TUGAS AKHIR – MN141581

ANALISA PENGARUH KONFIGURASI SKEG TERHADAP HAMBATAN DAN GERAK KAPAL DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

HEMAS AVICENNA
NRP. 4112 100 075

Prof. Ir. I K.A.P. Utama, M.Sc., Ph.D.

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

TUGAS AKHIR – MN141581

ANALISA PENGARUH KONFIGURASI SKEG TERHADAP HAMBATAN DAN GERAK KAPAL DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

HEMAS AVICENNA
NRP. 4112 100 075

Prof. Ir. I K.A.P. Utama, M.Sc., Ph.D.

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

TUGAS AKHIR – MN141581

INFLUENCE ANALYSIS OF SKEG CONVIGURATION IN RESISTANCE AND MOTION OF THE SHIP USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS METHOD

HEMAS AVICENNA
NRP. 4112 100 075

Prof. Ir. I K.A.P. Utama, M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institut of Technology
Surabaya
2016

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat, hidayah dan inayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **"ANALISA PENGARUH KONFIGURASI SKEG TERHADAP HAMBATAN DAN GERAK KAPAL DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*"** dengan perjuangan. Shalawat dan salam penulis curahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita menuju alam yang penuh ilmu pengetahuan.

Dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini tentunya banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung memberikan dorongan dan bantuannya, sehingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Untuk itu ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Kedua orang tua yang selalu mendoakan anak-anaknya
2. Bapak Prof. Ir. I K.A.P. Utama, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dalam memberi pengertian dan arahan kepada penulis
3. Bapak Prof. Ir. Achmad Zubaydi selaku dosen wali yang selalu memberi nasehat kepada penulis agar selalu berusaha semaksimal mungkin
4. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS serta segenap dosen dan karyawan jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS.
5. Teman-teman FORECASTLE P52 dengan segala keunikannya
6. Teman-teman seperjuangan dalam mengerjakan tugas akhir, Nizar, Zaka, Fajar dll.
7. Mas Sutiyo dan Mas anca yang telah memberikan ilmunya tentang Software CFX
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari dalam menyelesaikan tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan yang jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada khususnya dan bagi semua pihak pada umumnya.

Surabaya, Juli 2016

Hemas Avicenna

" ANALISA PENGARUH KONFIGURASI SKEG TERHADAP HAMBATAN DAN GERAK KAPAL DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* "

Nama Mahasiswa	:	Hemas Avicenna
NRP	:	4112 100 075
Jurusan / Fakultas	:	Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing	:	Prof. Ir. I K.A.P. Utama, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Bentuk geometri pada lambung kapal dibawah garis air sangat banyak berpengaruh pada berbagai aspek. Salah satu dari pengaruh dari bentuk geometri lambung kapal adalah perilaku gerak kapal dan hambatan yang terjadi pada kapal. Perilaku gerak kapal dan hambatan inilah yang mempunyai dampak terhadap performa kapal. Dalam tugas akhir ini akan dianalisa pengaruh pemasangan skeg dan variasi konfigurasinya pada kapal terhadap performa kapal patroli perikanan 60 m terutama perilaku gerak dan hambatan pada kapal dalam beroperasi. Dalam pelaksanaan tugas akhir ini kapal tersebut akan divariasikan bentuk buritannya dalam 2 konvigurasi. Konvigurasi pertama kapal tidak akan diberi skeg dan yang kedua skeg akan diberi sebanyak 1 buah dan ditempatkan di *centerline*. Dalam tugas akhir ini dimensi skeg akan dibuat sesuai dengan kapal referensi yang dibuat oleh desainer dari kapal tersebut. Selanjutnya kedua konvigurasi tersebut akan dilakukan analisa hambatan dan perilaku gerak dengan bantuan *software Computational Fluid Dynamics.* Dalam tugas akhir ini dimensi skeg akan dibuat sesuai dengan kapal referensi yang dibuat oleh desainer dari kapal tersebut. Dari penelitian yang dilakukan maka dengan penambahan skeg memberi efek roll damping pada kapal. Hal tersebut terindikasi dari grafik RAO yang luasannya semakin kecil. Efek damping terbesar terjadi pada sudut gelombang 90° pada setiap kecepatan yaitu sebesar 7,2 %. Pada sudut gelombang 135° dan 45° gerakan roll tereduksi sebesar 5 %, sedangkan untuk hambatan bertambah sebesar 2-3%

Kata kunci : Skeg, gerak kapal, hambatan, Kapal Patroli pengawas perikanan

“INFLUENCE ANALYSIS OF SKEG CONVIGURATION IN RESISTANCE AND MOTION OF THE SHIP USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS METHOD”

Autor	:	Hemas Avicenna
NRP	:	4112 100 075
Department/ Faculty	:	Naval Architecture and Shipbuilding Engineering / Marine Technology
Supervisor	:	Prof. Ir. I K.A.P. Utama, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Hull ship’s Geometry form under water line have many influence in many aspect. One of the aspect from Hull ship Geometry form is Resistance and Motion of the ship. Resistance and Motion also have influence in ship performance. We used the highspeed patrol boat in this analitycal case. This final project will show us the good and bad influences of the skeg configuration for resistance and Motion of this highspeed patrol boat. We have two configuration of model, with and without skeg. Skeg mounted in the centre stern of the ship and for the another one have no skeg at all. The design of the skeg we take from the ship’s designer. After that the model will be simulated in Computational Fluid Dynamics and we will see what the diference of them. Based on the analysis skeg make the roll damping liltle higher. This conclusion based on RAO roll chart that Rao with skeg can reduce the amplitude of RAO roll until 7,2 % at 90° wave heading. At 135° and 45° Skeg reduce the amplitude until 5 %. For the resistance rise until 2-3%

Key word : Skeg, motion, resistance, patrol boat

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH KONFIGURASI SKEG TERHADAP HAMBATAN DAN GERAK KAPAL DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

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:
HEMAS AVICENNA
N.R.P. 4112 100 075

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing

KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

Prof. Ir. I K.A. P. Utama, M.Sc., Ph.D
NIP. 19670406 199203 1 001

SURABAYA, JULI 2016

LEMBAR REVISI

ANALISA PENGARUH KONFIGURASI SKEG TERHADAP HAMBATAN DAN GERAK KAPAL DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

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:
HEMAS AVICENNA
N.R.P. 4112 100 075

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

1. Prof. Ir. I K.A. P. Utama, M.Sc., Ph.D ....

Disetujui oleh Dosen Penguji Tugas Akhir

1. Dony Setyawan, S.T., M.Eng. ....
2. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T. ....
3. Teguh Putranto, S.T.,M.T ....

KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

SURABAYA, JULI 2016

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i
ABSTRAK ii
ABSTRACT iii
LEMBAR PENGESAHAN iv
LEMBAR REVISI v
DAFTAR ISI vi
DAFTAR GAMBAR viii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Perumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan 2
1.5 Manfaat 2
1.6 Hipotesis 3
1.7 Sistematika Penulisan Tugas Akhir 3
BAB 2 STUDI LITERATUR 5
2.1 Skeg 5
2.2 Teori Seakeeping 6
2.3 Gelombang Reguler 8
2.4 Frekuensi dan periode alami 9
2.4.1 Frekuensi Encountering 11
2.5 Gerakan Kapal pada gelombang reguler 11
2.6 Pengaruh Skeg terhadap Gerakan Roll 12
2.7 Hambatan Kapal 14
2.8 *Computational Fluid Dynamics* (CFD) 17
2.8.1 Persamaan Dasar Fluida pada CFD 19
2.8.2 Diffraction Theory 19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 23
3.1 Studi Literatul Awal 25
3.2 Pengumpulan Data 25
3.3 Pembuatan Model Kapal 25
3.4 Simulasi CFD 25

3.5 Validasi *Software* ... 26
3.5.1 Validasi pada Ansys Aqwa ... 26
3.5.2 Validasi pada Ansys CFX ... 28
BAB 4 HASIL EVALUASI OLAH GERAK KAPAL ... 31
4.1 Analisa Olah Gerak Kapal ... 31
4.2 Permodelan Geometri Kapal ... 31
4.2.1 Pemodelan Kapal di Software Maxsurf ... 32
4.2.2 Konversi Geometri kapal di Maxsurf ke Ansys Aqwa ... 33
4.2.3 Pengaturan Geometri pada *Ansys Aqwa* ... 33
4.2.4 Pendefinisian Geometri ... 34
4.2.5 Validasi *Setting* Olah Gerak Kapal dengan Balok ... 39
4.2.6 Penentuan jumlah mesh ... 47
4.2.7 Response Amplitude Operator (RAO) Model Kapal Patroli Tanpa Skeg ... 48
4.2.8 Response Amplitude Operator (RAO) Model Kapal Patroli dengan Skeg ... 62
4.2.9 Komparasi olah gerak kapal pada kedua model kapal ... 76
BAB 5 ANALISA HAMBATAN DAN ALIRAN FLUIDA ... 83
5.1 Kapal Patroli 60 m ... 83
5.2 Variasi Desain Lambung ... 85
5.3 Analisis Hambatan dengan Computational Fluid Dynamics ... 86
5.3.1 Pemodelan kapal ... 87
5.3.2 Pemodelan Domain ... 87
5.3.3 Hasil Simulasi Hambatan Viskos ... 90
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN ... 97
5.1 Kesimpulan ... 97
5.2 Saran ... 97
DAFTAR PUSTAKA ... 98
LAMPIRAN ... 1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Skeg 5
Gambar 2. 2 Vertical Stabilizer pada pesawat 6
Gambar 2. 3 Gerakan 6 derajat kebebasan pada kapal 7
Gambar 2. 4 Asumsi tekanan yang dihasilkan skeg...13
Gambar 2. 5 Diagram Komponen Hambatan Kapal 17
Gambar 2. 6 Pembagian Panel pada Lambung..20

Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian...24
Gambar 3. 2 Balok Wamit 27
Gambar 3. 3 Contoh bentuk Grid pada Ansys CFX...29
Gambar 3. 4 Contoh Mesh optimum 29

Gambar 4. 1 Orientasi Sudut Datang Gelombang 31
Gambar 4. 2 Geometri pada *Maxsurf Modeller*...32
Gambar 4. 3 Hasil Konversi ke *Ansys Modeller*...33
Gambar 4. 4 Pendefinisian Sarat Kapal 34
Gambar 4. 5 Pendefinisian titik berat dan Titik Bouyancy 35
Gambar 4. 6 Pendefinisian *Meshing* pada Ansys Aqwa 38
Gambar 4. 7 Simulasi Gerak Kapal pada Ansys Aqwa 39
Gambar 4. 8 Balok pada Ansys Aqwa 39
Gambar 4. 9 Meshing Balok pada Ansys Aqwa...40
Gambar 4. 10 Perbandingan RAO surge pada Aqwa dan Wamits.......................40
Gambar 4. 11 Perbandingan RAO sway pada Aqwa dan Wamits 41
Gambar 4. 12 Perbandingan RAO heave pada Aqwa dan Wamits 41
Gambar 4. 13 Perbandingan RAO roll pada Aqwa dan Wamits..........................42
Gambar 4. 14 Perbandingan RAO pitch pada Aqwa dan Wamits........................42
Gambar 4. 15 Perbandingan RAO yaw pada Aqwa dan Wamits.........................43
Gambar 4. 16 Perbandingan Hasil Gerak *Heave* antara 3D-Difraction dan *Strip Theory* Pada Sudut 135^o..44
Gambar 4. 17 Perbandingan Hasil Gerak Roll antara *3D-Difraction* dan *Strip Theory* Pada Sudut 135^o..45
Gambar 4. 18 Perbandingan Hasil Gerak *Heave* antara 3D-Difraction dan *Strip Theory* Pada Sudut 90^o 45
Gambar 4. 19 Perbandingan Hasil Gerak Roll antara *3D-Difraction* dan *Strip Theory* Pada Sudut 90^o 46
Gambar 4. 20 Definisi Geometri pada *Strip Theory* 47
Gambar 4. 21 RAO *Surge* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 0 knot 48
Gambar 4. 22 RAO *Surge* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 12 knot 49
Gambar 4. 23 RAO *Surge* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 24 knot 49
Gambar 4. 24 RAO *Sway* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 0 knot...................50
Gambar 4. 25 RAO *Sway* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 0 knot...................51
Gambar 4. 26 RAO *Sway* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 24 knot 51
Gambar 4. 27 RAO *Heav*e Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 0 knot 52
Gambar 4. 28 RAO *Heave* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 12 knot................53
Gambar 4. 29 RAO *Heave* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 24 knot................53
Gambar 4. 30 RAO *Roll* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 0 knot.....................54

Gambar 4. 31 RAO *Roll* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 12 knot 55
Gambar 4. 32 RAO *Roll* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 24 knot 55
Gambar 4. 33 RAO *Pitch* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 0 knot 56
Gambar 4. 34 RAO *Pitc*h Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 12 knot 57
Gambar 4. 35 RAO *Pitch* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 24 knot 57
Gambar 4. 36 RAO Yaw Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 0 knot 58
Gambar 4. 37 RAO Yaw Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 12 knot 59
Gambar 4. 38 RAO Yaw Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 24 knot 59
Gambar 4. 39 RAO *Surge* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 0 knot 62
Gambar 4. 40 RAO *Surge* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 12 knot 63
Gambar 4. 41 RAO *Surge* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 24 knot 63
Gambar 4. 42 RAO *Sway* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 0 knot 64
Gambar 4. 43 RAO *Sway* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 12 knot 65
Gambar 4. 44 RAO *Sway* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 24 knot 65
Gambar 4. 45 RAO *Heave* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 0 knot 66
Gambar 4. 46 RAO *Heave* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 12 knot 67
Gambar 4. 47 RAO *Heave* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 24 knot 67
Gambar 4. 48 RAO *Roll* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 0 knot 68
Gambar 4. 49 RAO *Roll* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 12 knot 69
Gambar 4. 50 RAO *Roll* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 24 knot 69
Gambar 4. 51 RAO *Pitch* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 0 knot 70
Gambar 4. 52 RAO *Pitch* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 12 knot 71
Gambar 4. 53 RAO *Pitch* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 24 knot 71
Gambar 4. 54 RAO *Yaw* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 0 knot 72
Gambar 4. 55 RAO *YAw* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 12 knot 73
Gambar 4. 56 RAO *YAw* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 24 knot 73
Gambar 4. 57 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 90º dan Fn = 0 77
Gambar 4. 58 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 135º dan Fn = ...77
Gambar 4. 59 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 45º dan Fn = 0 78
Gambar 4. 60 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 90º dan Fn = 0,29 ...79
Gambar 4. 61 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 135º dan Fn = 0,29 .79
Gambar 4. 62 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 45º dan Fn = 0,29 ...80
Gambar 4. 63 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 90º dan Fn = 0,53 ...81
Gambar 4. 64 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 135º dan Fn = 0,53 .81
Gambar 4. 65 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 45º dan Fn = 0,53 ...82

Gambar 5. 1 Rencana Umum Kapal Patroli 60 m 83
Gambar 5. 2 Rencana Umum Tampak Atas 84
Gambar 5. 3 Kapal Patroli saat Berlayar 84
Gambar 5. 4 Ukuran dan Dimensi Skeg (mm) 85
Gambar 5. 5 Rancang Garis dari Skeg 86
Gambar 5. 6 Model kapal tanpa skeg...86
Gambar 5. 7 Model Kapal dengan Skeg...86
Gambar 5. 8 Ukuran *Boundary Condition*...87
Gambar 5. 9 Pendefinisian *Boundary condition* 89
Gambar 5. 10 *Grid Independence* pada kapal dengan Skeg 90
Gambar 5. 11 *Grid Independence* pada kapal tanpa Skeg 90
Gambar 5. 12 Perbandingan Hambatan viskos pada dua model Kapal...............................91

Gambar 5. 13 Perbedaan Koefisien Viskos Kapal dengan dan Tanpa skeg 92
Gambar 5. 14 (B)1 Kapal tanpa Skeg dan (B)2 Kapal dengan Skeg 92
Gambar 5. 15 Perbandingan kontur kecepatan pada sarat kapal (1) Tanpa Skeg; (2)Dengan Skeg 94
Gambar 5. 16 Kontur Kecepatan Fluida pada kapal tanpa skeg secara melintang 95
Gambar 5. 17 Kontur kecepatan fluida pada kapal dengan skeg secara melintang 95

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Belakangan ini bangsa kita selalu berupaya memerangi praktik penangkapan ikan secara ilegal untuk meningkatkan kesejahteraan para nelayan dan menjaga kedaulatan NKRI di seluruh perairan Indonesia. Indonesia sebagai negara yang memiliki perairan terluas dan terpanjang nomor dua di dunia dengan luas mencapai 5,8 juta kilometer persegi, namun hanya memiliki produksi ikan nomor tiga di Asia tenggara. Hal ini bisa terjadi karena adanya praktik *illegal fishing*. Banyak kapal-kapal asing dari negara tetangga mencuri ikan di perairan kita tanpa adanya pengawasan yang ketat oleh pemerintah karena selama ini kekurangan armada kapal pengawas. Untuk mencegah *illegal fishing* maka pemerintah membuat suatu sistem yang disebut Sistem Kapal Inspeksi Perikanan Indonesia (SKIPI). Untuk menunjang sistem tersebut maka diperlukan armada kapal patroli dengan performa yang baik. Salah satu parameter performa adalah hambatan dan perilaku gerak kapal.

Perilaku gerak kapal dan hambatan sangatlah berpengaruh pada efisiensi kapal baik waktu maupun daya yang dibutuhkan. Kapal tidak bisa melaju sempurna apabila terjadi pergerakan yang terlalu liar atau berlebihan saat berlayar. Dengan gerakan yang terlalu berlebihan kapal akan lebih lambat untuk mencapai tujuannya dan banyak berpengaruh negatif bagi *crew* maupun muatan. Lamanya kapal sampai di tempat tujuan akan membuat mesin yang menggerakan propeller dan mesin bantu lain beroperasi lebih lama dari yang seharusnya dan hal tersebut pastinya akan membuat penggunakan bahan bakar jadi tidak efisien. Sedangkan untuk hambatan apabila terjadi hambatan yang terlalu besar maka mesin memerlukan energi lebih untuk melawan hambatan tersebut. Selain bentuk lambung kapal, hambatan juga dapat terjadi karena adanya turbulensi disekitar lambung kapal.

Bentuk geometri pada lambung kapal yang tercelup air sangat banyak berpengaruh pada berbagai aspek. Salah satu dari pengaruh dari bentuk geometri lambung kapal adalah perilaku gerak kapal dan hambatan. Prediksi perilaku gerak kapal sangat penting karena pergerakan yang terlalu liar dapat mengganggu kelancaran dari proses pelayaran dan berpotensi merusak muatan apabila kapal membawa benda yang mudah rusak. Selain itu pergerakan kapal yang terlalu liar dari kapal dapat mempengaruhi efek fisiologis bagi kru dan penumpang apabila kapal tersebut membawa penumpang seperti mabuk laut dll. Selain perilaku gerak kapal

bentuk geometri lambung kapal juga mempengaruhi juga mempengaruhi tahanan maupun aliran fluida pada kapal tersebut. [3]. Maka dari itu pada Tugas Akhir kali ini akan mengkaji seberapa besar pengaruh sebuah skeg untuk memperbaiki olah gerak suatu kapal dan juga pengruhnya terhadap hambatan kapal tu sendiri.

1.2 Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah sebagaimana yang terdapat pada poin-poin di bawah ini:

- Bagaimana pengaruh penambahan skeg terhadap hambatan fluida pada kapal ?
- Berapa besar pengaruh skeg terhadap perilaku gerak kapal pada gelombang regular ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

- Desain kapal yang akan digunakan adalah model kapal patroli 60 m dengan referensi kapal patroli 60 m milik KKP
- Analisis yang dilakukan adalah sebatas analisa gerakan dan hambatan tanpa meninjau konstruksi dan kekuatan.
- Variasi yang dilakukan adalah geometri kapal, kecepatan dan heading angle kapal
- Geometri skeg yang digunakan adalah desain dari galangan kapal

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Memprediksi pengaruh skeg terhadap hambatan kapal
- Mengetahui seberapa besar pengaruh skeg terhadap perilaku gerak kapal

1.5 Manfaat

Dari Tugas Akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut :

a. Dalam konteks akademis, diharapkan hasil pengerjaan Tugas Akhir ini dapat membantu menunjang proses belajar mengajar dan turut memajukan khazanah pendidikan di Indonesia.

b. Dalam konteks aplikatif, diharapkan hasil dari Tugas Akhir ini dapat berguna sebagai pertimbangan dalam mendesain kapal

1.6 Hipotesis

Hipotesis dari tugas akhir ini adalah:

- Pengaruh skeg pada buritan kapal akan membuat hambatan lebih besar akan tetapi tidak terlalu signifikan pada kecepatan tertentu
- Pengaruh skeg pada buritan kapal memiliki dampak pada *Yaw*, *Rolling* dan *Sway motion*

1.7 Sistematika Penulisan Tugas Akhir

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi konsep dasar penyusunan tugas akhir yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, sistematika penulisan, dan manfaat.

BAB II Studi Literatur

Bab ini akan membahas tentang teori-teori yang mendukung dalam menyelesaikan tugas akhir ini yaitu tinjauan umum tentang kapal teori hambatan, teori seakeeping kapal, teori gerakan struktur pada gelombang, gelombang reguler serta gambaran umum tentang software ansys aqwa dan ansys cfx

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini akan memaparkan metodologi dalam melakukan perhitungan, mulai dari Diagram alir tugas Akhir, Hasil Eksperimen yang menjadi bahan rujukan atau referensi, Variasi yang dilakukan dalam tugas akhir ini hingga proses untuk mendapatkan respon gerakan kapal pada variasi yang sudah ditentukan.

BAB IV Analisa Gerakan Kapal

Bagian ini mengkaji gerakan kapal patroli di Gelombang Reguler dalam bentuk RAO yang dihasilkan oleh perhitungan numerik dengan bantuan software, serta penjelasan mengenai hasil respon gerakan pada variasi yang sudah dilakukan.

BAB IV Analisa Hambatan Kapal

Bagian ini mengkaji pengaruh skeg terhadap hambatan dengan beberapa variasi kecepatan dengan menggunakan bantuan Software Ansys CFX

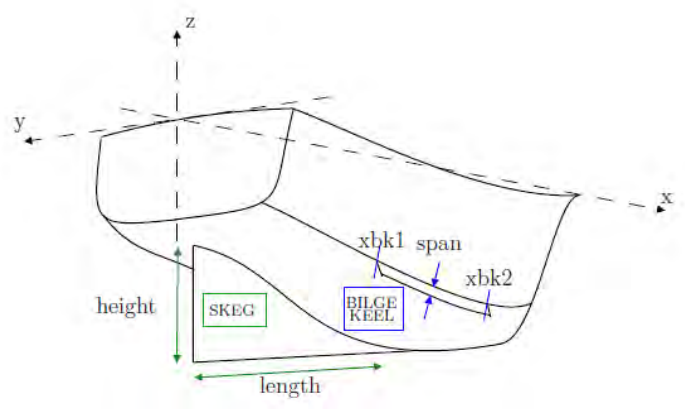
BAB V Kesimpulan dan Saran

Bagian ini berisi kesimpulan dari semua perhitungan yang sudah dilakukan serta saran yang berguna untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2
STUDI LITERATUR

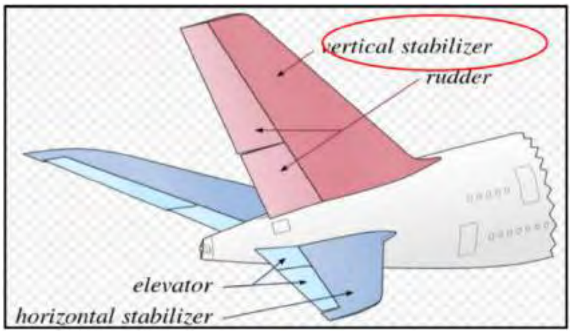
2.1 Skeg

Skeg adalah salah satu bentuk modifikasi yang diberikan pada bagian buritan kapal (semacam sirip) yang bertujuan untuk menjaga stabilitas kapal saat kapal melaju pada kecepatan tinggi serta membantu fluida mengalir lebih *smooth* melewati lambung kapal dan *propeller aft* . Selain hal diatas Apabila skeg didesain menjadi satu kesatuan dengan shafts propeller skeg juga berfungsi untuk menambah suport poros sehingga poros menjadi lebih rigid dan tidak akan bengkok saat berputar pada putaran tinggi. Gamabr 2.1 merupakan ilustrasi dari skeg yang ditempatkan pada buritan kapal.



Gambar 2. 1 Ilustrasi Skeg
(Hydrostar Manual)

Dalam bahasa yang lebih general skeg biasa disebut *vertical stabilizer* atau stabilisator vertikal. stabilisator vertikal atau fins sirip, dari pesawat, rudal atau bom biasanya ditemukan di ujung belakang dari pesawat, dan dimaksudkan untuk mengurangi aerodinamis *side slip* dan memberikan stabilitas arah. Hal ini analog dengan skeg yang terdapat di perahu dan kapal. Pada pesawat, stabilisator vertikal umumnya mengarah ke atas. Ini juga dikenal sebagai ekor vertikal, dan merupakan bagian dari sebuah stabilisator pesawat. Trailing akhir stabilizer yang biasanya bergerak, dan disebut kemudi, hal ini memungkinkan pilot pesawat untuk mengontrol manuver pesawat.



Gambar 2. 2 Vertical Stabilizer pada pesawat
(IJERT 2015)

Gambar 2.2 merupakan ilustrasi *vertical stabilizer* pada pesawat terbang. Skeg pada awalnya dikembangkan dan diaplikasikan untuk menyetabilkan gerakan *yaw* dan *sway* dibandingkan gerakan yang lain. Penempatan skeg didaerah buritan lebih efisien dalam mengurangi *yaw motion* dan *Sway Motion*. Sebenarnya skeg adalah konsep yang sudah lama diaplikasikan oleh leluhur kita terutama pada masa kerajaan Sriwijaya dan Majapahit dalam pembuatan arrmada kapal mereka. Pada perkembangannya skeg dapat meningkatkan stabilitas

2.2 Teori Seakeeping

Gerakan kapal laut lepas selalu mempunyai dan menimbulkan masalah bagi para perancang 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. Perkembangan dari percobaan mengenai prilaku kapal dilaut di mulai dengan pesat pada pertengahan tahun 1950, dan pada saat itu digunakan penerapan dari teori hidrodinamika ataupun secara percobaan model eksperimen. Perkembangan tersebut merupakan suatu langkah penting yang dapat di capai untuk menuju pengertian atau pengetahuan yang lebih baik tentang masalah dan cara pemecahan selanjutnya. 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.

Ilmu yang mempelajari masalah gerak kapal ini disebut *Seakeeping*. *Seakeeping* adalah gerakan kapal yang dipengaruhi oleh gaya-gaya luar yang disebabkan oleh kondisi air laut (gambar 2.2). Macam *Seakeeping* antara lain :

- ✓ *Surging*

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

- ✓ *Swaying*

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

- ✓ *Heaving*

  Heaving adalah gerakan kapal yang sepanjang sumbu Z.

- ✓ *Rolling*

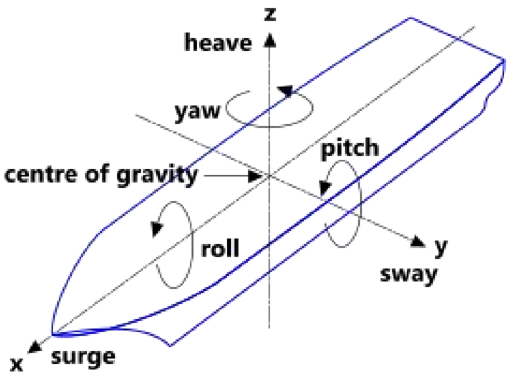
  Rolling adalah gerakan kapal yang memutari sumbu X.

- ✓ *Pitching*

  Pitching adalah gerakan kapal yang memutari sumbu Y.

- ✓ *Yawing*

  Yawing adalah gerakan kapal yang memutari sumbu Z.



Gambar 2. 3 Gerakan 6 derajat kebebasan pada kapal
(calcata.com)

Gamabar 2.3 merupakan ilustrasi dari 6 derajat kebebasan kapal. Analisa seakeeping perlu dilakukan untuk mengetahui karakteristik gerakan kapal ketika beroperasi di laut. Gerakan kapal nantinya akan berpengaruh terhadap keselamatan penumpang, muatan, awak dan kapal itu sendiri. Persamaan 2.1 sampai 2.5 gerakan kapal dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\boldsymbol{A}\,.\ \ddot{\boldsymbol{Z}} + \boldsymbol{B}\,.\dot{\boldsymbol{Z}} + \boldsymbol{C}\,.\boldsymbol{Z} = \ \boldsymbol{F_O}\,.\cos\boldsymbol{\omega_e t} \qquad (\mathbf{2.}1)$$

Terdapat 4 element penting yang terdapat pada persamaan gerakan kapal,

1. Gaya inersia, dimana saat kapal mengalami gerakan osilasi digambarkan dalam persamaan,

   $$\boldsymbol{F_a}(\boldsymbol{y}) = \ -\boldsymbol{A}\,.\ \ddot{\boldsymbol{Z}} \qquad (\mathbf{2.}2)$$

   Dimana A adalah *virtual mass* atau massa kapal tambah dengan *added Mass* $\left(A_n = C\,.\frac{\rho\pi B_n}{8}\right)$ dan $\ddot{Z} = \frac{d^2z}{d^2t}$

2. *Damping force* adalah gaya yang selalu menjadi *resistance* ke model seperti persamaan,

   $$\boldsymbol{F_b}(\boldsymbol{y}) = \ \boldsymbol{B}\,.\ \dot{\boldsymbol{Z}} \qquad (\mathbf{2.}3)$$

   Dimana B adalah konstanta damping $\left(B_n = \frac{A\rho g^2}{\omega_e^3}\right)$ dan $\dot{Z} = \frac{dz}{dt}$

3. *Restoring force* atau konstanta spring, dimana selalu membawa kapal kepada keadaan yang konstan,

   $$\boldsymbol{F_c}(\boldsymbol{y}) = \ \boldsymbol{C}\,.\boldsymbol{Z} \qquad (\mathbf{2.}4)$$

   Dimana C adalah konstanta *restoring*$(C = \ \rho\ g\ A_{wp}$,A adalah beban pada garis air) dan Z adalah displacement pada pusat gravitasi (CG) kapal.

4. *Exciting force* atau *encountering force*, yang mana bekerja pada massa kapal,

   $$\boldsymbol{F} = \ \boldsymbol{F_O}\cos\boldsymbol{\omega_e t} \qquad (\mathbf{2.}5)$$

   Dimana F_O adalah amplitudo dari encountering force, ω_e adalah encountering frekuensi dan t adalah waktu

2.3 Gelombang Reguler

Gelombang sebagaimana halnya dengan fluida dinamis yang lain dapat dipandang sebagai aliran fluida cair yang mempunyai pola yang khas. Perumusan yang paling sederhana dari gelombang laut adalah dalam bentuk osilasi sinusoidal, seperti yang diperkenalkan oleh Airy (1984). Teori ini didasarkan pada asumsi bahwa tinggi gelombang adalah relatif kecil

bila dibandingkan dengan panjangnya ,ataupun kedalaman perairan dimana gelombang berada.

Gelombang reguler merupakan gelombang osilasi berulang yang beraturan. Reguler wave atau biasa disebut sinusoidal wave memiliki bentuk simetri antara lembah dan puncak gelombang. Puncak gelombang dideffinisikan sebagai titik dimana permukaan air memiliki ketinggian maksimum. Sedangkan Lembah gelombang adalah titik terendah dari permukaain air pada gelombang. Jarak vertikal perbedaan antara puncak gelombang dan lembah gelombang disebut amplitudo gelombang (ζa).

Jarak horizontal tiap puncak atau lembah gelombang disebut panjang gelombang (Lw). Pada gelombang reguler puncak gelombang akan bergerak ke kanan berdasarkan waktu. Jarak yang ditempuh puncak gelombang per detik disebut dengan kecepatan gelombang (Vw). Jumlah puncak gelombang yang melewati titik tertentu dalam 1 sekon disebut dengan frekuensi karakteristik (f), yang besarnya sama dengan kecepatan gelombang dibagi dengan panjang gelombangny

Gelombang yang mempengaruhi gerakan kapal di laut secara umum merupakan gelombang irreguler. Tidak ada 2 gelombang yang memiliki tinggi yang sama pada permukaan laut dengan kecepatan berbeda dan arah yang berbeda, tetapi mempelajari karakteristik dari gelombang reguler yang ideal perlu dipelajari.

Gelombang reguler tidak pernah terjadi pada kondisi laut sebenarnya, walaupun gelombang ini bisa dibuat pada towing tank untuk menganalisa seakeeping model kapal. Gelombang irreguler didasarkan pada asumsi bahwa gelombang ini dihasilkan dengan cara menambahkan atau mengalikan kelompok gelombang reguler. Jadi sudah jelas bahwa karakteristik gelombang reguler memiliki pengaruh besar dalam mempelajari perilaku gerakan kapal pada kondisi laut walaupun gelombang reguler tidak pernah terjadi di laut.

2.4 Frekuensi dan periode alami

Frekuensi alami pada struktur merupakan besaran yang dipengaruhi oleh properti internal struktur tersebut, diantaranya adalah kekakuan dam massa struktur. Nilainya tidak akan berubah apabila nilai dua hal tersebut tidak berubah. Frekuensi dan periode alami penting untuk diketahui pada sistem dinamis yang bergerak dalam mode osilasi, seperti bangunan apung dan kapal di atas gelombang. Pemahaman terhadap frekuensi alami dapat memberikan acuan bagi perancang pada tahap perancangan ataupun operator pada tahap

pengoperasian untuk menghindari terjadinya resonansi dengan gaya eksitasi. Telah dipahami bahwa *resonansi* dapat membuat respons kapal menjadi berlebihan sehingga membahayakan keselamatan. Oleh karena itu dalam analisa gerakan kapal rentang frekuensi yang dianalisa diharapkan berada pada rentang resonansi sehingga dapat diketahui apakah gerakan yang dihasilkan membahayakan atau tidak.

Pada struktur bangunan laut, hanya tiga gerakan yang mengalami frekuensi alami, yakni pada gerakan *heave, roll*, dan *pitch.* Sedangkan untuk gerakan yang lain tidak mempunyai frekuensi alami karena secara teknis tidak mempunyai mekanisme kekakuan sendiri, yang akan bermanifestasi menjadi gaya pengembali. Persamaan 2.6 hingga 2.9 merupakan persamaan dasar mengenai frekuensi dari masing-masing gerakan *seakeeping*

Frekuensi alami gerakan *heave*:

$$\omega_{nz} = \sqrt{\frac{k_{33}}{m_{33} + a_{33}}} = \sqrt{\frac{\rho g A_w}{m + a_{33}}} \qquad (2.6)$$

Frekuensi alami gerakan *roll* :

$$\omega_{n\phi} = \sqrt{\frac{k_{44}}{I_{44} + a_{44}}} = \sqrt{\frac{\rho g \nabla GM_T}{I_{44} + a_{44}}} \qquad (2.7)$$

Frekuensi alami gerakan *pitch*:

$$\omega_{n\theta} = \sqrt{\frac{k_{55}}{I_{55} + a_{55}}} = \sqrt{\frac{\rho g \nabla GM_L}{I_{55} + a_{55}}} \qquad (2.8)$$

Periode alami :

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \qquad (2.9)$$

Dimana :

k_{33} = kekakuan gerakan heave (kN)

k_{44} = kekakuan gerakan roll (kN)

k_{55} = kekakuan gerakan pitch (kN)

m = massa atau displacement bangun apung (ton)

I_{44} = momen inersia massa untuk gerakan roll (ton.m^2)

I_{55} = momen inersia massa untuk gerakan pitch (ton.m^2)

a_{33} = massa tambahan untuk gerakan heave (ton)

a_{44} = momen inersia tambah untuk gerakan roll (ton.m^2)

a_{55} = momen inersia tambah untuk gerakan pitch (ton.m^2)

ρ = massa jenis air laut (1.025 ton/ m^3)

g = percepatan gravitasi (9.81 m/s^2)

A_w = luas garis air (m^2)

∇ = volume displasement bangunan laut (m^3)

GM_L = Tinggi metasenter memanjang (m)

GM_T = Tinggi metasenter melintang (m)

2.4.1 Frekuensi Encountering

Gelombang mempunyai frekuensi tetapi frekuensi gelombang tidak sama dengan frekuensi *encounter*. Frekuensi *encounter* merupakan frekuensi yang diperlukan suatu kapal untuk bergerak dari satu puncak gelombang ke puncak gelombang lain. Frekuensi *Encounter* terdiri dari beberapa komponen diantaranya adalah frekuensi gelombang, dan kecepatan kapal. Frekuensi encounter menunjukan pergerakan gelombang terhadap kapal. Pada umumnya perhitungan kapal, frekuensi *encounter* ini digunakan sebagai ganti frekuensi gelombang

2.5 Gerakan Kapal pada gelombang reguler

Gerakan suatu kapal pada gelombang reguler disebut sebagai *Response Amplitude Operator (RAO).* RAO merupakan informasi tentang karakteristik gerakan kapal itu sendiri.Informasi karakteristik gerakan kapal ini umunya disajikan dalam bentuk grafik, dimana absisnya adalah parameter frekuensi dan ordinatnya adalah rasio antara amplitudo gerakan pada derajat kebebasan tertentu dengan amplitudo gelombang atau RAO gerakan tersebut.

Respon gerakan RAO ,untuk gerakan translasi (*surge*,*sway dan heave*) adalah merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan kapal dengan amplitudo gelombang sesuai dengan persamaan 2.10

$$\boldsymbol{RAO} = \frac{\boldsymbol{\zeta k_0}}{\boldsymbol{\zeta_0}}\left(\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{m}}\right) \qquad (\mathbf{2.10})$$

Sedangkan, Respon gerakan RAO ,untuk gerakan rotasi *(roll,pitch,dan yaw)* adalah merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni merupakan perkalian antara angka gelombang (*k)* dengan amplitudo gelombang seperti pada persamaan 2.11

$$\boldsymbol{RAO} = \frac{\boldsymbol{\zeta k_0}}{\mathbf{k}_{\boldsymbol{w}}\boldsymbol{\zeta_0}} = \frac{\boldsymbol{\zeta k_0}}{(\frac{\boldsymbol{\omega^2}}{\boldsymbol{g}})\boldsymbol{\zeta_0}}\left(\frac{\mathbf{rad}}{\mathbf{rad}}\right) \qquad (\mathbf{2.11})$$

RAO dapat diperoleh dari tes model pada *towing tank,* perhitungan analitis, maupun simulasi numerik dengan perangkat lunak. RAO disebut juga sebagai *Transfer function* karena dapat digunakan untuk mentransformasikan beban gelombang menjadi respon struktur.

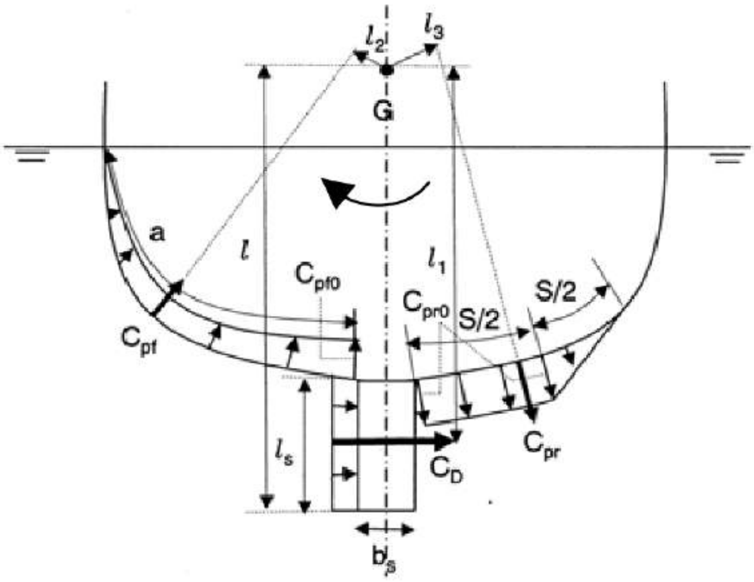
Pada gelombang yang panjang, nilai frekuensi gelombang sangat kecil dan efek dinamis yang terkait dengan added mass dan damping secara virtual dapat diabaikan. Jadi eksitasi dan reaksi yang dialami oleh kapal sebagian besar disebabkan oleh perubahan buoyancy kapal saat gelombang melewati lambung kapal.

