TUGAS AKHIR – MN091382

KAJIAN EKSPERIMENTAL DAN NUMERIS OLAH GERAK (SEAKEEPING) KAPAL CREW BOAT ORELA DENGAN DAN TANPA FOIL BELAKANG

BONAVENTURA DANIS PRASETYO

NRP. 4112 1000 64

Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

FINAL PROJECT – MN091382

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF ORELA CREWBOAT SEAKEEPING WITH AND WITHOUT STERN FOIL (HULL VANE)

BONAVENTURA DANIS PRASETYO

NRP. 4112 1000 64

Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.

DEPARTEMENET OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

LEMBAR PENGESAHAN

KAJIAN EKSPERIMENTAL DAN NUMERIS OLAH GERAK (*SEAKEEPING*) KAPAL *CREW BOAT* ORELA DENGAN DAN TANPA *FOIL* BELAKANG

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang keahlian Rekayasa Perkapalan-Hidrodinamika
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BONAVENTURA DANIS PRASETYO
N.R.P. 4112 100 064

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.
NIP. 19691231 200604 1 178

SURABAYA, 1 JULI 2016

LEMBAR REVISI

KAJIAN EKSPERIMENTAL DAN NUMERIS OLAH GERAK (SEAKEEPING) KAPAL *CREW BOAT* ORELA DENGAN DAN TANPA *FOIL* BELAKANG

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai hasil sidang Ujian Tugas Akhir
Tanggal 21 juni 2016

Bidang keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BONAVENTURA DANIS PRASETYO

N.R.P. 4112 100 064

Disetujui oleh Dosen pembimbing Tugas Akhir:

Dr.Ir.I.Ketut Suastika, M.Sc. .....

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Dony Setyawan, S.T., M.Eng. .....

2. Aris Sulisetyono,S.T., M.A.Sc., Ph.D. .....

3. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T. .....

SURABAYA, 1 JULI 2016

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapakan kepada Tuhan, atas segala limpahan Rahmat , Rejeki dan Karunia-Mu Tugas Akhir ini dapat saya selesaikan.

Terimakasih sebesar-besarnya saya ucapkan kepada:

1. Bapak dan Ibu yang senantiasa memberikan dukungan,doa, dan nasehat yang selalu menjadi pedoman serta semangat dalam perjalanan hidup peneliti;
2. Bapak Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc. selaku dosen pembimbing dan Bapak Soegeng Riyadi, ST. selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu dan kesabarannya untuk membimbing penulis serta memberikan arahan selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan MSc PhD. selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS, serta segenap dosen & karyawan Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS.
4. Bapak Condro dan mas Rudy di Laboraturium Hidrodinamika ITS atas kesediannya memberikan arahan serta bimbingan selama eksperimen kapal yang sangat membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini.
5. Teman-teman seperjuangan Hidrodinamika (mas Anca, mas Sutyo, mas Adi,Affan, Zaka, Fajar, Sugiyarto,Julhari dan Rian), terimakasih telah ada untuk berjuang bersama dalam menyelesaikan Tugas Akhir maupun Thesis.
6. Untuk saudara seperjuangan Forcastle (P-52) kalian menjadi semangat yang luar biasa dalam perkuliahan ini. Terimaksih buat kalian semua, semoga kalian berhasil menaklukkan segala rintangan kehidupan dan kita semua menjadi orang yang sukses.
7. Segenap rekan-rekan mahasiswa ITS pada umumnya, dan mahasiswa Teknik Perkapalan FTK-ITS pada khususnya, yang telah belajar, berkarya dan berjuang bersama penulis.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki beberapa kekurangan. Untuk itu, penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan tugas akhir ini. Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi perkembangan dunia perkapalan Indonesia.

Surabaya, Juni 2016

Penulis

KAJIAN EKSPERIMENTAL DAN NUMERIS OLAH GERAK (SEAKEEPING) KAPAL CREW BOAT ORELA DENGAN DAN TANPA FOIL BELAKANG

Nama Mahasiswa	:	Bonaventura Danis Prasetyo
NRP	:	4112 100 064
Jurusan / Fakultas	:	Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing	:	Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.

ABSTRAK

Perilaku olah gerak kapal di laut *(seakeeping)* dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya kecepatan, bentuk badan kapal, dan arah datang kapal terhadap datangnya gelombang. Oleh karena itu penambahan *foil* belakang diharapkan mampu memperbaiki olah gerak (*seakeeping)* dari kapal *Crew Boat* Orela, agar kenyamanan penumpang menjadi lebih baik. Dalam tugas akhir ini, kapal *Crew boat* Orela dengan dan tanpa *foil* belakang dianalisa menggunakan metode *3D Diffraction* dan uji eksperimental untuk mendapatkan respons gerakan kapal di gelombang reguler. Beberpa kondisi pada penelitian ini ditentukan seperti sudut datangnya gelombang (μ) terhadap kapal yakni pada sudut 180 ^{o}, tipe NACA yang digunakan untuk *foil* belakang adalah NACA 64A212, dan juga analisa dilakukan pada kondisi kecepatan 0 dan 22 knots. Setelah analisa numeris dan uji eksperimental dilakukan, dapat diketahui pengaruh penambahan *foil* belakang kapal terhadap perubahan gerakan kapal *Crewboat* Orela. Penelitian ini memfokuskan pada analisa perilaku gerak kapal *Crewboat* Orela dengan dan tanpa *foil* belakang dalam kondisi gelombang reguler maupun gelombang acak. Berdasarkan hasil pemodelan di gelombang reguler, apabila ditinjau dari gerakan *heave* dan *pitch*, kapal *Crewboat* Orela dengan menggunakan *foil* belakang lebih baik dibandingkan tanpa menggunakan *foil* belakang, hal tersebut didukung berdasarkan penambahan *foil* belakang terhadap hasil analisis spektra respons di gelombang acak pada *sea state* 4 yakni tinggi gelombang signifikan (*Hs*) = 2 m, dapat mengurangi hasil rms *heave* sebesar 6.3% dan juga mengurangi rms *pitch* sebesar 9.7%.

Kata Kunci : Crew Boat, Eksperimental , *foil* belakang, NACA, 3D Diffraction

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF ORELA CREWBOAT SEAKEEPING WITH AND WITHOUT STERN FOIL (HULL VANE)

Author	:	Bonaventura Danis Prasetyo
ID Number	:	4112 100 064
Dept/Faculty	:	Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Supervisor	:	Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.

ABSTRACT

Seakeeping of ships is affected by some factors such as velocity, the shape of ship's body, and direction of ship against waves. Therefore addition of stern foil is expected to make seakeeping of Orela Crewboat better so that the passenger's comfort will also be better. In this thesis, Orela Crew boat was analyzed using 3D Diffraction method & experimental tests in two different conditions, the first was using stern foil and the second didn't, in order to get ship motions in regular wave. The analysis on this thesis were using some conditions, such heading angle (μ) to ship is 180°, the type of stern foil used was NACA 64A212, ship's idle condition, and also ship condition with velocity (speed) of 22 knots. From the numerical analysis and experimental tests, there were some effects on ship's motions from the addition of stern foil. This research was focused on Orela Crewboat's motions with and without stern foil on regular wave and random wave. Based on results from regular wave modeling, Orela Crewboat using stern foil was better at heave motions and pitch than not using stern foil. This also supported on spectra response analysis result in random wave at sea state 4, which was wave height signifikan (Hs) equal to 2 m that reduced rms heave at 6.3 % and rms pitch at 9.7 %.

Keyword : Crew Boat, Eksperimental , NACA, Stern foil, 3D Diffraction

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN iii
LEMBAR REVISI iv
KATA PENGANTAR v
ABSTRAK vi
ABSTRACT vii
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Pendahuluan 1
1.2 Latar Belakang Masalah 1
1.3 Perumusan Masalah 2
1.4 Batasan Masalah 2
1.5 Tujuan 2
1.6 Manfaat 2
1.7 Hipotesis 3
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI 5
2.1 Pendahuluan 5
2.2 Gaya Dorong 5
2.3 Teori *Seakeeping* 6
2.4 Arah Gelombang 9
2.5 Frekuensi Gelombang Papasan 10
2.6 Periode Natural 12
2.7 *Response Amplitude Operator* (RAO) 13
2.8 Respon Struktur pada Gelombang Acak 14
2.9 Spektrum Gelombang 16
2.10 Software Ansys Aqwa 16
2.9.1. 3D Diffraction Theory 17
BAB III METODOLOGI 19
3.1 Pendahuluan 19
3.2 Diagram Alir 19
3.3 Tahap – Tahap Pengerjaan Tugas Akhir 20
3.3.1 Studi Literatur 20
3.3.2 Data Kapal 20
3.3.3 Pembuatan Model Lambung Kapal 22

3.3.4 Memodifikasi Lambung Badan Kapal dengan penambahan Foil Belakang 22
3.3.5 Menghitung Karakteristik Gerakan kapal *crew boat* Orela dengan menggunakan Metode Numeris (analisa Hidrodinamis) 22
3.3.6 Perbandingan Karakteristik repons gerakan Kapal dengan dan tanpa menggukan Foil Belakang 23
3.4 Spesifikasi Komputer untuk Perhitungan Numerik 23
3.5 Analisa Respons 23
3.5.1 Respons Bangunan laut Di Gelombang Reguler 24
3.5.2 Respons Bangunan Laut Di gelombang Acak 24
BAB IV PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI EKSPERIMEN 27
4.1 Pendahuluan 27
4.2 Pembuatan Model Lambung Kapal *Crew boat* Orela dengan menggunakan *sofware* Maxsurf. 27
4.2.1. Permodelan Kapal *Crew boat* Orela tanpa *foil* belakang 27
4.2.2. Modifikasi Penambahan Foil Belakang pada kapal *Crew Boat* Orela 29
4.3 Permodelan Kapal *Crew boat* Orela pada Ansys Aqwa 30
4.4 Simulasi Eksperimen 40
4.4.1 Prosedur Percobaan 41
4.4.2 Pemasangan model Kapal 41
4.4.3 Kalibrasi Alat 42
4.4.4 Pelaksanaan seakeeping model kapal 43
4.4.5 Hasil Pengujian Seakeeping dengan dan tanpa menggunakan *foil* belakang 44
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 45
5.1 Pendahuluan 45
5.2 Validasi Balok 45
5.3 Hasil Simulasi Eksperimen 49
5.4 Validasi dengan Hasil Eksperimen 54
5.5 Perhitungan *Transfer Function* (RAO) 60
5.5.1 Hasil Running Kapal *Crew boat* Orela untuk sudut hadap 180 ° pada kondisi *zero speed* 61
5.5.1 Hasil Running Kapal *Crew boat* Orela untuk sudut hadap 180 ° pada Fn = 0.5718 63
5.6 Respons Kapal *Crewboat* Orela di Gelombang acak 65
5.6.1 Spektrum Gelombang 65
5.6.2 Spektra Respons *Heave* dan *Pitch* Kapal *Crew boat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang 66
5.6.3 Spektra Respons *Heave* dan *Pitch* Kapal *Crew boat* Orela Dengan menggunakan *foil* belakang 68

5.6.4 Perbandingan Kenaikan *Heave* dan *Pitch* signifikan sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang signifikan untuk kapal *Crewboat* Orela dengan dan tanpa *Foil* belakang pada Fn = 0.5718 70
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 73
6.1 Kesimpulan 73
6.2 Saran 73
DAFTAR PUSTAKA 75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Sketsa skematik *foil* belakang (*hull vane*) yang terletak di bagian belakang kapal (Oossanen, 2014) 5
Gambar 2. 2 Enam derajat kebebasan pada struktur bangunan apung (Coursewere, 2011) 7
Gambar 2. 3 Konversi arah gelombang terhadap 10
Gambar 2. 4 Bangunan laut melaju di atas gelombang dengan arah μ (Djatmiko, 2012) 11
Gambar 2. 5 Grafik Respons Gerakan Bangunan Apung (journee et all, 2011) 14
Gambar 2. 6 Lambung Kapal dibagi dalam panel-panel 18
Gambar 3. 1 Gambar Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir 20
Gambar 3. 2 Lines Plan Kapal *Crewboat* Orela 21
Gambar 3. 3 Transformasi Spektra Gelombang menjadi Spektra Respons 25
Gambar 4. 1 Model Kapal Crew boat Orela Tanpa Foil belakang pada Maxsurf Pro 28
Gambar 4. 2 Model Kapal Crewboat Orela dengan Foil belakang pada Maxsurf Pro 30
Gambar 4. 3 Import Geometri dengan Ceklist hijau yang menandakan Import berhasil 31
Gambar 4. 4 Geometri Kapal Crewboat Crewboat Orela 32
Gambar 4. 5 Penentuan Point mass dan Point Bouyancy Kapal Crewboat Orela 33
Gambar 4. 6 Ganerate mesh Kapal Crewboat Orela 33
Gambar 4. 7 Grafik Grid Independence Kapal Crewboat Orela Tanpa Foil Belakang 34
Gambar 4. 8 Frekuensi Gelombang Kapal Crew boat Orela tanpa menggunakan foil belakang . 35
Gambar 4. 9 Frekuensi Gelombang Kapal Crew boat Orela tanpa menggunakan foil belakang . 36
Gambar 4. 10 Import Geometri dengan ceklist hijau yang menandakan import berhasil 37
Gambar 4. 11 Ganerate mesh Kapal Crewboat Orela dengan foil belakang 38
Gambar 4. 12 Grid Independence kapal *Crewboat* Orela dengan menggunakan *Foil* 39
Gambar 4. 13 Hasil kalibrasi pada sensor bagian depan kapal. 42
Gambar 4. 14 Hasil kalibrasi pada sensor bagian belakang kapal. 42
Gambar 4. 15 Pengujian Seakeeping pada amplitudo model 1.2 cm dan Periode 1.1 detik dengan menggunakan Foil belakang 43
Gambar 4. 16 Pengujian Seakeeping pada amplitudo model 1.2 cm dan Periode 1,1 detik tanpa menggunakan Foil belakang 43
Gambar 5. 1 Meshing Model Balok pada Ansys Aqwa 46
Gambar 5. 2 Perbandingan RAO Wamit dengan Ansys Aqwa untuk gerakan Surge 47
Gambar 5. 3 Perbandingan RAO Wamit dengan Ansys Aqwa untuk gerakan Heave 47

Gambar 5. 4 Perbandingan RAO Wamit dengan Ansys Aqwa untuk gerakan Sway 47
Gambar 5. 5 Perbandingan RAO Wamit dengan Ansys Aqwa untuk gerakan Roll 48
Gambar 5. 6 Perbandingan RAO Wamit dengan Ansys Aqwa untuk gerakan Pitch 48
Gambar 5. 7 Perbandingan RAO Wamit dengan Ansys Aqwa untuk gerakan Yaw 48
Gambar 5. 8 Perbandingan RAO *Heave* pada kondisi Zero Speed 50
Gambar 5. 9 Perbandingan RAO *Pitch* pada kondisi Zero Speed 51
Gambar 5. 10 Perbandingan RAO *Heave* pada Fn = 0.571 52
Gambar 5. 11 Perbandingan RAO *Pitch* pada Fn = 0.571 53
Gambar 5. 12 Perbandingan hasil RAO Aqwa dengan Eksperimen pada kondisi *zero speed* untuk gerakan *Heave* 54
Gambar 5. 13 Perbandingan hasil RAO Aqwa dengan Eksperimen pada kondisi *zero speed* untuk gerakan *Pitch* 55
Gambar 5. 14 Perbandingan hasil RAO Aqwa dengan Eksperimen pada kondisi Fn = 0.571 untuk gerakan *Heave* 56
Gambar 5. 15 Perbandingan hasil RAO Aqwa dengan Eksperimen pada kondisi Fn = 0.571 untuk gerakan *Pitch* 57
Gambar 5. 16 Perbandingan hasil RAO Aqwa dengan Eksperimen pada kondisi *zero speed* untuk gerakan *Heave* 58
Gambar 5. 17 Perbandingan hasil RAO Aqwa dengan Eksperimen pada kondisi *zero speed* untuk gerakan Pitch 58
Gambar 5. 18 Perbandingan hasil RAO Aqwa dengan Eksperimen pada kondisi Fn = 0.571 untuk gerakan *Heave* 59
Gambar 5. 19 Perbandingan hasil RAO Aqwa dengan Eksperimen pada kondisi Fn = 0.571 untuk gerakan *Pitch* 60
Gambar 5. 20 Perbandingan Hasil RAO *Heave* Aqwa dan Ekperimen pada kondisi *zero speed* . 61
Gambar 5. 21 Perbandingan Hasil RAO *Pitch* Aqwa dan Eksperimen pada kondisi *zero speed* . 62
Gambar 5. 22 Perbandingan RAO *Heave* Aqwa dan Eksperimen pada Fn = 0.5718 63
Gambar 5. 23 Perbandingan RAO *Pitch* Aqwa dan Eksperimen pada Fn = 0.5718 64
Gambar 5. 24 Pengaruh Perubahan Tinggi Gelombang Signifikan Terhadap Pola Spektra Gelombang ITTC 66
Gambar 5. 25 Spektra Respons *Heave* Kapal *Crew boat* Orela Tanpa Menggunakan *Foil* Belakang pada Fn = 0.5718 67
Gambar 5. 26 Spektra Respons *Pitch* Kapal Crewboat Orela Tanpa Menggunakan *Foil* Belakang pada Fn = 0.5718 68

Gambar 5. 27 Spektra Respons *Heave* Kapal Crewboat Orela Dengan Menggunakan *Foil* Belakang pada Fn = 0.5718 69
Gambar 5. 28 Spektra Respons Pitch Kapal Crewboat Orela Tanpa Menggunakan Foil Belakang pada Fn = 0.5718 69
Gambar 5. 29 RMS *Heave* sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang signifikan pada Fn = 0.5718 70
Gambar 5. 30 RMS *Pitch* sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang signifikan pada Fn = 0.5718 71

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Hydrostatics of Crewboat Orela 21
Tabel 4. 1.Validasi Hidrostatik Crewboat Orela pada maxsurf 29
Tabel 4. 2. Total Elemen & Jumlah Node berdasarkan Mesh Size 35
Tabel 4. 3. Tabel Energi dari masing-masing Grid 35
Tabel 4. 4 Jumlah elemen untuk masing-masing mesh size 39
Tabel 4. 5 Energi untuk masing-masing Grid 39
Tabel 4. 6. Data Partikular kapal pada sarat : 1.7 m 40
Tabel 4. 7.Variasi Pengujian Seakeeping pada Laboratorium Hidrodinamika 41

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Pendahuluan

Bab Pendahuluan menjelaskan secara garis besar mengenai gambaran umum penelitian yang dikerjakan terkait pengaruh dengan dan tanpa *foil* belakang (*hull vane*) terhadap *seakeeping* kapal *crew boat* Orela. termasuk alasan yang melatar belakangi dipilihnya tema, tujuan, manfaat, hipotesis dan batasan masalah yang diambil. Paparan pada Bab ini akan menjadi dasar untuk merumuskan dasar teori yang digunakan pada Bab II dan metodologi pada Bab III.

1.2 Latar Belakang Masalah

Salah satu aplikasi hidrodinamika yang berpangkal dari interaksi antara fluida dan benda padat adalah masalah olah gerak (*Seakeeping*). Kondisi lautan yang tidak ramah pada saat-saat tertentu dapat mengakibatkan kapal tidak melakukan aktivitas berlayarnya. Hal tersebut merupakan tantangan bagi seorang ahli perkapalan untuk merancang kapal yang efisien dalam pengoperasiannya. Salah satu permasalahan adalah soal olah gerak (*seakeeping*) yakni meliputi gerak *heave, pitch, surge, yaw, sway* dan *roll*. Pada kenyataanya, kapal dilaut bebas dapat mengalami keenam gerakan sekaligus.

Dengan meningkatnya permintaan kapal-kapal dengan berkecepatan tinggi, Salah satunya adalah kapal *crew boat*. Dimana perlu desain khusus pada kapal tersebut agar dapat beroperasi secara optimal dan nyaman dari segi hambatan mapun olah gerak (*Seakeeping*). Untuk mencapai hal tersebut diperlukan desain khusus pada kapal *crew boat* agar penumpang dapat merasa lebih nyaman, oleh karena itu pemasangan foil pada bagian belakang (*Hullvane*) kapal *crew boat* diharapkan dapat mengurangi olah gerak dari segi gerakan *heave* dan *pitch*. Dengan ditambahnya *foil* pada bagian belakang kapal, diharapkan bagian belakang kapal akan terangkat dan memperbaiki trim kapal sehingga dapat mengurangi gerakan yang ditimbulkan kapal akibat gelombang. *Foil* memberikan efek meningkatkan gaya angkat pada kapal ketika kecepatan ditambahkan. Setelah lambung kapal terangkat dari air sampai batas maksimum, gaya angkat yang diperlukan konstan.

Setiap kapal pada umumnya memiliki karakteristik masing–masing dalam olah geraknya. Oleh karena itu pada Tugas Akhir ini, akan dilakukan kajian eksperimental dan numeris tentang

pengaruh dengan dan tanpa *foil* belakang (*hull vane*) pada kapal *crew boat* Orela terhadap *seakeeping*.

1.3 Perumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, dapat diperoleh perumusan masalah dari tugas akhir yang diusulkan sebagai berikut:

- Bagaimana memodelkan bentuk badan kapan dengan dan tanpa menggunakan foil belakang di ANSYS Aqwa?
- Bagaimana pengaruh dengan dan tanpa menggunakan *foil* belakang terhadap olah gerak (*Seakeeping*) Kapal *Crew Boat* Orela?

1.4 Batasan Masalah

Penyusunan tugas akhir ini memerlukan batasan-batasan masalah yang berfungsi untuk mengefektifkan perhitungan dan proses penulisan. Batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut:

a) Kapal yang diuji merupakan pengembangan dari kapal yang sebelumnya sudah sudah ada.
b) *Foil* yang digunakan merupakan desain *foil* NACA *Series* 64a212 dan 0010.
c) Kondisi *Seakeeping* yang diperhatikan hanya *heaving* & *pitching* dikarenakan keterbatasan fasilitas Laboratorium Hidrodinamika ITS
d) Kecepatan maksimum *towing tank* Laboratorium Hidrodinamika ITS untuk model kapal ini pada sarat 1.7 m adalah 22 Knot.

1.5 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Dapat mengetahui olah gerak (*Seakeeping*) dari kapal *crew boat* dengan dan tanpa menggunakan *Foil* belakang.

1.6 Manfaat

- Secara akademis, diharapkan hasil pengerjaan Tugas Akhir ini dapat membantu menunjang proses belajar mengajar dan turut memajukan pendidikan di Indonesia.
- Secara praktek, diharapkan hasil dari Tugas Akhir ini dapat menjadi pertimbangan dalam mendesain kapal dan juga Dapat digunakan sebagai acuan dalam memperhitungkan pengaruh Dengan dan Tanpa menggunkan Foil belakang.

1.7 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah pemasangan Foil belakang pada kapal Crew Boat akan memperbaiki olah gerak (*Seakeeping*) Kapal Crew Boat Orela.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

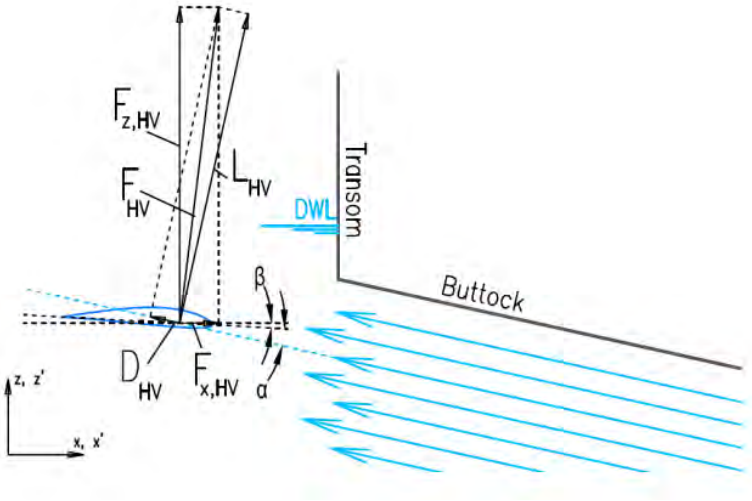
BAB II
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Pendahuluan

Sebelumnya, pada Bab I, telah diuraikan mengenai lingkup pekerjaan penelitian ini. Untuk merealisasikannya secara ilmiah, diperlukan kajian ilmu yang sudah ada dari berbagai macam referensi, baik dari penelitian sebelumnya maupun dari teori yang berkembang saat ini. Pada Bab II ini dituliskan pemahaman teori tentang gaya dorong yang dapat dihasilkan oleh *foil* belakang (*hull* vane), teori dasar tentang *seakeeping,* dan formula yang digunakan dalam mencari *Respon Amplitude Operator* pada software Ansys Aqwa. Lebih jauh uraian Bab ini akan digunakan sebagai acuan untuk menyusun metodologi Bab III dan mendukung analisa hasil pada Bab IV dan Bab V.

2.2 Gaya Dorong

Efek pertama dari *foil* belakang (*hull vane*) berdasarkan pada teori dasar tentang foil. Dimana pada gambar dijelaskan secara skematik gaya yang diberikan oleh *foil* belakang (*hull vane*). Pada gambar 2.1 α merupakan sudut yang dibentuk antara aliran masuk dengan *chord line*. β merupakan sudut yang dibentuk antara garis *chord* dengan sumbu x kapal. dimana pada bagian ini kapal diasumsikan pada kondisi *even keel*.



Gambar 2. 1. Sketsa skematik *foil* belakang (*hull vane*) yang terletak di bagian belakang kapal (Oossanen, 2014)

Foil memberikan vektor gaya angkat $\vec{L}_{HV}$ dimana dalam pengertiannya gaya tersebut tegak lurus terhadap arah aliran air, dan vektor gaya hambat $\vec{D}_{HV}$ searah dengan aliran air. Penjumlahan dari kedua vektor tersebut $\vec{F}_{HV}$ dapat diuraikan ke dalam komponen-x dan komponen-z.

$$\vec{L}_{HV} + \vec{D}_{HV} = \vec{F}_{HV} = \vec{F}_{x,HV} + \vec{F}_{z,HV} \quad (2.1)$$

Apabila komponen-x vektor gaya angkat lebih besar dari komponen-x vektor gaya hambat makan resultan dari keduanya akan mengakibatkan gaya dorong. Gaya angkat dan gaya hambat dapat diestimasikan berdasarkan persamaan 2.2 dan 2.3 . C_L dan C_D sangat bergantung pada bentuk dari *foil* belakang (*hull vane*), tetapi juga ada beberapa faktor lain seperti faktor permukaan bebas.

$$L_{HV} = C_L * \frac{1}{2} \rho V^2 A \quad (2.2)$$

$$D_{HV} = C_D * \frac{1}{2} \rho V^2 A \quad (2.3)$$

Bila θ diasumsikan sebagai sudut trim, maka gaya dorong yang dihasilkan oleh *foil* dapat direpresentasikan dalam persamaan 2.4

$$F_{x,HV} = \sin(\alpha + \beta + \theta) * L_{HV} \cos(\alpha + \beta + \theta) * D_{HV} \quad (2.4)$$

2.3 Teori *Seakeeping*

Gerakan kapal laut lepas selalu mempunyai dan menimbulkan masalah bagi para peracang kapal. Hal ini merupakan tanggung jawab mereka untuk menjamin bahwa kapal tersebut tidak hanya aman jika berlayar di laut yang kondisi cuacanya relatif tenang tetapi juga harus menjamin bahwa kapal tersebut juga mampu berlayar pada kondisi cuaca yang buruk, dimana dalam keadaan tersebut kapal mengalami penurunan fungsi dari sistem-sistem kerjanya. Untuk mengetahui kondisi tersebut harus dilakukan analisa terhadap perilaku kapal. Masalah gerak kapal ini dapat diselidiki dengan empat macam cara yang berbeda yaitu :

1. Analisa berdasarkan teori.
2. Eskperimen dengan menggunakan model percobaan.
3. Empiris dari data-data statistik.
4. Full scale test/ sea trial dengan menggunakan kapal yang sebenarnya.

Seakeeping adalah gerakan kapal yang dipengaruhi oleh gaya-gaya luar yang disebabkan oleh kondisi air laut (gambar 2.4). Macam Seakeeping antara lain :

- Surging

Surging adalah gerakan translasi kapal yang terjadi ketika kapal bergerak bergerak di sepanjang sumbu X.

- Swaying

Swaying adalah gerakan translasi kapal yang terjadi ketika kapal bergerak di sepanjang sumbu Y.

❖ Heaving

Heaving adalah gerakan kapal yang sepanjang sumbu Z.

❖ Rolling

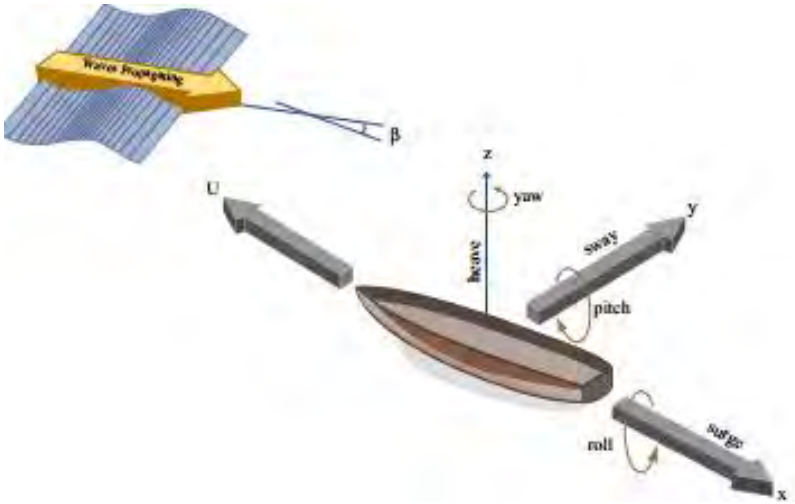
Rolling adalah gerakan kapal yang memutari sumbu X.

❖ Pitching

Pitching adalah gerakan kapal yang memutari sumbu Y.

❖ Yawing

Yawing adalah gerakan kapal yang memutari sumbu Z.



Gambar 2. 2 Enam derajat kebebasan pada struktur bangunan apung (Coursewere, 2011)

Moda gerakan tersebut dapat dilihat penjelasannya pada Gambar 2.2. Dengan memakai konversi sumbu tangan kanan tiga gerakan translasi pada arah sumbu x, y dan z, adalah masing-masing *surge* (ζ_1), *sway* (ζ_2) dan *heave* (ζ_3), sedangkan untuk gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah *roll* (ζ_4), *pitch* (ζ_5) dan *yaw* (ζ_6). Setiap gerakan memiliki sebuah persamaan umum, yang di dalamnya terdapat beberapa komponen, dituliskan pada persamaan di bawah ini:

$$A\,\ddot{Z} + B\;\dot{Z} + C\,Z = F_O\,.\cos\omega_e t \qquad (2.5)$$

di mana:

a = Added Mass

b = Koefisien Damping

c = Restoring Force

F_o = Gaya Eksitasi

z = Perpindahan

ωe = frekuensi eksitasi

t = waktu

Persamaan di atas menggambarkan gerakan heaving dan disebut sebagai Forced heaving motion. Untuk gerakan translasi lainnya, persamaan tersebut dapat diterapkan dengan merubah sumbu axis gerakan terhadap x dan y, di mana a adalah virtual mass (masa kapal ditambah dengan added mass), b adalah koefisien damping (gaya melawan arah gerakan), c adalah koefisien restoring force (gaya pengembali ke titik seimbang) dan Fo adalah existing force/encountering force atau gaya luar yang bekerja pada benda, jika kapal berada pada kondisi air tenang (calm water) maka nilai Fo adalah nol (Bhattacharyya, 1978). Sedangkan untuk gerakan rotational, persamaan dasar yang dipakai tetap sama, hanya merubah variable gerakan dari translasi (jarak) menjadi sudut dan gaya menjadi momen seperti dituliskan pada persamaan di bawah ini untuk gerakan pitching.

$$\boldsymbol{a}\ \frac{\boldsymbol{d}^2\boldsymbol{\theta}}{\boldsymbol{dt}^2} + \boldsymbol{b}\,.\frac{d\theta}{dt} + \boldsymbol{C}\,.\,\boldsymbol{\theta} = M_{\boldsymbol{O}}\,.\,\mathbf{cos}\,\boldsymbol{\omega_e} \qquad (2.6)$$

di mana :

a = momen inersia gerakan pitch

b = momen damping

c = *restoring moment*

Mo = momen ekstitasi

θ = sudut gerakan pitching

ω = frekuensi eksitasi

t = waktu

Dengan asumsi bahwa gerakan-gerakan osilasiadalah linier dan harmonik, maka enam persamaan diferensial gerakan

kopelnya dapat dituliskan sebagai berikut (Djatmiko, 2012):

$$\sum_{\boldsymbol{n=1}}^{\boldsymbol{6}} [(\boldsymbol{Mjk} + \mathrm{Ajk})\zeta\,\mathrm{k} + Bjk\,\zeta\,\mathrm{k} + \mathrm{Kjk}\,\zeta\,\mathrm{k}] = Fj\boldsymbol{e}^{\boldsymbol{i\omega t}}\,;\ \mathrm{j,k} = 1,\ldots.,6 \qquad (2.7)$$

Di mana:

$\mathbf{M}_{jk}$ = matriks massa dan momen inersia masa bangunan laut

$\mathbf{A}_{jk}$ = matriks koefesien-koefesien masa tambah hidrodinamik

$\mathbf{B}_{jk}$ = matriks koefesien-koefesien redaman hidrodinamik

$\mathbf{K}_{jk}$ = matriks koefesien-koefesien kekauan atau gaya dan momen hidrostatik

$\mathbf{F}_j$ = matriks gaya eksitasi (F_1, F_2, F_3) dan momen eksitasi (F_4, F_5, F_6) dalam fungsi kompleks (dinyatakan oleh $e^{i\omega t}$)

F_1 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *surge*

F_2 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *sway*

F_3 = Gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *heave*

F_4 = Momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *roll*

F_5 = Momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *pitch*

F_6 = Momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *yaw*

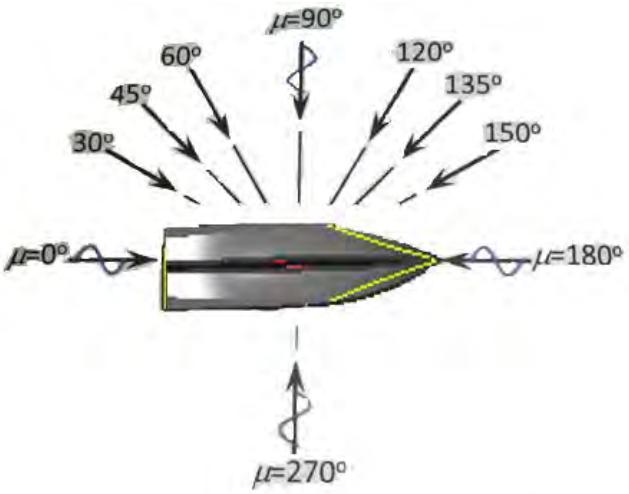
Persamaan di atas jelas menunjukan hubungan antara gaya aksi dan reaksi. Gaya aksi direpresentasikan oleh suku pada ruas kanan, yang merupakan eksitasi gelombang terhadap bangunan apung. Gaya reaksi ditunjukan oleh suku-suku disebelah kiri persamaan, yang terdiri dari gaya inersia dan gaya pengembali, yang masing-masing berkorelasi dengan percepatan gerak, kecepatan gerak dan simpangan atau displacement gerakan. Dengan menyelesaikan persamaan gerak ini didapatkan hasil karakteristik gerakan bangunan laut. Informasi ini pada umumnya disajikan dalam bentuk grafik, dimana perbandingan gerakan pada mode tertentu ζi dengan parameter tinggi (atau amplituo gelombang, ζa) diberikan sebagai fungsi frekuensi ω dari sumber eksitasi. Informasi gerakan ini dinamakan *Respon Amplitude Operator* (RAO).

