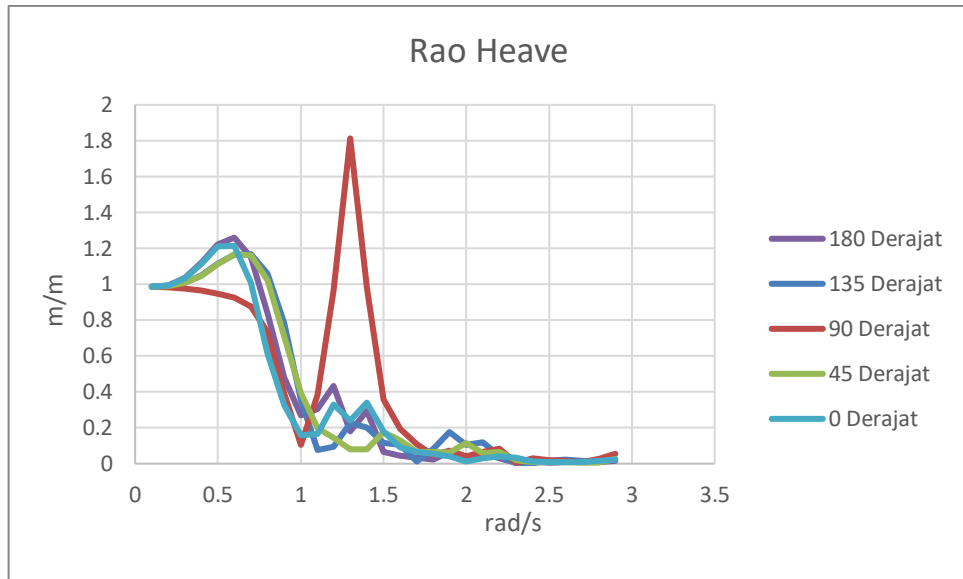
Gambar 4.14 Tampak Atas floating crane catamaran

4.4.2 Analisa Gerakan Floating Crane Catamaran pada kondisi Free Floating

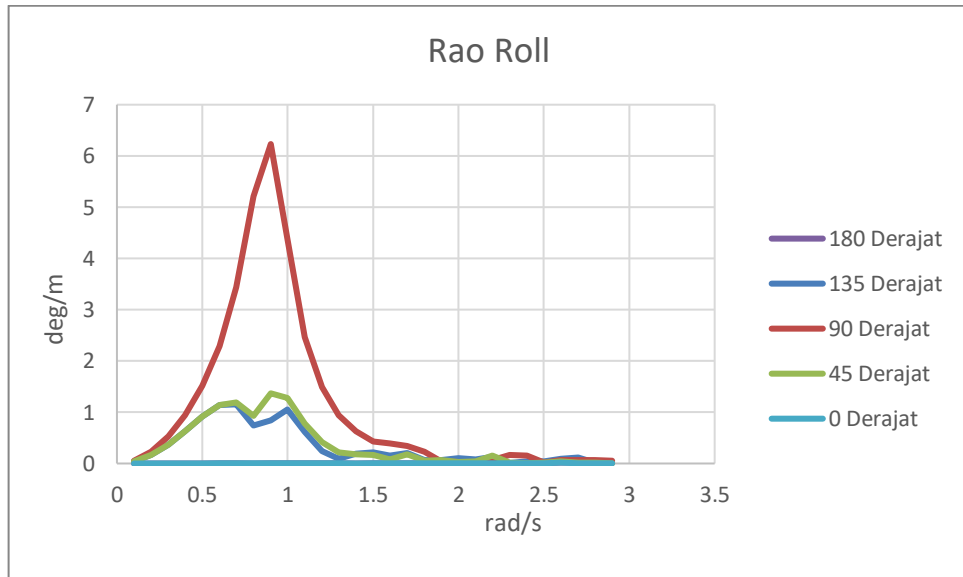
Untuk analisa pada kondisi free floating ini terdapat beberapa skenario yang di terapkan, khususnya untuk sudut gelombang diantaranya yaitu:

1. Beban gelombang *following seas* (0°)
2. Beban gelombang *quarter stern seas* (45°)
3. Beban gelombang *Beam seas* (90°)
4. Beban gelombang *bow quartering sea* (135°)
5. Beban gelombang *Head seas* (180°).

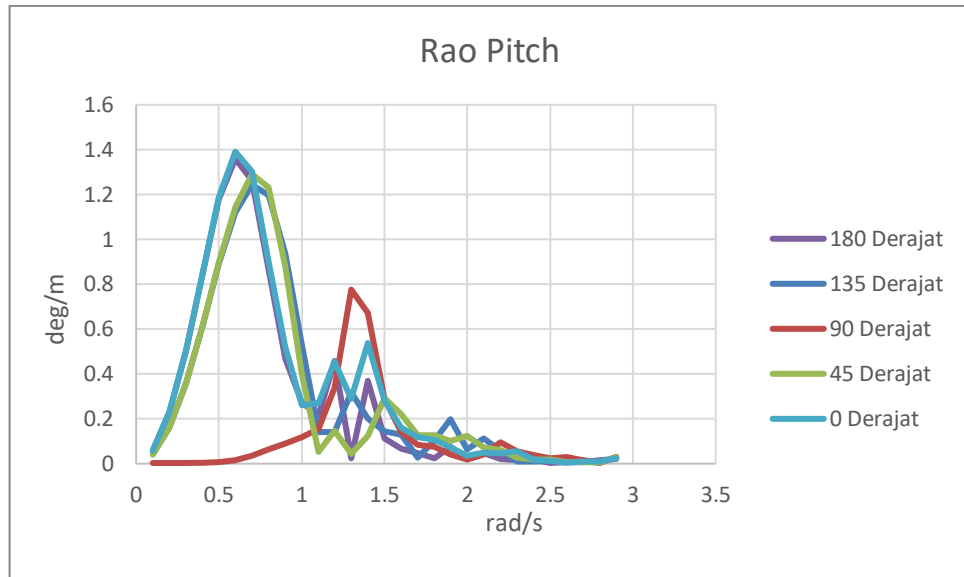
Setelah menetapkan beberapa skenario dalam arah datang gelombang selanjutnya melakukan *running* dengan MOSES untuk mendapatkan *amplitude* respon gerak kapal. Arah gerakan yang dilakukan hanya 3 gerakan yaitu *heave*, *roll*, dan *pitch* dikarenakan gerakan vertikal. Berikut merupakan grafik RAO (*Response Amplitude Operator*) untuk masing-masing gerakan pada titik kordinat helideck :



Gambar 4.15 RAO gerakan *heave* dari *fcc* untuk tiap arah *heading*



Gambar 4.16 RAO gerakan *roll* dari *fcc* untuk tiap arah *heading*



Gambar 4.17 RAO gerakan *pitch* dari *fcc* untuk tiap arah *heading*

Dari grafik RAO di atas dapat diringkas dalam tabel dibawah ini yang berisi frekuensi natural, RAO maksimum, arah *heading* maksimum dari *fcc* bagian *helideck*.

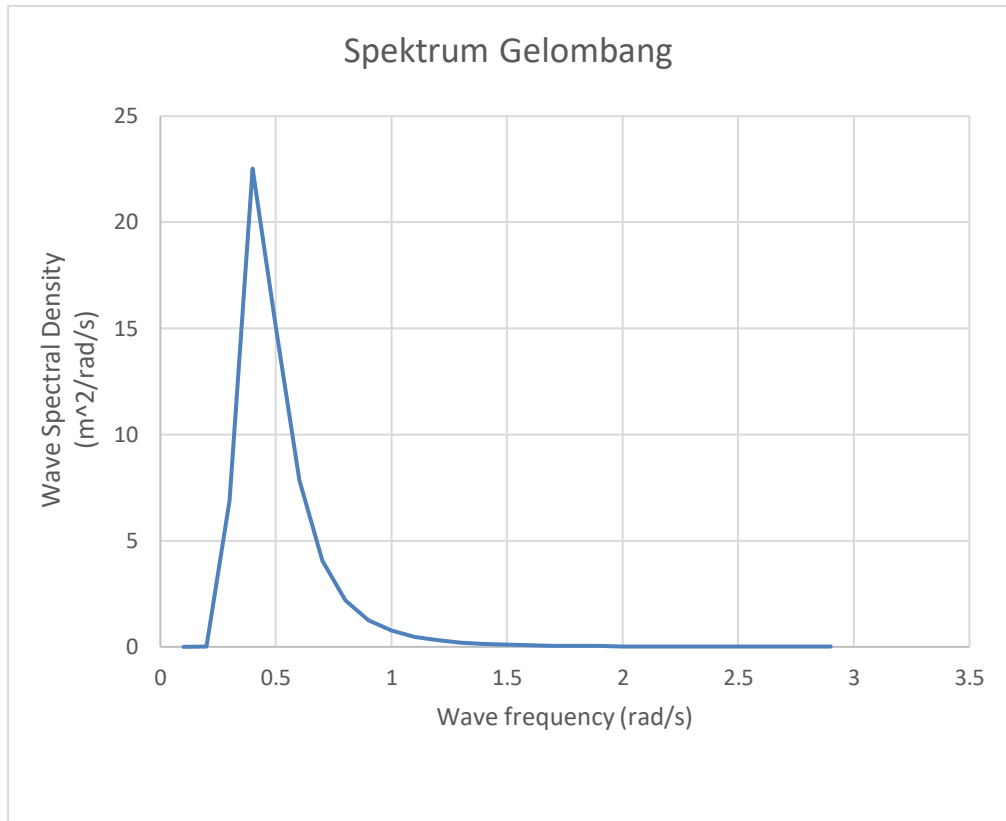
Tabel 4.4 Rangkuman RAO maksimum saat kondisi *free floating*

Gerakan	Frekuensi	Puncak Rao (/m)	Heading (deg)
<i>heave</i>	1.3	1.813 m	90
<i>Roll</i>	0.9	6.232 deg	90
Pitch	0.6	1.391 deg	0

4.4.3 Analisa Gerakan Floating Crane Catamaran di atas Gelombang Acak

Analisa pada gelombang acak untuk struktur *Floating Crane Catamaran* dapat dilakukan dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum gerakan. Untuk itu dilakukan dengan mengkalikan antara nilai spektrum gelombang $S(\omega)$ dengan RAO^2 dimana menggunakan spektrum gelombang *Pierson-Moskowitz*.

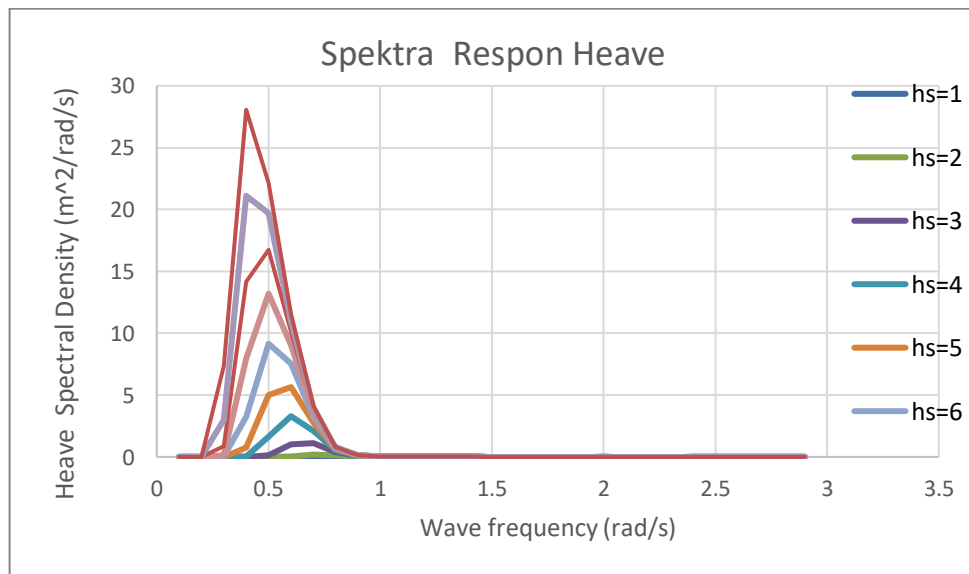
Spektrum gelombang adalah penjumlahan dari seluruh komponen gelombang per satuan luas permukaan. Berikut merupakan tampilan spektrum gelombang dengan $H_s = 10$ m dan $T_p = 15.82$ s



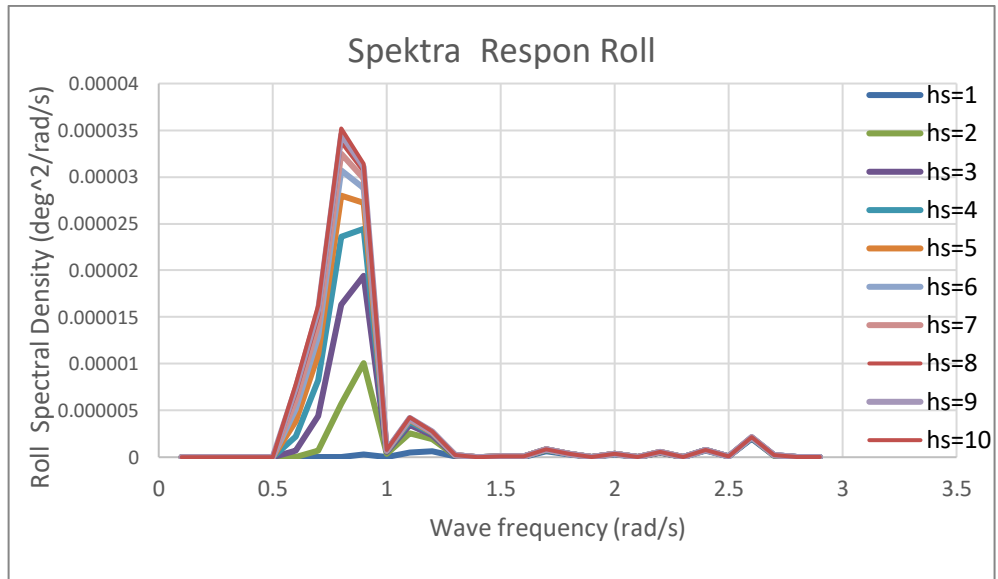
Gambar 4.18 Kurva spektra gelombang Pierson- Moskowitz

4.4.4 Spektra Respon

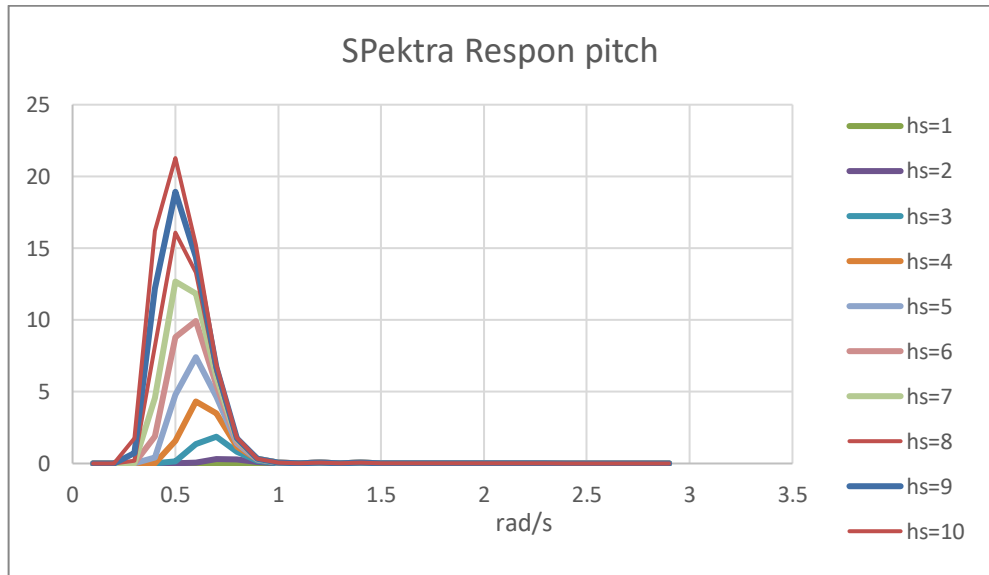
Spektra respon adalah hasil perkalian nilai spektrum gelombang dengan RAO^2 . Berikut merupakan hasil spektrum gelombang untuk variasi tinggi gelombang 1 m -10 m dengan *heading* 0-90⁰.



Gambar 4.19 Spektra respon *heave* fcc untuk heading 0⁰

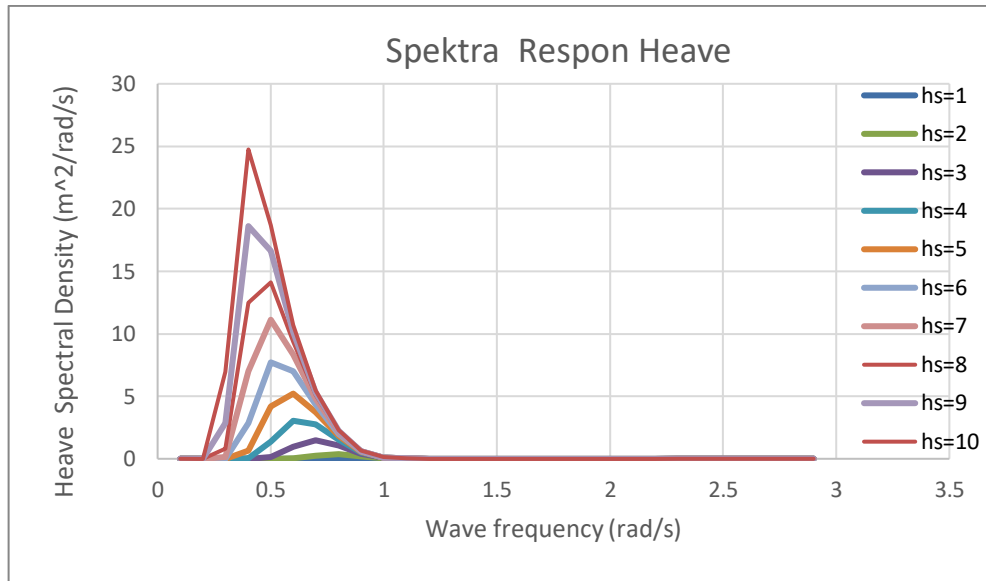


Gambar 4.20 Spektra respon *roll* fcc untuk heading 0^0

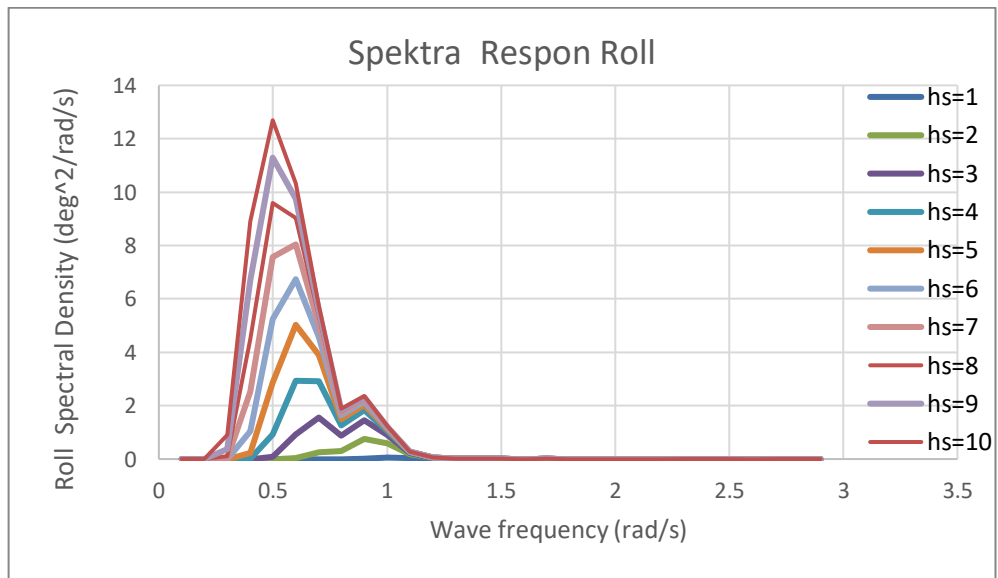


Gambar 4.21 Spektra respon *pitch* fcc untuk heading 0^0

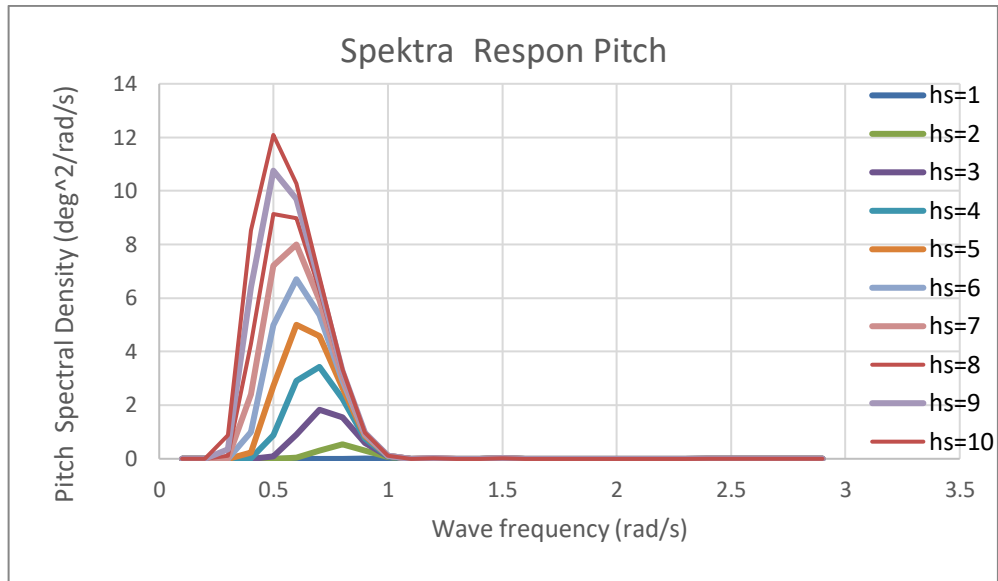
Untuk heading 0^0 gerakan *heave*, *roll*, dan *pitch* terbesar secara berurutan yaitu $28.06 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$, $3.5 \times 10^{-5} \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$, $21.27 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$, untuk masing-masing frekuensi 0.4 rad/s , 0.8 rad/s dan 0.5 rad/s