2.6 Pengaruh Skeg terhadap Gerakan Roll

Roll damping merupakan gerakan kapal yang berpengaruh sangat signifikan terhadap stabilitas kapal. Berdasarkan hal tersebut damping merupakan parameter yang penting untuk gerakan rolling. Hal tersebut dikarenakan damping dapat berperan sebagai peredam gerakan rolling. Damping juga menjadi pengaruh untuk memprediksi amplitude rolling (Ikeda et al., 1978)

Menurut Pesman et.al. (2007) ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap roll damping diantaranya adalah wave making, lift damping, friction damping, eddy making damping, serta appendages. Pernyataan tersebut sejalan dengan Ikeda et.,al. (2004) yang menyatakan bahwa nilai roll damping dapat diketahui dengan cara menjumlah faktor-faktor tersebut. Namun ada faktor lain yang perlu dipertimbangkan dalam menghitung roll damping, yaitu tahanan antara kapal dan udara, tekanan permukaan serta hilangnya energi akibat panas yang terbentuk selama terjadi gerakan rolling. Sementara itu untuk skeg yang didefinisikan sebagai Roll damping dari kapal terdapat beberapa perbedaan sudut pandang dengan bilge keel seperti yang diutarakan oleh Pesman et. al

Menurut Ali Baharuddin (2004) Skeg didefinisikan sebagai Roll damping diperoleh dengan cara mengintegrasikan asumsi tekanan yang dihasilkan oleh permukaan skeg dan permukaan lambung kapal. Untuk persamaan skeg sebagai roll damping dapat diekspresikan sesuai dengan persamaan 2.12 sampai 2.14. Sedangkan untuk ilustrasi gaya yang bekerja pada penampang melintang pada lambung kapal dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2. 4 Asumsi tekanan yang dihasilkan skeg
(Ali, 2004)

$$B'_{44SK0} = \frac{4}{3\pi}\phi_a l^2 \omega_E \rho \begin{pmatrix} C_D l_{SK} l_1 - \\ 0.5 C_p^+ a l_2 + \\ \frac{3}{4} C_p^- S l_3 \end{pmatrix} \quad \textbf{(2.12)}$$

$$C_D = (C_p^+ - C_p^-) = C_{D0} e^{\left(\frac{-0.38 b_{SK}}{l_{SK}}\right)} \quad \textbf{(2.13)}$$

$$C_p^+ = 1.2$$

$$C_{D0} = \begin{cases} 2.425Ke & , \ 0 \le Ke \le 2 \\ -0.3Ke + 5.45 & , \ Ke > 2 \end{cases}$$

$$Ke = \frac{U_{\max} T_e}{2 l_{SK}} = \frac{\pi \phi_a l}{l_{SK}} \quad \textbf{(2.14)}$$

$$S = 1.65 Ke^{2/3} \cdot l_{SK}$$

Keterangan :

- B'_{44SK0} = Koefisien linier equivalent dari skeg tanpa kecepatan
- b_{SK} = Ketebalan Skeg
- Cp^{-} = Koefisien Tekanan dibelakang skeg
- Cp^{+} = Koefisien Tekanan didepan skeg
- CD = Koefisien Drag
- CD_0 = Koefisien Drag tanpa pengaruh ketebalan
- S = Panjang distribusi tekanan penampang melintang
- Φ_a = Amplitudo Roll
- ρ = Massa jenis air
- ω_E = Gelombang Enkonter pada frekuensi sirkular
- l_{SK} = Tinggi skeg
- l_3 = moment tekanan terhadap lambung dibelakang skeg
- l_1 = jarak dari titik berat ke pusat skeg
- l_2 = moment tekanan terhadap lambung didepan skeg
- *Ke* = Keulegan-Carpenter number
- Umax = kecepatan sudut tangensial skeg

2.7 Hambatan Kapal

William Froude (1867) pertama kali memperkenalkan hambatan total kapal yang terdiri atas dua komponen yaitu hambatan sisa (residual) dan hambatan gesek (friction). Hambatan sisa dalam hal ini meliputi komponen hambatan *wave-making system energies, eddy dan viscous energy losses* akibat bentuk lambung kapal. Sedangkan hambatan gesek kapal diasumsikan sama dengan hambatan gesek suatu pelat datar 2-dimensi yang mempunyai luas permukaan bidang basah yang sama serta bergerak di air pada kecepatan sama dengan kecepatan kapal. Komponen hambatan total pertama kali diperkenalkan oleh W. Froude. Dimana hambatan total merupakan penjumlahan hambatan gesek (RF) dengan hambatan sisa (RR) sehingga didapat persamaan:

$$RTM = RFM + RRM \quad \textbf{(2.15)}$$

Keterangan:

- RTM = Hambatan total model dari percobaan.
- RFM = Hambatan gesek dari permukaan datar yang memiliki permukaan basah sama dengan model, yang mana dapat ditentukan sesuai persamaan 2.16

$$RFM = f\ S\ Vn \qquad \textbf{(2.16)}$$

- f,n = konstanta, fungsi dari panjang dan sifat permukaan.
- RRM = Hambatan sisa dari model.

Dengan menggunakan metode Froude, dapat diperhitungkan untuk koefisien hambatan kapal full scale dari hasil perobaan model kapal, dengan persamaan koefisien hambatanseperti pada persamaan 2.17

$$C_T = C_F + C_R \qquad \textbf{(2.17)}$$

Metode analisa 2-dimensi tersebut diatas tidak cukup meng-refleksikan kontribusi bentuk/ kontur lambung kapal (yang 3-dimensi) terhadap hambatan viskos, sehingga kemudian Hughes (1954) memperkenalkan metode untuk digunakan dalam korelasi model kapal dimana total hambatan adalah penjumlahan dari 3 (tiga) komponen:

1. Hambatan gesek (friction) adalah gaya tangential stress yang timbul antara molekul air dan kulit badan kapal, yang kemudian sebagai hambatan bidang permukaan dengan area dan panjang yang sama dengan model.
2. Hambatan bentuk (form) adalah komponen hambatan yang dinyatakan dalam bilangan ‘k’, dimana merupakan hambatan diluar batas item diatas dalam kasus lambung yang tercelup cukup dalam. Hughess mengasumsikan bahwa untuk lambung yang streamline pada aliran turbulent, dapat diekspresikan sebanding dengan hambatan friction.
3. Hambatan free surface sebagai hambatan gelombang (C_W) adalah hambatan yang timbul akibat pergerakan kapal relatif terhadap air sehingga timbul perbedaan tekanan pada permukaan (bidang) basah kapal yang selanjutnya menimbulkan wave pattern. Hambatan gelombang merupakan pengurangan total hambatan (C_T) dari penjumlahan hambatan gesek (C_F) dan hambatan bentuk (C_{F0}) sesuai persamaan 2.18

$$C_T = C_F + C_{F0} + C_W \qquad \textbf{(2.18)}$$

dimana

$$C_{FO} = KC_F$$

$$C_T = (1+K)C_F + C_W$$

(1+k) disebut form factor dan dapat diperoleh dari eksperimen pada kecepatan rendah ($Fr < 0.1$) dimana Cw dapat diabaikan, sehingga form factor dapat dihitung denganpersamaan 2.19

$$(1+k) = \frac{CT}{CF} \quad \textbf{(2.19)}$$

Selanjutnya Standar internasional dari ITTC (1978) dengan judul "1978 Performance Prediction Method for Simple Single Screw Ships".meng-klasifikasikan hambatan kapal di air tenang (calm water), secara praktis, dalam 2 (dua) komponen hambatan utama yaitu hambatan viskos (viscous resistance) yang terkait dengan bilangan Reynolds dan hambatan gelombang (wave-making resistance) yang tergantung pada bilangan Froude, dimana korelasi kedua komponen hambatan tersebut diperlihatkan pada persamaan dibawah ini. Hambatan total kapal dibagi dalam empat komponen:

$$C_T = (1+k)\, C_F + C_R + C_F + C_{AA} \quad \textbf{(2.20)}$$

Dimana, (1+k) : merupakan form factor.

C_F : Hambatan gesek dengan menggunakan ITTC '57.

C_R : Hambatan sisa dari percobaan model.

C_F : Roughness Allowance (0 for smooth model).

C_{AA} : Air Resistance (assumed 0 for model without superstructure).

Metode untuk mendapatkan k dengan pengukuran pada kecepatan rendah dimana C_R diasumsikan mendekati 0 dan $(1+k) = C_T/C_F$. Dengan penurunan sebagai berikut:

$C_R \approx 0$

$C_F \approx 0$ (0 for smooth model).

$C_{AA} \approx 0$ (assumed 0 for model without superstructure).

Sehingga,

CT = (1+k) CF + CR + CF + CAA

= (1+k) CF + 0

CT = (1+k) CF

$(1+k) = C_T/C_F$

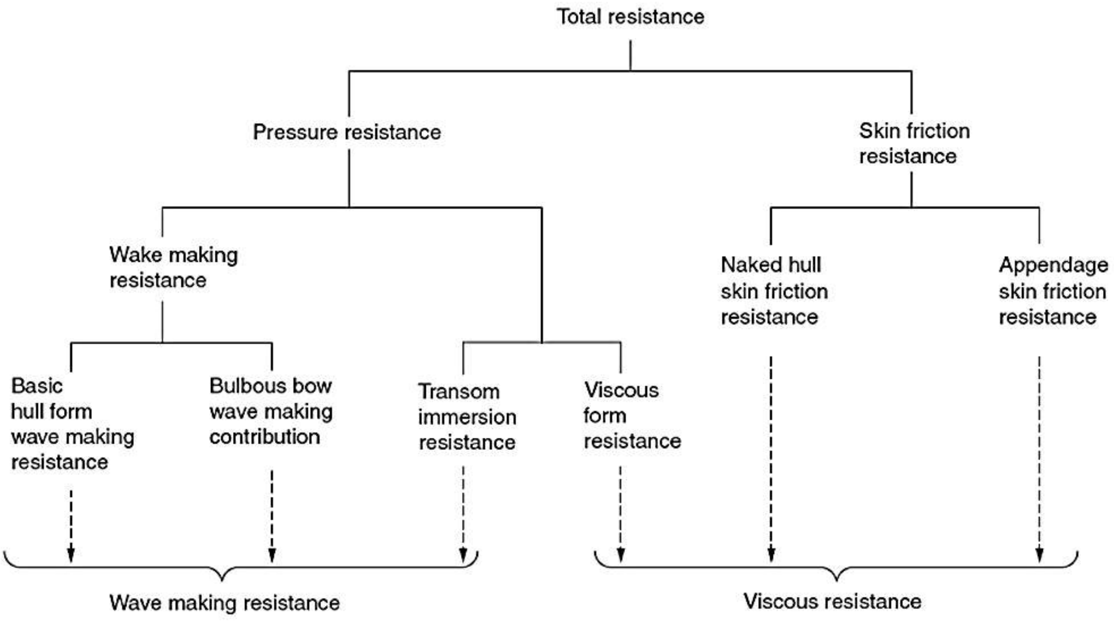
Pada paktIknya, percobaan pada kecepatan rendah memiliki kelemahan dalam menjamin keakuratan hasil yang didapat sehingga terdapat metode lain dalam memperhitungkan hambatan, yaitu metode yang diusulkan oleh Prohaska.

Mengasumsikan CRM = a Fnn pada kecepatan rendah (pada umumnya Fn<0.2) sehingga didapat persamaan hambatan total kapal seerti persamaan 2.21

(2.21`)

$$C_T = (1+k)\, C_F + a\ Fnn$$

Dimana (1+k), a dan n dapat diselesaikan melalui least square analysis dari pengukuran pada kecepatan rendah. Gambar 2.5 merupakan komponen dari hambatan total sebuah kapal.



Gambar 2. 5 Diagram Komponen Hambatan Kapal

2.8 *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Kompleksitas dari aliran fluida dalam kehidupan nyata memiliki banyak sekali karakteristik tertentu. CFD merupakan metode pendekatan aliran fluida secara numerik dengan bantuan komputer. CFD melakukan pendekatan numerasi dengan menggunakan persamaan-peersamaan aliran fluida

Computational Fluid Dynamics (CFD) juga dapat dikatakan sebuah metode perhitungan computer yang umum digunakan untuk analisa dan memecahkan masalah

dinamika fluida Dasar perhitungannya adalah numeric dengan prinsip finite volume method dan finite difference. Prinsip dari CFD adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi-bagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan meshing. CFD juga bisa dikatakan metode penghitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembaginya. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontol penghitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi atau software.

Penggunaan CFD telah berkembang begitu luas dalam beberapa bidang industri dan berbagai disiplin ilmu. CFD digunakan untuk melakukan berbagai eksperimen dalam sebuah komputer dengan menggunakan ekperimen numerik. Penggunaan CFD untuk tujuan eksperimen memberikan keuntungan yang lebih jika dibandingkan dengan eksperimen dengan menggunakan model. Efisiensi waktu dan jumlah pengujian yang tak terbatas serta hasil yang didapatkan dapat diperoleh sesuai dengan pemberian kondisi batas yang diterapkan dan dapat dianalisa disetiap waktu yang ditentukan menjadikan CFD memiliki keunggulan tersendiri. Dalam hah demikian banyak keunggulan dari CFDdibanding eksperimen yaitu :

- Biaya lebih murah
- Lebih cepat dilakukan
- Dapat dikerjakan secara parallel
- Digunakan untuk tujuan yang lebih dari Saturda

Akan tetapi CFD sebagai sebuah algoritma tidak sepenuhnya dapat menggantikan pengukuran secara eksperimen, tetapi jumlah dan biaya eksperimen yang dapat dilakukan dapat berkurang signifikan. Namun yang perlu diketahui realibilitas hasil yang didapatkan dari simulasi CFD tidak pernah mencapai 100%. Hal ini disebabkan karena data input yang digunakan memiliki potensi perkiraan yang kurang teliti da nada kemungkinan model matematik yang digunakan tidak 100% sesuai serta akurasi yang terbatas sesuai kemampuan kecepatan computer.

Pada saat ini terdapat berbagai macam perangkat lunak CFD yang dapat digunakan untuk melakukan analisa seperti Ansys CFX, Aqwa, Fluent, Foltrant, Shipflow dan lain-lain. Pada pengerjaan Tugas Akhir ini digunakan Ansys CFX untuk analisa aliran fluida beserta distribusi tekanan dan kecepatan aliran. Selain CFX Tugas akhir ini juga menggunakan Ansys Aqwa sebagai software untuk memprediksi Olah gerak kapal

2.8.1 Persamaan Dasar Fluida pada CFD

Computational Fluid Dynamics merupakan suatu program yang dapat digunakan untuk menganalisa aliran fluida beserta karakteristik yang ditimbulkan akibat bergeraknya suatu benda pada fluida tersebut. Persamaan dasar yang digunakan pada CFD merupakan persamaan yang didasarkan pada dinamika fluida yaitu persamaan kontinuitas, momentum dan energi. Persamaan-persamaan tersebut merupakan pernyataan matematis dari tiga prinsip dasar fisika sebagai berikut:

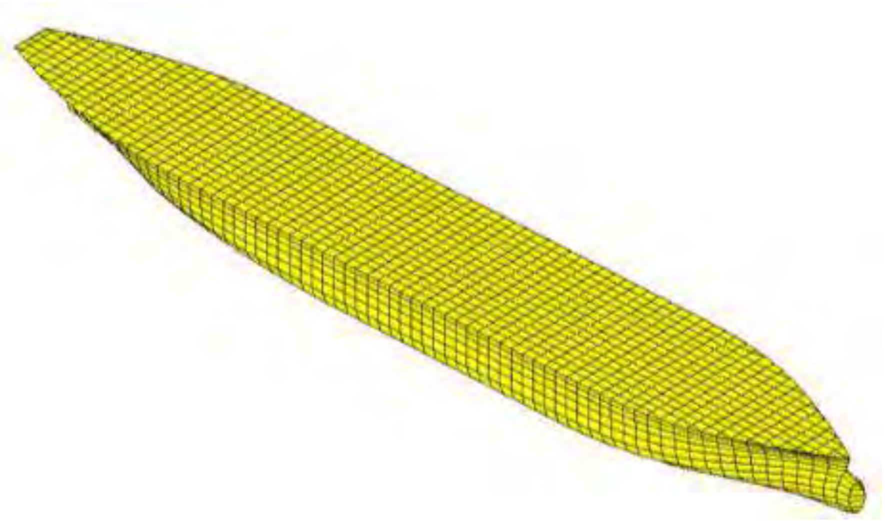
1. Hukum kekekalan massa
2. Hukum kedua Newton, F = m.a
3. Hukum kekekalan energi

Pada proses mendapatkan persamaan gerak fluida maka terdapat tiga hal yang harus menggunakan prinsip-prinsip sebagai berikut:

1. Memilih prinsip fisika dasar dari hokum-hukum fisika (hukum kekekalan massa, hukum kedua Newton dan hukum kekekalan energi).
2. Menetapkan prinsip-prinsip fisika tersebut dalam pemodelan aliran.
3. Pada penerapan ini, dapat diuraikan persamaan matematis yang meliputi prinsip fisika

2.8.2 Diffraction Theory

Metode *Diffraction Theory* merupaka metode yang menjadi dasar dan digunakan oleh Ansys Aqwa dalam mengembangkan software. 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



Gambar 2. 6 Pembagian Panel pada Lambung
(*Hydrostar Manual*)

Gambar 2.6 merupakan ilustrasi bentuk badan kapal yang didefinisikan menjadi panel-panel. Selanjutnya, sebuah persamaan dibentuk sehingga kecepatan potensial dapat diperoleh. Pada kondisi tenang, persamaan kecepatan potensial total *Φ* akibat pengaruh kecepatan *U* seperti diperlihatkan pada persamaan 2.22 hingga 2.24

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

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

$$\boldsymbol{F_{kj}} = \boldsymbol{\rho} \int_{S_B}^{0} \left[\boldsymbol{\omega_e^2 X_j}\left(\boldsymbol{\phi_{jc}} + \boldsymbol{i\phi_{js}}\right) + \boldsymbol{i\omega_e U X_j}\frac{\boldsymbol{\partial}}{\boldsymbol{\partial_j}}\left(\boldsymbol{\phi_{jc}} + \boldsymbol{i\phi_{js}}\right)\right]\boldsymbol{n_k}\,\boldsymbol{ds} \qquad (\mathbf{2.23})$$

Sehingga gerak struktur dapat dihitung dengan persamaan matrik berikut:

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

Di mana:

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*

Dalam pengaplikasiannya, 3D-Difraksi digunakan untuk struktur yang besar serta memiliki pergerakan yang relative kecil. Selain itu, respon dari benda dianggap linear dengan amplitude yang kecil. Tekanan yang digunakan pada teori ini adalah persamaan bernouli yang sedehana. Adapun beberapa kondisi batas yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan difraksi adalah:

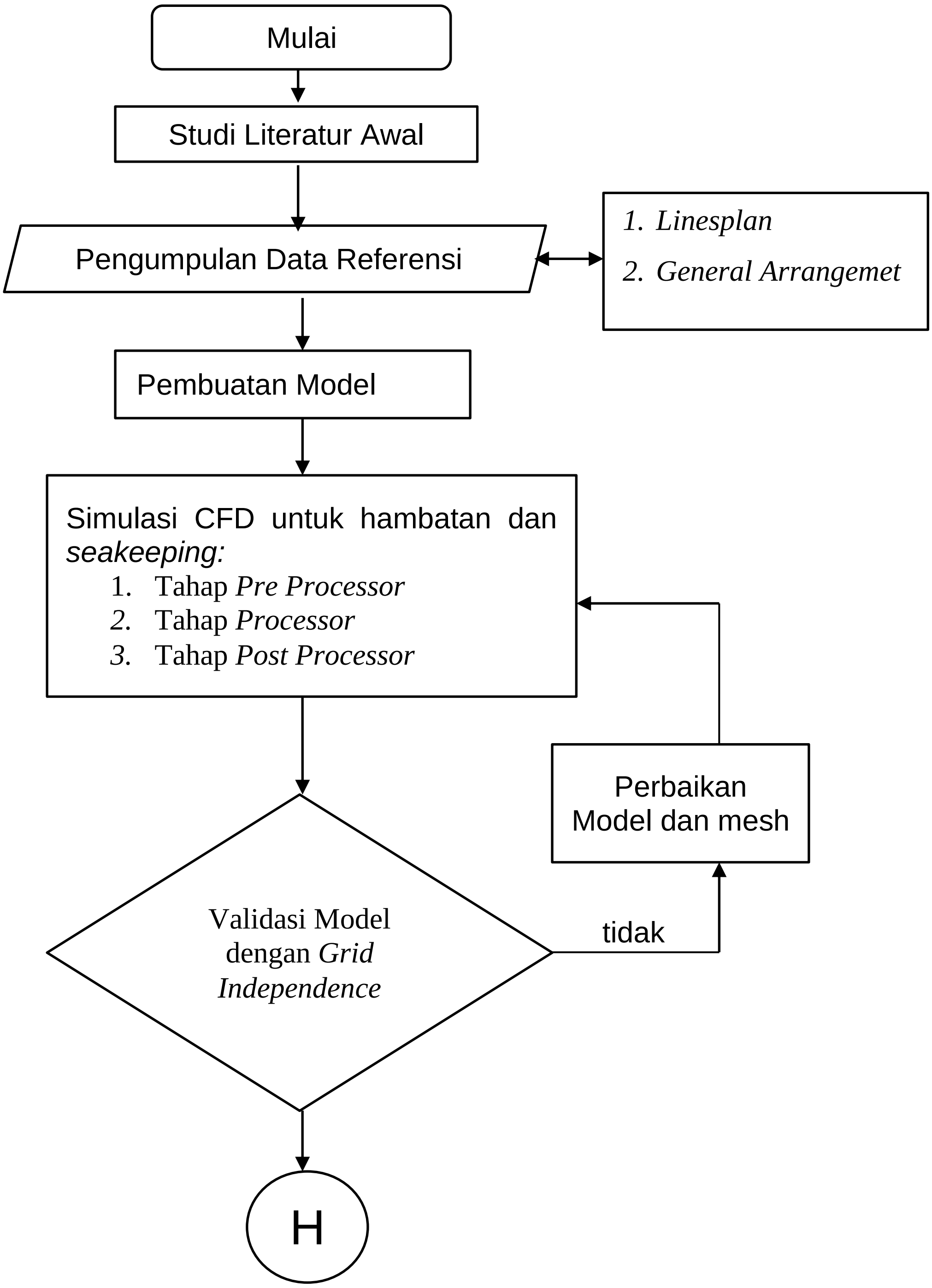
1. Kondisi batas dinamis
2. Kondisi batas kinematis, diasumsikan dasar laut rata sehingga kecepatan partikel di permukaan dasar laut sama dengan di dasar laut
3. Kondisi permukaan laut, Pada kondisi batas ini diasumsikan bahwa permukaan laut bersifat impermeable sehingga tidak dapat ditembus air
4. Kondisi batas permukaan benda, dalam hal ini tidak ada normal flux dari fluida yang menembus permukaan benda. Karena struktur dianggap impermeable, maka kecepatan fluida disekitar struktur dianggap 0

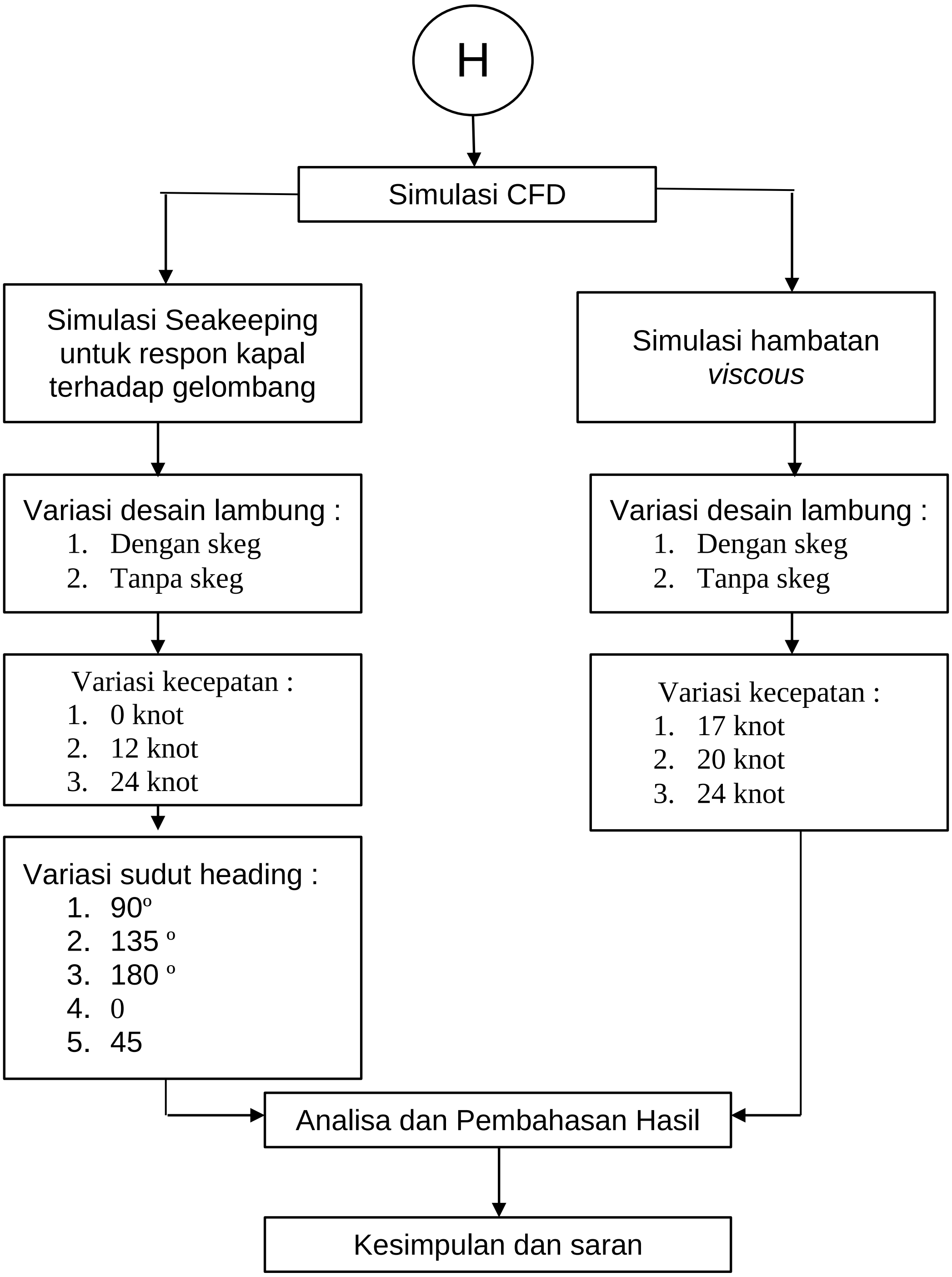
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan diuraikan secara umum mengenai proses dan sistematika pengerjaan Tugas Akhir. Metodologi penelitian Tugas Akhir ini meliputi proses pengerjaan yang digunakan dalam proses analis dan penyelesaian. Untuk gambaran umum akan dijabarkan melalui diagram alir dibawah ini :





Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

3.1 Studi Literatul Awal

Studi literatul awal dilakukan untuk mencari refrensi penelitian sebelumnya mengenai penambahan skeg pada kapal. Refrensi tersebut berkaitan dengan pengaruh skeg terhadap olah gerak kapal dan hambatan. Bentuk dari referensi pada tugas akhir ini berupa buku-buku literatul, jurnal ilmiah maupun pencarian di internet.

3.2 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan didapat dari berbagai sumber seperti perusahaan galangan untuk data lines plan , ukuran utama dan general arrangement. Linesplane dihunakan sebagai acuan untuk membuat geometri kapal dan ukuran utamanya. Sedangkan General Arrangement untuk memprediksi titik berat dari kapal tersebut

3.3 Pembuatan Model Kapal

Untuk pembuatan model kapal dalam Tugas Akhir ini dibantu dengan Maxsurf Advance Modeller. Untuk membuat model di maxsurf diperlukan linesplane dari data yang sudah didapat. Pembuatan Model dilakukan dengan cara membuat lines pada maxsuf sesuai dengan linesplan. Setelah lines sama maka model 3D bisa dipakai. Untuk mengkonversi format maxsurf modeller ke Ansys Aqwa dan CFX maka format .dxf maxsurf diubah ke format .igs agar bisa dikonversi ke Ansys Aqwa ataupun Ansys CFX

3.4 Simulasi CFD

Pada proses simulasi pada Computational Fluid Dynamics terbagi menjadi tiga tahapan besar baik Ansys Aqwa maupun Ansys CFX. Berikut merupakan tahapan dalam mensimulasikan CFD :

1. Pre Processor

   Pada Ansys Aqwa proses ini berisi mengenai beberapa definisi seperti massa pada kapal, titik berat, radius gyrasi maupun titik bouyancy pada kapal. Selain itu ada juga proses meshing dimana lambung kapal dibagi menjadi banyak elemen-elemen. Sedangkan pada Ansys CFX pada tahap ini digunakan software ANSYS CFX-PRE untuk menentukan kondisi lingkungan yang

meliputi Inlet, outlet, interaksi dinding batas dengan fluida dan objek pengujian, kecepatan aliran fluida, temperatur dan kondisi-kondisi lainya yang perpengaruh pada proses pengujian.

2. Processor

   Pada Ansys Aqwa maupun ansys CFX Solver merupakan tahap perhitungan atau tahapan pemecahan masalah berdasar perhitungan numerik yang menjadi dasar perhitungan software. Pada ansys CFX user mendifinisikan sendiri kapan perhitungan iterasi tersebut dikatan konvergen. Pada Tugas Akhir kali ini iterasi akan berhenti pada 10^{-4}

3. Post-Processor

   Pada tahap akhir dilakukan perhitungan. analisa dan visualisasi hasil menggunakan program ANSYS CFX-POST. Pada tahap akhir di Ansys Aqwa akan menampilkan grafik, data maupun simulasi gerakan kapal sesuai dengan nilai RAO-nya

3.5 Validasi *Software*

Untuk memberikan hasil yang bisa dipertanggung jawabkan maka analisis dengan software memerlukan tahapan validasi. Ada banyak cara untuk memvalidasi hasil yang diberikan oleh software diantaranya adalah :

- *Convergence*
- *Grid Independence*
- Verifikasi dengan data hasil eksperimen

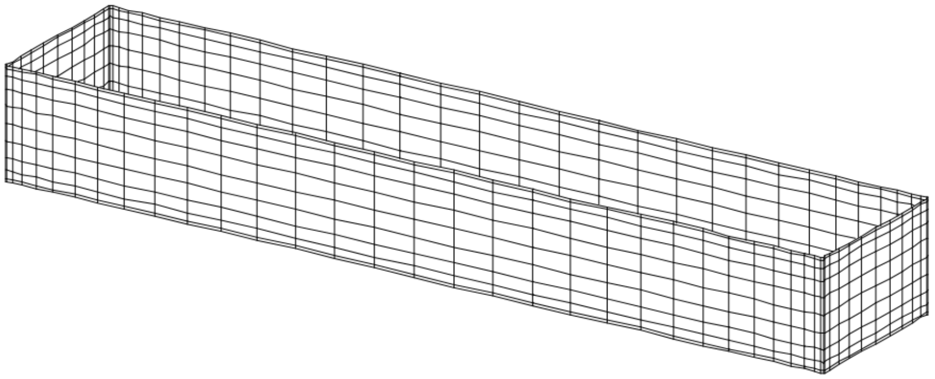
3.5.1 Validasi pada Ansys Aqwa

Pada sofware Ansys Aqwa validasi dilakukan berdasarkan data hasil eksperimen sebelumnya. Jadi nantinya validasi akan dilakukan dengan cara membandingkan data penelitian dengan output yang dihasilkan oleh Ansys Aqwa dalam parameter yang sama. Acuan hasil penelitian didapat dari *Wamit-Moses Hydrodynamic Analysis Comparison Study* yang telah dipublikasikan oleh McDermott. Dalam Jurnal *Wamit-Moses Hydrodynamic Analysis Comparison Study* menggunakan beberapa model antara lain *box, cylinder, general ship, TLP, dan semi-sumbersible*. Untuk ukuran utama balok terdapat pada tabel 3.1. Di

dalam mengerjakan tugas akhir ini model yang digunakan penulis sebagai acuan validasi adalah *box* dengan dimensi sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Dimensi Utama Balok

Model	**Panjang (m)**	**Lebar (m)**	**Sarat (m)**	***Displacement* (ton)**	***Wave heading* (˚)**	***Keel to Gravity* (m)**
BOX	200	40	28	229645	45	28



Gambar 3. 2 Balok Wamit

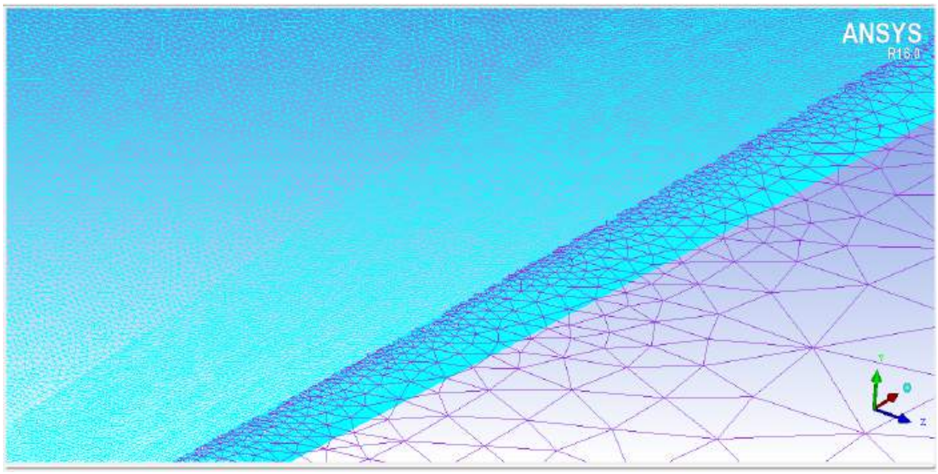
Gambar 3.2 merupakan ilustrasi geometri balok pada program wamit dengan jumlah panel yang sudah disesuaikan. Pada dasarnya validasi dengan metode seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya merupakan validasi settingan pada Ansys Aqwa. Untuk validasi hasil sendiri memerlukan beberapa cara lagi seperti contohnya dengan membandingkan hasil dari Ansys Aqwa dengan software lainnya seperti *Maxsurf motion* Ataupun *Hydrostar*. Dengan demikian maka hasil validasi akan lebih valid. Apabila perintah atau *setting*an software yang dibuat menghasilkan RAO yang sama atau hampir mendekati dengan hasil RAO pada *paper* tersebut, maka baris perintah yang dibuat pada perangkat lunak Ansys Aqwa telah valid. Dan jika hasil yang diperoleh menyimpang, maka masih terdapat kesalahan dalam penyusunan baris perintah atau setting. Pada tabel 3.2 merupakan hasil dari RAO balok Wamit.

Tabel 3. 2 Hasil RAO Balok pada 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

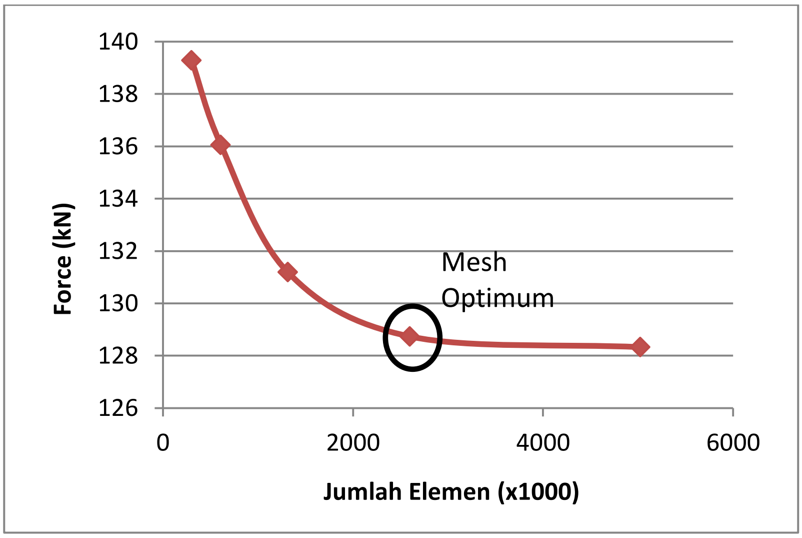
3.5.2 Validasi pada Ansys CFX

Pada Ansys CFX dilakukan validasi dengan metode Grid Independence. Grid didefinisikan sebagai kumpulan elemen yang bergabung membentuk suatu bentuk tertentu. Penentuan jumlah grid yang dipakai dalam pemodelan kapal berpengaruh terhadap tingkat ketelitian dari model tersebut. Semakin kecil ukuran grid yang digunakan maka akan semakin banyak jumlah grid yang digunakan dan membutuhkan waktu yang lama untuk melakukan simulasi.



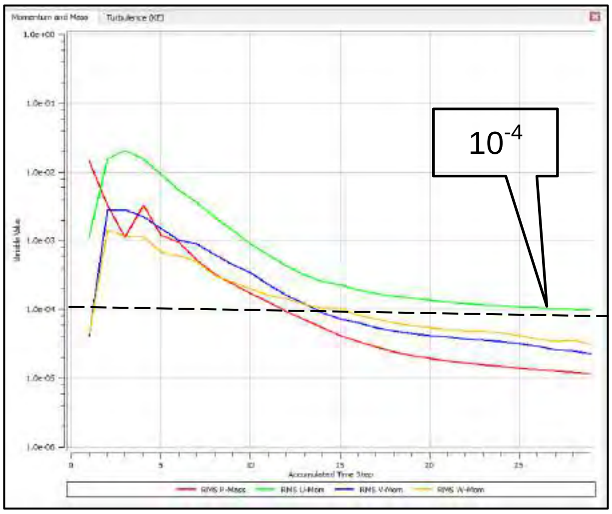
Gambar 3. 3 Contoh bentuk Grid pada Ansys CFX

Gambar 3.3 merupakan contoh grid yang dibentuk melalui software ICEM. Ukuran grid yang kecil akan berpengaruh terhadap tingkat kehalusan dari setiap bagian badan kapal. Penggunaan ukuran grid yang terlalu besar juga akan berpengaruh terhadap bentuk badan kapal yang akan dihasilkan sehingga dapat mengurangi hasil yang diperoleh. Menurut Utama (2010) jumlah elemen model CFD disebut optimum jika selisih output antara 2 percobaan yang berurutan berdasarkan pertambahan elemennya adalah 2%. Gambar 3.4 merupakan contoh percobaan guna mendapatkan ukuran mesh dan jumlah elemen yang optimum.



Gambar 3. 4 Contoh Mesh optimum

Selain dengan Grid Independence validasi juga dapat dilakukan dengan konvergensi. Proses perhitungan atau disebut sebagai proses iterasi pada tahap flow solver dilakukan jika semua data kondisi batas telah ditentukan. Banyaknya proses iterasi berpengaruh terhadap tingkat akurasi yang dapat diperoleh. Penentuan banyaknya iterasi dipengaruhi oleh tingkat ketelitian dari model yang telah dibuat. Semakin banyak jumlah grid yang dipakai dalam pemodelan maka semakin banyak pula iterasi yang perlu dilakukan untuk perhitungan model tersebut. Proses iterasi akan berhenti jika telah mencapai batas *convergence* yang telah ditentukan. Pada proses ini perhitungan dilakukan hingga menuju nilai error terkecil atau didapatkan nilai yang konvergen. *Convergence criteria* yang digunakan dalam proses iterasi menggunakan Ansys CFX adalah 10^{-4}. Jika semua nilai tidak melewati batas konvergen artinya hasil tidak bisa dikatakan valid. Untuk memecahkan masalah ini maka harus dilakukan Pengecekan pada setting maupun geometri yang sudah dibuat. Gambar 3.5 merupakan gambaran iterasi yang sudah melewati batas konvvergensi.