2.4 Arah Gelombang

Bangunan laut berada pada lokasi operasinya, baik dalam mode stasioner, diam di tempat, maupun dalam mode melaju dengan kecepatan untuk berpindah – pindah lokasi, akan menghadapi gelombang yang dapat berpropagasi dari berbagai arah. Dalam hal bangunan laut mempunyai konfigurasi konfigurasi bola atau silinder tunggal dengan distribusi massa yang seragam, sehingga dapat dipandang sebagai benda simetri dari berbagai arah, maka secara idealnya gelombang yang datang dari manapun menimbulkan efek gerakan yang kurang lebih sama. Namun demikian kebanyakan bangunan laut tidaklah mempunyai bentuk yang simetri menyeluruh. Dengan demikian perbedaan arah eksitasi gelombang akan mempunyai dampak intensitas gerakan yang berbeda-beda dalam 6-derajat kebebasannya. Perbedaan intensitas tersebut jelas terjadi karena perbedaan pola aliran yang timbul di medan fluida sekitar benda. Sebagai konsekuensinya

efektifitas variabel-variabel dalam pers (2.7). yakni gelombang insiden, gelombang difraksi, masa tambah, redaman, dan kekakuan akan bervariasi. Menyadari hal ini maka pentinglah untuk mendefinisikan faktor arah gelombang.

Dari banyak referensi megenai teori gerakan bangunan laut dapatlah disimpulkan suatu konvensi umum, bahwa arah gelombang, μ,didefinisikan sebagai sudut antara arah propagasi gelombang dengan arah laju bangunan laut. Selanjutnya arah gelombang μ sebesar 0° ditetapkan bila arah propagasi gelombang adalah sama dengan arah melajunya bangunan laut. Sebaliknya, bila arah propagasi gelombang berlawanan arah dengan arah laju bangunan laut, maka ditetapkan sebagai μ = 180°. Dengan kata lain μ = 0° adalah sama dengan gelombang yang datang dari arah buritan bangunan laut, sedangkan μ = 180° adalah gelombang yang datang dari arah haluan. Mengikuti kedua definisi terebut mudahlah kemudian ditetapkan bahwa sudut gelombang μ = 90° dan μ = 270° adalah bila datang dari arah sisi-sisi dan tegak lurus terhadap sumbu memanjang bangunan laut. Sampai disini jelaslah bahwa bangunan laut berada bahwa jika bangunan laut berada dalam mode stasioner atau tanpa gerak melaju, arah gelombang dapat ditinjau dengan mengacu pada arah buritan ataupun haluannya, seperti terlihat dalam gambar 2.3

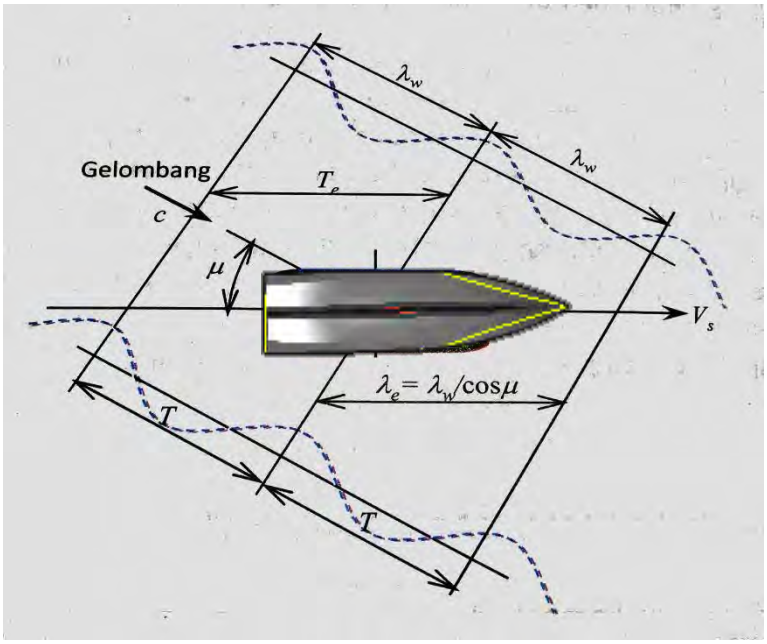


Gambar 2. 3 Konversi arah gelombang terhadap bangunan laut

2.5 Frekuensi Gelombang Papasan

Perlu digaris bawahi kembali di sini bahwa frekuensi gelombang adalah merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi prilaku bangunan laut, karena dari adanya frekuensi pada nilai tertentu akan menimbulkan kondisi resonansi atau magnifikasi respons. Bila titik tinjau

gelombang, atau bangunan laut yang dikaji, tidak lagi stasioner tetapi bergerak melaju dengan kecepatan tertentu maka efek frekuensi gelombang yang diterima pada bangunan laut akan berubah. Perubahan frekuensi ini tidak lain adalah karena adanya kecepatan relatif antara gelombang dan bangunan laut yang melaju. Sebagai akibatnya perubahan tersebut tentunya akan merubah hasil-hasil perhitungan perameter-parameter ataupun koefisien-koefisien hidrodinamika, yang akhirnya memberikan hasil akhir berupa respons yang berbeda pula. Frekuensi yang berubah karena gelombang berpapasan dengan bangunan laut yang melaju disebut sebagai frekuensi gelombang papasan atau *encountering wave frequency*, sering disingkat sebagai frekuensi papasan atau *encountering frequency*, yang diberi notasi ω_e. Uraian yang seksama tentang frequensi papasan dapa diberikan sebagai berikut (Bhattacharayya (1978), dengan mengacu gambar 2.4



Gambar 2. 4 Bangunan laut melaju di atas gelombang dengan arah μ

Perlu dicatat, bahwa dalam hal gelombang berpropagasi dari arah gelombang belakang kapal yang melaju maka waktu yang dibutuhkan oleh kapal untuk melintas dua puncak gelombang yang berurutan akan lebih lama bila dibandingkan dengan kapal yang stasioner. Dengan demikian periode papasan *Te* akan mempunyai harga yang lebih besar dari periode gelombang riilnya, *T*. Namun demikian bila gelombang berpropagasi dari arah depan kapal yang melaju maka periode papasan *Te* akan lebih kecil dari rillnya *T*. Jika kemudian bila meninjau frekuensi yang merupakan harga kebalikan dari periode, maka frekuensi papasan ω_e dari gelombang yang berporpagasi dari arah belakang kapal atau bangunan laut yang melaju akan mempunyai harga yang lebih kecil dari

pada harga frekuensi riilnya, ω, dan sebaliknya frekuensi papasan ωe akan lebih besar dari ω bila gelombang berpropagasi dari arah depan kapal yang melaju.

$$\omega e = \omega \left[1 - \frac{\omega Vs}{g} \cos \mu\right] \qquad (2.8)$$

Dimana:

ωe = Frekuensi papasan

ω = Frekuensi riil gelombang

Vs = Kecepatan Struktur

μ = Sudut hadap

2.6 Periode Natural

Pada kondisi ideal di mana suatu sistem bergerak tanpa menerima redaman, maka bila padanya diberikan simpangan dan kemudian dilepaskan, sistem akan berosilasi terus dengan amplitudo dan frekuensi yang tetap. Frekuensi adalah banyaknya *cycle* yang terjadi selama satu detik. Periode, kebalikan dari frekuensi, adalah waktu yang diperlukan untuk satu cycle terpendek pada getaran. Dalam hal demikian, yang dinamakan sistem tak teredam atau undamped, maka frekuensi gerakannya adalah disebut frekuensi natural dan periodenya disebut periode natural (Djatmiko, 2012).

Frekuensi, dan sebaliknya periode natural gerakan penting untuk diketahui pada suatu sistem dinamis yang bergerak dalam mode osilasi, seperti bangunan apung dan kapal di atas gelombang. Pemahaman tentang frekuensi natural akan memberikan acuan bagi perancang, pada tahap perancangan, atau operator pada tahap pengoperasian, untuk menghindari terjadinya resonansi akan menjadikan repons, gerakan bangunan apung dalam hal ini, menjadi berlebihan, dan selanjutnya tentunya akan membahayakan keselamatannya (Djatmiko, 2012).

Pada bangunan yang mengapung bebas tanpa pengikatan, hanya akan ada tiga mode gerakan yang mempunyai frekuensi natural, yakni pada mode heave, roll, dan pitch. Sedangkan mode lainnya tidak mempunyai frekuensi natural, karena secara teknis tidak mempunyai mekanisme kekakuan sendiri, yang akan bermanifestasi menjadi gaya pengembali (Djatmiko, 2012).Periode natural heaving, pitching dan rolling sebagaimana dapat dijelaskan oleh (Bhattacharya, 1980) dapat dihitung dengan rumus di bawah ini:

$$\boldsymbol{Tz = 2\pi\sqrt{\frac{\rho\nabla + A33}{\rho g Aw}}} \qquad (\mathbf{2.9})$$

$$\boldsymbol{Tz = 2\pi\sqrt{\frac{\rho\nabla k^2 yy + A55}{\rho g \nabla GML}}} \qquad (\mathbf{2.10})$$

$$\boldsymbol{Tz = 2\pi\sqrt{\frac{\rho\nabla k^2 xx + A44}{\rho g \nabla GM}}} \qquad (\mathbf{2.11})$$

di mana :

Tz – periode natural heaving,

*T*θ – periode natural pitching,

Tϕ – periode natural rolling,

Aw – luas permukaan *waterplane*,

*A*33 – *added mass* heaving,

A44 – momen inersia *added mass* rolling,

A55 – momen inersia *added mass* pitching,

GM – tinggi metasentrik melintang awal,

GML – tinggi metasentrik memanjang,

∇– *volume displacement*,

ρ – massa jenis air,

g – percepatan gravitasi,

kxx – radius girasi relatif terhadap sumbu x,

kyy – radius girasi relatif terhadap sumbu y.

2.7 *Response Amplitude Operator* (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan oleh gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. Menurut Chakrabarti (1987) RAO dapat didefinisikan sebagai:

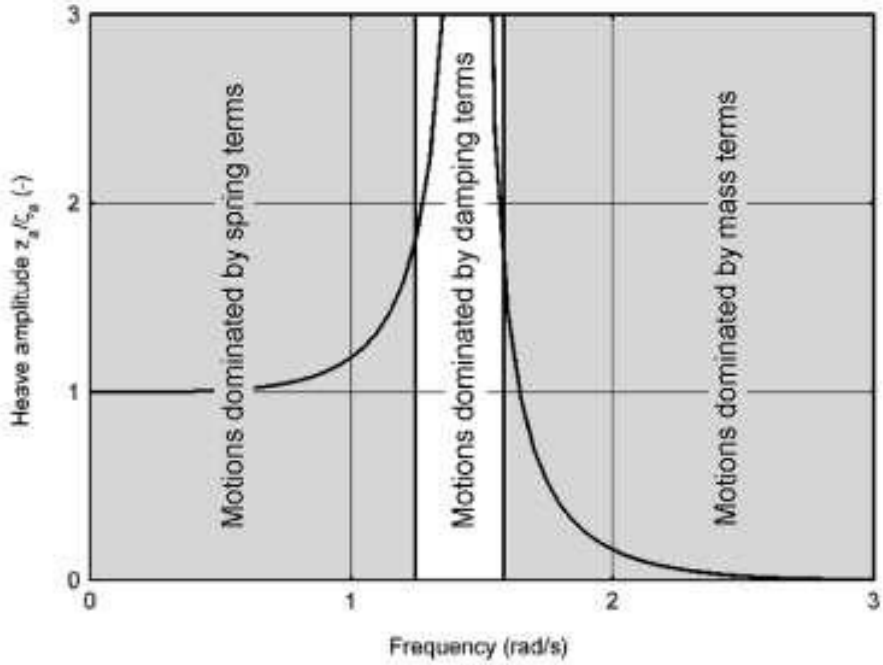
$$RAO\ (\omega) = \frac{\boldsymbol{Xp(\omega)}}{\boldsymbol{\eta(\omega)}} \qquad (2.12)$$

Di mana:

$X_p\ (\omega)$ = amplitudo struktur

η *(ω)* = amplitudo gelombang

RAO dapat diilustrasikan sebagai grafik perbandingan amplitudo respon dengan amplitudo gelombang terhadap frekuensi gelombang.



Gambar 2. 5 Grafik Respons Gerakan Bangunan Apung (journee et all, 2011)

2.8 Respon Struktur pada Gelombang Acak

Gelombang acak merupakan superposisi dari komponen-komponen pembentuknya berupa gelombang sinusoidal dalam jumlah yang tak terhingga. Tiap-tiap komponen gelombang memiliki tingkat energi tertentu yang dikontribusikan dan secara keseluruhan dapat diakumulasikan dalam bentuk spektrum energi gelombang (Djatmiko, 2012)

Respon struktur pada gelombang acak dapat dilakukan dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum respon. Spektrum respon didefinisikan sebagai respon kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan harga pangkat kuadrat dari Response Amplitude Operator (RAO) dengan spektrum gelombang pada daerah struktur bangunan apung tersebut beroperasi. Persamaan spektrum respon secara matematis dapat dituliskan sebagai :

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \qquad (2.13)$$

Dengan :

S_R = Spektrum Respons (m²-sec)

$S(\omega)$ = Spektrum Gelombang (m²-sec)

$RAO(\omega)$ = Transfer Function

ω = Frekuensi Gelombang (rad/sec)

Setelah Spektrum respon diperoleh maka intensitas gerakan dapat dihitung sebagai fungsi luasan dibawah kurva spektrum respon atau merupakan variasi elevasi gerakan, yaitu sebagai berikut :

$$m_{r0} = \int_{0}^{\infty} \boldsymbol{S\varsigma}\,(\boldsymbol{\omega})\, d\omega \qquad (2.14)$$

$$m_{r2} = \int_{0}^{\infty} \boldsymbol{\omega}^2 \boldsymbol{S\varsigma}\,(\boldsymbol{\omega})\, d\omega \qquad (2.15)$$

$$m_{r4} = \int_{0}^{\infty} \boldsymbol{\omega}^4 \boldsymbol{S\varsigma}\,(\boldsymbol{\omega})\, d\omega \qquad (2.16)$$

Varian m_{r0} diistilahkan sebagai luasan di bawah kurva spektra respons, momen kedua luasan di bawah kurva spektra m_{r2}, dan momen keempat luasan di bawah kurva spektra respons m_{r4}. Dengan demikian momen spektra dapat diberikan dalam bentuk umum (Djatmiko, 2012):

$$m_N = \int_{0}^{\infty} \boldsymbol{\omega}^{\mathrm{N}} \boldsymbol{S\varsigma}\,(\boldsymbol{\omega})\, d\omega \qquad (2.17)$$

Berdasarkan persamaan 2.13 jika diturunkan akan didapatkan harga-harga statistik gerakan sebagai fungsi varian elevasi gerakan m_{r0}, yaitu misalnya sebagai RMS of mortion yang dihitung sebagai:

$$RMS = \sqrt{m_{r0}} \qquad (2.18)$$

Harga gerakan signifikan dihitung sebagai:

$$R_{\mathbf{1/3}} = 4.0\sqrt{m_{r0}} \qquad (2.19)$$

Disamping itu kemudian juga dapat diturunkan kolerasi antara tinggi gelombang 1/10 tertinggi dengan tinggi gelombang signifikan seperti di bawah ini :

$$R_{\mathbf{1/10}} = 5.10\sqrt{m_{r0}} \qquad (2.20)$$

2.9 Spektrum Gelombang

Dalam perancangan struktur bangunan apung, idealnya informasi karakteristik gelombang untuk lingkungan dimana struktur akan dioperasikan harus lengkap tersedia. Meskipun demikian, belum semua daerah lautan di dunia dilakukan observasi gelombangnya. Untuk kebutuhan perancangan maka spectra gelombang dari lokasi lain dengan kondisi yang mirip biasanya diambil. Bila informasi inipun tidak tersedia maka dapat dipakai formula spectra gelombang. Salah satunya yaitu formulasi ITTC formulasi tersebut memberikan persamaan *spectrum energy* gelombang sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan, H1/3,dan frekuensi karakteristik. *International Towing Tank Conference (ITTC)* merupakan penelitian mengenai standart *spectrum* golombang . Formula spektrum gelombang ITTC adalah sebagai berikut:

$$S(\omega_e) = \left(\frac{A}{\omega_e^5}\right) e^{\frac{-B}{w_{w^4}}} \qquad (2.21)$$

Dimana

Ww : Frekuensi gelombang (rad/sec)

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

B ; $3.11 \times 10^4/(H)^2_{1/3}$

$(H)_{1/3}$: *Significant wave height (m)*

(Bhattacharyya, 1978)

2.10 Software Ansys Aqwa

Ansys Aqwa memberikan fasilitas terintegrasi untuk mengembangkan parameter hidrodinamika utama yang diperlukan untuk melakukan gerakan yang kompleks dan juga analisis respon.Pembuatan model dapat dilakukan dengan *Ansys Design Modeler* yang terintegrasi dengan aplikasi Aqwa. Sebagai sistem terintegrasi untuk melakukan analisa hidrodinamik dan mooring. Secara fungsional Ansys Aqwa dapat dibagi menjadi enam operasi:

- Difraksi / radiasi
- Stabilitas awal statis dan dinamis termasuk dampak sistem mooring dan koneksi fisik lainnya
- Frekuensi domain analisis dinamis
- Domain waktu dengan gelombang tidak teratur termasuk melayang lambat
- Non-linear domain waktu dengan gelombang teratur atau tidak teratur amplitudo besar
- Transfer beban hidrodinamik untuk analisis elemen hingga struktur

Selain fasilitas opsional untuk konfigurasi kabel mooring tersedia juga analisis statis dan dinamis (baik dalam frekuensi dan waktu domain) untuk memberikan pemodelan yang lebih bagus dari respon sistem kapal dan mooring, terutama di perairan dalam.

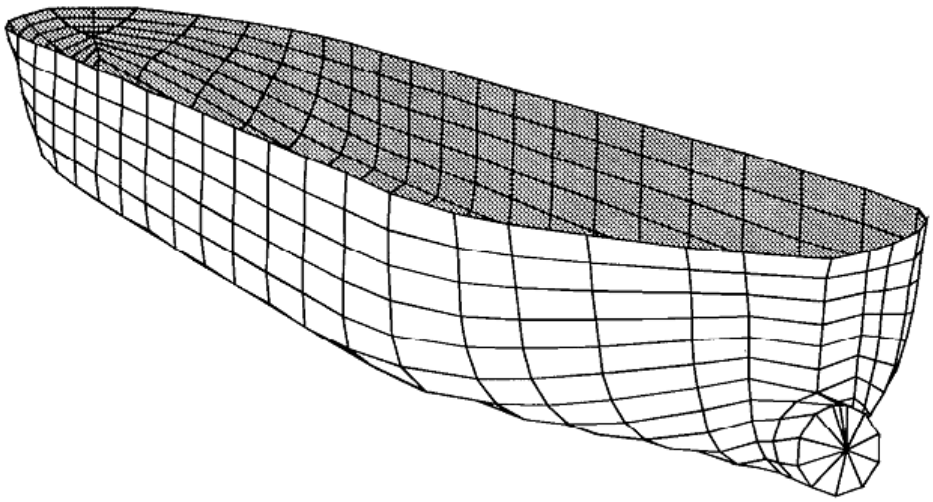
Untuk bentuk lambung kapal besar Ansys Aqwa membutuhkan deskripsi bentuk lambung.Sebuah panel diskritisasi standar lambung digunakan dalam tahap radiasi / difraksi simulasi (dan mungkin juga dapat digunakan dalam pemecah berikutnya, seperti solusi domain waktu statis dan dinamis).

Untuk bentuk kapal yang lebih umum *Ansys Design Modeler* dapat digunakan baik untuk menghasilkan geometri secara langsung, atau mengimpor geometri dari berbagai sistem *cad*seperti *Autocad, Maxsurf, Catia* dll.Geometri ini kemudian dapat diimpor keAnsys Aqwa untuk dilakukan analisis difraksi hidrodinamik. Output dari Aqwa bisa dijadikan input untuk pembebanan dalam penghitungan *Finite Elemen* pada aplikasi *Ansys Mechanical* maupun analisa mooring yang lebih insentif di *Orcaflex*.

Dengan berpedoman pada proses numerik *3D diffraction*, Aqwa mampu memprediksikan olah gerak bangunan laut tanpa dibatasi oleh kondisi bentuk dari model. Berbeda dengan *strip theory* yang memiliki pendekatan secara 2D, *3D diffraction* melakukan perhitungan secara 3D berdasarkan permukaan surface dari model

2.9.1. 3D Diffraction Theory

Metode ini digunakan untuk menganalisa gerakan struktur dengan bentuk sembarang, baik terapung bebas maupun dengan *mooring system.* Permukaan struktur dibagi dalam N panel yang cukup kecil sehingga diasumsikan gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja adalah sama di tiap panel, seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2. 6 Lambung Kapal dibagi dalam panel-panel

Selanjutnya, sebuah persamaan dibentuk sehingga kecepatan potensial dapat diperoleh. Pada kondisi tenang, persamaan kecepatan potensial total Φ akibat pengaruh kecepatan U adalah sebagai berikut:

$$\boldsymbol{\Phi}(\mathbf{x},\mathbf{y},\mathbf{z};\mathbf{t}) = [-\boldsymbol{U_x} + \boldsymbol{\phi_S}(\boldsymbol{x}, \quad \boldsymbol{y},\boldsymbol{z})] + \boldsymbol{\phi_T}(\boldsymbol{x},\boldsymbol{y},\boldsymbol{z})\boldsymbol{e}^{-i\omega_e t} \qquad (\mathbf{2.22})$$

Di mana x, y dan z menyatakan arah (sistem koordinat). Wave exciting force yang bekerja pada tiap panel dihitung dengan formula berikut:

$$\boldsymbol{F_{kj}} = \boldsymbol{\rho} \int_{S_B} \left[\boldsymbol{\omega_e^2 X_j}(\boldsymbol{\phi_{jc}} + \boldsymbol{i\phi_{js}}) + \boldsymbol{i\omega_e U X_j} \frac{\boldsymbol{\partial}}{\boldsymbol{\partial_j}}(\boldsymbol{\phi_{jc}} + \boldsymbol{i\phi_{js}}) \right] \boldsymbol{n_k}\, \boldsymbol{ds} \qquad (\mathbf{2.23})$$

Sehingga gerak struktur dapat dihitung dengan persamaan matrik berikut:

$$\boldsymbol{X_j^0} = \boldsymbol{F_k^0} \left[\sum_{\boldsymbol{j=1}}^{\mathbf{6}} -\boldsymbol{\omega_e^2}\left(\boldsymbol{M_{kj}} + \boldsymbol{A_{kj}}\right) - \boldsymbol{i\omega_e B_{kj}} + \boldsymbol{C_{kj}} \right]^{-\mathbf{1}} \qquad (\mathbf{2.24})$$

Dimana :

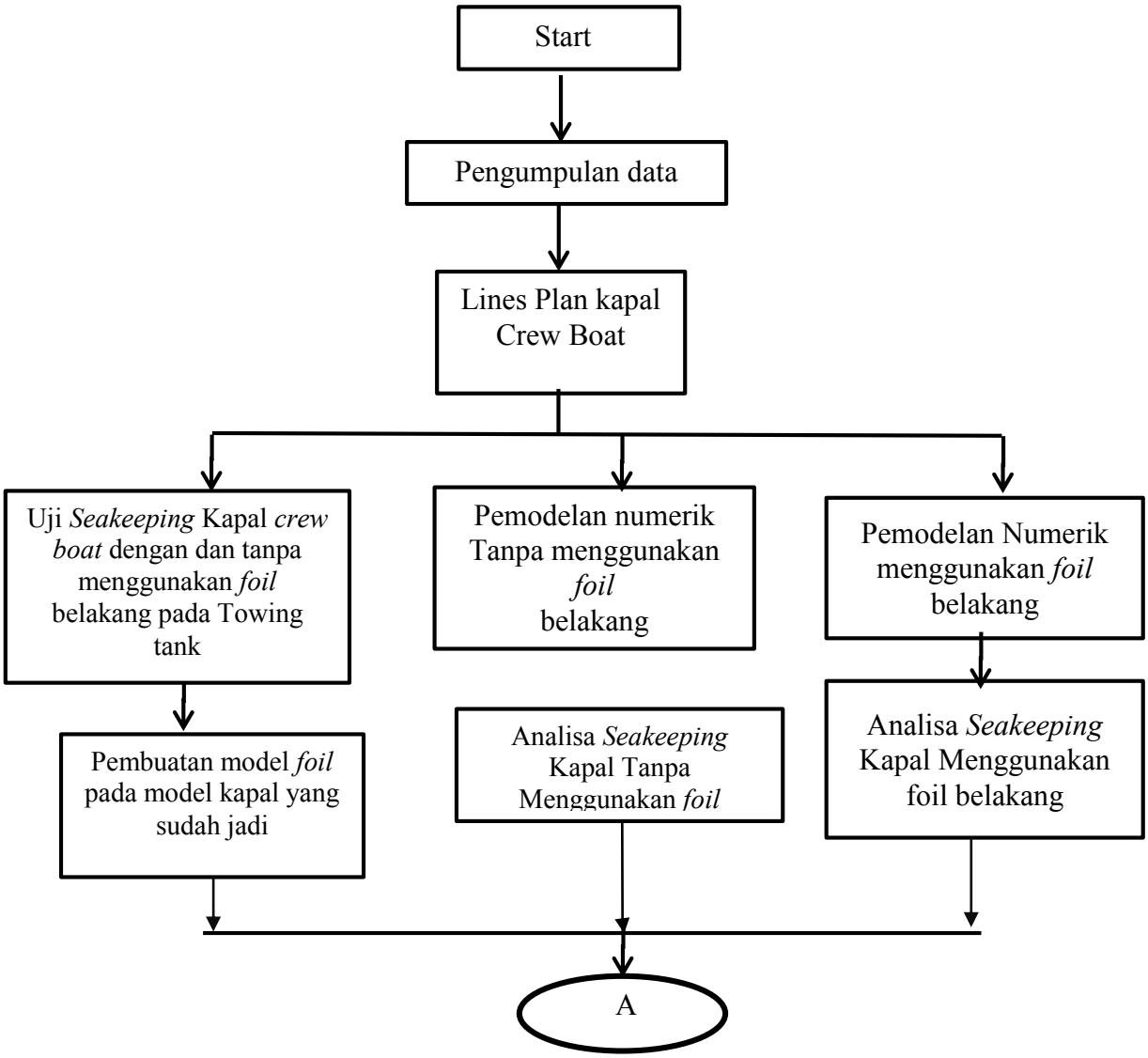
X_j	:	amplitudo gerakan struktur
M_{kj}	:	matriks insersia struktur
A_{kj}	:	matriks koefisien *added mass*
B_{kj}	:	matriks koefisien *damping*
C_{kj}	:	koefisien inersia statis
F_k	:	Amplitudo *wave exciting force*

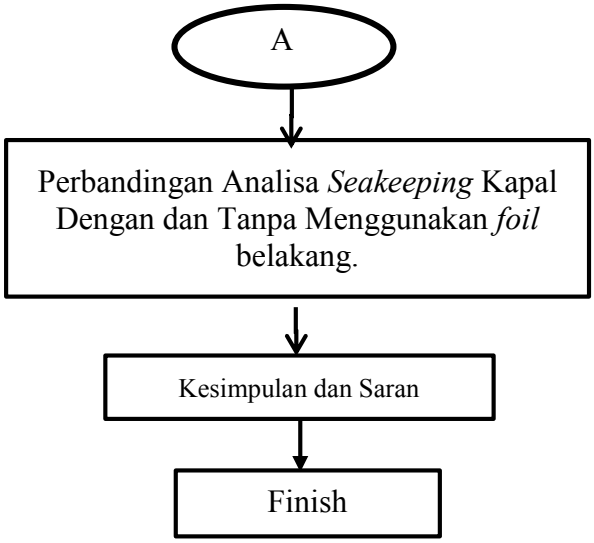
BAB III
METODOLOGI

3.1 Pendahuluan

Seperti yang disinggung pada pendahuluan Bab II, bahwa teori yang diuraikan pada Bab tersebut digunakan sebagai dasar bagian penyusunan Bab III. Adapun Bab III ini membahas mengenai metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan tujuan pada penelitian ini sebagaimana disampaikan pada Bab I, subbab 1.5. Penjelasannya meliputi langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini serta analisa respons yang dilakukan dengan menggunakan bantuan software Ansys Aqwa dan divalidasi dengan hasil uji di laboratorium Hidrodinamika ITS.

3.2 Diagram Alir





Gambar 3. 1 Gambar Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir

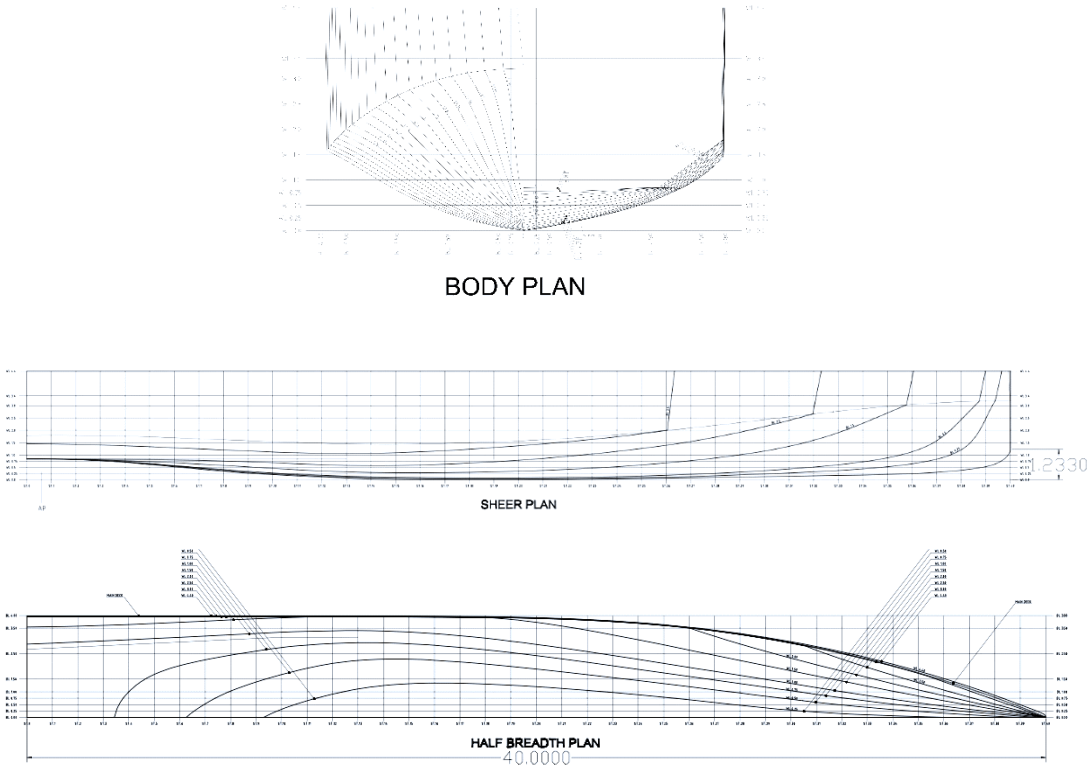
3.3 Tahap – Tahap Pengerjaan Tugas Akhir

3.3.1 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi mengenai kapal tipe *Crewboat* Orela. Tujuan tahap ini adalah untuk mengetahui karakteristik kapal *Crewboat* Orela serta mencari teori, konsep dan rumusan perhitungan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada. Dalam tugas akhir ini digunakan program untuk membantu perhitungan numerik yaitu Ansys Aqwa. Oleh karena itu perlu diketahui bagaimana cara kerja dan teori dari program tersebut. Input yang dibutuhkan untuk menjalankan program serta output yang diharapkan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Selain itu, dalam tahap studi literatur dilakukan pengumpulan informasi mengenai data ukuran utama kapal dan Lines Plan untuk peroses permodelan pada Program perhitungan numerik.

3.3.2 Data Kapal

Data Kapal yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini diambil dari perusahaan PT. Orela Shipyard. Data kapal berupa Lines Plan, data Hidrostatik kapal pada saat dilakukan uji tarik pada lab Hidrodinamika ITS dan ukuran model kapal *crewboat* Orela yang sudah dilakukan Eksperimen pada Towing tank di Laboraturium Hidrodinamika ITS.



Gambar 3. 2 Lines Plan Kapal *Crewboat* Orela

Pada Tabel 3.1 di bawah ini akan ditunjukan ukuran utama kapal *Crewboat* Orela

Tabel 3. 1 Hydrostatics of Crewboat Orela

Draft	Displt	LCB	LCF	KMT	TPC	MTC	VCB	KML	WSA	CB	CM	CP	WPA
(m)	(t)	(m)	(m)	(m)	(t/cm)	(t-m/cm)	(m)	(m)	(m^2)				(m^2)
1.48	190.152	15.455	14.877	5.861	2.31	5.11	0.985	106.866	261.34	0.392	0.554	0.708	225.21
1.49	192.456	15.449	14.887	5.849	2.32	5.13	0.992	106.072	262.58	0.394	0.556	0.709	225.94
1.50	194.783	15.442	14.896	5.837	2.32	5.16	0.998	105.285	263.81	0.396	0.559	0.709	226.68
1.51	197.227	15.431	14.901	5.827	2.33	5.18	1.004	104.476	265.04	0.399	0.561	0.711	227.58
1.52	199.522	15.428	14.916	5.813	2.34	5.20	1.010	103.729	266.26	0.401	0.564	0.711	228.23
1.53	201.942	15.422	14.927	5.801	2.35	5.23	1.016	102.959	267.47	0.403	0.566	0.712	229.06
1.54	204.294	15.416	14.937	5.787	2.35	5.25	1.022	102.231	268.68	0.405	0.568	0.713	229.73
1.55	206.602	15.411	14.945	5.771	2.36	5.27	1.028	101.533	269.88	0.407	0.571	0.713	230.30
1.56	208.903	15.407	14.952	5.754	2.37	5.29	1.034	100.851	271.08	0.409	0.573	0.713	230.82
1.57	211.276	15.401	14.961	5.738	2.37	5.31	1.040	100.155	272.27	0.411	0.576	0.714	231.46
1.58	213.658	15.396	14.970	5.722	2.38	5.34	1.046	99.470	273.46	0.413	0.578	0.714	232.09
1.59	216.052	15.392	14.980	5.706	2.39	5.36	1.052	98.793	274.63	0.415	0.581	0.715	232.72
1.60	218.466	15.387	14.990	5.690	2.39	5.38	1.058	98.125	275.80	0.417	0.583	0.715	233.36
1.61	220.903	15.383	15.001	5.674	2.40	5.40	1.064	97.463	276.97	0.419	0.585	0.716	234.02
1.62	223.340	15.379	15.012	5.658	2.41	5.43	1.070	96.813	278.13	0.421	0.588	0.717	234.66
1.63	225.783	15.375	15.022	5.641	2.41	5.45	1.076	96.173	279.29	0.423	0.590	0.717	235.29
1.64	228.212	15.371	15.032	5.624	2.42	5.47	1.082	95.546	280.44	0.425	0.592	0.718	235.87
1.65	230.620	15.368	15.041	5.606	2.42	5.49	1.088	94.933	281.59	0.427	0.595	0.718	236.39
1.66	233.011	15.364	15.049	5.588	2.43	5.51	1.094	94.329	282.73	0.429	0.597	0.719	236.86
1.67	235.401	15.361	15.056	5.569	2.43	5.53	1.100	93.734	283.87	0.431	0.599	0.719	237.31
1.68	237.819	15.358	15.065	5.551	2.44	5.56	1.106	93.142	285.00	0.433	0.601	0.720	237.79
1.69	240.265	15.355	15.074	5.532	2.44	5.58	1.112	92.556	286.12	0.435	0.604	0.720	238.29
1.70	242.716	15.352	15.084	5.514	2.45	5.60	1.118	91.976	287.24	0.437	0.606	0.721	238.79

3.3.3 Pembuatan Model Lambung Kapal

Membuat bentuk lambung kapal yang akan digunakan sebagai *input* pada program Ansys Aqwa dengan menggunakan bantuan *software* Maxsurf Modeler. Maxsurf membuat model lambung kapal yang terdiri dari beberapa *surface* dengan fitur 3D NURB (*non-uniform rational B-spline*). Database yang akan digunakan pada tahap ini adalah *Lines plan* kapal *crew boat* Orela. Adapun pembuatan model kapal yang diperlukan untuk uji *Seakeeping* pada lab Hidrodinamika sudah dibuat.