Gambar 4.22 Spektra respon *heave* fcc untuk heading 45^0

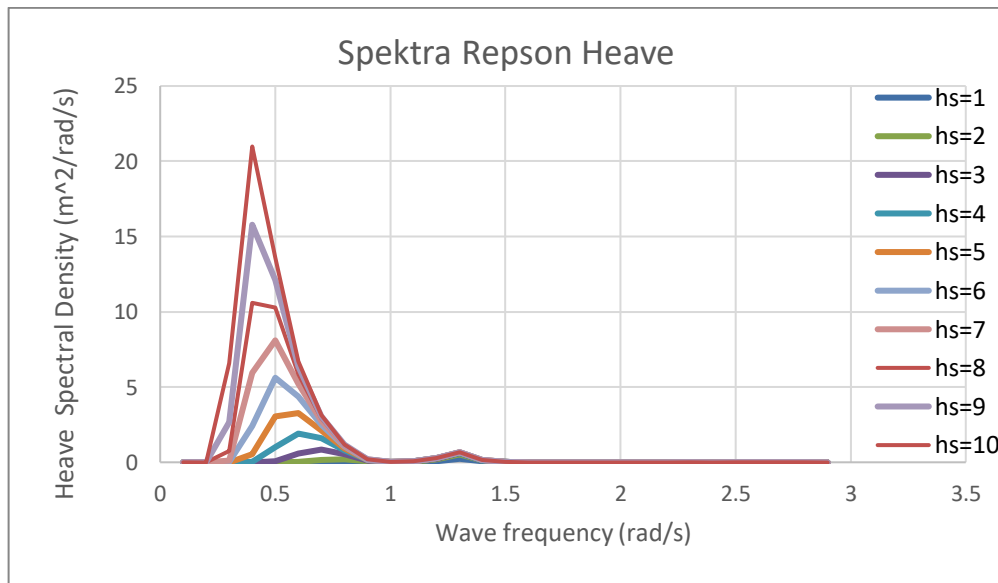


Gambar 4.23 Spektra respon *roll* fcc untuk heading 45^0

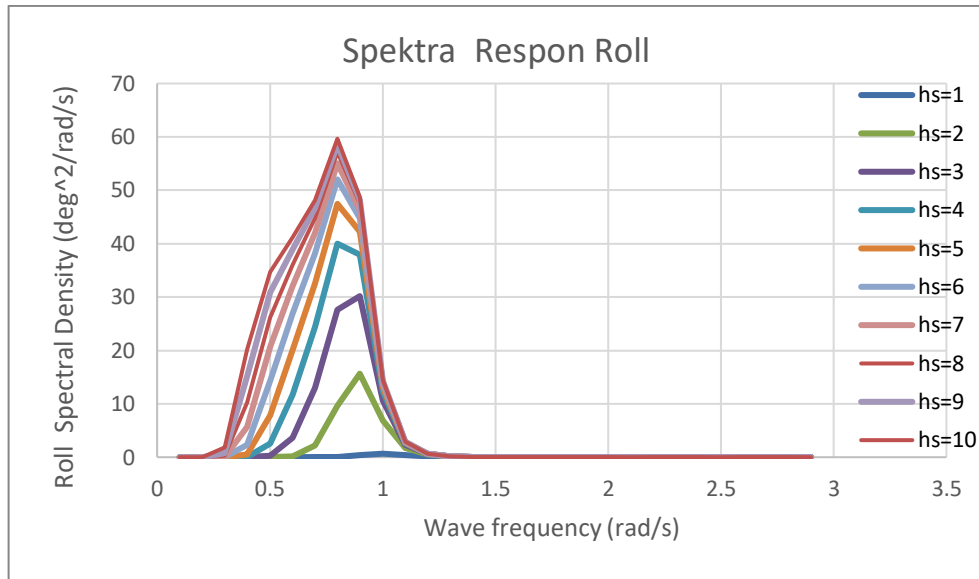


Gambar 4.24 Spektra respon *pitch* fcc untuk heading 45^0

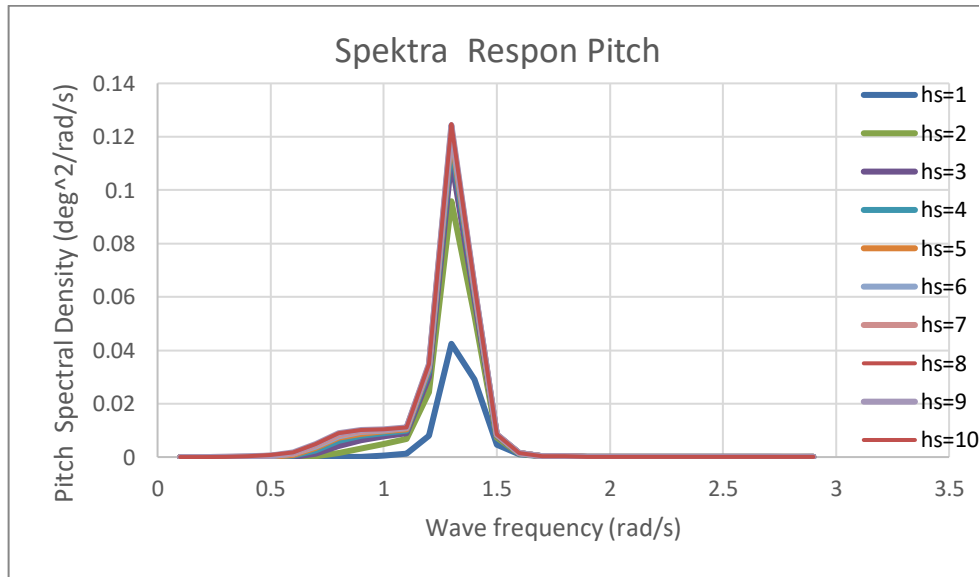
Untuk heading 45^0 gerakan *heave*, *roll*, dan *pitch* terbesar secara berurutan yaitu $24.75 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$, $12.69 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$, $12.09 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$, untuk masing-masing frekuensi 0.4 rad/s, 0.5 rad/s dan 0.5 rad/s.



Gambar 4.25 Spektra respon *heave* fcc untuk heading 90^0

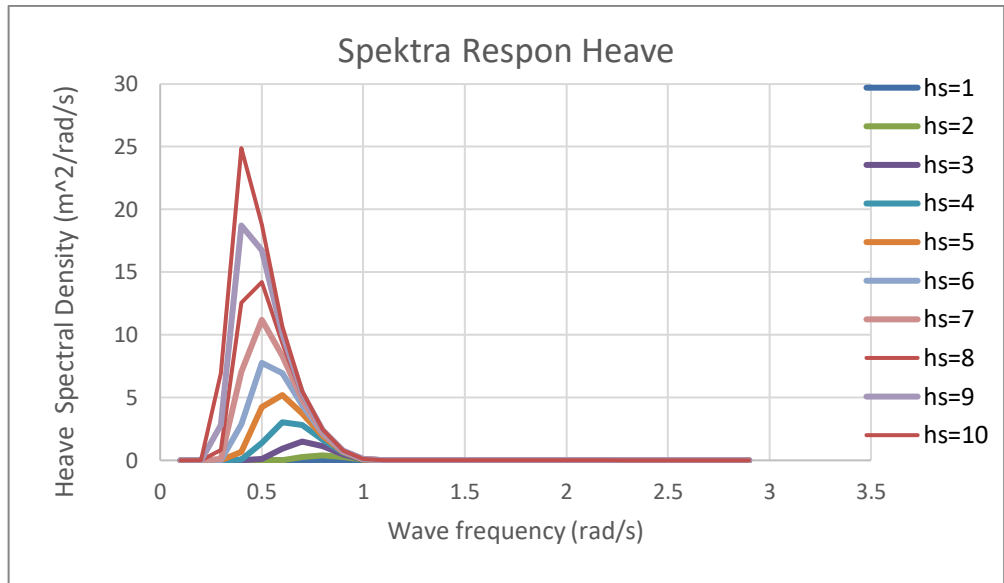


Gambar 4.26 Spektra respon *roll* fcc untuk heading 90^0

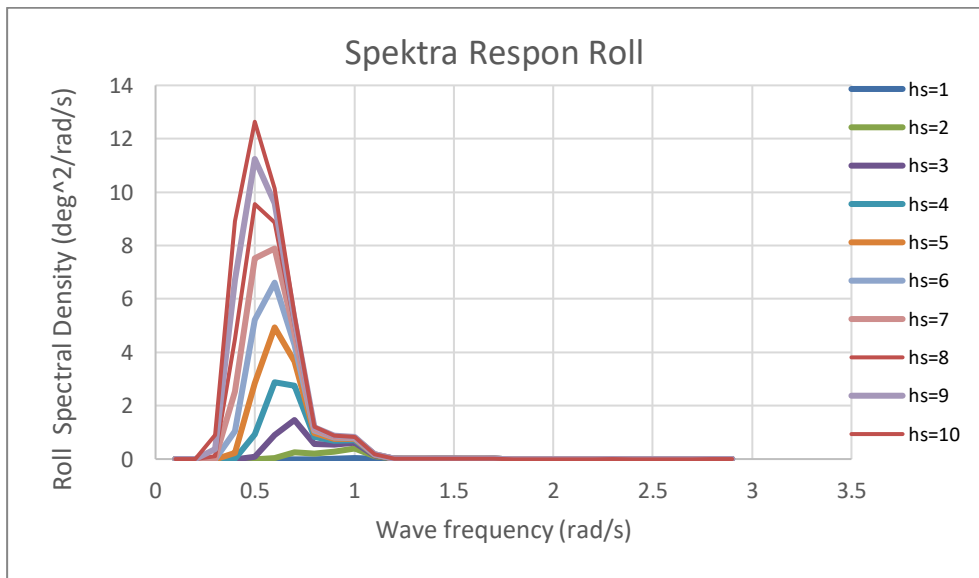


Gambar 4.27 Spektra respon *pitch* fcc untuk heading 90^0

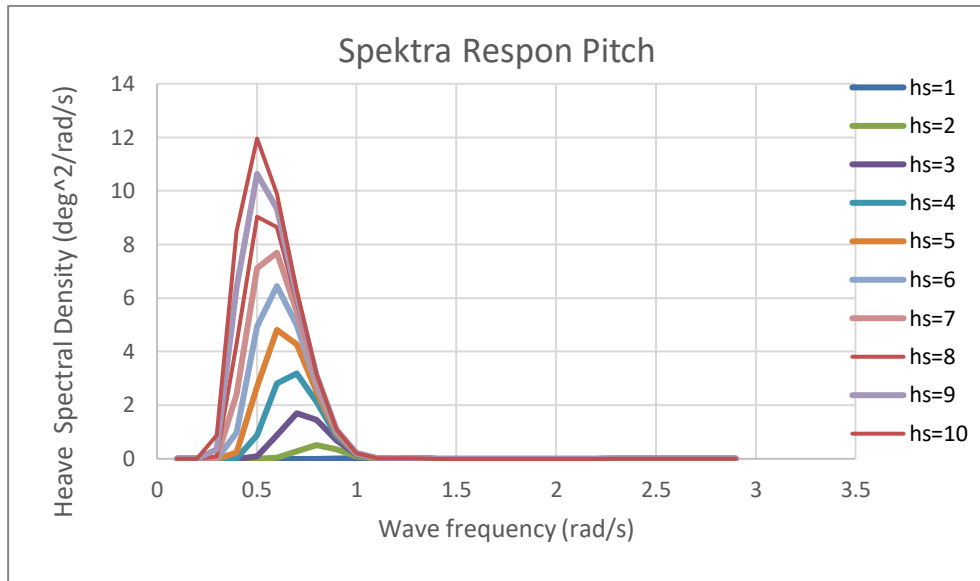
Untuk heading 90^0 gerakan *heave*, *roll*, dan *pitch* terbesar secara berurutan yaitu $20.98 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$, $59.65 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$, $0.125 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$, untuk masing-masing frekuensi 0.4 rad/s , 0.8 rad/s dan 1.3 rad/s .



Gambar 4.28 Spektra respon *heave* fcc untuk heading 135^0

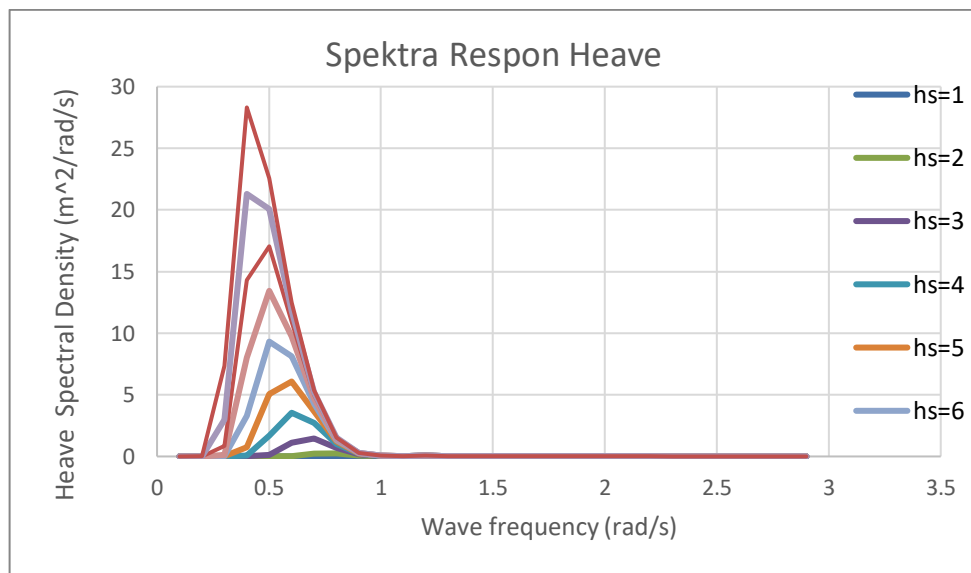


Gambar 4.29 Spektra respon *roll* fcc untuk heading 135^0

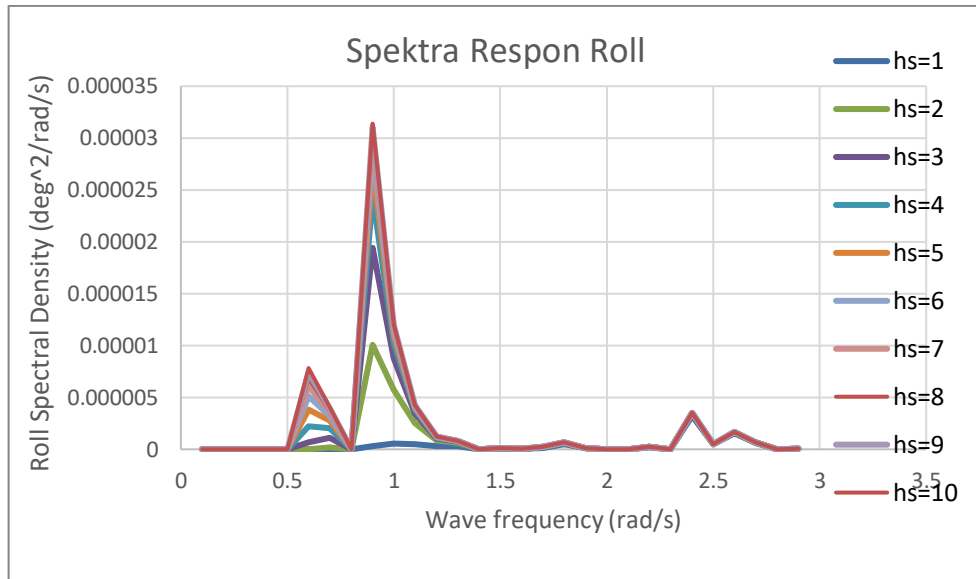


Gambar 4.30 Spektra respon *pitch* fcc untuk heading 135⁰

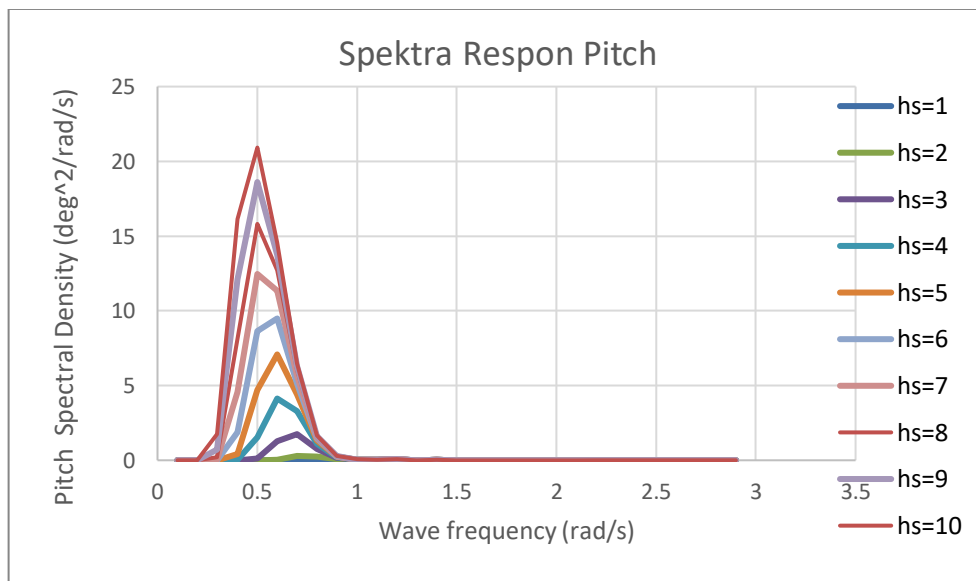
Untuk heading 135⁰ gerakan *heave*, *roll*, dan *pitch* terbesar secara berurutan yaitu 24.88 $\text{m}^2/(\text{rad/s})$, 12.64 $\text{deg}^2/(\text{rad/s})$, 11.96 $\text{deg}^2/(\text{rad/s})$, untuk masing-masing frekuensi 0.4 rad/s , 0.5 rad/s dan 0.5 rad/s .



Gambar 4.31 Spektra respon *heave* fcc untuk heading 180⁰



Gambar 4.32 Spektra respon *roll* fcc untuk heading 180⁰



Gambar 4.33 Spektra respon *pitch* fcc untuk heading 180⁰

Untuk heading 180⁰ gerakan *heave*, *roll*, dan *pitch* terbesar secara berurutan yaitu 28.31 m²/(rad/s), 3.14x10⁻⁵ deg²/(rad/s), 20.92 deg²/(rad/s), untuk masing-masing frekuensi 0.4 rad/s, 0.9 rad/s dan 0.5 rad/s.