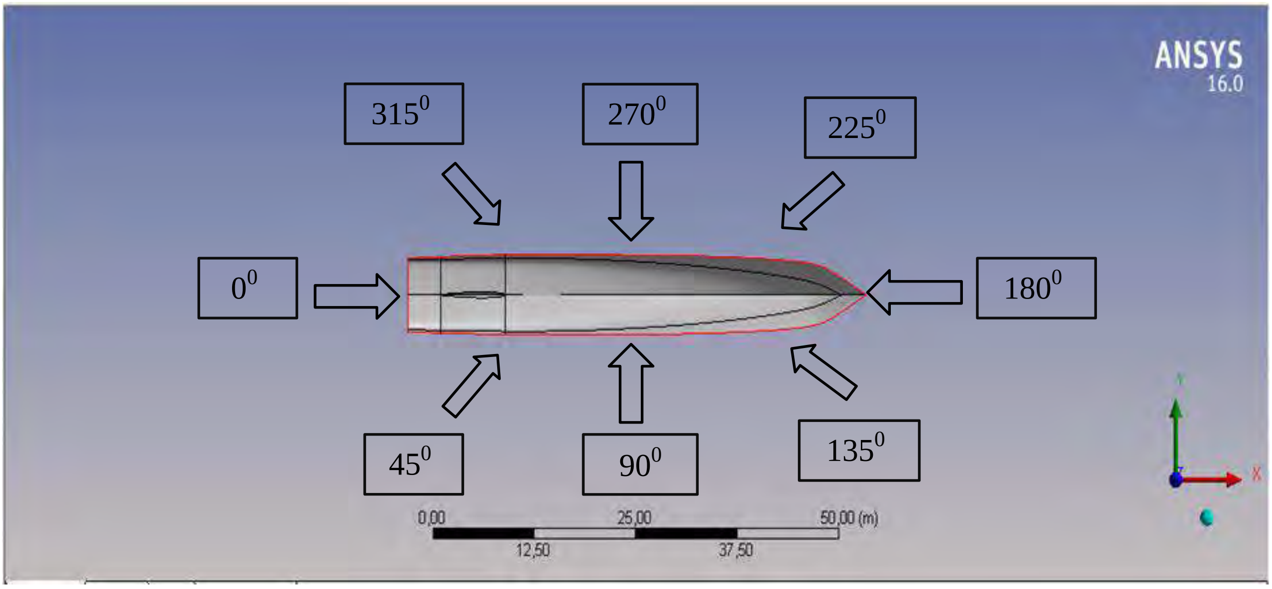


Gambar 3. 5 Grafik Konvergensi pada simulasi Full Viscous

BAB 4
HASIL EVALUASI OLAH GERAK KAPAL

4.1 Analisa Olah Gerak Kapal

Untuk mengetahui karakteristik gerak suatu kapal, maka akan dipaparkan dalam bentuk karakteristik gerakan-gerakan yang biasa dialami oleh kapal pada saat berlayar. Karakteristik gerakan tersebut akan disajikan dalam bentuk gerakan *surge, sway, heave, roll, pitch,* dan *yaw* dengan variasi kecepatan 0 knot, 12 knot, dan 24 knot pada sudut heading 0^0, 45^0, 90^0, 135^0, dan 180^0 . Pada penelitian ini analisa *seakeeping* dilakukan dengan software *Ansys Aqwa* dan *maxsurf motion*. Orientasi sudut datang gelombang dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut:



Gambar 4. 1 Orientasi Sudut Datang Gelombang

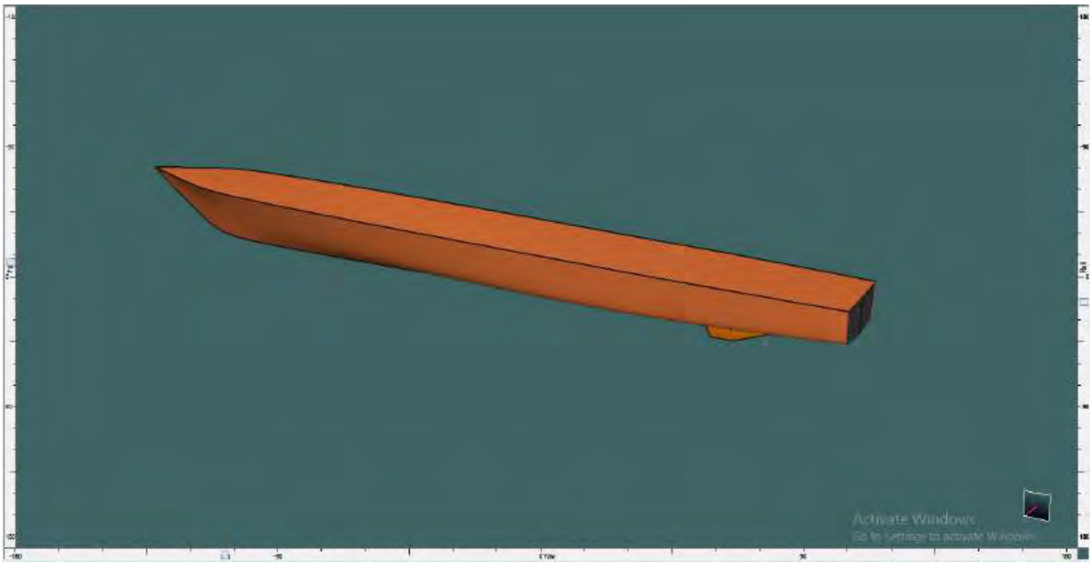
4.2 Permodelan Geometri Kapal

Pada Sub-Bab kali ini akan dijelaskan langkah-langkah yang dapat dijadikan referensi untuk membuat sebuah model geometri pada software. Pemodelan geometri pada software digunakan untuk mendefinisikan model asli dari objek yang akan diteliti nantinya guna mendapatkan parameter yang sama.

4.2.1 Pemodelan Kapal di Software Maxsurf

Pada pemodelan kali ini, model geometri pada ansys *Aqwa adalah* Inputan *NURB surface* pada *software Maxsurf Modeller*. Sehingga langkah pertama dari proses pemodelan geometri kapal ini adalah dengan membuat model di *maxsurf* terlebih dahulu. Dengan data *Lines plan* yang sudah didapat, gambar kapal patroli harus dirubah dalam bentuk tiga dimensi. Hal ini dilakukan sebagai inputan *geometry modeller* yang dilakukan pada program *ansys aqwa*. Dalam pembuatan model patroli di *maxsurf modeller* model *Maxsurf* memiliki bentuk dan karakteristik yang sama atau mendekti dengan linesplan. Adapun beberapa langkah untuk membuat model geometri kapal pada *Maxsurf* adalah :

- membentuk *surface* adalah dengan cara pilih perintah surface kemudian add surface, pilih *surface* sesuai keinginan
- Menempatkan *Control point* pada *Surfac*e, *Control point* tersebut berguna untuk mengubah bentuk *surface* sesuai dengan keinginan pengguna
- Setelah *Surface* dibentuk sesuai keinginan dengan menggunakan *control point* maka langkah selanjutnya adalah penggabungan *surface*
- 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



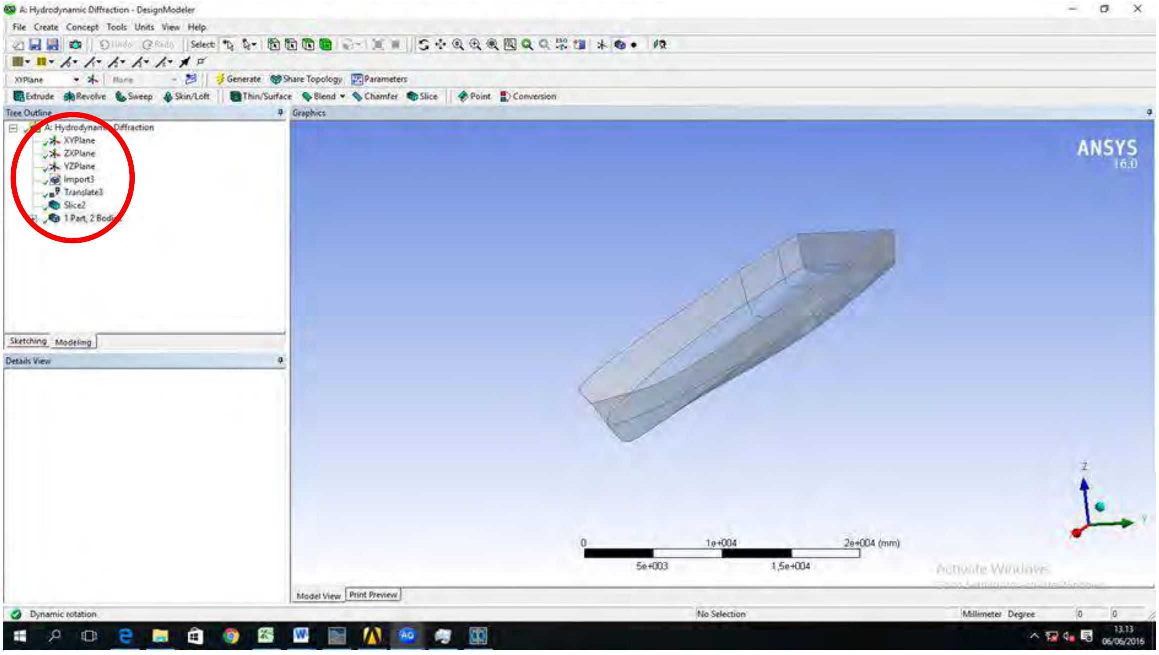
Gambar 4. 2 Geometri pada *Maxsurf Modeller*

Gamabar 4.2 merupakan hasil dai pembuatan geometri kapal pada Maxsurf modeller. Model geometri tersebut harus disesuaikan dengan parameter kapal yang sebenarnya.

4.2.2 Konversi Geometri kapal di Maxsurf ke Ansys Aqwa

Sebelum menggunakan softwae ansys aqwa, geometri pada program *Maxsurf* (.msd) harus dikonversi sehingga bisa dibaca pada *Ansys Aqwa*. Langkah yang harus dilakukan adalah melakukan export file .msd maxsurf menjadi bentuk *NURB 3D surface* (.igs). Format .igs adalah salah satu format digital pemodelan yang bisa dibaca oleh Ansys Aqwa, maka dari itu hasil *output* .igs dari *Maxsurf Pro* yang akan digunakan sebagai inputan model geometri.

Hal yang harus diperhatikan adalah bahwa inputan yang sudah dikonversi dalam format .igs harus merupakan satu kesatuan geometri. Jika ada bagian yang hilang saat dikonversi maka proses selanjutnya tidak bisa dilakukan. Untuk contoh kasus tersebut maka diperlukan perbaikan geometri pada *masxsurf modeller*. Gambar 4.3 merupakan hasil konversi format dxf. Menjadi igs. Yang sudah diimpor ke *Ansys modeller*



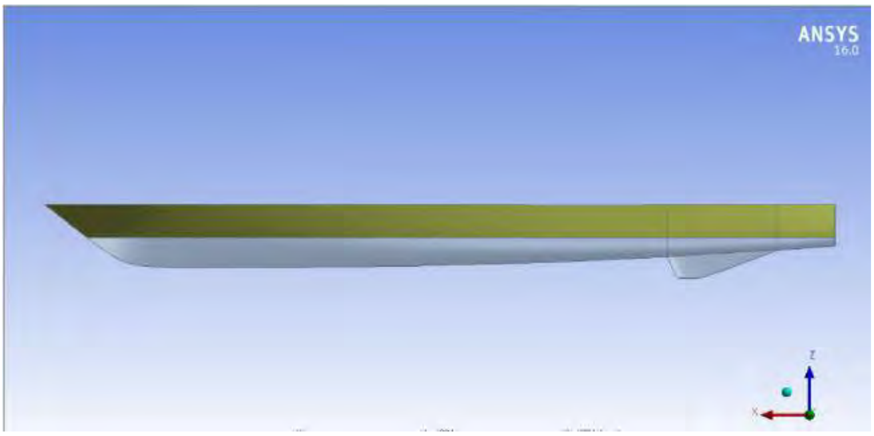
Gambar 4. 3 Hasil Konversi ke *Ansys Modeller*

4.2.3 Pengaturan Geometri pada *Ansys Aqwa*

Untuk mendukung proses analisa menggunakan *softwre Ansys Aqwa* adalah dengan melakukan pengaturan pada geometri. Adapun langkah yang akan dilakukan dalam pengaturan geometri pada *Ansys Aqwa* sebagai berikut :

- Untuk langkah pertama adalah memilih *body operation* , setelah itu pilih translation .Langkah ini dilakukan untuk membuat posisi sarat kapal berada tepat pada sumbu xy

- Pilih *tool bar create – slice*, kapal akan didefinisikan dalam bentuk body atas dan body bagian dibawah sarat kapl 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 menyatukan kembali body yang sebelumnya dislice dengan joint part, pilih dua bagian kapal pada pohon perintah kemudian klik kanan pada mouse dan pilih perintah *form new part*. Langkah ini akan membuat model kapal menjadi satu kesatuan.

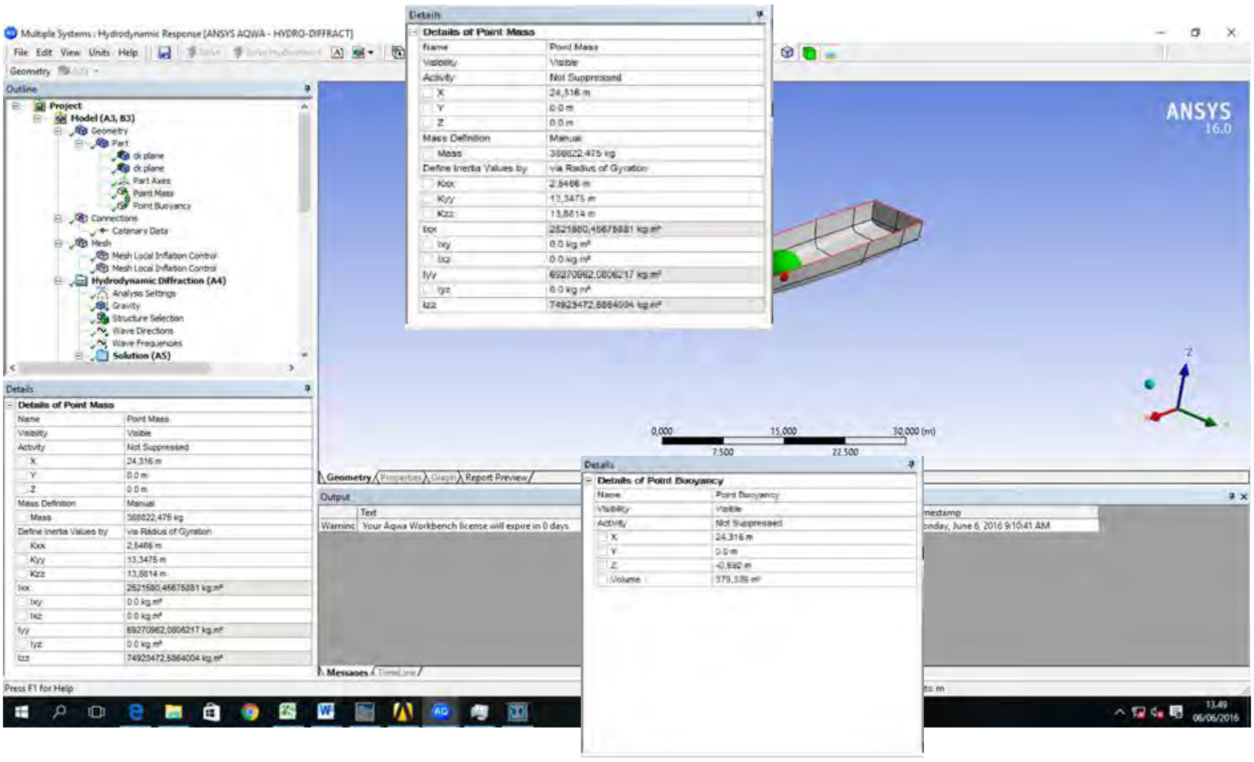


Gambar 4. 4 Pendefinisian Sarat Kapal

Gambar 4.4 merupakan gambaran pendefinisian sarat pada model kapal dengam menggunakan fitur body operation dan slice pada *Ansys Modeller*.Model tersebut merupakan hasil dari langkah-langkah pendefinisian bentuk geometri yang dijelaskan sebelumnya

4.2.4 Pendefinisian Geometri

Setelah sebelumnya dilakukan pengaturan geometri pada design modeler, maka dari itu langkah selanjutnya adalah pendefinisan geometri. Langkah ini adalah proses penting dalam melakukan simulasi pada Ansys Aqwa. Proses pendefinisian bertujuan untuk mendefinisikan kapal sebagai suatu struktur apung. Proses pendefinisaian ini meliputi berat kapal, titik berat kapal, titik *bouyancy* dan radius girasi kapal. Gambar 4.5 menunjukan interface dari untuk mendefinisikan berat kapal, titik berat kapal, titik *bouyancy* dan radius girasi kapal.



Gambar 4. 5 Pendefinisian titik berat dan Titik Bouyancy

4.2.4.1 Titik Berat dan Radius Girasi

Ada parameter penting yang perlu diketahui untuk mendapatkan karakteristik olah gerak dari sebuah kapal. Seperti yang diketahui bahwa kapal ataupun benda lainnya bergerak terhadap titik beratnya, sehingga untuk kasus inipun titik berat perlu diketahui

Tabel 4. 1 LCG dan VCG kedua model kapal

Parameter	Nilai	
	Dengan Skeg	Tanpa skeg
LCG (from midship)	-5.684	-5.684
VCG	2,97 m	2,97

Sedangkan untuk analisa gerakan rotasi diperlukan data radius giration, baik untuk gerakan roll, pitch dan yaw. Menurut referensi dari batthacarrya (1978), dijelaskan rumus *radius of giration* sebagai berikut.

Radius gyration for rolling = Kxx = $\sqrt{\frac{\Sigma w_i(y_i^2+z_i^2)}{\Delta}}$

Radius gyration for pitching = Kyy = $\sqrt{\frac{\sum w_i(x_i^2+z_i^2)}{\Delta}}$

Radius gyration for yawing = Kzz = $\sqrt{\frac{\sum w_i(x_i^2+y_i^2)}{\Delta}}$

Dimana xi = jarak longitudinal titik origin ke COG

yi = jarak transversal titik origin ke COG

zi = jarak vertikal titik origin ke COG

wi = Berat dari elemen

Sedangakan menurut Journée (2012) dijelaskan untuk menghitung radius girasi sebagai berikut.

Untuk kapal Kxx = 0.30.B to 0.4.B

Kyy = 0.22.L to 0.28.L

Kzz = 0.22.L to 0.28.L

Dimana L adalah Panjang dan B adalah Lebar dari kapal sedangkan menurut Bereau Veritas untuk radius girasi roll :

Kxx = 0.289. B .$\left(1(\frac{2.KG}{B})^2\right)$

Tabel 4. 2 Perhitungan Radius Girasi

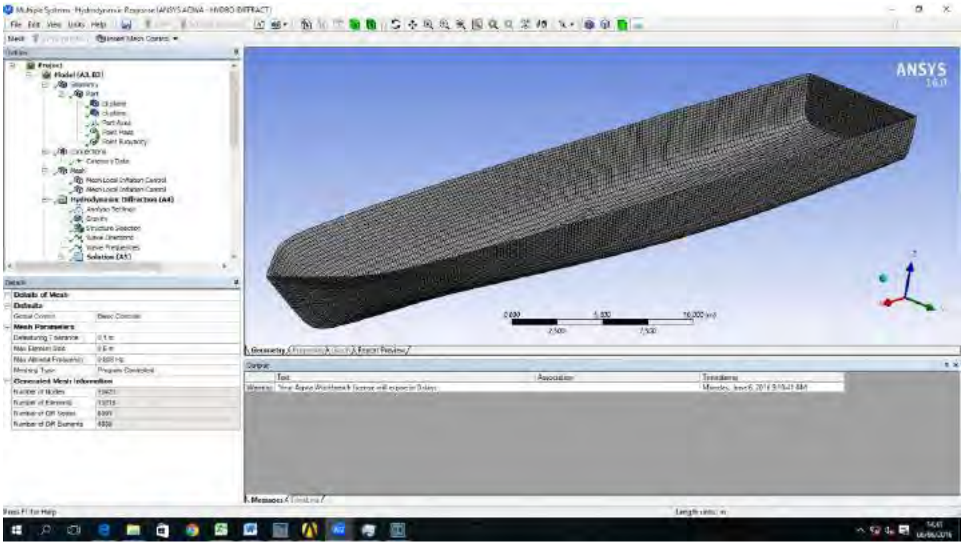
No	w_i (Ton)	x_i (m)	y_i (m)	z_i (m)	x_i^2 (m^2)	y_i^2 (m^2)	z_i^2 (m^2)
AP	0	0	0	0	0	0	0
1	4,8339	2,6727	0	0,983	7,1433253	0	0,96629
2	6,15205	5,3454	0	1,23	28,573301	0	1,5129
3	7,68135	8,0181	0	1,28	64,289928	0	1,6384
4	8,816025	10,6908	0	1,36	114,2932	0	1,8496
5	9,139925	13,3635	0	1,45	178,58313	0	2,1025
6	9,888175	16,0362	0	1,62	257,15971	0	2,6244
7	10,30228	18,7089	0	1,94	350,02294	0	3,7636
8	10,4591	21,3816	0	2,57	457,17282	0	6,6049
9	10,41093	24,0543	0	2,57	578,60935	0	6,6049
10	10,15468	26,727	0	2,57	714,33253	0	6,6049
11	9,718025	29,3997	0	2,57	864,34236	0	6,6049
12	9,137875	32,0724	0	2,57	1028,6388	0	6,6049

13	8,420375	34,7451	0	2,57	1207,222	0	6,6049
14	7,590125	37,4178	0	2,57	1400,0918	0	6,6049
15	6,659425	40,0905	0	2,57	1607,2482	0	6,6049
16	5,669275	42,7632	0	2,57	1828,6913	0	6,6049
17	4,547925	45,4359	0	2,57	2064,421	0	6,6049
18	3,5219	48,1086	0	2,57	2314,4374	0	6,6049
19	1,7302	50,7813	0	2,57	2578,7404	0	6,6049
FP	0,011275	53,454	0	2,57	2857,3301	0	6,6049

$y_i^2 + z_i^2$ (m^2)	$x_i^2 + zi^2$ (m^2)	$x_i^2 + yi^2$ (m^2)	$w_i (y_i^2 + z_i^2)$ ($ton.m^2$)	$w_i (x_i^2 + z_i^2)$ ($ton.m^2$)	$w_i (x_i^2 + y_i^2)$ ($ton.m^2$)	Gyration
0	0	0	0	0	0	
0,96629	8,10961	7,14333	4,670944397	39,2010645	34,5301201	
1,5129	30,0862	28,5733	9,307436445	185,091814	175,784377	
1,6384	65,9283	64,2899	12,58512384	506,418559	493,833435	
1,8496	116,143	114,293	16,30611984	1023,91787	1007,61175	
2,1025	180,686	178,583	19,21669231	1651,45313	1632,23644	
2,6244	259,784	257,16	25,95052647	2568,79075	2542,84022	
3,7636	353,787	350,023	38,77364219	3644,80622	3606,03258	
6,6049	463,778	457,173	69,08130959	4850,69754	4781,61623	
6,6049	585,214	578,609	68,76311853	6092,62165	6023,85853	
6,6049	720,937	714,333	67,07061291	7320,88529	7253,81467	
6,6049	870,947	864,342	64,18658332	8463,88725	8399,70066	
6,6049	1035,24	1028,64	60,35475059	9459,92791	9399,57316	
6,6049	1213,83	1207,22	55,61573484	10220,8775	10165,2617	
6,6049	1406,7	1400,09	50,13201661	10677,0035	10626,8714	
6,6049	1613,85	1607,25	43,98483618	10747,3336	10703,3488	
6,6049	1835,3	1828,69	37,44499445	10404,7987	10367,3537	
6,6049	2071,03	2064,42	30,03858983	9418,87051	9388,83192	
6,6049	2321,04	2314,44	23,26179731	8174,47886	8151,21706	
6,6049	2585,35	2578,74	11,42779798	4473,16449	4461,73669	
6,6049	2863,94	2857,33	0,074470248	32,2908673	32,2163971	
			708,2470979	109956,517	109248,27	
			kxx2	7,39847676	kxx	2,72001
			kyy2	178,155848	kyy	13,3475
			kzz2	192,679495	kzz	13,8809

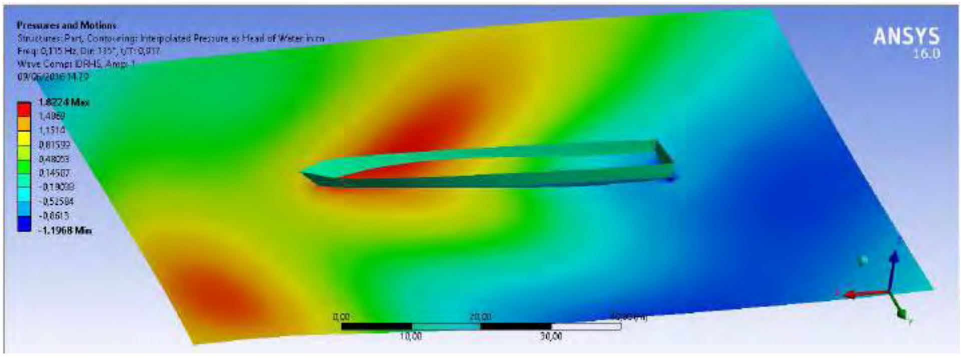
5.2.4.2 Proses *Meshing* Ansys Aqwa

Setelah melakukan pendefinisian pada geometri kapal. Langkah selanjutnya adalah pendefinisan meshing salah satu syarat untuk melakukan proses running. Langkah ini adalah proses penting dalam melakukan simulasi pada Ansys Aqwa. Proses meshing bertujuan untuk mendefinisikan kapal menjadi elemen elemen kecil sehingga karakter hidrodinamis dari model bisa didapat. Proses meshing sangat mempengaruhi hasil dari running karena semakin kecil meshing dan semakin banyak jumlah meshing maka akan semakin teliti hasil yang didapat. Tetapi sebagai pertimbangan lain penambahan jumlah meshing akan memakan waktu yang lebih lama. Pada Ansys Aqwa jumlah elemen maksimal adalah 40000 elemen. Untuk melakukan meshing pada geometri adapun langkah-langkah yang dilakukan cukup sederhana yaitu dengan manginput ukuran maksimum dari elemen. Setelah diinput dan dilakukan meshing jumlah elemen akan secara otomatis dihitung oleh program



Gambar 4. 6 Pendefinisian *Meshing* pada Ansys Aqwa

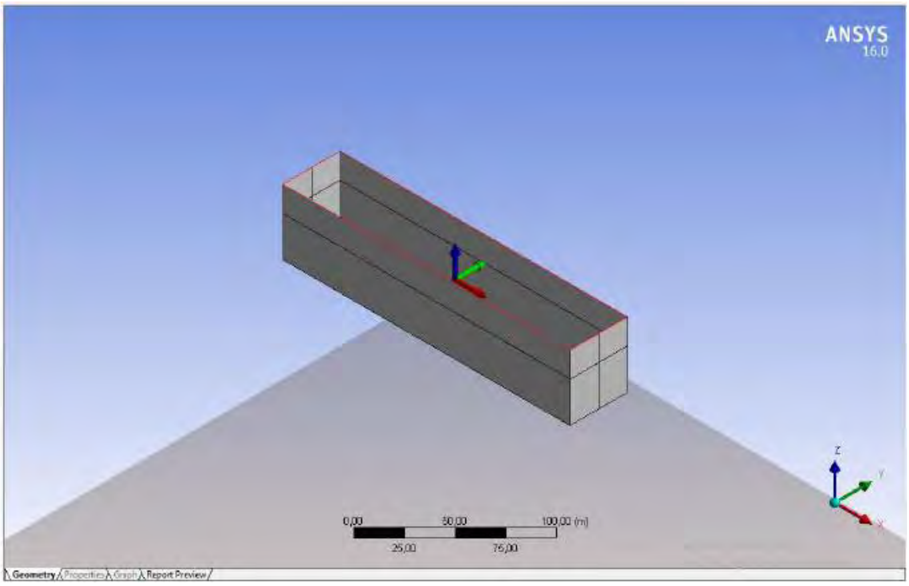
Gambar 4.6 merupakan pendefinisian meshing berbentuk panel pada Ansys Aqwa Hydrodinamic Difraction. Pada pendefinisian meshing user dapat melihat dengan kasat mata apakah jumlah panel yang digunakan sudah baik atau belum dari sudut kritis pada geometri kapal tersebut. Apabila sudut kritis dalam hal ini adalah sudut sambungan antara skeg dan lambung sudah baik maka dapat dikatakan geometri yang dibuat sudah baik. Sedangkan untuk mendapatkan jumlah panel optimum akan dijelaskan pada subbab 4.2.6. Pada Gambar 4.7 merupakan gambaran simulasi gerak pada Ansys Aqwa. Warna merah pada gelombang menunjukan bahwa gelombang tersebut meruakan gelombang dengan amplitudo maksimum. Sedangkan gelombang berwarna biru menunjukan gelombang dengan amplitudo minimum



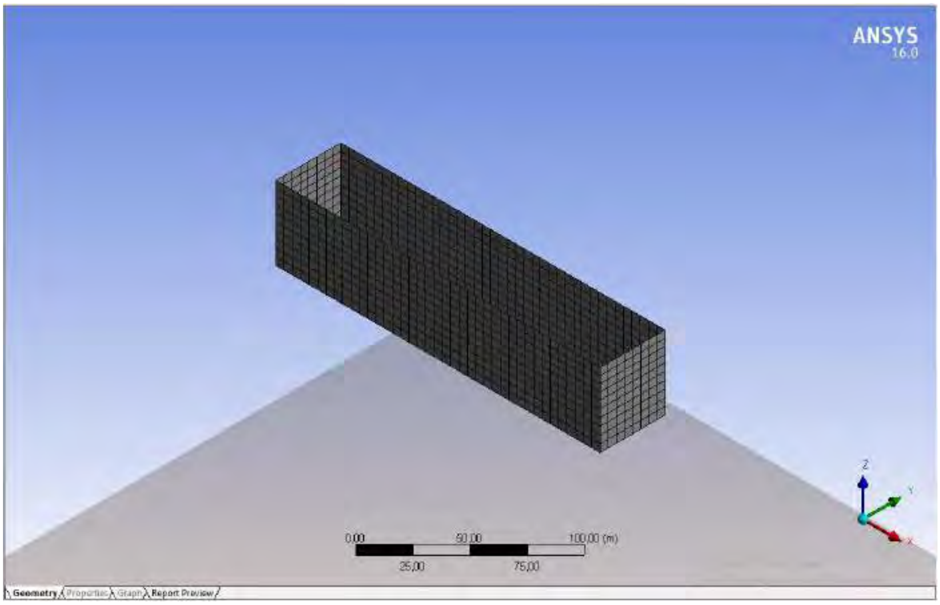
Gambar 4. 7 Simulasi Gerak Kapal pada Ansys Aqwa

4.2.5 Validasi *Setting* Olah Gerak Kapal dengan Balok

Pada sofware Ansys Aqwa validasi dilakukan berdasarkan data hasil eksperimen sebelumnya. Jadi nantinya validasi akan dilakukan dengan cara membandingkan data penelitian dengan output yang dihasilkan oleh Ansys Aqwa dalam parameter yang sama. Acuan hasil penelitian didapat dari *Wamit-Moses Hydrodynamic Analysis Comparison Study* yang telah dipublikasikan oleh McDermott. Dalam Jurnal *Wamit-Moses Hydrodynamic Analysis Comparison Study* menggunakan beberapa model antara lain *box, cylinder, general ship, TLP, dan semi-sumbersible*. Di dalam mengerjakan tugas akhir ini model yang digunakan penulis sebagai acuan validasi adalah *box* dengan dimensi gan panjang 200 m, lebar 40 m dan sarat 28 m dimodelkan dengan jumlah panel 1264, dan selanjutnya RAO *box* pada *paper* tersebut dihitung. Gambar 4.8 merupakan pendefinisian balok sebagai validasi pengaturan pada Ansys Aqwa



Gambar 4. 8 Balok pada Ansys Aqwa

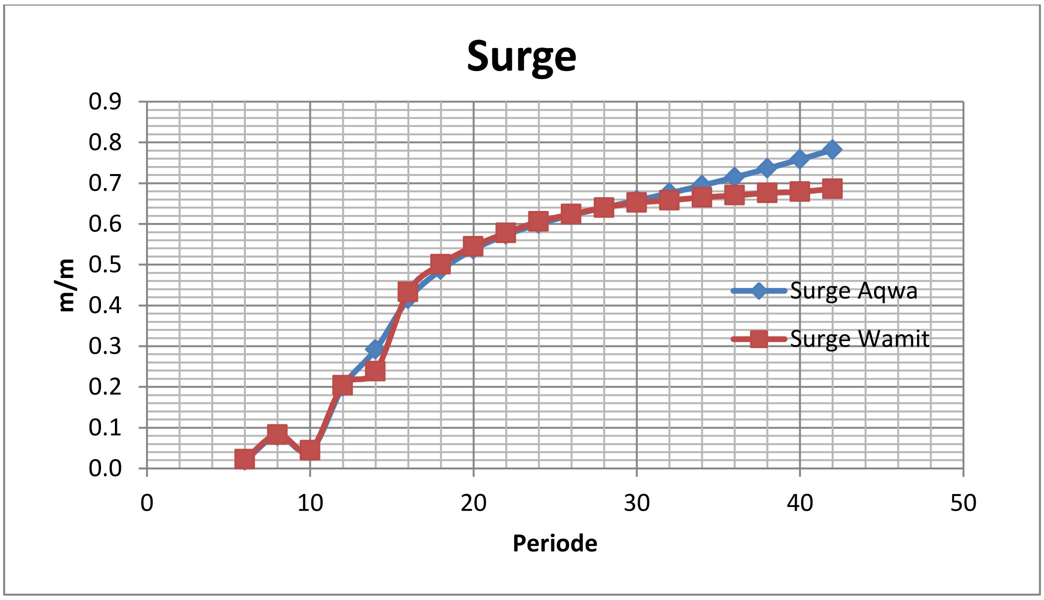


Gambar 4. 9 Meshing Balok pada Ansys Aqwa

Gambar 4.9 meruakan meshing pada Balok dalam rangka melakukan validasi pengaturan pada Ansys Aqwa dengan acuan dari Wamits yang dipublikasikan oleh Mc.Dermott

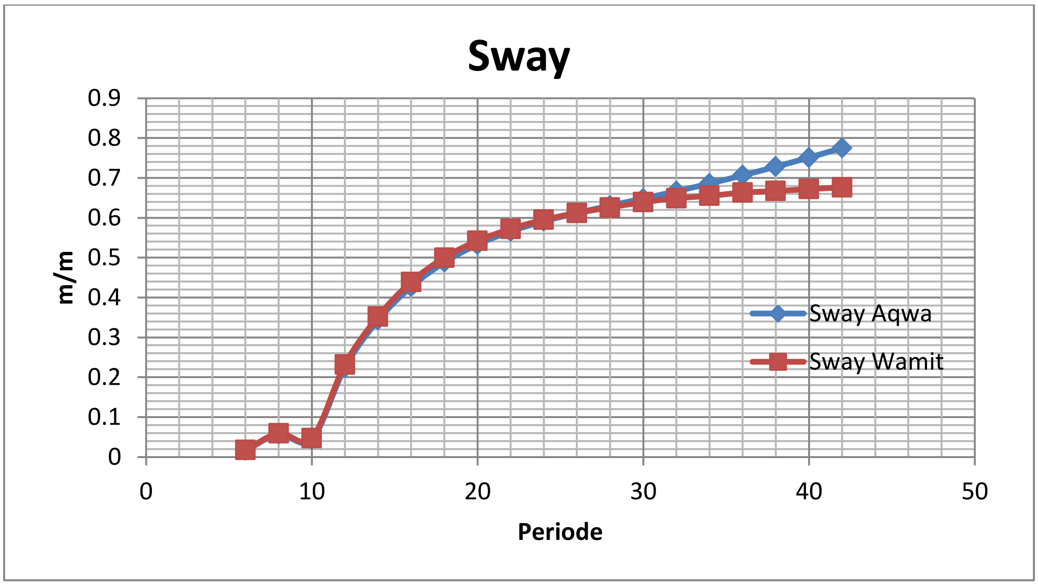
4.2.5.1 Hasil Perbandingan antara Ansys Aqwa dan Wamits

Setelah dilakukan solving pada software Ansys Aqwa dengan ketentuan sama seperti jurnal Mc.Dermot, dengan memakai sudut 45^0 maka didapatkan hasil RAO pada Ansys Aqwa dan dapat dibandingkan dengan RAO Wamit. Berikut hasil perbandingan antara Ansys Aqwa dan Wamit :



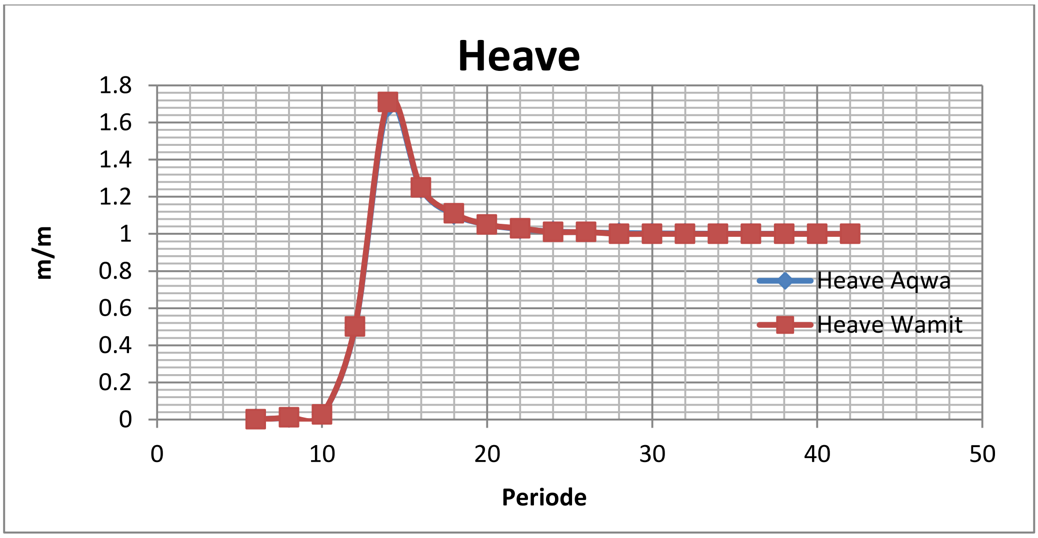
Gambar 4. 10 Perbandingan RAO surge pada Aqwa dan Wamits

Berdasarkan Gambar 4.10 maka dapat diketahui bahwa proses perbandingan antara hasil Ansys Aqwa dengan Wamit pada keadaan *surge* memiliki hasil yang relatif sama dan *trandline* yang sama pula walaupun terdapat perbedaan pada periode 32 sampai 42, tetapi dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa hasil perbandingan pada keadaan *surge* telah valid dan dapat digunakan sebagai acuan dalam proses perhitungan.



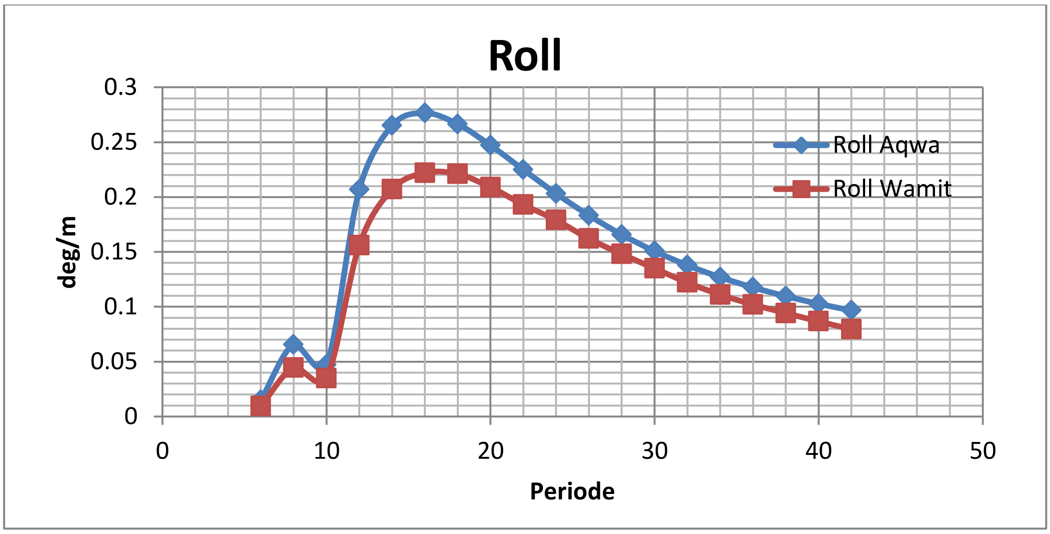
Gambar 4. 11 Perbandingan RAO sway pada Aqwa dan Wamits

Berdasarkan Gambar 4.11 maka dapat diketahui bahwa proses perbandingan hasil perhitungan antara hasil Ansys Aqwa dengan Wamit pada keadaan *sway* memiliki hasil yang relatif sama dan *trendline* yang sama pula walaupun terdapat perbedaan pada periode 32 sampai 42, tetapi dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa hasil perbandingan pada keadaan *sway* telah valid dan dapat digunakan sebagai acuan dalam proses perhitungan.