3.3.4 Memodifikasi Lambung Badan Kapal dengan penambahan Foil Belakang

Setelah membuat bentuk lambung Kapal *Crew Boat Orela* berdasarkan *Lines Plan* yang telah didapat, langkah selanjutnya adalah memodifikasi bentuk lambung kapal dengan menambahkan *Foil* Belakang, jenis *Foil* yang digunakan adalah NACA 64A212 & untuk strut yang digunakan adalah NACA 0010. Dimana pemilihan kedua jenis *Foil* tersebut telah dilakukan pada penelitian (Hidayat, 2016). Modifikasi penambahan *Foil* belakang untuk kajian numeris dilakukan dengan bantuan software *Maxsurf Pro*, dimana dilakukan beberapa penambahan *surface* pada lambung kapal dengan bentuk sesuai jenis *foil* NACA yang digunakan. Adapun untuk modifikasi penambahan *Foil* belakang untuk kajian eksperimental dilakukan dengan pembentukan strut dengan bahan dasar Akrilik dan pembentukan *Foil* belakang dengan bahan dasar *Stainless Steel,* dimana cara pembentukannya dilakukan dengan proses pendekatan.

3.3.5 Menghitung Karakteristik Gerakan kapal *crew boat* Orela dengan menggunakan Metode Numeris (analisa Hidrodinamis)

Pada analisa respons perilaku gerak kapal *crew boat* Orela dengan dan tanpa menggunakan *foil* belakang akibat beban gelombang reguler, hasil keluaran dari analisis berupa *Response Amplitude Operators* (RAO) yang merupakan respons bangunan laut di gelombang sinusoidal untuk himpunan *heading waves* dan himpunan periode gelombang. Perhitungan RAO menggunakan *software* Ansys Aqwa, seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa Ansys Aqwa menggunakan teori difraksi radiasi 3-Dimensi untuk memecahkan permasalah *seakeeping*, dimana di dalam metode ini permukaan lambung bangungan apung dibagi menjadi panel-panel yang disebut juga *mesh*. Input wajib untuk *wave loads* berupa: frekuensi gelombang (rad/s), *waveheadings* (deg), kedalaman perairan (m). Sedangkan beberapa data yang dapat dimasukkan sebagai parameter opsional: *reference length*, percepatan akibat gravitasi, kepadatan massa air. Agar dapat menyelesaikan persamaan gerak dengan 6 derajat kebebasan seperti yang ditulis di atas, *user* harus menentukan posisi *centre of gravity* (CoG) / *point of mass*, *point of bouyancy*.

Setelah menyiapkan file-file input seperti yang disebutkan di atas beserta dengan sifat mekanik kapal, *user* dapat memulai perhitungan gerakan yang nantinya akan mengeluarkan hasil RAO. Orientasi Sudut hadap Gelombang Untuk simulasi dengan model numerik pada gelombang reguler, model akan dinalisa saat Zero speed dan pada saat kecepatan dinas dengan arah datang gelombang 180 ^{o}dan juga pada penelitian ini akan dilakukan uji eksperimen untuk mendapatkan RAO kapal *crewboat* Orela pada laboratorium Hidrodinamika ITS, dimana model kapal sudah jadi. Uji tarik pada Laboratorium Hidrodinamika ITS akan dilakukan pada frekuensi gelombang yang telah ditentetukan dengan variasi satu amplitudo gelombang dan satu variasi sudut hadap kapal.

3.3.6 Perbandingan Karakteristik repons gerakan Kapal dengan dan tanpa menggukan Foil Belakang

Pada akhirnya, setelah semua langkah yang telah dijelaskan diatas dilakukan, perbandingan kapal *Crew Boat* dengan dan tanpa menggunakan *Foil* belakang berdasarkan respons yang paling kecil pada kondisi gelombang yang diizinkan berdasarkan rules *Bureu Veritas* yang digunakan sebagai acuan pembangunan kapal yakni pada ketinggian Gelombang signifikan *Hs* sebesar 2 m. Diharapkan setelah penelitian ini dapat diketahui pengaruh pemasangan *Foil* belakang terhadap repons gerakan sehingga berdampak pada kenyamanan penumpang kapal tersebut.

3.4 Spesifikasi Komputer untuk Perhitungan Numerik

Guna mendukung berjalannya proses perhitungan numerik dengan komputer, maka diperlukan spesifikasi tertentu dari komputer agar proses running berjalan cepat. Adapun spesifikasi yang digunakan oleh penulis adalah:

1. Processor : Intel ® Core (TM) i5 – 2450M CPU @2.50GHz
2. Installed Memory (RAM) : 4.00 GB (7,88 GB usable)
3. System Type : 64-bit Operating System
4. Operating System : Windows 10 Pro © Microsoft Corporation All rights reserved.

3.5 Analisa Respons

Pada penelitian ini, prilaku gerak kapal *Crew Boat* Orela dikaji dalam dua kondisi gelombang reguler dan gelombang acak dengan rentang frekuensi gelombang yang di analisis antara 0.1- 3.9 rad/s dengan interval penambahannya sebesar 0.19 rad/s.

3.5.1 Respons Bangunan laut Di Gelombang Reguler

Pada analisa respons perilaku gerak kapal *Crew Boat* akibat gelombang Reguler, hasil keluaran dari analisis berupa *Respons Amplitude Operators* (RAO) yang merupakan respons bangunan laut di gelombang sinusoidal untuk himpunan heading waves dan himpunan periode gelombang. Seperti yang telah dijelaskan di atas bahwa Software ansys AQWA menggunakan teori difraksi-radiasi 3-dimensi untuk memecahkan permasalahan *Seakeeping*. Dimana di dalam metode ini permukaan lambung kapal dibagi menjadi panel-panel yang disebut juga dengan *mesh*.

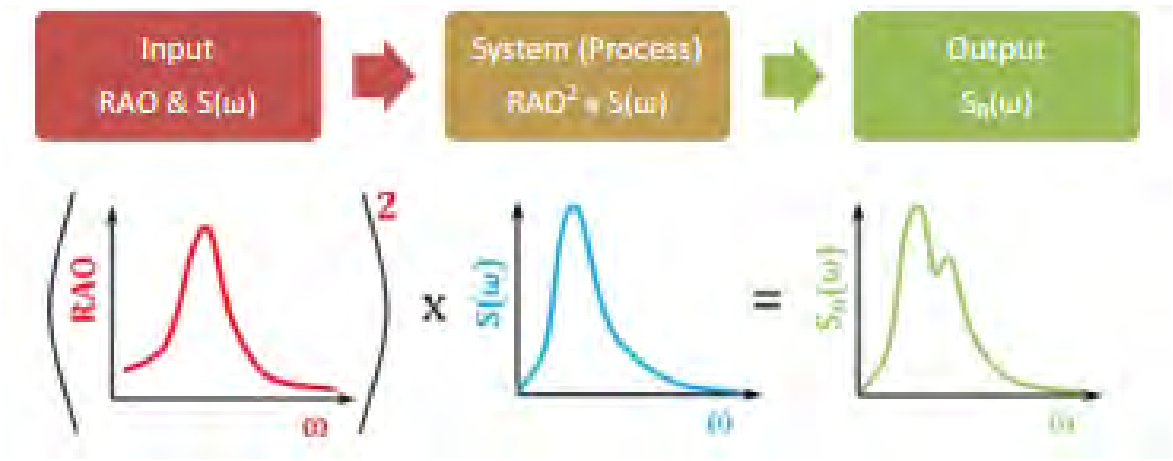
Input wajib untuk *Wave Loads* berupa: frekuensi gelombang (rad/s), *wave headings* (deg), kedalaman perairan (m). Ada juga beberapa parameter yang dapat dimasukkan sebagai parameter opsionak : *reference length,* percepatan akibat gravitasi, kepadatan masa air.

Agar dapat menyelesaikan persamaan gerak seperti dituliskan di atas, user harus menentukan posisi *center of gravity* (CoG), radius girasi, dan *Point of Bouyancy* (PoB). Setelah menyiapkan file-file input seperti yang telah disebutkan di atas beserta sifat mekanik kapal, *user* dapat memulai perhitungan gerakan yang nantinya akan mengeluarkan hasil *Respons Amplitude Operator* (RAO).

Untuk simulasi dengan model numeris dan model eksperimen pada gelombang reguler,model akan dianalisa saat *Zero speed* dengan arah gelombaang *Heading waves* 180°.

3.5.2 Respons Bangunan Laut Di gelombang Acak

Repons struktur pada gelombang acak dapat dilakukan dengan mentransformasikan spekstrum gelombang menjadi spektrum respon. Spektrum respon didefinisikan sebagai repons kerapatan energi pada struktur gelombang. Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan harga pangkat kuadrat dari *Response Amplitude Operator* (RAO) dengan spektrum gelombang.



Gambar 3. 3 Transformasi Spektra Gelombang menjadi Spektra Respons

Setelah spektrum respon diperoleh maka intensitas gerakan dapat dihitung sebagai fungsi luasan di bawah kurva spektrum respon atau merupakan variasi elevasi gerakan. Berdasarkan hasil luasan dibawah kurva Spektra Respons akan didapatkan harga-harga statistik gerakan sebagai fungsi varian elevasi gerakan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV
PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI EKSPERIMEN

4.1 Pendahuluan

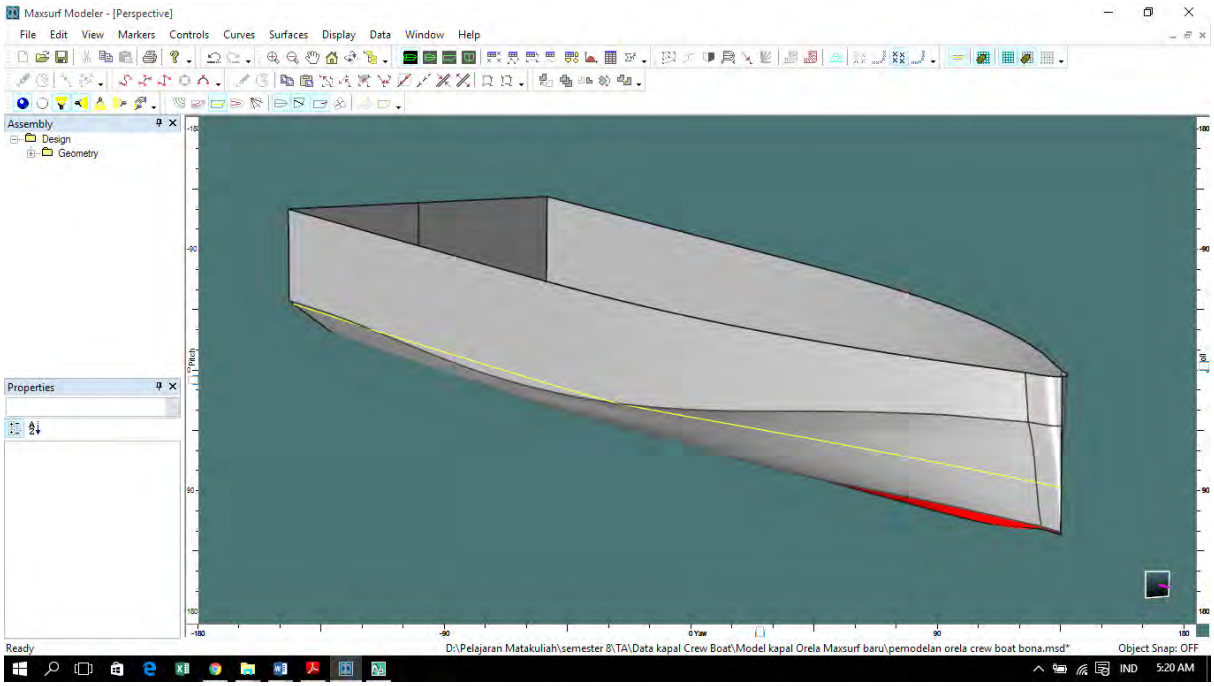
Pada Bab III sebelumnya telah disinggung bahwa pada penelitian ini analisa *seakeeping* dikaji dalam kondisi gelombang reguler. Pada Bab IV ini akan dijelaskan bagaimana memodelkan kapal *crew boat* Orela untuk kemudian dianalisa *seakeeping*-nya menggunakan metode numerik. Prosedur dan tahapan dalam menghitung *seakeeping* kapal melalui *software* Ansys Aqwa, dan simulasi eksperimen juga akan dijabarkan pada Bab ini.

4.2 Pembuatan Model Lambung Kapal *Crew boat* Orela dengan menggunakan *sofware* Maxsurf.

4.2.1. Permodelan Kapal *Crew boat* Orela tanpa *foil* belakang

Dari Lines Plan yang sudah didapatkan, bentuk kapal *crew boat* Orela harus disimulasikan dalam bentuk tiga dimensi. Hal ini dilakukan sebagai inputan model NURB surface yang akan dilakukan pada program ansys aqwa. Dalam pembuatan model kapal *crew boat* Orela di maxsurf modeller, model maxsurf memiliki bentuk yang dan karakteristik yang sama dengan model pengujian towing tank.

Untuk membuat model kapal *crew boat* Orela di Maxsurf harus dibuat surface kapal. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah membentuk *surface* adalah dengan cara pilih perintah surface kemudian add surface, pilih *surface* sesuai keperluan. Dalam setiap *surface* terdapat beberapa *control point* dan *control point* terbentuk dari input ukuran untuk merubah letaknya, diantaranya adalah *longitudinal position* mewakili sumbu-x, *offset* mewakili sumbu-y, dan *height* mewakili sumbu-z. Titik acuan perhitungan berada pada settingan titik *zero point.* Dari control point inilah *surface* dapat dibentuk sesuai dengan bentuk ukuran kapal.



Gambar 4. 1 Model Kapal Crew boat Orela Tanpa Foil belakang pada Maxsurf Pro

Ketika semua *surface* telah dibentuk sesuai dengan bentuk rencana garisnya maka langkah terakhir yang harus dilakukan adalah melakukan penggabungan seluruh *surface* yang telah dibuat dengan *tools Bonding*. Ada persyaratan yang harus dilakukan ketika melakukan penggabungan atau dalam perintah maxsurf pro disebut *bond edge*, yakni dua *surface* yang akan di gabung harus memiliki jumlah *coloumn* dan *row* yang sama. Apabila berbeda maka perintah *bond edge* tidak bisa dilakukan. *Bond edge* tidak bisa dilakukan pada *surface* yang hanya memiliki dua *control point*.

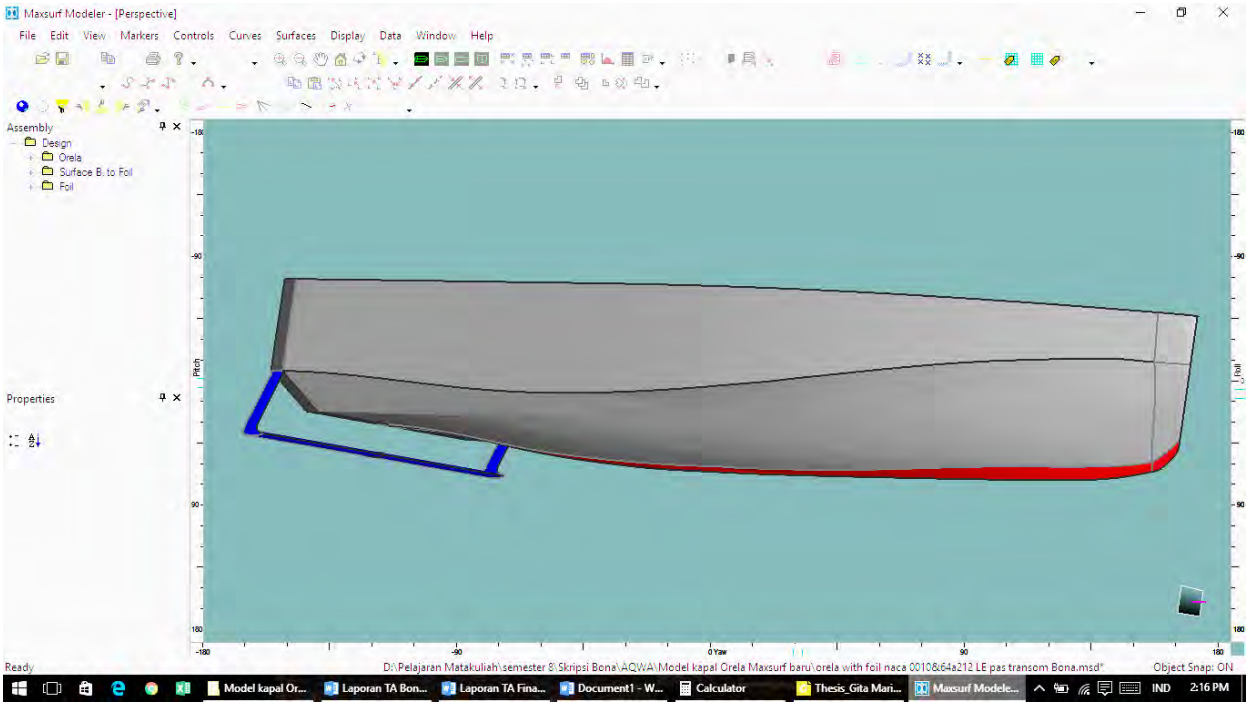
Setelah model selesai dibuat dilakukan running hidrostatis pada Maxsurf modeller untuk melakukan validasi ukuran model maxsurf dengan model kapal *Crewboat* Orela sebenarnya. Toleransi kesalahan yang digunakan pada Tugas akhir ini sebesar 2%, sehingga diharapkan model yang dibuat dapat mendeskripsikan karakteristik objek yang diteliti .Berikut hasil validasi model *Crewboat* Orela.

Tabel 4. 1.Validasi Hidrostatik Crewboat Orela pada maxsurf

No.	Komponen	Nilai		Unit	Selisih [%]
		Data Kapal	Data Maxsurf		
1	L_{OA}	40	40	m	0
2	B	8	8	m	0
3	H	4.4	4.4	m	0
4	T	1.7	1.7	m	0
5	Displacemen	242.716	239.1	ton	1.490
6	C_B	0.437	0.435		0.458
7	C_M	0.606	0.605		0.165
8	C_P	0.721	0.718		0.416
9	WPA	238.79	238.354	m^2	0.183
10	VCB	1.118	1.119	m	0.089
11	LCB	15.352	15.348	m	0.026

4.2.2. Modifikasi Penambahan Foil Belakang pada kapal *Crew Boat* Orela

Setelah model lambung kapal *Crew Boat* Orela dibuat, langkah selanjutnya adalah dengan menambahakan *foil* belakang pada model kapal tersebut menggunakan bantuan *software* Maxsurf Pro. Dimana penambahan *foil* dilakukan pertama-tama dengan menambahkan surface baru yang telah dibentuk sesuai dengan pemilihan jenis Foil dan Strut yang akan digunakan yaitu jenis NACA 64A212 dan NACA 0010 seperti yang telah disebutkan pada bab 3. Karena pada *software* Ansys AQWA surface model yang dibaca harus menjadi satu kesatuan maka dilakukan proses bonding foil sesuai dengan jumlah control point yang akan dijadikan satu surface, dari surface kapal dengan surface baru yang dibuat untuk penambahan *foil* belakang.



Gambar 4. 2 Model Kapal Crewboat Orela dengan Foil belakang pada Maxsurf Pro

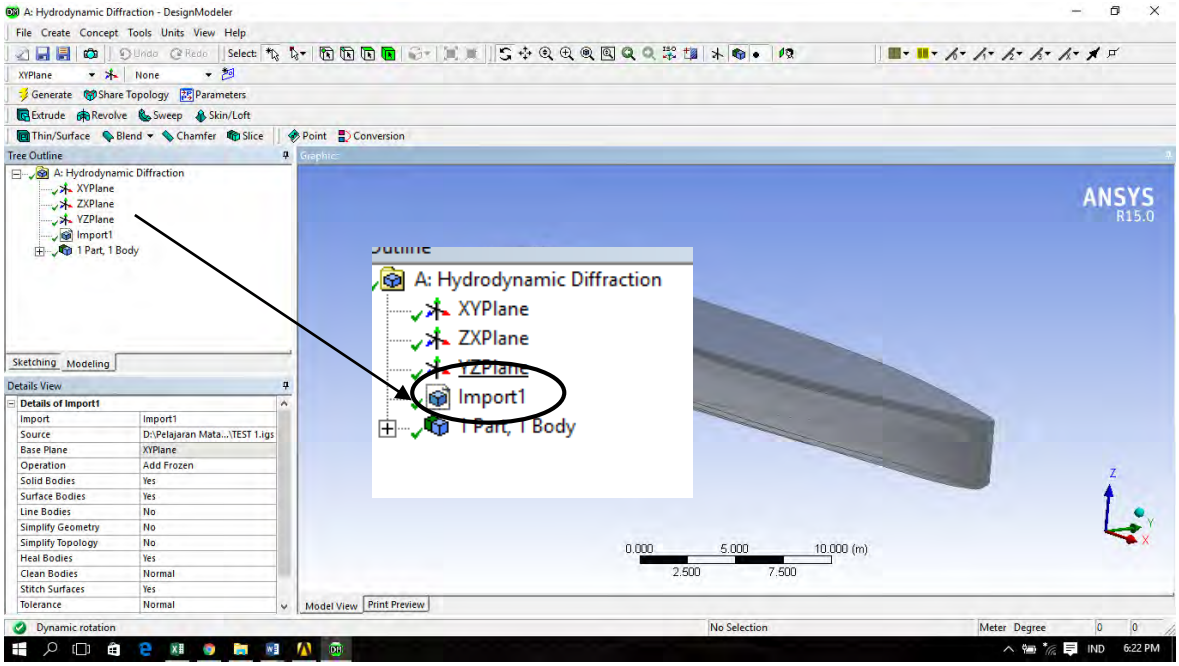
4.3 Permodelan Kapal *Crew boat* Orela pada Ansys Aqwa

4.3.1. Permodelan Kapal *Crew boat* Orela tanpa *foil* belakang pada Ansys Aqwa

Setelah model kapal *Crew boat* Orela tanpa *foil* belakang dimodelkan dalam bentuk 3D pada maxsurf modeler, maka langkah selanjutnya adalah melakukan *running* model pada program Ansys Aqwa. Sebelum melakukan proses *running*, langkah awal adalah mentransfer file geometri dalam bentuk maxsurf.msd ke dalam program Ansys Aqwa. Langkah yang harus yang dilakuakan adalah mengubah bentuk file model dari Maxsurf.msd menjadi Maxsurf. Igs. Pada *tools export* dalam maxsurf terdapat pilihan *export* to IGS, *tools* tersebut merupakan proses export dimana file awal dalam format .msd menjadi bentuk NURB 3D surface.(igs). Format .igs adalah salah satu format permodelan yang mampu dibaca oleh Ansys Aqwa, maka dari itu hasil output .igs dari Maxsurf Pro yang akan digunakan sebagai inputan model pada program Ansys Aqwa.

Hal yang perlu diperhatikan saat melakukan input model pada Ansys Aqwa adalah model yang dimasukkan harus dibaca satu body. Jika format igs yang dimasukkan berupa multi body, maka proses running tidak bisa dilakukan. Oleh karena itu perlu dilakukan

perbaikan pada geometri model di Maxsurf. Selain itu , surface kapal yang sudah dibentuk harus menghadap keluar (pointing outward).

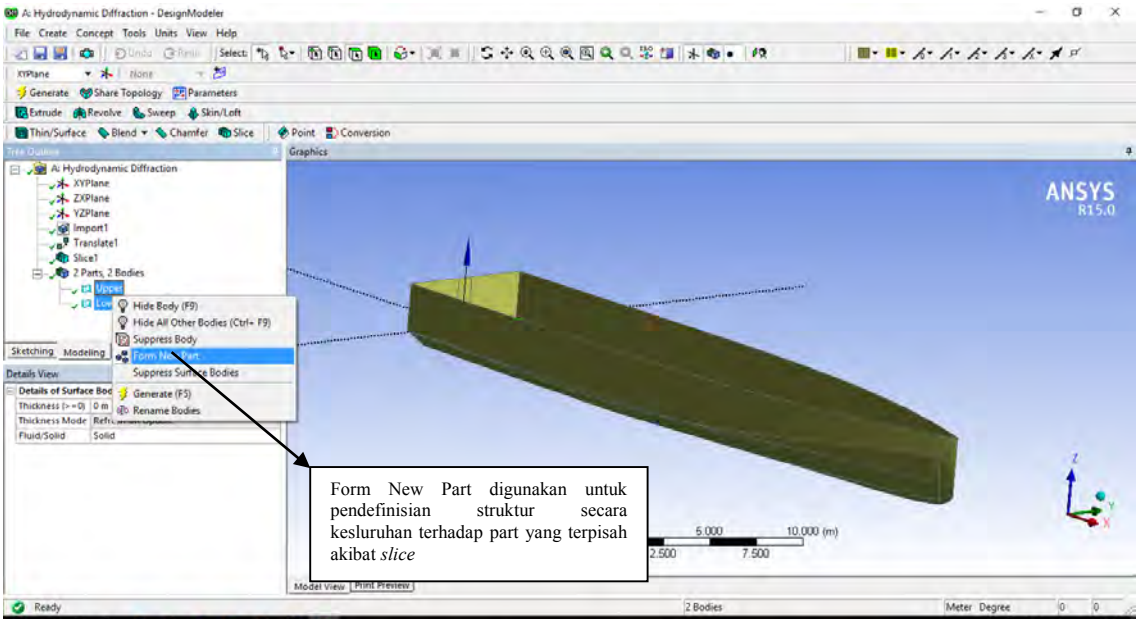


Gambar 4. 3 Import Geometri dengan Ceklist hijau yang menandakan Import berhasil

4.3.1.1 Pengaturan geometri pada Ansys Aqwa

Langkah–langkah yang akan dilakukan dalam pengaturan geometri pada Ansys Aqwa sebagai berikut :

- Langkah pertama adalah memilih body operation , lalu pilih translation .Langkah ini dilakukan untuk membuat posisi sarat kapal berada pada sumbu xy
- Pilih tool bar create – slice, kapal akan didefinisikan dalam bentuk body atas dan body bagian bawah garis air menjadi dua bagian sesuai koordinat pada perintah body operation.Langkah ini dilakukan karena sebelum melakukan proses running model kapal harus didefinisikan bagian tercelup dan bagian yang berada di atas air.
- Yang terakhir adalah joint part, pilih dua bagian kapal pada pohon perintah kemudian klik kanan pada mouse dan pilih perintah from new part. Langkah ini akan membuat model kapal menjadi satu body.

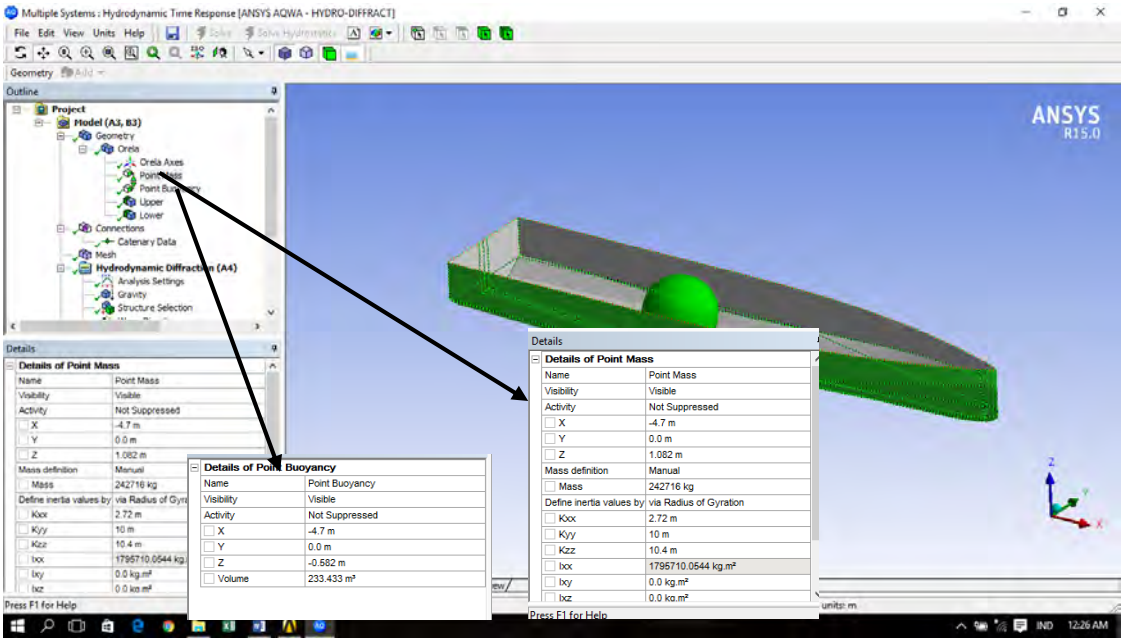


Gambar 4. 4 Geometri Kapal Crewboat Crewboat Orela

4.3.1.2 Proses meshing model *Crewboat* Orela pada Ansys Aqwa

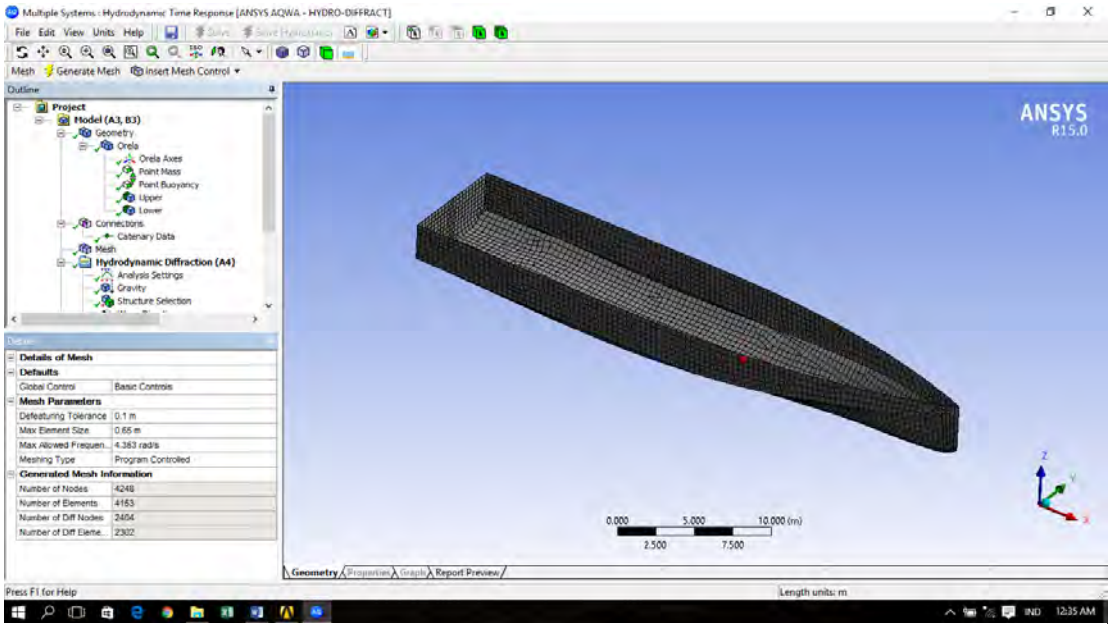
Setelah melakukan pengaturan geometri pada design modeler. Langkah selanjutnya adalah pendefinisan meshing dan parameter model kapal yang dibutuhkan untuk proses running. Langkah ini adalah proses terpenting dalam melakukan simulasi pada Ansys Aqwa. Proses meshing bertujuan untuk mendefinisikan kapal menjadi elemen elemen kecil sehingga nilai hidrodinamis dari model bisa didapatkan.Proses meshing sangat mempengaruhi hasil dari running karena semakin kecil meshing dan semakin banyak jumlah meshing maka akan semakin akurat hasil yang akan didapatkan. Langkah – langkah yang dapat dilakukan dalam proses meshing model antara lain :

- Mendefinisikan parameter dari media simulasi, seperti : ukuran media, massa jenis fluida, dan point mass dan point buoyancy dari model.Dalam pendefinisian massa dari model bisa dilakukan secara manual atau ditentukan langsung oleh program. Karena nilai massa dari kapal sudah didapatkan dari data ukuran utama kapal maka pendefinisian massa lebih baik dilakukan secara manual untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.



Gambar 4. 5 Penentuan Point mass dan Point Bouyancy Kapal Crewboat Orela

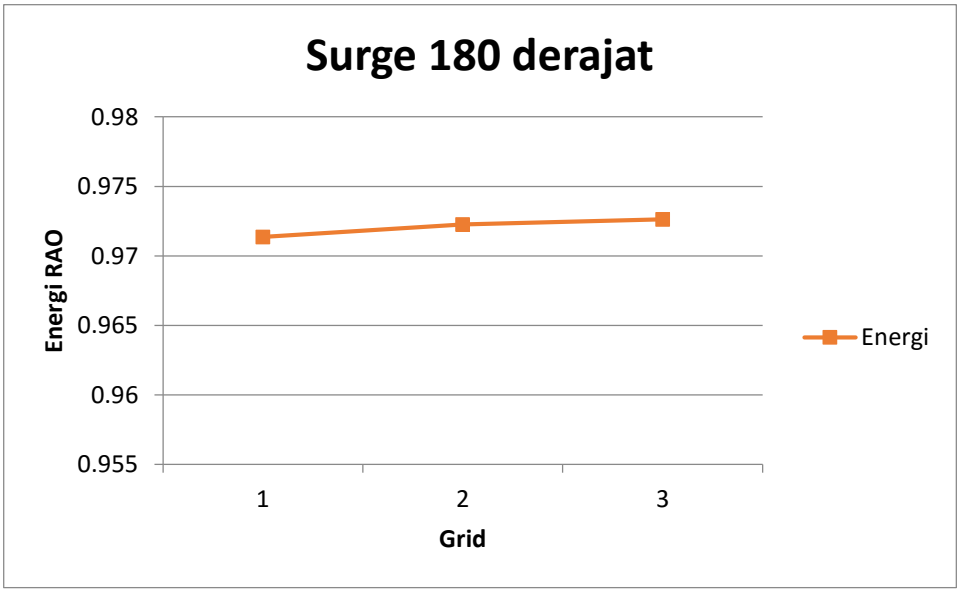
- Selanjutnya pada proses meshing, klik kanan meshing pada pohon perintah – insert mesh control – sizing. Masukan ukuran meshing yang diinginkan. Dalam Ansys Aqwa ada 3 pilihan jenis meshing yaitu : Surface meshing,Combined meshing dan program controlled. Semakin kecil ukuran meshing maka akan semakin bagus hasil running , namun tetap harus dilakukan konvergensi untuk mencari nilai meshing optimum. Meshing yang baik adalah meshing diperbanyak pada bagian kapal yang memiliki bentuk lengkungan seperti di haluan dll. Hasil meshing pada model pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Ganerate mesh Kapal Crewboat Orela

4.3.1.3 Independence Meshing

Meshing akan menentukan tingkat ketelitian hasil simulasi yang akan dilakukan, maka dari itu perlu dilakukan penentuan jumlah meshing yang akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan simulasi terhadap model. Semakin tinggi tingkat spesifikasi dari komputer yang akan digunakan maka semakin tinggi pula meshing yang dapat dibentuk dari model,selain itu banyaknya meshing yang dibuat maka semakin lama waktu proses running program yang dilakukan. Dalam simulasi permodelan kapal *Crewboat* Orela ini dibuat tiga macam jumlah meshing terhadap model kapal *Crewboat* Orela yang akan disimulasikan untuk selanjutnya ditentukan jumlah meshing yang paling optimal terhadap model kapal dan kemudian digunakan sebagai acuan untuk melakukan proses meshing.