4.4.5 Analisa Gerakan Floating Crane Catamaran Saat Kondisi Tertambat

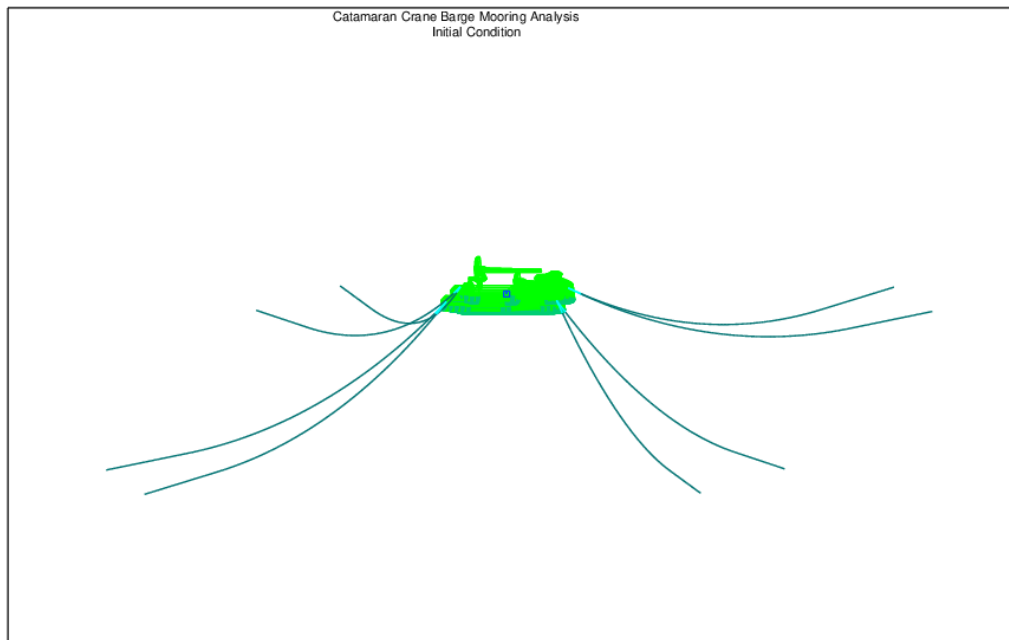
Dikarenakan untuk eksperimen pada floating crane catamaran dilakukan kondisi tertambat saja maka kita perlu melakukan validasi dan analisa numeris untuk heading 90⁰ saja. Sebelum melakukan pemodelan kita perlu

memodelkan tali tambat terlebih dahulu. Berikut merupakan spesifikasi tali tambat yang digunakan:

Tabel 4.5 Spesifikasi Mooring pada Moses

Properties	nilai	satuan
D	127	m
	0.127	m
OD	0.1016	m
A	0.005764	m ²
	5763.8	
E	113000000	kn/m ²
	113000	mpa
AE	651309.1	kn
	66392.4	te
W	0.631	kn/m ²
	0.064	te/m
MBL	10215.43	kn
	1041.685	ton

Setelah memasukan data mooring pada moses berikut merupakan tampak isometri untuk kondisi tertambat:

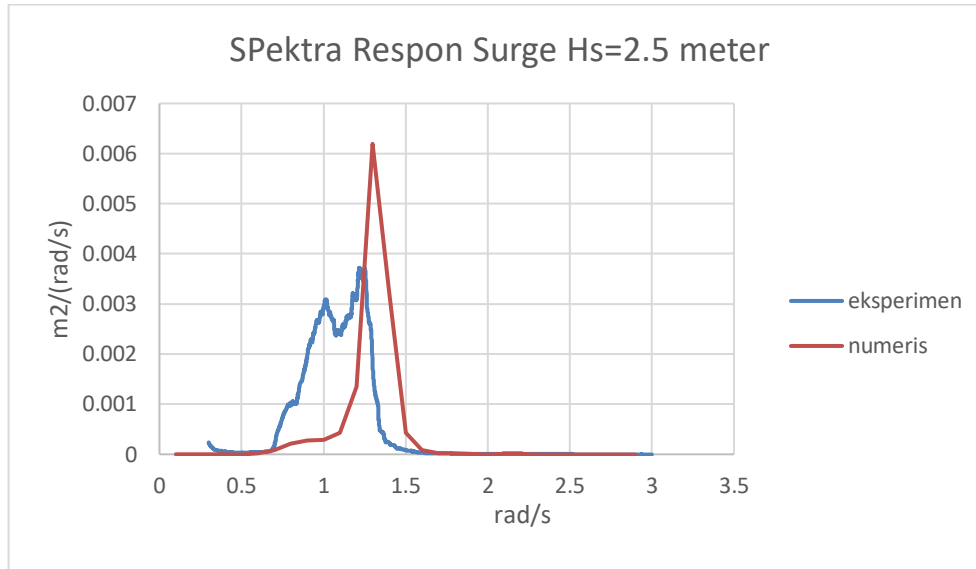


Gambar 4.34 Model Floating Crane Catamaran Kondisi Tertambat

Untuk analisa ini kita memvalidasi gerakan spectra respon pada ketinggian gelombang signifikan sebesar 6.37 meter dan 2.5 meter pada gerakan *surge*, *sway*

dan *heave* di karenakan untuk eksperimen hanya kedua kondisi. Berikut merupakan Perbandingan antara keduanya:

1. Tinggi gelombang 2.5 meter

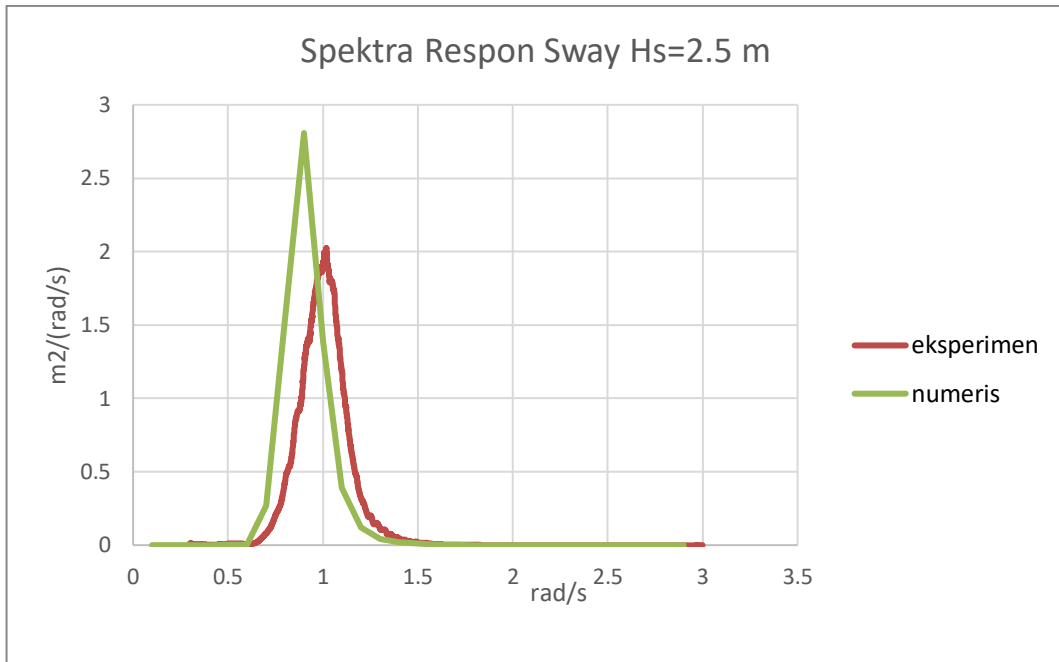


Gambar 4.35 Perbandingan eksperimen dan numeris pada gerakan *surge* $h_s = 2.5$ m. Walaupun perbedaan grafik spectra respon antara eksperimen dan numeris tidak menyerupai tetapi dapat di nyatakan mendekati dilihat dengan luasan dibawah kurva atau biasa disebut dengan M_0 . Berikut merupakan luasan dibawah kurva untuk gerakan tersebut:

Tabel 4.6 Perbandingan nilai stokastik *surge* $h_s = 2.5$ m

Parameter Stokastik	Hasil Eksperimen	Hasil Numeris	Perbandingan
M_0	0.0014715	0.001187608	0.19
$\sigma_s =$	0.076720261	0.06892339	0.10

Terdapat perbedaan yang cukup mendekati antara eksperimen dan numeris pada gerakan *surge* dengan parameter M_0 dan *Surge significant* yaitu 0.19 dan 0.10

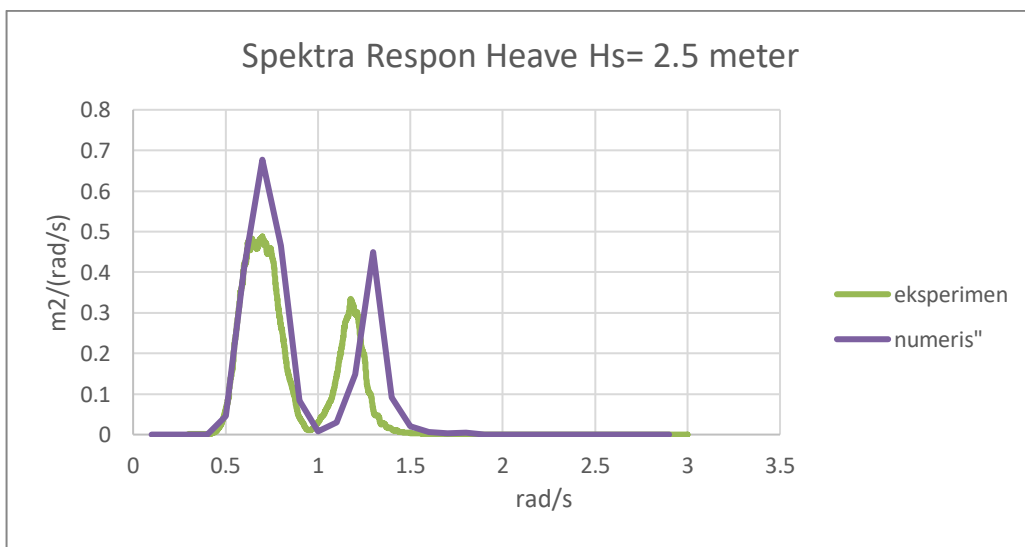


Gambar 4.36 Perbandingan eksperimen dan numeris pada gerakan *sway* $h_s=2.5$ m
 Untuk gerakan *sway* pada eksperimen dan numeris sudah mendekati dan berikut merupakan perbandingan parameter stokastik:

Tabel 4.7 Perbandingan nilai stokastik *sway* $h_s=2.5$ m

Parameter Stokastik	Hasil Eksperimen	Hasil Numeris	Perbandingan
M_0	0.546640196	0.642196981	-0.17
$\sigma_s =$	1.478702399	1.602743874	-0.08

Untuk perbedaan M_0 untuk eksperimen dan numeris adalah -0.17 dan untuk *sway significant* yaitu -0.08.



Gambar 4.37 Perbandingan eksperimen dan numeris pada gerakan *heave* $h_s=2.5$ m

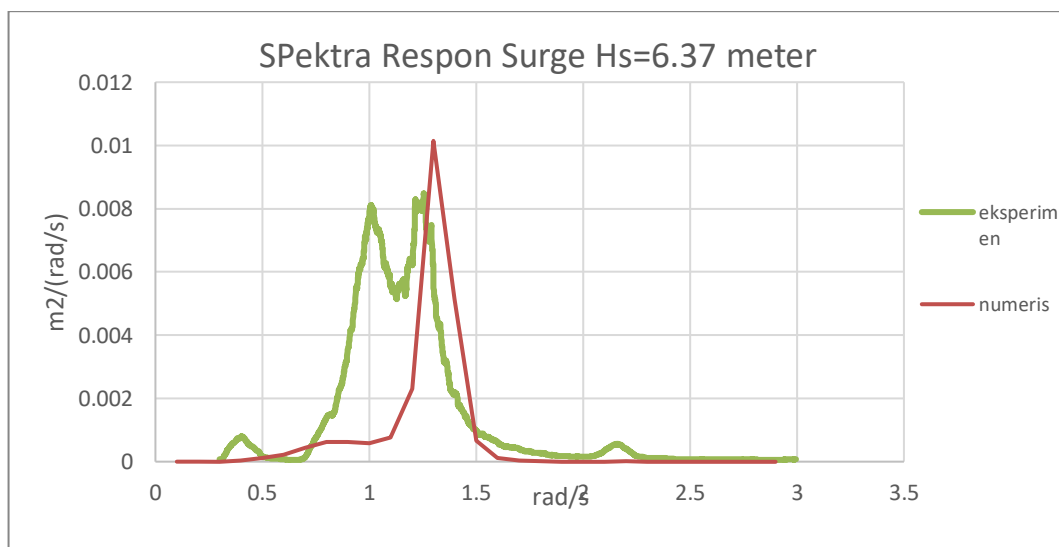
Untuk gerakan *heave* pada eksperimen dan numeris sudah mendekati dan berikut merupakan perbandingan parameter stokastiknya:

Tabel 4.8 Perbandingan nilai stokastik *heave* $h_s=2.5\text{m}$

Parameter Stokastik	Hasil Eksperimen	Hasil Numeris	Perbandingan
M_0	0.188081423	0.23839571	-0.27
$\sigma_s =$	0.867367103	0.976515664	-0.13

Untuk perbedaan M_0 pada eksperimen dan numeris adalah -0.27 dan untuk *heave significant* yaitu -0.13

2. Tinggi Gelombang 6.37 meter



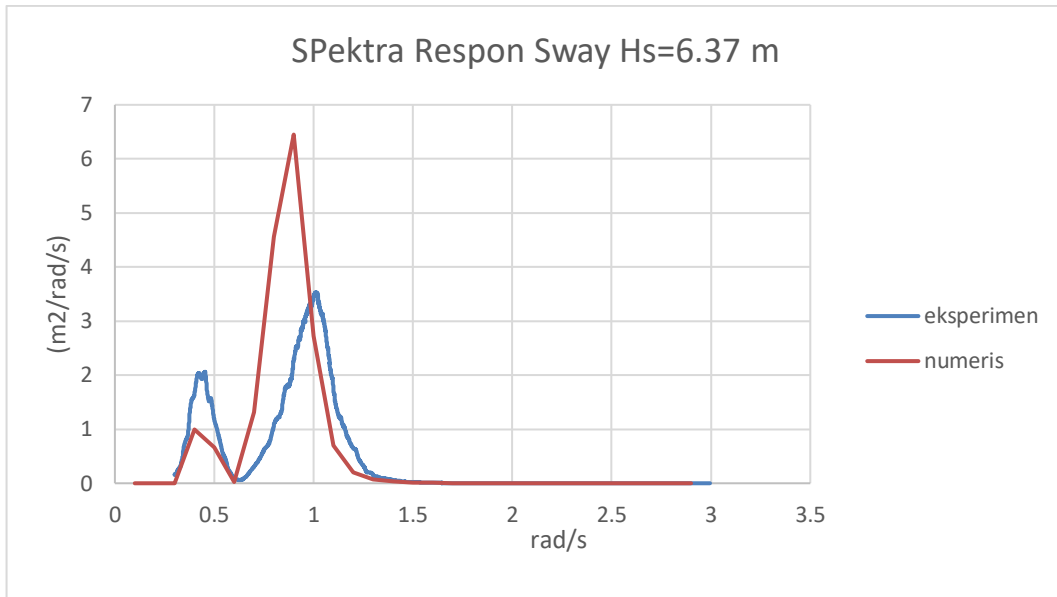
Gambar 4.38 Perbandingan eksperimen dan numeris pada gerakan *surge* $h_s=6.37$

Walaupun perbedaan grafik spectra respon antara eksperimen dan numeris tidak menyerupai tetapi dapat dinyatakan mendekati dilihat dengan luasan dibawah kurva atau biasa disebut dengan M_0 . Berikut merupakan luasan dibawah kurva untuk gerakan tersebut:

Tabel 4,9 Perbandingan nilai stokastik *surge* $h_s=6.37\text{m}$

Parameter Stokastik	Hasil Eksperimen	Hasil Numeris	Perbandingan
M_0	0.003923066	0.002056846	0.475704457
$z_s =$	0.125268762	0.090704925	0.275917447

Untuk perbedaan M_0 pada eksperimen dan numeris adalah 0.47 dan untuk *heave significant* yaitu 0.27

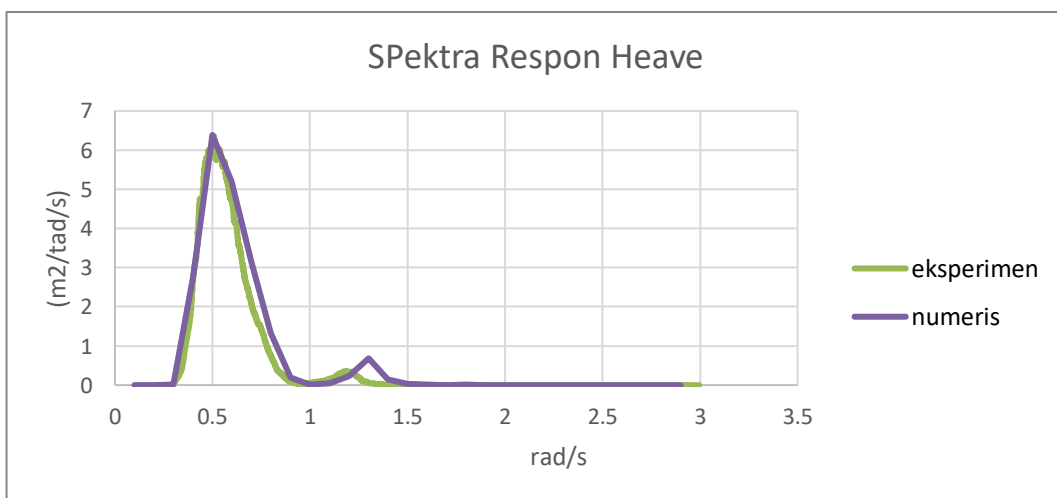


Gambar 4.39 Perbandingan eksperimen dan numeris pada gerakan *sway* $h_s=6.37$
 Untuk gerakan *sway* pada eksperimen dan numeris sudah mendekati dan berikut merupakan perbandingan parameter stokastik:

Tabel 4.10 Perbandingan nilai stokastik *sway* $h_s=6.37m$

Parameter Stokastik	Hasil Eksperimen	Hasil Numeris	Perbandingan
M_0	1.310541551	1.756832096	- 0.340539027
$z_s =$	2.289577735	2.65091086	- 0.157816491

Untuk perbedaan M_0 pada eksperimen dan numeris adalah -0.34 dan untuk *heave significant* yaitu -0.15.



Gambar 4.40 Perbandingan eksperimen dan numeris pada gerakan *heave* $h_s=6.37$

Untuk gerakan *heave* pada eksperimen dan numeris sudah mendekati dan berikut merupakan perbandingan parameter stokastiknya:

Tabel 4.11 Perbandingan nilai stokastik *heave* $h_s=6.37m$

Parameter Stokastik	Hasil Eksperimen	Hasil Numeris	Perbandingan
Mo	1.737697746	1.991129829	- 0.145843593
zs =	2.63643528	2.822147997	- 0.070440841

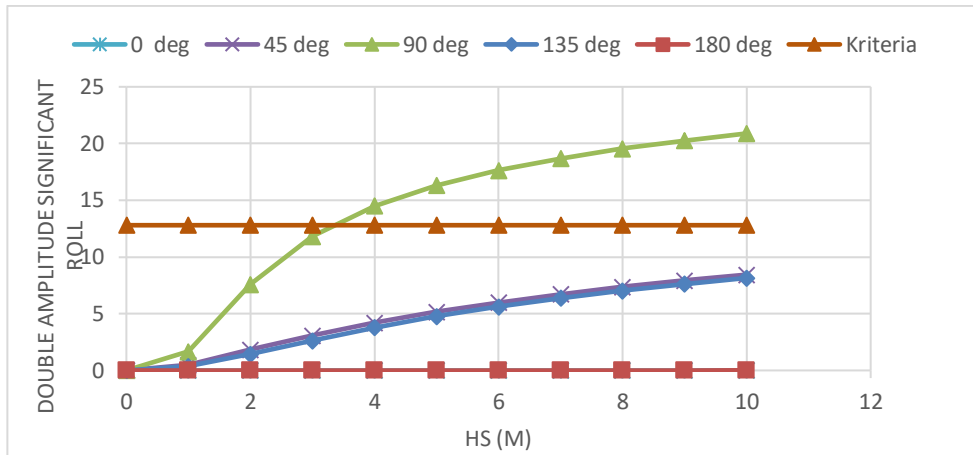
Untuk perbedaan M0 pada eksperimen dan numeris adalah -0.14 dan untuk *heave significant* yaitu -0.07.

Dikarenakan untuk validasi antara eksperimen dan numeris sudah hampir mendekati selanjutnya melakukan analisa operabilitas untuk kriteria Helicopter

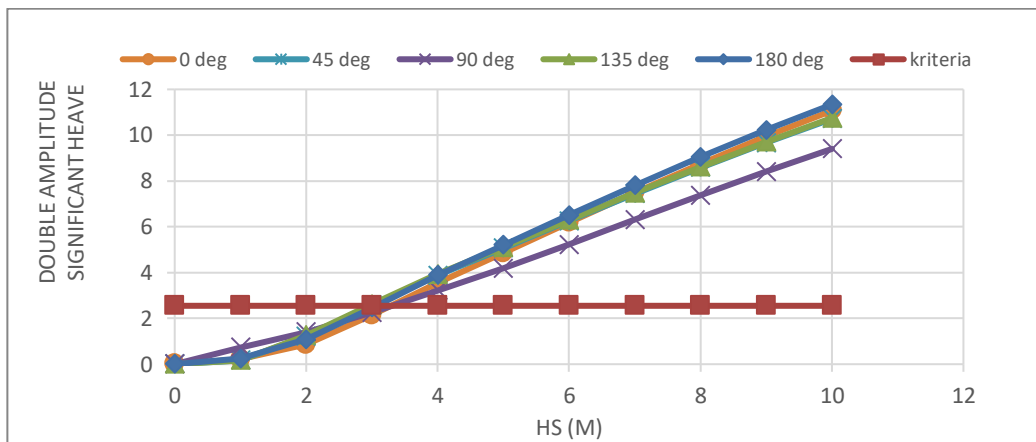
4.4.6 Analisa Operabilitas *floating crane catamaran*.