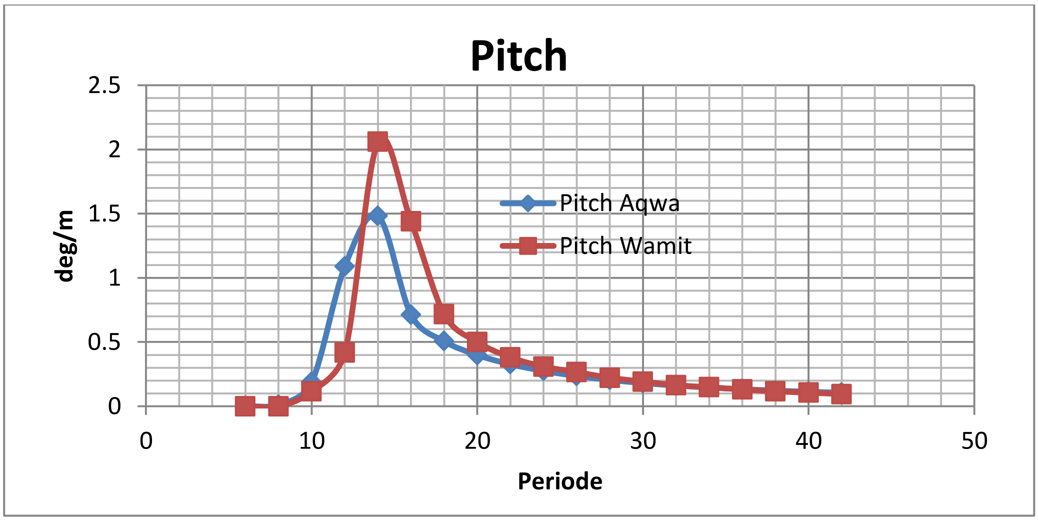
Gambar 4. 12 Perbandingan RAO heave pada Aqwa dan Wamits

Berdasarkan gambar 4.12 maka dapat diketahui bahwa proses perbandingan antara hasil Ansys Aqwa dengan Wamit pada keadaan *heave* memiliki hasil yang hampir sama dan *trendline* yang sama pula, dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa hasil perbandingan pada keadaan *heave* telah valid dan dapat digunakan sebagai acuan dalam proses perhitungan.



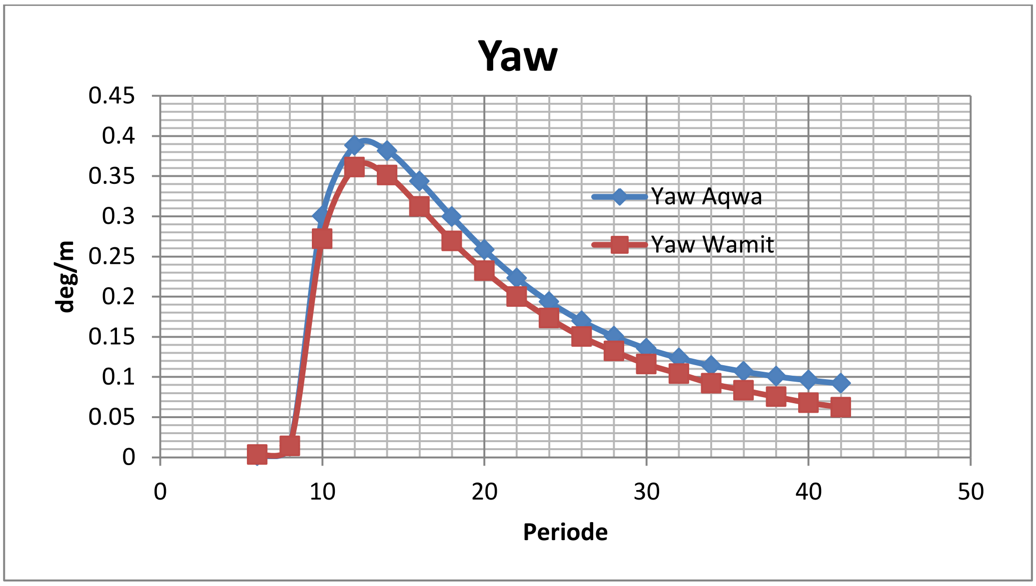
Gambar 4. 13 Perbandingan RAO roll pada Aqwa dan Wamits

Berdasarkan gambar 4.13 maka dapat diketahui bahwa proses perbandingan antara hasil Ansys Aqwa dengan Wamit pada keadaan *roll* memiliki hasil *trendline* dengan bentuk yang sama pula walaupun sebenarnya memiliki nilai yang berbeda mulai dari periode 6 sampai 42, tetapi karena memiliki trandline yang sama maka dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa hasil perbandingan pada keadaan *roll* telah valid dan dapat digunakan sebagai acuan dalam proses perhitungan.



Gambar 4. 14 Perbandingan RAO pitch pada Aqwa dan Wamits

Berdasarkan gambar 4.14 maka dapat diketahui bahwa proses perbandingan antara hasil Ansys Aqwa dengan Wamit pada keadaan *pitch* memiliki hasil *trendline* dengan bentuk yang sama pula walaupun sebenarnya memiliki nilai yang berbeda mulai dari periode 10 sampai 24, tetapi karena memiliki trandline yang sama maka dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa hasil perbandingan pada keadaan *pitch* telah valid dan dapat digunakan sebagai acuan dalam proses perhitungan



Gambar 4. 15 Perbandingan RAO yaw pada Aqwa dan Wamits

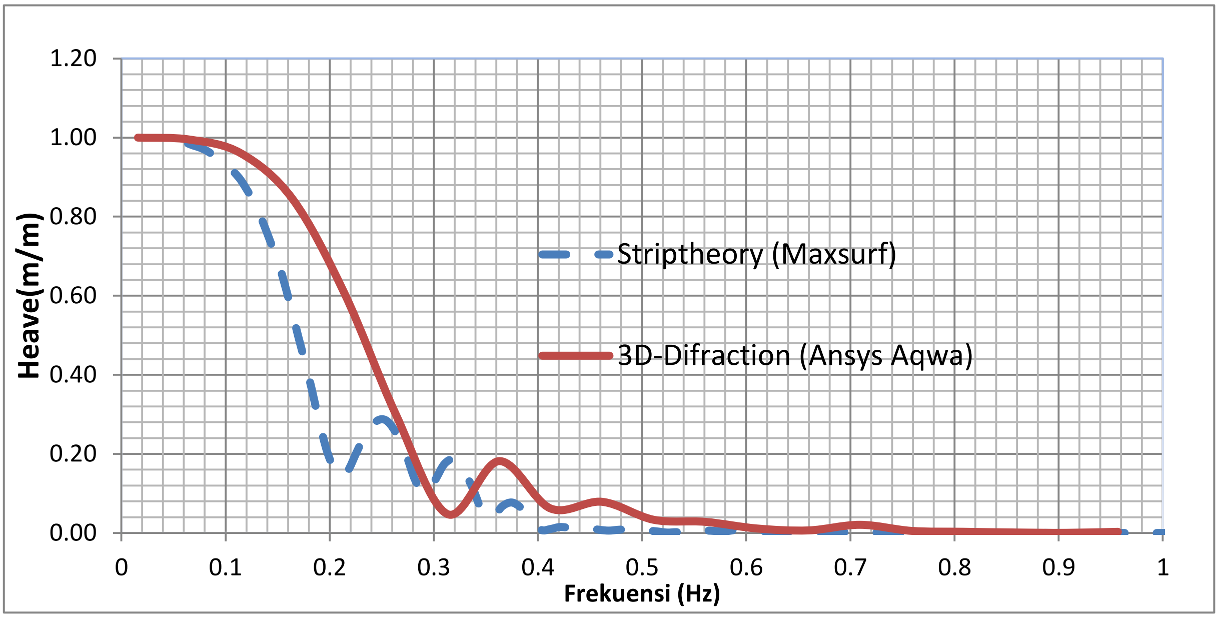
Berdasarkan gambar 4.15 maka dapat diketahui bahwa proses perbandingan antara hasil Ansys Aqwa dengan Wamit pada keadaan *yaw* memiliki hasil *trendline* dengan bentuk yang sama pula walaupun sebenarnya memiliki nilai yang berbeda mulai dari periode 10 sampai 42, tetapi karena memiliki trandline yang sama maka dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa hasil perbandingan pada keadaan *yaw* telah valid dan dapat digunakan sebagai acuan dalam proses perhitungan.Berdasarkan Gambar 4.10 sampai 4.15 bahwa grafik memiliki trend yang sama antara hasil yang dihaasilkan Ansys Aqwa dan Wamits . Sehingga berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa settingan pada Ansys Aqwa sudah tepat.

4.2.5.2 Perbandingan Hasil antara 3D-Difraction dan Strip Theory

Untuk perbandingan hasil dengan metode lain, hasil perhitungan numerik RAO menggunakan Ansys Aqwa untuk 3D Difffraction theory dan Maxsurf Motion untuk Strip theory akan dibandingkan. *Strip Theory* adalah sebuah metode perhitungan di mana gaya dan gerakan dari sebuah benda terapung dapat ditentukan dengan menggunakan hasil dari perhitungan Teori Potensial 2 Dimensi. Metode ini dijelaskan pada beberapa literatur , salah

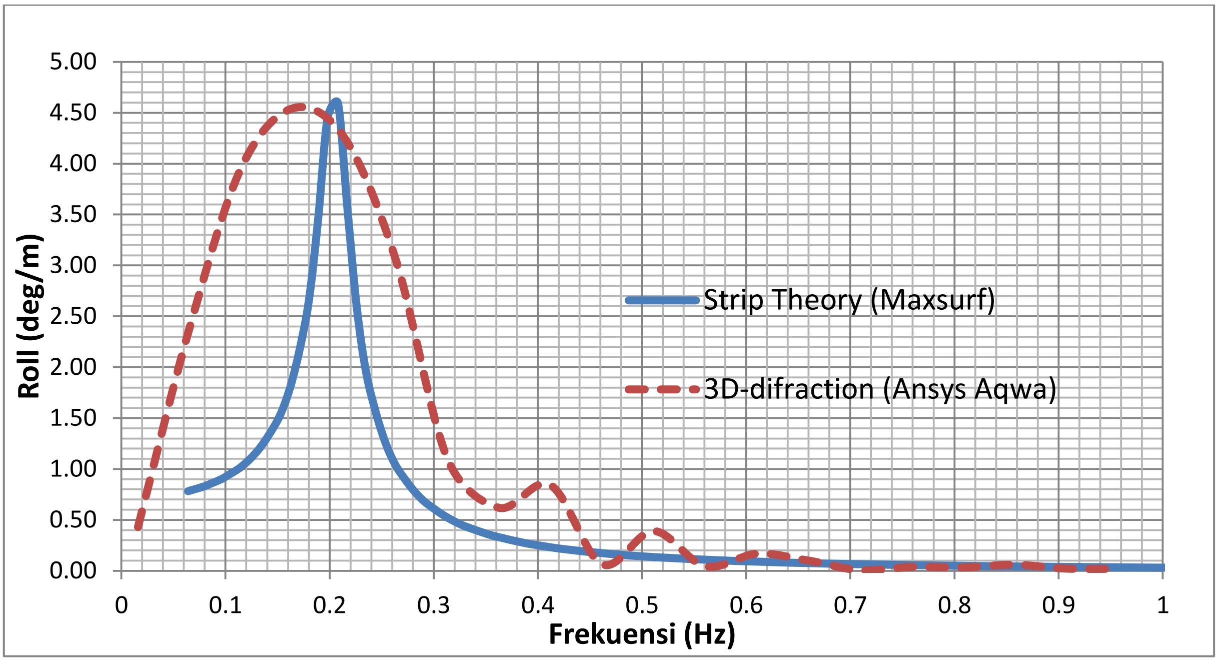
satunya adalah Thesis Doktor yang dilakukan oleh (Vugts, 1970). Pada *Strip Theory*, kapal dianggap tersusun dari potongan melintang 2 Dimensi yang terhubung secara kaku satu sama lain. Masing-masing potongan memiliki bentuk yang identik dengan bentuk segmen kapal yang diwakili. Karakter hidrodinamis tiap potongan diperlakukan seolah-olah bagian tersebut adalah segmen dari sebuah silinder terapung dengan panjang tak hingga.

Hal tersebut berarti bahwa semua gelombang yang dihasilkan oleh gerakan osilasi kapal (beban hidrodinamis) dan gelombang terdifraksi (beban gelombang) diasumsikan tegak lurus terhadap garis tengah (sejajar bidang yz) kapal. Ini juga mengindikasikan bahwa *Strip Theory* mengasumsikan bahwa sisi depan dan belakang benda (misalnya ponton) tidak menghasilkan gelombang pada arah x. Untuk kasus kecepatan nol, interaksi antar bagian melintang diabaikan. Berikut merupakan perbandingan Harga RAO anatara 2 metode yaitu 3D-Difraction dan Strip Theory pada gerakan heave dan roll pada sudut 90º dan 135º



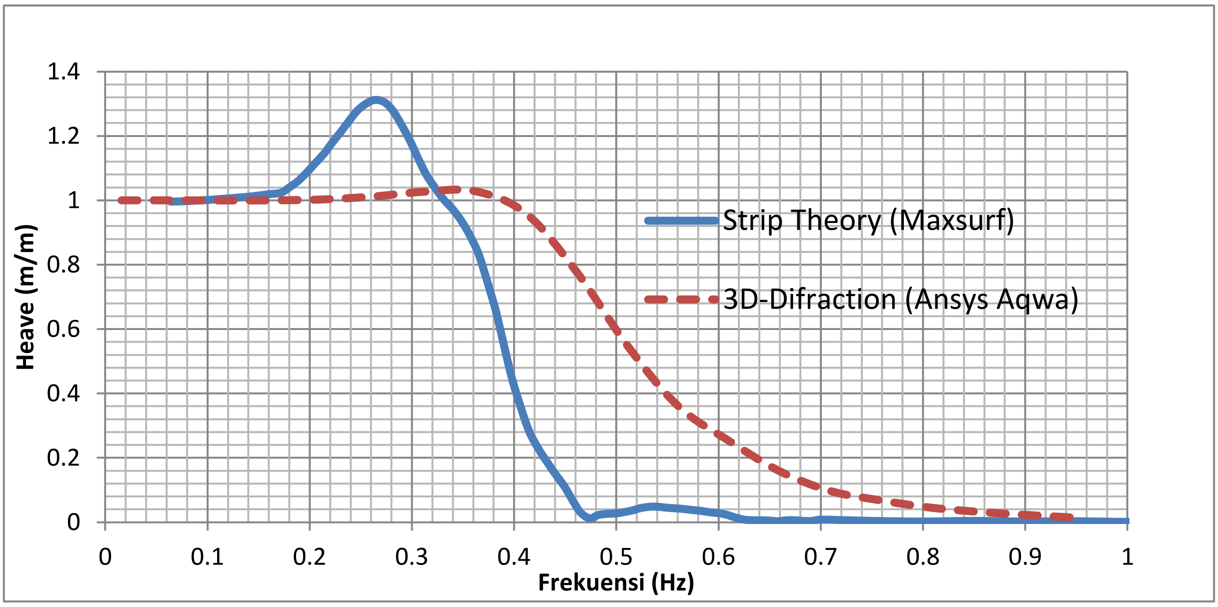
Gambar 4. 16 Perbandingan Hasil Gerak *Heave* antara 3D-Difraction dan *Strip Theory* Pada Sudut 135º

Gambar 4.16 merupakan grafik RAO sudut 135º pada diatas bisa dilihat respon gerakan heave dari hasil perhitungan numerik *3D Diffraction* dan *Strip theory* dengan hasil eksperimen memiliki bentuk dan nilai respon yang hampir sama dimana respon tertinggi terjadi pada periode natural dari gerakannya yaitu pada frekuensi 0,1 Hz.



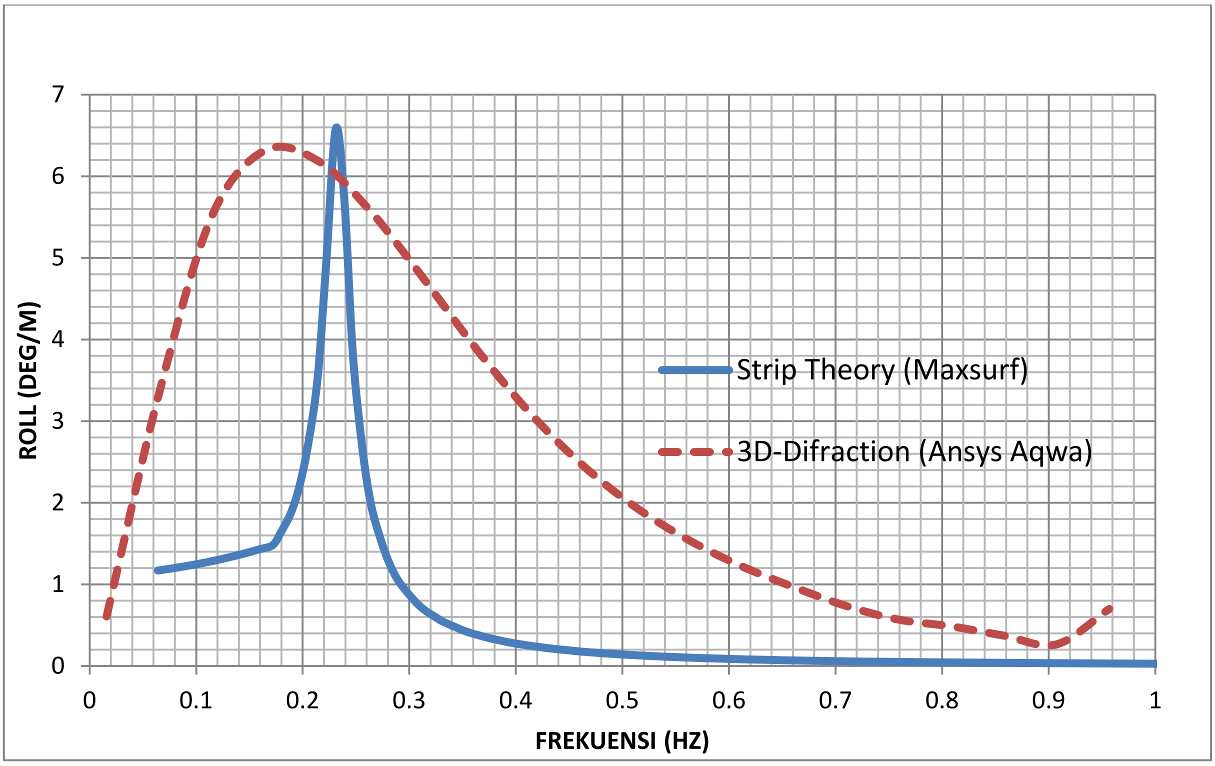
Gambar 4. 17 Perbandingan Hasil Gerak Roll antara *3D-Difraction* dan *Strip Theory* Pada Sudut 135º

Gambar 4.17 merupakan grafik RAO sudut 135º diatas bisa dilihat respon gerakan heave dari hasil perhitungan numerik *3D Diffraction* dan *Strip theory* dengan hasil eksperimen memiliki bentuk dan nilai respon yang hampir sama dimana respon tertinggi terjadi pada periode natural dari gerakannya yaitu pada frekuensi 0,15 Hz untuk Ansys Aqwa dan 0,2 untuk *Strip Theory*



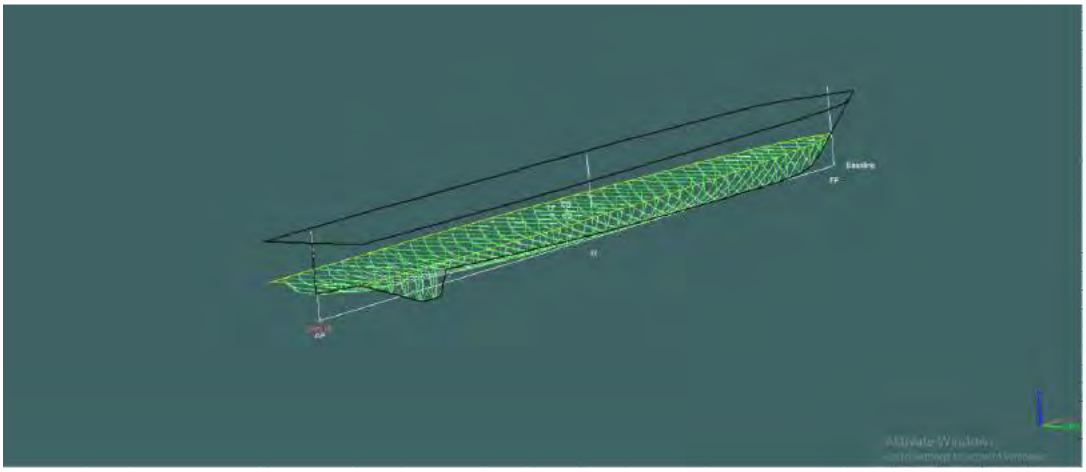
Gambar 4. 18 Perbandingan Hasil Gerak *Heave* antara 3D-Difraction dan *Strip Theory* Pada Sudut 90º

Dari grafik RAO sudut 90º diatas bisa dilihat respon gerakan heave dari hasil perhitungan numerik 3D Diffraction dan *Strip theory* dengan hasil eksperimen memiliki bentuk dan nilai respon yang hampir sama akan tetapi memiliki amplitudo yang berbea walaupun trend dari grafiknya hampir sama



Gambar 4. 19 Perbandingan Hasil Gerak Roll antara *3D-Difraction* dan *Strip Theory* Pada Sudut 90º

Gambar 4.19 merupakan grafik RAO sudut 90º diatas bisa dilihat respon gerakan heave dari hasil perhitungan numerik 3D Diffraction dan *Strip theory* dengan hasil eksperimen memiliki bentuk dan nilai respon yang hampir sama dimana respon tertinggi terjadi pada periode natural dari gerakannya yaitu pada frekuensi 0,15 Hz untuk Ansys Aqwa dan 0,2 untuk Strip Theory .Gambar 4.16 sampai dengan 4.19 menunjukan sebuah perbedaan dimana *3D-Difraction* dan *strip theory* yang mendefinisikan kapal dengan rsusun dari potongan melintang 2 Dimensi yang terhubung secara kaku satu sama lain. Pada metode strip theory kapal didefinisikan sebagai potongan 2 dimensi, semakin banyak potongan maka hasil semakin teliti. Untuk 3D-Difraction kapal didefinisikan menjadi panel-panel yang membentuk lambung kapal. Pendefinisian geometri pada *Strip theory* dapat dilihat pada Gambar 4.20



Gambar 4. 20 Definisi Geometri pada *Strip Theory*

4.2.6 Penentuan jumlah mesh

Untuk menentukan jumlah mesh yang optimum dapat menggunakan metode grid independence seperti pada Ansys CFX. Akan tetapi bukan hubungan antara variabel jumlah mesh dan variabel hambatan yang dibandingkan melainkan hubungan antara variabel jumlah mesh dan variabel amplitudo gerakan rolling pada kondisi kapal tanpa kecepatan. Pada dasarnya penentuan dua variabel tersebut tidak harus antara jumlah mesh dan amplitudo roll. Akan tetapi bisa didapat dari dua variabel yang konsisten. Contoh apabila jumlah mesh ditambah maka suatu struktur memiliki nilai tegangan yang bertambah pula. Contoh lain adalah apabila mesh ditambah maka nilai tekanan suatu surface juga bertambah. Hal terpenting dalam mencari mesh optimum adalah dua variabel yang selalu konsisten. Dalam tugas akhir kali ini akan digunakan dua variabel yang konsisten yaitu jumlah mesh dan amplitudo maksimum gerakan *roll.* Dari percobaan yang telah dilakukan maka didapat data sebagai berikut :

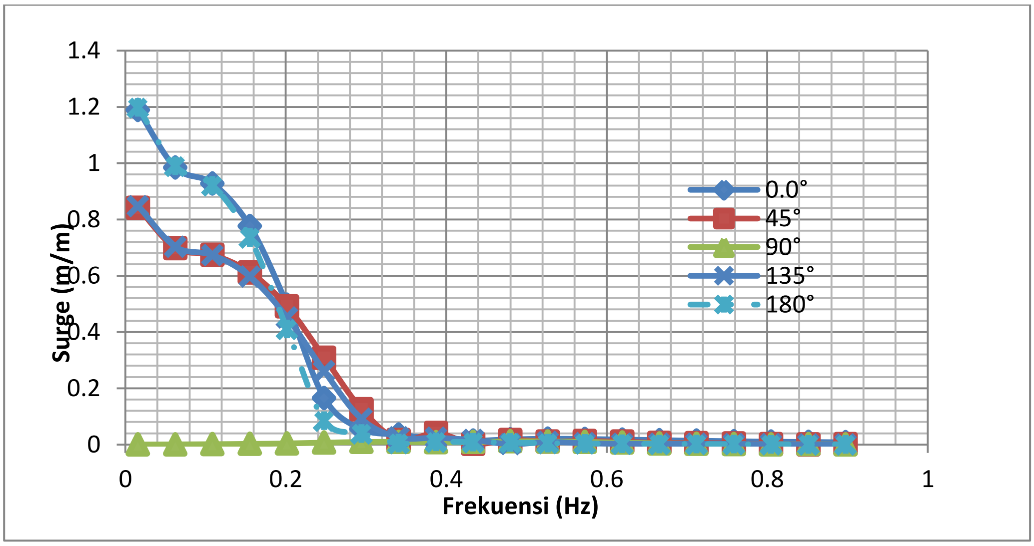
Tabel 4. 3 Proses menemukan Jumlah elemen optimum

Ukuran maksimum elemen	Jumlah elemen	Amplitudo Roll	Presentase perbedaan (%)
3	428	8,83	
2	804	6,78	23,21630804
1,3	1584	6,48	4,424778761
0,7	3402	6,38	1,543209877
0,6	7297	6,34	0,626959248
0,4	15353	6,32	0,315457413

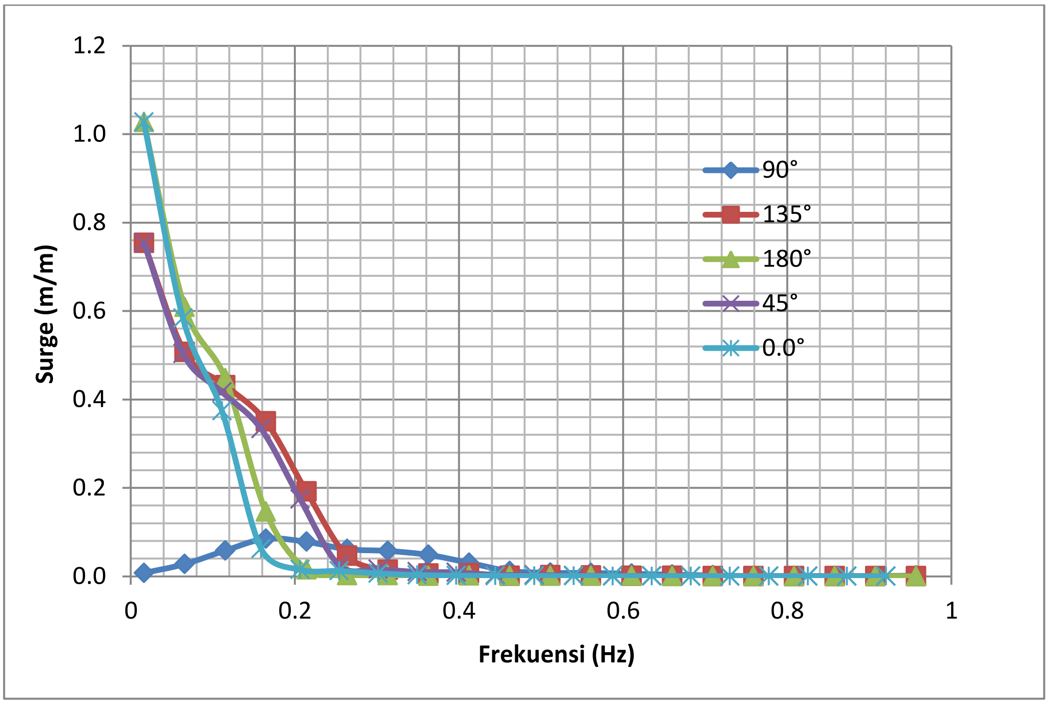
Dari data Tabel 4.3 jumalh elemen yang dipilih adalah 7297 elemen dengan ukuran maksimum elemen adalah 0,6 m. Pada dasarnya dengan memakai jumlah elemen 3402 pun sudah memenuhi karena perbedaan persentasenya adalah 2%. Akan tetapi karena dalam Tugas akhir ini adalah termasuk dalam studi komparasi maka dipilih jumlah elemen 7297 agar hasilnya lebih sensitif dan erbedaannya pun terlihat dengan jelas.

4.2.7 Response Amplitude Operator (RAO) Model Kapal Patroli Tanpa Skeg

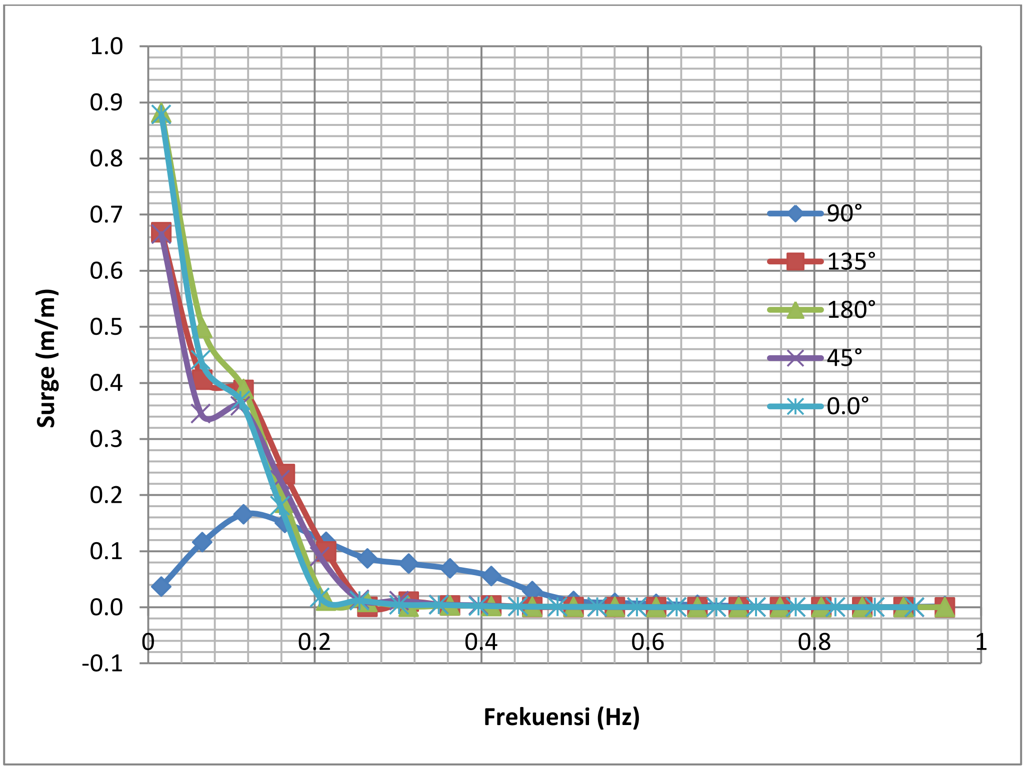
Dibawah ini grafik yang menunjukkan analisa *Respon Amplitude Operator* model kapal patroli tanpa skeg terhadap frekuensi (Hz) pada kondisi sarat 2.17 m untuk sudut datang gelombang 0°, 45°, 90°, 135° dan 180° berdasarkan dari hasil running menggunakan software *Ansys Aqwa*. Hasil analisa *Respon Amplitude Operator* (RAO) untuk semua gerakan terhadap frekuensi adalah :



Gambar 4. 21 RAO *Surge* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 0 knot

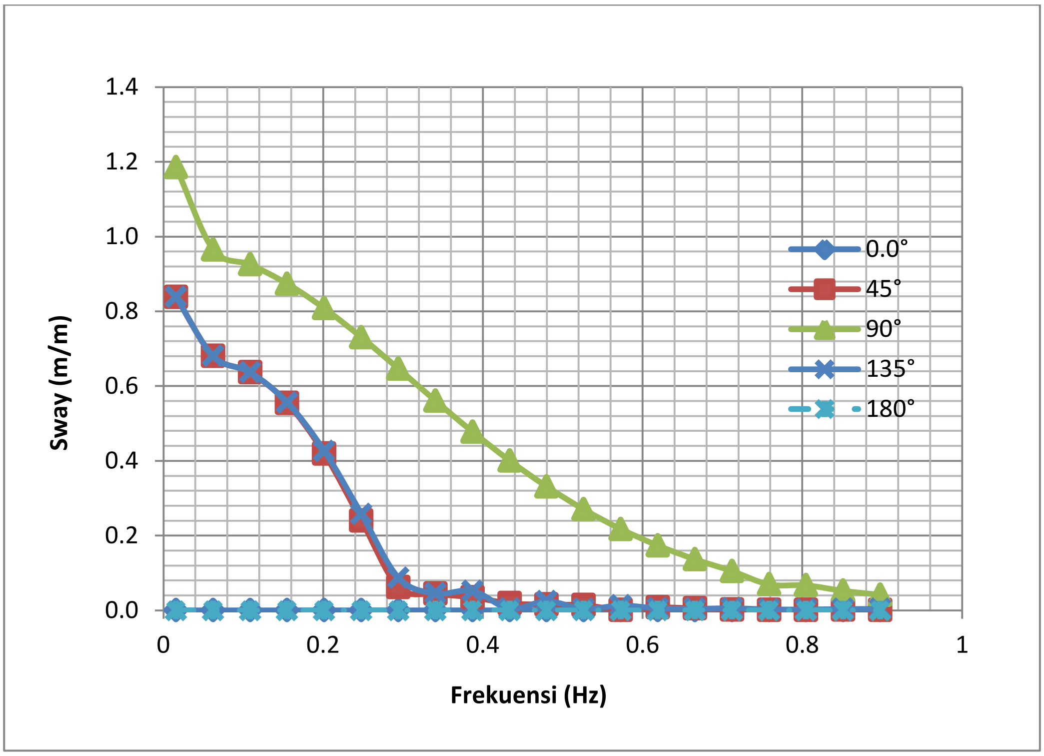


Gambar 4. 22 RAO *Surge* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 12 knot

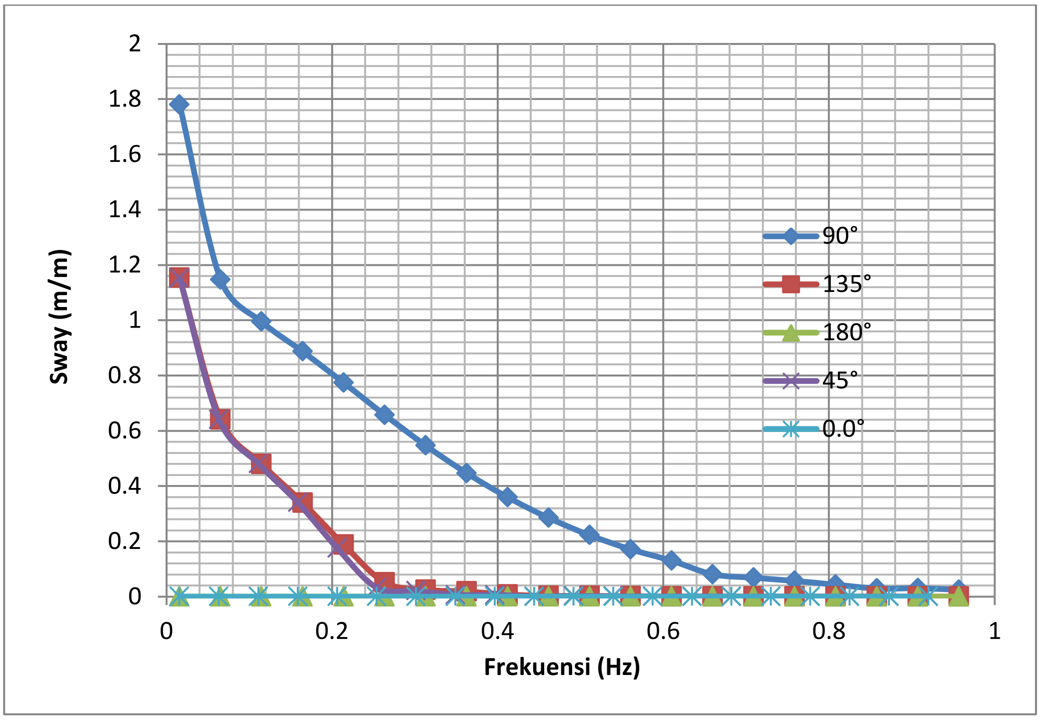


Gambar 4. 23 RAO *Surge* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 24 knot

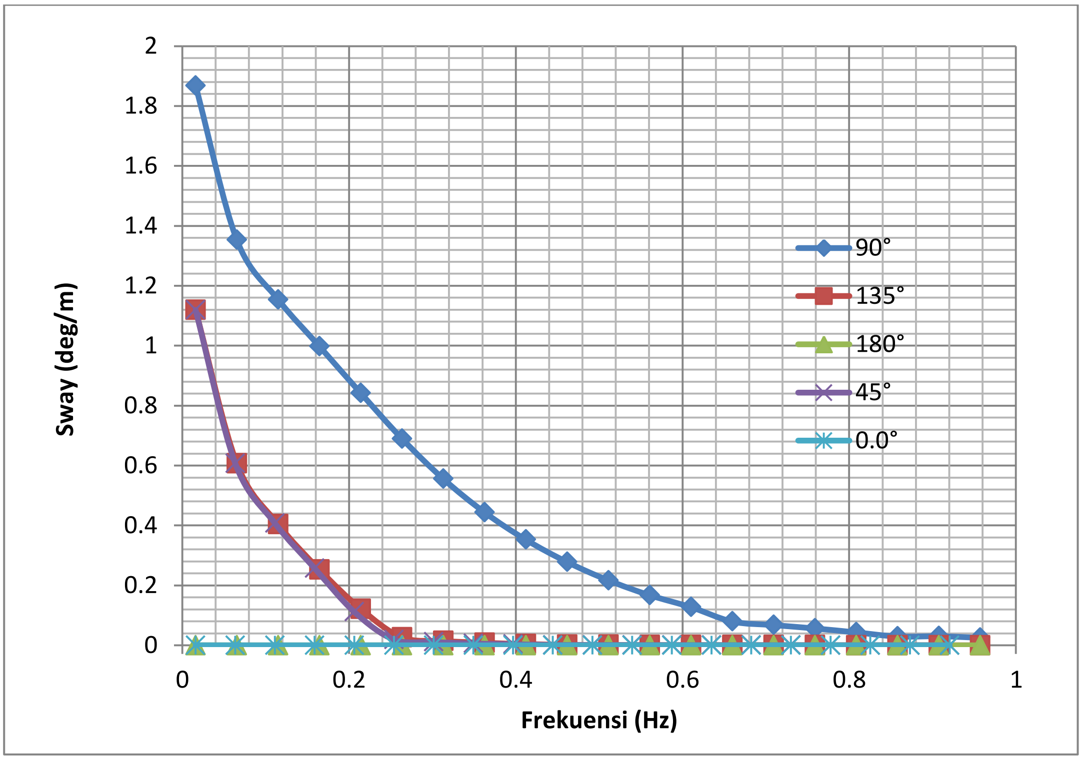
Berdasarkan hasil analisis yang tertera pada Gambar 4.21 Sampai dengan 4.23 dapat dilihat bahwasanya respons amplitudo operator maksimal untuk mode gerakan *surge* terjadi pada frekuensi 0.0195 Hz untuk setiap variasi kecepatan 0, 12, dan 24 knot yakni mempunyai nilai maksimal masing-masing 1,19 m/m, 1.027 m/m dan 0,88 m/m. Berdasarkan gambar diatas pula, dapat diketahui bahwasanya pola dari kurva RAO gerakan *surge* tersebut mengalami perbedaan harga untuk setiap variasi kecepatan yang diberikan, dimana semakin besar kecepatan yang diberikan maka RAO akan semakin kecil. Secara keseluruhan untuk setiap kecepatan, RAO gerakan surge tersebut menjelaskan suatu sistem dinamis yang mengalami eksitasi beban gelombang harmonik. Pada frekuensi rendah RAO heave mempunyai harga mendekati 1.00 m/m, sesuai dengan kondisi diam, dan secara bertahap naik sampai pada puncaknya yakni pada frekuensi 0,0195 kemudian menurun drastis pada frekuensi tinggi.