Gambar 4. 7 Grafik Grid Independence Kapal Crewboat Orela

Dari Grafik konvergensi kapal *crew boat* Orela tanpa *foil* terlihat bahwa jumlah meshing yang optimum adalah grid nomor 2 karena nilai independence meshnya sebesar 0,09 %. (kurang dari 0,2%) dapat dilihat pada tabel 4.2. Pada ukuran elemen yang lebih kecil ,hasil yang diperoleh hanya memiliki selisih kurang dari 0,04% sedangkan waktu yang diperlukan untuk me-running program dapat bertambah lebih dari dua kali lipat waktu semula. Selanjutnya untuk running model kapal *Crewboat* Orela di Ansys Aqwa jumlah meshing, maximal element size yang digunakan adalah 0.47 meter dengan jumlah elemen 7508 dan jumlah node 7632.

Tabel 4. 2. Total Elemen & Jumlah Node berdasarkan Mesh Size

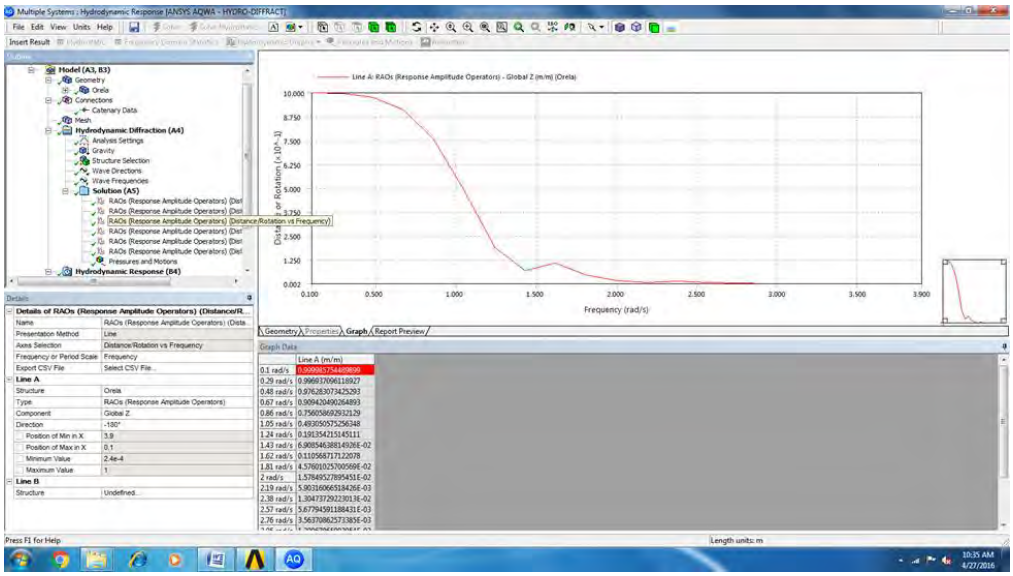
Grid	Mesh Size	Total Element	Jumlah Node
1	0.65	4159	4247
2	0.47	7508	7632
3	0.3	17576	17771

Tabel 4. 3. Tabel Energi dari masing-masing Grid

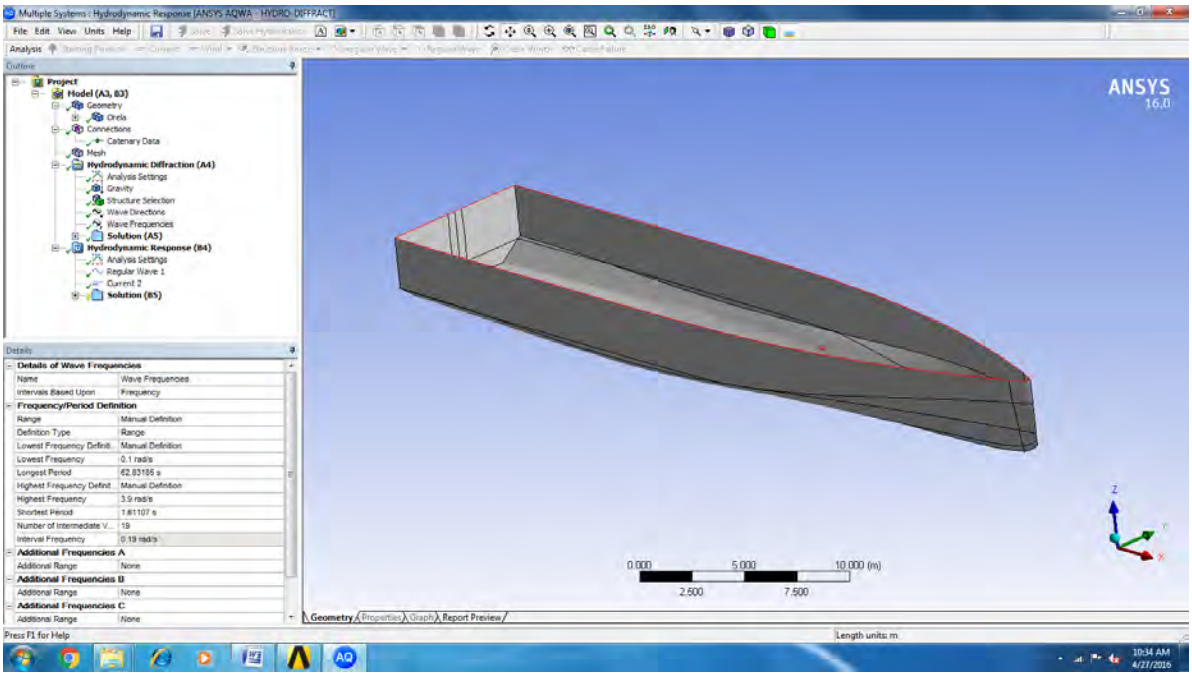
Grid	Max Element Size	Area	%
1	0.65	0.971359	
2	0.47	0.972259	0.09%
3	0.3	0.972625	0.04%

4.3.1.4 Menghitung *Transfer Functions Crew boat* Orela pada Ansys Aqwa

Pada proses solving ini adalah proses dimana kita akan menentukan hasil apa yang akan kita inginkan dari simulasi ini. Untuk simulasi ini hasil yang akan dimunculkan adalah RAO dari model kapal tanpa *foil* belakang. Untuk memasukan perintah perhitungan RAO dapat dilakukan dengan cara, klik kanan pada solution – insert result – RAOs- *Distance/Rtation vs Frequency*. Dalam sekali running didapatkan beberapa hasil sesuai dengan output yang telah ditentukan sebelumnya dalam menu solution. Sebelum proses solving dilakukan ada beberapa parameter yang harus ditentukan seperti wave frequency dan wave direction.



Gambar 4. 8 Frekuensi Gelombang Kapal Crew boat Orela tanpa menggunakan foil belakang

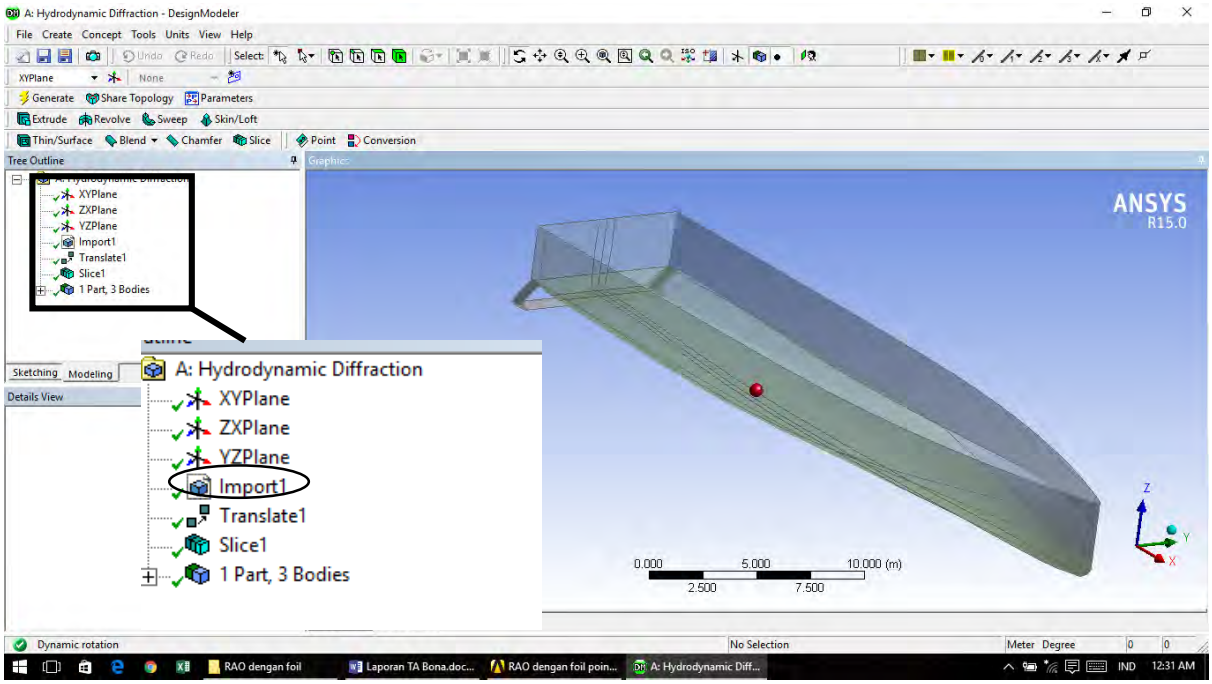


Gambar 4. 9 Frekuensi Gelombang Kapal Crew boat Orela tanpa menggunakan foil belakang

4.3.2. Permodelan Kapal Crew boat Orela dengan *foil* belakang pada Ansys Aqwa.

Setelah model kapal Crewboat Orela dengan *foil* dimodelkan dalam bentuk 3D pada maxsurf modeler, maka langkah selanjutnya adalah melakukan running model pada program Ansys Aqwa. Sebelum melakukan proses running, langkah awal seperti diatas adalah mentransfer file geometri dalam bentuk maxsurf.msd ke dalam program Ansys Aqwa. Langkah yang harus yang dilakuakan adalah mengubah bentuk file model dari Maxsurf.msd menjadi Maxsurf. Igs. Pada tools export dalam maxsurf terdapat pilihan export to IGS, tools tersebut merupakan proses export dimana file awal dalam format .msd menjadi bentuk NURB 3D surface.(igs). Format .igs adalah salah satu format permodelan yang mampu dibaca oleh Ansys Aqwa, maka dari itu hasil output .igs dari Maxsurf Pro yang akan digunakan sebagai inputan model pada program Ansys Aqwa.

Hal yang perlu diperhatikan saat melakukan input model pada Ansys Aqwa adalah model yang dimasukkan harus dibaca satu *surface*. Jika format igs yang dimasukkan berupa multi body, maka proses running tidak bisa dilakukan. Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan pada geometri model di Maxsurf. Selain itu , surface kapal yang sudah dibentuk harus menghadap keluar (pointing outward).



Gambar 4. 10 Import Geometri dengan ceklist hijau yang menandakan import berhasil

4.3.2.1. Pengaturan geometri pada Ansys Aqwa

Langkah–langkah yang akan dilakukan dalam pengaturan geometri pada Ansys Aqwa sebagai berikut :

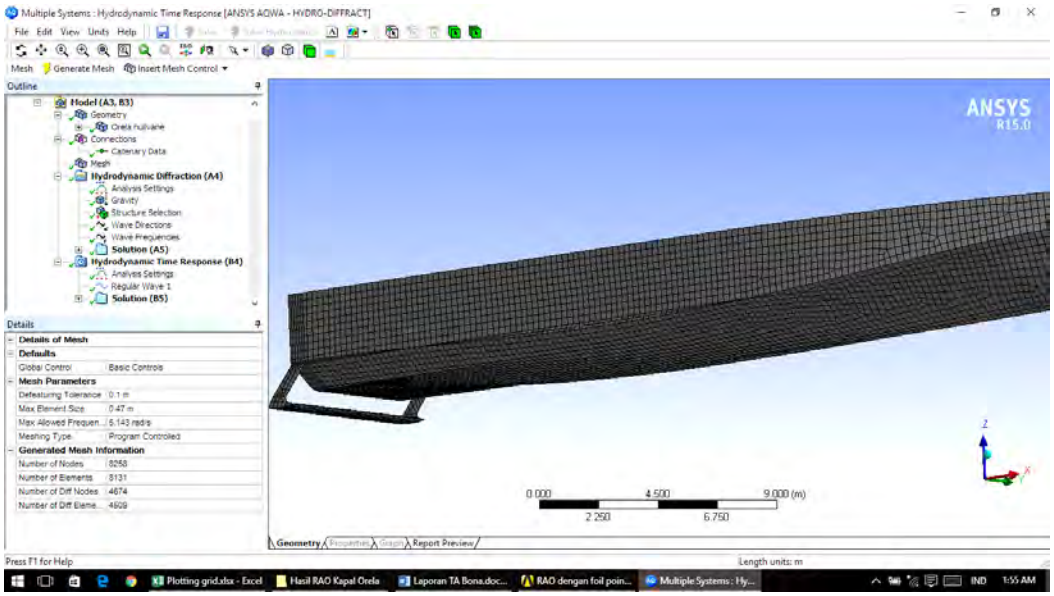
- Langkah pertama adalah memilih body operation , lalu pilih translation .Langkah ini dilakukan untuk membuat posisi sarat kapal berada pada sumbu xy
- Pilih tool bar create – slice, kapal akan didefinisikan dalam bentuk body atas dan body bagian bawah garis air menjadi dua bagian sesuai koordinat pada perintah body operation.Langkah ini dilakukan karena sebelum melakukan proses running model kapal harus didefinisikan bagian tercelup dan bagian yang berada di atas air.
- Yang terakhir adalah joint part, pilih dua bagian kapal pada pohon perintah kemudian klik kanan pada mouse dan pilih perintah from new part. Langkah ini akan membuat model kapal menjadi satu body.

4.3.2.2. Proses meshing model kapal *Crewboat* Orela pada Ansys AQWA

Setelah melakukan pengaturan geometri pada design modeler. Langkah selanjutnya adalah pendefinisan meshing dan parameter model kapal yang dibutuhkan untuk proses running. Langkah ini adalah proses terpenting dalam melakukan simulasi pada Ansys Aqwa. Proses meshing bertujuan untuk mendefinisikan kapal menjadi elemen elemen kecil sehingga nilai hidrodinamis dari model bisa didapatkan.Proses meshing sangat mempengaruhi hasil dari

running karena semakin kecil meshing dan semakin banyak jumlah meshing maka akan semakin akurat hasil yang akan didapatkan. Langkah – langkah yang dapat dilakukan dalam proses meshing model antara lain :

- Mendefinisikan parameter dari media simulasi, seperti : ukuran media, massa jenis fluida, dan point mass dan point buoyancy dari model pada model kapal *Crew boat* Orela dengan penambahan *foil* belakang terjadi perbedaan input POB, data input POB diambil dari data yang diperoleh dari *software* maxsurf. Dalam pendefinisian massa dari model bisa dilakukan secara manual atau ditentukan langsung oleh program. Karena nilai massa dari kapal sudah didapatkan dari data ukuran utama kapal maka pendefinisian massa lebih baik dilakukan secara manual untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.
- Selanjutnya pada proses meshing, klik kanan meshing pada pohon perintah – insert mesh control – sizing. Masukan ukuran meshing yang diinginkan. Dalam Ansys Aqwa ada 3 pilihan jenis meshing yaitu : Surface meshing,Combined meshing dan program controlled. Semakin kecil ukuran meshing maka akan semakin bagus hasil running , namun tetap harus dilakukan konvergensi untuk mencari nilai meshing optimum. Meshing yang baik adalah meshing diperbanyak pada bagian kapal yang memiliki bentuk lengkungan seperti di haluan dll. Dalam hal ini jenis meshing yang digunakan sesuai dengan program controlled.



Gambar 4. 11 Ganerate mesh Kapal Crewboat Orela dengan foil belakang

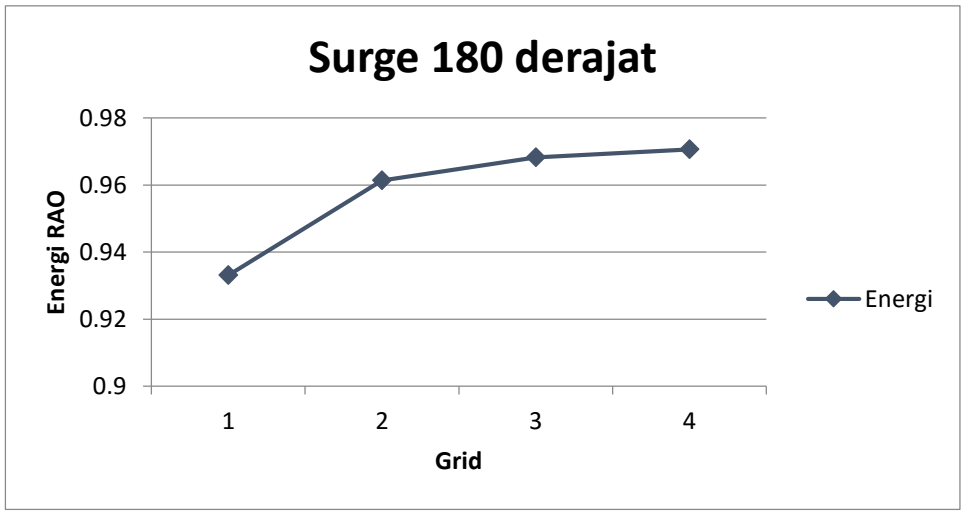
4.3.2.3. Independence Meshing

Hal yang sama seperti pada bab 4.3.2.1 Meshing akan menentukan tingkat ketelitian hasil simulasi yang akan dilakukan, maka dari itu perlu dilakukan penentuan jumlah

meshing yang akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan simulasi terhadap model. Dalam simulasi permodelan kapal *Crew boat* Orela ini dibuat empat macam jumlah meshing terhadap model kapal *Crew boat* Orela yang akan disimulasikan untuk selanjutnya ditentukan jumlah meshing yang paling optimal terhadap model kapal dan kemudian digunakan sebagai acuan untuk melakukan proses meshing.

Tabel 4. 4 Jumlah elemen untuk masing-masing mesh size

Grid	Mesh Size	Total Element	Jumlah Node
1	0.83	2259	2247
2	0.65	4106	4156
3	0.45	7869	7782
4	0.25	16576	16771



Gambar 4. 12 Grid Independence kapal *Crewboat* Orela dengan menggunakan *Foil*

Tabel 4. 5 Energi untuk masing-masing Grid

GRID	Max Element Size	Area	%
1	0.83	0.9331	
2	0.65	0.961359	2.94%
3	0.45	0.968259	0.71%
4	0.25	0.970625	0.24%

Dari Grafik konvergensi kapal *crew boat* Orela dengan foil terlihat bahwa jumlah meshing yang optimum adalah grid nomor 3 karena nilai independence meshnya sebesar 0,071 %. (kurang dari 0,2%) dapat dilihat pada tabel 4.5. Pada ukuran elemen yang lebih kecil ,hasil yang diperoleh hanya memiliki selisih kurang dari 0,014% sedangkan waktu yang diperlukan untuk me-running program dapat bertambah lebih dari dua kali lipat waktu semula. Selanjutnya untuk running model kapal *Crew boat* Orela di Ansys Aqwa jumlah meshing, maximal element size yang digunakan adalah 0.45 meter dengan jumlah elemen 7869 dan jumlah node 7782.

4.3.2.1. Menghitung Transfer Functions *Crew boat* Orela pada Ansys Aqwa

Pada proses solving ini adalah proses dimana kita akan menentukan hasil apa yang akan kita inginkan dari simulasi ini. Untuk simulasi ini hasil yang akan dimunculkan adalah RAO dari model kapal dengan foil belakang. Untuk memasukan perintah perhitungan RAO dapat dilakukan dengan cara, klik kanan pada solution – insert result – RAOs- Distance/Rtation vs Frequency. Dalam sekali running didapatkan beberapa hasil sesuai dengan output yang telah ditentukan sebelumnya dalam menu solution. Sebelum proses solving dilakukan ada beberapa parameter yang harus ditentukan seperti wave frequency dan wave direction.

4.4 Simulasi Eksperimen

Untuk menentukan besarnya hambatan, *power effective* (EHP), dan *Respon Amplitude Operator* kapal maka telah dibuat model kapal cepat milik PT Orela Shipyard dengan panjang keseluruhan (LOA) 40.0 m (dengan skala 1:40 dari kapal sesungguhnya) terbuat dari bahan *fibreglass reinforced plastics* (FRP) yang dilapisi cat dan resin.

Berikut merupakan data partikular kapal pada sarat : 1.7 m

Tabel 4. 6. Data Partikular kapal pada sarat : 1.7 m

Dimensi Partikular	Kapal	Model
LOA	40.00 m	1.0000 m
LPP	39.90 m	0.9975 m
B	8.00 m	0.2000 m
H	3.40 m	0.0850 m
T	1.70 m	0.0425 m
WSA	287.24 m^2	0.1795 m^2
Displacement	242.716 ton	3.7924 kg

Adapun variasi kondisi lingkungan seperti frekuensi gelombang (rad/s), setengah tinggi gelombang/ Amplitudo (meter), Heading Angle (°), dan kecepatan kapal (Knot) adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 7.Variasi Pengujian Seakeeping pada Laboratorium Hidrodinamika

Periode [s]	Amplitudo (cm)	Heading Angle	Velocity [Knots]
0.5 0.7 0.9 1.1 1.3	1.2	180°	0
			22

4.4.1 Prosedur Percobaan

Percobaan model kapal dilaksanakan di Laboratorium Hidrodinamika, Jurusan Teknik Perkapalan, ITS dengan ukuran tangki percobaan sebagai berikut:

Panjang	: 50 meter	Lebar	: 3 meter
Dalam	: 2 meter	Sarat	: 1.83 meter

Kereta penarik model kapal menggunakan 4 buah motor listrik linier yang memungkinkan dicapainya kecepatan konstan yang diinginkan dengan waktu yang relatif singkat sehingga tersedia waktu pengukuran yang cukup sebelum kereta berhenti pada ujung tangki atau kolam. Selama percobaan, model kapal ditarik oleh kereta dengan mempergunakan poros vertikal yang dilengkapi dengan sensor untuk mengukur simpangan yang didapatkan selama pengujian dilakukan, dimana terdapat dua sensor yang diletakan dibagian depan kapal dan bagian belakang kapal untuk mengetahui besarnya simpangan yang terjadi di kedua sensor tersebut dapat diketahui pada saat uji tarik dengan gelombang reguler tertentu.

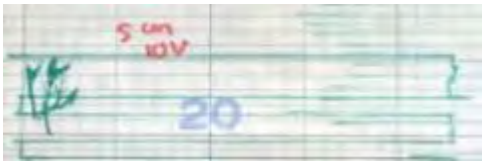
4.4.2 Pemasangan model Kapal

Kapal diletakan pada posisi centerline, kemudian model diletakan pada posisi garis air dengan ballasting apabila diperlukan pada kondisi even keel. Memasang model kapal ke pengait (usahakan tidak mengubah posisi sarat), memasang profil logam ke kereta dengan holder, mengikat model dan load cell dengan tali, dan memasang beban ke load cell dengan tali. Percobaan ini dilakukan dalam kondisi gelombang reguler dengan amplitudo gelombang 1.2 cm dan interval periode model 0.5s sampati 1.3s selama percobaan model kapal dapat melakukan analisa gerakan mengangguk (heaving dan pitching) secara bebas tetapi terbatas.

Percobaan tarik ini dilakukan pada beberapa kecepatan (22 knots) sehingga dapat diperoleh grafik perbandingan Respon Amplitude Operator kapal dengan dan tanpa menggunakan *foil* belakang.

4.4.3 Kalibrasi Alat

Kalibrasi Zero set untuk semua peralatan dengan cara menekan tombol kalibrasi (pada alat) unuk melihat hasil konversi kalibrasi (standard load cell). Memasukkan bandul yang sudah ditali ke dalam tranduser sampai dasar tranduser. Tandai benang yang berada pada permukaan tertinggi pada Tranduser, tarik bandul yang ada dalam tranduser kemudian tandai benang lagi menjadi setengah dari tanda yang ada pada titik sebelumnya. Setelah ditandai, lewatkan tali pada roll yang ada pada tranduser hingga tanda setengah yang ada pada benang sampai pada permukaan atas tranduser. Usahakan posisi tranduser tetap tegak lurus agar memudahkan untuk membuat nilai nol pada amplifier, kemudian membuat nilai pada amplifier menjadi nol. Kemudian tarik benang yang melewati roll pada tranduser hingga 5 cm, setelah benang ditarik 5 cm diharuskan untuk memastikan amplifier yang ada agar voltage yang ada pada apmlifier bernilai 10 volt.



Gambar 4. 13 Hasil kalibrasi pada sensor bagian depan kapal.

Gambar 4. 14 Hasil kalibrasi pada sensor bagian belakang kapal.

Pada gambar 4.21 menunjukkan hasil kalibrasi sensor bagian depan kapal dimana 5 cm diwakilkan oleh 23 kotak pada strip chart dan padan gambar 4.22 menunjukkan hasil kalibrasi sensor bagian belakang kapal dimana 5 cm mewakilkan 24.2 kotak pada strip chart. Data kalibrasi tersebut diperlukan untuk membaca hasil simpangan yang digambarkan pada strip chart pada saat pengujian, sehingga dapat diketahui besar simpangan yang terjadi selama uji tarik dilakukan.

4.4.4 Pelaksanaan seakeeping model kapal

Menyalakan mesin wave maker kemudian setting dengan amplitudo 1.2 cm dengan interval periode 0.5s sampai dengan 1.3 s. Kapal dapat diuji dalam keadaan *Zero speed* maupun dengan kecepatan, dalam percobaan yang telah dilakukan kapal diuji pada saat kondisi *zero* speed dan dengan kecepatan 22 knots. Kemudian menghitung jumlah kotak yang muncul pada strip chart untuk kemudian dicari Respon Amplitude Operator yang nantinya dapat ditampilkan dalam bentuk grafik.

Gambar 4. 15 Pengujian Seakeeping pada amplitudo model 1.2 cm dan Periode 1.1 detik dengan menggunakan Foil belakang.

S

Gambar 4. 16 Pengujian Seakeeping pada amplitudo model 1.2 cm dan Periode 1,1 detik tanpa menggunakan Foil belakang.

4.4.5 Hasil Pengujian Seakeeping dengan dan tanpa menggunakan *foil* belakang

Model diuji pada gelombang reguler, dimana amplitudo ketinggian gelombang reguler pada towing tank sebesar 1.2 cm dengan variasi periode 0.5 (s), 0.7 (s), 0.9 (s), 1.1 (s), dan 1.3 (s). Dari hasil uji tarik didapatkan bentuk simpangan yang tertera pada strip chart yang kemudian dikonversikan menjadi *Respon Amplitude Operator Heave* dan *Pitch* pada setiap periode gelombang yang divariasikan.

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

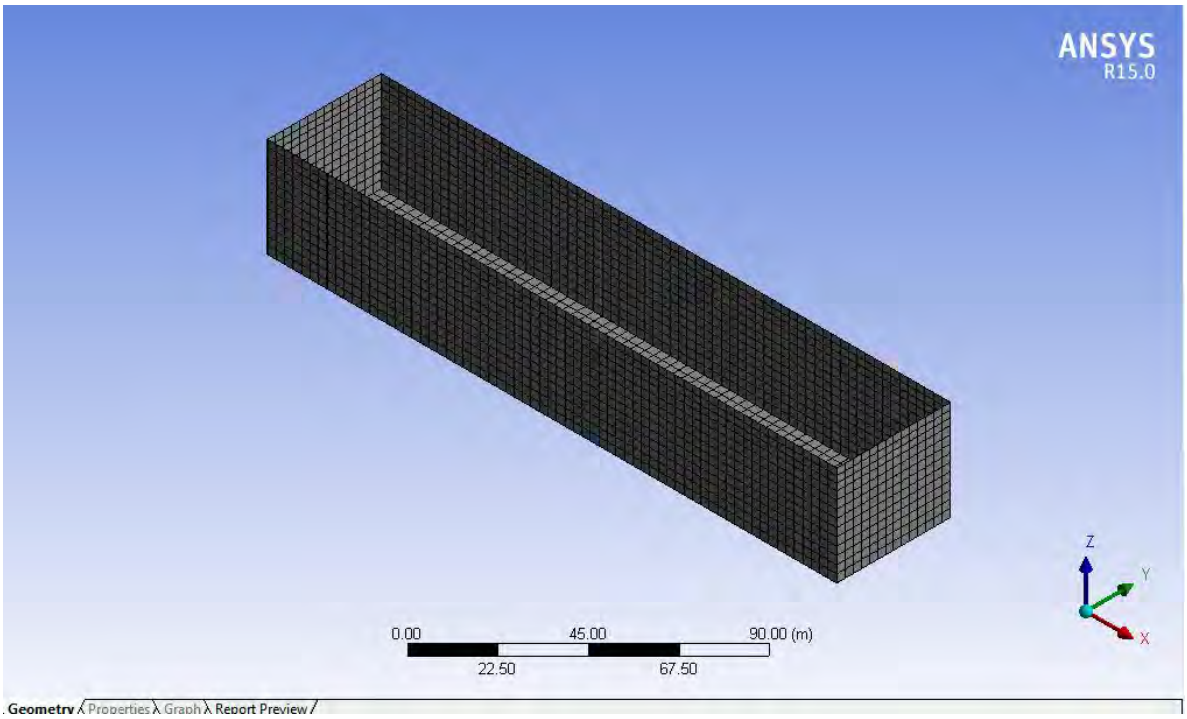
Jika pada Bab IV dibahas mengenai cara memodelkan kapal *Crewboat* Orela dengan dan tanpa menggunakan foil belakang disamping itu juga cara simulasi eksperimen dan juga bagaimana cara mendapatkan hasil RAOnya, maka pada Bab ini akan didiskusikan pembahasan selanjutnya mengenai verifikasi hasil RAO Box yang diperoleh melalui *software* Ansys Aqwa dengan hasil RAO Box yang telah diperoleh dengan menggunakan *Sofware* WAMIT serta hasil evaluasi respons spektrum pada beberapa tinggi gelombang signifikan (*Hs*) dengan menggunakan spektrum gelombang ITTC.

5.2 Validasi Balok

Validasi hasil RAO yang dihasilkan software Ansys Aqwa diperlukan setelah melakukan running model kapal Crew boat, hal pertama yang harus dilakukan adalah melakukan validasi program Ansys Aqwa untuk memastikan parameter inputan yang digunakan pada Ansys Aqwa sudah benar. Paper yang digunakan untuk melakukan validasi ini adalah paper yang berjudul "Hydrodynamic Analysis Comparison Study" yang diterbitkan oleh McDermot. Dari paper yang dipublikasikan oleh McDermot terdapat model yang digunakan sebagai objek penelitian perhitungan RAO dari enam derajat kebebasan. Dengan menggunakan model yang sama yang akan kita gunakan sebagai objek simulasi pada Ansya Aqwa parameter hasil transfer functions tersebut akan dibandingkan. Ukuran model balok terdapat pada paper dengan geometri dan jumlah panel sebagai berikut :

- Panjang (m) : 200
- Lebar (m) : 40
- Sarat (m) : 28
- Displacement (ton) : 229.645
- Center of gravity (KG) : 28
- Jumlah panel : 1264

Dengan acuan geometri tersebut maka permodelan mada maxsurf modeler dapat dilakukan dengan cara membuat surface bertipe balok dan kemudian menyesuaikan ukurannya dengan model paper McDermot.