Untuk pengoperasian dan pendaratannya helicopter pada bangunan laut memiliki kriteria yang merupakan batas operasi yang dimana jika kriteria tersebut melampaui maka proses pendaratan helicopter pada helideck tidak dapat dilakukan. Hal ini di karenakan untuk menghindari tergelincirnya, terbenturnya dan kecelakaan dalam pengoperasian pendaratan helicopter di helideck. Maka diperlukan:

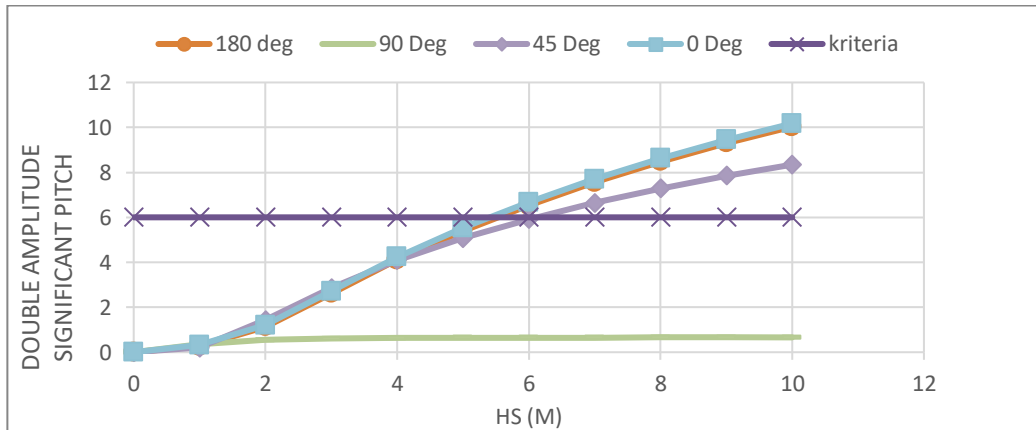
1. kriteria Olson(1977 &1978) untuk mengetahui batasan yang dapat dilakukan helicopter untuk mendarat yaitu menggunakan *double amplitude significant roll, double amplitude significant pitch, double amplitude significant heave* dan *significat vertical velocity*. Berikut merupakan batasan pada heading 0^0 , 45^0 , 90^0 , 135^0 dan 180^0 dengan variasi $H_s=1-10$ meter.



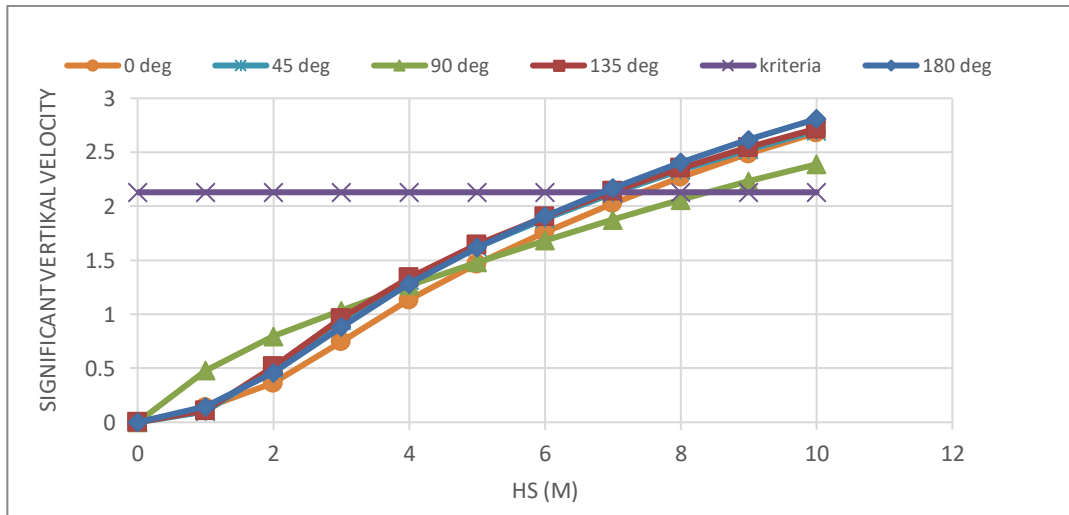
Gambar 4.41 *Double Amplitude Significant Roll*



Gambar 4.42 *double amplitude significant heave*



Gambar 4.43 *double amplitude significant pitch*



Gambar 4.44 *Significant Vertical Velocity*

Dari grafik diatas kita dapat mengetahui batasan kriteria yang melebihi dari ketinggian 1-10 meter. Berikut merupakan nilai maksimum masing-masing heading :

Tabel 4.12 Nilai Maksimum dari kriteria Olson

Heading	Kriteria 1	Kriteria 2	Kriteria 3	Kriteria 4	Batasan
0	> 10 meter	6 meter	4 meter	8 meter	4 meter
45	> 10 meter	7 meter	3 meter	8 meter	3 meter
90	4 meter	> 10 meter	4 meter	9 meter	4 meter
135	> 10 meter	7 meter	3 meter	7 meter	3 meter
180	> 10 meter	6 meter	4 meter	8 meter	4 meter

Dari Tabel diatas dapat diketahui batasan helicopter dapat mendarat yaitu tidak melebihi 4 meter untuk heading 0^0 , 90^0 , 180^0 dan untuk batasan maskimal 3 meter yaitu 45^0 dan 135^0 .

2. Kriteria yang dikeluarkan oleh **Norwegian Helideck Certification Association or HCA** yang dimana meninjau gerakan roll, pitch, heave rate dan double amplitude heave. Berikut merupakan batasan yang di ijinan:

Tabel 4.13 Nilai Maksimum dari HCA

Aircraft		180				135				90			
Category		P/R	H/R	H/A	Batasan	P/R	H/R	H/A	Batasan	P/R	H/R	H/A	Batasan
Heavy	DAY	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	2
	NT	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2
Medium	DAY	6	4	4	4	7	4	4	4	2	3	4	2
	NT	4	3	3	3	4	3	3	3	2	2	3	2

Aircraft		45				0			
Category		P/R	H/R	H/A	Batasan	P/R	H/R	H/A	Batasan
Heavy	DAY	5	4	4	4	4	4	4	4
	NT	3	2	3	2	3	2	3	2
Medium	DAY	7	4	4	4	7	4	4	4
	NT	4	2	3	2	4	2	3	2

Dari Tabel diatas dapat diketahui batasan helicopter untuk category berat pada pagi dan malam hari paling kritis yaitu kondisi heading 90^0 dengan batasan tinggi gelombang 2 meter. Sedangkan untuk category sedang sama yaitu 2 meter pada heading 90^0

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun Kesimpulan yang dapat di ambil dari pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. Karakteristik gerakan FCC menunjukkan RAO saat kondisi free floating maksimum heave roll dan pitch secara berturut-turut yaitu **1.813 m/m 2.6 deg/m, 0.45 deg/m**
2. Perbedaan pola karakteristik gerak Heave adalah **1.813 m/m** untuk numeris dan untuk eksperimen sebesar **1.03 m/m**
3. Analisa pektra respon gerakan vertikal *Fcc* didapatkan nilai terbesar dari perbandingan eksperimen dan numeris pada kondisi 6.37 dan 2.5 yaitu :untuk numeris **6.38 m²/(rad/s)** pada gerakan heave, untuk eksperimen **6.35 m²/(rad/s)**. Untuk numeris 0.67 m²/(rad/s) dan untuk eksperimen yaitu **0.488 m²/(rad/s)**
4. Batasan operasi pendaratan Helicopter di Helideck pada FCC menurut olson yaitu untuk arah datang gelombang 0⁰, 90⁰, 180⁰ sebaiknya tidak dilakukan lebih dari tinggi gelombang **3** meter, sedangkan untuk kondisi 45⁰ dan 135⁰ tidak boleh diatas **4** meter. Untuk kategori menurut HCA kondisi kritis yaitu arah datang gelombang 90⁰ untuk tinggi gelombang 2 meter. Pada ketinggian 4 meter merupakan batas dari arah gelombang 0⁰ 45⁰ 135⁰ 180⁰.

5.2 Saran

1. Perlunya menambahkan analisa *roll* dan *pitch* pada eskperimen agar tidak hanya 3 gerakan saja.
2. Pelunya variasi kecepatan pada Floating Crane Catamaran
3. Perlunya variasi ballast dalam melakukan perhtungan numeris
4. Perlunya mempertimbangkan Inclining pada kriteria HCA

DAFTAR PUSTAKA

Lumsden, R.B., Padfield, G.D., Challenges at the helicopter–ship dynamic interface. In: 24th European Rotorcraft Forum, Marseilles, France, Sept 1998

Nisa, Chrisida Naurin.2010. *Analisa Operabilitas Cable Lay Vessel Untuk Instalasi Submarine Fiber Optic Cable Akibat Beban Lingkungan Berbasis Keandalan*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan,ITS Surabaya, Indonesia.

Elcin, Z., (2003). Wave Making Resistance Characteristics of Trimaran Hulls, California: Naval Post Graduate School.

Utama, I. K. A. P. (1999). Investigation of the Viscous resistance components of catamaran form. Ph.D Thesis. University of Southampton, UK

Insel, M., An Investigation into the Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans, (1990). PhD Thesis, Faculty of Engineering and Applied Science, University of Southampton, U.K

Bukhanevych, N., (2010). Key Configuration for Design and Fabrication of High Speed Offshore Vessel, Master Thesis, Norway: University of Stavanger, 2010

Molland, A. F. and Utama, I. K. A. P. , (1997). Wind Tunnel Investigation Of A Pair Of Ellipsoids In Close Proximity. Department of Ship Science, Faculty of Engineering and Applied Science, University of Southampton, UK,.

Couser, P. R., Wellicome, J. F. and Molland, A. F., (1998). Experimental Measurement of Sideforce and induced drag on Katamarans Demilhulls, International Ship Building Progress, Vol. 45.

Jamaluddin,A., Utama, I. K. A. P. dan Aryawan, W. D., (2010). Analisa Eksperimen Viscous Form Factor Pada Konfigurasi Lambung. Prosiding Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan, FTK-ITS, pp 17-24.pp 443-450.

Sakti,S,A. 2012. Analisis CFD dan Eksperimen Hambatan Lambung Katamaran Asimetris Flat Side Outside dengan Variasi Jarak Demihull. Surabaya : Departemen Teknik Perkapalan

Sumardiono. 2019. Kajian Karakteristik Gerakan Kapal Catamaran Dalam Variasi Arah Propagasi Gelombang dengan Pendekatan Linear Strip Theory Method. Surabaya : Politeknik Perkapalan Negeri Subarabaya.

Fitriandhy.A, Razali .N.S, (2017) Seakeeping performance of a rounded hull catamaran in waves using CFD approach, Universiti Malaysia Pahang, Malaysia.

Iqbal, Muhammad (2014), Optimization Of Catamaran Demihull Form In Early Stages Of The Design Process. Departement of Naval Architecture, Indonesia

Bhattacharyya, R. (1978), Dynamics Of Marine Vehicles, John Wiley & Sons, New York

Olson, S.R., “An Evaluation of the Seakeeping Qualities of Naval Combatans”, Naval engineers journal, ASNE, 1978.

Djatmiko, E.B. 2012. ”Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak”. ITS-Press. Surabaya. Inonesia,

LAMPIRAN A
SCRIPT FAST FOURIER TRANSFORM
PADA OCTAVE

```

% Baca data 201, 202, 203
% skala 1:36, sampling 50 hz, heading 90
%
clear;clc;close all;
skala = 36;
sfr = 50;
pilih = input('Pilih file (1) 201, (2) 202, (3) 203 = ');
if pilih ==1
    filename = 'TIME-242-201-1.txt'
elseif pilih ==2
    filename = 'TIME-242-202-1.txt'
else
    filename = 'TIME-242-203-1.txt'
end
fid = fopen(filename,'r');
title = fgetl(fid);
jumkol = length(str2num(title)); % jumlah kolom
ttdat = fscanf(fid,'%f\n',[jumkol,inf]); % [a,jumdat(1,:)] a=jumlah kolom data (jumlah ch+1)
ttk1 = ttdat'; fclose(fid);
ttk = [str2num(title);ttk1];
t = ttk(:,1);
y = ttk(:,2:end);

for i=1:7
    subplot(7,1,i);
    plot(t,y(:,i));
end

figure
for i=1:7
    subplot(7,1,i);
    plot(t,y(:,i+7));
end

figure
for i=1:5
    subplot(7,1,i);
    plot(t,y(:,i+14));
end

%--- statistik ---
ny = length(y);

```

```

for i=1:19
    if str2num(filename(12))==3 & i==18
        hasil(i,:)= zeros(1,4);
    else
        yk = y(:,i);
        meanu = mean(yk);
        stdu = std(yk);
        amaxu = max(yk);
        aminu = min(yk);
        hasil(i,:)= [meanu,stdu,amaxu,aminu];
    end
end
%hasil mean, std deviasi, max, min
HASIL = sprintf('%8.3f %8.3f %8.3f %8.3f\n',hasil')
%--- end-statistik ---

%--- rao-gerak ---
ygerak = y(:,1:7);figure
for i = 1:7
    fhz = (0:ny-1)*sfr/ny;
    yg = fft(ygerak(:,i));
    s1 = 2*abs(yg).^2/(ny*sfr);
    s2 = smooth(s1,150);
    w = 2*pi*fHz(1:ceil(ny/2))/sqrt(skala);
    pw = find(w >= 0.3 & w <= 3);
    wi = w(pw);
    s3 = s2(1:ceil(ny/2))/(2*pi)*sqrt(skala);
    s(:,i) = s3(pw);
    if i>1
        raoi(:,i-1) = sqrt(s(:,i))./s(:,1));
        subplot(2,3,i-1)
        plot(wi,raoi(:,i-1));
        maxrao = max(raoi(:,i-1));
        axis([0.2 3 0 1.25*maxrao]);
    end
end
ws = [wi,s]; % data : omega, spektrum :wave,xyz,roll pitch yaw
wiraoi = [wi,raoi];% data : omega, rao :xyz,roll pitch yaw
%--- end-rao-gerak ---

%--- rao-acc-----
sw = s(:,1);
yacc = y(:,10:12);figure
for i = 1:3
    fhz = (0:ny-1)*sfr/ny;
    ygacc = fft(yacc(:,i));

```

```

s1acc = 2*abs(ygacc).^2/(ny*sfr);
s2acc = smooth(s1acc,150);
wacc = 2*pi*fHz(1:ceil(ny/2))'/sqrt(skala);
pwacc = find(wacc >= 0.3 & wacc <= 3);
wiacc = wacc(pwacc);
s3acc = s2acc(1:ceil(ny/2))/(2*pi)*sqrt(skala);
sacc(:,i) = s3acc(pwacc);
    raoiacc(:,i) = sqrt(sacc(:,i)./sw);
    subplot(2,3,i)
    plot(wiacc,raoiacc(:,i));
    maxraoacc = max(raoiacc(:,i));
    axis([0.2 3 0 1.25*maxraoacc]);
end
wsacc = [wiacc,sacc];
wiraoiacc = [wiacc,raoiacc];figure
%--- end-rao-acc ---
m0=trapz(wiacc,sw);

```

LAMPIRAN B
OUTPUT MOSES

```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     -----                             *
*                                     July 16, 2020                             *
* hydrodynamic Analysis of Floating Crane Catamaran                          *
* Response Amplitude Operator at CoG                                          *
* Draft = 4.7 Meters      Trim Angle = 0.00 Deg.      GMT = 41.2 Meters *
* Roll Gy. Radius = 14.1 Meters      Pitch Gy. Radius = 26.7 Meters      Yaw Gy. Radius = 26.7 Meters *
* Heading = 0.00 Deg.      Forward Speed = 0.00 Knots      Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++
=====

Process = DEFAULT: Units = Degrees, Meters, M-Tons, and MPA Unless Stated

Results are in the Body System

Of Point On Body CATAMARA At X = 11.8 Y = 0.0 Z = 30.8

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.977	92	0.000	0	0.985	1	0.000	0	0.057	-83	0.000	0
0.2000	31.42	0.916	103	0.000	0	0.995	3	0.000	0	0.228	-74	0.000	0
0.3000	20.94	0.804	119	0.000	0	1.034	7	0.000	0	0.503	-57	0.000	0
0.4000	15.71	0.629	141	0.000	0	1.116	17	0.000	0	0.848	-33	0.000	0
0.5000	12.57	0.399	169	0.000	0	1.210	33	0.000	0	1.186	-1	0.000	0
0.6000	10.47	0.152	-165	0.000	0	1.214	60	0.001	50	1.391	37	0.000	0
0.7000	8.98	0.076	118	0.001	-90	1.006	97	0.002	91	1.303	85	0.000	0
0.8000	7.85	0.146	153	0.001	-55	0.611	155	0.004	125	0.900	150	0.000	0
0.9000	6.98	0.125	-126	0.002	-58	0.326	-113	0.005	117	0.520	-115	0.000	0
1.0000	6.28	0.075	-14	0.000	0	0.160	-6	0.001	34	0.260	11	0.000	0
1.1000	5.71	0.032	173	0.001	138	0.164	-118	0.003	-8	0.269	-163	0.001	-111
1.2000	5.24	0.114	-59	0.001	-154	0.328	-53	0.003	40	0.454	-54	0.000	0
1.3001	4.83	0.061	119	0.000	0	0.239	174	0.001	75	0.290	126	0.001	-151
1.4000	4.49	0.141	-117	0.001	97	0.340	-115	0.000	0	0.538	-118	0.001	-92
1.4999	4.19	0.080	49	0.001	-116	0.178	53	0.001	94	0.282	46	0.001	60
1.6000	3.93	0.051	-127	0.002	35	0.091	-139	0.001	-69	0.161	-135	0.003	-146
1.7000	3.70	0.040	86	0.001	157	0.066	80	0.004	60	0.119	78	0.001	-36
1.7998	3.49	0.039	-49	0.002	-59	0.054	-58	0.003	78	0.108	-59	0.002	138
1.9000	3.31	0.030	-149	0.001	-97	0.042	-134	0.001	-3	0.072	-150	0.002	82
1.9997	3.14	0.016	80	0.011	155	0.011	46	0.004	-5	0.035	70	0.010	-31
2.1000	2.99	0.021	-18	0.002	68	0.029	-25	0.001	71	0.050	-26	0.002	-109
2.2000	2.86	0.021	-59	0.006	31	0.040	-48	0.006	54	0.046	-55	0.008	-147
2.2998	2.73	0.018	141	0.005	-37	0.033	118	0.001	-112	0.055	115	0.004	141
2.4000	2.62	0.008	108	0.012	-165	0.012	28	0.009	-117	0.017	48	0.015	13
2.5003	2.51	0.008	82	0.007	84	0.009	54	0.003	-102	0.012	47	0.009	-96
2.5996	2.42	0.004	40	0.009	-171	0.010	-113	0.018	179	0.004	-68	0.012	4
2.7001	2.33	0.005	23	0.001	-171	0.009	-13	0.006	60	0.011	-23	0.002	-40
2.8000	2.24	0.006	56	0.002	123	0.014	52	0.003	136	0.010	77	0.002	-61
2.8995	2.17	0.008	129	0.009	-7	0.024	-176	0.002	128	0.025	148	0.007	-170


```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     ----- July 16, 2020                       *
* hydrodynamic Analysis of Floating Crane Catamaran                            *
* Response Amplitude Operator at CoG                                           *
* Draft = 4.7 Meters Trim Angle = 0.00 Deg. GMT = 41.2 Meters *
* Roll Gy. Radius = 14.1 Meters Pitch Gy. Radius = 26.7 Meters Yaw Gy. Radius = 26.7 Meters *
* Heading = 45.00 Deg. Forward Speed = 0.00 Knots Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++
=====

```

Process = DEFAULT: Units = Degrees, Meters, M-Tons, and MPA Unless Stated

Results are in the Body System

Of Point On Body CATAMARA At X = 11.8 Y = 0.0 Z = 30.8

ENCOUNTER		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.691	90	0.683	91	0.985	0	0.041	93	0.041	-83	0.025	-167
0.2000	31.42	0.650	99	0.634	92	0.989	2	0.163	100	0.162	-78	0.099	-169
0.3000	20.94	0.576	110	0.560	93	1.006	5	0.364	113	0.359	-66	0.216	-160
0.4000	15.71	0.465	126	0.487	90	1.048	10	0.629	131	0.615	-49	0.364	-145
0.5000	12.57	0.320	146	0.471	83	1.111	20	0.916	154	0.894	-27	0.512	-126
0.6000	10.47	0.159	165	0.533	84	1.167	36	1.146	-176	1.143	0	0.615	-101
0.7000	8.98	0.042	120	0.590	102	1.162	58	1.190	-139	1.291	33	0.627	-70
0.8000	7.85	0.120	88	0.591	143	1.022	86	0.923	-84	1.231	70	0.555	-29
0.9000	6.98	0.147	124	0.787	-162	0.709	120	1.369	2	0.881	111	0.451	18
1.0000	6.28	0.110	179	0.657	-125	0.393	161	1.276	41	0.397	165	0.290	69
1.1000	5.71	0.041	-154	0.384	-64	0.198	141	0.780	113	0.052	159	0.119	124
1.2000	5.24	0.031	76	0.138	27	0.144	107	0.422	-150	0.147	81	0.021	1
1.3001	4.83	0.013	-45	0.109	-166	0.079	-94	0.220	-29	0.044	-82	0.093	60
1.4000	4.49	0.038	70	0.140	-69	0.079	123	0.178	120	0.123	89	0.080	110
1.4999	4.19	0.078	178	0.047	72	0.177	-175	0.161	-118	0.293	180	0.025	18
1.6000	3.93	0.068	-45	0.091	-102	0.129	-44	0.084	70	0.220	-48	0.086	105
1.7000	3.70	0.044	94	0.086	-26	0.064	98	0.185	-120	0.128	94	0.082	122
1.7998	3.49	0.045	-117	0.062	48	0.067	-117	0.055	-100	0.126	-120	0.084	-138
1.9000	3.31	0.035	104	0.007	16	0.063	125	0.065	-25	0.102	114	0.011	149
1.9997	3.14	0.047	-92	0.121	-98	0.115	-74	0.029	29	0.125	-90	0.102	84
2.1000	2.99	0.025	108	0.060	-126	0.059	102	0.046	-29	0.073	107	0.060	66
2.2000	2.86	0.017	19	0.128	-119	0.064	20	0.155	-99	0.061	19	0.166	58
2.2998	2.73	0.007	-7	0.061	135	0.018	38	0.017	10	0.028	22	0.065	-48
2.4000	2.62	0.006	165	0.014	133	0.010	-168	0.006	179	0.019	-179	0.015	-28
2.5003	2.51	0.007	-43	0.024	-157	0.008	-6	0.022	-136	0.018	-12	0.032	18
2.5996	2.42	0.002	-153	0.033	-138	0.009	82	0.048	175	0.006	71	0.039	34
2.7001	2.33	0.004	160	0.036	52	0.006	-130	0.011	47	0.008	-124	0.044	-106
2.8000	2.24	0.001	62	0.011	-7	0.006	130	0.014	-20	0.005	122	0.016	178
2.8995	2.17	0.009	138	0.018	2	0.025	161	0.007	-86	0.029	136	0.015	-172