Gambar 4. 24 RAO *Sway* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 0 knot



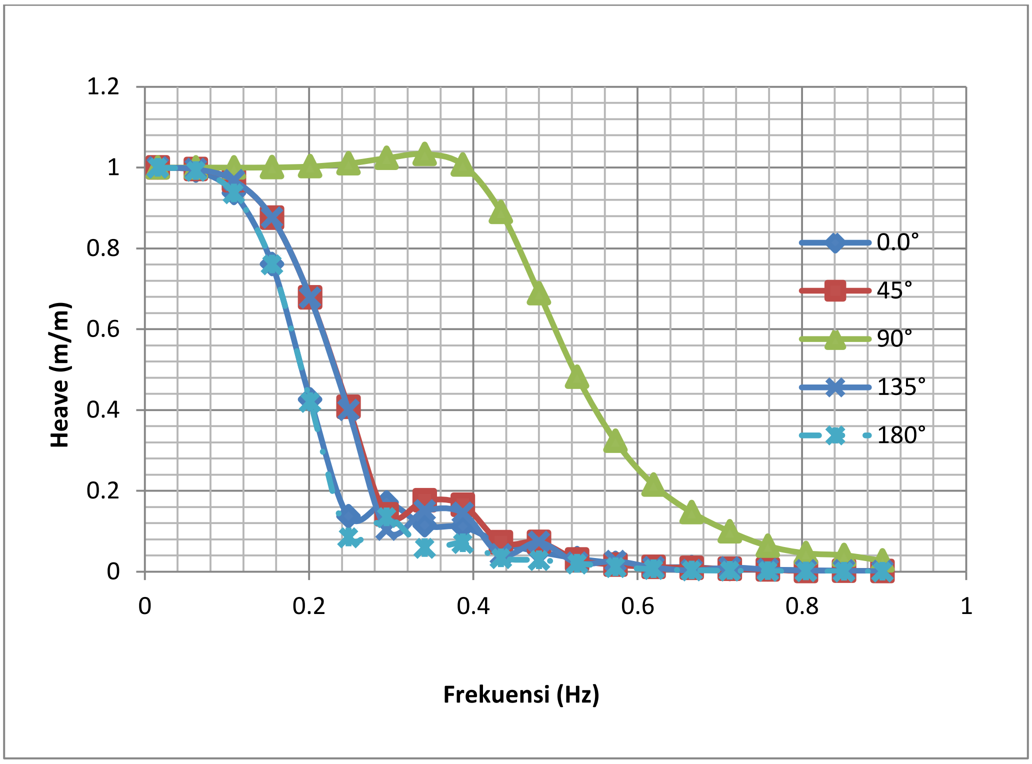
Gambar 4. 25 RAO *Sway* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 0 knot



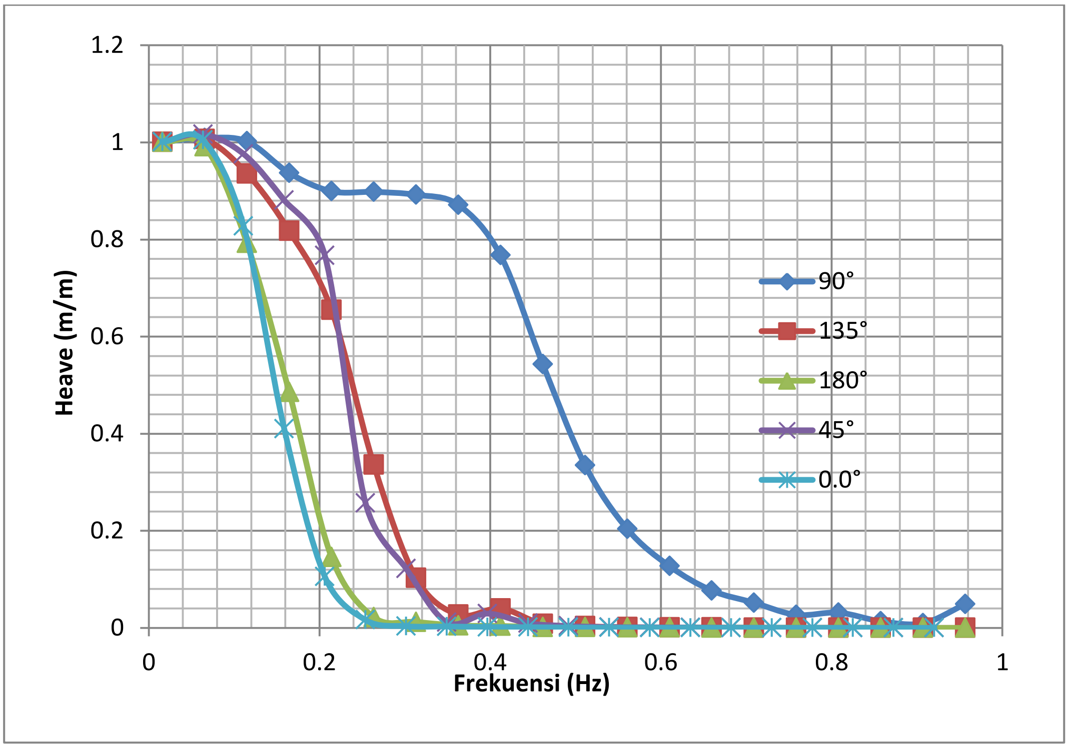
Gambar 4. 26 RAO *Sway* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 24 knot

Berdasarkan hasil analisis yang tertera pada Gambar 4.24 Sampai dengan 4.26 dapat dilihat bahwasanya respons amplitudo operator maksimal untuk mode gerakan *sway* terjadi pada frekuensi 0.0195 Hz untuk setiap variasi kecepatan 0, 12, dan 24 knot mempunyai nilai

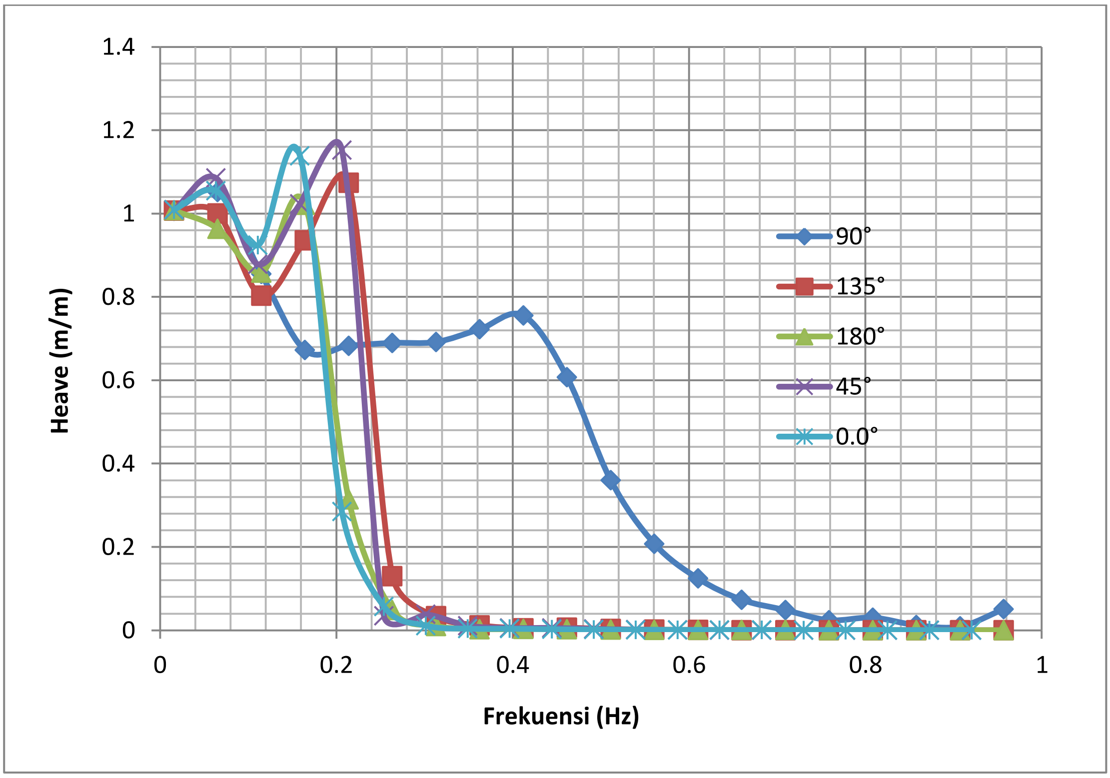
maksimal masing-masing 1,192 m/m, 1,77 m/m dan 1,86 m/m. Berdasarkan grafik data diatas juga, dapat diketahui bahwa pola dari kurva RAO gerakan *sway* tersebut mengalami perbedaan harga untuk setiap variasi kecepatan yang diberikan, dimana semakin besar kecepatan yang diberikan maka RAO kapal tersebut juga akan semakin besar. Sehinga dapat disimpulakna bahwasanya semakin besar kecepatan yang diberikan pada kapal maka akan semakin besar pula harga RAO yang dimiliki terutama pada sudut heading 90. Secara keseluruhan untuk setiap kecepatan, RAO gerakan surge tersebut menjelaskan suatu sistem dinamis yang mengalami eksitasi beban gelombang harmonik. Pada frekuensi rendah RAO heave mempunyai harga maksimum mendekati 1,80 m/m, sesuai dengan kondisi diam, dan secara bertahap naik sampai pada puncaknya yakni pada frekuensi 0,0195 kemudian menurun drastis pada frekuensi tinggi.



Gambar 4. 27 RAO *Heave* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 0 knot

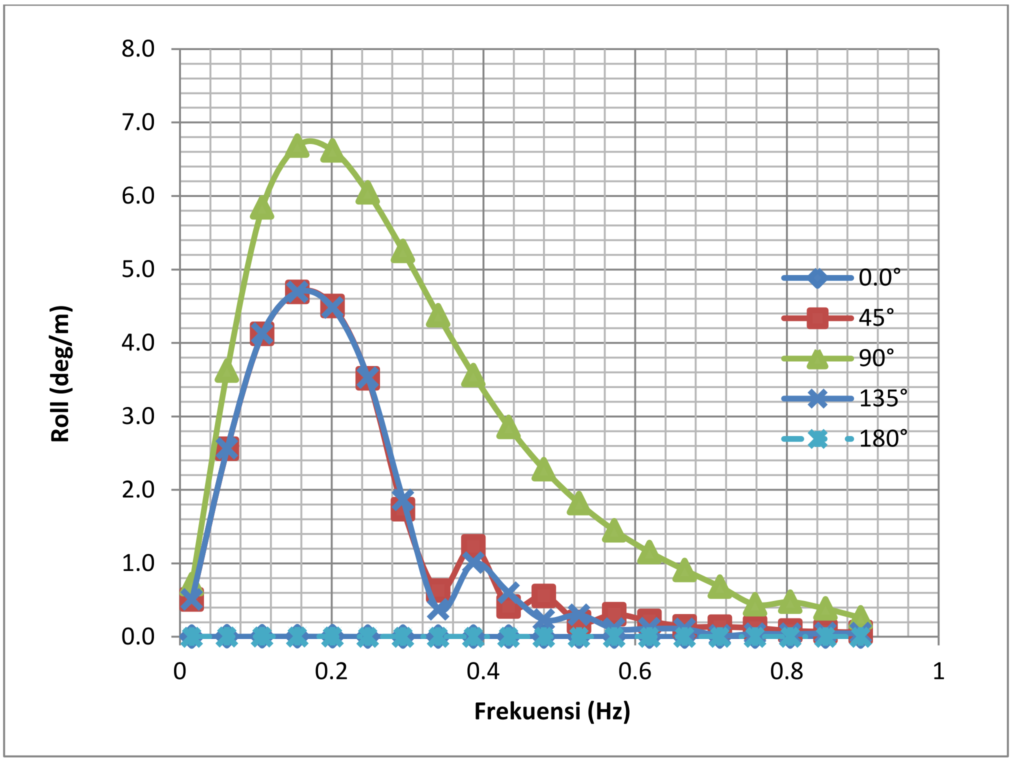


Gambar 4. 28 RAO *Heave* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 12 knot

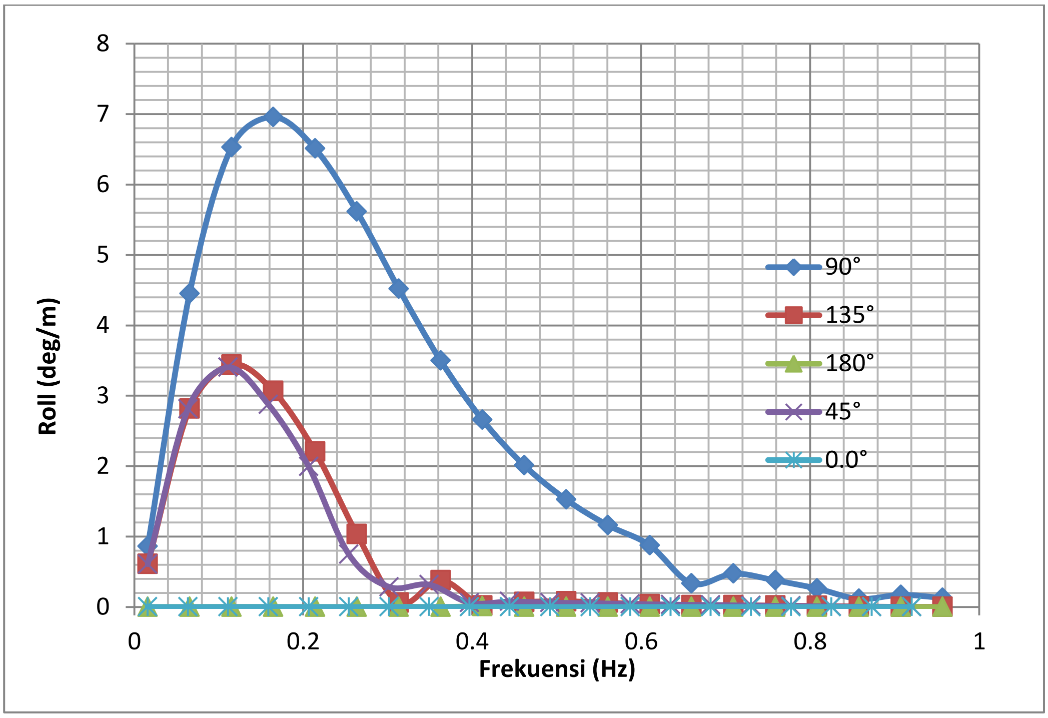


Gambar 4. 29 RAO *Heave* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 24 knot

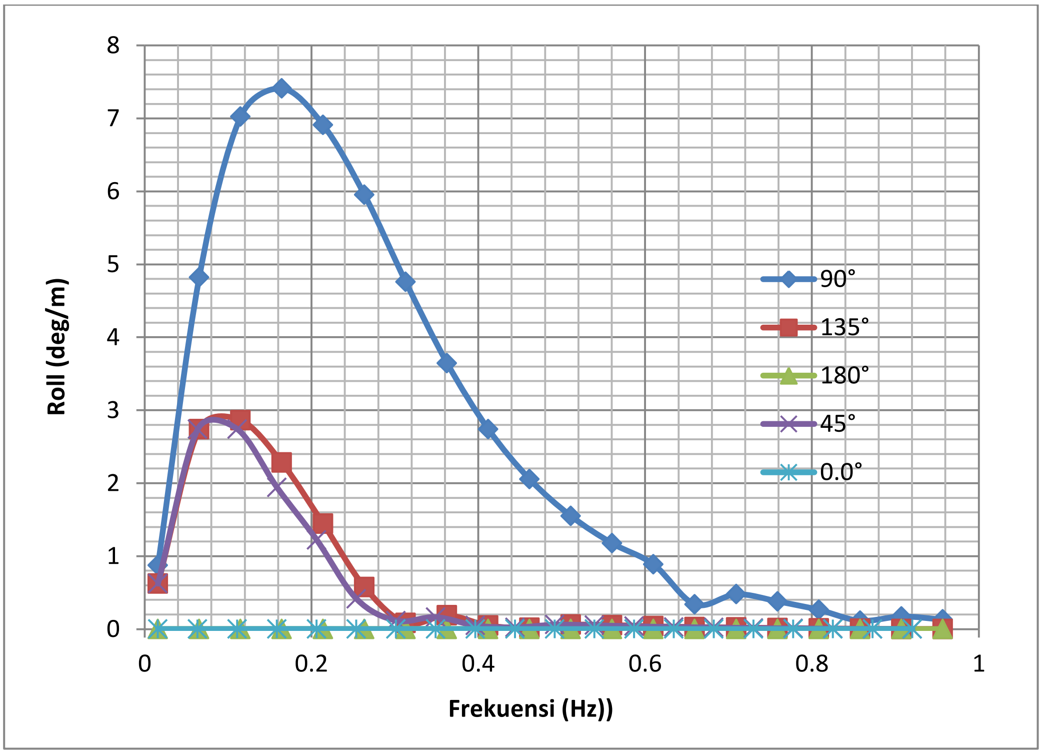
Berdasarkan hasil analisis yang tertera pada Gambar 4.27 Sampai dengan 4.29 dapat dilihat bahwasanya respons amplitudo operator maksimal untuk mode gerakan *heave* terjadi pada frekuensi 0.15873 Hz untuk setiap variasi kecepatan 0, 12, dan 24 knot mempunyai nilai maksimal masing-masing 1,0 m/m, 1,0 m/m dan 1,15 m/m. Berdasarkan grafik data diatas juga, dapat diketahui bahwa pola dari kurva RAO gerakan *heave* tersebut mengalami perbedaan harga yang tidak konsisten sehubungan dengan bertambahnya kecepatan. Sehinga dapat disimpulakna. Secara keseluruhan untuk setiap kecepatan, RAO gerakan surge tersebut menjelaskan suatu sistem dinamis yang mengalami eksitasi beban gelombang harmonik. Pada frekuensi rendah RAO heave mempunyai harga maksimum mendekati 1,2 m/m. Setelah melewati amplitudo maksimal maka pada frekuensi naturalnya berikutnya untuk frekuensi yang lebih tinggi harga RAO konsisten terus menurun



Gambar 4. 30 RAO *Roll* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 0 knot

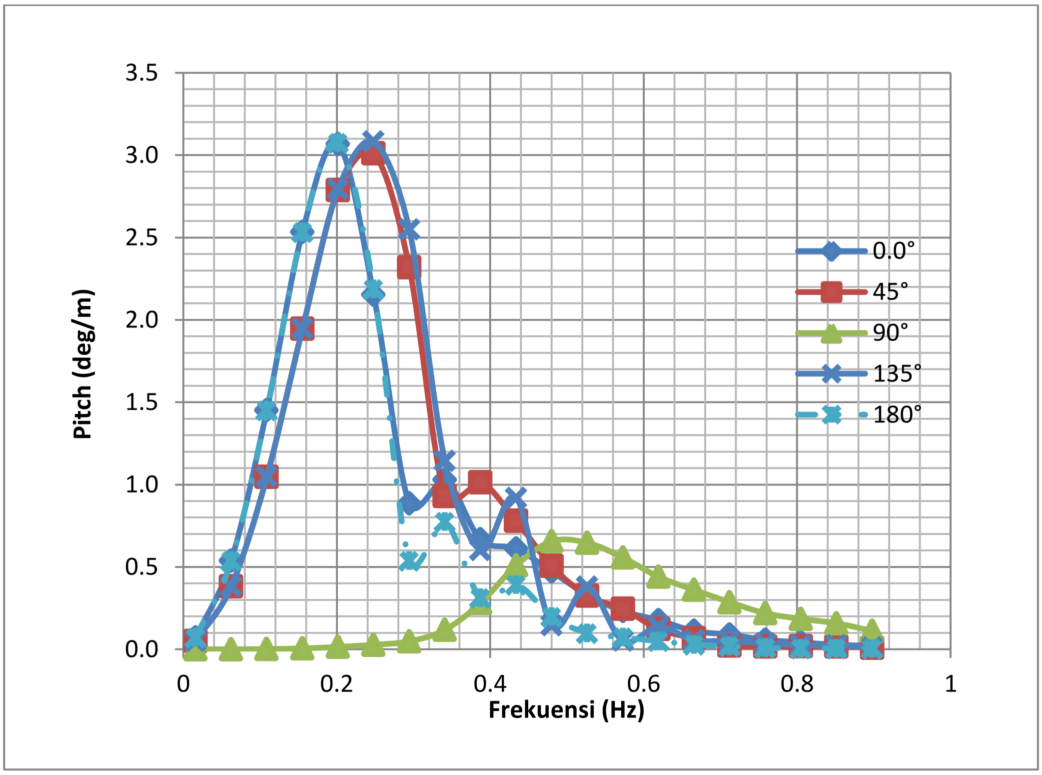


Gambar 4. 31 RAO *Roll* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 12 knot

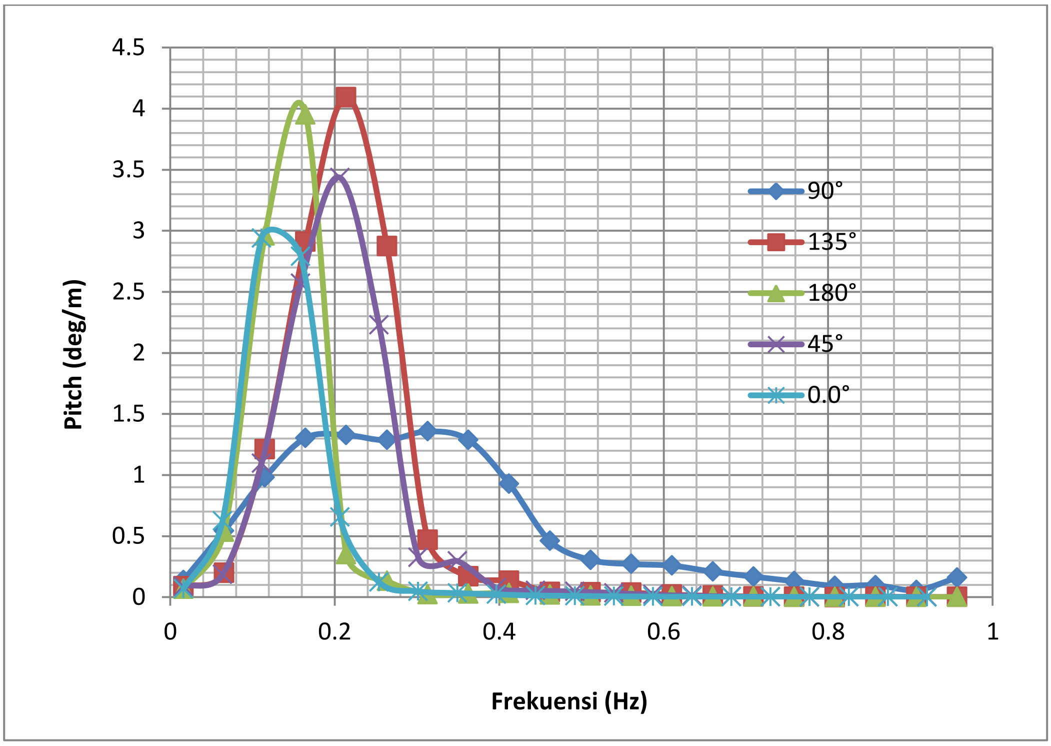


Gambar 4. 32 RAO *Roll* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 24 knot

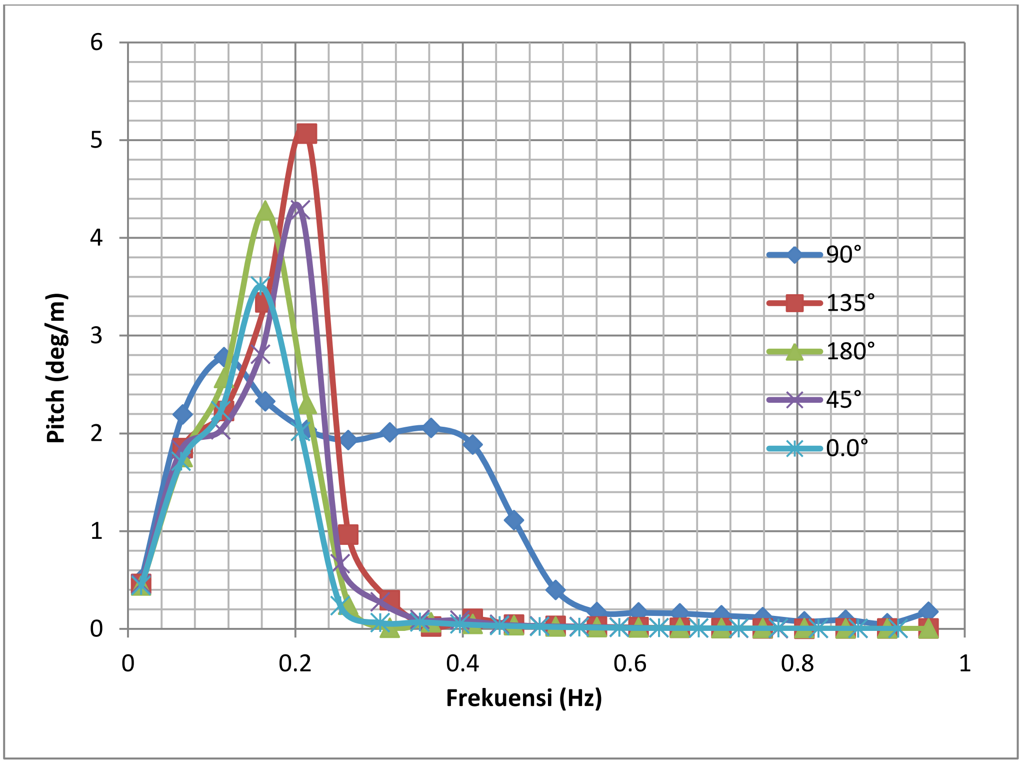
Berdasarkan hasil analisis yang tertera pada Gambar 4.30 Sampai dengan 4.32 dapat dilihat bahwasanya respons amplitudo operator maksimal untuk mode gerakan *roll* terjadi pada frekuensi 0.15518- 0.15873 Hz untuk setiap variasi kecepatan 0, 12, dan 24 knot mempunyai nilai maksimal masing-masing 6,68 degm/m, 6,96 deg/m dan 7,41 deg/m. Berdasarkan grafik data diatas juga, dapat diketahui bahwa pola dari kurva RAO gerakan *roll* tersebut mengalami perbedaan harga terus menurun seiring dengan bertambahnya kecepatan. Secara keseluruhan untuk setiap kecepatan, RAO gerakan roll tersebut menjelaskan suatu sistem dinamis yang mengalami eksitasi beban gelombang harmonik. Pada frekuensi rendah RAO *roll* mempunyai harga maksimum mendekati 46 deg/m terutama pada sudut heading 90 dan saat kapal tidak memiliki kecepatan. Setelah melewati amplitudo maksimal maka pada frekuensi naturalnya berikutnya untuk frekuensi yang lebih tinggi harga RAO konsisten terus menurun



Gambar 4. 33 RAO *Pitch* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 0 knot

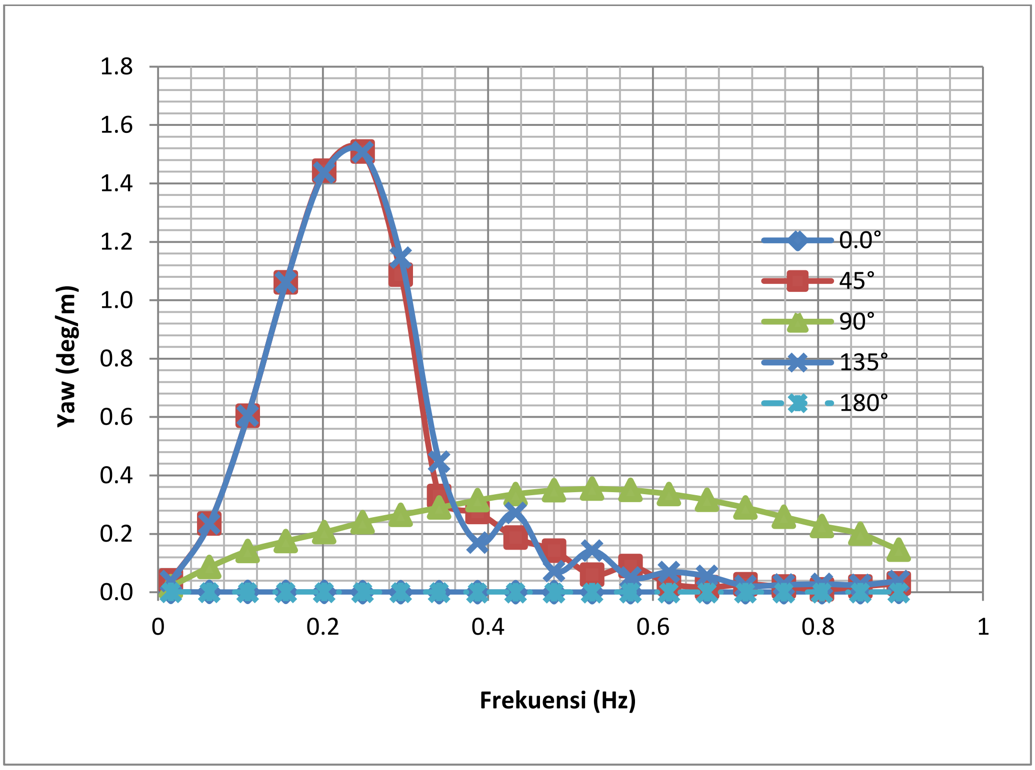


Gambar 4. 34 RAO *Pitch* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 12 knot

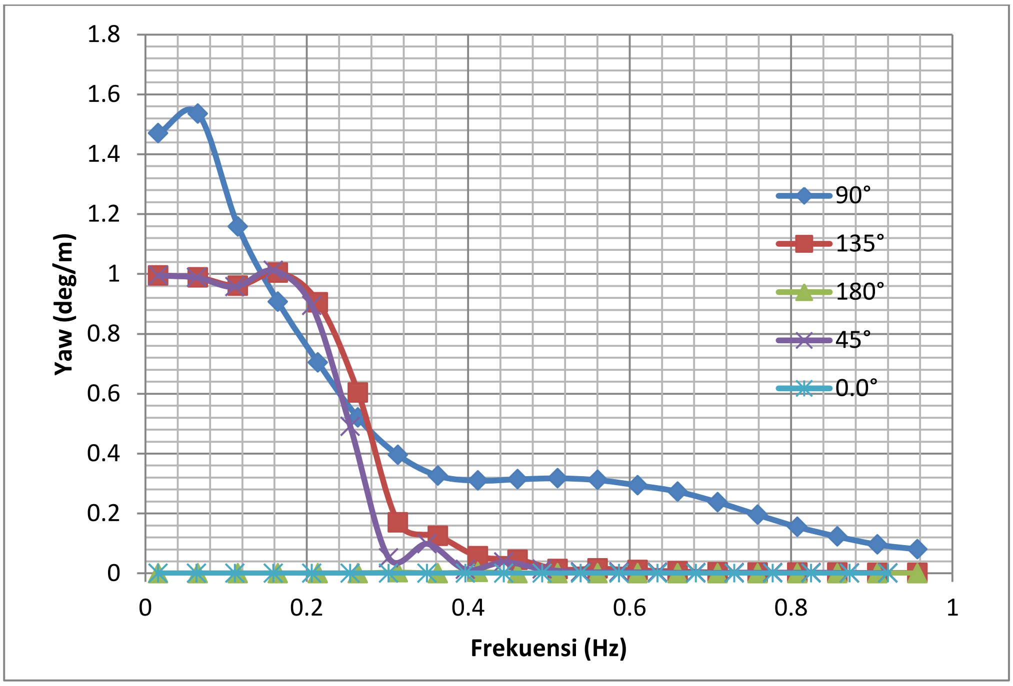


Gambar 4. 35 RAO *Pitch* Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 24 knot

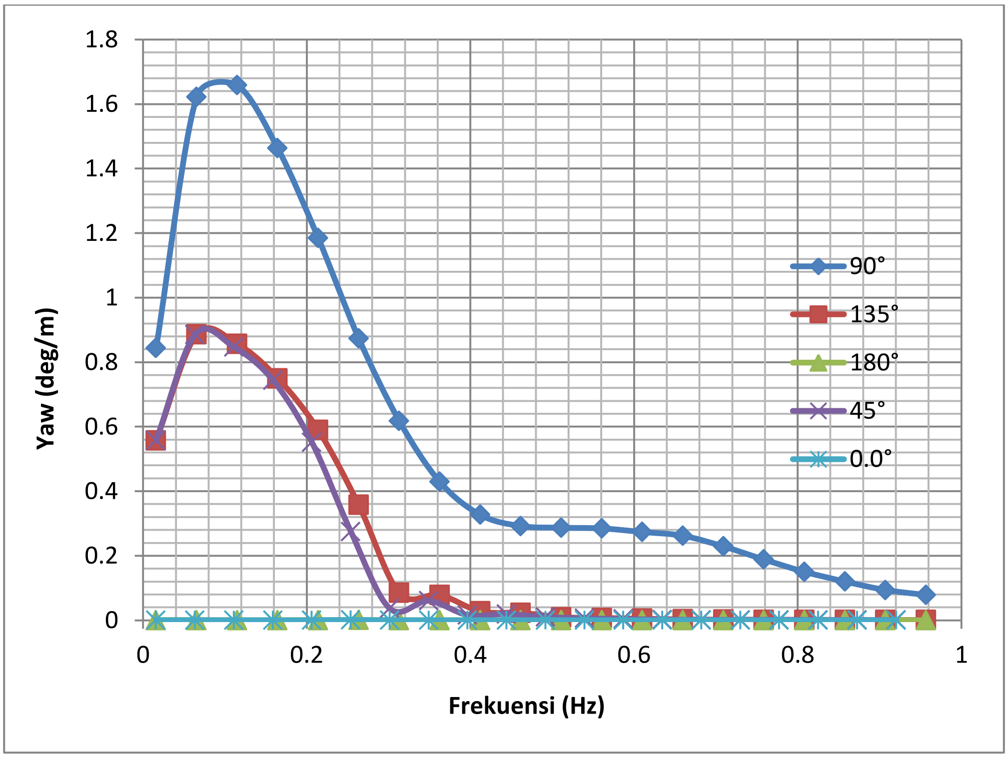
Berdasarkan hasil analisis yang tertera pada Gambar Sampai dengan dapat dilihat bahwasanya respons amplitudo operator maksimal untuk mode gerakan *pitch* terjadi pada frekuensi 0.15518- 0.15873 Hz untuk setiap variasi kecepatan 0, 12, dan 24 knot mempunyai nilai maksimal masing-masing 3,07 deg/m, 3,43 deg/m dan 4.29 deg/m. Berdasarkan grafik data diatas juga, dapat diketahui bahwa pola dari kurva RAO gerakan *roll* tersebut mengalami perbedaan harga terus menurun seiring dengan bertambahnya kecepatan. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa gerakan pitch mengalami penambahan nilai seiring dengan bertambahnya kecepatan. Secara keseluruhan untuk setiap kecepatan, RAO gerakan pitch tersebut menjelaskan suatu sistem dinamis yang mengalami eksitasi beban gelombang harmonik. Pada frekuensi rendah RAO *roll* mempunyai harga maksimum mendekati 4.8 deg/m terutama pada sudut heading 135 pada kecepatan maksimum. Setelah melewati amplitudo maksimal maka pada frekuensi naturalnya berikutnya untuk frekuensi yang lebih tinggi harga RAO konsisten terus menurun



Gambar 4. 36 RAO Yaw Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 0 knot



Gambar 4. 37 RAO Yaw Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 12 knot



Gambar 4. 38 RAO Yaw Kapal tanpa Skeg pada kecepatan 24 knot

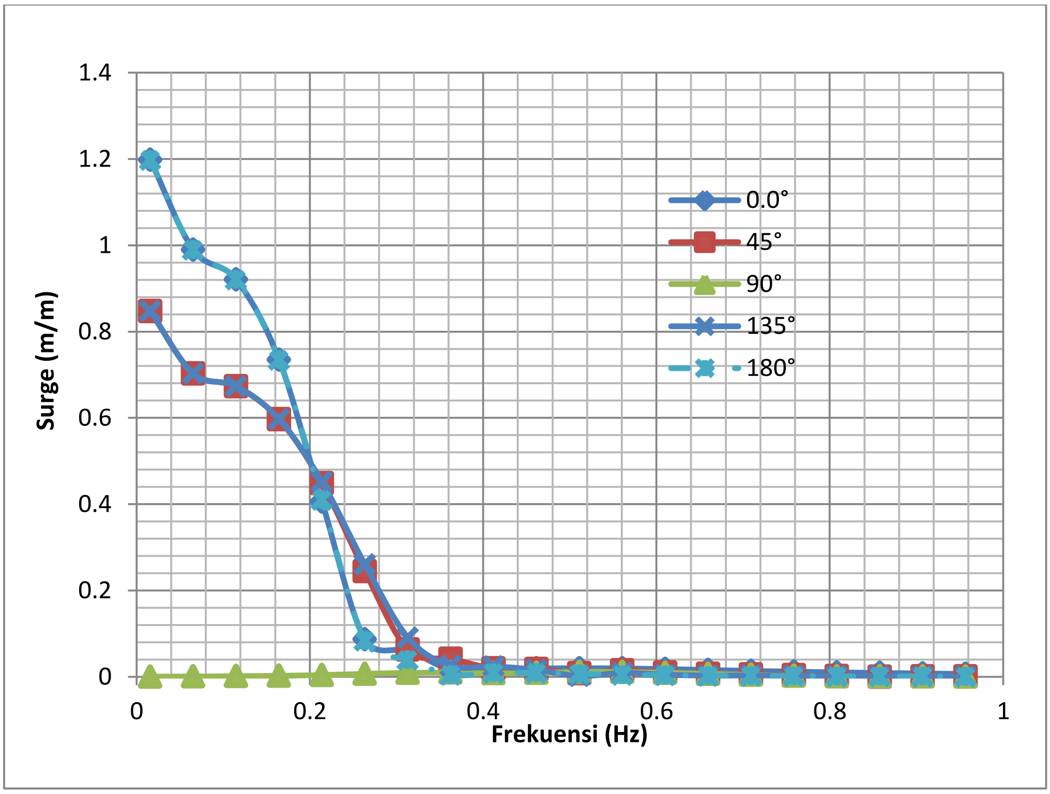
Berdasarkan hasil analisis yang tertera pada Gambar Sampai dengan dapat dilihat bahwasanya respons amplitudo operator maksimal untuk mode gerakan *yaw* terjadi pada frekuensi 0.15873 - 0.2016 Hz untuk setiap variasi kecepatan 0, 12, dan 24 knot mempunyai nilai maksimal masing-masing 1,51 deg/m, 1.,01 deg/m dan 1,66 deg/m. Berdasarkan grafik data diatas juga, dapat diketahui bahwa pola dari kurva RAO gerakan *yaw* tersebut mengalami perbedaan harga yang terus bertambah seiring dengan bertambahnya kecepatan. Secara keseluruhan untuk setiap kecepatan, RAO gerakan pitch tersebut menjelaskan suatu sistem dinamis yang mengalami eksitasi beban gelombang harmonik. Pada frekuensi rendah RAO roll mempunyai harga maksimum mendekati 1.9 deg/m terutama pada sudut heading 135 pada kecepatan maksimum. Setelah melewati amplitudo maksimal maka pada frekuensi naturalnya berikutnya untuk frekuensi yang lebih tinggi harga RAO konsisten terus bertambah. Berikut disajikan rekapitulasi RAO maksimal untuk setiap variasi kecepatan, pD tabel 4.4:

Tabel 4. 4 Rekapitulasi Amplitudo Kapal Tanpa Skeg

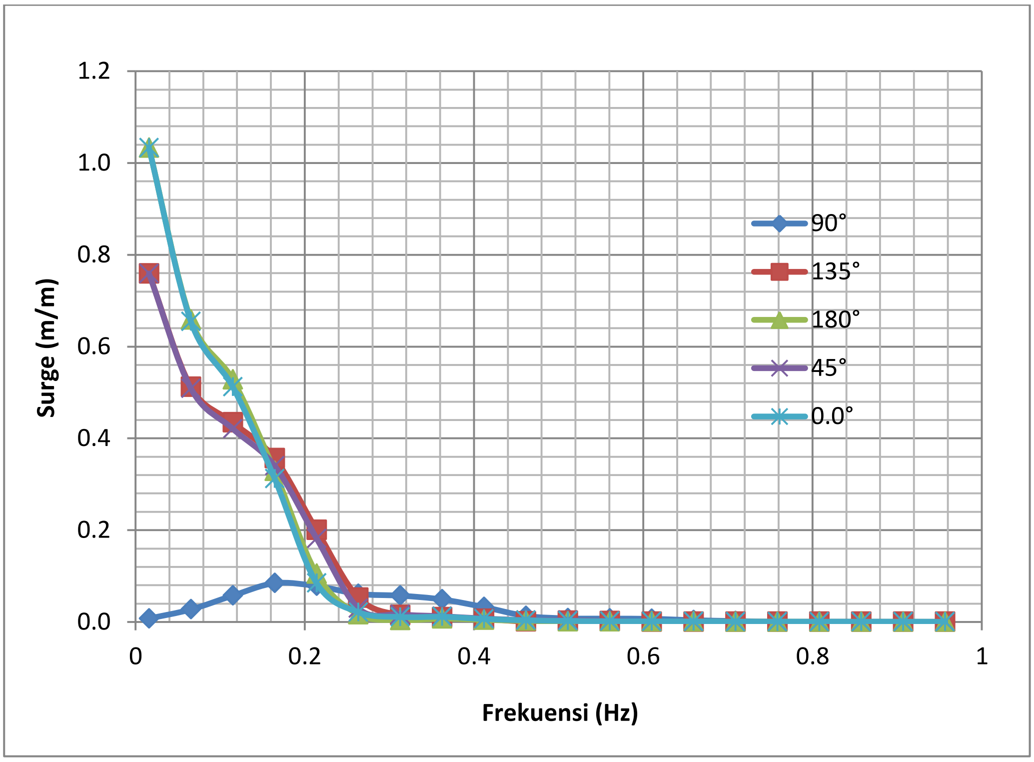
Item	Wave heading	Tanpa Skeg		
		0 Knot	12 Knot	24 Knot
Surge	0	1,19	1,03	0,88
	45	0,84	0,75	0,67
	90	0,01	0,09	0,17
	135	0,84	0,75	0,67
	180	1,19	1,03	0,88
Sway	0	0,00	0,00	0,00
	45	0,84	1,15	1,12
	90	1,19	1,78	1,87
	135	0,84	1,15	1,12
	180	0,00	0,00	0,00
Heave	0	1,00	1,00	1,14
	45	1,00	1,02	1,15
	90	1,03	1,01	1,05
	135	1,00	1,01	1,07
	180	1,00	1,00	1,02
Roll	0	0,00	0,00	0,00
	45	4,69	3,40	2,74
	90	6,68	6,96	7,41
	135	4,69	3,44	2,86
	180	0,00	0,01	0,00
Pitch	0	3,07	2,94	3,50
	45	3,01	3,43	4,29
	90	0,66	1,36	2,78
	135	3,08	4,09	5,06
	180	3,08	3,95	4,28
Yaw	0	0,00	0,00	0,00
	45	1,51	1,01	0,89
	90	0,35	1,53	1,66
	135	1,51	1,00	0,89
	180	0,00	0,00	0,00