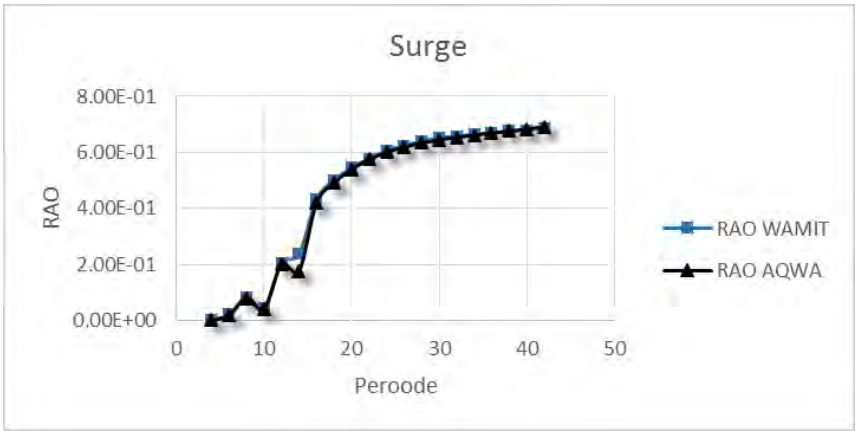


Gambar 5. 1 Meshing Model Balok pada Ansys Aqwa

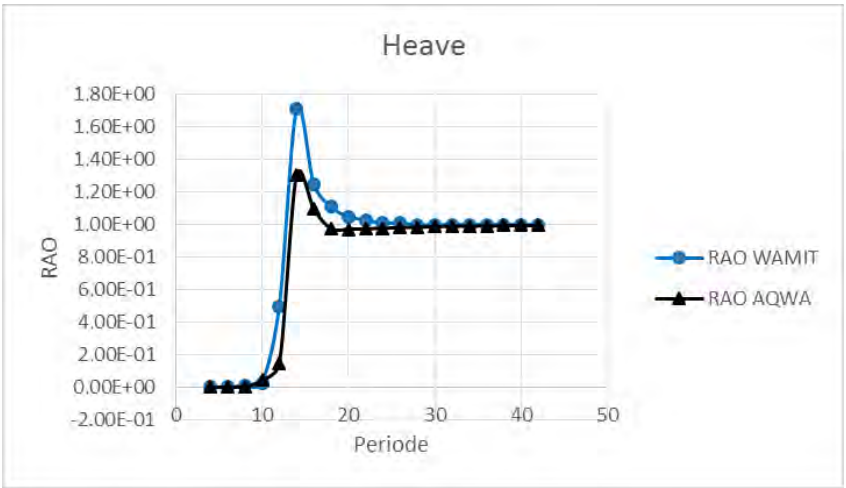
Input beberapa kondisi yang diperlukan dalam proses running pada Ansys Aqwa adalah sebagai berikut :

- Water Depth = 1000 m
- Water Density = 1025 Kg/m²
- Total Structural Mass = 229645000.126 Kg
- Kxx = 12.20656 m, Kyy = 54.88372 m, Kzz = 55.34639 m
- Number Of Elements = 3044
- Gravity = 9.80665 m/s²
- Stern Quartering head seas ($\mu = 45^{o}$)
- Longest Period = 42, Shortest Period = 4, & Interval Period = 2

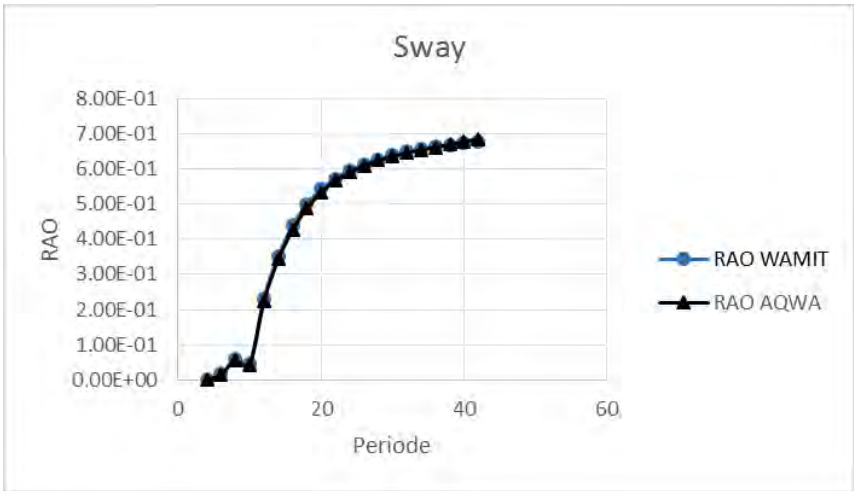
5.1.1 Respon Amplitude Operator (RAO)



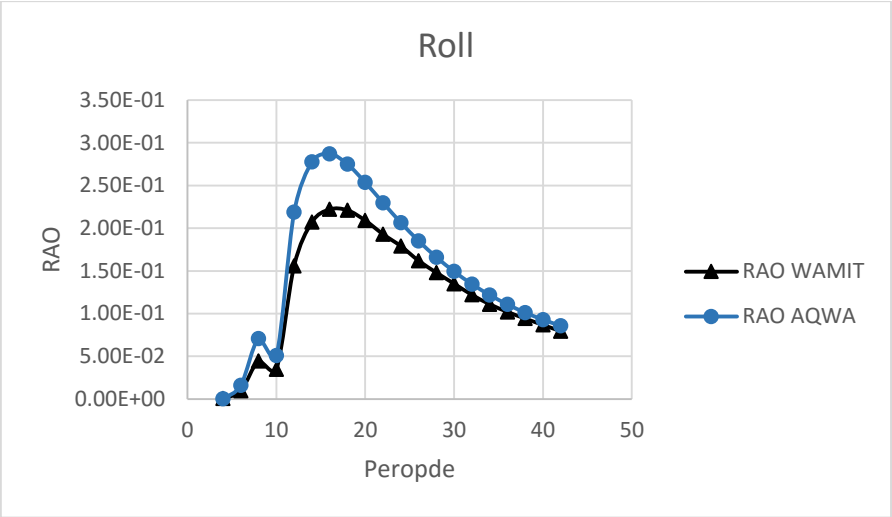
Gambar 5. 2 Perbandingan RAO Wamit dengan Ansys Aqwa untuk gerakan Surge



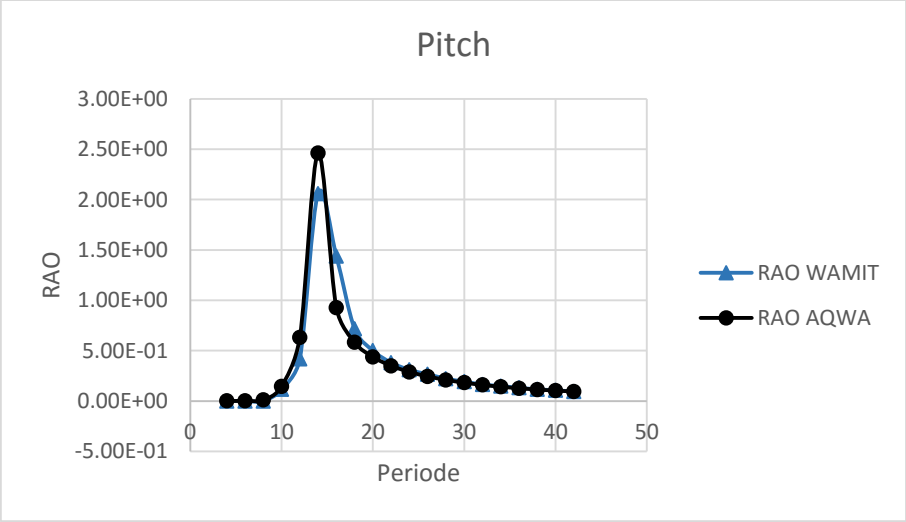
Gambar 5. 3 Perbandingan RAO Wamit dengan Ansys Aqwa untuk gerakan Heave



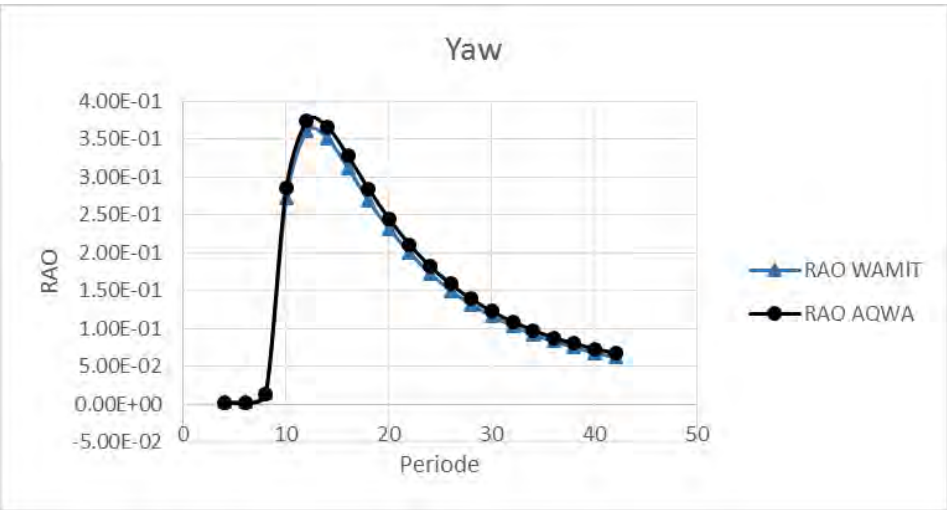
Gambar 5. 4 Perbandingan RAO Wamit dengan Ansys Aqwa untuk gerakan Sway



Gambar 5. 5 Perbandingan RAO Wamit dengan Ansys Aqwa untuk gerakan Roll



Gambar 5. 6 Perbandingan RAO Wamit dengan Ansys Aqwa untuk gerakan Pitch



Gambar 5. 7 Perbandingan RAO Wamit dengan Ansys Aqwa untuk gerakan Yaw

5.3 Hasil Simulasi Eksperimen

Model diuji pada gelombang reguler dengan rentang periode model 0.5 detik sampai 1.3 detik dengan rentang interval 0.2 detik, sudut hadap 180°, pada kondisi dan kecepatan 22 Knots, dan juga tinggi amplitudo gelombang 1.2 cm dimana hasil akhir yang diperoleh dari hasil uji eksperimen ini berupa *Respon Amplitude Operator*. Untuk mengetahui besarnya RAO *Heave* dan *Pitch* hasil simpangan pada *stripchart* harus dikonversi menjadi plot data dengan persamaan *Heave* dan *Pitch.* Namun perlu dilakukan konversi periode gelombang yang diuji pada model kapal menjadi periode *full scale*, dimana konversi tersebut dapat menggukan tabel 5.1 berikut

Tabel 5. 1 Konversi parameter model ke parameter Full Scale

Parameter	full Scale Vessel	Model
Length	L	L/λ
Time	t	t/λ^2
Velocity	V	$V/\lambda^{1/2}$
Frequency	ω	ωλ½

(Bhattacharyya, 1978)

Dimana telah diketahui bahwa λ merupakan skala model kapal (λ=40) dengan persamaan 5.1 dan dimana hasil konversi periode model ke periode *full Scale* dapat dilihat pada tabel 5.2 sebagai berikut:

$$\frac{Ls}{Lm} = \frac{Bs}{Bm} = \frac{Ts}{Tm} = \lambda \tag{5.1}$$

Tabel 5. 2 Hasil Konversi Periode pengujian model kapal ke periode Full scale

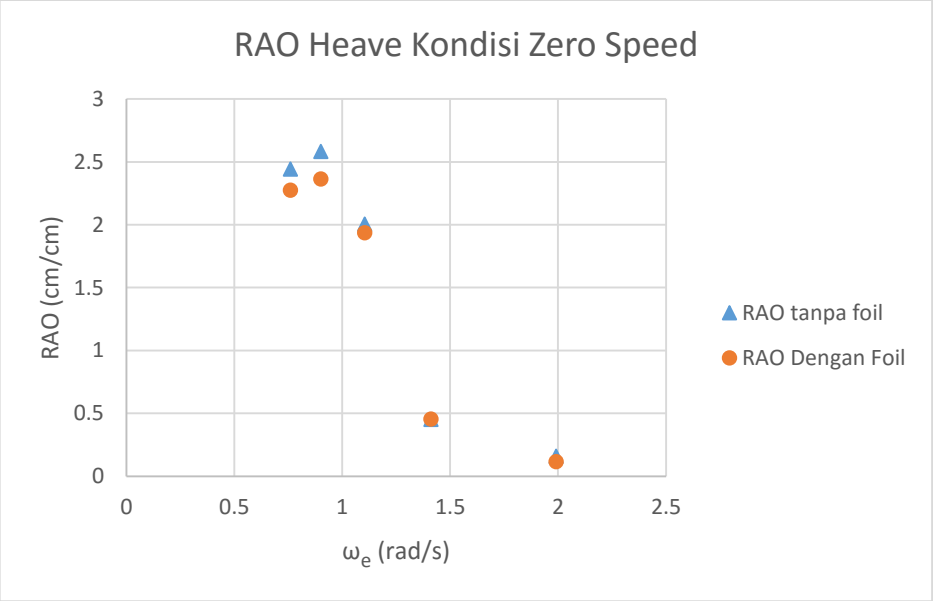
Periode Model (s)	Periode Full Scale (s)	Frekuensi Full Scale (Rad/s)
0.5	3.2	2.0
0.7	4.4	1.4
0.9	5.7	1.1
1.1	7.0	0.9
1.3	8.2	0.8

Untuk kapal dalam kodisi melaju maka analisis *Respons Amplitude Operator* harus memperhitungakan frekuensi papasan serta faktor koreksi arah propagasi gelombang dimana persamaan yang digunakan dapat dilihat pada persamaan 2.8. dan berikut dapat dilihat pada tabel 5.3 hasil frekuensi papasan ketika kapal dalam keadaan melaju 22 knots dan arah gelombang 180°.

Tabel 5. 3 Frekuensi Gelombang dan Frekuensi Gelombang papasan

Frekuensi Full Scale (ω) [rad/s]	Frekuensi Papasan (ω_e) [rad/s]
1.99	6.54
1.42	3.74
1.10	2.51
0.90	1.84
0.76	1.44

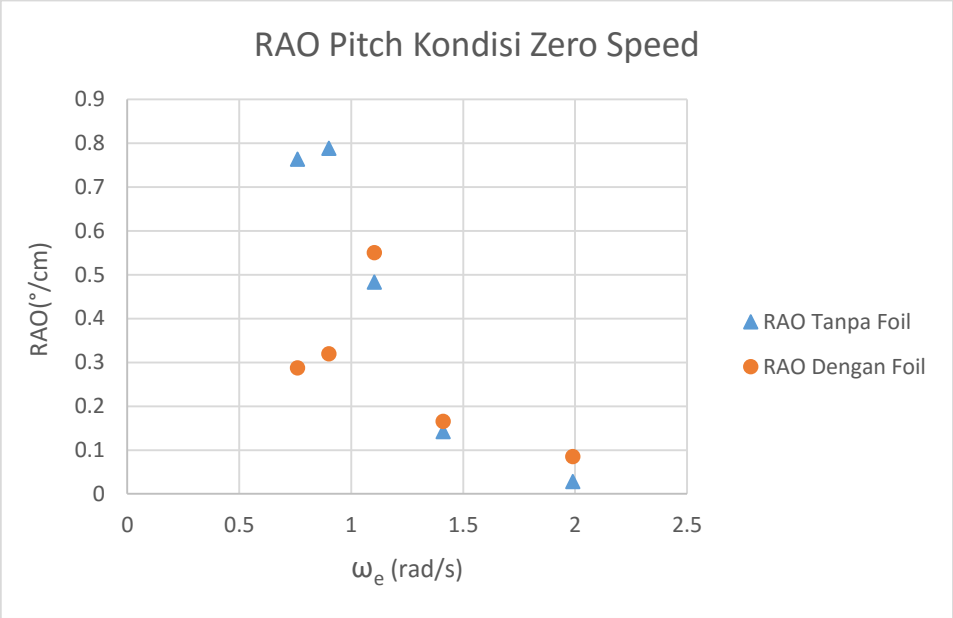
Hasil *Respon Amplitude Operator* kapal dengan dan tanpa menggunakan *foil* belakang disajikan pada gambar 5.8 sampai dengan gambar 5.11.



Gambar 5. 8 Perbandingan RAO *Heave* pada kondisi Zero Speed

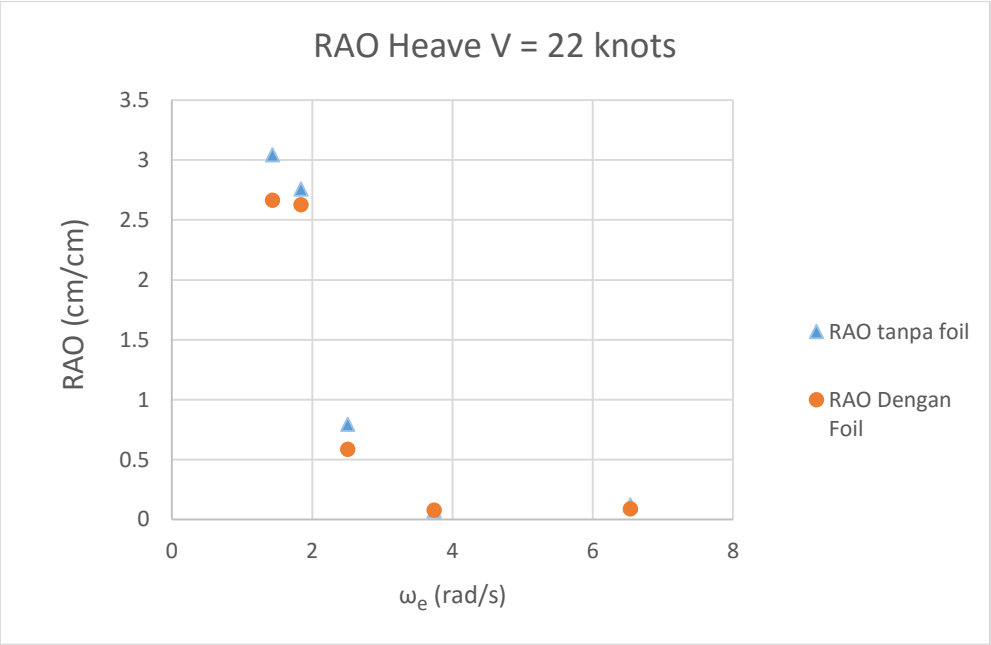
Dari plot titik RAO *Heave* hasil uji eksperimen kapal *Crew boat* Orela pada kondisi *zero speed* dapat dilihat pada gambar 5.8 perbandingan respon gerakan *Heave* dari kapal *Crew boat* Orela dengan dan tanpa menggunakan *foil* belakang, dimana pada frekuensi *encounter* 0.76 rad/s karakteristik gerakan *Heave* kapal *Crew boat* Orela dengan menggunakan *foil* adalah sebesar 2.27 cm/cm lebih kecil dibandingkan karakteristik gerakan kapal *Crew boat* Orela

tanpa menggunakan *foil* belakang pada frekuensi *encounter* yang sama yakni sebesar 2.44 cm/cm.



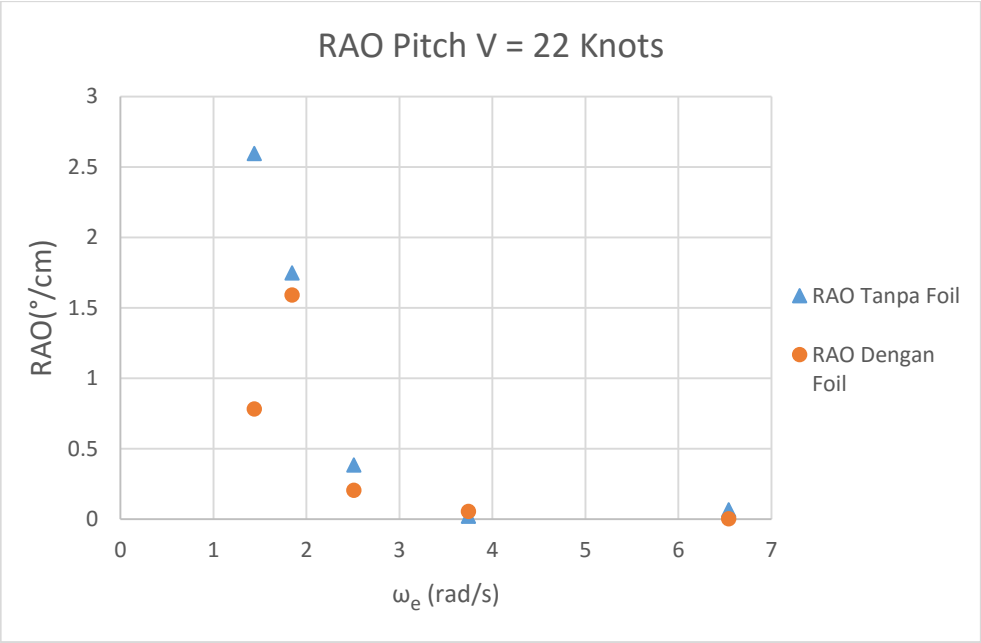
Gambar 5. 9 Perbandingan RAO *Pitch* pada kondisi Zero Speed

Untuk plot titik RAO *Pitch* hasil uji eksperimen kapal pada kondisi *zero speed* dapat dilihat pada gambar 5.9 perbandingan respon gerakan *Pitch* dari kapal *Crewboat* Orela dengan dan tanpa menggunakan *foil* belakang, dimana pada frekuensi *encounter* 0.76 rad/s sampai dengan 0.9 rad/s karakteristik gerakan *Pitch* kapal *Crewboat* Orela dengan menggunakan *foil* lebih kecil yakni 0.287(°/cm) dan 0.319(°/cm), bila dibandingkan dengan karakteristik gerakan kapal *crew boat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang pada rentang frekuensi *encounter* yang sama yakni sebesar 0.76(°/cm) dan 0.788(°/cm). Namun pada frekuensi *encounter* 1.103 rad/s sampai dengan 1.99 rad/s karakteristik gerakan *Pitch* kapal *Crewboat* Orela dengan dan tanpa menggunakan *foil* belakang relatif sama tetapi RAO *Pitch* kapal menggunakan *foil* belakang menunjukan hasil yang lebih besar dibandingkan dengan RAO *Pitch* kapal tanpa menggunakan *foil* belakang pada rentang frekuensi *encounter* yang sama. Hal tersebut dimungkinkan karena efek dari gaya angkat yang dihasilkan oleh *foil* belakang belum terbentuk dikarenakan belum ada aliran dengan kecepatan tertentu yang melalui permukaan.



Gambar 5. 10 Perbandingan RAO *Heave* pada Fn = 0.571

Dari plot titik RAO *Heave* hasil uji eksperimen kapal pada Fn = 0.571 dapat dilihat pada gambar 5.10 perbandingan respon gerakan *Heave* dari kapal *Crewboat* Orela dengan dan tanpa menggunakan foil belakang, dimana pada frekuensi *encounter* 1.44 rad/s sampai dengan 2.509 rad/s karakteristik gerakan *Heave* kapal Crewboat Orela dengan menggunakan foil relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan karakteristik gerakan kapal *Crew boat* Orela tanpa menggunakan foil belakang pada rentang frekuensi encounter yang sama. Dapat kita lihat pada saat frekuensi *encounter* 1.44 (rad/s) karakteristik respon gerakan *Heave* kapal *Crew boat* Orela dengan menggunakan *foil* belakang yakni 2.66 (cm/cm) lebih kecil dibandingkan dengan kapal *Crew boat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang sebesar 3.04 (cm/cm). Dapat kita lihat pada plot titik hasil RAO *Heave* diatas bahwa hampir pada setiap frekuensi *encounter* respon gerakan *Heave* kapal *Crew boat* Orela dengan menggunakan *foil* belakang memliki hasil yang relatif lebih kecil dibandinngkan dengan hasil RAO *Heave* kapal *Crew boat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang. Hal tersebut dapat terjadi karena *foil* belakang sudah memberikan gaya angkat sehingga dapat memperbaiki trim dan gerakan kapal *Crew boat* Orela seperti yang sudah dibahas pada bab 2.



Gambar 5. 11 Perbandingan RAO *Pitch* pada Fn = 0.571

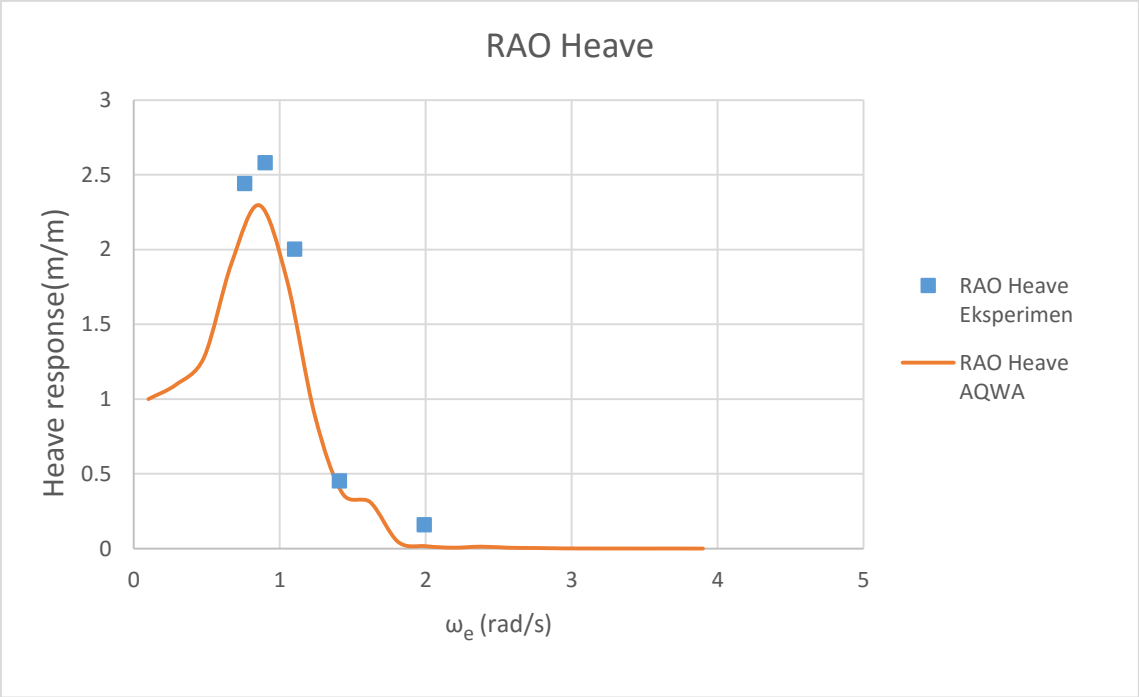
Dari plot titik RAO *Pitch* hasil uji eksperimen kapal pada Fn = 0.571 dapat dilihat pada gambar 5.11 perbandingan respon gerakan *Pitch* dari kapal *Crew boat* Orela dengan dan tanpa menggunakan *foil* belakang menunjukan trend yang sama dengan hasil plot titik RAO *Heave* yang telah dibahas pada halamana sebelumnya, dimana pada frekuensi *encounter* 1.44 rad/s sampai dengan 2.509 rad/s karakteristik gerakan *Pitch* kapal *Crew boat* Orela dengan menggunakan foil relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan karakteristik gerakan kapal *Crew boat* Orela tanpa menggunakan foil belakang pada rentang frekuensi *encounter* yang sama. Dapat kita lihat pada gambar 5.11 dimana pada saat frekuensi *encounter* 1.44 (rad/s) karakteristik respon gerakan *Pitch* kapal *Crew boat* Orela dengan menggunakan *foil* belakang yakni sebesar 0.7822 (°/cm) lebih kecil dibandingkan dengan kapal *Crew boat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang sebesar 2.59 (°/cm). Dapat kita lihat pada plot titik hasil RAO *Pitch* diatas bahwa hampir pada setiap frekuensi *encounter* respon gerakan *Pitch* kapal *Crew boat* Orela dengan menggunakan *foil* belakang memliki hasil yang relatif lebih kecil dibandinngkan dengan hasil RAO *Heave* kapal *Crew boat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang.

5.4 Validasi dengan Hasil Eksperimen

Data Eksperimen Towing Tank yang telah dilakukan pada tanggal 19 mei 2016 di laboratorium Hidrodinamika ITS digunakan untuk validasi. Perhitungan numeris menggunakan 3D Diffraction dibandingkan dengan hasil eksperimen di towing tank. Validasi hasil eksperimen kapal *Crew boat* Orela dapat dilakukan setelah validasi model balok sudah valid. Untuk validasi model kapal *Crew boat* Orela, hasil perhitungan numeris RAO menggunakan Ansys Aqwa untuk 3D Difffraction theory untuk dibandingkan dengan hasil eksperimen towing tank di Laboraturium Hidrodinamika ITS. Data hasil eksperimen towing tank kapal *Crew boat* Orela yang akan divalidasi hanya untuk gerakan *Heaving* dan *Pitching*

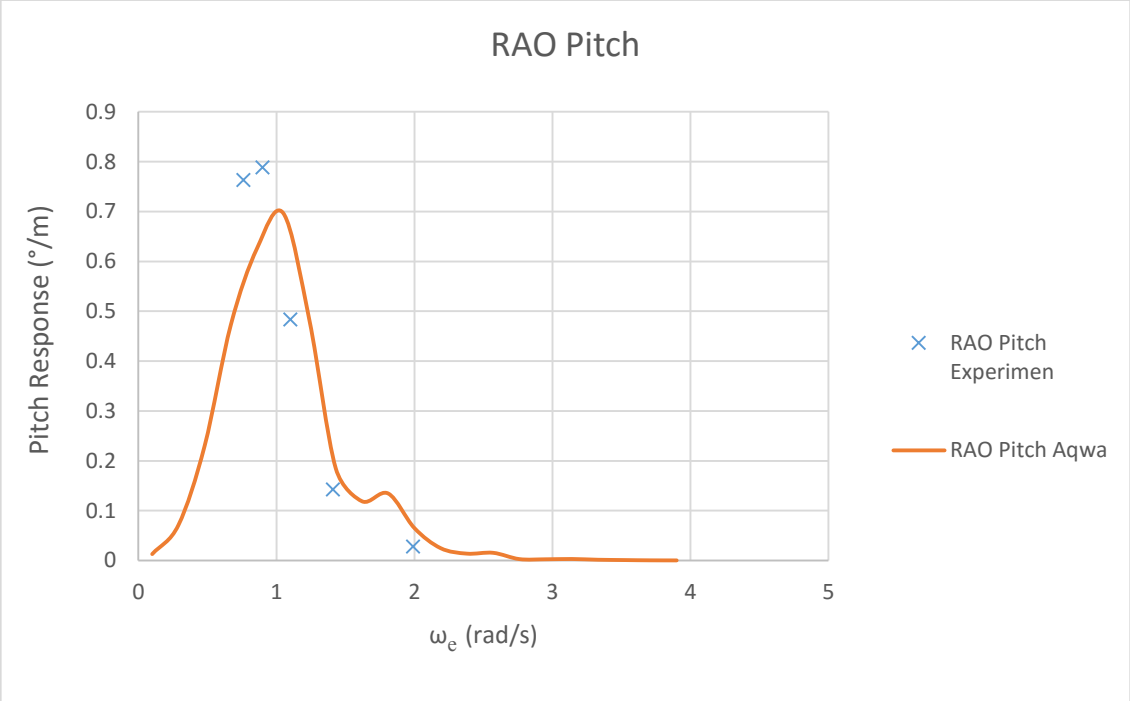
Berikut ini perbandingan hasil running software ansys Aqwa dengan hasil Eksperimen.

5.2.1 Validasi Heave dan Pitch untuk sudut 180° kapal *Crewboat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang



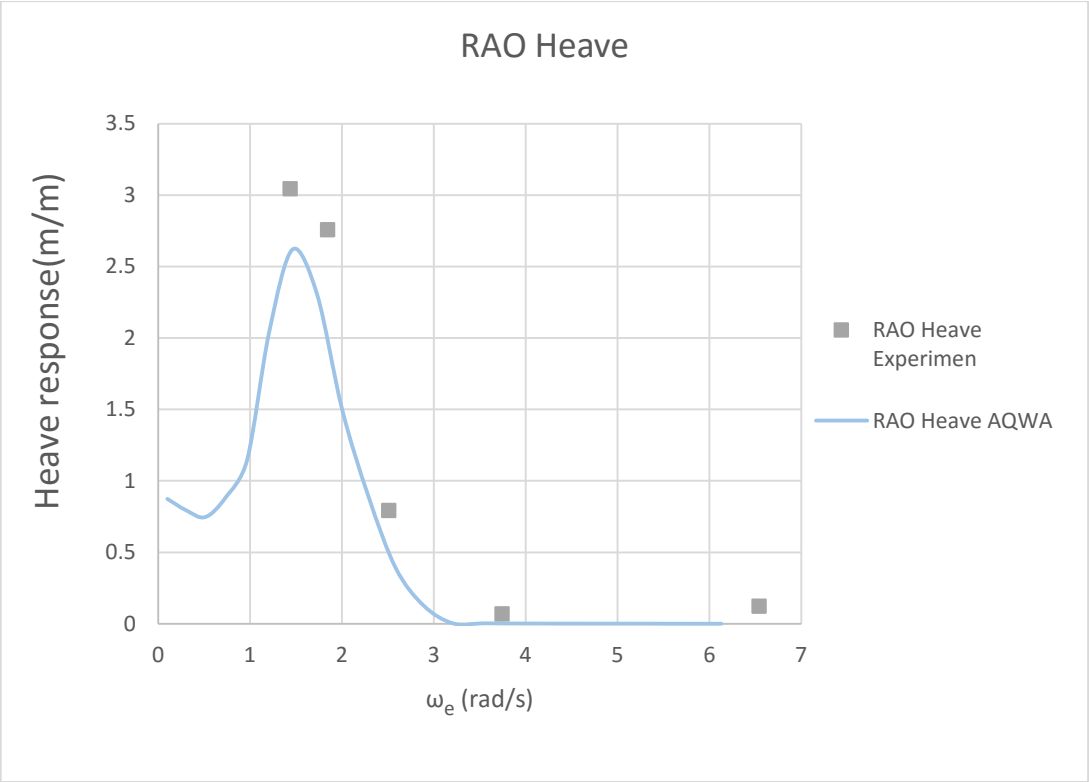
Gambar 5. 12 Perbandingan hasil RAO Aqwa dengan Eksperimen pada kondisi *zero speed* untuk gerakan *Heave*

Untuk karakteristik gerakan *heave* pada sudut 180° dapat dilihat dari gambar 5.12, hasil perhitungan numeris 3D Diffraction memiliki bentuk yang sama dengan hasil eksperimen yakni mengalami penurunan pada frekuensi *encounter* 0.76 rad/sec sampai dengan 0.9 rad/sec. Namun nilai respon yang yang dihasilkan berbeda dengan respon hasil eksperimen, hal tersebut kemungkinan terjadi karena adanya perbedaan damping antara perhitungan numeris dengan uji eksperimen di laboratorium Hidrodinamika ITS. Hasil frekuensi natural perhitungan numeris yang dihasilkan Aqwa adalah 0.96 rad/sec atau pada periode natural 6.54 sec.



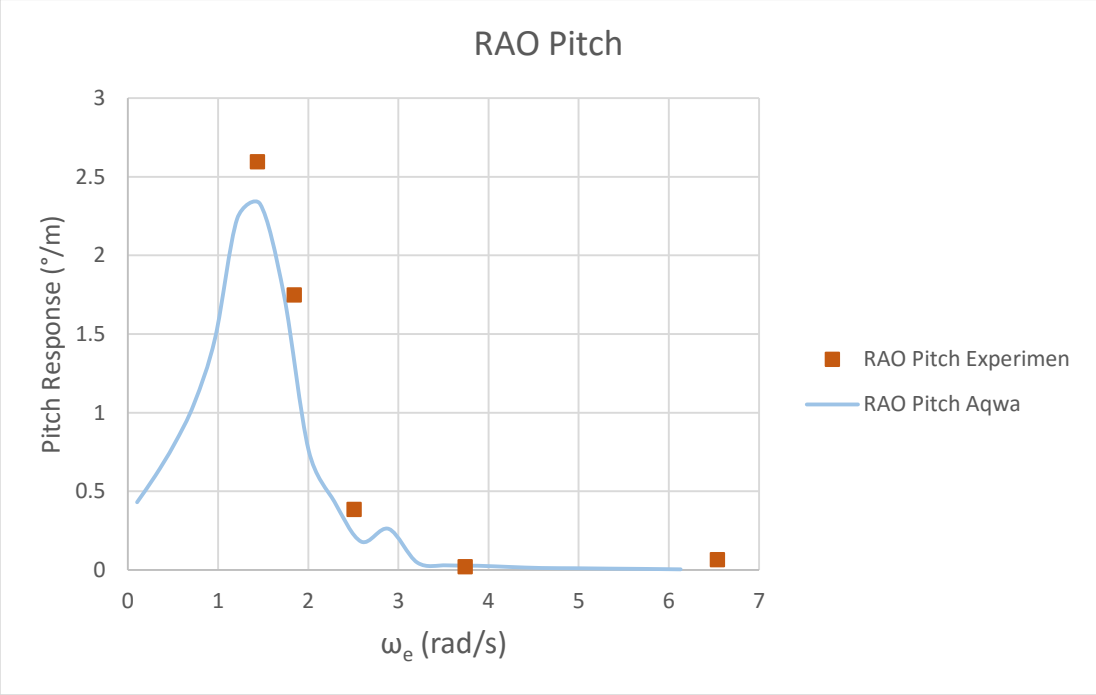
Gambar 5. 13 Perbandingan hasil RAO Aqwa dengan Eksperimen pada kondisi *zero speed* untuk gerakan *Pitch*

Untuk karakteristik gerakan *Pitch* pada sudut 180° dapat dilihat dari gambar 5.13, hasil perhitungan numeris 3D Diffraction mengalami penurunan respon karakteristik gerakan pada frekuensi *encounter* 0.9 rad/sec sampai dengan 1.41 rad/sec, sama halnya dengan plot RAO yang dihasilkan dari uji eksperimen yakni mengalami penurunan pada kisaran frekuensi *encounter* 0.9 rad/sec sampai dengan 1.41 rad/sec. Namun nilai respon yang yang dihasilkan berbeda dengan respon hasil eksperimen, hal tersebut kemungkinan terjadi karena adanya perbedaan damping antara perhitungan numeris dengan uji eksperimen di laboratorium Hidrodinamika ITS. Hasil frekuensi natural yang dihasilkan Aqwa adalah 1.05 rad/sec atau pada periode natural 5.981 sec.