```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     ----- July 16, 2020                       *
* hydrodynamic Analysis of Floating Crane Catamaran                             *
* Response Amplitude Operator at CoG                                             *
* Draft = 4.7 Meters Trim Angle = 0.00 Deg. GMT = 41.2 Meters *
* Roll Gy. Radius = 14.1 Meters Pitch Gy. Radius = 26.7 Meters Yaw Gy. Radius = 26.7 Meters *
* Heading = 90.00 Deg. Forward Speed = 0.00 Knots Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++
 =====

Process = DEFAULT: Units = Degrees, Meters, M-Tons, and MPA Unless Stated

Results are in the Body System

Of Point On Body CATAMARA At X = 11.8 Y = 0.0 Z = 30.8

ENCOUNTER		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.026	0	0.966	90	0.985	0	0.057	90	0.003	0	0.006	-87
0.2000	31.42	0.007	0	0.893	90	0.982	0	0.231	90	0.003	0	0.003	-88
0.3000	20.94	0.004	0	0.765	90	0.977	0	0.525	90	0.003	0	0.003	89
0.4000	15.71	0.003	1	0.573	90	0.965	0	0.946	90	0.004	2	0.011	89
0.5000	12.57	0.004	1	0.307	92	0.948	0	1.514	89	0.007	8	0.023	89
0.6000	10.47	0.006	0	0.070	-119	0.924	0	2.289	88	0.015	6	0.040	86
0.7000	8.98	0.011	-6	0.605	-103	0.877	-3	3.440	84	0.035	-14	0.067	76
0.8000	7.85	0.017	-34	1.460	-117	0.733	-15	5.208	68	0.064	-53	0.105	54
0.9000	6.98	0.022	-85	2.241	-150	0.390	-38	6.232	33	0.090	-107	0.126	14
1.0000	6.28	0.027	-157	1.855	-179	0.103	-169	4.382	2	0.118	-164	0.093	-19
1.1000	5.71	0.039	135	1.179	178	0.382	146	2.471	-1	0.154	140	0.051	-28
1.2000	5.24	0.083	139	0.786	-166	0.965	147	1.489	10	0.337	138	0.027	10
1.3001	4.83	0.212	85	0.553	-144	1.813	100	0.937	28	0.776	82	0.031	75
1.4000	4.49	0.181	21	0.438	-118	0.982	55	0.629	51	0.671	17	0.062	92
1.4999	4.19	0.077	0	0.395	-94	0.357	61	0.424	83	0.289	-9	0.122	81
1.6000	3.93	0.039	24	0.270	-55	0.194	91	0.387	102	0.141	12	0.070	-175
1.7000	3.70	0.025	60	0.235	-43	0.110	124	0.336	66	0.084	48	0.110	144
1.7998	3.49	0.022	73	0.135	-27	0.046	104	0.230	119	0.074	65	0.123	118
1.9000	3.31	0.009	121	0.075	13	0.073	-156	0.048	-162	0.040	101	0.066	109
1.9997	3.14	0.007	24	0.046	66	0.042	-59	0.034	-34	0.019	30	0.065	139
2.1000	2.99	0.012	-131	0.069	111	0.064	-94	0.018	86	0.041	-148	0.053	-119
2.2000	2.86	0.027	-113	0.085	128	0.084	-55	0.072	128	0.094	-121	0.086	-80
2.2998	2.73	0.011	109	0.048	130	0.004	86	0.165	-21	0.054	111	0.076	-83
2.4000	2.62	0.006	77	0.053	53	0.031	164	0.149	38	0.037	128	0.106	-87
2.5003	2.51	0.008	6	0.044	-84	0.018	92	0.018	99	0.023	23	0.054	57
2.5996	2.42	0.010	89	0.057	-12	0.014	123	0.061	-2	0.031	77	0.049	138
2.7001	2.33	0.005	120	0.029	-118	0.007	-132	0.070	114	0.014	121	0.097	89
2.8000	2.24	0.003	33	0.017	155	0.027	-5	0.068	74	0.003	56	0.015	73
2.8995	2.17	0.009	-112	0.103	115	0.055	-71	0.054	-102	0.029	-118	0.072	-66

```

*****
*                               *** MOSES ***                               *
*                               -----                               July 16, 2020 *
*                               hydrodynamic Analysis of Floating Crane Catamaran *
*                               Response Amplitude Operator at CoG *
*   Draft      = 4.7 Meters      Trim Angle   = 0.00 Deg.   GMT      = 41.2 Meters *
*   Roll Gy. Radius = 14.1 Meters Pitch Gy. Radius = 26.7 Meters Yaw Gy. Radius = 26.7 Meters *
*   Heading    = 135.00 Deg.    Forward Speed = 0.00 Knots  Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++
=====

Process = DEFAULT: Units = Degrees, Meters, M-Tons, and MPA Unless Stated

Results are in the Body System

Of Point On Body CATAMARA At X = 11.8 Y = 0.0 Z = 30.8

ENCOUNTER		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.691	-89	0.684	89	0.985	0	0.041	87	0.041	84	0.026	-11
0.2000	31.42	0.650	-98	0.634	88	0.989	-1	0.163	80	0.162	79	0.099	-9
0.3000	20.94	0.575	-109	0.560	87	1.007	-4	0.364	67	0.358	67	0.216	-18
0.4000	15.71	0.464	-125	0.489	91	1.051	-9	0.629	49	0.614	51	0.364	-33
0.5000	12.57	0.318	-143	0.478	97	1.115	-18	0.914	26	0.889	29	0.513	-52
0.6000	10.47	0.155	-161	0.545	98	1.166	-32	1.135	-1	1.121	3	0.620	-75
0.7000	8.98	0.040	-102	0.626	85	1.168	-52	1.154	-36	1.244	-26	0.653	-100
0.8000	7.85	0.131	-74	0.587	57	1.057	-78	0.745	-75	1.197	-61	0.604	-126
0.9000	6.98	0.171	-107	0.136	66	0.782	-113	0.835	-13	0.937	-103	0.464	-154
1.0000	6.28	0.130	-151	0.412	63	0.354	-154	1.053	-88	0.528	-155	0.314	177
1.1000	5.71	0.027	133	0.296	32	0.077	-127	0.611	-130	0.142	79	0.140	148
1.2000	5.24	0.034	-120	0.162	18	0.093	-113	0.241	-154	0.142	-118	0.043	-174
1.3001	4.83	0.076	13	0.098	10	0.225	6	0.094	-106	0.319	13	0.089	179
1.4000	4.49	0.053	-108	0.071	-9	0.202	-106	0.189	-96	0.200	-125	0.123	127
1.4999	4.19	0.047	-24	0.097	-99	0.116	-42	0.221	-129	0.144	-22	0.207	64
1.6000	3.93	0.042	-54	0.058	23	0.103	-67	0.155	-119	0.129	-66	0.047	-127
1.7000	3.70	0.004	-88	0.196	95	0.013	-92	0.198	-39	0.027	175	0.197	-84
1.7998	3.49	0.040	-1	0.040	112	0.084	-11	0.066	174	0.104	-4	0.055	-41
1.9000	3.31	0.070	-32	0.039	141	0.176	-24	0.063	-90	0.197	-28	0.033	-28
1.9997	3.14	0.026	-65	0.171	83	0.103	-96	0.102	-62	0.063	-64	0.147	-111
2.1000	2.99	0.032	-151	0.063	152	0.118	-167	0.084	124	0.111	-157	0.084	-34
2.2000	2.86	0.020	64	0.074	113	0.043	46	0.130	125	0.059	65	0.102	-66
2.2998	2.73	0.002	131	0.068	51	0.002	-49	0.010	-28	0.009	30	0.071	-128
2.4000	2.62	0.002	-111	0.041	-90	0.002	44	0.042	-82	0.009	-43	0.048	91
2.5003	2.51	0.005	94	0.030	153	0.014	62	0.036	179	0.013	46	0.039	-27
2.5996	2.42	0.006	65	0.046	-62	0.024	42	0.095	-97	0.018	41	0.062	108
2.7001	2.33	0.005	-68	0.036	-167	0.015	-52	0.119	-133	0.015	-37	0.057	46
2.8000	2.24	0.002	-125	0.019	58	0.008	-134	0.012	-133	0.004	-125	0.016	-119
2.8995	2.17	0.010	9	0.032	-85	0.028	53	0.031	55	0.031	1	0.016	113

```

*****
*                               *** MOSES ***                               *
*                               -----                               *
*                               July 16, 2020                               *
*                               hydrodynamic Analysis of Floating Crane Catamaran *
*                               Response Amplitude Operator at CoG           *
*   Draft      = 4.7 Meters      Trim Angle = 0.00 Deg.      GMT      = 41.2 Meters *
*   Roll Gy. Radius = 14.1 Meters Pitch Gy. Radius = 26.7 Meters Yaw Gy. Radius = 26.7 Meters *
*   Heading    = 180.00 Deg.    Forward Speed = 0.00 Knots  Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ M O T I O N R E S P O N S E O P E R A T O R S +++
=====

Process = DEFAULT: Units = Degrees, Meters, M-Tons, and MPA Unless Stated

Results are in the Body System

Of Point On Body CATAMARA At X = 11.8 Y = 0.0 Z = 30.8

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.977	-91	0.000	0	0.985	0	0.000	0	0.057	84	0.000	0
0.2000	31.42	0.916	-102	0.000	0	0.995	-2	0.000	0	0.228	75	0.000	0
0.3000	20.94	0.803	-118	0.000	0	1.035	-6	0.000	0	0.503	58	0.000	0
0.4000	15.71	0.628	-140	0.000	0	1.121	-15	0.000	0	0.846	34	0.000	0
0.5000	12.57	0.395	-166	0.000	0	1.221	-31	0.000	0	1.176	4	0.000	0
0.6000	10.47	0.146	172	0.000	0	1.260	-55	0.001	-57	1.360	-32	0.000	0
0.7000	8.98	0.092	-105	0.000	0	1.152	-85	0.001	-114	1.262	-74	0.000	0
0.8000	7.85	0.171	-125	0.000	0	0.836	-118	0.000	0	0.866	-115	0.000	0
0.9000	6.98	0.149	-152	0.002	31	0.479	-139	0.005	-155	0.469	-138	0.000	0
1.0000	6.28	0.109	-173	0.002	-102	0.270	-142	0.004	60	0.272	-157	0.001	93
1.1000	5.71	0.047	-144	0.001	95	0.305	-120	0.003	-100	0.216	-86	0.001	-42
1.2000	5.24	0.128	-171	0.001	-48	0.432	-165	0.002	124	0.459	-166	0.001	162
1.3001	4.83	0.023	150	0.001	-164	0.179	137	0.002	15	0.025	-83	0.001	5
1.4000	4.49	0.105	121	0.000	0	0.295	118	0.000	0	0.370	118	0.001	-139
1.4999	4.19	0.033	-177	0.000	0	0.065	164	0.001	16	0.113	-171	0.000	0
1.6000	3.93	0.018	57	0.001	164	0.045	38	0.001	-56	0.068	28	0.001	-4
1.7000	3.70	0.018	142	0.001	173	0.033	124	0.002	96	0.048	129	0.001	-11
1.7998	3.49	0.008	-168	0.002	-122	0.022	174	0.004	38	0.025	-146	0.001	68
1.9000	3.31	0.028	96	0.002	79	0.064	96	0.002	-107	0.076	92	0.002	-80
1.9997	3.14	0.007	54	0.009	-84	0.028	28	0.001	-162	0.023	37	0.008	90
2.1000	2.99	0.013	-36	0.003	-29	0.057	-49	0.001	22	0.048	-43	0.003	154
2.2000	2.86	0.006	170	0.004	96	0.030	169	0.004	130	0.020	174	0.005	-84
2.2998	2.73	0.006	126	0.005	-84	0.006	82	0.001	-86	0.015	103	0.006	99
2.4000	2.62	0.005	95	0.017	64	0.012	111	0.019	0	0.018	83	0.020	-116
2.5003	2.51	0.001	135	0.003	147	0.005	-8	0.008	-90	0.003	10	0.003	-14
2.5996	2.42	0.003	147	0.009	116	0.008	179	0.016	80	0.006	128	0.011	-67
2.7001	2.33	0.002	145	0.002	110	0.007	77	0.011	77	0.007	88	0.006	-86
2.8000	2.24	0.003	-93	0.001	-28	0.007	-37	0.002	-107	0.015	-73	0.002	166
2.8995	2.17	0.007	-104	0.004	-102	0.015	-102	0.003	98	0.022	-101	0.005	96

LAMPIRAN C
PERHITUNGAN
SPEKTRA RESPON

heave	0 deg	Hs= 1 meter										
	HS	TP	ω_p (rad/s)	S(ω)	SM	RAO	RAO^2	Sr(ω)	Sr(ω)*SM	Sr(ω)*SM* ω	ω^2 *Sr(ω)*SM	ω^4 *Sr(ω)*SM
0.10	1.00	5.00	1.26	0.00	1.00	0.99	0.97	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00
0.20	1.00	5.00	1.26	0.00	4.00	1.00	0.99	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00
0.30	1.00	5.00	1.26	0.00	2.00	1.03	1.07	2.6.E-165	5.1.E-165	1.5.E-165	4.6.E-166	4.1.E-167
0.40	1.00	5.00	1.26	0.00	4.00	1.12	1.25	1.2.E-51	5.0.E-51	2.0.E-51	8.0.E-52	1.3.E-52
0.50	1.00	5.00	1.26	0.00	2.00	1.21	1.46	8.0.E-21	1.6.E-20	8.0.E-21	4.0.E-21	1.0.E-21
0.60	1.00	5.00	1.26	0.00	4.00	1.21	1.47	5.3.E-10	2.1.E-09	1.3.E-09	7.6.E-10	2.7.E-10
0.70	1.00	5.00	1.26	0.00	2.00	1.01	1.01	1.1.E-05	2.2.E-05	1.5.E-05	1.1.E-05	5.2.E-06
0.80	1.00	5.00	1.26	0.00	4.00	0.61	0.37	4.4.E-04	1.8.E-03	1.4.E-03	1.1.E-03	7.2.E-04
0.90	1.00	5.00	1.26	0.01	2.00	0.33	0.11	1.2.E-03	2.4.E-03	2.2.E-03	2.0.E-03	1.6.E-03
1.00	1.00	5.00	1.26	0.03	4.00	0.16	0.03	8.8.E-04	3.5.E-03	3.5.E-03	3.5.E-03	3.5.E-03
1.10	1.00	5.00	1.26	0.06	2.00	0.16	0.03	1.5.E-03	3.1.E-03	3.4.E-03	3.7.E-03	4.5.E-03
1.20	1.00	5.00	1.26	0.07	4.00	0.33	0.11	7.5.E-03	3.0.E-02	3.6.E-02	4.3.E-02	6.2.E-02
1.30	1.00	5.00	1.26	0.07	2.00	0.24	0.06	4.0.E-03	8.1.E-03	1.0.E-02	1.4.E-02	2.3.E-02
1.40	1.00	5.00	1.26	0.06	4.00	0.34	0.12	7.4.E-03	3.0.E-02	4.2.E-02	5.8.E-02	1.1.E-01
1.50	1.00	5.00	1.26	0.06	2.00	0.18	0.03	1.8.E-03	3.5.E-03	5.3.E-03	7.9.E-03	1.8.E-02
1.60	1.00	5.00	1.26	0.05	4.00	0.09	0.01	3.8.E-04	1.5.E-03	2.4.E-03	3.9.E-03	1.0.E-02
1.70	1.00	5.00	1.26	0.04	2.00	0.07	0.00	1.6.E-04	3.3.E-04	5.6.E-04	9.5.E-04	2.7.E-03
1.80	1.00	5.00	1.26	0.03	4.00	0.05	0.00	8.9.E-05	3.6.E-04	6.4.E-04	1.2.E-03	3.8.E-03
1.90	1.00	5.00	1.26	0.02	2.00	0.04	0.00	4.4.E-05	8.7.E-05	1.7.E-04	3.2.E-04	1.1.E-03
2.00	1.00	5.00	1.26	0.02	4.00	0.01	0.00	2.4.E-06	9.7.E-06	1.9.E-05	3.9.E-05	1.6.E-04
2.10	1.00	5.00	1.26	0.02	1.00	0.03	0.00	1.4.E-05	1.4.E-05	2.9.E-05	6.0.E-05	2.7.E-04
2.20	1.00	5.00	1.26	0.01	4.00	0.04	0.00	2.1.E-05	8.5.E-05	1.9.E-04	4.1.E-04	2.0.E-03
2.30	1.00	5.00	1.26	0.01	2.00	0.03	0.00	1.2.E-05	2.4.E-05	5.4.E-05	1.2.E-04	6.6.E-04
2.40	1.00	5.00	1.26	0.01	4.00	0.01	0.00	1.3.E-06	5.1.E-06	1.2.E-05	3.0.E-05	1.7.E-04
2.50	1.00	5.00	1.26	0.01	2.00	0.01	0.00	6.0.E-07	1.2.E-06	3.0.E-06	7.5.E-06	4.7.E-05
2.60	1.00	5.00	1.26	0.01	4.00	0.01	0.00	6.1.E-07	2.5.E-06	6.4.E-06	1.7.E-05	1.1.E-04
2.70	1.00	5.00	1.26	0.01	2.00	0.01	0.00	4.1.E-07	8.3.E-07	2.2.E-06	6.0.E-06	4.4.E-05
2.80	1.00	5.00	1.26	0.00	4.00	0.01	0.00	8.4.E-07	3.4.E-06	9.4.E-06	2.6.E-05	2.1.E-04
2.90	1.00	5.00	1.26	0.00	1.00	0.02	0.00	2.1.E-06	2.1.E-06	6.1.E-06	1.8.E-05	1.5.E-04
								$\Sigma =$	0.0845873	0.1080624	0.1404685	0.2491163

roll	0 deg		Hs= 1 meter									
	HS	Tp	ω_p (rad/s)	S(ω)	SM	RAO	RAO^2	Sr(ω)	Sr(ω)*SM	Sr(ω)*SM* ω	ω^2 *Sr(ω)*SM	ω^4 *Sr(ω)*SM
0.1	1	5	1.257	0	1	0	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00
0.2	1	5	1.257	0	4	0	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00
0.3	1	5	1.257	2.4E-165	2	0	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00
0.4	1	5	1.257	1E-51	4	0	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00
0.5	1	5	1.257	5.46E-21	2	0	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00
0.6	1	5	1.257	3.59E-10	4	0.001	1.0.E-06	3.6.E-16	1.4.E-15	8.6.E-16	5.2.E-16	1.9.E-16
0.7	1	5	1.257	1.07E-05	2	0.002	4.0.E-06	4.3.E-11	8.5.E-11	6.0.E-11	4.2.E-11	2.0.E-11
0.8	1	5	1.257	0.001178	4	0.004	1.6.E-05	1.9.E-08	7.5.E-08	6.0.E-08	4.8.E-08	3.1.E-08
0.9	1	5	1.257	0.011407	2	0.005	2.5.E-05	2.9.E-07	5.7.E-07	5.1.E-07	4.6.E-07	3.7.E-07
1	1	5	1.257	0.034511	4	0.001	1.0.E-06	3.5.E-08	1.4.E-07	1.4.E-07	1.4.E-07	1.4.E-07
1.1	1	5	1.257	0.057558	2	0.003	9.0.E-06	5.2.E-07	1.0.E-06	1.1.E-06	1.3.E-06	1.5.E-06
1.2	1	5	1.257	0.069653	4	0.003	9.0.E-06	6.3.E-07	2.5.E-06	3.0.E-06	3.6.E-06	5.2.E-06
1.3	1	5	1.257	0.070468	2	0.001	1.0.E-06	7.0.E-08	1.4.E-07	1.8.E-07	2.4.E-07	4.0.E-07
1.4	1	5	1.257	0.064367	4	0	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00	0.0.E+00
1.5	1	5	1.257	0.055441	2	0.001	1.0.E-06	5.5.E-08	1.1.E-07	1.7.E-07	2.5.E-07	5.6.E-07
1.6	1	5	1.257	0.046188	4	0.001	1.0.E-06	4.6.E-08	1.8.E-07	3.0.E-07	4.7.E-07	1.2.E-06
1.7	1	5	1.257	0.037789	2	0.004	1.6.E-05	6.0.E-07	1.2.E-06	2.1.E-06	3.5.E-06	1.0.E-05
1.8	1	5	1.257	0.030646	4	0.003	9.0.E-06	2.8.E-07	1.1.E-06	2.0.E-06	3.6.E-06	1.2.E-05
1.9	1	5	1.257	0.024777	2	0.001	1.0.E-06	2.5.E-08	5.0.E-08	9.4.E-08	1.8.E-07	6.5.E-07
2	1	5	1.257	0.020042	4	0.004	1.6.E-05	3.2.E-07	1.3.E-06	2.6.E-06	5.1.E-06	2.1.E-05
2.1	1	5	1.257	0.016255	1	0.001	1.0.E-06	1.6.E-08	1.6.E-08	3.4.E-08	7.2.E-08	3.2.E-07
2.2	1	5	1.257	0.013237	4	0.006	3.6.E-05	4.8.E-07	1.9.E-06	4.2.E-06	9.2.E-06	4.5.E-05
2.3	1	5	1.257	0.010831	2	0.001	1.0.E-06	1.1.E-08	2.2.E-08	5.0.E-08	1.1.E-07	6.1.E-07
2.4	1	5	1.257	0.008909	4	0.009	8.1.E-05	7.2.E-07	2.9.E-06	6.9.E-06	1.7.E-05	9.6.E-05
2.5	1	5	1.257	0.007368	2	0.003	9.0.E-06	6.6.E-08	1.3.E-07	3.3.E-07	8.3.E-07	5.2.E-06
2.6	1	5	1.257	0.006126	4	0.018	3.2.E-04	2.0.E-06	7.9.E-06	2.1.E-05	5.4.E-05	3.6.E-04
2.7	1	5	1.257	0.005122	2	0.006	3.6.E-05	1.8.E-07	3.7.E-07	1.0.E-06	2.7.E-06	2.0.E-05
2.8	1	5	1.257	0.004304	4	0.003	9.0.E-06	3.9.E-08	1.5.E-07	4.3.E-07	1.2.E-06	9.5.E-06
2.9	1	5	1.257	0.003635	1	0.002	4.0.E-06	1.5.E-08	1.5.E-08	4.2.E-08	1.2.E-07	1.0.E-06
$\Sigma =$								0.0000218	0.0000459	0.0001034	0.0005918	
								$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