4.2.8 Response Amplitude Operator (RAO) Model Kapal Patroli dengan Skeg

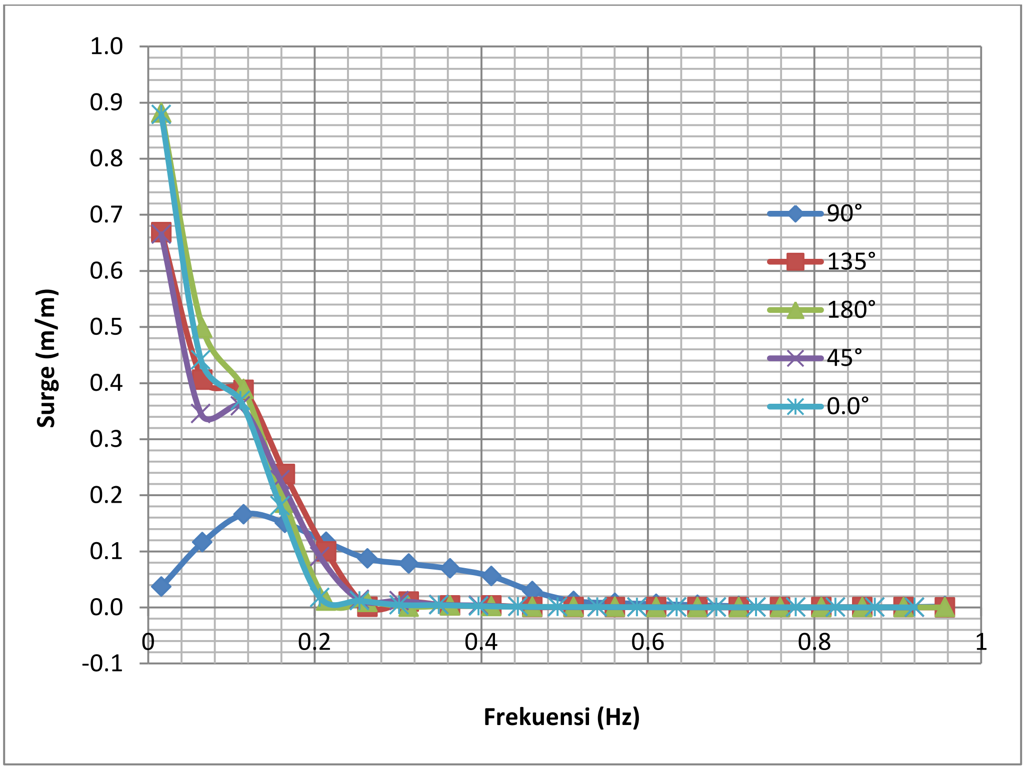
Dibawah ini grafik yang menunjukkan analisa *Respon Amplitude Operator* model kapal patroli tanpa skeg terhadap frekuensi (Hz) pada kondisi sarat 2.17 m untuk sudut datang gelombang 0°, 45°, 90°, 135° dan 180° berdasarkan dari hasil running menggunakan software *Ansys Aqwa*. Hasil analisa *Respon Amplitude Operator* (RAO) untuk semua gerakan terhadap frekuensi adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 39 RAO *Surge* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 0 knot

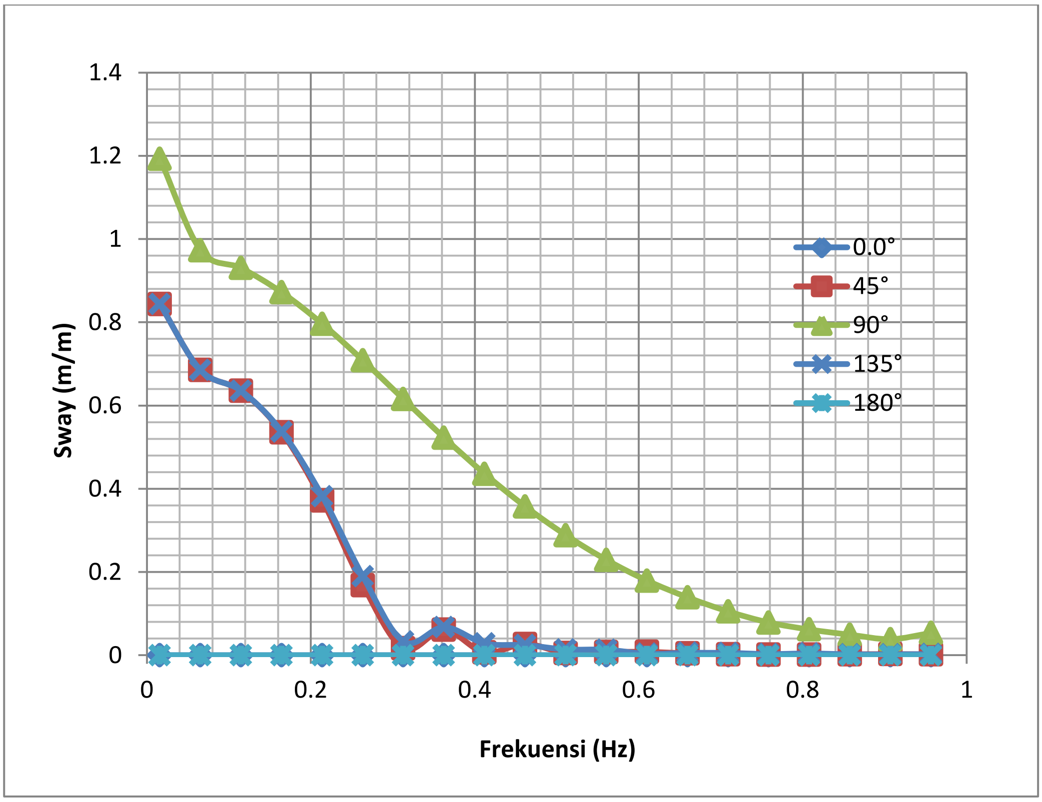


Gambar 4. 40 RAO *Surge* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 12 knot

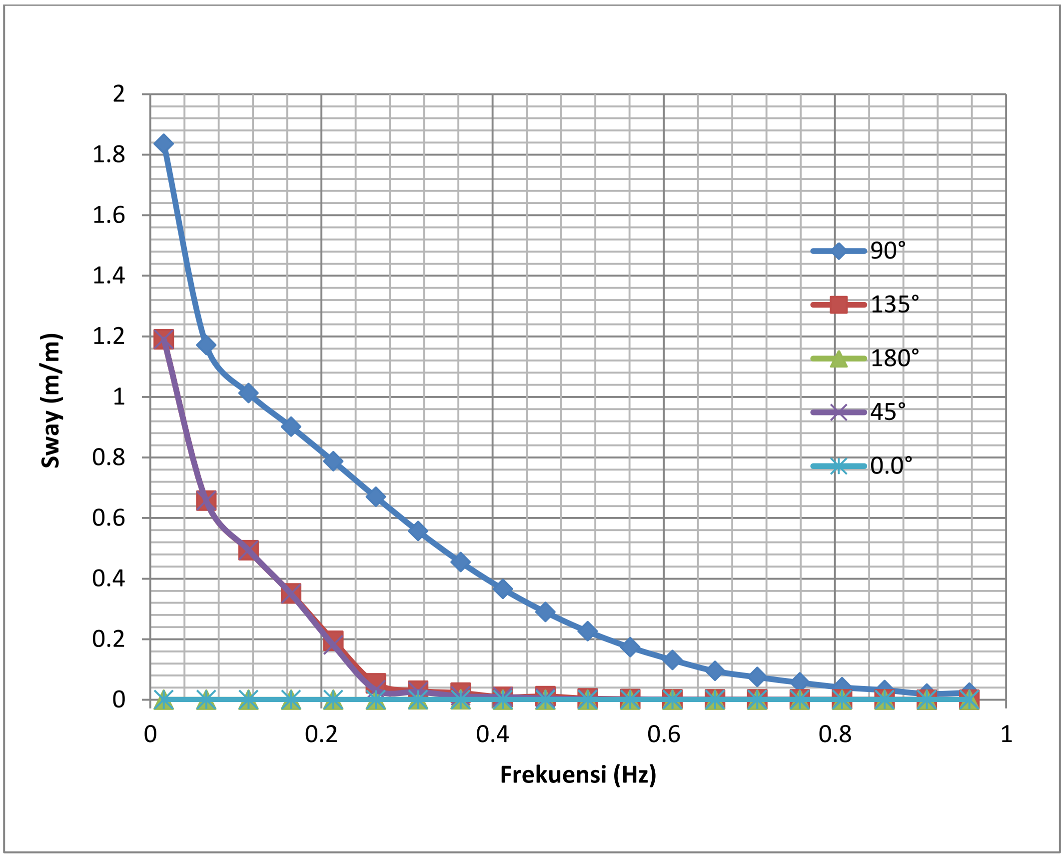


Gambar 4. 41 RAO *Surge* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 24 knot

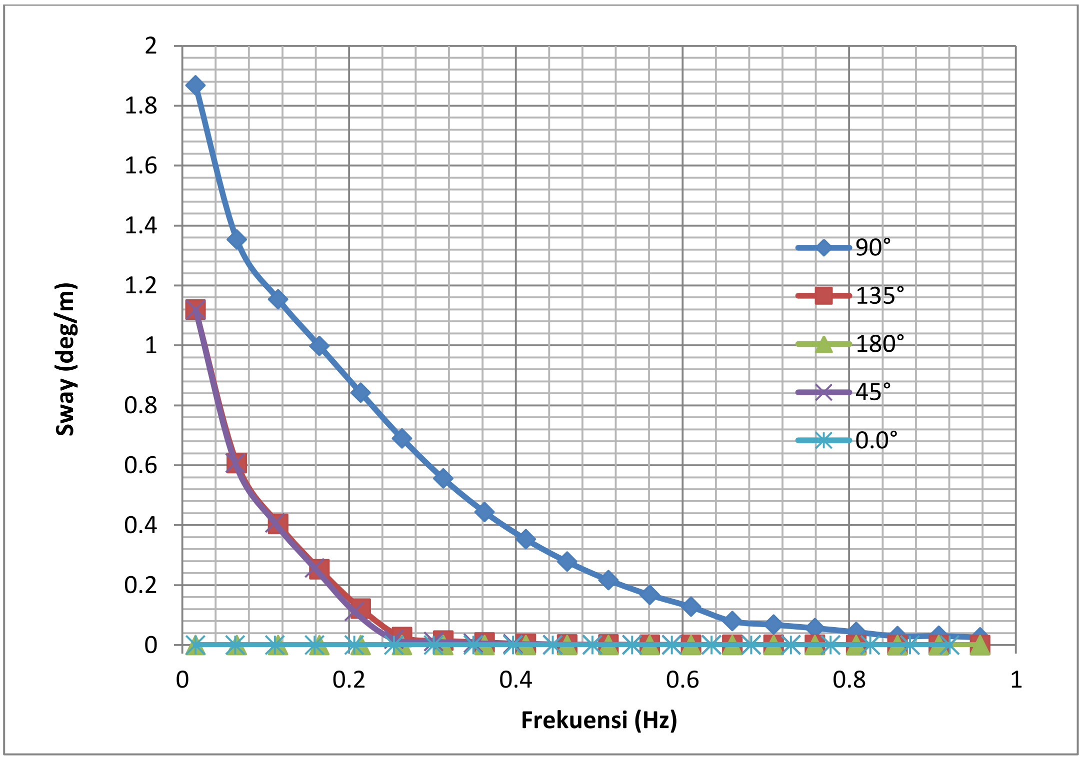
Berdasarkan hasil analisis yang tertera pada Gambar 4.39 Sampai dengan 4.41 dapat dilihat bahwasanya respons operator maksimal untuk mode gerakan *surge* terjadi pada frekuensi 0.0159 Hz untuk setiap variasi kecepatan 0, 12, dan 24 knot yakni mempunyai nilai maksimal masing-masing 1,2 m/m, 1.03 m/m dan 0,88 m/m. Berdasarkan gambar diatas pula, dapat diketahui bahwasanya pola dari kurva RAO gerakan *surge* tersebut mengalami perbedaan harga untuk setiap variasi kecepatan yang diberikan, dimana semakin besar kecepatan yang diberikan maka RAO akan semakin kecil. Secara keseluruhan untuk setiap kecepatan, RAO gerakan surge tersebut menjelaskan suatu 64armon dinamis yang mengalami eksitasi beban gelombang 64armonic. Pada frekuensi rendah RAO heave mempunyai harga mendekati 1.00 m/m, sesuai dengan kondisi diam, dan secara bertahap naik sampai pada puncaknya yakni pada frekuensi 0,0195 kemudian menurun 64armoni pada frekuensi tinggi.



Gambar 4. 42 RAO *Sway* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 0 knot

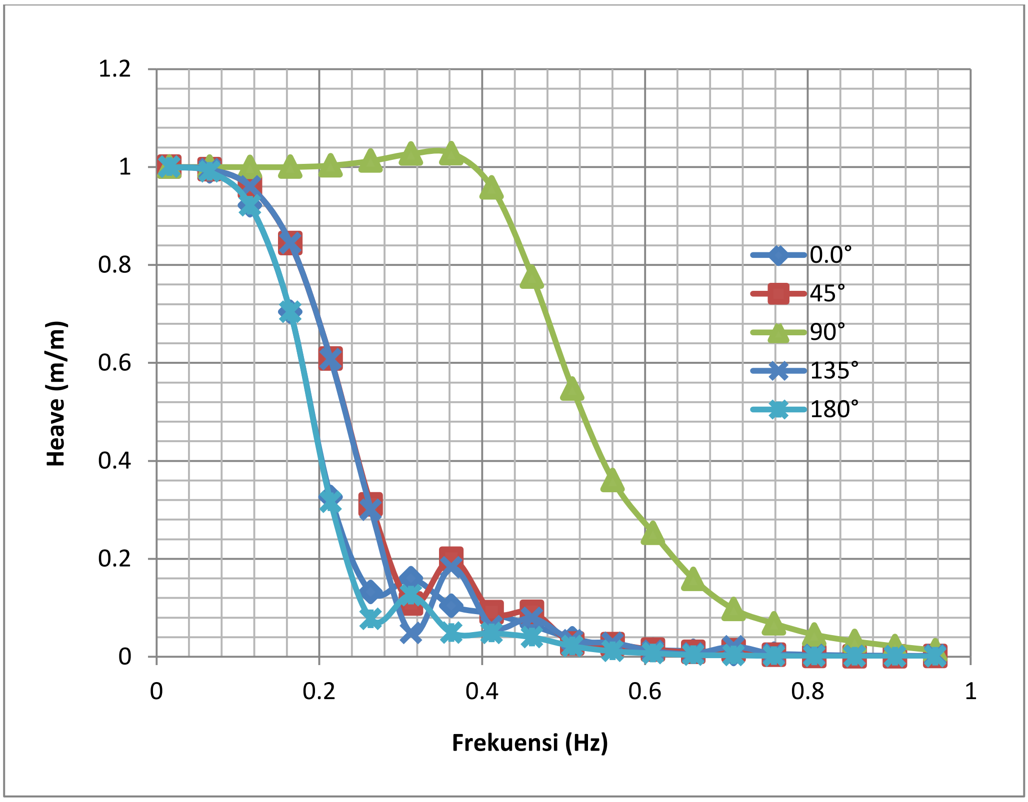


Gambar 4. 43 RAO *Sway* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 12 knot

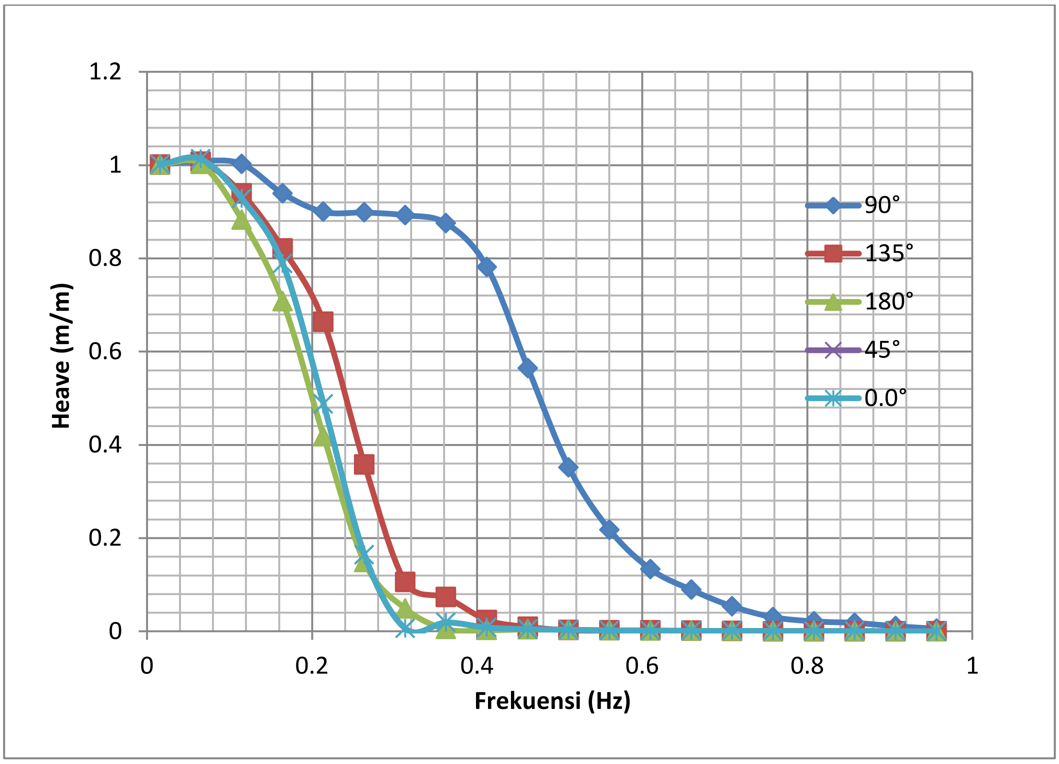


Gambar 4. 44 RAO *Sway* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 24 knot

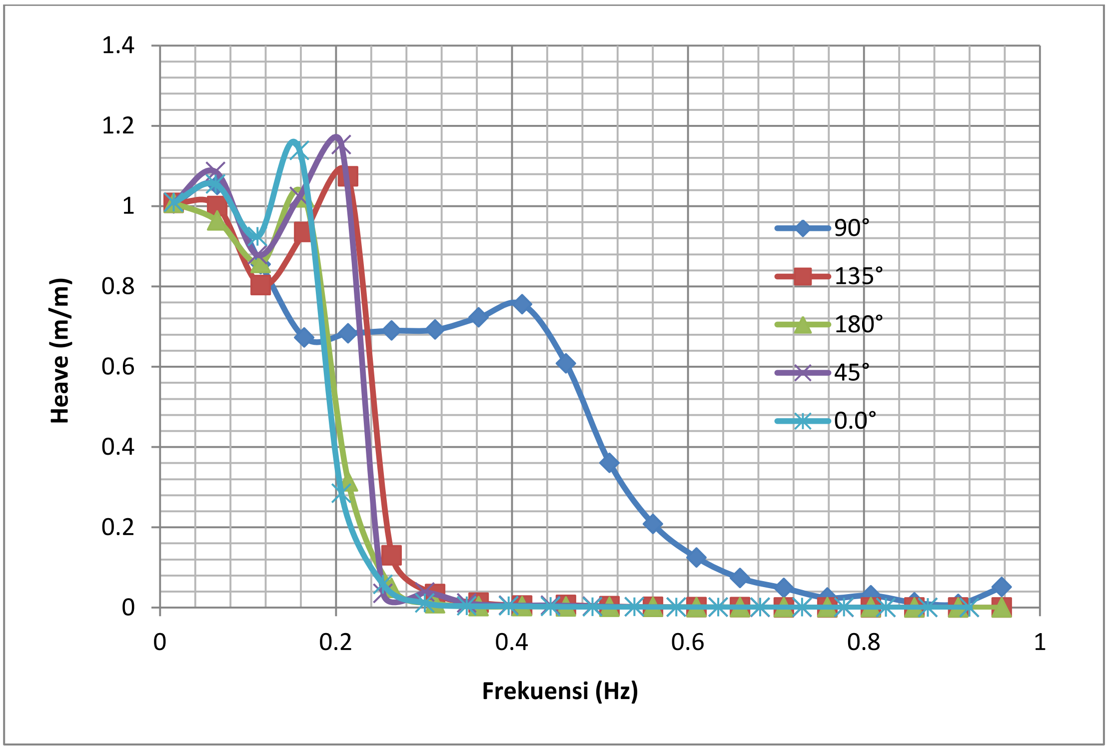
Berdasarkan hasil analisis yang tertera pada Gambar 4.42 Sampai dengan 4.44 dapat dilihat bahwasanya respons operator maksimal untuk mode gerakan *sway* terjadi pada frekuensi 0.0195 Hz untuk setiap variasi kecepatan 0, 12, dan 24 knot mempunyai nilai maksimal masing-masing 1,192 m/m, 1,83 m/m dan 1,93m/m. Berdasarkan grafik data diatas juga, dapat diketahui bahwa pola dari kurva RAO gerakan *sway* tersebut mengalami perbedaan harga untuk setiap variasi kecepatan yang diberikan, dimana semakin besar kecepatan yang diberikan maka RAO kapal tersebut juga akan semakin besar. Sehinga dapat disimpulakna bahwasanya semakin besar kecepatan yang diberikan pada kapal maka akan semakin besar pula harga RAO yang dimiliki terutama pada sudut heading 90. Secara keseluruhan untuk setiap kecepatan, RAO gerakan surge tersebut menjelaskan suatu 66armon dinamis yang mengalami eksitasi beban gelombang 66armonic. Pada frekuensi rendah RAO heave mempunyai harga maksimum mendekati 1,80 m/m, sesuai dengan kondisi diam, dan secara bertahap naik sampai pada puncaknya yakni pada frekuensi 0,0195 kemudian menurun 66armoni pada frekuensi tinggi.



Gambar 4. 45 RAO *Heave* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 0 knot

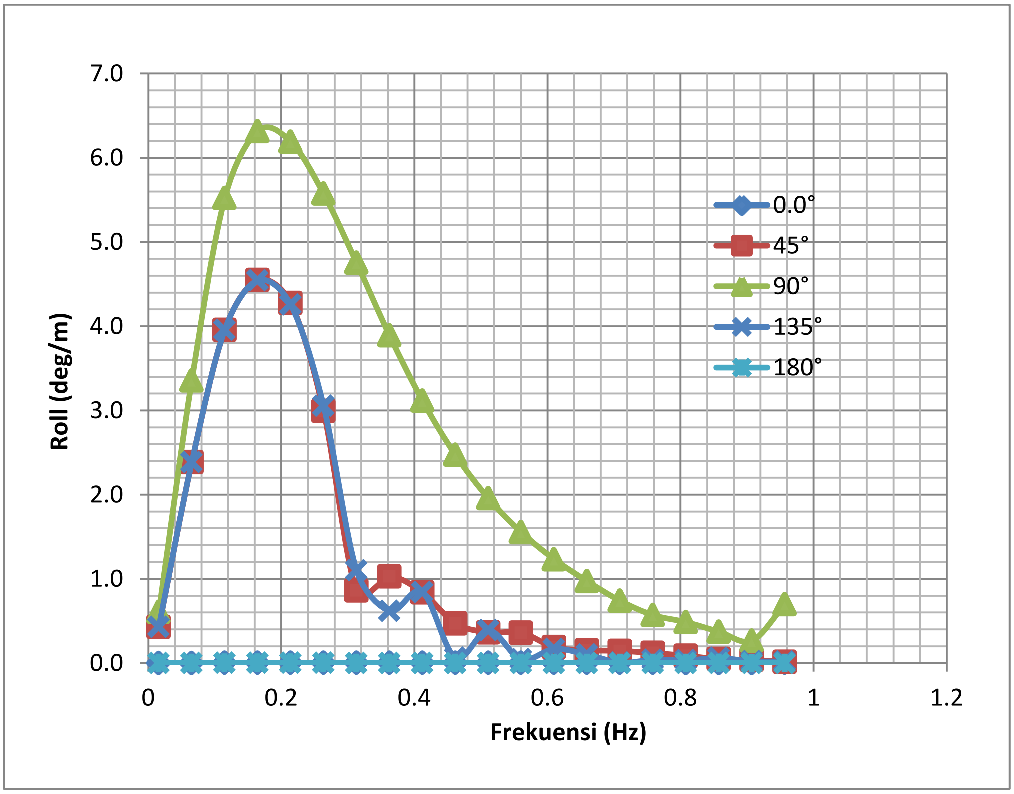


Gambar 4. 46 RAO *Heave* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 12 knot

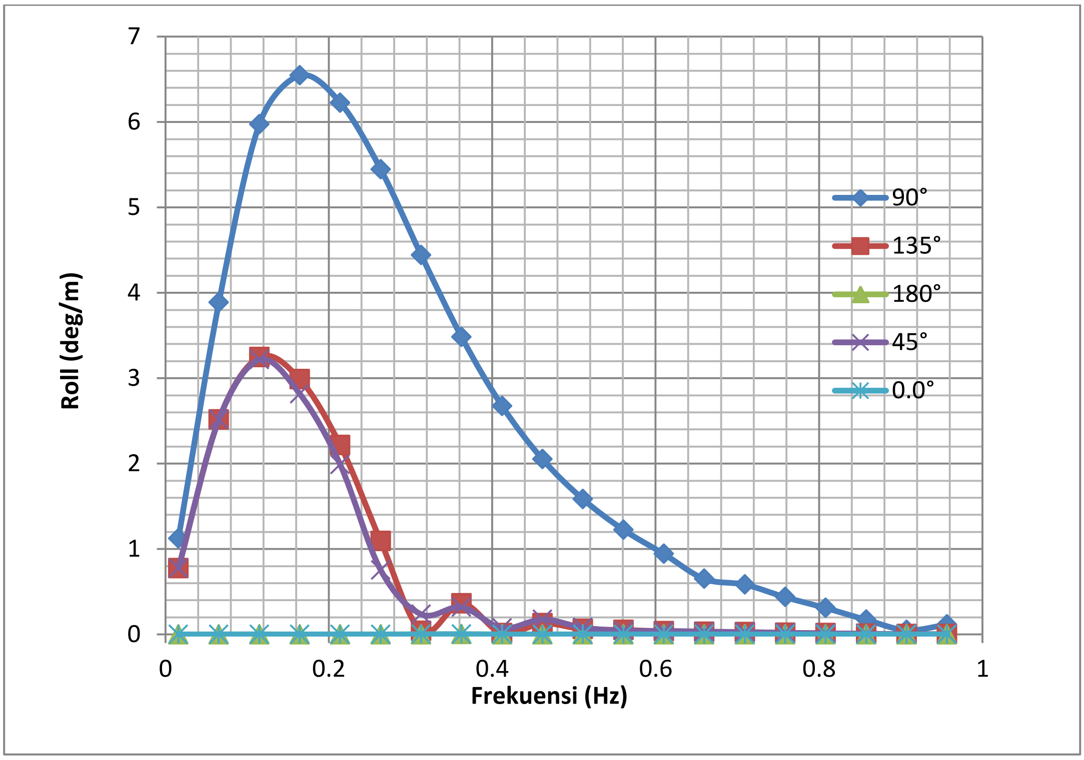


Gambar 4. 47 RAO *Heave* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 24 knot

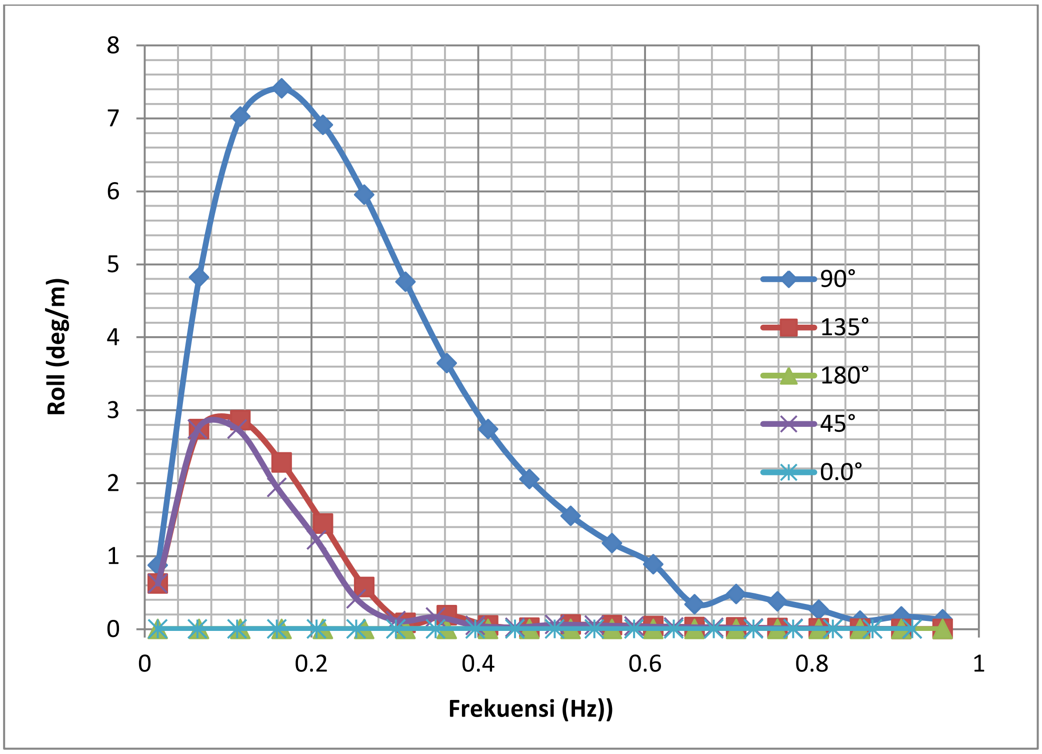
Berdasarkan hasil analisis yang tertera pada Gambar 4.45 Sampai dengan 4.47 dapat dilihat bahwasanya respons operator maksimal untuk mode gerakan *heave* terjadi pada frekuensi 0.15873 Hz untuk setiap variasi kecepatan 0, 12, dan 24 knot mempunyai nilai maksimal masing-masing 1.02 m/m, 1.01 m/m dan 1,20 m/m. Berdasarkan grafik data diatas juga, dapat diketahui bahwa pola dari kurva RAO gerakan *heave* tersebut mengalami perbedaan harga yang tidak konsisten sehubungan dengan bertambahnya kecepatan. Sehinga dapat disimpulakna. Secara keseluruhan untuk setiap kecepatan, RAO gerakan surge tersebut menjelaskan suatu 68armon dinamis yang mengalami eksitasi beban gelombang 68armonic. Pada frekuensi rendah RAO heave mempunyai harga maksimum mendekati 1,9 m/m. Setelah melewati amplitudo maksimal maka pada frekuensi naturalnya berikutnya untuk frekuensi yang lebih tinggi harga RAO konsisten terus menurun



Gambar 4. 48 RAO *Roll* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 0 knot



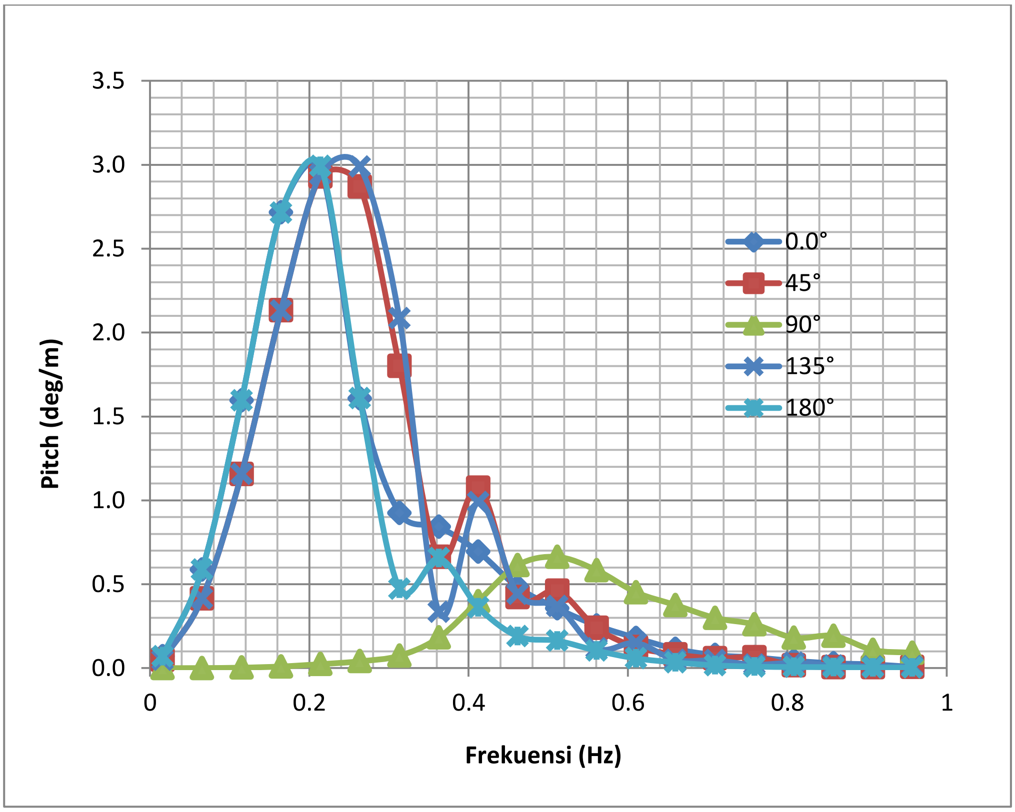
Gambar 4. 49 RAO *Roll* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 12 knot



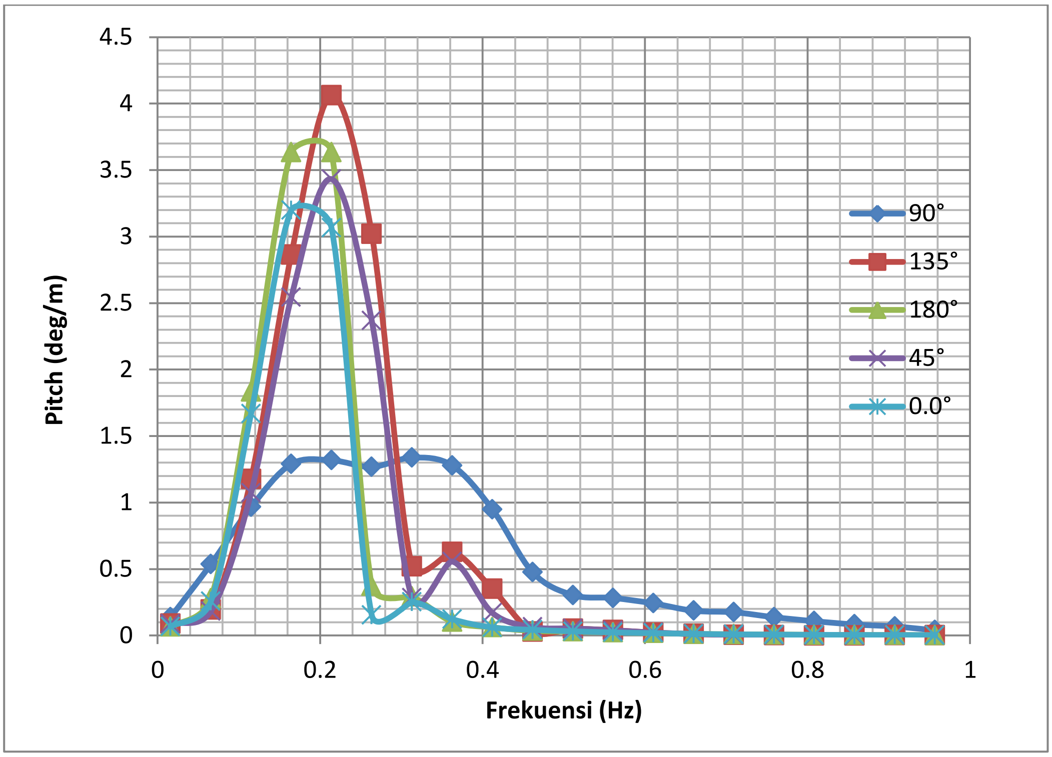
Gambar 4. 50 RAO *Roll* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 24 knot

Berdasarkan hasil analisis yang tertera pada Gambar 4.48 Sampai dengan 4.50 dapat dilihat bahwasanya respons 69armonic69 operator maksimal untuk mode gerakan *roll* terjadi pada frekuensi 0.15518- 0.15873 Hz untuk setiap variasi kecepatan 0, 12, dan 24 knot

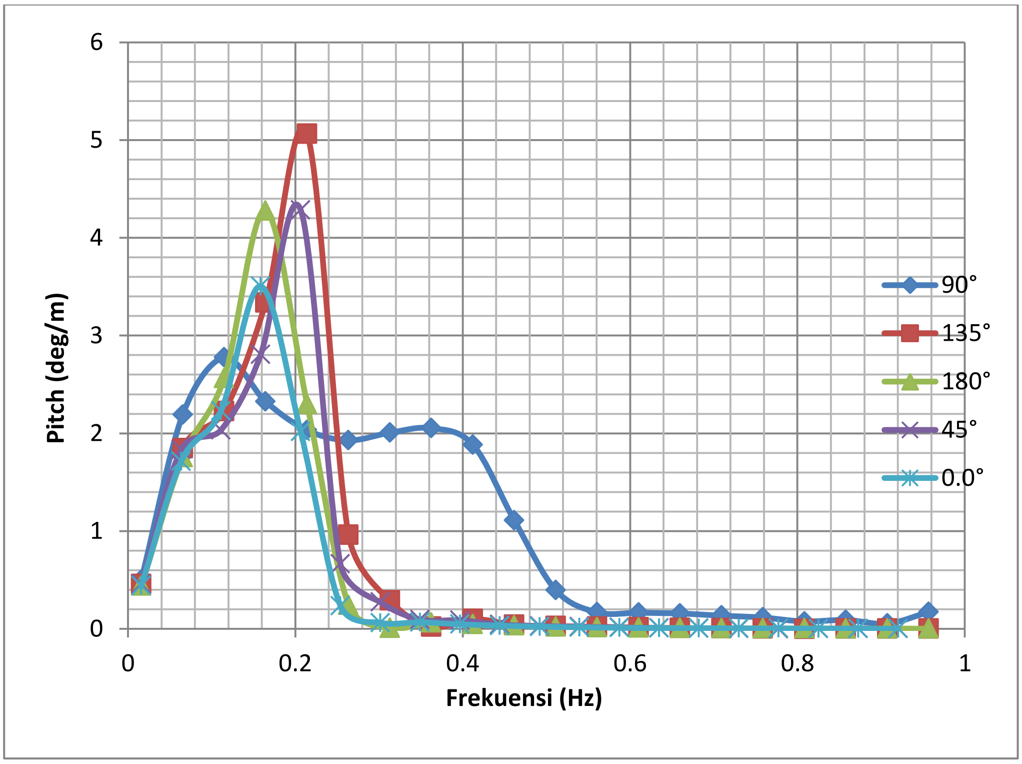
mempunyai nilai maksimal masing-masing 6,32 deg/m, 6,55 deg/m dan 6,87 deg/m. Berdasarkan grafik data diatas juga, dapat diketahui bahwa pola dari kurva RAO gerakan *roll* tersebut mengalami perbedaan harga terus menurun seiring dengan bertambahnya kecepatan. Secara keseluruhan untuk setiap kecepatan, RAO gerakan roll tersebut menjelaskan suatu 70armon dinamis yang mengalami eksitasi beban gelombang harmonik. Pada frekuensi rendah RAO roll mempunyai harga maksimum mendekati 46 deg/m terutama pada sudut heading 90 dan saat kapal tidak memiliki kecepatan. Setelah melewati amplitudo maksimal maka pada frekuensi naturalnya berikutnya untuk frekuensi yang lebih tinggi harga RAO konsisten terus menurun



Gambar 4. 51 RAO *Pitch* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 0 knot