Gambar 5. 14 Perbandingan hasil RAO Aqwa dengan Eksperimen pada kondisi Fn = 0.571 untuk gerakan *Heave*

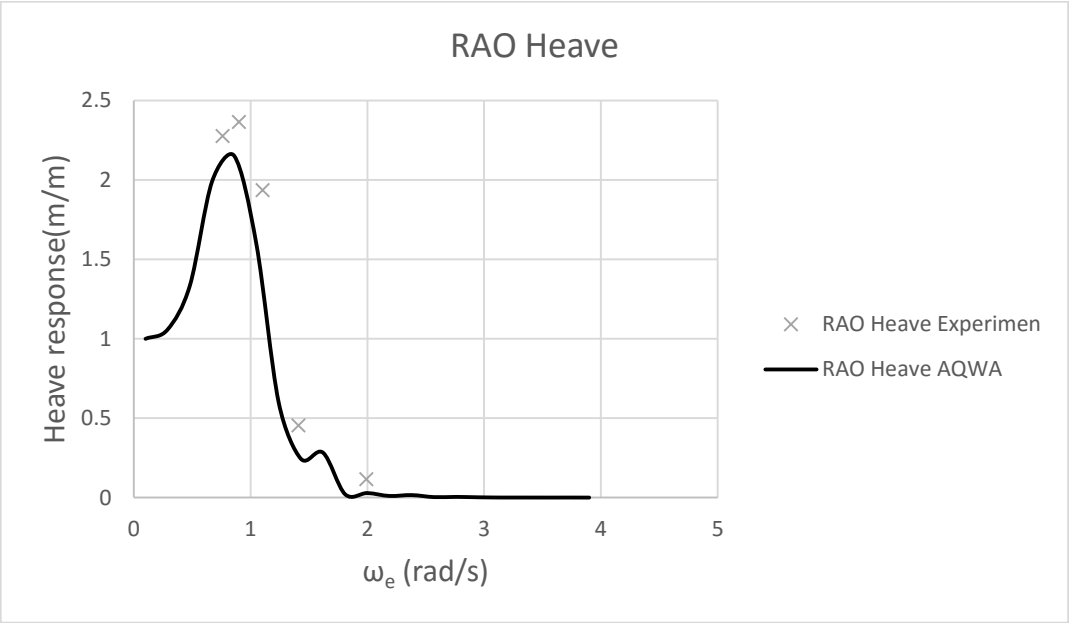
Dari gambar 5.14 kita dapat melihat karakteristik gerakan *Heave* kapal *Crew boat* Orela tanpa menggunakan *foil* pada Fn = 0.571 yang didapatkan dari perhitungan numeris dan hasil uji eksperimen pada laboratorium Hidrodinamika ITS. Dimana karakteristik gerakan *Heave* yang dihasilkan oleh perhitungan numeris 3D diffraction dan karakteristik gerakan *Heave* yang dihasilkan oleh uji eksperimen mengalami penurunan pada frekuensi *encounter* 1.43 rad/s sampai dengan 3.742 rad/s. Frekuensi natural yang dihasilkan Aqwa adalah 1.46 rad/s atau periode natural 4.3014 sec.



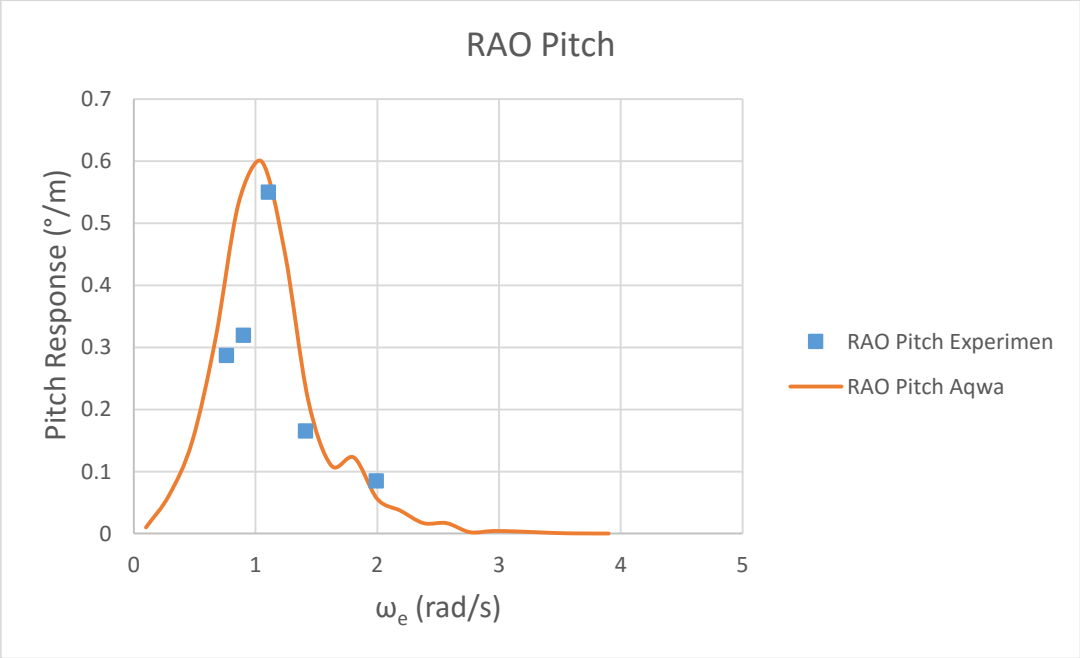
Gambar 5. 15 Perbandingan hasil RAO Aqwa dengan Eksperimen pada kondisi Fn = 0.571 untuk gerakan *Pitch*

Dari gambar 5.15 kita dapat melihat karakteristik gerakan *Pitch* kapal *Crew boat* Orela tanpa menggunakan *foil* pada Fn = 0.571 yang didapatkan dari perhitungan numeris dan hasil uji eksperimen pada laboratorium Hidrodinamika ITS. Dimana karakteristik gerakan *Pitch* yang dihasilkan oleh perhitungan numeris 3D diffraction dan karakteristik gerakan *Pitch* yang dihasilkan oleh uji eksperimen mengalami penurunan pada frekuensi *encounter* 1.43 rad/s sampai dengan 3.742 rad/s. Frekuensi natural yang dihasilkan Aqwa adalah 1.465 rad/s atau periode natural 62.178 sec

5.2.2 Validasi Heave dan Pitch untuk sudut 180° kapal Crewboat Orela dengan menggunakan *foil* belakang



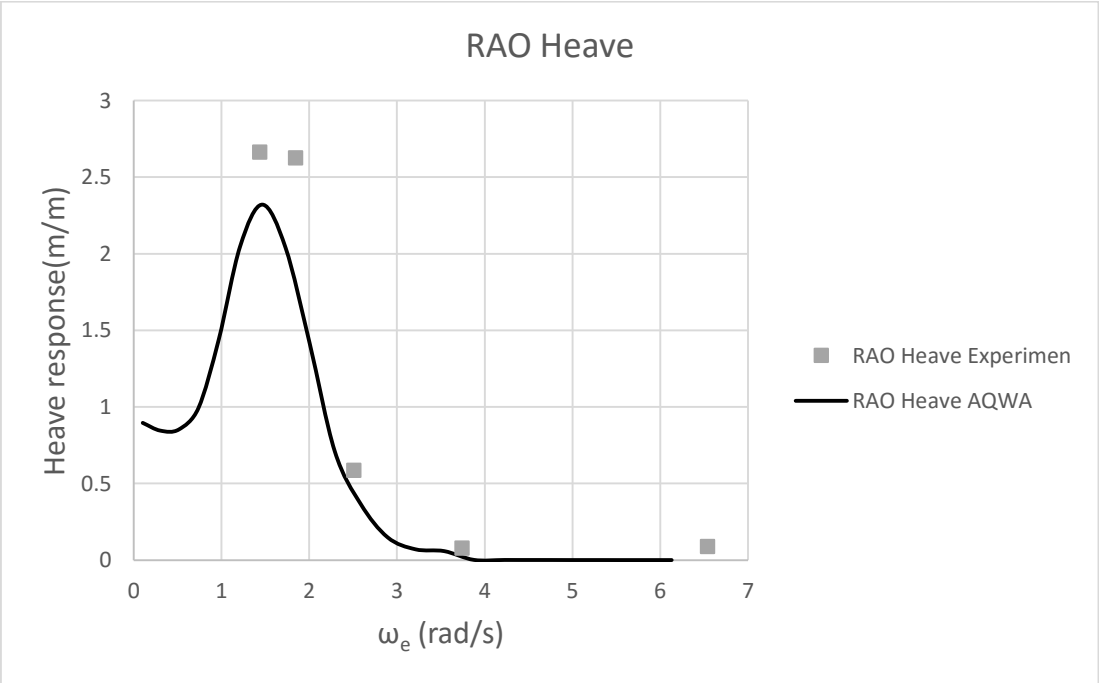
Gambar 5. 16 Perbandingan hasil RAO Aqwa dengan Eksperimen pada kondisi *zero speed* untuk gerakan *Heave*



Gambar 5. 17 Perbandingan hasil RAO Aqwa dengan Eksperimen pada kondisi *zero speed* untuk gerakan Pitch

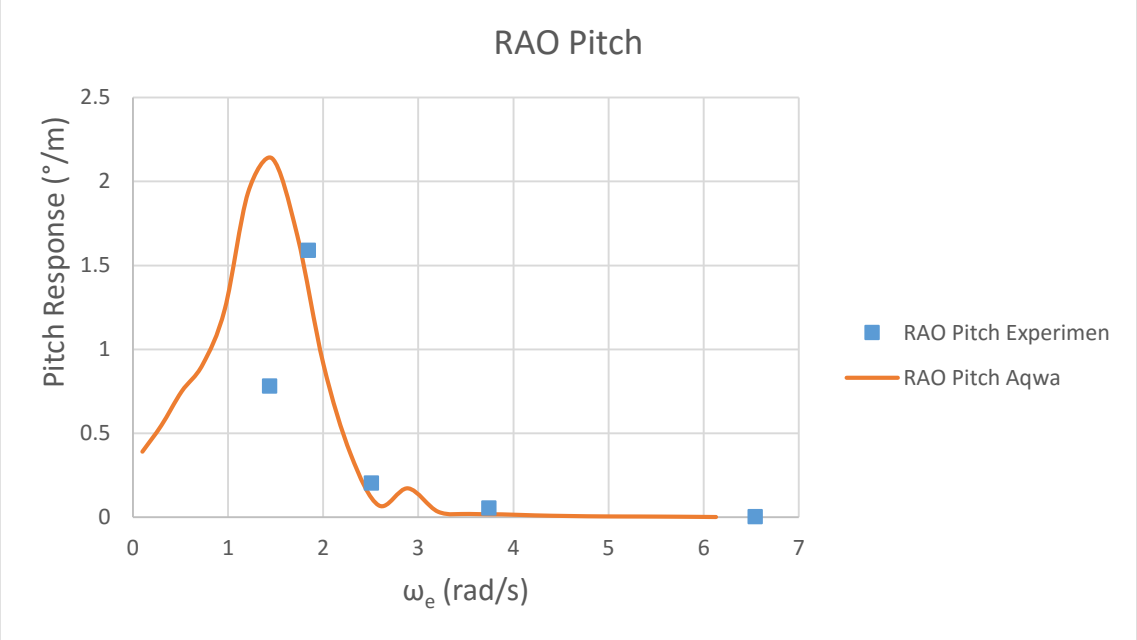
Dari gambar 5.16 di atas kita dapat melihat karakteristik gerakan *Heave* kapal *Crew boat* Orela dengan menggunakan *foil* pada kondisi *zero speed* yang didapatkan dari perhitungan numeris dan hasil uji eksperimen pada laboratorium Hidrodinamika ITS. Dimana karakteristik gerakan *Heave* yang dihasilkan oleh perhitungan numeris 3D diffraction dan karakteristik gerakan *Heave* yang dihasilkan oleh uji eksperimen mengalami penurunan pada frekuensi *encounter* 0.9 rad/s sampai dengan 1.41 rad/s. Frekuensi natural yang dihasilkan Aqwa adalah 0.86 rad/s atau periode natural 7.3023 sec

Dari gambar 5.17 kita dapat melihat karakteristik gerakan *Pitch* kapal *Crew boat* Orela dengan menggunakan *foil* pada kondisi *zero speed* yang didapatkan dari perhitungan numeris dan hasil uji eksperimen pada laboratorium Hidrodinamika ITS. Dimana karakteristik gerakan *Pitch* yang dihasilkan oleh perhitungan numeris 3D diffraction dan karakteristik gerakan *Pitch* yang dihasilkan oleh uji eksperimen mengalami kenaikan pada frekuensi *encounter* 0.76 rad/s sampai dengan 1.103 rad/s dan mengalami penurunan pada Frekuensi *encounter* pada 1.103 rad/s sampai dengan 1.99 rad/s. Frekuensi natural yang dihasilkan Aqwa adalah 1.05 rad/s atau periode natural 5.981 sec.



Gambar 5. 18 Perbandingan hasil RAO Aqwa dengan Eksperimen pada kondisi Fn = 0.571 untuk gerakan *Heave*

Dari gambar 5.18 kita dapat melihat karakteristik gerakan *Heave* kapal *Crew boat* Orela dengan menggunakan *foil* pada kondisi Fn = 0.571 yang didapatkan dari perhitungan numeris dan hasil uji eksperimen pada laboratorium Hidrodinamika ITS. Dimana karakteristik gerakan *Heave* yang dihasilkan oleh perhitungan numeris 3D diffraction dan karakteristik gerakan *Heave* yang dihasilkan oleh uji eksperimen mengalami penurunan pada frekuensi *encounter* 1.43 rad/s sampai dengan 3.74 rad/s. Frekuensi natural yang dihasilkan Aqwa adalah 1.46 rad/s atau periode natural 4.3014 sec.



Gambar 5. 19 Perbandingan hasil RAO Aqwa dengan Eksperimen pada kondisi Fn = 0.571 untuk gerakan *Pitch*

Dari gambar 5.19 kita dapat melihat karakteristik gerakan *Pitch* kapal *Crew boat* Orela dengan menggunakan *foil* pada kondisi Fn = 0.571 yang didapatkan dari perhitungan numeris dan hasil uji eksperimen pada laboratorium Hidrodinamika ITS. Dimana karakteristik gerakan *Pitch* yang dihasilkan oleh perhitungan numeris 3D diffraction dan karakteristik gerakan *Pitch* yang dihasilkan oleh uji eksperimen mengalami peningkatan pada frekuensi *encounter* 1.43 rad/s sampai dengan 1.843 rad/s dan karakteristik gerakan *Heave* yang dihasilkan oleh uji eksperimen mengalami penurunan pada frekuensi *encounter* kira-kira 1.43 rad/s sampai dengan 3.74 rad/s. Frekuensi natural yang dihasilkan Aqwa adalah 1.465 rad/s atau periode natural 62.178 sec.

5.5 Perhitungan *Transfer Function* (RAO)

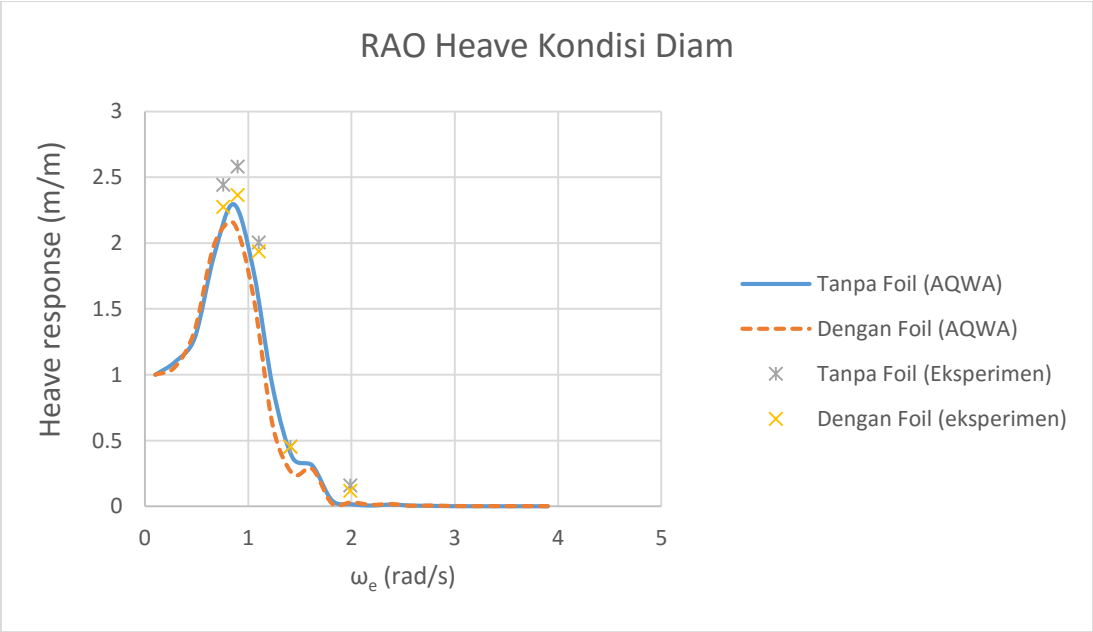
Dengan adanya modifikasi bentuk badan kapal dengan ditambahnya *foil* pada bagian belakang kapal, diharapkan mempengaruhi karakteristik gerakan respon struktur menjadi

lebih baik. Penambahan *foil* belakang kapal mengurangi gerakan *Heave* dan *Pitch* dari kapal tersebut. Ketika kapal mengalami gerakan pitching bagian haluan akan mengalami gerakan ke bawah dan pada bagian buritan kapal mengalami gaya angkat dan gaya angkat keatas yang disebabkan oleh *foil* belakang (*Hull Vane*) berkurang berdasarkan pengurangan sudut serang aliran air. Hal tersebut yang dapat memperbaiki olah gerak dari *pitching*. Hal yang sama terjadi pula untuk gerakan *heave*. (Oossanen, 2014)

Kecepatan kapal divariasikan menjadi dua kondisi , yaitu pada saat kondisi *zero speed* (0 Knots) dan pada saat kecepatan dinas (22 Knots). Berikut merupakan perbandingan hasil karaketeristik gerakan *Heave* dan *Pitch* dengan menggunakan perhitungan numeris 3D diffraction.

5.5.1 Hasil Running Kapal *Crew boat* Orela untuk sudut hadap 180 ° pada kondisi *zero speed*

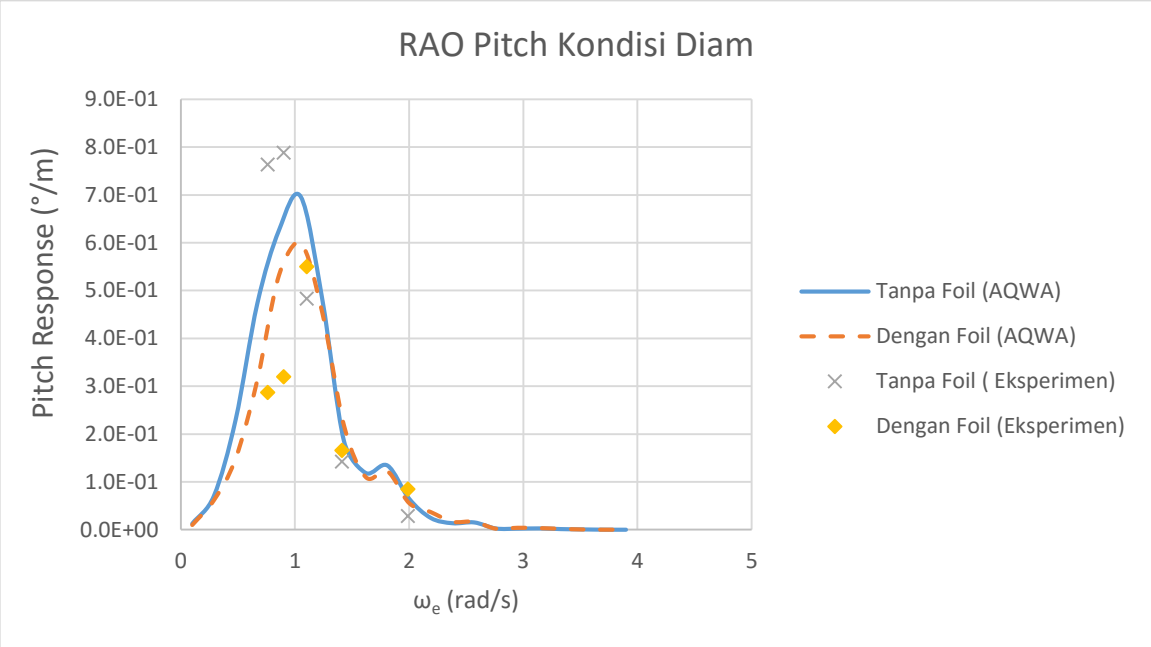
Berikut ini grafik perbandingan Nilai RAO kapal *Crew boat* Orela dengan dan tanpa foil belakang untuk gerakan kapal *Heave* dan *Pitch* pada sudut hadap 180 ° (*Head Seas*) pada kondisi *zero speed* (Vs = 0 Knots).



Gambar 5. 20 Perbandingan Hasil RAO *Heave* Aqwa dan Ekperimen pada kondisi *zero speed*

Dari gambar 5.20 dapat dilihat kenaikan karakteristik secara gradual gerakan *Heave* kapal *crew boat* Orela dengan dan tanpa menggunakan *foil* belakang pada frekuensi dibawah frekuensi alaminya. Pada gambar 5.20 dapat dilihat kenaikan terjadi pada frekuensi *encounter* 0.1 rad/s sampai dengan frekuensi alaminya kira-kira 0.86 rad/s atau disebut juga daerah sub

kritis, sedangkan daerah pada frekuensi alaminya disebut daerah kritis dimana resonansi gerakan terjadi. Kurva selanjutnya menurun tajam pada frekuensi-frekuensi di atas frekuensi alaminya yang disebut sebagai daerah super-kritis. Diatas frekuensi alami ini ada kenaikan sedikit, yang disebut daerah resonansi sekunder, dimana puncaknya relatif sangat rendah dibandingkan resonansi primer pada frekuensi alami. Dapat kita lihat resonansi sekunder terjadi pada kisaran frekuensi *encounter* 1.62 rad/s. Pada frekuensi *encounter* 0.86 rad/sec terjadi penurunan karakteristik gerakan kapal menggunakan *foil* belakang 2.15 (m/m) dibandingan kapal tanpa menggunakan *foil* belakang sebesar 2.296 (m/m). Pada daerah sub kritis karakteristik gerakan kapal mendekati sekitar angka satu (*unity*), yang artinya gerakan mengalun mengikuti gerakan osilasi gelombang atau disebut *contouring*.



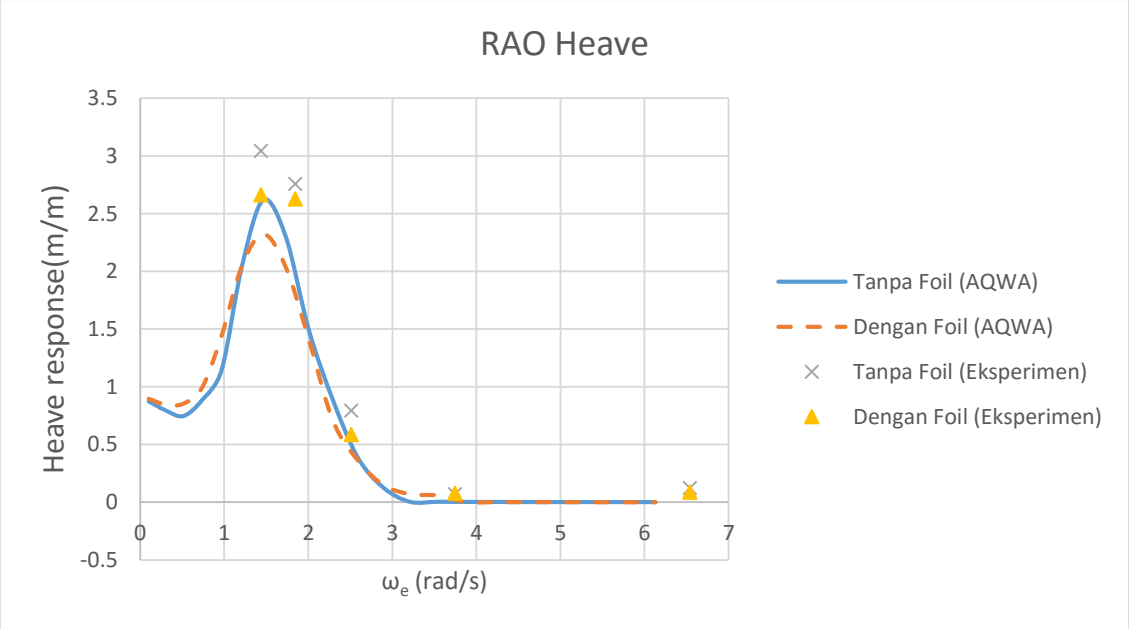
Gambar 5. 21 Perbandingan Hasil RAO *Pitch* Aqwa dan Eksperimen pada kondisi *zero speed*

Dari gambar 5.21 dapat dilihat kenaikan karakteristik secara gradual gerakan *Pitch* kapal *crew boat* Orela dengan dan tanpa menggunakan *foil* belakang pada frekuensi dibawah frekuensi alaminya. Pada gambar 5.21 dapat dilihat kenaikan terjadi pada frekuensi *encounter* 0.1 rad/s sampai dengan frekuensi alaminya kira-kira 1.05 rad/s atau disebut juga daerah sub kritis, sedangkan daerah pada frekuensi alaminya disebut daerah kritis dimana resonansi gerakan terjadi. Kurva selanjutnya menurun tajam pada frekuensi-frekuensi di atas frekuensi alaminya yang disebut sebagai daerah super-kritis. Diatas frekuensi alami ini ada kenaikan sedikit, yang disebut daerah resonansi sekunder, dimana puncaknya relatif sangat rendah dibandingkan resonansi primer pada frekuensi alami. Dapat kita lihat resonansi sekunder

terjadi pada kisaran frekuensi *encounter* 1.81 rad/s. Pada frekuensi *encounter* 1.05 rad/sec terjadi penurunan karakteristik gerakan kapal menggunakan *foil* belakang 0.6 (°/m) dibandingan kapal tanpa menggunakan *foil* belakang sebesar 0.71 (°/m).

5.5.1 Hasil Running Kapal *Crew boat* Orela untuk sudut hadap 180 ° pada Fn = 0.5718

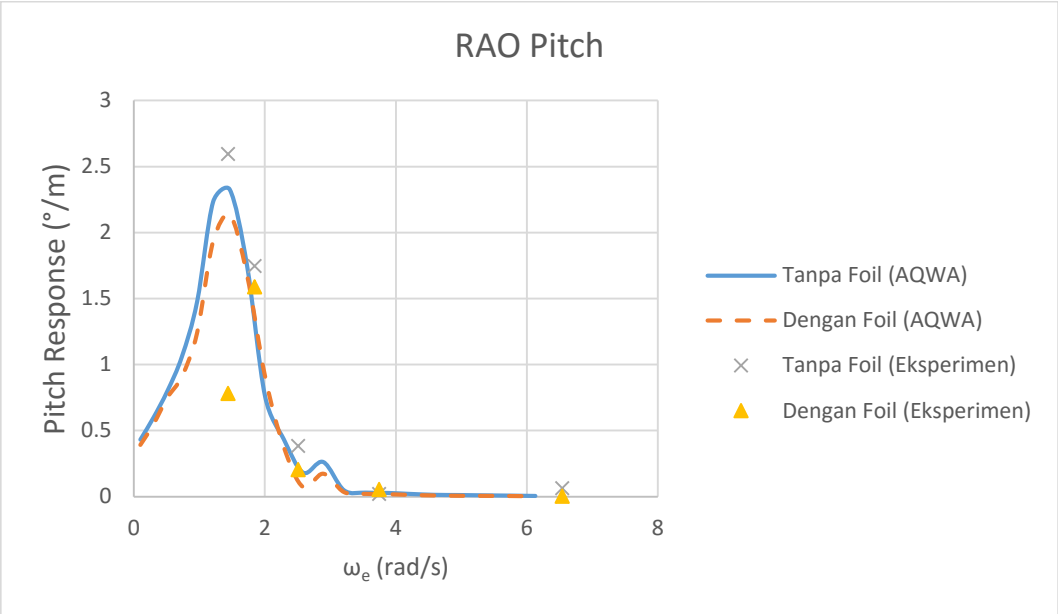
Berikut ini grafik perbandingan Nilai RAO kapal Crew boat Orela dengan dan tanpa foil belakang untuk gerakan kapal Heave dan Pitch pada sudut hadap 180 ° (following Seas) pada kecepatan 22 Knots (Fn = 0.5718 Knots).



Gambar 5. 22 Perbandingan RAO *Heave* Aqwa dan Eksperimen pada Fn = 0.5718

Dari gambar 5.22 dapat dilihat kenaikan karakteristik secara gradual gerakan *Heave* kapal *crew boat* Orela dengan dan tanpa menggunakan *foil* belakang pada frekuensi dibawah frekuensi alaminya. Pada gambar 5.22 dapat dilihat kenaikan terjadi pada frekuensi *encounter* 0.513 rad/s sampai dengan frekuensi alaminya kira-kira 1.46 rad/s atau disebut juga daerah sub kritis, sedangkan daerah pada frekuensi alaminya disebut daerah kritis dimana resonansi gerakan terjadi. Kurva selanjutnya menurun tajam pada frekuensi-frekuensi di atas frekuensi alaminya yang disebut sebagai daerah super-kritis. Diatas frekuensi alami ini ada kenaikan sedikit, yang disebut daerah resonansi sekunder, dimana puncaknya relatif sangat rendah dibandingkan resonansi primer pada frekuensi alami. Dapat kita lihat resonansi sekunder terjadi pada kisaran frekuensi *encounter* 3.53 rad/s. Pada frekuensi *encounter* 1.46 rad/sec terjadi penurunan karakteristik gerakan kapal menggunakan *foil* belakang 2.32 (m/m)

dibandingan kapal tanpa menggunakan *foil* belakang sebesar 2.62 (m/m). Pada daerah sub kritis karakteristik gerakan kapal mendekati sekitar angka satu (*unity*), yang artinya gerakan mengalun mengikuti gerakan osilasi gelombang atau disebut *contouring*.



Gambar 5. 23 Perbandingan RAO *Pitch* Aqwa dan Eksperimen pada Fn = 0.5718

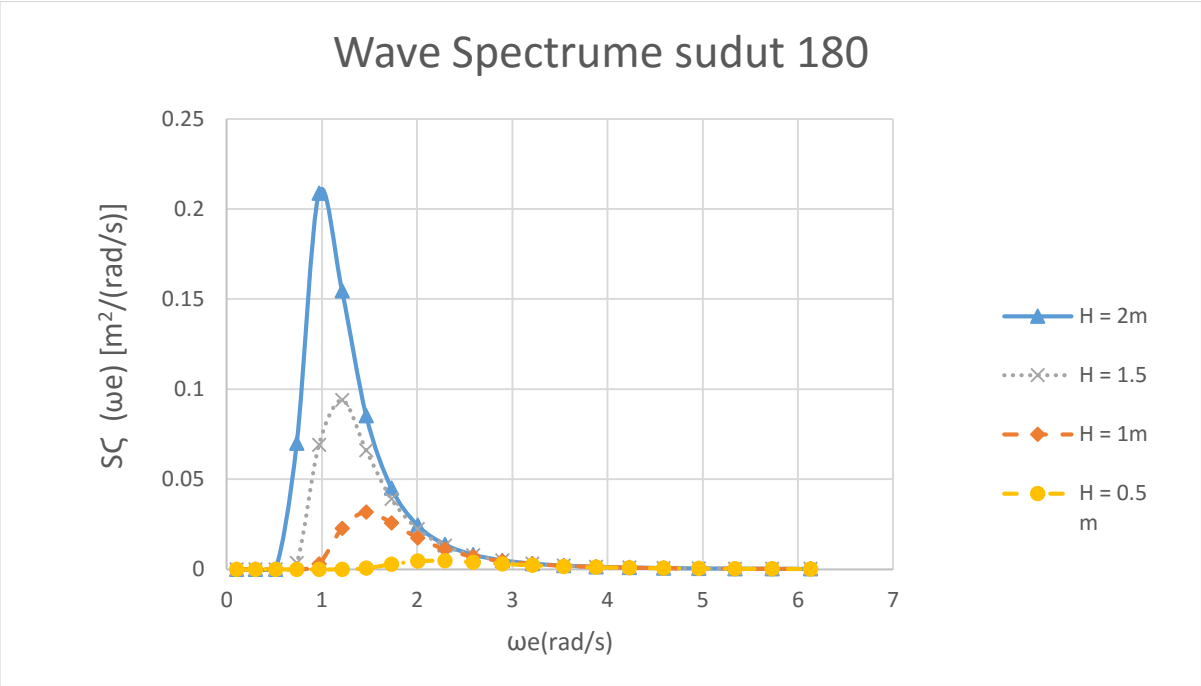
Dari gambar 5.23 dapat dilihat kenaikan karakteristik secara gradual gerakan *Pitch* kapal *crew boat* Orela dengan dan tanpa menggunakan *foil* belakang pada frekuensi dibawah frekuensi alaminya. Pada gambar 5.23 dapat dilihat kenaikan terjadi pada frekuensi *encounter* 0.96 rad/s sampai dengan frekuensi alaminya kira-kira 1.46 rad/s atau disebut juga daerah sub kritis, sedangkan daerah pada frekuensi alaminya disebut daerah kritis dimana resonansi gerakan terjadi. Kurva selanjutnya menurun tajam pada frekuensi-frekuensi di atas frekuensi alaminya yang disebut sebagai daerah super-kritis. Diatas frekuensi alami ini ada kenaikan sedikit, yang disebut daerah resonansi sekunder, dimana puncaknya relatif sangat rendah dibandingkan resonansi primer pada frekuensi alami. Dapat kita lihat resonansi sekunder terjadi pada kisaran frekuensi *encounter* 2.89 rad/s. Pada frekuensi *encounter* 1.46 rad/sec terjadi penurunan karakteristik gerakan kapal menggunakan *foil* belakang 2.13 (°/m) dibandingan kapal tanpa menggunakan *foil* belakang sebesar 2.32 (°/m).