pitch	0 deg	Hs= 1 meter										
	HS	Tp	ωp (rad/s)	S(ω)	SM	RAO	RAO ²	Sr(ω)	Sr(ω)*SM	Sr(ω)*SM* ω	ω^2 *Sr(ω)*SM	ω^4 *Sr(ω)*SM
0.1	1	5	1.256637	0	1	0.057	0.003249	0	0	0	0	0
0.2	1	5	1.256637	0	4	0.228	0.051984	0	0	0	0	0
0.3	1	5	1.256637	2.4E-165	2	0.503	0.253009	6E-166	1.21E-165	3.6E-166	1.0881E-166	9.7929E-168
0.4	1	5	1.256637	1E-51	4	0.848	0.719104	7.21E-52	2.884E-51	1.15E-51	4.61395E-52	7.38232E-53
0.5	1	5	1.256637	5.46E-21	2	1.186	1.406596	7.68E-21	1.536E-20	7.68E-21	3.83895E-21	9.59738E-22
0.6	1	5	1.256637	3.59E-10	4	1.391	1.934881	6.95E-10	2.781E-09	1.67E-09	1.00106E-09	3.60382E-10
0.7	1	5	1.256637	1.07E-05	2	1.303	1.697809	1.81E-05	3.622E-05	2.54E-05	1.7746E-05	8.69552E-06
0.8	1	5	1.256637	0.001178	4	0.9	0.81	0.000954	0.0038174	0.003054	0.00244313	0.001563603
0.9	1	5	1.256637	0.011407	2	0.52	0.2704	0.003084	0.0061689	0.005552	0.004996802	0.00404741
1	1	5	1.256637	0.034511	4	0.26	0.0676	0.002333	0.0093317	0.009332	0.0093317	0.0093317
1.1	1	5	1.256637	0.057558	2	0.269	0.072361	0.004165	0.0083299	0.009163	0.01007921	0.012195844
1.2	1	5	1.256637	0.069653	4	0.454	0.206116	0.014357	0.0574264	0.068912	0.08269407	0.119079462
1.3	1	5	1.256637	0.070468	2	0.29	0.0841	0.005926	0.0118527	0.015409	0.02003111	0.033852577
1.4	1	5	1.256637	0.064367	4	0.538	0.289444	0.018631	0.0745222	0.104331	0.146063427	0.286284317
1.5	1	5	1.256637	0.055441	2	0.282	0.079524	0.004409	0.0088177	0.013227	0.019839896	0.044639766
1.6	1	5	1.256637	0.046188	4	0.161	0.025921	0.001197	0.0047889	0.007662	0.012259638	0.031384673
1.7	1	5	1.256637	0.037789	2	0.119	0.014161	0.000535	0.0010703	0.001819	0.003093025	0.008938842
1.8	1	5	1.256637	0.030646	4	0.108	0.011664	0.000357	0.0014298	0.002574	0.004632579	0.015009555
1.9	1	5	1.256637	0.024777	2	0.072	0.005184	0.000128	0.0002569	0.000488	0.000927356	0.003347757
2	1	5	1.256637	0.020042	4	0.035	0.001225	2.46E-05	9.82E-05	0.000196	0.000392814	0.001571257
2.1	1	5	1.256637	0.016255	1	0.05	0.0025	4.06E-05	4.064E-05	8.53E-05	0.000179211	0.000790319
2.2	1	5	1.256637	0.013237	4	0.046	0.002116	2.8E-05	0.000112	0.000246	0.000542261	0.002624543
2.3	1	5	1.256637	0.010831	2	0.055	0.003025	3.28E-05	6.553E-05	0.000151	0.000346646	0.001833757
2.4	1	5	1.256637	0.008909	4	0.017	0.000289	2.57E-06	1.03E-05	2.47E-05	5.93213E-05	0.000341691
2.5	1	5	1.256637	0.007368	2	0.012	0.000144	1.06E-06	2.122E-06	5.3E-06	1.32619E-05	8.2887E-05
2.6	1	5	1.256637	0.006126	4	0.004	0.000016	9.8E-08	3.921E-07	1.02E-06	2.65049E-06	1.79173E-05
2.7	1	5	1.256637	0.005122	2	0.011	0.000121	6.2E-07	1.239E-06	3.35E-06	9.03526E-06	6.5867E-05
2.8	1	5	1.256637	0.004304	4	0.01	0.0001	4.3E-07	1.722E-06	4.82E-06	1.34974E-05	0.00010582
2.9	1	5	1.256637	0.003635	1	0.025	0.000625	2.27E-06	2.272E-06	6.59E-06	1.91089E-05	0.000160706
								$\Sigma =$	0.1881835	0.2422720	0.3179875	0.5772790
									$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Heave	45	Hs= 1 meter											
	deg	HS	TP	ω_p (rad/s)	$S(\omega)$	SM	RAO	RAO ²	$S_r(\omega)$	$S_r(\omega)*SM$	$S_r(\omega)*SM*\omega$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.1	1	5	1.25663706	0	1	0.985	0.970225	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.2	1	5	1.25663706	0	4	0.989	0.978121	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.3	1	5	1.25663706	2.3892E-165	2	1.006	1.012036	2.E-165	5.E-165	1.E-165	4.E-166	4.E-167	4.E-167
0.4	1	5	1.25663706	1.00254E-51	4	1.048	1.098304	1.E-51	4.E-51	2.E-51	7.E-52	1.E-52	1.E-52
0.5	1	5	1.25663706	5.4585E-21	2	1.111	1.234321	7.E-21	1.E-20	7.E-21	3.E-21	8.E-22	8.E-22
0.6	1	5	1.25663706	3.59289E-10	4	1.167	1.361889	5.E-10	2.E-09	1.E-09	7.E-10	3.E-10	3.E-10
0.7	1	5	1.25663706	1.06656E-05	2	1.162	1.350244	1.E-05	3.E-05	2.E-05	1.E-05	7.E-06	7.E-06
0.8	1	5	1.25663706	0.001178207	4	1.022	1.044484	1.E-03	5.E-03	4.E-03	3.E-03	2.E-03	2.E-03
0.9	1	5	1.25663706	0.011406974	2	0.709	0.502681	6.E-03	1.E-02	1.E-02	9.E-03	8.E-03	8.E-03
1	1	5	1.25663706	0.034510726	4	0.393	0.154449	5.E-03	2.E-02	2.E-02	2.E-02	2.E-02	2.E-02
1.1	1	5	1.25663706	0.057558116	2	0.198	0.039204	2.E-03	5.E-03	5.E-03	5.E-03	7.E-03	7.E-03
1.2	1	5	1.25663706	0.069653057	4	0.144	0.020736	1.E-03	6.E-03	7.E-03	8.E-03	1.E-02	1.E-02
1.3	1	5	1.25663706	0.070468062	2	0.079	0.006241	4.E-04	9.E-04	1.E-03	1.E-03	3.E-03	3.E-03
1.4	1	5	1.25663706	0.064366645	4	0.079	0.006241	4.E-04	2.E-03	2.E-03	3.E-03	6.E-03	6.E-03
1.5	1	5	1.25663706	0.055440695	2	0.177	0.031329	2.E-03	3.E-03	5.E-03	8.E-03	2.E-02	2.E-02
1.6	1	5	1.25663706	0.046187658	4	0.129	0.016641	8.E-04	3.E-03	5.E-03	8.E-03	2.E-02	2.E-02
1.7	1	5	1.25663706	0.037788673	2	0.064	0.004096	2.E-04	3.E-04	5.E-04	9.E-04	3.E-03	3.E-03
1.8	1	5	1.25663706	0.030645753	4	0.067	0.004489	1.E-04	6.E-04	1.E-03	2.E-03	6.E-03	6.E-03
1.9	1	5	1.25663706	0.024776758	2	0.063	0.003969	1.E-04	2.E-04	4.E-04	7.E-04	3.E-03	3.E-03
2	1	5	1.25663706	0.020041538	4	0.115	0.013225	3.E-04	1.E-03	2.E-03	4.E-03	2.E-02	2.E-02
2.1	1	5	1.25663706	0.016254942	1	0.059	0.003481	6.E-05	6.E-05	1.E-04	2.E-04	1.E-03	1.E-03
2.2	1	5	1.25663706	0.013236933	4	0.064	0.004096	5.E-05	2.E-04	5.E-04	1.E-03	5.E-03	5.E-03
2.3	1	5	1.25663706	0.010831164	2	0.018	0.000324	4.E-06	7.E-06	2.E-05	4.E-05	2.E-04	2.E-04
2.4	1	5	1.25663706	0.008909033	4	0.01	0.0001	9.E-07	4.E-06	9.E-06	2.E-05	1.E-04	1.E-04
2.5	1	5	1.25663706	0.007367732	2	0.008	0.000064	5.E-07	9.E-07	2.E-06	6.E-06	4.E-05	4.E-05
2.6	1	5	1.25663706	0.00612631	4	0.009	0.000081	5.E-07	2.E-06	5.E-06	1.E-05	9.E-05	9.E-05
2.7	1	5	1.25663706	0.005121507	2	0.006	0.000036	2.E-07	4.E-07	1.E-06	3.E-06	2.E-05	2.E-05
2.8	1	5	1.25663706	0.004304028	4	0.006	0.000036	2.E-07	6.E-07	2.E-06	5.E-06	4.E-05	4.E-05
2.9	1	5	1.25663706	0.003635461	1	0.025	0.000625	2.E-06	2.E-06	7.E-06	2.E-05	2.E-04	2.E-04
									$\Sigma =$	6.E-02	7.E-02	8.E-02	1.E-01
										$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Roll	45	Hs= 1 meter											
	deg	HS	TP	ω_p (rad/s)	S(ω)	SM	RAO	RAO ²	Sr(ω)	Sr(ω)*SM	Sr(ω)*SM* ω	ω^2 *Sr(ω)*SM	ω^4 *Sr(ω)*SM
0.1	1	5	1.256637061	0	1	0.041	0.001681	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.2	1	5	1.256637061	0	4	0.163	0.026569	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.3	1	5	1.256637061	2.3892E-165	2	0.364	0.132496	3.E-166	6.E-166	2.E-166	6.E-167	5.E-168	5.E-168
0.4	1	5	1.256637061	1.00254E-51	4	0.629	0.395641	4.E-52	2.E-51	6.E-52	3.E-52	4.E-53	4.E-53
0.5	1	5	1.256637061	5.4585E-21	2	0.916	0.839056	5.E-21	9.E-21	5.E-21	2.E-21	6.E-22	6.E-22
0.6	1	5	1.256637061	3.59289E-10	4	1.146	1.313316	5.E-10	2.E-09	1.E-09	7.E-10	2.E-10	2.E-10
0.7	1	5	1.256637061	1.06656E-05	2	1.19	1.4161	2.E-05	3.E-05	2.E-05	1.E-05	7.E-06	7.E-06
0.8	1	5	1.256637061	0.001178207	4	0.923	0.851929	1.E-03	4.E-03	3.E-03	3.E-03	2.E-03	2.E-03
0.9	1	5	1.256637061	0.011406974	2	1.369	1.874161	2.E-02	4.E-02	4.E-02	3.E-02	3.E-02	3.E-02
1	1	5	1.256637061	0.034510726	4	1.276	1.628176	6.E-02	2.E-01	2.E-01	2.E-01	2.E-01	2.E-01
1.1	1	5	1.256637061	0.057558116	2	0.78	0.6084	4.E-02	7.E-02	8.E-02	8.E-02	1.E-01	1.E-01
1.2	1	5	1.256637061	0.069653057	4	0.422	0.178084	1.E-02	5.E-02	6.E-02	7.E-02	1.E-01	1.E-01
1.3	1	5	1.256637061	0.070468062	2	0.22	0.0484	3.E-03	7.E-03	9.E-03	1.E-02	2.E-02	2.E-02
1.4	1	5	1.256637061	0.064366645	4	0.178	0.031684	2.E-03	8.E-03	1.E-02	2.E-02	3.E-02	3.E-02
1.5	1	5	1.256637061	0.055440695	2	0.161	0.025921	1.E-03	3.E-03	4.E-03	6.E-03	1.E-02	1.E-02
1.6	1	5	1.256637061	0.046187658	4	0.084	0.007056	3.E-04	1.E-03	2.E-03	3.E-03	9.E-03	9.E-03
1.7	1	5	1.256637061	0.037788673	2	0.185	0.034225	1.E-03	3.E-03	4.E-03	7.E-03	2.E-02	2.E-02
1.8	1	5	1.256637061	0.030645753	4	0.055	0.003025	9.E-05	4.E-04	7.E-04	1.E-03	4.E-03	4.E-03
1.9	1	5	1.256637061	0.024776758	2	0.065	0.004225	1.E-04	2.E-04	4.E-04	8.E-04	3.E-03	3.E-03
2	1	5	1.256637061	0.020041538	4	0.029	0.000841	2.E-05	7.E-05	1.E-04	3.E-04	1.E-03	1.E-03
2.1	1	5	1.256637061	0.016254942	1	0.046	0.002116	3.E-05	3.E-05	7.E-05	2.E-04	7.E-04	7.E-04
2.2	1	5	1.256637061	0.013236933	4	0.155	0.024025	3.E-04	1.E-03	3.E-03	6.E-03	3.E-02	3.E-02
2.3	1	5	1.256637061	0.010831164	2	0.017	0.000289	3.E-06	6.E-06	1.E-05	3.E-05	2.E-04	2.E-04
2.4	1	5	1.256637061	0.008909033	4	0.006	0.000036	3.E-07	1.E-06	3.E-06	7.E-06	4.E-05	4.E-05
2.5	1	5	1.256637061	0.007367732	2	0.022	0.000484	4.E-06	7.E-06	2.E-05	4.E-05	3.E-04	3.E-04
2.6	1	5	1.256637061	0.00612631	4	0.048	0.002304	1.E-05	6.E-05	1.E-04	4.E-04	3.E-03	3.E-03
2.7	1	5	1.256637061	0.005121507	2	0.011	0.000121	6.E-07	1.E-06	3.E-06	9.E-06	7.E-05	7.E-05
2.8	1	5	1.256637061	0.004304028	4	0.014	0.000196	8.E-07	3.E-06	9.E-06	3.E-05	2.E-04	2.E-04
2.9	1	5	1.256637061	0.003635461	1	0.007	0.000049	2.E-07	2.E-07	5.E-07	1.E-06	1.E-05	1.E-05
									$\Sigma =$	4.E-01	4.E-01	5.E-01	6.E-01
										$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

pitch	45	Hs=	1 meter									
	deg		pitch									
	HS	Tp	ω (rad/s)	S(ω)	SM	RAO	RAO ²	Sr(ω)	Sr(ω)*SM	Sr(ω)*SM* ω	ω^2 *Sr(ω)*SM	ω^4 *Sr(ω)*SM
0.1	1	5	1.25663706	0	1	0.041	0.001681	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.2	1	5	1.25663706	0	4	0.162	0.026244	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.3	1	5	1.25663706	2.3892E-165	2	0.359	0.128881	3.E-166	6.E-166	2.E-166	6.E-167	5.E-168
0.4	1	5	1.25663706	1.00254E-51	4	0.615	0.378225	4.E-52	2.E-51	6.E-52	2.E-52	4.E-53
0.5	1	5	1.25663706	5.4585E-21	2	0.894	0.799236	4.E-21	9.E-21	4.E-21	2.E-21	5.E-22
0.6	1	5	1.25663706	3.59289E-10	4	1.143	1.306449	5.E-10	2.E-09	1.E-09	7.E-10	2.E-10
0.7	1	5	1.25663706	1.06656E-05	2	1.291	1.666681	2.E-05	4.E-05	2.E-05	2.E-05	9.E-06
0.8	1	5	1.25663706	0.001178207	4	1.231	1.515361	2.E-03	7.E-03	6.E-03	5.E-03	3.E-03
0.9	1	5	1.25663706	0.011406974	2	0.881	0.776161	9.E-03	2.E-02	2.E-02	1.E-02	1.E-02
1	1	5	1.25663706	0.034510726	4	0.397	0.157609	5.E-03	2.E-02	2.E-02	2.E-02	2.E-02
1.1	1	5	1.25663706	0.057558116	2	0.052	0.002704	2.E-04	3.E-04	3.E-04	4.E-04	5.E-04
1.2	1	5	1.25663706	0.069653057	4	0.147	0.021609	2.E-03	6.E-03	7.E-03	9.E-03	1.E-02
1.3	1	5	1.25663706	0.070468062	2	0.044	0.001936	1.E-04	3.E-04	4.E-04	5.E-04	8.E-04
1.4	1	5	1.25663706	0.064366645	4	0.123	0.015129	1.E-03	4.E-03	5.E-03	8.E-03	1.E-02
1.5	1	5	1.25663706	0.055440695	2	0.293	0.085849	5.E-03	1.E-02	1.E-02	2.E-02	5.E-02
1.6	1	5	1.25663706	0.046187658	4	0.22	0.0484	2.E-03	9.E-03	1.E-02	2.E-02	6.E-02
1.7	1	5	1.25663706	0.037788673	2	0.128	0.016384	6.E-04	1.E-03	2.E-03	4.E-03	1.E-02
1.8	1	5	1.25663706	0.030645753	4	0.126	0.015876	5.E-04	2.E-03	4.E-03	6.E-03	2.E-02
1.9	1	5	1.25663706	0.024776758	2	0.102	0.010404	3.E-04	5.E-04	1.E-03	2.E-03	7.E-03
2	1	5	1.25663706	0.020041538	4	0.125	0.015625	3.E-04	1.E-03	3.E-03	5.E-03	2.E-02
2.1	1	5	1.25663706	0.016254942	1	0.073	0.005329	9.E-05	9.E-05	2.E-04	4.E-04	2.E-03
2.2	1	5	1.25663706	0.013236933	4	0.061	0.003721	5.E-05	2.E-04	4.E-04	1.E-03	5.E-03
2.3	1	5	1.25663706	0.010831164	2	0.028	0.000784	8.E-06	2.E-05	4.E-05	9.E-05	5.E-04
2.4	1	5	1.25663706	0.008909033	4	0.019	0.000361	3.E-06	1.E-05	3.E-05	7.E-05	4.E-04
2.5	1	5	1.25663706	0.007367732	2	0.018	0.000324	2.E-06	5.E-06	1.E-05	3.E-05	2.E-04
2.6	1	5	1.25663706	0.00612631	4	0.006	0.000036	2.E-07	9.E-07	2.E-06	6.E-06	4.E-05
2.7	1	5	1.25663706	0.005121507	2	0.008	0.000064	3.E-07	7.E-07	2.E-06	5.E-06	3.E-05
2.8	1	5	1.25663706	0.004304028	4	0.005	0.000025	1.E-07	4.E-07	1.E-06	3.E-06	3.E-05
2.9	1	5	1.25663706	0.003635461	1	0.029	0.000841	3.E-06	3.E-06	9.E-06	3.E-05	2.E-04
								$\Sigma =$	8.E-02	1.E-01	1.E-01	2.E-01
									$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Heave	90	Hs= 1 meter											
	deg	HS	TP	ω_p (rad/s)	S(ω)	SM	RAO	RAO ²	Sr(ω)	Sr(ω)*SM	Sr(ω)*SM* ω	ω^2 *Sr(ω)*SM	ω^4 *Sr(ω)*SM
0.1	1	5	1.25663706	0	1	0.985	0.970225	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.2	1	5	1.25663706	0	4	0.982	0.964324	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.3	1	5	1.25663706	2.3892E-165	2	0.977	0.954529	2.2806E-165	5.E-165	1.E-165	4.E-166	4.E-167	4.E-167
0.4	1	5	1.25663706	1.00254E-51	4	0.965	0.931225	9.33589E-52	4.E-51	1.E-51	6.E-52	1.E-52	1.E-52
0.5	1	5	1.25663706	5.4585E-21	2	0.948	0.898704	4.90558E-21	1.E-20	5.E-21	2.E-21	6.E-22	6.E-22
0.6	1	5	1.25663706	3.59289E-10	4	0.924	0.853776	3.06752E-10	1.E-09	7.E-10	4.E-10	2.E-10	2.E-10
0.7	1	5	1.25663706	1.06656E-05	2	0.877	0.769129	8.20321E-06	2.E-05	1.E-05	8.E-06	4.E-06	4.E-06
0.8	1	5	1.25663706	0.001178207	4	0.733	0.537289	0.000633038	3.E-03	2.E-03	2.E-03	1.E-03	1.E-03
0.9	1	5	1.25663706	0.011406974	2	0.39	0.1521	0.001735001	3.E-03	3.E-03	3.E-03	2.E-03	2.E-03
1	1	5	1.25663706	0.034510726	4	0.103	0.010609	0.000366124	1.E-03	1.E-03	1.E-03	1.E-03	1.E-03
1.1	1	5	1.25663706	0.057558116	2	0.382	0.145924	0.008399111	2.E-02	2.E-02	2.E-02	2.E-02	2.E-02
1.2	1	5	1.25663706	0.069653057	4	0.965	0.931225	0.064862668	3.E-01	3.E-01	4.E-01	5.E-01	5.E-01
1.3	1	5	1.25663706	0.070468062	2	1.813	3.286969	0.231626336	5.E-01	6.E-01	8.E-01	1.E+00	1.E+00
1.4	1	5	1.25663706	0.064366645	4	0.982	0.964324	0.0620703	2.E-01	3.E-01	5.E-01	1.E+00	1.E+00
1.5	1	5	1.25663706	0.055440695	2	0.357	0.127449	0.007065861	1.E-02	2.E-02	3.E-02	7.E-02	7.E-02
1.6	1	5	1.25663706	0.046187658	4	0.194	0.037636	0.001738319	7.E-03	1.E-02	2.E-02	5.E-02	5.E-02
1.7	1	5	1.25663706	0.037788673	2	0.11	0.0121	0.000457243	9.E-04	2.E-03	3.E-03	8.E-03	8.E-03
1.8	1	5	1.25663706	0.030645753	4	0.046	0.002116	6.48464E-05	3.E-04	5.E-04	8.E-04	3.E-03	3.E-03
1.9	1	5	1.25663706	0.024776758	2	0.073	0.005329	0.000132035	3.E-04	5.E-04	1.E-03	3.E-03	3.E-03
2	1	5	1.25663706	0.020041538	4	0.042	0.001764	3.53533E-05	1.E-04	3.E-04	6.E-04	2.E-03	2.E-03
2.1	1	5	1.25663706	0.016254942	1	0.064	0.004096	6.65802E-05	7.E-05	1.E-04	3.E-04	1.E-03	1.E-03
2.2	1	5	1.25663706	0.013236933	4	0.084	0.007056	9.33998E-05	4.E-04	8.E-04	2.E-03	9.E-03	9.E-03
2.3	1	5	1.25663706	0.010831164	2	0.004	0.000016	1.73299E-07	3.E-07	8.E-07	2.E-06	1.E-05	1.E-05
2.4	1	5	1.25663706	0.008909033	4	0.031	0.000961	8.56158E-06	3.E-05	8.E-05	2.E-04	1.E-03	1.E-03
2.5	1	5	1.25663706	0.007367732	2	0.018	0.000324	2.38715E-06	5.E-06	1.E-05	3.E-05	2.E-04	2.E-04
2.6	1	5	1.25663706	0.00612631	4	0.014	0.000196	1.20076E-06	5.E-06	1.E-05	3.E-05	2.E-04	2.E-04
2.7	1	5	1.25663706	0.005121507	2	0.007	0.000049	2.50954E-07	5.E-07	1.E-06	4.E-06	3.E-05	3.E-05
2.8	1	5	1.25663706	0.004304028	4	0.027	0.000729	3.13764E-06	1.E-05	4.E-05	1.E-04	8.E-04	8.E-04
2.9	1	5	1.25663706	0.003635461	1	0.055	0.003025	1.09973E-05	1.E-05	3.E-05	9.E-05	8.E-04	8.E-04
$\Sigma =$									1.02	1.32	1.73	2.99	
									$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