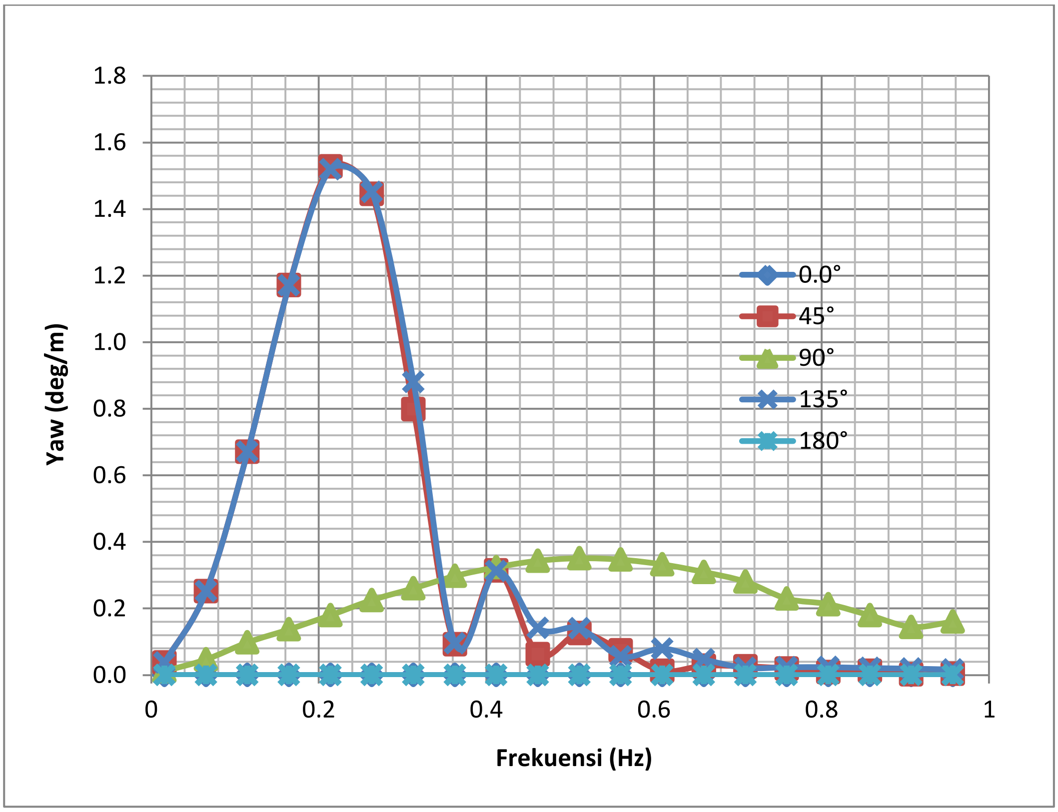


Gambar 4. 52 RAO *Pitch* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 12 knot

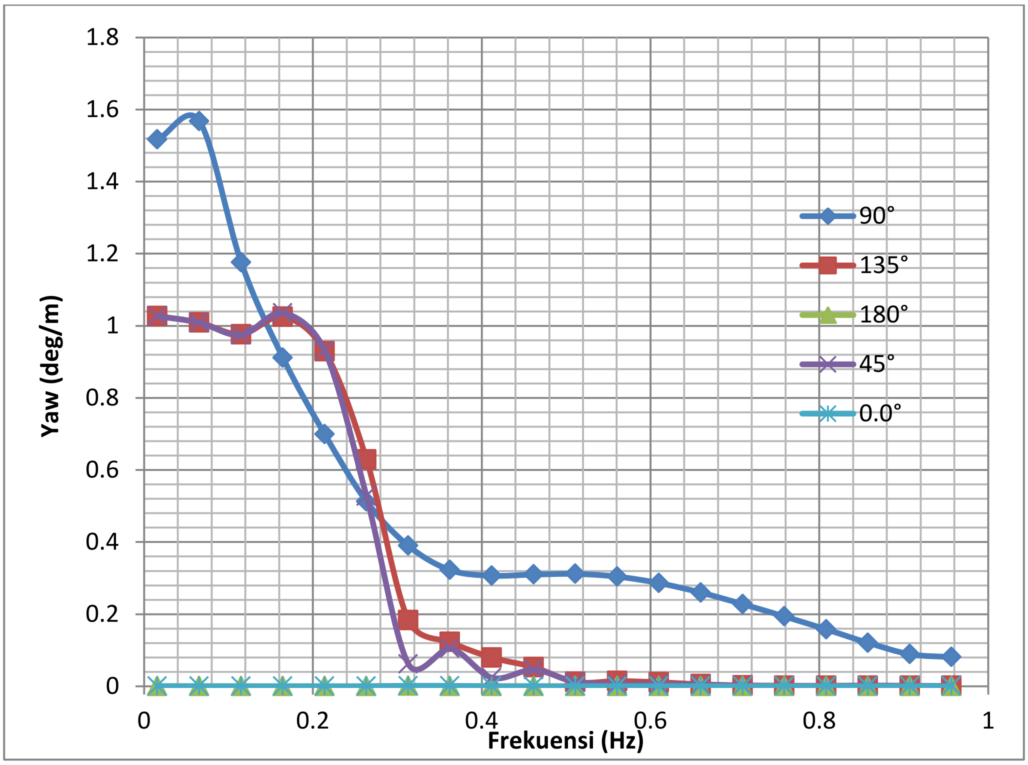


Gambar 4. 53 RAO *Pitch* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 24 knot

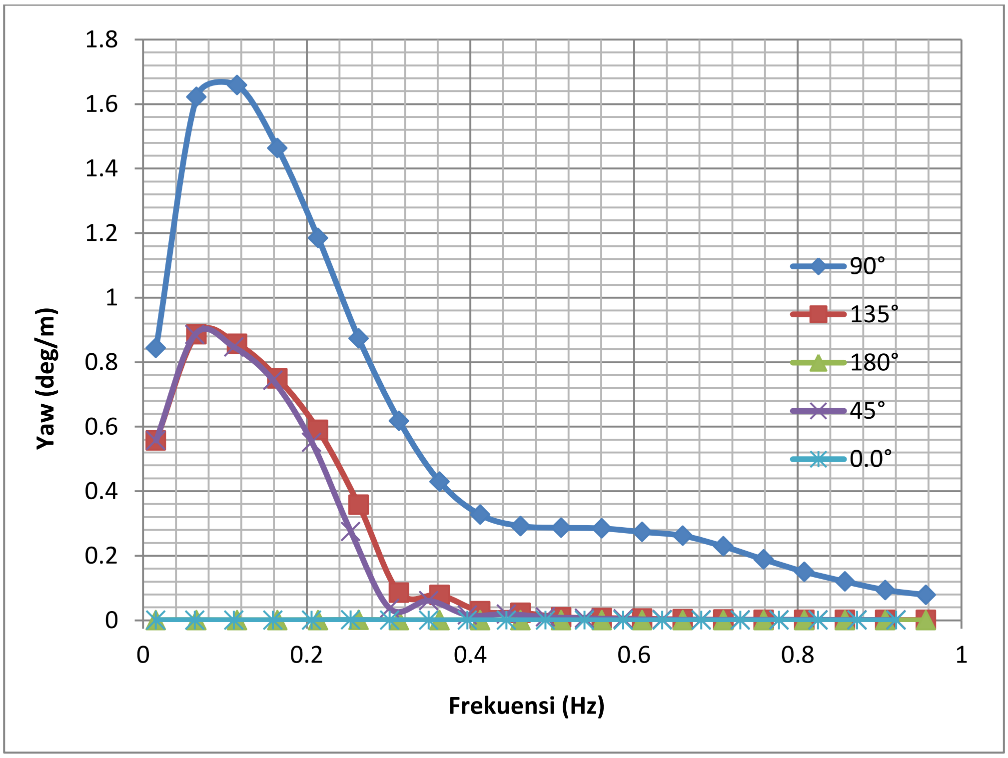
Berdasarkan hasil analisis yang tertera pada Gambar 4.51 Sampai 4.53 dengan dapat dilihat bahwasanya respons operator maksimal untuk mode gerakan *pitch* terjadi pada frekuensi 0.15518- 0.15873 Hz untuk setiap variasi kecepatan 0, 12, dan 24 knot mempunyai nilai maksimal masing-masing 2,975 deg/m, 4,06 deg/m dan 4,89 deg/m. Berdasarkan grafik data diatas juga, dapat diketahui bahwa pola dari kurva RAO gerakan *roll* tersebut mengalami perbedaan harga terus menurun seiring dengan bertambahnya kecepatan. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa gerakan pitch mengalami penambahan nilai seiring dengan bertambahnya kecepatan. Secara keseluruhan untuk setiap kecepatan, RAO gerakan pitch tersebut menjelaskan suatu 72armon dinamis yang mengalami eksitasi beban gelombang 72armonic. Pada frekuensi rendah RAO roll mempunyai harga maksimum mendekati 4.8 deg/m terutama pada sudut heading 135 pada kecepatan maksimum. Setelah melewati amplitudo maksimal maka pada frekuensi naturalnya berikutnya untuk frekuensi yang lebih tinggi harga RAO konsisten terus menurun



Gambar 4. 54 RAO *Yaw* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 0 knot



Gambar 4. 55 RAO *YAw* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 12 knot



Gambar 4. 56 RAO *YAw* Kapal dengan Skeg pada kecepatan 24 knot

Berdasarkan hasil analisis yang tertera pada Gambar 4.54 Sampai dengan 4.56 dapat dilihat bahwasanya respons operator maksimal untuk mode gerakan *yaw* terjadi pada frekuensi 0.15873 – 0.2016 Hz untuk setiap variasi kecepatan 0, 12, dan 24 knot mempunyai nilai maksimal masing-masing 1.53 deg/m, 1.5 deg/m dan 1.7 deg/m. Berdasarkan grafik data diatas juga, dapat diketahui bahwa pola dari kurva RAO gerakan *yaw* tersebut mengalami perbedaan harga yang terus bertambah seiring dengan bertambahnya kecepatan. Secara keseluruhan untuk setiap kecepatan, RAO gerakan pitch tersebut menjelaskan suatu 74armon dinamis yang mengalami eksitasi beban gelombang 74armonic. Pada frekuensi rendah RAO roll mempunyai harga maksimum mendekati 1.9 deg/m terutama pada sudut heading 135 pada kecepatan maksimum. Setelah melewati amplitudo maksimal maka pada frekuensi naturalnya berikutnya untuk frekuensi yang lebih tinggi harga RAO konsisten terus bertambah. Berikut disajikan rekapitulasi RAO maksimal untuk setiap variasi kecepatan, pada tabel 4.5 :

Tabel 4. 5 Rekapitulasi Amplitudo RAO Kapal dengan Skeg

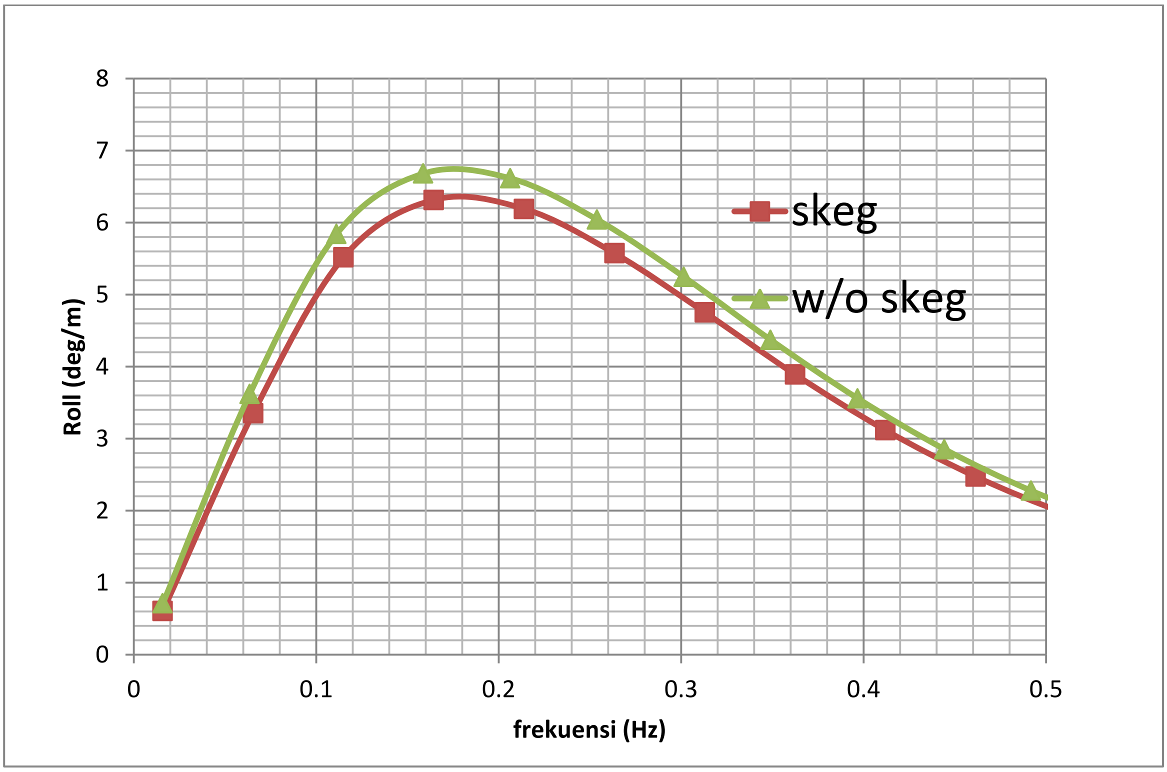
Item	Wave heading	Dengan Skeg		
		0 Knot	12 Knot	24 Knot
Surge	0	1,19	1,03	0,88
	45	0,84	0,75	0,67
	90	0,01	0,09	0,17
	135	0,84	0,75	0,67
	180	1,19	1,03	0,88
Sway	0	0,00	0,00	0,00
	45	0,84	1,19	1,16
	90	1,19	1,84	1,93
	135	0,84	1,19	1,16
	180	0,00	0,00	0,00
Heave	0	1,00	1,01	1,20
	45	1,00	1,02	1,09
	90	1,03	1,01	1,05
	135	1,00	1,01	1,01
	180	1,00	1,00	1,08
Roll	0	0,00	0,00	0,00
	45	4,55	3,22	2,54
	90	6,32	6,55	6,87
	135	4,54	3,24	2,62
	180	0,00	0,00	0,00
Pitch	0	2,97	3,20	4,07
	45	2,93	3,43	4,00
	90	0,66	1,34	2,69
	135	2,99	4,06	4,74
	180	2,99	3,63	4,28
Yaw	0	0,00	0,00	0,00
	45	1,53	1,04	0,90
	90	0,35	1,57	1,68
	135	1,52	1,03	0,91
	180	0,00	0,00	0,00

4.2.9 Komparasi olah gerak kapal pada kedua model kapal

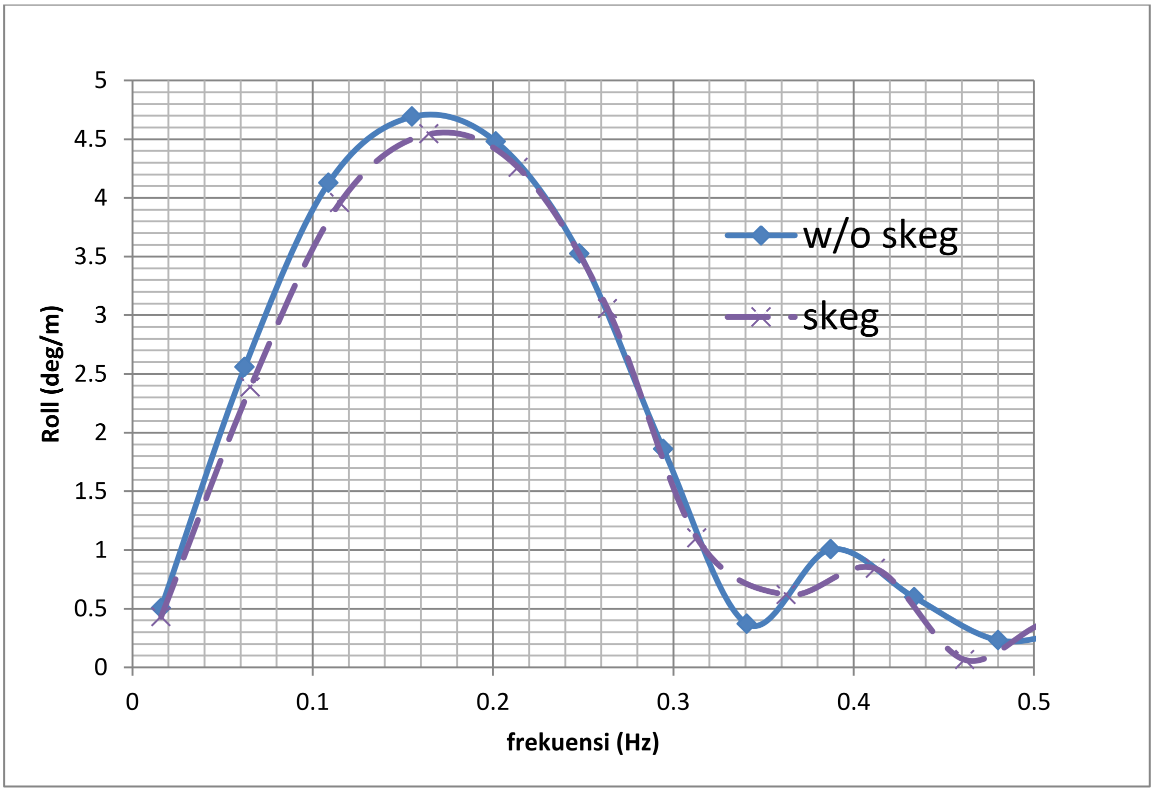
Tabel 4. 6 Rekapitulasi Amplitudo kedua Model

Item	Wave heading	Dengan Skeg			Tanpa Skeg		
		0 Knot	12 Knot	24 Knot	0 Knot	12 Knot	24 Knot
Surge	0	1,19	1,03	0,88	1,19	1,03	0,88
	45	0,84	0,75	0,67	0,84	0,75	0,67
	90	0,01	0,09	0,17	0,01	0,09	0,17
	135	0,84	0,75	0,67	0,84	0,75	0,67
	180	1,19	1,03	0,88	1,19	1,03	0,88
Sway	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	45	0,84	1,19	1,16	0,84	1,15	1,12
	90	1,19	1,84	1,93	1,19	1,78	1,87
	135	0,84	1,19	1,16	0,84	1,15	1,12
	180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Heave	0	1,00	1,01	1,20	1,00	1,00	1,14
	45	1,00	1,02	1,09	1,00	1,02	1,15
	90	1,03	1,01	1,05	1,03	1,01	1,05
	135	1,00	1,01	1,01	1,00	1,01	1,07
	180	1,00	1,00	1,08	1,00	1,00	1,02
Roll	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	45	4,55	3,22	2,54	4,69	3,40	2,74
	90	6,32	6,55	6,87	6,68	6,96	7,41
	135	4,54	3,24	2,62	4,69	3,44	2,86
	180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Pitch	0	2,97	3,20	4,07	3,07	2,94	3,50
	45	2,93	3,43	4,00	3,01	3,43	4,29
	90	0,66	1,34	2,69	0,66	1,36	2,78
	135	2,99	4,06	4,74	3,08	4,09	5,06
	180	2,99	3,63	4,28	3,08	3,95	4,28
Yaw	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	45	1,53	1,04	0,90	1,51	1,01	0,89
	90	0,35	1,57	1,68	0,35	1,53	1,66
	135	1,52	1,03	0,91	1,51	1,00	0,89
	180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

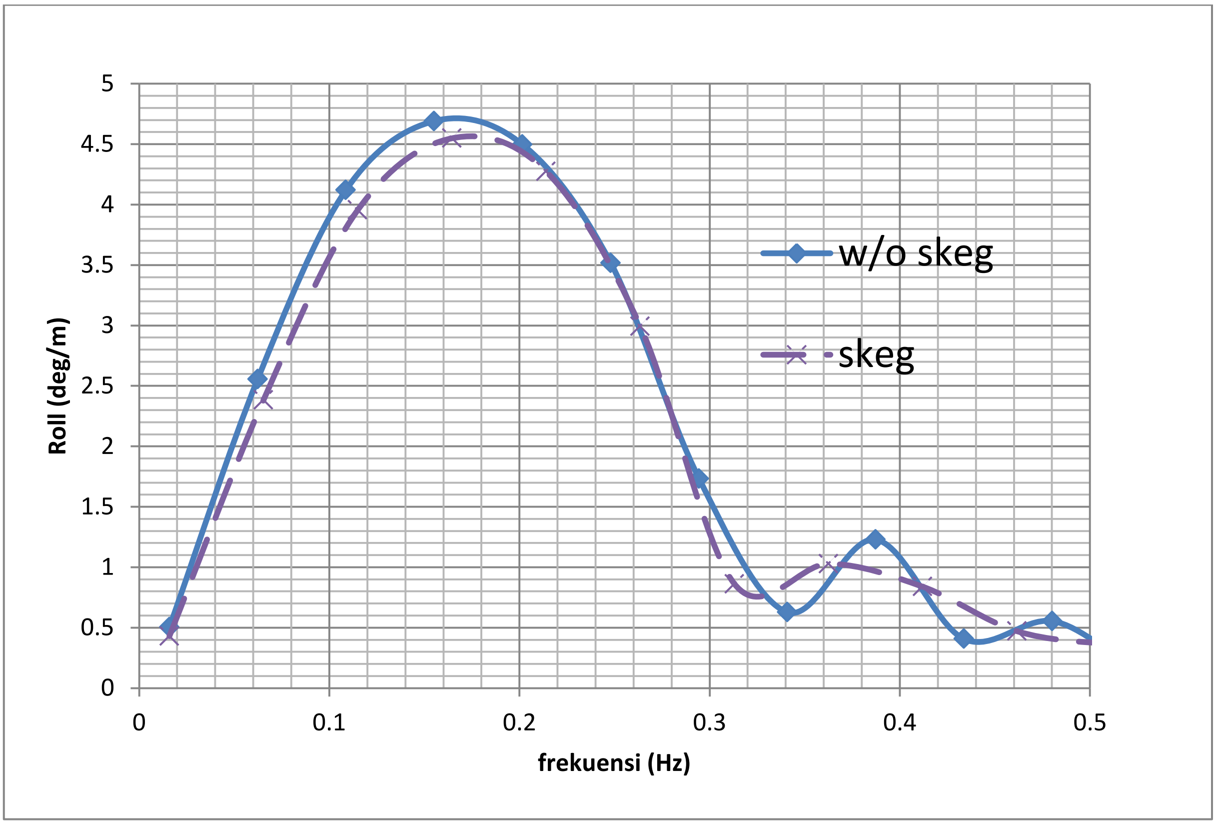
Berdasarkan tabel 4.6 rekapitulasi amplitudo maksimum dari semua gerakan dari kedua model kapal, maka dapat disimpulkan bahwa penambahan skeg lebih signifikan terhadap gerakan rolling. Utuk gerakan pitching tidak bisa diberikan kesimpulan karena pengaruhnya tidak linear. Pada gerakan pitching terjadi *calculation error* pada Ansys Aqwa akibat perbedaan letak titik bouyancy dan titik berat. Pada gerakan rolling, skeg berpengaruh dalam mereduksi rolling pada semua kecepatan dan paling berpengaruh pada sudut heading 90 dan 135. Berikut Grafik perbandingan dari gerakan rolling antara kapal dengan dan tanpa skeg :



Gambar 4. 57 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 90º dan Fn = 0

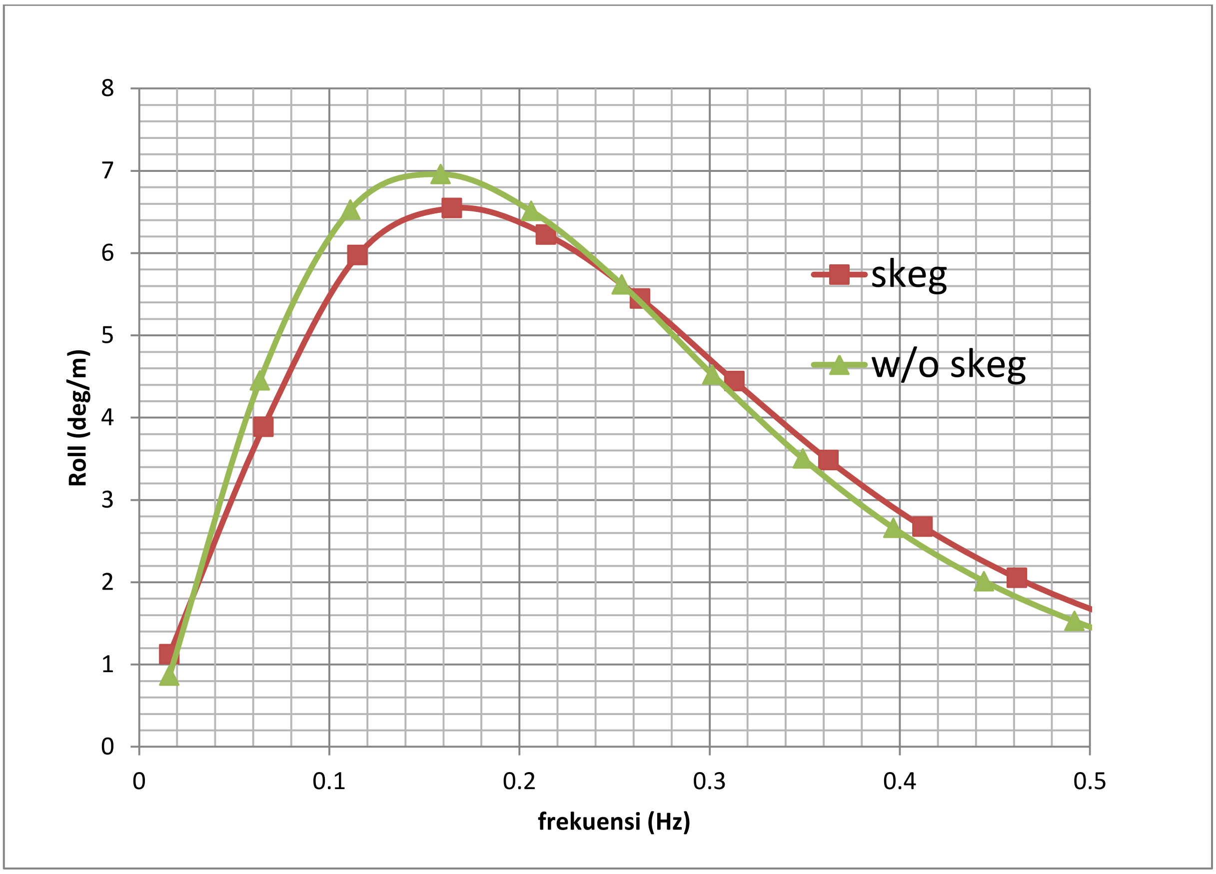


Gambar 4. 58 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 135º dan Fn =

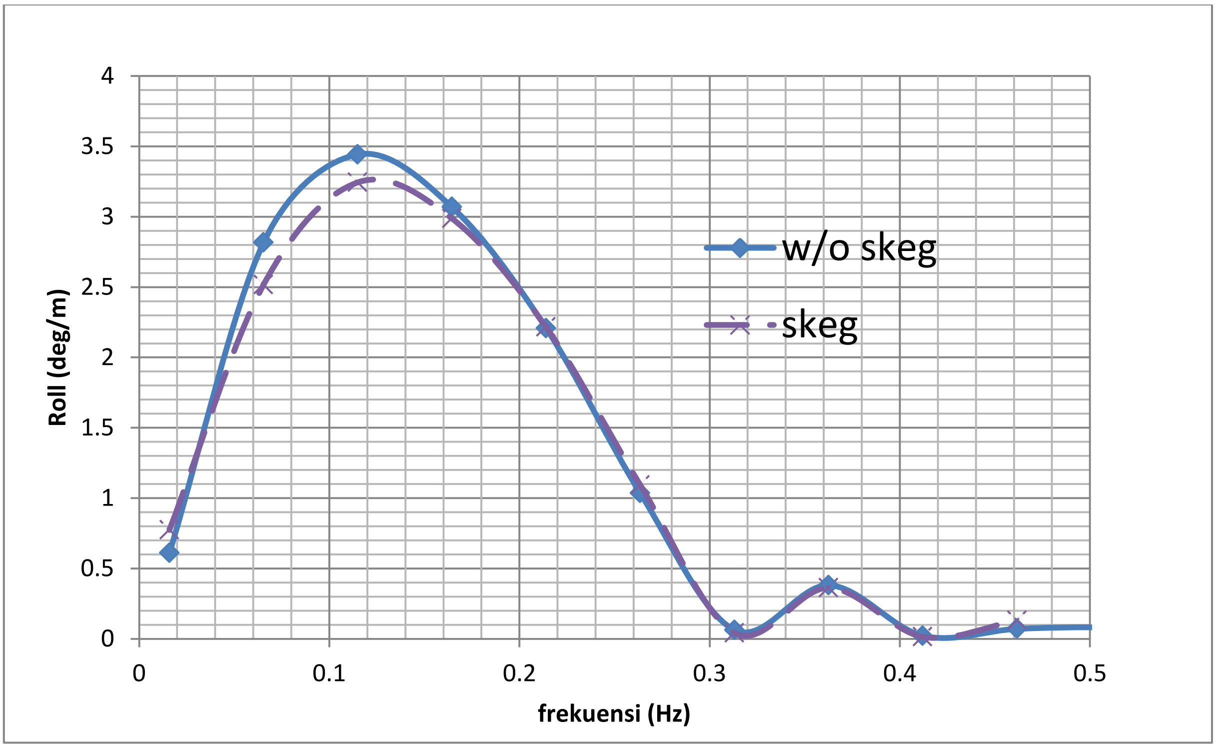


Gambar 4. 59 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 45º dan Fn = 0

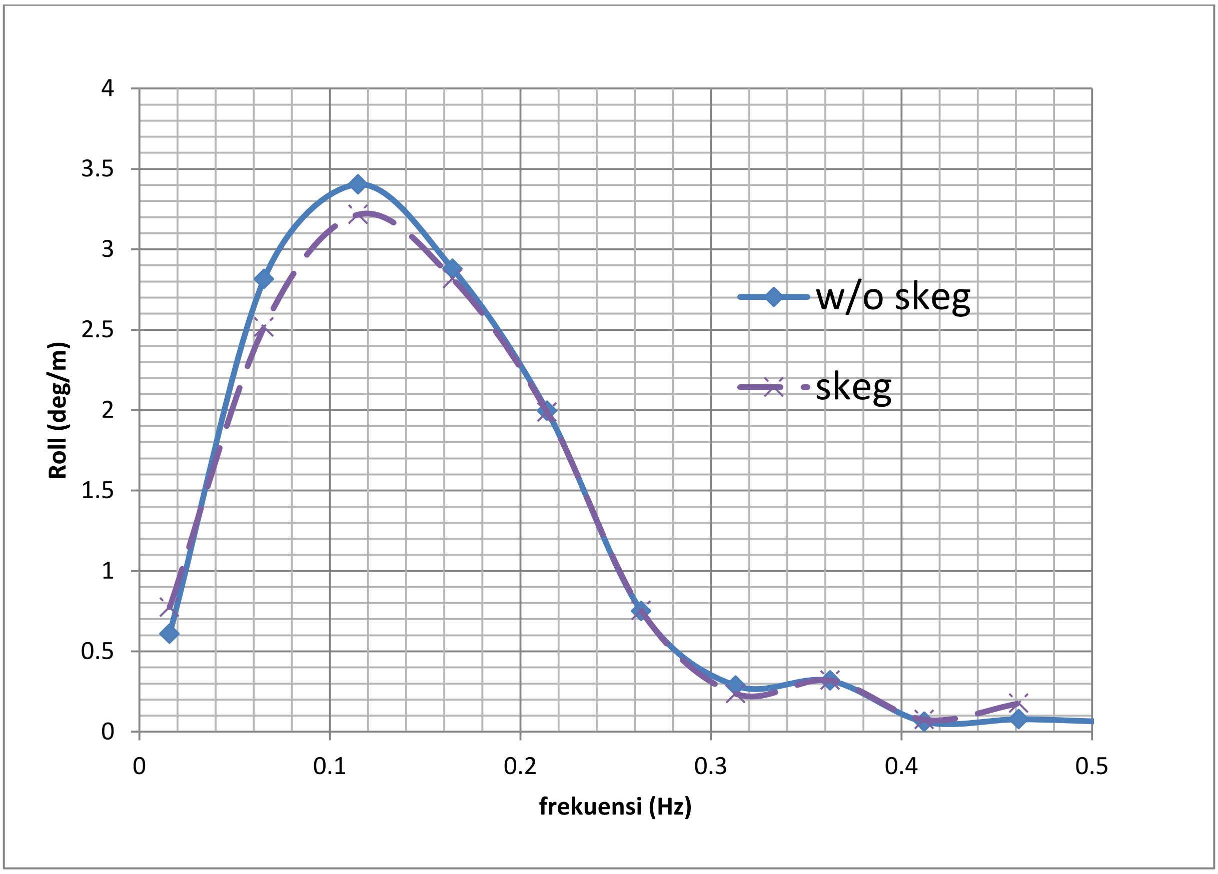
Pada Gambar 4.57 sampai 4.59 terlihat bahwa skeg dapat mereduksi gerakan pada Sudut gelombang 45 º, 90 º, dan 135 º. Pada sudut gelombang 135 º dan 45 º skeg dapat mereduksi gerakan roll sebanyak 5% sedangkan sudut gelombang 90 º dapat mereduksi sebanyak 7% pada Fn=0



Gambar 4. 60 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 90º dan Fn = 0,29

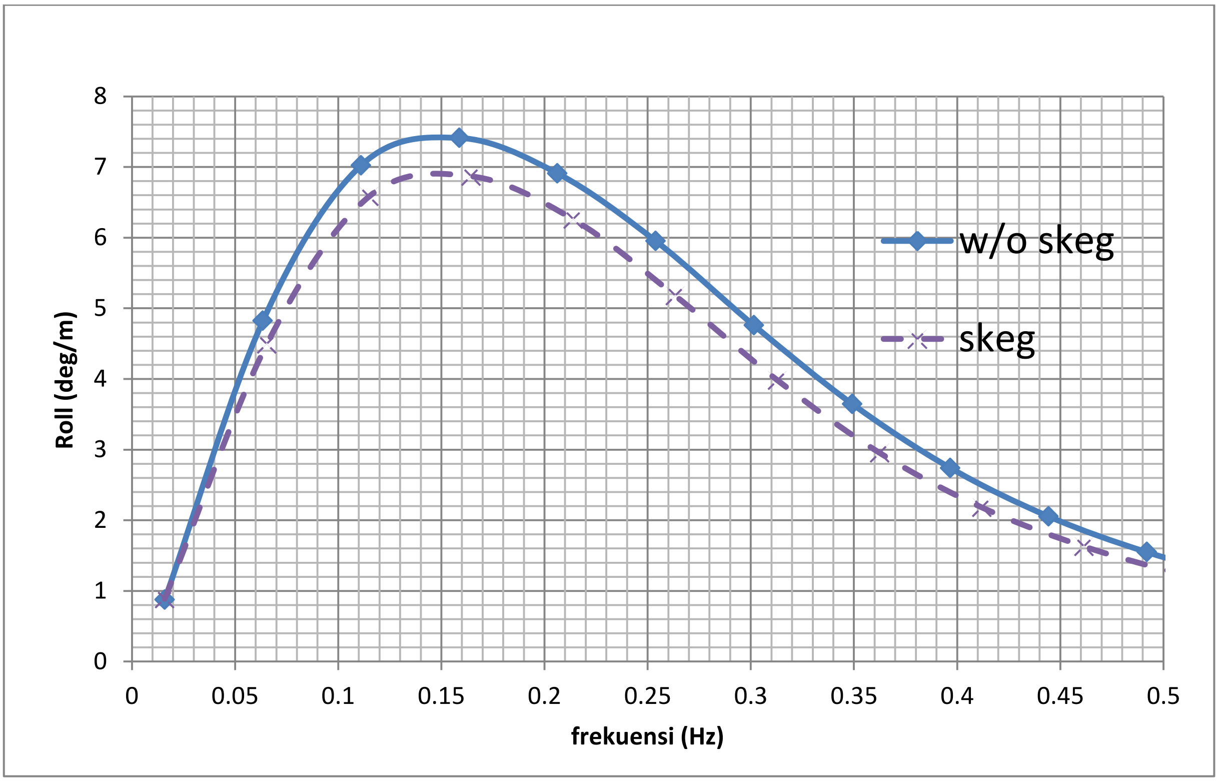


Gambar 4. 61 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 135º dan Fn = 0,29

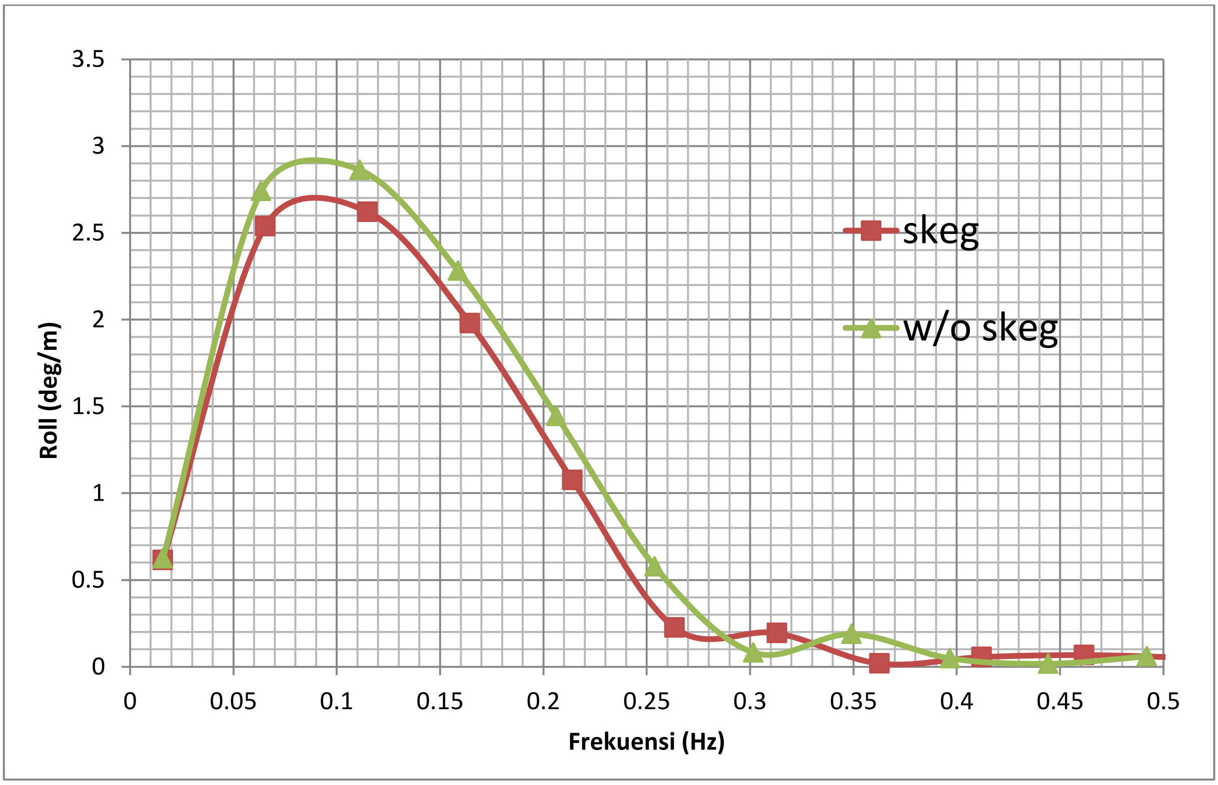


Gambar 4. 62 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 45º dan Fn = 0,29

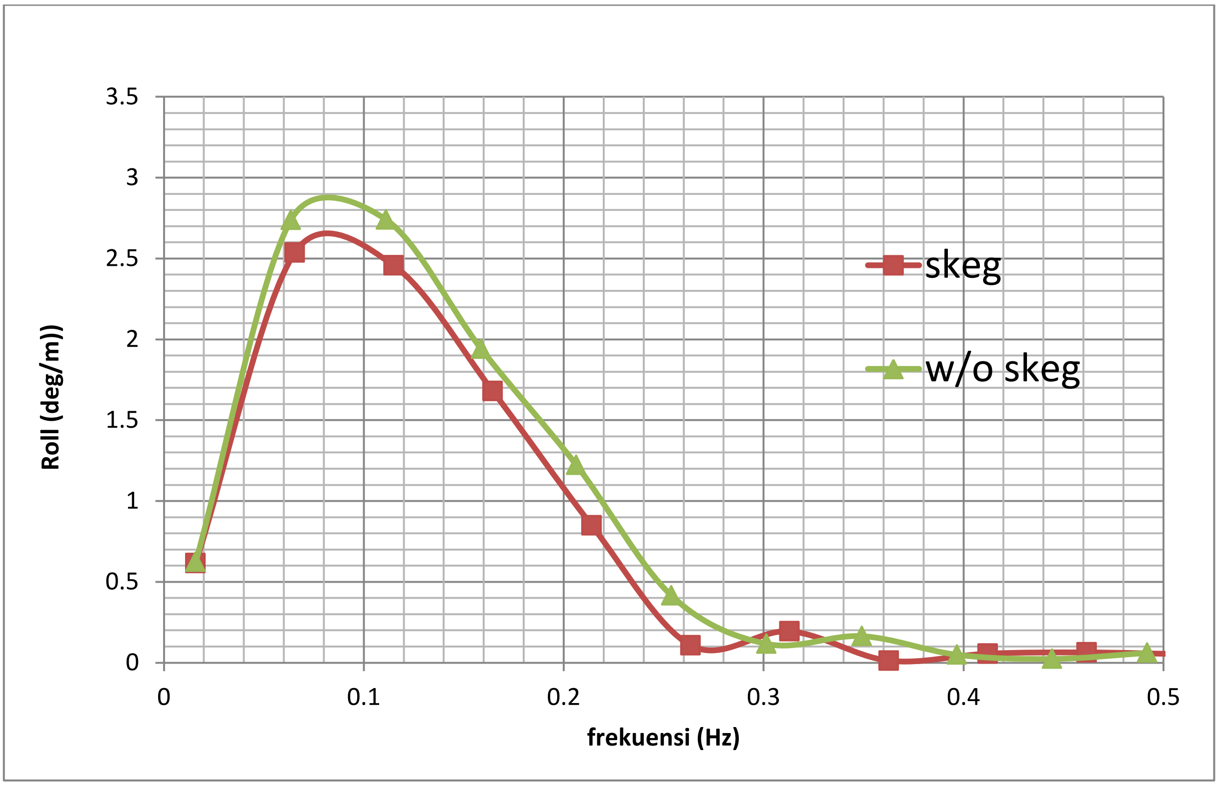
Pada Gambar 4.60 sampai 4.62 terlihat bahwa skeg dapat mereduksi gerakan pada Sudut gelombang 45 º, 90 º, dan 135 º. Pada sudut gelombang 135 º dan 45 º skeg dapat mereduksi gerakan roll sebanyak 5% sedangkan sudut gelombang 90 º dapat mereduksi sebanyak 7% pada Fn=0,29



Gambar 4. 63 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 90º dan Fn = 0,53



Gambar 4. 64 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 135º dan Fn = 0,53



Gambar 4. 65 Perbandingan kedua model kapal pada sudut gelombang 45º dan Fn = 0,53

Pada Gambar 4.63 sampai 4.65 terlihat bahwa skeg dapat mereduksi gerakan pada Sudut gelombang 45 º, 90 º, dan 135 º. Pada sudut gelombang 135 º dan 45 º skeg dapat mereduksi gerakan roll sebanyak 5% sedangkan sudut gelombang 90 º dapat mereduksi sebanyak 7% pada Fn=0,53.