5.6 Respons Kapal *Crewboat* Orela di Gelombang acak

5.6.1 Spektrum Gelombang

Formulasi Spektra yang digunakan pada penelitian ini merupakan spektra *International Towing Tank Conference* (ITTC) dikarenakan formulasi tersebut telah disetujui oleh beberapa pakar hidrodinamika dari berbagai laboratorium hidrodinamika sedunia yang tergabung dalam ITTC sebagai standar utama dalam berbagai pengujian prilaku gerakan kapal di gelombang acak. Persamaan sepktrum gelombang ITTC dapat dilihat pada persamaan 2.21

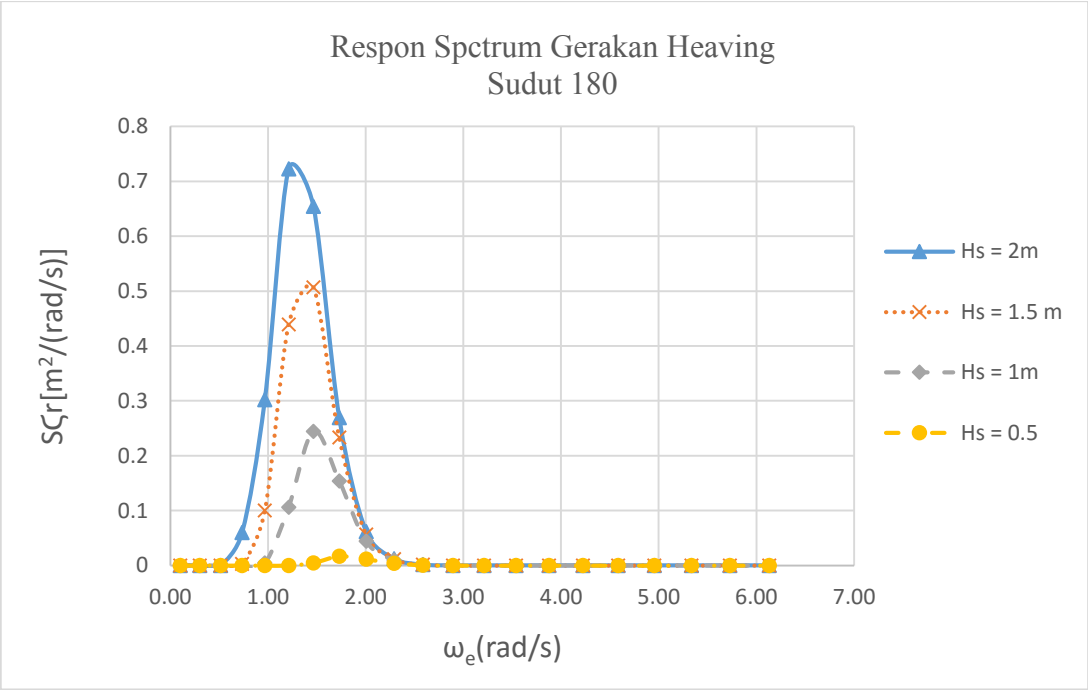
Hasil komputasi spektra ITTC dengan memvariasikan Hs mulai dari 0.5 m hingga 2 m telah diplot seperti yang dapat dilihat pada gambar 5.24 di bawah ini, apabila meninjau posisi puncak dari spektra gelombang ini, ada pergeseran dari frekuensi besar menuju frekuensi kecil. Perubahan frekuensi posisi puncak spektra cukup besar pada harga Hs kecil, namun perubahan frekuensi menurun pada Hs besar. Kenaikan Hs 0.5m ke 1m membawa perubahan (menurun) posisi frekuensi puncak sebesar berturut-turut 2.29 rad/s dan 1.46 rad/s. Tetapi pada Hs yang lebih besar perubahan frekuensi puncak spektra hanya kecil saja, berkisar 0.25 rad/s. Hal menarik untuk juga diamati adalah perubahan bentuk kurva. Pada *Hs* kecil, kurva spektra mempunyai bentuk yang lebar, sedangkan pada Hs besar kurvanya berbentuk lebih sempit. Hal ini berarti bahwa pada harga Hs kecil energi gelombang dikontribusi oleh gelombang-gelombang dalam rentang frekuensi yang lebih besar bila dibandingkan dengan dalamhal Hs besar (Djatmiko, 2012).



Gambar 5. 24 Pengaruh Perubahan Tinggi Gelombang Signifikan Terhadap Pola Spektra Gelombang ITTC

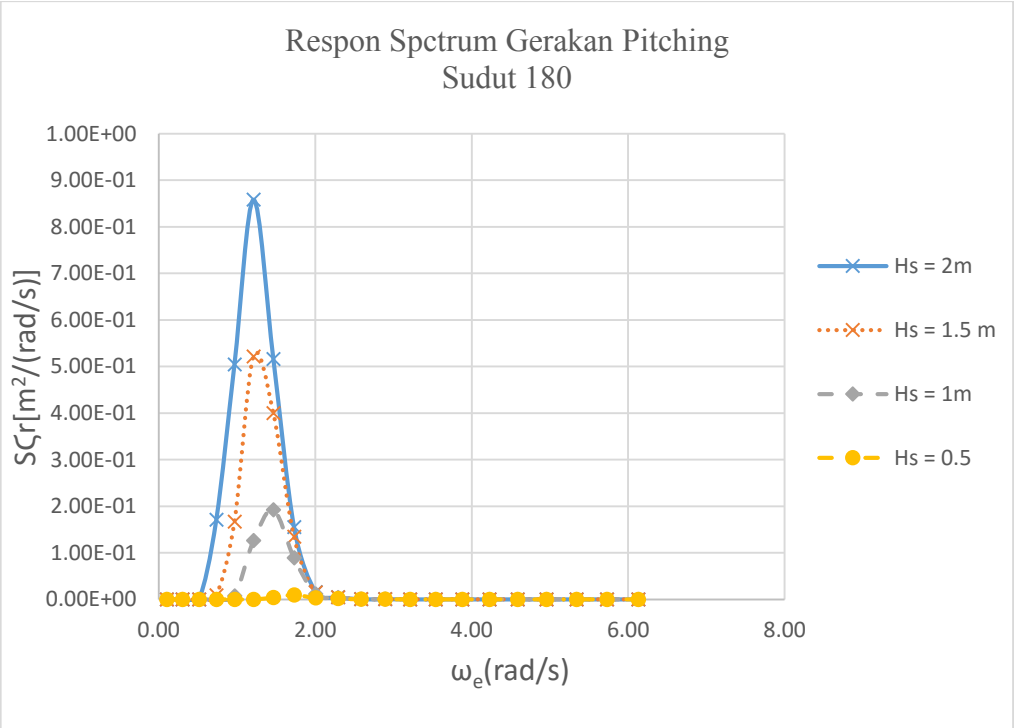
5.6.2 Spektra Respons *Heave* dan *Pitch* Kapal *Crew boat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang

Hasil plot spektra respons gerakan *Heave* untuk kapal *Crew boat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang disajikan dalam gambar 5.25. Dalam grafik tersebut ada 4 kurva spektra respons gerakan *Heave* yang dihitung menurut kenaikan tinggi gelombang signifikan mulai dari *Hs* =0.5m sampai dengan 2.0 m. Pola perubahan kurva spektra respons *heave* kapal *Crew boat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang signifikan ini relatif mirip dengan pola perubahan kurva spektra gelombangnya, yang telah ditunjukkan pada gambar 5.24. Posisi masing-masing frekuensi puncak spektra kurang lebih adalah sama.



Gambar 5. 25 Spektra Respons *Heave* Kapal *Crew boat* Orela Tanpa Menggunakan *Foil* Belakang pada Fn = 0.5718

Perbedaan mencolok antara spektra respons *Heave* kapal *Crew boat* Orela dengan spektra gelombang adalah, mulai dari *Hs* sebesar 1m atau 1.5 m dan seterusnya ke atas pucak spektra respons relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan puncak spektra gelombang, Hal ini menandakan bahwa terjadi resonansi yang cukup akut antara frekuensi gelombang pada harga-harga signifikan besar dengan frekuensi alami geralam *Heave.* Dengan begitu nilai-nilai stokastik intensistas gerakan heave kapal *crew boat* Orela akan selalu lebih besar dari pada nilai-nilai stokastik tinggi gelombang. Pada *Hs* = 2 m, nilai puncak spektra respons heave sudah mendekati harga 0.7 m^2/(rad/det), yang kira-kira 3.5 kali nilai puncak spektra gelombang pada tinggi signifikan yang sama.

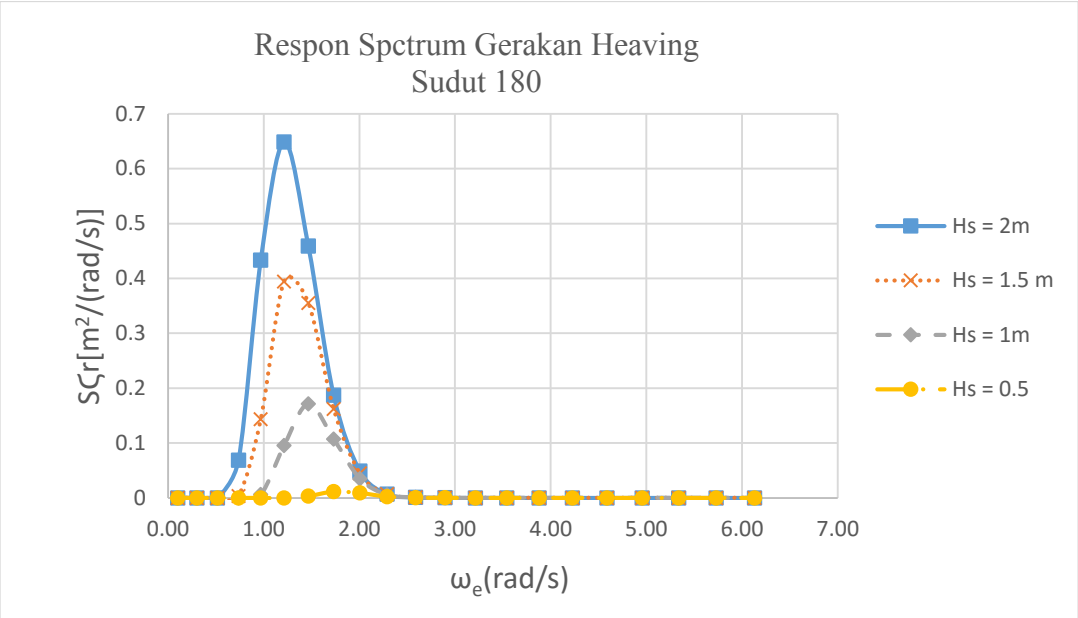


Gambar 5. 26 Spektra Respons *Pitch* Kapal Crewboat Orela Tanpa Menggunakan *Foil* Belakang pada Fn = 0.5718

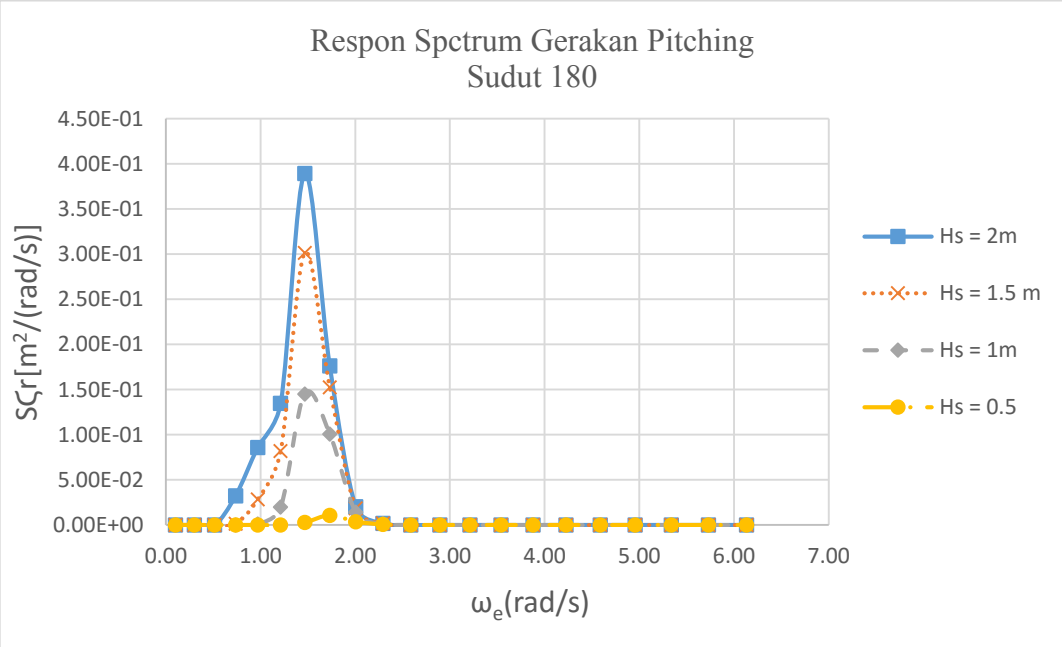
Dari gambar 5.26 dapat kita lihat perbedaan nilai puncak respon spektrum gerakan *pitch* untuk tinggi gelombang 2 m yakni 0.9 [m^2/(rad/s) dengan nilai puncak spektrum gelombang pada tinggi signifikan yang sama yakni sebesar 0.2 [m^2/(rad/s) hal tersebut menunjukkan bahwa adanya resonansi akibat frekuensi alami dari kapal *crewboat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang.

5.6.3 Spektra Respons *Heave* dan *Pitch* Kapal *Crew boat* Orela Dengan menggunakan *foil* belakang

Perhitungan spektra respons gerakan heave dan pitch kapal *Crew boat* Orela dengan menggunakan *foil* belakang telah dilakukan mengikuti prosedur yang sama seperti perhitungan spektra respons gerakan *Heave* dan *Pitch* kapal *Crew boat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang. Sebagaimana terlihat pada gambar 5.27 spektra ini cukup menarik, terlihat lebih ramping dan memiliki nilai puncak yang lebih rendah, akibat eksitasi gelombang *Hs* = 2 m nilai puncaknya adalah sekitar 0.64 m^2/(rad/det) bila dibandingkan dengan respons spektra *Heave* dari kapal *Crewboat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang, yang 0.7 m^2/(rad/det), atau memiliki nilai yang lebih besar.



Gambar 5. 27 Spektra Respons *Heave* Kapal Crewboat Orela Dengan Menggunakan *Foil* Belakang pada Fn = 0.5718

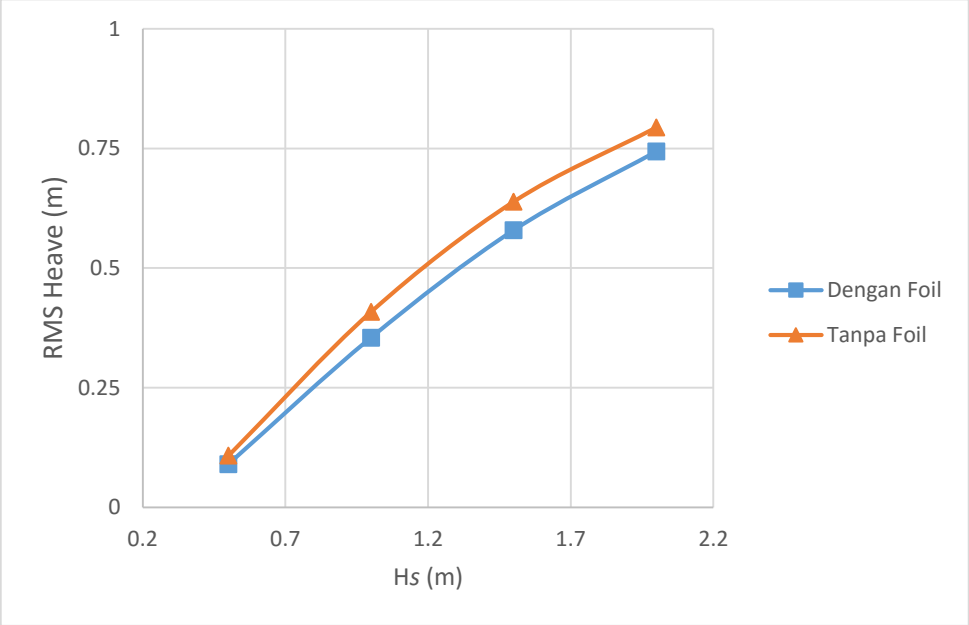


Gambar 5. 28 Spektra Respons Pitch Kapal Crewboat Orela Tanpa Menggunakan Foil Belakang pada Fn = 0.5718

Pada gambar 5.28 untuk tinggi gelombang signifikan (*Hs*) spektra respons untuk gerakan *pitch* pada kapal *Crew boat* Orela dengan menggunakan *foil* belakang menunjukkan respons puncak 0.39 m^2/(rad/s) yang relatif lebih kecil dibandingkan respons untuk gerakan *pitch* pada kapal *Crewboat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang sebesar 0.85 m^2/(rad/s)

5.6.4 Perbandingan Kenaikan *Heave* dan *Pitch* signifikan sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang signifikan untuk kapal *Crewboat* Orela dengan dan tanpa *Foil* belakang pada Fn = 0.5718

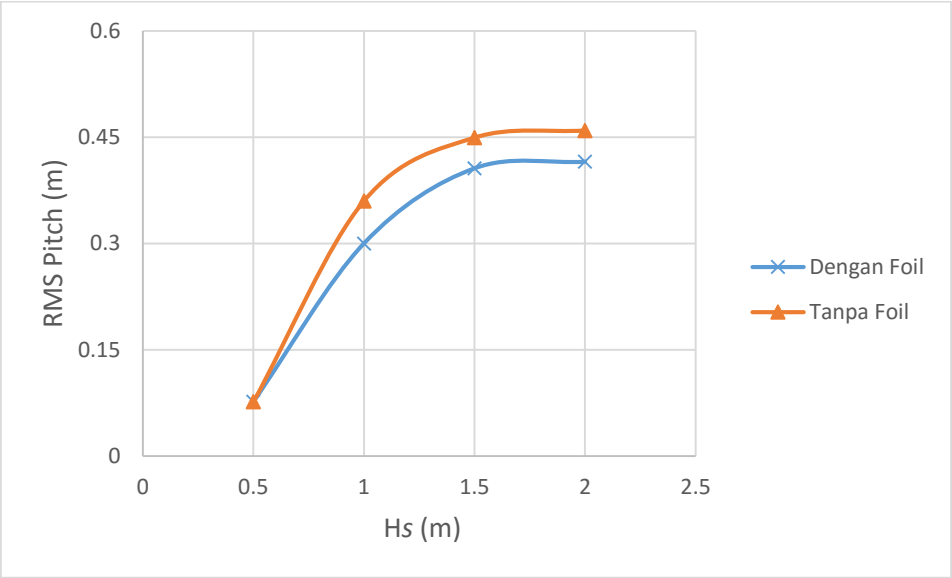
Setelah diselesaikan perhitungan spektra respons dari kapal *crew boat* Orela dengan dan tanpa *foil* belakang selanjutnya dapatlah dilakukan perbandingan kualitas gerakan dari kapal *Crew boat* Orela dengan dan tanpa *foil* belakang saat berada di atas gelombang acak dengan menggunakan persamaan 2.18 pada bab 2, untuk mencari rms *heave* dan rms *pitch*. Hal ini dilakukan dengan memplot perubahan intensitas gerakan sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang signifikan. Dalam studi perbandingan disini telah dipilih untuk mengevaluasi intensitas signifikan yang paling mungkin terjadi.



Gambar 5. 29 RMS *Heave* sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang signifikan pada Fn = 0.5718

Pada tinggi gelombang signifikan antara 0.5 m sampai dengan 2 m, kapal *Crew boat* Orela dengan menggunakan *Foil* belakang mempunyai RMS heave signifikan yang lebih kecil dibandingkan dengan kapal *Crew boat* Orela tanpa menggunakan *Foil* belakang. Dapat dilihat pada gambar 5.29. hal tersebut menunjukan bahwah gerakan *Heave* kapal *Crewboat* Orela dengan

menggunakan *foil* belakang lebih baik dibandingkan dengan kapal *Crewboat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang. Dari hasil RMS *heave* pada *sea state* 4 pada tinggi gelombang signifikan 2 m, penambahan *foil* belakang dapat mengurangi hasil signifikan *heave* sebesar 6.3%.



Gambar 5. 30 RMS *Pitch* sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang signifikan pada Fn = 0.5718

Sama halnya seperti pada RMS *Heave* fungsi kenaikan tinggi gelombang signifikan. Kapal *Crew boat* Orela dengan menggunakan *Foil* belakang mempunyai RMS *pitch* signifikan yang lebih kecil dibandingkan dengan kapal *Crew boat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang. Namun dapat dilihat perubahan *Pitch* signifikan dapat terlihat lebih besar pada saat tinggi gelombang signifikan antara 1 m sampai 2 m hal tersebut dapat dilihat pada gambar 5.30 diatas. Dari hasil RMS *pitch* pada *seastate* 4 yakni tinggi gelombang signifikan sebesar 2 m, penambahan *foil* belakang dapat mengurangi hasil signifikan *pitch* sebesar 9.7%.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A

- Hasil uji ekperimen di laboratorium Hidrodinamika ITS

Pengujian Seakeeping *crewboat* orela tanpa menggunakan *foil* belakang

Sensor depan Tanpa Foil

V(knot)= 0	Amplitudo= 1.2 cm	Periode (s)	Hasil (Kotak)	Tinggi (cm)
Bagian Depan	Percobaan 1	0.5	1	0.217391304
	Percobaan 2	0.7	3.1	0.673913043
	Percobaan 3	0.9	13.1	2.847826087
	Percobaan 4	1.1	19	4.130434783
	Percobaan 5	1.3	21	4.565217391

Sensor Belakang Tanpa Foil

V(knot)= 0	Amplitudo= 1.2 cm	Periode (s)	Hasil (Kotak)	Tinggi (cm)
Bagian Belakang	Percobaan 1	0.5	0.8	0.165289256
	Percobaan 2	0.7	2	0.41322314
	Percobaan 3	0.9	9.5	1.962809917
	Percobaan 4	1.1	12	2.479338843
	Percobaan 5	1.3	14	2.892561983

Heaving

	Tinggi Bagian Depan Model Kapal (cm)	Tinggi Bagian Belakang Model Kapal (cm)	*Heaving*(cm) = ((1)+(2))/2	RAO Heave
Percobaan ke 1	0.217391304	0.165289256	0.19134028	0.159450234
Percobaan ke 2	0.673913043	0.41322314	0.543568092	0.45297341
Percobaan ke 3	2.847826087	1.962809917	2.405318002	2.004431668
Percobaan ke 4	3.717391304	2.479338843	3.098365074	2.581970895
Percobaan ke 5	2.967391304	2.892561983	2.929976644	2.441647203

Pitching

	Tinggi Bagian Depan Model Kapal (cm)	Tinggi Bagian Depan Model Kapal (cm)	*Pitching* = tan¯1((1)-(2))/L	RAO Pitch
Percobaan ke 1	0.217391304	0.165289256	0.034117	0.028431
Percobaan ke 2	0.673913043	0.41322314	0.170702	0.142251
Percobaan ke 3	2.847826087	1.962809917	0.579497	0.482914
Percobaan ke 4	3.923913043	2.479338843	0.945834	0.788195
Percobaan ke 5	4.291304348	2.892561983	0.915831	0.763192

Sensor depan Tanpa Foil

V(knot)= 22	Amplitudo= 1.2 cm	Periode (s)	Hasil (Kotak)	Tinggi (cm)
Bagian Depan	Percobaan 1	0.5	0.4	0.086956522
	Percobaan 2	0.7	0.3	0.065217391
	Percobaan 3	0.9	6	1.304347826
	Percobaan 4	1.1	25.1	5.456521739
	Percobaan 5	1.3	37	8.043478261

Sensor Belakang Tanpa Foil

V(knot)= 22	Amplitudo= 1.2 cm	Periode (s)	Hasil (Kotak)	Tinggi (cm)
Bagian Belakang	Percobaan 1	0.5	1	0.20661157
	Percobaan 2	0.7	0.5	0.103305785
	Percobaan 3	0.9	2.9	0.599173554
	Percobaan 4	1.1	10.9	2.252066116
	Percobaan 5	1.3	12	2.479338843

Heaving

	Tinggi Bagian Depan Model Kapal (cm)	Tinggi Bagian Belakang Model Kapal (cm)	*Heaving*(cm) = ((1)+(2))/2	RAO Heave
Percobaan ke 1	0.086956522	0.20661157	0.146784046	0.122320038
Percobaan ke 2	0.065217391	0.103305785	0.084261588	0.07021799
Percobaan ke 3	1.304347826	0.599173554	0.95176069	0.793133908
Percobaan ke 4	4.365217391	2.252066116	3.308641754	2.757201461
Percobaan ke 5	4.826086957	2.479338843	3.6527129	3.043927416

Pitching

	Tinggi Bagian Depan Model Kapal (cm)	Tinggi Bagian Belakang Model Kapal (cm)	*Pitching* = tan¯1((1)-(2))/L	RAO Pitch
Percobaan ke 1	0.086956522	0.20661157	0.078351	0.065293
Percobaan ke 2	0.065217391	0.103305785	0.024941	0.020784
Percobaan ke 3	1.304347826	0.599173554	0.461744	0.384787
Percobaan ke 4	5.456521739	2.252066116	2.097369	1.747807
Percobaan ke 5	7.239130435	2.479338843	3.113685	2.594738

Pengujian Seakeeping *crewboat* orela dengan menggunakan *foil* belakang

Sensor depan Tanpa Foil

V(knot)= 0	Amplitudo= 1.2 cm	Periode (s)	Hasil (Kotak)	Tinggi (cm)
Bagian Depan	Percobaan 1	0.5	1	0.217391304
	Percobaan 2	0.7	3.2	0.695652174
	Percobaan 3	0.9	13	2.826086957
	Percobaan 4	1.1	16	3.47826087
	Percobaan 5	1.3	16.2	3.52173913

Sensor Belakang Tanpa Foil

V(knot)= 0	Amplitudo= 1.2 cm	Periode (s)	Hasil (Kotak)	Tinggi (cm)
Bagian Belakang	Percobaan 1	0.5	0.3	0.061983471
	Percobaan 2	0.7	1.9	0.392561983
	Percobaan 3	0.9	8.8	1.818181818
	Percobaan 4	1.1	14	2.892561983
	Percobaan 5	1.3	14.5	2.995867769

Heaving

	Tinggi Bagian Depan Model Kapal (cm)	Tinggi Bagian Belakang Model Kapal (cm)	*Heaving*(cm) = ((1)+(2))/2	RAO Heave
Percobaan ke 1	0.217391304	0.061983471	0.139687388	0.116406156
Percobaan ke 2	0.695652174	0.392561983	0.544107079	0.453422566
Percobaan ke 3	2.826086957	1.818181818	2.322134387	1.935111989
Percobaan ke 4	2.782608696	2.892561983	2.83758534	2.36465445
Percobaan ke 5	2.465217391	2.995867769	2.73054258	2.27545215

Pitching

	Tinggi Bagian Depan Model Kapal (cm)	Tinggi Bagian Belakang Model Kapal (cm)	*Pitching* = tan¯1((1)-(2))/L	RAO Pitch
Percobaan ke 1	0.217391304	0.061983471	0.101762	0.084802
Percobaan ke 2	0.695652174	0.392561983	0.198465	0.165388
Percobaan ke 3	2.826086957	1.818181818	0.659956	0.549963
Percobaan ke 4	3.47826087	2.892561983	0.383515	0.319596
Percobaan ke 5	3.52173913	2.995867769	0.344341	0.286951

LAMPIRAN B

- Data hasil Running Aqwa

Berikut merupakan hasil running Aqwa berupa RAO *Heave* & *Pitch*

Tanpa menggunakan *foil* belakang pada kondisi diam

TABLE 11
Model (A3, B3) > Mesh

Object Name	*Mesh*
State	Meshed
Details of Mesh	
Defaults	
Global Control	Basic Controls
Mesh Parameters	
Defeaturing Tolerance	0.1 m
Max Element Size	0.45 m
Max Allowed Frequency	5.437 rad/s
Meshing Type	Combined Meshing
Generated Mesh Information	
Number of Nodes	8032
Number of Elements	7901
Number of Diff Nodes	4398
Number of Diff Elements	4255

Heave

Frequency (rad/s)	Line 1
0.1	0.9999208
0.29	1.0968815
0.48	1.2762647
0.67	1.9094166
0.86	2.2961325
1.05	1.7931783
1.24	0.8913109
1.43	3.69E-01
1.62	0.3107477
1.81	4.58E-02
2	1.61E-02
2.19	6.16E-03
2.38	1.30E-02
2.57	5.86E-03
2.76	3.82E-03
2.95	1.39E-03
3.14	7.70E-04
3.33	6.51E-04
3.52	4.51E-04
3.71	5.86E-04
3.9	2.59E-04

Pitch

Frequency (rad/s)	Line 1
0.1	1.3E-02
0.29	7.1E-02
0.48	2.3E-01
0.67	4.7E-01
0.86	6.3E-01
1.05	7.0E-01
1.24	4.8E-01
1.43	1.8E-01
1.62	1.2E-01
1.81	1.3E-01
2	6.5E-02
2.19	2.5E-02
2.38	1.4E-02
2.57	1.5E-02
2.76	2.9E-03
2.95	2.5E-03
3.14	3.0E-03
3.33	1.6E-03
3.52	9.1E-04
3.71	3.7E-04
3.9	2.4E-04

Tanpa menggunakan *foil* belakang pada kondisi kecepatan 22 Knots

TABLE 11
Model (A3, B3) > Mesh

Object Name	*Mesh*
State	Meshed
Details of Mesh	
Defaults	
Global Control	Basic Controls
Mesh Parameters	
Defeaturing Tolerance	0.1 m
Max Element Size	0.45 m
Max Allowed Frequency	5.437 rad/s
Meshing Type	Combined Meshing
Generated Mesh Information	
Number of Nodes	8032
Number of Elements	7901
Number of Diff Nodes	4398
Number of Diff Elements	4255

Heave

Frequency (rad/s)	Line 1
1.01E-01	8.74E-01
3.02E-01	7.95E-01
5.14E-01	7.47E-01
7.36E-01	8.84E-01
9.68E-01	1.14E+00
1.21E+00	2.05E+00
1.47E+00	2.62E+00
1.73E+00	2.31E+00
2.00E+00	1.50E+00
2.29E+00	8.90E-01
2.59E+00	3.90E-01
2.89E+00	1.26E-01
3.21E+00	2.81E-03
3.54E+00	3.19E-03
3.88E+00	2.17E-03
4.23E+00	1.57E-03
4.59E+00	1.13E-03
4.96E+00	9.44E-04
5.34E+00	7.88E-04
5.73E+00	5.61E-04
6.13E+00	4.94E-04

Pitch

Frequency (rad/s)	Line 1
1.01E-01	0.4309737
3.02E-01	0.5985377
5.14E-01	0.7995439
7.36E-01	1.060910925
9.68E-01	1.478381824
1.21E+00	2.233332467
1.47E+00	2.327103533
1.73E+00	1.7506959
2.00E+00	0.7593699
2.29E+00	4.34E-01
2.59E+00	1.81E-01
2.89E+00	2.61E-01
3.21E+00	4.70E-02
3.54E+00	2.97E-02
3.88E+00	2.73E-02
4.23E+00	1.97E-02
4.59E+00	1.29E-02
4.96E+00	1.13E-02
5.34E+00	9.01E-03
5.73E+00	7.08E-03
6.13E+00	4.42E-03

Dengan menggunakan *foil* belakang pada kondisi diam

TABLE 11
Model (A3, B3) > Mesh

Object Name	*Mesh*
State	Meshed
Details of Mesh	
Defaults	
Global Control	Basic Controls
Mesh Parameters	
Defeaturing Tolerance	0.1 m
Max Element Size	0.45 m
Max Allowed Frequency	5.437 rad/s
Meshing Type	Combined Meshing
Generated Mesh Information	
Number of Nodes	8032
Number of Elements	7901
Number of Diff Nodes	4398
Number of Diff Elements	4255

Heave

Frequency (rad/s)	Line 1
1.01E-01	8.74E-01
3.02E-01	7.95E-01
5.14E-01	7.47E-01
7.36E-01	8.84E-01
9.68E-01	1.14E+00
1.21E+00	2.05E+00
1.47E+00	2.62E+00
1.73E+00	2.31E+00
2.00E+00	1.50E+00
2.29E+00	8.90E-01
2.59E+00	3.90E-01
2.89E+00	1.26E-01
3.21E+00	2.81E-03
3.54E+00	3.19E-03
3.88E+00	2.17E-03
4.23E+00	1.57E-03
4.59E+00	1.13E-03
4.96E+00	9.44E-04
5.34E+00	7.88E-04
5.73E+00	5.61E-04
6.13E+00	4.94E-04

Pitch

Frequency (rad/s)	Line 1
1.01E-01	0.4309737
3.02E-01	0.5985377
5.14E-01	0.7995439
7.36E-01	1.060910925
9.68E-01	1.478381824
1.21E+00	2.233332467
1.47E+00	2.327103533
1.73E+00	1.7506959
2.00E+00	0.7593699
2.29E+00	4.34E-01
2.59E+00	1.81E-01
2.89E+00	2.61E-01
3.21E+00	4.70E-02
3.54E+00	2.97E-02
3.88E+00	2.73E-02
4.23E+00	1.97E-02
4.59E+00	1.29E-02
4.96E+00	1.13E-02
5.34E+00	9.01E-03
5.73E+00	7.08E-03
6.13E+00	4.42E-03

Dengan menggunakan *foil* belakang pada kondisi kecepatan 22 Knots

TABLE 12
Model (A3) > Mesh

Object Name	*Mesh*
State	Meshed
Details of Mesh	
Defaults	
Global Control	Basic Controls
Mesh Parameters	
Defeaturing Tolerance	0.1 m
Max Element Size	0.47 m
Max Allowed Frequency	5.143 rad/s
Meshing Type	Program Controlled
Generated Mesh Information	
Number of Nodes	8258
Number of Elements	8131
Number of Diff Nodes	4674
Number of Diff Elements	4509

Heave

Frequency (rad/s)	Line 1
1.01E-01	0.8960171
3.02E-01	0.8452762
5.14E-01	0.853067
7.36E-01	0.9918674
9.68E-01	1.440823
1.21E+00	2.048245
1.47E+00	2.320734
1.73E+00	2.04E+00
2.00E+00	1.41E+00
2.29E+00	7.10E-01
2.59E+00	3.66E-01
2.89E+00	1.49E-01
3.21E+00	7.06E-02
3.54E+00	5.86E-02
3.88E+00	1.45E-03
4.23E+00	9.72E-04
4.59E+00	8.68E-04
4.96E+00	5.63E-04
5.34E+00	4.78E-04
5.73E+00	2.87E-04
6.13E+00	4.13E-04

Pitch

Frequency (rad/s)	Line 1
1.01E-01	7.414628
3.02E-01	4.0135165
5.14E-01	2.6215157
7.36E-01	2.0426904
9.68E-01	1.9255812
1.21E+00	2.8036719
1.47E+00	2.1383357
1.73E+00	1.9785313
2.00E+00	0.9098833
2.29E+00	3.76E-01
2.59E+00	7.06E-02
2.89E+00	1.72E-01
3.21E+00	3.27E-02
3.54E+00	1.97E-02
3.88E+00	1.73E-02
4.23E+00	1.13E-02
4.59E+00	7.43E-03
4.96E+00	5.09E-03
5.34E+00	4.47E-03
5.73E+00	3.36E-03
6.13E+00	1.42E-03

LAMPIRAN C

Hasil Perhitungan Wave Spectrum ITTC

Tinggi gelombang 0.5 m

ωw	Sζ	ωe	Sζ
0.1	0	0.101467	0
0.29	0	0.302336	0
0.48	5.1E-101	0.513796	3.6E-101
0.67	8.93E-27	0.735847	5.62E-27
0.86	2.2E-10	0.968489	1.27E-10
1.05	2.19E-05	1.211721	1.17E-05
1.24	0.001379	1.465544	0.000687
1.43	0.006655	1.729957	0.003111
1.62	0.011477	2.004961	0.00506
1.81	0.012591	2.290556	0.005257
2	0.011195	2.586742	0.004443
2.19	0.00901	2.893518	0.00341
2.38	0.006927	3.210885	0.002506
2.57	0.005228	3.538843	0.001813
2.76	0.003928	3.877391	0.001308
2.95	0.002961	4.22653	0.000949
3.14	0.002247	4.58626	0.000694
3.33	0.001721	4.95658	0.000513
3.52	0.00133	5.337491	0.000383
3.71	0.001039	5.728993	0.00029
3.9	0.000819	6.131085	0.000221

Tinggi Gelombang 1 m

ωw	Sζ	ωe	Sζ
0.1	0	0.101467	0
0.29	4.1E-189	0.302336	3.2E-189
0.48	1.1E-24	0.513796	7.67E-25
0.67	1.15E-06	0.735847	7.21E-07
0.86	0.005626	0.968489	0.003247
1.05	0.047281	1.211721	0.025254
1.24	0.071355	1.465544	0.035544
1.43	0.061965	1.729957	0.028964
1.62	0.044478	2.004961	0.019608
1.81	0.030032	2.290556	0.01254
2	0.020057	2.586742	0.00796
2.19	0.013517	2.893518	0.005115
2.38	0.009265	3.210885	0.003352
2.57	0.006474	3.538843	0.002245
2.76	0.004613	3.877391	0.001536
2.95	0.003349	4.22653	0.001073
3.14	0.002473	4.58626	0.000764
3.33	0.001856	4.95658	0.000553
3.52	0.001414	5.337491	0.000407
3.71	0.001091	5.728993	0.000304
3.9	0.000852	6.131085	0.000231