Roll	90	Hs= 1 meter											
	deg	HS	Tp	ωp (rad/s)	S(ω)	SM	RAO	RAO^2	Sr(ω)	Sr(ω)*SM	Sr(ω)*SM* ω	ω^2 *Sr(ω)*SM	ω^4 *Sr(ω)*SM
0.1	1	5	1.256637061	0	1	0.057	0.003249	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.2	1	5	1.256637061	0	4	0.231	0.053361	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.3	1	5	1.256637061	2.3892E-165	2	0.525	0.275625	6.5853E-166	1.E-165	4.E-166	1.E-166	1.E-167	1.E-167
0.4	1	5	1.256637061	1.00254E-51	4	0.946	0.894916	8.97188E-52	4.E-51	1.E-51	6.E-52	9.E-53	9.E-53
0.5	1	5	1.256637061	5.4585E-21	2	1.514	2.292196	1.2512E-20	3.E-20	1.E-20	6.E-21	2.E-21	2.E-21
0.6	1	5	1.256637061	3.59289E-10	4	2.289	5.239521	1.8825E-09	8.E-09	5.E-09	3.E-09	1.E-09	1.E-09
0.7	1	5	1.256637061	1.06656E-05	2	3.44	11.8336	0.000126212	3.E-04	2.E-04	1.E-04	6.E-05	6.E-05
0.8	1	5	1.256637061	0.001178207	4	5.208	27.123264	0.031956814	1.E-01	1.E-01	8.E-02	5.E-02	5.E-02
0.9	1	5	1.256637061	0.011406974	2	6.232	38.837824	0.443022045	9.E-01	8.E-01	7.E-01	6.E-01	6.E-01
1	1	5	1.256637061	0.034510726	4	4.382	19.201924	0.662672336	3.E+00	3.E+00	3.E+00	3.E+00	3.E+00
1.1	1	5	1.256637061	0.057558116	2	2.471	6.105841	0.351440705	7.E-01	8.E-01	9.E-01	1.E+00	1.E+00
1.2	1	5	1.256637061	0.069653057	4	1.489	2.217121	0.154429255	6.E-01	7.E-01	9.E-01	1.E+00	1.E+00
1.3	1	5	1.256637061	0.070468062	2	0.937	0.877969	0.061868774	1.E-01	2.E-01	2.E-01	4.E-01	4.E-01
1.4	1	5	1.256637061	0.064366645	4	0.629	0.395641	0.025466084	1.E-01	1.E-01	2.E-01	4.E-01	4.E-01
1.5	1	5	1.256637061	0.055440695	2	0.424	0.179776	0.009966906	2.E-02	3.E-02	4.E-02	1.E-01	1.E-01
1.6	1	5	1.256637061	0.046187658	4	0.387	0.149769	0.006917479	3.E-02	4.E-02	7.E-02	2.E-01	2.E-01
1.7	1	5	1.256637061	0.037788673	2	0.336	0.112896	0.00426619	9.E-03	1.E-02	2.E-02	7.E-02	7.E-02
1.8	1	5	1.256637061	0.030645753	4	0.23	0.0529	0.00162116	6.E-03	1.E-02	2.E-02	7.E-02	7.E-02
1.9	1	5	1.256637061	0.024776758	2	0.048	0.002304	5.70857E-05	1.E-04	2.E-04	4.E-04	1.E-03	1.E-03
2	1	5	1.256637061	0.020041538	4	0.034	0.001156	2.3168E-05	9.E-05	2.E-04	4.E-04	1.E-03	1.E-03
2.1	1	5	1.256637061	0.016254942	1	0.018	0.000324	5.2666E-06	5.E-06	1.E-05	2.E-05	1.E-04	1.E-04
2.2	1	5	1.256637061	0.013236933	4	0.072	0.005184	6.86203E-05	3.E-04	6.E-04	1.E-03	6.E-03	6.E-03
2.3	1	5	1.256637061	0.010831164	2	0.165	0.027225	0.000294878	6.E-04	1.E-03	3.E-03	2.E-02	2.E-02
2.4	1	5	1.256637061	0.008909033	4	0.149	0.022201	0.000197789	8.E-04	2.E-03	5.E-03	3.E-02	3.E-02
2.5	1	5	1.256637061	0.007367732	2	0.018	0.000324	2.38715E-06	5.E-06	1.E-05	3.E-05	2.E-04	2.E-04
2.6	1	5	1.256637061	0.00612631	4	0.061	0.003721	2.2796E-05	9.E-05	2.E-04	6.E-04	4.E-03	4.E-03
2.7	1	5	1.256637061	0.005121507	2	0.07	0.0049	2.50954E-05	5.E-05	1.E-04	4.E-04	3.E-03	3.E-03
2.8	1	5	1.256637061	0.004304028	4	0.068	0.004624	1.99018E-05	8.E-05	2.E-04	6.E-04	5.E-03	5.E-03
2.9	1	5	1.256637061	0.003635461	1	0.054	0.002916	1.0601E-05	1.E-05	3.E-05	9.E-05	7.E-04	7.E-04
$\Sigma =$									5.28	5.47	5.77	6.83	
$\Sigma =$									$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

pitch	90 deg	Hs= 1 meter		pitch								
	HS	Tp	ω_p (rad/s)	$S(\omega)$	SM	RAO	RAO ²	$S_r(\omega)$	$S_r(\omega)*SM$	$S_r(\omega)*SM*\omega$	$\omega^2*S_r(\omega)*SM$	$\omega^4*S_r(\omega)*SM$
0.1	1	5	1.25663706	0	1	0.003	0.000009	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.2	1	5	1.25663706	0	4	0.003	0.000009	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.3	1	5	1.25663706	2.3892E-165	2	0.003	0.000009	2.1503E-170	4.E-170	1.E-170	4.E-171	3.E-172
0.4	1	5	1.25663706	1.00254E-51	4	0.004	0.000016	1.60406E-56	6.E-56	3.E-56	1.E-56	2.E-57
0.5	1	5	1.25663706	5.4585E-21	2	0.007	0.000049	2.67467E-25	5.E-25	3.E-25	1.E-25	3.E-26
0.6	1	5	1.25663706	3.59289E-10	4	0.015	0.000225	8.08401E-14	3.E-13	2.E-13	1.E-13	4.E-14
0.7	1	5	1.25663706	1.06656E-05	2	0.035	0.001225	1.30653E-08	3.E-08	2.E-08	1.E-08	6.E-09
0.8	1	5	1.25663706	0.001178207	4	0.064	0.004096	4.82593E-06	2.E-05	2.E-05	1.E-05	8.E-06
0.9	1	5	1.25663706	0.011406974	2	0.09	0.0081	9.23965E-05	2.E-04	2.E-04	1.E-04	1.E-04
1	1	5	1.25663706	0.034510726	4	0.118	0.013924	0.000480527	2.E-03	2.E-03	2.E-03	2.E-03
1.1	1	5	1.25663706	0.057558116	2	0.154	0.023716	0.001365048	3.E-03	3.E-03	3.E-03	4.E-03
1.2	1	5	1.25663706	0.069653057	4	0.337	0.113569	0.007910428	3.E-02	4.E-02	5.E-02	7.E-02
1.3	1	5	1.25663706	0.070468062	2	0.776	0.602176	0.042434176	8.E-02	1.E-01	1.E-01	2.E-01
1.4	1	5	1.25663706	0.064366645	4	0.671	0.450241	0.028980503	1.E-01	2.E-01	2.E-01	4.E-01
1.5	1	5	1.25663706	0.055440695	2	0.289	0.083521	0.004630462	9.E-03	1.E-02	2.E-02	5.E-02
1.6	1	5	1.25663706	0.046187658	4	0.141	0.019881	0.000918257	4.E-03	6.E-03	9.E-03	2.E-02
1.7	1	5	1.25663706	0.037788673	2	0.084	0.007056	0.000266637	5.E-04	9.E-04	2.E-03	4.E-03
1.8	1	5	1.25663706	0.030645753	4	0.074	0.005476	0.000167816	7.E-04	1.E-03	2.E-03	7.E-03
1.9	1	5	1.25663706	0.024776758	2	0.04	0.0016	3.96428E-05	8.E-05	2.E-04	3.E-04	1.E-03
2	1	5	1.25663706	0.020041538	4	0.019	0.000361	7.235E-06	3.E-05	6.E-05	1.E-04	5.E-04
2.1	1	5	1.25663706	0.016254942	1	0.041	0.001681	2.73246E-05	3.E-05	6.E-05	1.E-04	5.E-04
2.2	1	5	1.25663706	0.013236933	4	0.094	0.008836	0.000116962	5.E-04	1.E-03	2.E-03	1.E-02
2.3	1	5	1.25663706	0.010831164	2	0.054	0.002916	3.15837E-05	6.E-05	1.E-04	3.E-04	2.E-03
2.4	1	5	1.25663706	0.008909033	4	0.037	0.001369	1.21965E-05	5.E-05	1.E-04	3.E-04	2.E-03
2.5	1	5	1.25663706	0.007367732	2	0.023	0.000529	3.89753E-06	8.E-06	2.E-05	5.E-05	3.E-04
2.6	1	5	1.25663706	0.00612631	4	0.031	0.000961	5.88738E-06	2.E-05	6.E-05	2.E-04	1.E-03
2.7	1	5	1.25663706	0.005121507	2	0.014	0.000196	1.00382E-06	2.E-06	5.E-06	1.E-05	1.E-04
2.8	1	5	1.25663706	0.004304028	4	0.003	0.000009	3.87362E-08	2.E-07	4.E-07	1.E-06	1.E-05
2.9	1	5	1.25663706	0.003635461	1	0.029	0.000841	3.05742E-06	3.E-06	9.E-06	3.E-05	2.E-04
								$\Sigma =$	0.25	0.34	0.46	0.86
									$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Heave	135	Hs= 1 meter											
	deg	HS	Tp	ωp (rad/s)	$S(\omega)$	SM	RAO	RAO ²	$Sr(\omega)$	$Sr(\omega)*SM$	$Sr(\omega)*SM*\omega$	$\omega^2*Sr(\omega)*SM$	$\omega^4*Sr(\omega)*SM$
0.1	1	5	1.25663706	0	1	0.985	0.970225	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.2	1	5	1.25663706	0	4	0.989	0.978121	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.3	1	5	1.25663706	2.3892E-165	2	1.007	1.014049	2.4228E-165	5.E-165	1.E-165	4.E-166	4.E-167	4.E-167
0.4	1	5	1.25663706	1.00254E-51	4	1.051	1.104601	1.10741E-51	4.E-51	2.E-51	7.E-52	1.E-52	1.E-52
0.5	1	5	1.25663706	5.4585E-21	2	1.115	1.243225	6.78614E-21	1.E-20	7.E-21	3.E-21	8.E-22	8.E-22
0.6	1	5	1.25663706	3.59289E-10	4	1.166	1.359556	4.88474E-10	2.E-09	1.E-09	7.E-10	3.E-10	3.E-10
0.7	1	5	1.25663706	1.06656E-05	2	1.168	1.364224	1.45502E-05	3.E-05	2.E-05	1.E-05	7.E-06	7.E-06
0.8	1	5	1.25663706	0.001178207	4	1.057	1.117249	0.00131635	5.E-03	4.E-03	3.E-03	2.E-03	2.E-03
0.9	1	5	1.25663706	0.011406974	2	0.782	0.611524	0.006975638	1.E-02	1.E-02	1.E-02	9.E-03	9.E-03
1	1	5	1.25663706	0.034510726	4	0.354	0.125316	0.004324746	2.E-02	2.E-02	2.E-02	2.E-02	2.E-02
1.1	1	5	1.25663706	0.057558116	2	0.077	0.005929	0.000341262	7.E-04	8.E-04	8.E-04	1.E-03	1.E-03
1.2	1	5	1.25663706	0.069653057	4	0.093	0.008649	0.000602429	2.E-03	3.E-03	3.E-03	5.E-03	5.E-03
1.3	1	5	1.25663706	0.070468062	2	0.225	0.050625	0.003567446	7.E-03	9.E-03	1.E-02	2.E-02	2.E-02
1.4	1	5	1.25663706	0.064366645	4	0.202	0.040804	0.002626417	1.E-02	1.E-02	2.E-02	4.E-02	4.E-02
1.5	1	5	1.25663706	0.055440695	2	0.116	0.013456	0.00074601	1.E-03	2.E-03	3.E-03	8.E-03	8.E-03
1.6	1	5	1.25663706	0.046187658	4	0.103	0.010609	0.000490005	2.E-03	3.E-03	5.E-03	1.E-02	1.E-02
1.7	1	5	1.25663706	0.037788673	2	0.013	0.000169	6.38629E-06	1.E-05	2.E-05	4.E-05	1.E-04	1.E-04
1.8	1	5	1.25663706	0.030645753	4	0.084	0.007056	0.000216236	9.E-04	2.E-03	3.E-03	9.E-03	9.E-03
1.9	1	5	1.25663706	0.024776758	2	0.176	0.030976	0.000767485	2.E-03	3.E-03	6.E-03	2.E-02	2.E-02
2	1	5	1.25663706	0.020041538	4	0.103	0.010609	0.000212621	9.E-04	2.E-03	3.E-03	1.E-02	1.E-02
2.1	1	5	1.25663706	0.016254942	1	0.118	0.013924	0.000226334	2.E-04	5.E-04	1.E-03	4.E-03	4.E-03
2.2	1	5	1.25663706	0.013236933	4	0.043	0.001849	2.44751E-05	1.E-04	2.E-04	5.E-04	2.E-03	2.E-03
2.3	1	5	1.25663706	0.010831164	2	0.002	0.000004	4.33247E-08	9.E-08	2.E-07	5.E-07	2.E-06	2.E-06
2.4	1	5	1.25663706	0.008909033	4	0.002	0.000004	3.56361E-08	1.E-07	3.E-07	8.E-07	5.E-06	5.E-06
2.5	1	5	1.25663706	0.007367732	2	0.014	0.000196	1.44408E-06	3.E-06	7.E-06	2.E-05	1.E-04	1.E-04
2.6	1	5	1.25663706	0.00612631	4	0.024	0.000576	3.52875E-06	1.E-05	4.E-05	1.E-04	6.E-04	6.E-04
2.7	1	5	1.25663706	0.005121507	2	0.015	0.000225	1.15234E-06	2.E-06	6.E-06	2.E-05	1.E-04	1.E-04
2.8	1	5	1.25663706	0.004304028	4	0.008	0.000064	2.75458E-07	1.E-06	3.E-06	9.E-06	7.E-05	7.E-05
2.9	1	5	1.25663706	0.003635461	1	0.028	0.000784	2.8502E-06	3.E-06	8.E-06	2.E-05	2.E-04	2.E-04
$\Sigma =$									6.E-02	7.E-02	9.E-02	2.E-01	
									$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