Tinggi gelombang 1.5 m

ωw	Sζ	ωe	Sζ
0.1	0	0.101467	0
0.29	5.09E-83	0.302336	3.99E-83
0.48	1.5E-10	0.513796	1.05E-10
0.67	0.00606	0.735847	0.003817
0.86	0.13241	0.968489	0.076416
1.05	0.195891	1.211721	0.104629
1.24	0.148186	1.465544	0.073815
1.43	0.093667	1.729957	0.043783
1.62	0.05716	2.004961	0.025199
1.81	0.035278	2.290556	0.01473
2	0.022344	2.586742	0.008868
2.19	0.014572	2.893518	0.005514
2.38	0.009778	3.210885	0.003538
2.57	0.006736	3.538843	0.002336
2.76	0.004753	3.877391	0.001583
2.95	0.003426	4.22653	0.001098
3.14	0.002518	4.58626	0.000778
3.33	0.001882	4.95658	0.000561
3.52	0.00143	5.337491	0.000412
3.71	0.001101	5.728993	0.000307
3.9	0.000859	6.131085	0.000232

Tinggi gelombang 2 m

ωw	Sζ	ωe	Sζ
0.1	0	0.101467	0
0.29	6.9E-46	0.302336	5.41E-46
0.48	1.33E-05	0.513796	9.28E-06
0.67	0.12184	0.735847	0.07673
0.86	0.39998	0.968489	0.230835
1.05	0.322166	1.211721	0.172074
1.24	0.191378	1.465544	0.09533
1.43	0.108241	1.729957	0.050595
1.62	0.062405	2.004961	0.027511
1.81	0.037322	2.290556	0.015584
2	0.023204	2.586742	0.00921
2.19	0.01496	2.893518	0.005661
2.38	0.009964	3.210885	0.003605
2.57	0.00683	3.538843	0.002368
2.76	0.004802	3.877391	0.001599
2.95	0.003453	4.22653	0.001107
3.14	0.002533	4.58626	0.000782
3.33	0.001892	4.95658	0.000564
3.52	0.001435	5.337491	0.000414
3.71	0.001105	5.728993	0.000308
3.9	0.000861	6.131085	0.000233

Respon Spektrum tanpa menggunakan Foil pada kecepatan 22 knots

	ωe	SζTanpa Foil	SM	Heave RAO	Heave SζR	SζR*SM	Pitch RAO	Pitch SζR	SζR*SM
Hs= 0.5m	0.10	0.0000	1.0000	0.873883	0	0	5.43E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.30	0.0000	4.0000	0.795344	0	0	2.70E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.51	0.0000	2.0000	0.746549	2E-101	4E-101	2.00E+00	1.43E-100	2.86E-100
	0.74	0.0000	4.0000	0.884169	4.4E-27	1.76E-26	1.49E+00	1.25E-26	5.00E-26
	0.97	0.0000	2.0000	1.144123	1.66E-10	3.33E-10	1.48E+00	2.78E-10	5.55E-10
	1.21	0.0000	4.0000	2.0491	4.92E-05	0.000197	2.23E+00	5.84E-05	2.34E-04
	1.47	0.0007	2.0000	2.620457	0.004717	0.009433	2.33E+00	3.72E-03	7.44E-03
	1.73	0.0031	4.0000	2.30688	0.016554	0.066218	1.75E+00	9.53E-03	3.81E-02
	2.00	0.0051	2.0000	1.4968	0.011336	0.022672	7.59E-01	2.92E-03	5.84E-03
	2.29	0.0053	4.0000	0.890048	0.004165	0.016659	5.34E-01	1.50E-03	6.00E-03
	2.59	0.0044	2.0000	0.390001	0.000676	0.001352	1.81E-01	1.45E-04	2.90E-04
	2.89	0.0034	4.0000	0.125676	5.39E-05	0.000215	2.61E-01	2.33E-04	9.33E-04
	3.21	0.0025	2.0000	0.002808	1.98E-08	3.95E-08	4.70E-02	5.55E-06	1.11E-05
	3.54	0.0018	4.0000	0.003192	1.85E-08	7.39E-08	2.97E-02	1.60E-06	6.40E-06
	3.88	0.0013	2.0000	0.002165	6.13E-09	1.23E-08	2.73E-02	9.72E-07	1.94E-06
	4.23	0.0009	4.0000	0.001571	2.34E-09	9.36E-09	1.97E-02	3.67E-07	1.47E-06
	4.59	0.0007	2.0000	0.001129	8.84E-10	1.77E-09	1.29E-02	1.16E-07	2.32E-07
	4.96	0.0005	4.0000	0.000944	4.57E-10	1.83E-09	1.13E-02	6.60E-08	2.64E-07
	5.34	0.0004	2.0000	0.000788	2.38E-10	4.77E-10	9.01E-03	3.11E-08	6.22E-08
	5.73	0.0003	4.0000	0.000561	9.12E-11	3.65E-10	7.08E-03	1.45E-08	5.81E-08
	6.13	0.0002	1.0000	0.000494	5.39E-11	5.39E-11	4.42E-03	4.33E-09	4.33E-09
					SUM=	0.116746		SUM=	5.89E-02
					M_{r0}=	0.011675		M_{r0}=	0.005889

	ωe	Sζ	SM	Heave		Sζr*SM	Pitch		Sζr*SM
	Tanpa Foil			RAO	Sζr		RAO	Sζr	
Hs= 1m	0.10	0.0000	1.0000	0.873883	0	0	5.43E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.30	0.0000	4.0000	0.795344	2E-189	8.2E-189	2.70E+00	2.36E-188	9.42E-188
	0.51	0.0000	2.0000	0.746549	4.27E-25	8.55E-25	2.00E+00	3.07E-24	6.13E-24
	0.74	0.0000	4.0000	0.884169	5.64E-07	2.25E-06	1.49E+00	1.60E-06	6.41E-06
	0.97	0.0032	2.0000	1.144123	0.00425	0.0085	1.48E+00	7.10E-03	1.42E-02
	1.21	0.0253	4.0000	2.0491	0.106035	0.424141	2.23E+00	1.26E-01	5.04E-01
	1.47	0.0355	2.0000	2.620457	0.244071	0.488143	2.33E+00	1.92E-01	3.85E-01
	1.73	0.0290	4.0000	2.30688	0.154139	0.616555	1.75E+00	8.88E-02	3.55E-01
	2.00	0.0196	2.0000	1.4968	0.04393	0.08786	7.59E-01	1.13E-02	2.26E-02
	2.29	0.0125	4.0000	0.890048	0.009934	0.039735	5.34E-01	3.58E-03	1.43E-02
	2.59	0.0080	2.0000	0.390001	0.001211	0.002422	1.81E-01	2.60E-04	5.20E-04
	2.89	0.0051	4.0000	0.125676	8.08E-05	0.000323	2.61E-01	3.50E-04	1.40E-03
	3.21	0.0034	2.0000	0.002808	2.64E-08	5.29E-08	4.70E-02	7.42E-06	1.48E-05
	3.54	0.0022	4.0000	0.003192	2.29E-08	9.15E-08	2.97E-02	1.98E-06	7.92E-06
	3.88	0.0015	2.0000	0.002165	7.2E-09	1.44E-08	2.73E-02	1.14E-06	2.28E-06
	4.23	0.0011	4.0000	0.001571	2.65E-09	1.06E-08	1.97E-02	4.15E-07	1.66E-06
	4.59	0.0008	2.0000	0.001129	9.73E-10	1.95E-09	1.29E-02	1.27E-07	2.55E-07
	4.96	0.0006	4.0000	0.000944	4.93E-10	1.97E-09	1.13E-02	7.12E-08	2.85E-07
	5.34	0.0004	2.0000	0.000788	2.53E-10	5.07E-10	9.01E-03	3.30E-08	6.61E-08
	5.73	0.0003	4.0000	0.000561	9.58E-11	3.83E-10	7.08E-03	1.52E-08	6.10E-08
	6.13	0.0002	1.0000	0.000494	5.62E-11	5.62E-11	4.42E-03	4.51E-09	4.51E-09
					SUM=	1.66768		SUM=	1.30E+00
					M_{r0}=	0.166768		M_{r0}=	0.129697

	ωe	Sζ	SM	Heave		SζrSM	Pitch		SζrSM
	Tanpa Foil			RAO	Sζr		RAO	Sζr	
Hs= 1.5m	0.10	0.0000	1.0000	0.873883	0	0	5.43E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.30	0.0000	4.0000	0.795344	2.53E-83	1.01E-82	2.70E+00	2.91E-82	6.12E-82
	0.51	0.0000	2.0000	0.746549	5.84E-11	1.17E-10	2.00E+00	4.19E-10	4.41E-10
	0.74	0.0038	4.0000	0.884169	0.002984	0.011935	1.49E+00	8.49E-03	1.79E-02
	0.97	0.0764	2.0000	1.144123	0.10003	0.20006	1.48E+00	1.67E-01	1.76E-01
	1.21	0.1046	4.0000	2.0491	0.439316	1.757262	2.23E+00	5.22E-01	1.10E+00
	1.47	0.0738	2.0000	2.620457	0.506875	1.013751	2.33E+00	4.00E-01	4.21E-01
	1.73	0.0438	4.0000	2.30688	0.233	0.931998	1.75E+00	1.34E-01	2.83E-01
	2.00	0.0252	2.0000	1.4968	0.056456	0.112911	7.59E-01	1.45E-02	1.53E-02
	2.29	0.0147	4.0000	0.890048	0.011669	0.046675	5.34E-01	4.20E-03	8.85E-03
	2.59	0.0089	2.0000	0.390001	0.001349	0.002698	1.81E-01	2.90E-04	3.05E-04
	2.89	0.0055	4.0000	0.125676	8.71E-05	0.000348	2.61E-01	3.77E-04	7.94E-04
	3.21	0.0035	2.0000	0.002808	2.79E-08	5.58E-08	4.70E-02	7.83E-06	8.24E-06
	3.54	0.0023	4.0000	0.003192	2.38E-08	9.52E-08	2.97E-02	2.06E-06	4.34E-06
	3.88	0.0016	2.0000	0.002165	7.42E-09	1.48E-08	2.73E-02	1.18E-06	1.24E-06
	4.23	0.0011	4.0000	0.001571	2.71E-09	1.08E-08	1.97E-02	4.24E-07	8.94E-07
	4.59	0.0008	2.0000	0.001129	9.91E-10	1.98E-09	1.29E-02	1.30E-07	1.37E-07
	4.96	0.0006	4.0000	0.000944	5E-10	2E-09	1.13E-02	7.22E-08	1.52E-07
	5.34	0.0004	2.0000	0.000788	2.56E-10	5.12E-10	9.01E-03	3.34E-08	3.52E-08
	5.73	0.0003	4.0000	0.000561	9.67E-11	3.87E-10	7.08E-03	1.54E-08	3.24E-08
	6.13	0.0002	1.0000	0.000494	5.66E-11	5.66E-11	4.42E-03	4.54E-09	2.39E-09
					SUM=	4.077639		SUM=	2.02E+00
					M_{r0}=	0.407764		M_{r0}=	0.202088

	ωe	Sζ	SM	Heave		Sζr*SM	Pitch		Sζr*SM
	Tanpa Foil			RAO	Sζr		RAO	Sζr	
Hs= 2m	0.10	0.0000	1.0000	0.873883	0	0	5.43E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.30	0.0000	4.0000	0.795344	3.42E-46	1.37E-45	2.70E+00	3.94E-45	1.57E-45
	0.51	0.0000	2.0000	0.746549	5.17E-06	1.03E-05	2.00E+00	3.71E-05	1.38E-05
	0.74	0.0767	4.0000	0.884169	0.059984	0.239937	1.49E+00	1.71E-01	7.54E-02
	0.97	0.2308	2.0000	1.144123	0.302167	0.604334	1.48E+00	5.05E-01	2.89E-01
	1.21	0.1721	4.0000	2.0491	0.722505	2.89002	2.23E+00	8.58E-01	8.79E-01
	1.47	0.0953	2.0000	2.620457	0.654615	1.309229	2.33E+00	5.16E-01	6.76E-01
	1.73	0.0506	4.0000	2.30688	0.269253	1.077012	1.75E+00	1.55E-01	1.79E-01
	2.00	0.0275	2.0000	1.4968	0.061637	0.123273	7.59E-01	1.59E-02	1.19E-02
	2.29	0.0156	4.0000	0.890048	0.012345	0.04938	5.34E-01	4.45E-03	1.98E-03
	2.59	0.0092	2.0000	0.390001	0.001401	0.002802	1.81E-01	3.01E-04	5.87E-05
	2.89	0.0057	4.0000	0.125676	8.94E-05	0.000358	2.61E-01	3.87E-04	2.43E-05
	3.21	0.0036	2.0000	0.002808	2.84E-08	5.69E-08	4.70E-02	7.98E-06	1.12E-08
	3.54	0.0024	4.0000	0.003192	2.41E-08	9.65E-08	2.97E-02	2.09E-06	3.33E-09
	3.88	0.0016	2.0000	0.002165	7.5E-09	1.5E-08	2.73E-02	1.19E-06	1.29E-09
	4.23	0.0011	4.0000	0.001571	2.73E-09	1.09E-08	1.97E-02	4.28E-07	3.36E-10
	4.59	0.0008	2.0000	0.001129	9.97E-10	1.99E-09	1.29E-02	1.31E-07	7.37E-11
	4.96	0.0006	4.0000	0.000944	5.03E-10	2.01E-09	1.13E-02	7.26E-08	3.43E-11
	5.34	0.0004	2.0000	0.000788	2.57E-10	5.14E-10	9.01E-03	3.35E-08	1.32E-11
	5.73	0.0003	4.0000	0.000561	9.7E-11	3.88E-10	7.08E-03	1.54E-08	4.33E-12
	6.13	0.0002	1.0000	0.000494	5.67E-11	5.67E-11	4.42E-03	4.55E-09	1.12E-12
					SUM=	6.296355		SUM=	2.11E+00
					M_{r0}=	0.629636		M_{r0}=	0.211259

Respon Spektrum dengan menggunakan Foil pada kecepatan 22 knots

	ωe	Sζ	SM	Heave		Sζr*SM	Pitch		Sζr*SM
	Tanpa Foil			RAO	Sζr		RAO	Sζr	
Hs= 0.5m	0.10	0.0000	1.0000	0.896017	0	0	3.71E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.30	0.0000	4.0000	0.845276	0	0	2.01E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.51	0.0000	2.0000	0.853067	2.4E-101	4.8E-101	1.05E+00	3.63E-101	7.27E-101
	0.74	0.0000	4.0000	0.991867	5.05E-27	2.02E-26	6.81E-01	2.38E-27	9.51E-27
	0.97	0.0000	2.0000	1.440823	2.38E-10	4.77E-10	6.42E-01	4.73E-11	9.46E-11
	1.21	0.0000	4.0000	2.048245	4.41E-05	0.000177	9.35E-01	9.19E-06	3.68E-05
	1.47	0.0006	2.0000	2.320734	0.003306	0.006612	2.14E+00	2.81E-03	5.61E-03
	1.73	0.0028	4.0000	2.03907	0.011512	0.046048	1.98E+00	1.08E-02	4.34E-02
	2.00	0.0045	2.0000	1.414038	0.008976	0.017952	9.10E-01	3.72E-03	7.43E-03
	2.29	0.0047	4.0000	0.710465	0.002348	0.009393	3.76E-01	6.57E-04	2.63E-03
	2.59	0.0039	2.0000	0.365664	0.000525	0.001049	7.06E-02	1.96E-05	3.91E-05
	2.89	0.0030	4.0000	0.148604	6.64E-05	0.000265	4.23E-02	5.37E-06	2.15E-05
	3.21	0.0022	2.0000	0.070593	1.1E-05	2.2E-05	3.27E-02	2.36E-06	4.71E-06
	3.54	0.0016	4.0000	0.05864	5.48E-06	2.19E-05	1.97E-02	6.17E-07	2.47E-06
	3.88	0.0011	2.0000	0.001446	2.4E-09	4.8E-09	1.73E-02	3.42E-07	6.84E-07
	4.23	0.0008	4.0000	0.000972	7.85E-10	3.14E-09	1.13E-02	1.06E-07	4.24E-07
	4.59	0.0006	2.0000	0.000868	4.58E-10	9.17E-10	7.43E-03	3.36E-08	6.72E-08
	4.96	0.0004	4.0000	0.000563	1.42E-10	5.7E-10	5.09E-03	1.16E-08	4.65E-08
	5.34	0.0003	2.0000	0.000478	7.65E-11	1.53E-10	4.47E-03	6.71E-09	1.34E-08
	5.73	0.0003	4.0000	0.000287	2.09E-11	8.35E-11	3.36E-03	2.86E-09	1.14E-08
	6.13	0.0002	1.0000	0.000413	3.29E-11	3.29E-11	1.42E-03	3.89E-10	3.89E-10
					SUM=	0.081539		SUM=	5.91E-02
					M_{r0}=	0.008154		M_{r0}=	0.005913

	ωe	Sζ	SM	Heave		Sζr*SM	Pitch		Sζr*SM
	Tanpa Foil			RAO	Sζr		RAO	Sζr	
Hs= 1m	0.10	0.0000	1.0000	0.896017	0	0	3.71E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.30	0.0000	4.0000	0.845276	2.2E-189	8.7E-189	2.01E+00	1.23E-188	5.45E-188
	0.51	0.0000	2.0000	0.853067	5.15E-25	1.03E-24	1.05E+00	7.79E-25	1.73E-24
	0.74	0.0000	4.0000	0.991867	6.47E-07	2.59E-06	6.81E-01	3.05E-07	1.35E-06
	0.97	0.0029	2.0000	1.440823	0.006092	0.012185	6.42E-01	1.21E-03	2.69E-03
	1.21	0.0227	4.0000	2.048245	0.095148	0.38059	9.35E-01	1.98E-02	8.80E-02
	1.47	0.0318	2.0000	2.320734	0.171061	0.342122	2.14E+00	1.45E-01	3.23E-01
	1.73	0.0258	4.0000	2.03907	0.107188	0.428751	1.98E+00	1.01E-01	4.49E-01
	2.00	0.0174	2.0000	1.414038	0.034784	0.069569	9.10E-01	1.44E-02	3.20E-02
	2.29	0.0111	4.0000	0.710465	0.005601	0.022403	3.76E-01	1.57E-03	6.97E-03
	2.59	0.0070	2.0000	0.365664	0.00094	0.00188	7.06E-02	3.50E-05	7.79E-05
	2.89	0.0045	4.0000	0.148604	9.96E-05	0.000398	4.23E-02	8.06E-06	3.58E-05
	3.21	0.0029	2.0000	0.070593	1.47E-05	2.94E-05	3.27E-02	3.15E-06	7.01E-06
	3.54	0.0020	4.0000	0.05864	6.78E-06	2.71E-05	1.97E-02	7.64E-07	3.40E-06
	3.88	0.0013	2.0000	0.001446	2.82E-09	5.64E-09	1.73E-02	4.02E-07	8.93E-07
	4.23	0.0009	4.0000	0.000972	8.88E-10	3.55E-09	1.13E-02	1.20E-07	5.33E-07
	4.59	0.0007	2.0000	0.000868	5.05E-10	1.01E-09	7.43E-03	3.70E-08	8.22E-08
	4.96	0.0005	4.0000	0.000563	1.54E-10	6.15E-10	5.09E-03	1.25E-08	5.57E-08
	5.34	0.0004	2.0000	0.000478	8.13E-11	1.63E-10	4.47E-03	7.13E-09	1.58E-08
	5.73	0.0003	4.0000	0.000287	2.19E-11	8.77E-11	3.36E-03	3.00E-09	1.34E-08
	6.13	0.0002	1.0000	0.000413	3.43E-11	3.43E-11	1.42E-03	4.05E-10	4.50E-10
					SUM=	1.257957		SUM=	9.01E-01
					M_{r0}=	0.125796		M_{r0}=	0.090107

	ωe	Sζ	SM	Heave		Sζr*SM	Pitch		Sζr*SM
	Tanpa Foil			RAO	Sζr		RAO	Sζr	
Hs= 1.5m	0.10	0.0000	1.0000	0.896017	0	0	3.71E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.30	0.0000	4.0000	0.845276	2.68E-83	1.07E-82	2.01E+00	1.51E-82	6.05E-82
	0.51	0.0000	2.0000	0.853067	7.04E-11	1.41E-10	1.05E+00	1.06E-10	2.13E-10
	0.74	0.0035	4.0000	0.991867	0.003424	0.013696	6.81E-01	1.61E-03	6.45E-03
	0.97	0.0691	2.0000	1.440823	0.143398	0.286796	6.42E-01	2.85E-02	5.69E-02
	1.21	0.0940	4.0000	2.048245	0.394207	1.576827	9.35E-01	8.21E-02	3.28E-01
	1.47	0.0660	2.0000	2.320734	0.355251	0.710502	2.14E+00	3.02E-01	6.03E-01
	1.73	0.0390	4.0000	2.03907	0.162027	0.64811	1.98E+00	1.53E-01	6.10E-01
	2.00	0.0224	2.0000	1.414038	0.044703	0.089405	9.10E-01	1.85E-02	3.70E-02
	2.29	0.0130	4.0000	0.710465	0.006579	0.026317	3.76E-01	1.84E-03	7.36E-03
	2.59	0.0078	2.0000	0.365664	0.001047	0.002094	7.06E-02	3.90E-05	7.81E-05
	2.89	0.0049	4.0000	0.148604	0.000107	0.000429	4.23E-02	8.69E-06	3.48E-05
	3.21	0.0031	2.0000	0.070593	1.55E-05	3.1E-05	3.27E-02	3.33E-06	6.65E-06
	3.54	0.0021	4.0000	0.05864	7.06E-06	2.82E-05	1.97E-02	7.95E-07	3.18E-06
	3.88	0.0014	2.0000	0.001446	2.9E-09	5.81E-09	1.73E-02	4.14E-07	8.28E-07
	4.23	0.0010	4.0000	0.000972	9.09E-10	3.63E-09	1.13E-02	1.23E-07	4.91E-07
	4.59	0.0007	2.0000	0.000868	5.14E-10	1.03E-09	7.43E-03	3.76E-08	7.53E-08
	4.96	0.0005	4.0000	0.000563	1.56E-10	6.23E-10	5.09E-03	1.27E-08	5.09E-08
	5.34	0.0004	2.0000	0.000478	8.22E-11	1.64E-10	4.47E-03	7.21E-09	1.44E-08
	5.73	0.0003	4.0000	0.000287	2.21E-11	8.85E-11	3.36E-03	3.03E-09	1.21E-08
	6.13	0.0002	1.0000	0.000413	3.45E-11	3.45E-11	1.42E-03	4.08E-10	4.08E-10
					SUM=	3.354235		SUM=	1.65E+00
					M_{r0}=	0.335423		M_{r0}=	0.164955

	ωe	Sζ	SM	Heave		Sζr*SM	Pitch		Sζr*SM
	Tanpa Foil			RAO	Sζr		RAO	Sζr	
Hs= 2m	0.10	0.0000	1.0000	0.896017	0	0	3.71E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.30	0.0000	4.0000	0.845276	3.64E-46	1.46E-45	2.01E+00	2.05E-45	1.73E-45
	0.51	0.0000	2.0000	0.853067	6.24E-06	1.25E-05	1.05E+00	9.42E-06	8.04E-06
	0.74	0.0700	4.0000	0.991867	0.068838	0.275352	6.81E-01	3.24E-02	3.22E-02
	0.97	0.2087	2.0000	1.440823	0.433172	0.866343	6.42E-01	8.60E-02	1.24E-01
	1.21	0.1545	4.0000	2.048245	0.648318	2.593274	9.35E-01	1.35E-01	2.76E-01
	1.47	0.0852	2.0000	2.320734	0.458796	0.917592	2.14E+00	3.90E-01	9.04E-01
	1.73	0.0450	4.0000	2.03907	0.187238	0.748952	1.98E+00	1.76E-01	3.59E-01
	2.00	0.0244	2.0000	1.414038	0.048805	0.09761	9.10E-01	2.02E-02	2.86E-02
	2.29	0.0138	4.0000	0.710465	0.00696	0.027842	3.76E-01	1.95E-03	1.38E-03
	2.59	0.0081	2.0000	0.365664	0.001087	0.002175	7.06E-02	4.05E-05	1.48E-05
	2.89	0.0050	4.0000	0.148604	0.00011	0.000441	4.23E-02	8.92E-06	1.33E-06
	3.21	0.0032	2.0000	0.070593	1.58E-05	3.16E-05	3.27E-02	3.39E-06	2.39E-07
	3.54	0.0021	4.0000	0.05864	7.16E-06	2.86E-05	1.97E-02	8.06E-07	4.73E-08
	3.88	0.0014	2.0000	0.001446	2.93E-09	5.87E-09	1.73E-02	4.18E-07	6.05E-10
	4.23	0.0010	4.0000	0.000972	9.16E-10	3.66E-09	1.13E-02	1.24E-07	1.20E-10
	4.59	0.0007	2.0000	0.000868	5.17E-10	1.03E-09	7.43E-03	3.79E-08	3.29E-11
	4.96	0.0005	4.0000	0.000563	1.57E-10	6.27E-10	5.09E-03	1.28E-08	7.20E-12
	5.34	0.0004	2.0000	0.000478	8.25E-11	1.65E-10	4.47E-03	7.24E-09	3.46E-12
	5.73	0.0003	4.0000	0.000287	2.22E-11	8.88E-11	3.36E-03	3.04E-09	8.73E-13
	6.13	0.0002	1.0000	0.000413	3.46E-11	3.46E-11	1.42E-03	4.09E-10	1.69E-13
					SUM=	5.529652		SUM=	1.73E+00
					M_{r0}=	0.552965		M_{r0}=	0.172588

LAMPIRAN D

- Data Validasi Model Balok

WAMIT

Periode	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
4	1.90E-03	0.00E+00	0.00E+00	6.09E-04	0.00E+00	3.37E-03
6	2.20E-02	1.73E-02	0.00E+00	9.59E-03	0.00E+00	3.37E-03
8	8.31E-02	5.90E-02	1.08E-02	4.44E-02	0.00E+00	1.41E-02
10	4.40E-02	4.71E-02	2.70E-02	3.49E-02	1.16E-01	2.72E-01
12	2.04E-01	2.32E-01	5.00E-01	1.56E-01	4.18E-01	3.61E-01
14	2.38E-01	3.52E-01	1.71E+00	2.07E-01	2.06E+00	3.51E-01
16	4.33E-01	4.39E-01	1.25E+00	2.22E-01	1.44E+00	3.12E-01
18	5.01E-01	5.00E-01	1.11E+00	2.21E-01	7.17E-01	2.69E-01
20	5.45E-01	5.42E-01	1.05E+00	2.09E-01	5.01E-01	2.32E-01
22	5.78E-01	5.72E-01	1.03E+00	1.93E-01	3.81E-01	2.00E-01
24	6.06E-01	5.95E-01	1.01E+00	1.79E-01	3.09E-01	1.73E-01
26	6.24E-01	6.12E-01	1.01E+00	1.62E-01	2.66E-01	1.50E-01
28	6.40E-01	6.26E-01	1.00E+00	1.48E-01	2.22E-01	1.32E-01
30	6.52E-01	6.39E-01	1.00E+00	1.35E-01	1.92E-01	1.16E-01
32	6.58E-01	6.49E-01	1.00E+00	1.22E-01	1.64E-01	1.04E-01
34	6.65E-01	6.55E-01	1.00E+00	1.11E-01	1.48E-01	9.18E-02
36	6.70E-01	6.63E-01	1.00E+00	1.02E-01	1.31E-01	8.33E-02
38	6.76E-01	6.67E-01	1.00E+00	9.42E-02	1.16E-01	7.52E-02
40	6.79E-01	6.72E-01	1.00E+00	8.67E-02	1.06E-01	6.77E-02
42	6.86E-01	6.76E-01	1.00E+00	7.94E-02	9.46E-02	6.23E-02

AQWA

Periode	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
42	6.91E-01	6.85E-01	9.96E-01	8.57E-02	9.42E-02	6.75E-02
40	6.83E-01	6.76E-01	9.96E-01	9.29E-02	1.03E-01	7.32E-02
38	6.76E-01	6.68E-01	9.95E-01	1.01E-01	1.14E-01	7.99E-02
36	6.69E-01	6.61E-01	9.94E-01	1.11E-01	1.26E-01	8.80E-02
34	6.62E-01	6.53E-01	9.92E-01	1.22E-01	1.41E-01	9.76E-02
32	6.54E-01	6.45E-01	9.90E-01	1.35E-01	1.60E-01	1.09E-01
30	6.45E-01	6.35E-01	9.88E-01	1.49E-01	1.82E-01	1.23E-01
28	6.34E-01	6.24E-01	9.86E-01	1.66E-01	2.10E-01	1.39E-01
26	6.19E-01	6.09E-01	9.82E-01	1.85E-01	2.44E-01	1.59E-01
24	6.00E-01	5.90E-01	9.79E-01	2.07E-01	2.89E-01	1.82E-01
22	5.75E-01	5.65E-01	9.75E-01	2.30E-01	3.50E-01	2.11E-01
20	5.40E-01	5.33E-01	9.73E-01	2.54E-01	4.37E-01	2.45E-01
18	4.91E-01	4.88E-01	9.76E-01	2.75E-01	5.84E-01	2.85E-01
16	4.21E-01	4.26E-01	1.10E+00	2.87E-01	9.28E-01	3.28E-01
14	1.77E-01	3.42E-01	1.31E+00	2.78E-01	2.46E+00	3.66E-01
12	2.01E-01	2.24E-01	1.44E-01	2.19E-01	6.31E-01	3.75E-01
10	4.19E-02	4.40E-02	4.35E-02	5.08E-02	1.46E-01	2.87E-01
8	8.00E-02	5.64E-02	4.57E-03	7.09E-02	1.05E-02	1.34E-02
6	1.85E-02	1.58E-02	5.06E-04	1.62E-02	1.57E-03	1.56E-03
4	4.75E-04	9.10E-04	2.18E-06	1.81E-04	2.55E-05	1.92E-03

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil RAO yang didapatkan dari 3D *Diffraction theory* dan hasil eksperimen yang sudah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Validasi perhitungan numerik Ansys Aqwa dengan program Wamit sudah sama dan hasil perhitungan Aqwa bisa dikatakan valid.
2. Kapal *Crewboat* dengan menggunakan *foil* belakang memiliki karakteristik gerakan RAO *Heave* yang lebih baik dibandingkan kapal *Crewboat* tanpa menggunakan *foil* belakang. Berdasarkan hasil RMS *heave* pada *seastate* 4 yakni tinggi gelombang 2 m penambahan *foil* belakang dapat mengurangi hasil respons RMS *heave* sebesar 6.3%, dan hasil RMS *heave* kapal tanpa menggunakan *foil* belakang sebesar 0.793 m sedangkan hasil RMS *heave* kapal dengan menggunakan *foil* belakang sebesar 0.743 m.
3. Kapal *Crewboat* dengan menggunakan *foil* belakang memiliki karakteristik gerakan RAO *pitch* yang lebih baik dibandingkan kapal *Crewboat* tanpa menggunakan *foil* belakang. Berdasarkan hasil RMS *pitch* pada *seastate* 4, yakni tinggi gelombang 2 m penambahan foil belakang dapat mengurangi hasil respons RMS *pitch* sebesar 9.7%, dan hasil RMS *Pitch* kapal tanpa menggunakan *foil* belakang sebesar 0.459 deg. sedangkan hasil signifikan *Pitch amplitude* kapal dengan menggunakan *foil* belakang sebesar 0.415 deg.

6.2 Saran

Di luar seluruh pekerjaan yang sudah diselesaikan, tentunya masih banyak permasalahan yang belum bisa dijangkau pada pembahasan pada penelitian ini. Kendala utama yang menyebabkannya adalah keterbatasan waktu dan fasilitas yang digunakan. Diharapkan hal tersebut dapat diperbaiki pada penelitian selanjutnya. Untuk itu pada bagian ini dituliskan beberapa saran sebagaimana dituliskan sebagai berikut.

1. Dalam Tugas Akhir ini tidak dilakukan perancangan sistem konstruksi dan perhitungan berat konstruksi sehingga untuk pengembangan desain selanjutnya, hal tersebut dapat dilakukan agar diperoleh analisa olah gerak kapal yang lebih akurat.

2. Pemodelan *foil* belakang pada uji eksperimen, masih menggunakan cara pendekatan dalam pembuatannya. Sebaiknya pembuatan *foil* dilakukan lebih detail agar hasil eksperimen lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Ahadyanti, G. M. (2015).Thesis. *Studi Optimasi Hull Form FSO di Laut Jawa.* Surabaya.

Bhattacharyya. (1978). *Dynamic of marine Vehicles.* United State of America.

Bureu Veritas. (2002). *Rules For The Classification of High Speed Craft.*

Chakrabarti, S. K. (1987). *Hydrodynamic of Offshore Structure.* Boston, USA.

Course, M. O. (2011). *Design of Ocean Systems.* Cambridge: Massachusetts Institut of Technology

Coursewere, M. O. (2011). Design of Ocean Systems. *Massachusetts Institute Technology*, (hal. Lecture 5, Seakeeping). Cambridge, USA.

Djatmiko, E. B. (2012). *Prilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak.* Surabaya: ITS Press.

Hidayat, A. (2016). Tugas Akhir.*Kajian Eksperimental dan Numeris Hambatan Kapal Crew boat Dengan dan Tanpa Foil Belakang.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Jong, P. d. (2011). *Seekeping Behaviour of High Speed Ships.* Netherlands: Gildeprint drukkerijen, Enschede, The Netherlands.

Maxsurf Modeler UserManual. (2013). *Bentley System.* United States:.

McDermot, J. R. (2000). WAMIT-MOSES Hydrodynamic Analysis Comparasion Study. *Hull Department Engineering*.

Oossanen, P. V. (2014). An Update on The Development of The Hull Vane. *Hiper Athens*, 211-221.

Romansyah, D. W. (2015).Tugas Akhir. *Analisis Gerakan Kapal Tipe LNG Carrier Bersarat Rendah Di Perairan Selat MAKASSAR.* Surabaya: Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS.

Suryana, I. P. (2015). Tugas Akhir. *Analisa Teknis dan Ekonomis Floating Terminal untuk Crude Oil Di Tuban.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

… (2012).*Ansys Aqwa Reference Manual*. Ansys,Inc.

BIODATA PENULIS

Bonaventura Danis Prasetyo, 15 juli 1994 penulis dilahirkan di sebuah kota bernama Tangerang, Banten. Penulis merupakan anak terakhir dari pasangan Y.B. Suwardi dan Bernadetha Suwartini. Semasa kecil penulis menempuh pendidikan formal di kota kelahiran dari TK Wijaya Mekar, SD Tarakanita 1, beranjak remaja penulis meneruskan sekolah di SMP Katolik Tarakanita 5 dan dilanjutkan di SMA Negeri 87 Jakarta. Setelah lulus SMA, penulis diterima di Jurusan Teknik perkapalan FTK ITS pada tahun 2012 melalui jalur SNMPTN Tulis sebagai Perguruan Tinggi Pilihan kedua.

Di jurusan Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal. Semasa Kuliah, penulis aktif di kegiatan keorganisasian, minat dan bakat serta perkuliahan. Penulis pernah menjabat sebagai kepala divisi investasi departemen Kewirausahaan Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan (HIMATEKPAL) tahun 2013-2014 dan menjabat sebagai kepala divisi Futsal UKM Sepakbola ITS Tahun 2013-2014. Dalam kegiatan minat dan bakat penulis pernah mengkiti kejuaraan nasional futsal di ITB bandung pada tahun 2014. Selain itu penulis perna menjadi *grader* matakuliah menggambar teknik (MN1212)