Rol l	135 deg	Hs= 1 meter										
	HS	Tp	ωp (rad/s)	$S(\omega)$	SM	RAO	RAO ²	$Sr(\omega)$	$Sr(\omega)*S$ M	$Sr(\omega)*SM*$ ω	$\omega^2*Sr(\omega)*S$ M	$\omega^4*Sr(\omega)*S$ M
0.1	1	5	1.256637061	0	1	0.041	0.001681	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.2	1	5	1.256637061	0	4	0.163	0.026569	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.3	1	5	1.256637061	2.3892E-165	2	0.364	0.132496	3.1656E-166	6.E-166	2.E-166	6.E-167	5.E-168
0.4	1	5	1.256637061	1.00254E-51	4	0.629	0.395641	3.96645E-52	2.E-51	6.E-52	3.E-52	4.E-53
0.5	1	5	1.256637061	5.4585E-21	2	0.914	0.835396	4.56001E-21	9.E-21	5.E-21	2.E-21	6.E-22
0.6	1	5	1.256637061	3.59289E-10	4	1.135	1.288225	4.62845E-10	2.E-09	1.E-09	7.E-10	2.E-10
0.7	1	5	1.256637061	1.06656E-05	2	1.154	1.331716	1.42035E-05	3.E-05	2.E-05	1.E-05	7.E-06
0.8	1	5	1.256637061	0.001178207	4	0.745	0.555025	0.000653934	3.E-03	2.E-03	2.E-03	1.E-03
0.9	1	5	1.256637061	0.011406974	2	0.835	0.697225	0.007953227	2.E-02	1.E-02	1.E-02	1.E-02
1	1	5	1.256637061	0.034510726	4	1.053	1.108809	0.038265803	2.E-01	2.E-01	2.E-01	2.E-01
1.1	1	5	1.256637061	0.057558116	2	0.611	0.373321	0.021487653	4.E-02	5.E-02	5.E-02	6.E-02
1.2	1	5	1.256637061	0.069653057	4	0.241	0.058081	0.004045519	2.E-02	2.E-02	2.E-02	3.E-02
1.3	1	5	1.256637061	0.070468062	2	0.094	0.008836	0.000622656	1.E-03	2.E-03	2.E-03	4.E-03
1.4	1	5	1.256637061	0.064366645	4	0.189	0.035721	0.002299241	9.E-03	1.E-02	2.E-02	4.E-02
1.5	1	5	1.256637061	0.055440695	2	0.221	0.048841	0.002707779	5.E-03	8.E-03	1.E-02	3.E-02
1.6	1	5	1.256637061	0.046187658	4	0.155	0.024025	0.001109658	4.E-03	7.E-03	1.E-02	3.E-02
1.7	1	5	1.256637061	0.037788673	2	0.198	0.039204	0.001481467	3.E-03	5.E-03	9.E-03	2.E-02
1.8	1	5	1.256637061	0.030645753	4	0.066	0.004356	0.000133493	5.E-04	1.E-03	2.E-03	6.E-03
1.9	1	5	1.256637061	0.024776758	2	0.063	0.003969	9.8339E-05	2.E-04	4.E-04	7.E-04	3.E-03
2	1	5	1.256637061	0.020041538	4	0.102	0.010404	0.000208512	8.E-04	2.E-03	3.E-03	1.E-02
2.1	1	5	1.256637061	0.016254942	1	0.084	0.007056	0.000114695	1.E-04	2.E-04	5.E-04	2.E-03
2.2	1	5	1.256637061	0.013236933	4	0.13	0.0169	0.000223704	9.E-04	2.E-03	4.E-03	2.E-02
2.3	1	5	1.256637061	0.010831164	2	0.01	0.0001	1.08312E-06	2.E-06	5.E-06	1.E-05	6.E-05
2.4	1	5	1.256637061	0.008909033	4	0.042	0.001764	1.57155E-05	6.E-05	2.E-04	4.E-04	2.E-03
2.5	1	5	1.256637061	0.007367732	2	0.036	0.001296	9.54858E-06	2.E-05	5.E-05	1.E-04	7.E-04
2.6	1	5	1.256637061	0.00612631	4	0.095	0.009025	5.52899E-05	2.E-04	6.E-04	1.E-03	1.E-02
2.7	1	5	1.256637061	0.005121507	2	0.119	0.014161	7.25257E-05	1.E-04	4.E-04	1.E-03	8.E-03
2.8	1	5	1.256637061	0.004304028	4	0.012	0.000144	6.1978E-07	2.E-06	7.E-06	2.E-05	2.E-04
2.9	1	5	1.256637061	0.003635461	1	0.031	0.000961	3.49368E-06	3.E-06	1.E-05	3.E-05	2.E-04
								$\Sigma =$	3.E-01	3.E-01	3.E-01	4.E-01
									$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

pitch	135 deg	pitch										
	HS	Hs= 1 meter Tp	ωp (rad/s)	$S(\omega)$	SM	RAO	RAO^2	$Sr(\omega)$	$Sr(\omega)*SM$	$Sr(\omega)*SM*\omega$	$\omega^2*Sr(\omega)*SM$	$\omega^4*Sr(\omega)*SM$
0.1	1	5	1.25663706	0	1	0.041	0.001681	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.2	1	5	1.25663706	0	4	0.162	0.026244	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.3	1	5	1.25663706	2.3892E-165	2	0.358	0.128164	3.E-166	6.E-166	2.E-166	6.E-167	5.E-168
0.4	1	5	1.25663706	1.00254E-51	4	0.614	0.376996	4.E-52	2.E-51	6.E-52	2.E-52	4.E-53
0.5	1	5	1.25663706	5.4585E-21	2	0.889	0.790321	4.E-21	9.E-21	4.E-21	2.E-21	5.E-22
0.6	1	5	1.25663706	3.59289E-10	4	1.121	1.256641	5.E-10	2.E-09	1.E-09	7.E-10	2.E-10
0.7	1	5	1.25663706	1.06656E-05	2	1.244	1.547536	2.E-05	3.E-05	2.E-05	2.E-05	8.E-06
0.8	1	5	1.25663706	0.001178207	4	1.197	1.432809	2.E-03	7.E-03	5.E-03	4.E-03	3.E-03
0.9	1	5	1.25663706	0.011406974	2	0.937	0.877969	1.E-02	2.E-02	2.E-02	2.E-02	1.E-02
1	1	5	1.25663706	0.034510726	4	0.528	0.278784	1.E-02	4.E-02	4.E-02	4.E-02	4.E-02
1.1	1	5	1.25663706	0.057558116	2	0.142	0.020164	1.E-03	2.E-03	3.E-03	3.E-03	3.E-03
1.2	1	5	1.25663706	0.069653057	4	0.142	0.020164	1.E-03	6.E-03	7.E-03	8.E-03	1.E-02
1.3	1	5	1.25663706	0.070468062	2	0.319	0.101761	7.E-03	1.E-02	2.E-02	2.E-02	4.E-02
1.4	1	5	1.25663706	0.064366645	4	0.2	0.04	3.E-03	1.E-02	1.E-02	2.E-02	4.E-02
1.5	1	5	1.25663706	0.055440695	2	0.144	0.020736	1.E-03	2.E-03	3.E-03	5.E-03	1.E-02
1.6	1	5	1.25663706	0.046187658	4	0.129	0.016641	8.E-04	3.E-03	5.E-03	8.E-03	2.E-02
1.7	1	5	1.25663706	0.037788673	2	0.027	0.000729	3.E-05	6.E-05	9.E-05	2.E-04	5.E-04
1.8	1	5	1.25663706	0.030645753	4	0.104	0.010816	3.E-04	1.E-03	2.E-03	4.E-03	1.E-02
1.9	1	5	1.25663706	0.024776758	2	0.197	0.038809	1.E-03	2.E-03	4.E-03	7.E-03	3.E-02
2	1	5	1.25663706	0.020041538	4	0.063	0.003969	8.E-05	3.E-04	6.E-04	1.E-03	5.E-03
2.1	1	5	1.25663706	0.016254942	1	0.111	0.012321	2.E-04	2.E-04	4.E-04	9.E-04	4.E-03
2.2	1	5	1.25663706	0.013236933	4	0.059	0.003481	5.E-05	2.E-04	4.E-04	9.E-04	4.E-03
2.3	1	5	1.25663706	0.010831164	2	0.009	0.000081	9.E-07	2.E-06	4.E-06	9.E-06	5.E-05
2.4	1	5	1.25663706	0.008909033	4	0.009	0.000081	7.E-07	3.E-06	7.E-06	2.E-05	1.E-04
2.5	1	5	1.25663706	0.007367732	2	0.013	0.000169	1.E-06	2.E-06	6.E-06	2.E-05	1.E-04
2.6	1	5	1.25663706	0.00612631	4	0.018	0.000324	2.E-06	8.E-06	2.E-05	5.E-05	4.E-04
2.7	1	5	1.25663706	0.005121507	2	0.015	0.000225	1.E-06	2.E-06	6.E-06	2.E-05	1.E-04
2.8	1	5	1.25663706	0.004304028	4	0.004	0.000016	7.E-08	3.E-07	8.E-07	2.E-06	2.E-05
2.9	1	5	1.25663706	0.003635461	1	0.031	0.000961	3.E-06	3.E-06	1.E-05	3.E-05	2.E-04
								$\Sigma =$	1.E-01	1.E-01	1.E-01	2.E-01
									$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Heave	180 deg	Hs= 1 meter										
	HS	TP	ω_p (rad/s)	S(ω)	SM	RAO	RAO^2	Sr(ω)	Sr(ω)*SM	Sr(ω)*SM* ω	ω^2 *Sr(ω)*SM	ω^4 *Sr(ω)*SM
0.1	1	5	1.25663706	0	1	0.985	0.970225	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.2	1	5	1.25663706	0	4	0.995	0.990025	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.3	1	5	1.25663706	2.3892E-165	2	1.035	1.071225	2.5594E-165	5.E-165	2.E-165	5.E-166	4.E-167
0.4	1	5	1.25663706	1.00254E-51	4	1.121	1.256641	1.25983E-51	5.E-51	2.E-51	8.E-52	1.E-52
0.5	1	5	1.25663706	5.4585E-21	2	1.221	1.490841	8.13776E-21	2.E-20	8.E-21	4.E-21	1.E-21
0.6	1	5	1.25663706	3.59289E-10	4	1.26	1.5876	5.70408E-10	2.E-09	1.E-09	8.E-10	3.E-10
0.7	1	5	1.25663706	1.06656E-05	2	1.152	1.327104	1.41543E-05	3.E-05	2.E-05	1.E-05	7.E-06
0.8	1	5	1.25663706	0.001178207	4	0.836	0.698896	0.000823444	3.E-03	3.E-03	2.E-03	1.E-03
0.9	1	5	1.25663706	0.011406974	2	0.479	0.229441	0.002617228	5.E-03	5.E-03	4.E-03	3.E-03
1	1	5	1.25663706	0.034510726	4	0.27	0.0729	0.002515832	1.E-02	1.E-02	1.E-02	1.E-02
1.1	1	5	1.25663706	0.057558116	2	0.305	0.093025	0.005354344	1.E-02	1.E-02	1.E-02	2.E-02
1.2	1	5	1.25663706	0.069653057	4	0.432	0.186624	0.012998932	5.E-02	6.E-02	7.E-02	1.E-01
1.3	1	5	1.25663706	0.070468062	2	0.179	0.032041	0.002257867	5.E-03	6.E-03	8.E-03	1.E-02
1.4	1	5	1.25663706	0.064366645	4	0.295	0.087025	0.005601507	2.E-02	3.E-02	4.E-02	9.E-02
1.5	1	5	1.25663706	0.055440695	2	0.065	0.004225	0.000234237	5.E-04	7.E-04	1.E-03	2.E-03
1.6	1	5	1.25663706	0.046187658	4	0.045	0.002025	9.353E-05	4.E-04	6.E-04	1.E-03	2.E-03
1.7	1	5	1.25663706	0.037788673	2	0.033	0.001089	4.11519E-05	8.E-05	1.E-04	2.E-04	7.E-04
1.8	1	5	1.25663706	0.030645753	4	0.022	0.000484	1.48325E-05	6.E-05	1.E-04	2.E-04	6.E-04
1.9	1	5	1.25663706	0.024776758	2	0.064	0.004096	0.000101486	2.E-04	4.E-04	7.E-04	3.E-03
2	1	5	1.25663706	0.020041538	4	0.028	0.000784	1.57126E-05	6.E-05	1.E-04	3.E-04	1.E-03
2.1	1	5	1.25663706	0.016254942	1	0.057	0.003249	5.28123E-05	5.E-05	1.E-04	2.E-04	1.E-03
2.2	1	5	1.25663706	0.013236933	4	0.03	0.0009	1.19132E-05	5.E-05	1.E-04	2.E-04	1.E-03
2.3	1	5	1.25663706	0.010831164	2	0.006	0.000036	3.89922E-07	8.E-07	2.E-06	4.E-06	2.E-05
2.4	1	5	1.25663706	0.008909033	4	0.012	0.000144	1.2829E-06	5.E-06	1.E-05	3.E-05	2.E-04
2.5	1	5	1.25663706	0.007367732	2	0.005	0.000025	1.84193E-07	4.E-07	9.E-07	2.E-06	1.E-05
2.6	1	5	1.25663706	0.00612631	4	0.008	0.000064	3.92084E-07	2.E-06	4.E-06	1.E-05	7.E-05
2.7	1	5	1.25663706	0.005121507	2	0.007	0.000049	2.50954E-07	5.E-07	1.E-06	4.E-06	3.E-05
2.8	1	5	1.25663706	0.004304028	4	0.007	0.000049	2.10897E-07	8.E-07	2.E-06	7.E-06	5.E-05
2.9	1	5	1.25663706	0.003635461	1	0.015	0.000225	8.17979E-07	8.E-07	2.E-06	7.E-06	6.E-05
								$\Sigma =$	1.E-01	1.E-01	2.E-01	2.E-01
									$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

Roll	180 deg	Hs= 1 meter										
	HS	TP	ω_p (rad/s)	S(ω)	SM	RAO	RAO ²	Sr(ω)	Sr(ω)*SM	Sr(ω)*SM* ω	ω^2 *Sr(ω)*SM	ω^4 *Sr(ω)*SM
0.1	1	5	1.256637061	0	1	0	0	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.2	1	5	1.256637061	0	4	0	0	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.3	1	5	1.256637061	2.3892E-165	2	0	0	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.4	1	5	1.256637061	1.00254E-51	4	0	0	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.5	1	5	1.256637061	5.4585E-21	2	0	0	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.6	1	5	1.256637061	3.59289E-10	4	0.001	0.000001	3.59289E-16	1.E-15	9.E-16	5.E-16	2.E-16
0.7	1	5	1.256637061	1.06656E-05	2	0.001	0.000001	1.06656E-11	2.E-11	1.E-11	1.E-11	5.E-12
0.8	1	5	1.256637061	0.001178207	4	0	0	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.9	1	5	1.256637061	0.011406974	2	0.005	0.000025	2.85174E-07	6.E-07	5.E-07	5.E-07	4.E-07
1	1	5	1.256637061	0.034510726	4	0.004	0.000016	5.52172E-07	2.E-06	2.E-06	2.E-06	2.E-06
1.1	1	5	1.256637061	0.057558116	2	0.003	0.000009	5.18023E-07	1.E-06	1.E-06	1.E-06	2.E-06
1.2	1	5	1.256637061	0.069653057	4	0.002	0.000004	2.78612E-07	1.E-06	1.E-06	2.E-06	2.E-06
1.3	1	5	1.256637061	0.070468062	2	0.002	0.000004	2.81872E-07	6.E-07	7.E-07	1.E-06	2.E-06
1.4	1	5	1.256637061	0.064366645	4	0	0	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
1.5	1	5	1.256637061	0.055440695	2	0.001	0.000001	5.54407E-08	1.E-07	2.E-07	2.E-07	6.E-07
1.6	1	5	1.256637061	0.046187658	4	0.001	0.000001	4.61877E-08	2.E-07	3.E-07	5.E-07	1.E-06
1.7	1	5	1.256637061	0.037788673	2	0.002	0.000004	1.51155E-07	3.E-07	5.E-07	9.E-07	3.E-06
1.8	1	5	1.256637061	0.030645753	4	0.004	0.000016	4.90332E-07	2.E-06	4.E-06	6.E-06	2.E-05
1.9	1	5	1.256637061	0.024776758	2	0.002	0.000004	9.9107E-08	2.E-07	4.E-07	7.E-07	3.E-06
2	1	5	1.256637061	0.020041538	4	0.001	0.000001	2.00415E-08	8.E-08	2.E-07	3.E-07	1.E-06
2.1	1	5	1.256637061	0.016254942	1	0.001	0.000001	1.62549E-08	2.E-08	3.E-08	7.E-08	3.E-07
2.2	1	5	1.256637061	0.013236933	4	0.004	0.000016	2.11791E-07	8.E-07	2.E-06	4.E-06	2.E-05
2.3	1	5	1.256637061	0.010831164	2	0.001	0.000001	1.08312E-08	2.E-08	5.E-08	1.E-07	6.E-07
2.4	1	5	1.256637061	0.008909033	4	0.019	0.000361	3.21616E-06	1.E-05	3.E-05	7.E-05	4.E-04
2.5	1	5	1.256637061	0.007367732	2	0.008	0.000064	4.71535E-07	9.E-07	2.E-06	6.E-06	4.E-05
2.6	1	5	1.256637061	0.00612631	4	0.016	0.000256	1.56834E-06	6.E-06	2.E-05	4.E-05	3.E-04
2.7	1	5	1.256637061	0.005121507	2	0.011	0.000121	6.19702E-07	1.E-06	3.E-06	9.E-06	7.E-05
2.8	1	5	1.256637061	0.004304028	4	0.002	0.000004	1.72161E-08	7.E-08	2.E-07	5.E-07	4.E-06
2.9	1	5	1.256637061	0.003635461	1	0.003	0.000009	3.27191E-08	3.E-08	9.E-08	3.E-07	2.E-06
$\Sigma =$									3.E-05	7.E-05	2.E-04	9.E-04
									$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

pitch	180 deg	Hs= 1 meter		pitch								
	HS	TP	ω_p (rad/s)	S(ω)	SM	RAO	RAO ²	Sr(ω)	Sr(ω)*SM	Sr(ω)*SM* ω	ω^2 *Sr(ω)*SM	ω^4 *Sr(ω)*SM
0.1	1	5	1.25663706	0	1	0.057	0.003249	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.2	1	5	1.25663706	0	4	0.228	0.051984	0	0.E+00	0.E+00	0.E+00	0.E+00
0.3	1	5	1.25663706	2.3892E-165	2	0.503	0.253009	6.045E-166	1.E-165	4.E-166	1.E-166	1.E-167
0.4	1	5	1.25663706	1.00254E-51	4	0.846	0.715716	7.17533E-52	3.E-51	1.E-51	5.E-52	7.E-53
0.5	1	5	1.25663706	5.4585E-21	2	1.176	1.382976	7.54897E-21	2.E-20	8.E-21	4.E-21	9.E-22
0.6	1	5	1.25663706	3.59289E-10	4	1.36	1.8496	6.64541E-10	3.E-09	2.E-09	1.E-09	3.E-10
0.7	1	5	1.25663706	1.06656E-05	2	1.262	1.592644	1.69865E-05	3.E-05	2.E-05	2.E-05	8.E-06
0.8	1	5	1.25663706	0.001178207	4	0.866	0.749956	0.000883603	4.E-03	3.E-03	2.E-03	1.E-03
0.9	1	5	1.25663706	0.011406974	2	0.469	0.219961	0.002509089	5.E-03	5.E-03	4.E-03	3.E-03
1	1	5	1.25663706	0.034510726	4	0.272	0.073984	0.002553242	1.E-02	1.E-02	1.E-02	1.E-02
1.1	1	5	1.25663706	0.057558116	2	0.216	0.046656	0.002685431	5.E-03	6.E-03	6.E-03	8.E-03
1.2	1	5	1.25663706	0.069653057	4	0.459	0.210681	0.014674576	6.E-02	7.E-02	8.E-02	1.E-01
1.3	1	5	1.25663706	0.070468062	2	0.025	0.000625	4.40425E-05	9.E-05	1.E-04	1.E-04	3.E-04
1.4	1	5	1.25663706	0.064366645	4	0.37	0.1369	0.008811794	4.E-02	5.E-02	7.E-02	1.E-01
1.5	1	5	1.25663706	0.055440695	2	0.113	0.012769	0.000707922	1.E-03	2.E-03	3.E-03	7.E-03
1.6	1	5	1.25663706	0.046187658	4	0.068	0.004624	0.000213572	9.E-04	1.E-03	2.E-03	6.E-03
1.7	1	5	1.25663706	0.037788673	2	0.048	0.002304	8.70651E-05	2.E-04	3.E-04	5.E-04	1.E-03
1.8	1	5	1.25663706	0.030645753	4	0.025	0.000625	1.91536E-05	8.E-05	1.E-04	2.E-04	8.E-04
1.9	1	5	1.25663706	0.024776758	2	0.076	0.005776	0.000143111	3.E-04	5.E-04	1.E-03	4.E-03
2	1	5	1.25663706	0.020041538	4	0.023	0.000529	1.0602E-05	4.E-05	8.E-05	2.E-04	7.E-04
2.1	1	5	1.25663706	0.016254942	1	0.048	0.002304	3.74514E-05	4.E-05	8.E-05	2.E-04	7.E-04
2.2	1	5	1.25663706	0.013236933	4	0.02	0.0004	5.29477E-06	2.E-05	5.E-05	1.E-04	5.E-04
2.3	1	5	1.25663706	0.010831164	2	0.015	0.000225	2.43701E-06	5.E-06	1.E-05	3.E-05	1.E-04
2.4	1	5	1.25663706	0.008909033	4	0.018	0.000324	2.88653E-06	1.E-05	3.E-05	7.E-05	4.E-04
2.5	1	5	1.25663706	0.007367732	2	0.003	0.000009	6.63096E-08	1.E-07	3.E-07	8.E-07	5.E-06
2.6	1	5	1.25663706	0.00612631	4	0.006	0.000036	2.20547E-07	9.E-07	2.E-06	6.E-06	4.E-05
2.7	1	5	1.25663706	0.005121507	2	0.007	0.000049	2.50954E-07	5.E-07	1.E-06	4.E-06	3.E-05
2.8	1	5	1.25663706	0.004304028	4	0.015	0.000225	9.68406E-07	4.E-06	1.E-05	3.E-05	2.E-04
2.9	1	5	1.25663706	0.003635461	1	0.022	0.000484	1.75956E-06	2.E-06	5.E-06	1.E-05	1.E-04
								$\Sigma =$	1.E-01	1.E-01	2.E-01	3.E-01
									$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

BIODATA PENULIS



Yunan Setiawan Suwandono adalah putra kedua dari Tjatur Suwandono dan Titik Sudjiati yang lahir di Surabaya pada 30 Juni 1998. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Muhammadiyah 4 Pucang Surabaya, SMP 17 Agustus 1945 Surabaya dan SMAN 16 Surabaya. Setelah lulus SMA pada tahun 2016, penulis diterima di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan akademik dan organisasi.

Pada tahun 2017 menjadi Staff dari departemen dagri periode 2017/2018 . Pada tahun 2018 di percayai menjadi Ketua Tim Kaderisasi periode 2018/ 2019. Penulis juga aktif dalam beberapa kepanitian kampus. Pada tahun 2019, penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di PT. DOK PERKAPALAN SURABAYA Indonesia selama dua bulan. Di tahun akhir penulis menjadi pengurus Laboratorium FTK ITS sekaligus mengerjakan Tugas Akhir dengan tema Analisa Percepatan Gerak Vertikal pada Helideck di suatu FLOATING CRANE CATAMARAN.

. Email : yunanss@gmail.com