Dari perbandingan Gambar 4.57 sampai 4.65 maka dapat disimpulkan karakteristik kapal dengan menggunakan skeg lebih tenang dalam hal olah gerak. Maka dapat diketahui bahwa skeg dapat menjadi peredam gerakan rolling dalam semua kecepatan mulai dari 0 knot, 12 knot dan 24 knot. Pada kecepatan 0 knot dan 12 knot Skeg memberi redaman pada saat frekuensi rendah hingga puncak amplitudo, sedangkan untuk frekuensi tinggi skeg tidak terlalu signifikan memberi efek damping. Akan tetapi pada saat kecepatan 24 knot terutama sudut datang gelombang 90 derajat, Skeg konsisten memberi efek damping baik di frekuensi rendah maupun frekuensi tinggi. Dan secara signifikan skeg dapat meredam gerakan rolling dalam frekuensi rendah.

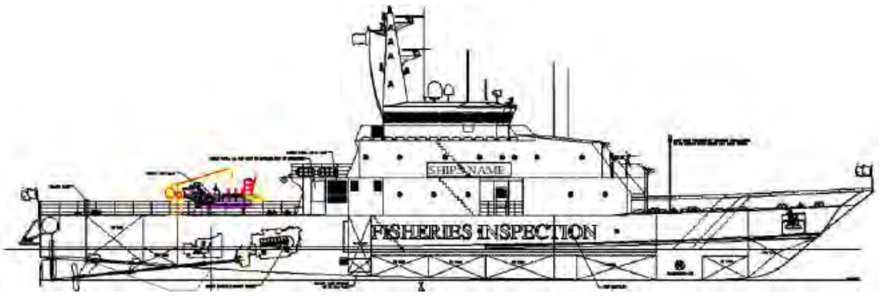
BAB 5
ANALISA HAMBATAN DAN ALIRAN FLUIDA

5.1 Kapal Patroli 60 m

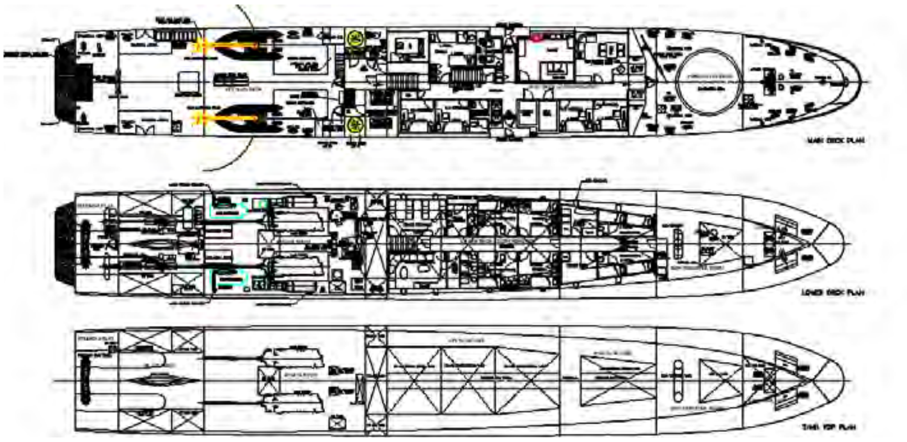
Kapal Patroli 60 m ini adalah kapal yang diproyeksikan oleh salah satu kementrian di Negara Republik Indonesia untuk melakukan patrol guna mencegah terjadinya *illegal fishing* di perairan Indonesia khususnya di perairan kepulauan Riau, Kalimantan, dan Sulawesi. Kapal ini dapat menampung 24 crew dan 12 tahanan. Kapal patrol ini juga dibekali 2 mesin utama yang dapat menghasilkan kecepatan service 24 knot. Adapun data utama kapal kapal Patroli 60 m terlihat pada Tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 5. 1 Ukuran Utama Kapal Patroli 60 m

Parameter	Symbol	Satuan	Value
Overall Length	LOA	m	60
Lenght Water line	LWL	m	53.453
Breadth Molded	Bmld	m	8.2
Height Molded	Hmld	m	4.37
Draft/Drougt	T	m	2.17
Koefisien Block	Cb		0.447
Koefisien Prismatik	Cp		0.695
Length of buoyancy (from midship)	LCB	m	-5.684
Keel to Bouyancy	KB	m	1.478
Service Speed	VS	Knot	24
Wetted Area With Zero Speed	S	M^2	414.56
Displasmen	Δ	ton	388.8



Gambar 5. 1 Rencana Umum Kapal Patroli 60 m



Gambar 5. 2 Rencana Umum Tampak Atas

Gambar 5. 3 Kapal Patroli saat Berlayar

Sebuah kapal dikatakan termasuk jenis *planning* karena memiliki nilai *Significance of Speed/Length Ratio (*SLR) > 3, SLR didefinisikan sebagai kecepatan dalam knot (vk) dibagi akar kuardarat dari panjang garis air (LWL) dalam meter, (Savitsky D 2003).

SLR $= Vk / \sqrt{Lwl}$

$= 24 / \sqrt{53.453}$

$= 3.28$

Menurut IMO 2008 bahwa kapal *Hight Speed Craft* (ANNEX II page 8) adalah

Vs $\geq 3.7 . \nabla^{0.1677}$

$= 3.7 \text{ x }^{0.1677}$

$= 9.959$ m/s

Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa kapal *crew boat* ini termasuk jenis kapal *hight speed craft* jenis *planing hull.*

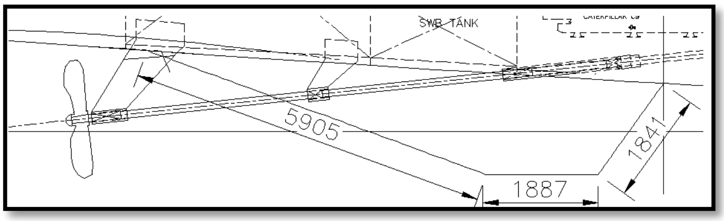
5.2 Variasi Desain Lambung

Pada penelitian ini ada empat varisi lambung yang. dilakukan meliputi model lambung yang tidak diberi skeg dan lambung yang diberi skeg. Untuk dimensi skeg sendiri digunakan skeg yang sudah di desain oleh galangan. Proses-proses desain lambung model kapal menggunakan software Maxsuft. Ukuran utama dari variasi model lambung yang dilakukan terdapat pada Tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 5. 2 Perbedaan Parameter Kapal dengan dan tanpa Skeg

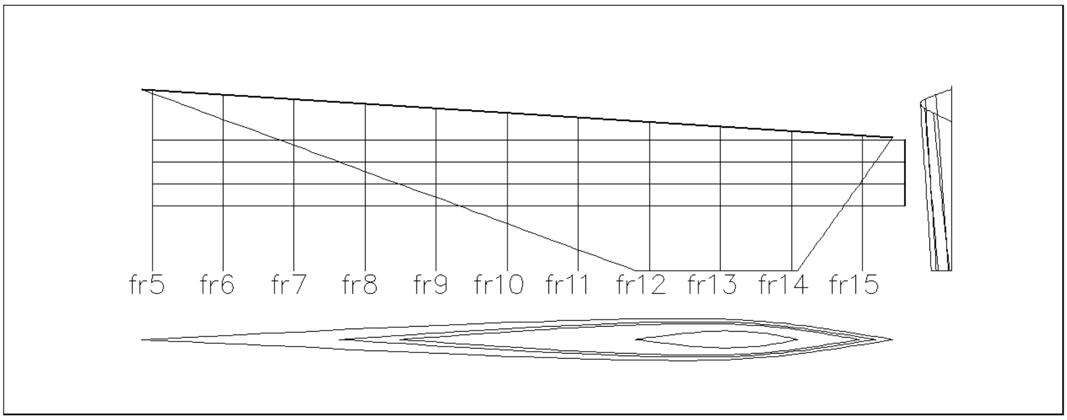
Parameter	Simbol	Satuan	Dengan Skeg	Tanpa Skeg
Overall Length	LOA	m	60	60
Lenght Water line	LWL	m	53.453	53.453
Breadth Molded	Bmld	m	8.2	8.2
Height Molded	Hmld	m	4.37	4.37
Draft/Drougt	T	m	2.17	2.17
Koefisien Block	Cb		0.335	0.454
Koefisien Prismatik	Cp		0.695	0.695
Length of buoyancy (	LCB	m	-5.684	-5.672
Keel to Bouyancy	KB	m	1.478	1.478
Service Speed	VS	Knot	24	24
Wetted Area	S	M^2	414.56	405.147
Displasmen	Δ	ton	388.8	388.5

Dari Tabel 5.2 kita dapat lihat bahwa dengan penambahan skeg tidak banyak mengubah parameter utama dari kapal. Untuk displacement hanya bertambah sebanyak 0,077% dari displacement total. Untuk Wetted Surface Area bertambah 2%. Sedangkan LCB hanya bertambah 0,01 m dan hal tersebut bisa diabaikan karena harganya terlalu kecil dibandingkan garis air kapal.



Gambar 5. 4 Ukuran dan Dimensi Skeg (mm)

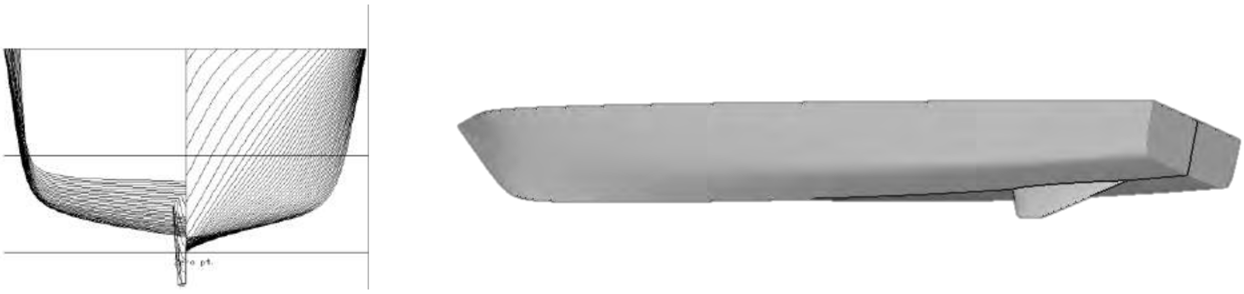
Dari Gambar 5.4 terlihat bahwa peletakkan skeg berada disekitar propeller. Hal tersebut dilakukan guna melindungi propeller jika kapal mengalami kandas. Dengan adanya skeg akan memberi keamanan lebih dari kerusakan buat propeller maupun porosnya.



Gambar 5. 5 Rancang Garis dari Skeg

Pada Gambar 5.5 diperlihatkan bentuk linesplan dari skeg tersebut. Skeg tersebut memiliki sudut yang tajam pada *leading edge* dan *trailing edge*. Akan tetapi bentuk penampang ini bukan lah foil simetris karena foil tidak memiliki sudut tajam pada *leading edge* dan *trailing edge.* Skeg ini memiliki displacement sebanyak 300 kg dan 9,143 m^2. Efek penambahan skeg secara visual dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan 5.7 sebagai berikut :

Gambar 5. 6 Model kapal tanpa skeg



Gambar 5. 7 Model Kapal dengan Skeg

5.3 Analisis Hambatan dengan Computational Fluid Dynamics

Ada dua metode yang akan digunakan dalam Analisis Hambatan dengan CFD ini yaitu simulasi hambatan viskos dan hambatan free surface. Simulasi dengan menggunakan free surface merupakan salah satu metode dengan menerapkan kondisi multi fluida yaitu air dan udara tanpa mengabaikan kenaikan air hingga diatas batas sarat kapal sehingga dapat

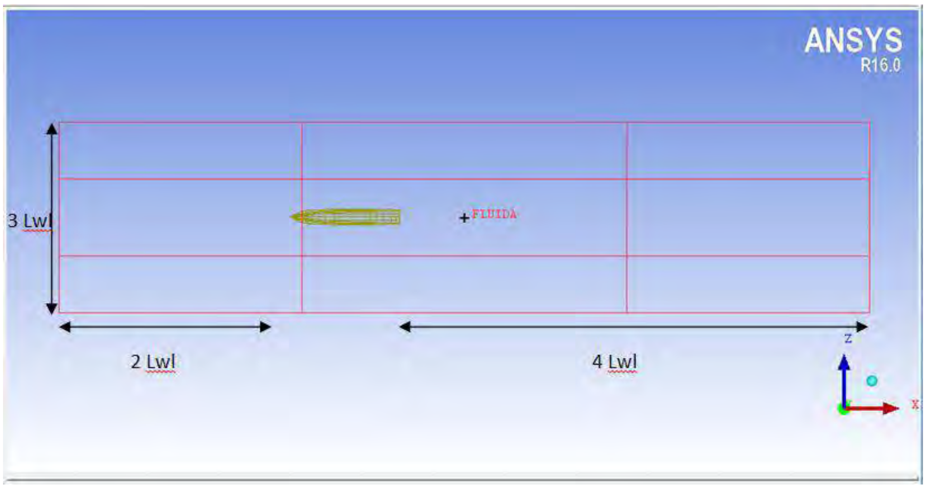
diperoleh besarnya hambatan total kapal. Sedangkan penggunaan prinsip hambatan viskos merupakan metode dengan menerapkan kondisi mono fluida yaitu dengan mengabaikan kenaikan air yang melewati batas sarat sehingga analisa hambatan hanya diterapkan pada bagian lambung kapal dibawah sarat. Hal ini memungkinkan untuk memperoleh hambatan viskos kapal dari proses simulasi kapal.

5.3.1 Pemodelan kapal

Untuk pemodelan kapal pada simulasi kali ini adalah dengan cara menginput model kapal yang sudah dibuat di maxsurf modeller ke ICEM CFD. . Langkah yang harus dilakukan adalah melakukan export file .msd maxsurf menjadi bentuk *NURB 3D surface* (.igs). Format .igs adalah salah satu format digital pemodelan yang bisa dibaca oleh ICEM CFD.

5.3.2 Pemodelan Domain

Domain dapat diartikan sebagai media dimana model uji bergerak. Dalam kasus ini media yang digunakan merujuk kepada towing tank dengan massa jenis air sebesar 997 kg/m3. Digunakan model aliran turbulent k-epsilon pada simulasi ini. K-Epsilon merupakan model dua dimensi yang cukup lengkap dengan dua persamaan yang memungkinkan kecepatan turbulen dan skala panjang ditentukan secara independen. kapal diletakan pada sebuah domain yang sudah dibuat dengan ukuran depan 2 x panjang kapal, belakang 4 x panjang kapal sisi 1.5 panjang kapal dan bawah tergantung kedalaman perairan, P x L x T = 420 x 100 x 20 seperti pada Gambar 5.8. Setelah itu memberi boundary condition pada tiap-tiap bagian domain.



Gambar 5. 8 Ukuran *Boundary Condition*

- ***Inlet***

  Inlet merupakan tempat dimana fluida didefinisikan akan masuk, pada sisi ini aliran akan didefinisikan keluar dengan kecepatan kapal. Pada simulasi ini fluida diasumsikan sebagai elemen yang bergerak dengan kecepatan kapal, sedangkan kedudukan kapal pada posisi seolah-olah diam. penerapan kondisi batas untuk inflow adalah ketinggian aliran fluida (air dan udara), tekanan udara, gaya gravitasi, suhu fluida dan model turbulen yang perlu diterapkan. Penerapan kondisi batas ini memungkinkan untuk penerapan kondisi 2 fluida pada proses simulasi sehingga analisa tidak hanya dilakukan pada badan kapal dibawah sarat tetapi juga pada badan kapal diatas sarat.

- ***Outlet***

  Outlet merupakan sisi yang bersebrangan dengan inlet, yaitu tempat dimana fluida didefinisikan akan keluar. Jenis tekanan pada bagian ini menggunakan *static pressure* yang berarti tekanan statis karena tidak adanya tekanan yang timbul akibat gelombang yang dihasilkan oleh badan kapal. Hal ini diasumsikan bahwa pada bagian ini gelombang yang dihasilkan akibat gerak kapal sudah tidak terbentuk sehingga tidak terjadi fenomena kembalinya gelombang yang dapat mengurangi tingkat akurasi dari hasil yang diperoleh.

- ***Wall***

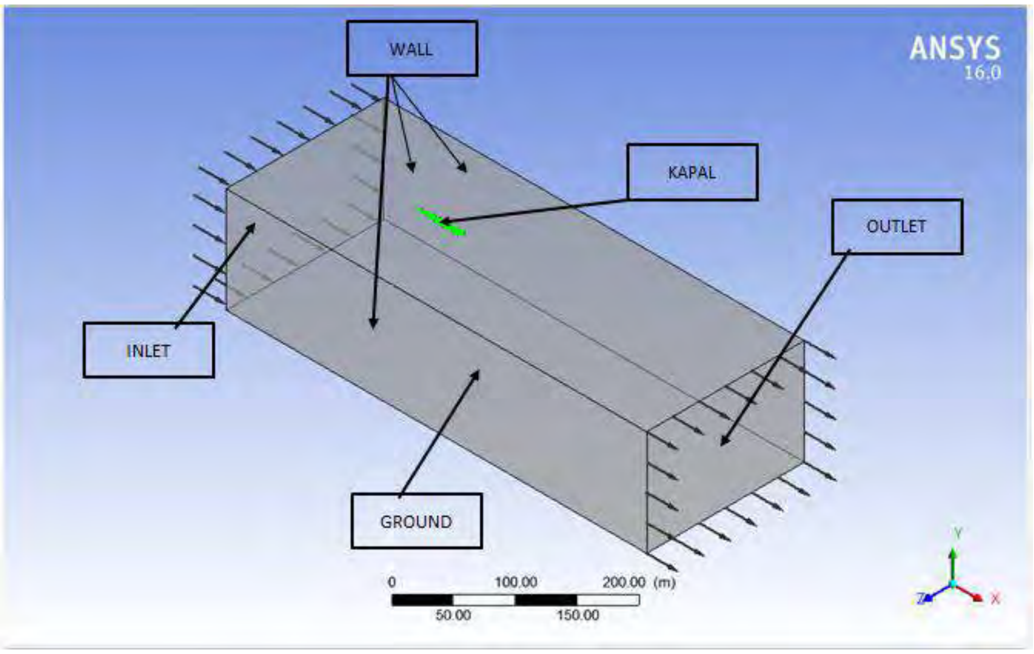
  Dinding fluida dianggap berada pada kondisi tanpa gesekan sehingga boundary detail diisikan free slip wall. Pada bagian ini kondisi batas yang diterapkan adalah free slip yang berarti kecepatan fluida yang mendekati bagian ini tidak akan mengalami perlambatan sehingga dengan kata lain pada bagian ini tidak memiliki kekasaran.

- ***Ground***

  Dinding fluida dianggap berada pada kondisi tanpa gesekan sehingga boundary detail diisikan no slip wall

- ***Kapal***

  Pada bagian kapal, kondisi batas yang perlu diterapkan adalah pengaruh kekasaran badan kapal terhadap aliran fluida sehingga badan kapal pada tahap ini dianggap sebagai dinding dan lokasi untuk kondisi batas ini. Penerapan dinding pada bagian ini berbeda dengan penerapan kondisi batas untuk dinding-dinding di sekeliling domain. Lokasi dari kondisi batas ini adalah pada seluruh badan kapal. Kondisi batas yang diterapkan adalah no slip dengan tingkat kekasaran dinding adalah smooth wall. Penerapan kondisi ini berarti bahwa badan kapal memiliki kekasaran dan berpengaruh terhadap aliran fluida disekitar kapal. Hal ini berarti kecepatan fluida yang mendekati badan kapal akan mengalami perlambatan yang kemudian meghambat laju kapal sehingga pada akhir simulasi dapat diketahui besarnya gaya yang menghambat laju kapal.

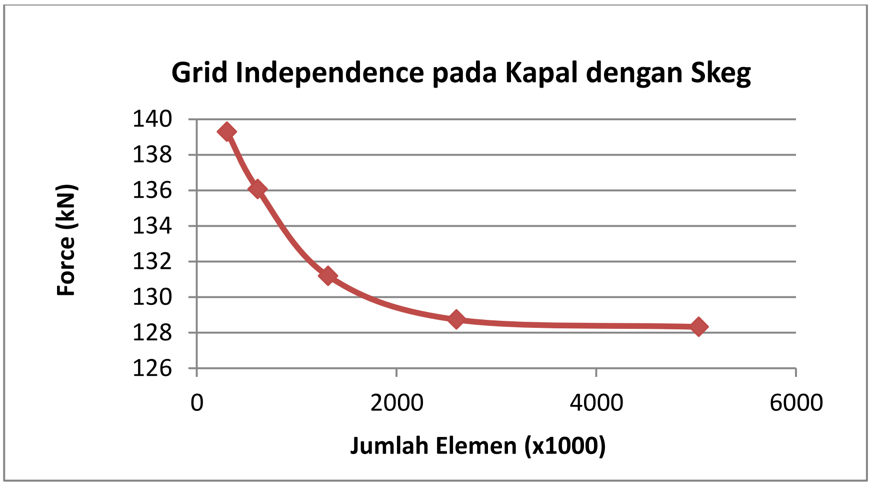


Gambar 5. 9 Pendefinisian *Boundary condition*

Gambar 5.9 merupakan hasil pemodelan yang sudah didefinisikan sesuai dengan ketentuan yang sudah dijelaskan sebelumnya mengenai pendefinisan kondisi batas atau *boundary condition*

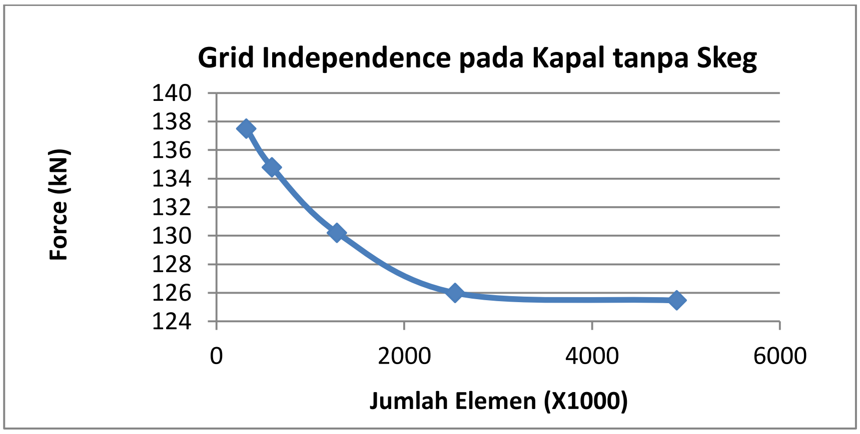
5.3.3 Hasil Simulasi Hambatan Viskos

Prinsip hambatan viskos merupakan metode dengan menerapkan kondisi mono fluida yaitu dengan mengabaikan kenaikan air yang melewati batas sarat sehingga analisa hambatan hanya diterapkan pada bagian lambung kapal dibawah sarat. *Grid Independence* yang yang telah dilakuan pada model uji simulasi kekentalan murni dilakukan pada kecepatan 24 knot untuk hambatan pada kapal. Hasil perubahan hambatan terhadap jumlah elemen disajikan pada Tabel dan grafik



Gambar 5. 10 *Grid Independence* pada kapal dengan Skeg

Gambar 5.10 merupakan Hasil grid Independence dari model kapal dengan skeg . Hasil elemen optimum sebear 2599387 elemen. Jumlah elemen optimum inilah yang akan dijadikan sebagai patokan untuk simulasi baik pada kecepatan lainnya



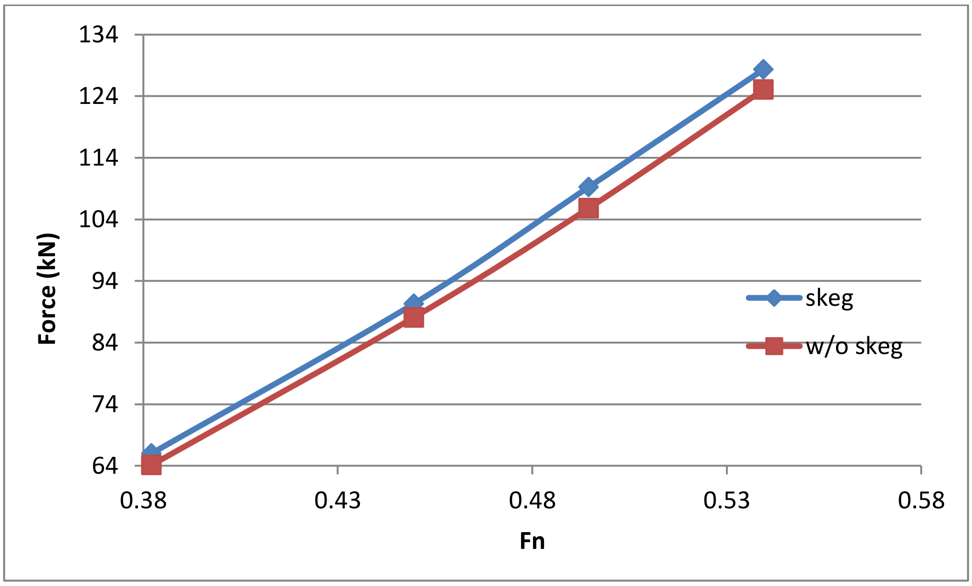
Gambar 5. 11 *Grid Independence* pada kapal tanpa Skeg

Gambar 5.11 merupakan Hasil *grid Independence* dari model kapal dengan skeg . Hasil elemen optimum sebear 2545241 elemen. Jumlah elemen optimum inilah yang akan dijadikan sebagai patokan untuk simulasi baik pada kecepatan lainnya.

Setelah mendapat jumlah elemen optimum melalui proses Grid Independence simulasi dapat dilakukan. Simulasi dilakukan dalam 4 kecepatan yaitu 17 knot, 20 Knot, 22 knot dan 24 knot. Pertimbangan Pemilihan variasi kecepatan adalah dikarenakan saat kecepatan 17 knot kapal sudah masuk *fase planning* yaitu pada froud number 0,4. Berikut merupakan data Froud Number dan hubungannya dengan Hambatan pada simulasi hambatan viskos pada kedua model kapal.

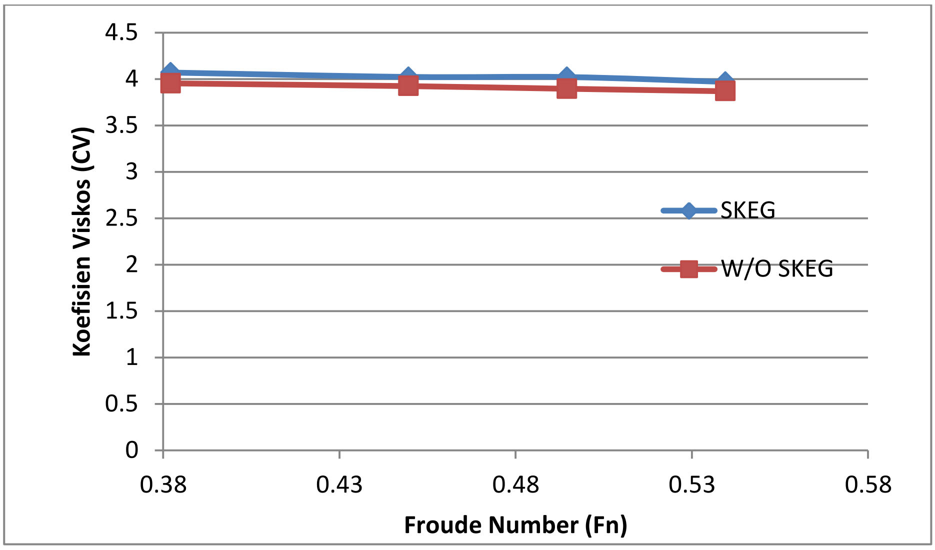
Tabel 5. 3 Perbedaan Hambatan Viskos dua Model Kapal

Fn	Hambatan skeg (N)	Hambatan w/o skeg(N)
0,38	66011,2	64125,9
0,45	90310,8	88090,9
0,49	109242	105809
0,54	128327	125058



Gambar 5. 12 Perbandingan Hambatan viskos pada dua model Kapal

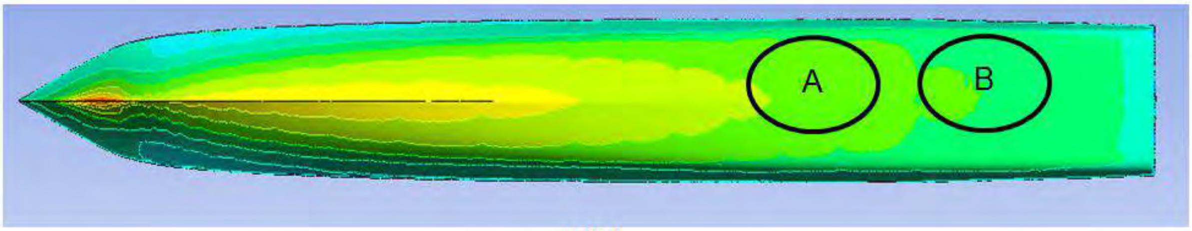
Terlihat pada Tabel 5.5 dan Grafik 5.12 dapat disimpulkan bahwasanya penambahan skeg berpengaruh terhadap bertambahnya hambatan pada kapal. Akan tetapi pada kasus ini hambatan tidak bertambah secara signifikan. Penambahan hambatan pada kapal yang dipasang skeg berkisar 2-3% saja..



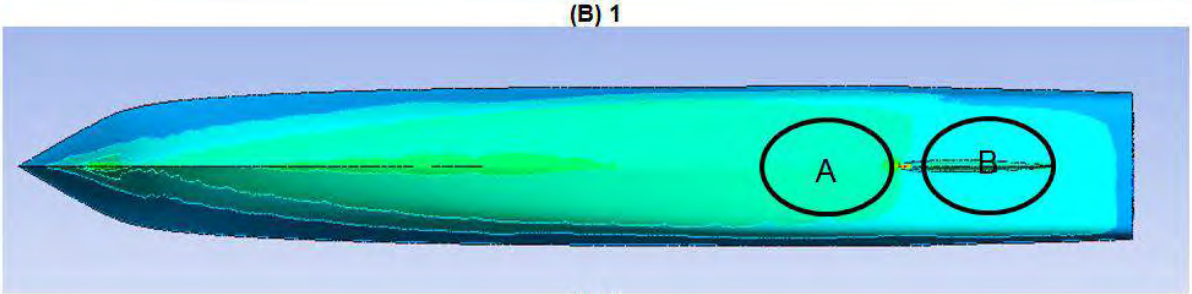
Gambar 5. 13 Perbedaan Koefisien Viskos Kapal dengan dan Tanpa skeg

5.5.4 Perbedaan Kontur Tekanan

Pada sektor tekanan dengan melihat simulasi yang telah dilakukan terlihat beberapa perbedaan kontur pada lambung kapal. Dimana distribusi tekanan memeili perbedaan dilihat dari warna konturnya. Simulasi ini dilakukan pada saat kecepatan 24 knot



(B) 1



(B) 2

Gambar 5. 14 (B)1 Kapal tanpa Skeg dan (B)2 Kapal dengan Skeg

Pada Gambar 5.9 Terlihat distribusi kontur dari kedua variasi lambung kapal. Untuk daerah yang dilingkari A kapal tanpa skeg memiliki tekanan yang lebih rendah yaitu sekitar 14745 Pa sedangkan daerah dilingkari A pada kapal dengan skeg memiliki tekanan sebesar 22434 Pa. Akan tetapi pada daerah dilingkari B kapa tanpa skeg memiliki lebih tinggi dadripada kapal tanpa skeg yaitu 12354 sedangka kapal dengan skeg sekitar 11003.

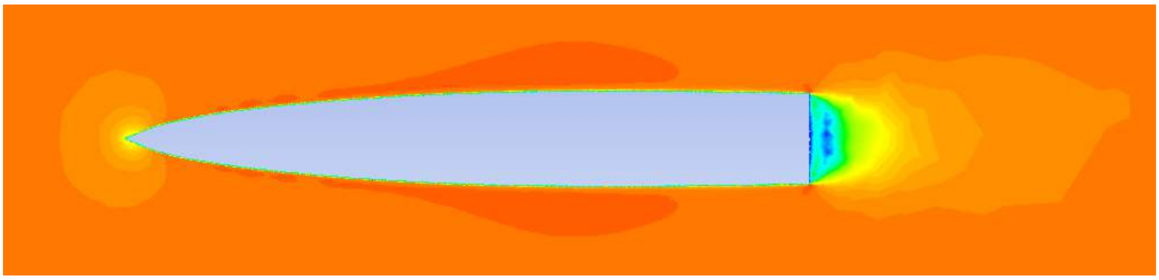
5.3.4 Kecepatan aliran Fluida

Kecepatan aliran fluida sangat berperan penting dalam efisiensi propeller. |Dalam hal ini kecepatan aliran fluida dapat mempengaruhi kecepatan advance. Kecepatan advance merupakan kecepatan aliran fluida yang melewati propeller. Semakin besar Aliran fluida semakin besar pula kecepatan advance (Va) pada propeller. Dengan bertambahnya kecepatan advance maka akan menambah efisiensi propeller. Berikut analisa kecepatan fluida disekitar propeller

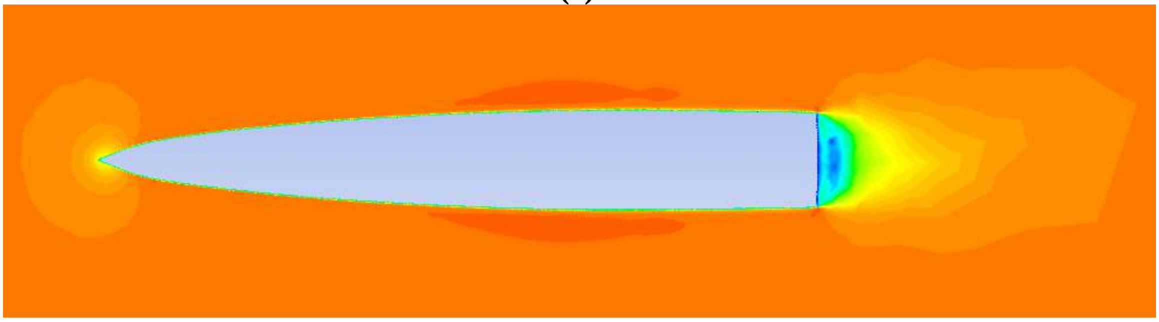
Tabel 5. 4 Perbedaan kecepatan aliran fluida disekitar propeller

Fr	Dengan Skeg	Tanpa Skeg	Selisih (%)
	Va (m/s)	Va (m/s)	
0,38212	8,84	8,8	0,454545
0,449553	10,405	10,36	0,434363
0,494509	11,46	11,3973	0,55013
0,539464	12,4846	12,43	0,43926

Dari tabel 5.6 dapat disimpulkan bahwa penambahan skeg tidak terlaluberpengaruh banyak pada aliran fluida. Rata-rata penambahan kecepatan aliran fluida hanya mencapai 0,4% dari semula. Hal ini juga disinyalir tidak akan berpengaruh banyak terhadap efisiensi propeller. Kecepatan Aliran fluida sangat erat hubungannya dengan tekanan pada fluida itu sendiri. Pada dasarnya fluida bergerak dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Dengan fakta tersebut kontur tekanan fluida dapat dilihat pada Lampiran B.



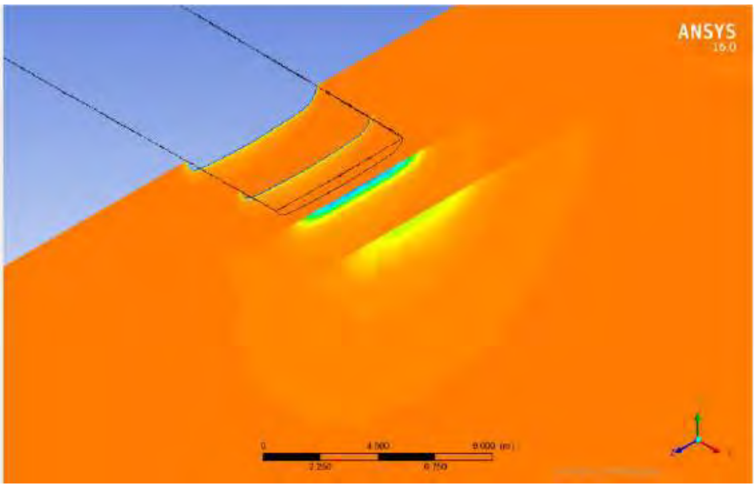
(1)



(2)

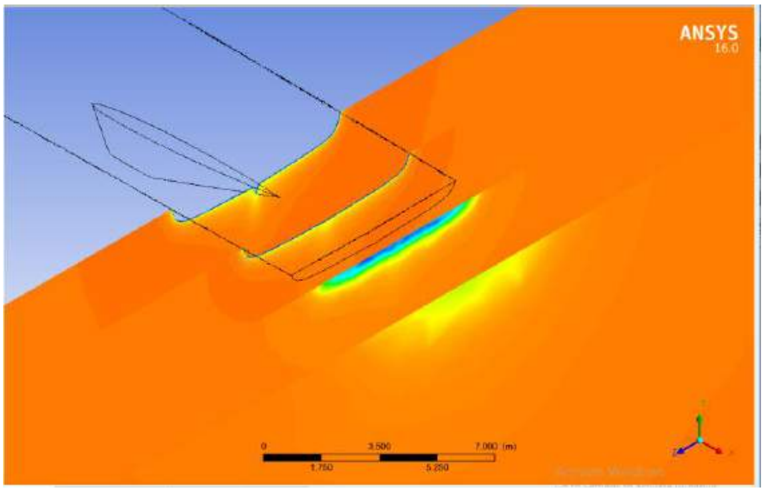
Gambar 5. 15 Perbandingan kontur kecepatan pada sarat kapal (1) Tanpa Skeg; (2)Dengan Skeg

Pada gambar (1) merupakan kontur kecepata aliran fluida pada kapal tanpa skeg. Sedangkan untuk gambar (2) merupakan kontur kecepatan aliran fluida pada kapal yang diberi skeg. Sama dengan kecepatan fluida pada daerah disekitar propeller, kecepatan pada sisi kapal dengan skeg juga lebig tinggi yaitu 9,63 m/s pada kecepatan 17 knot, sedangkan kapal tanpa skeg memiliki kecepatan fluida sebesar 9,61 m/s. Kontur orange yang lebih pekat pada kapal tanpa skeg mengindikasikan wake yang lebih besar. Untuk kontur tekanan fluida terdapat pada lampiran sesuai dengan variasi kecepatan



Gambar 5. 16 Kontur Kecepatan Fluida pada kapal tanpa skeg secara melintang

Pada gambar 5.16 merupakan kontur kecepatan aliran pada kapal tanpa skeg. Dapat dilihat bahwa kontur disekitar lambung lebih cepat dari pada dibelakang lambung. Hal tersebut terindikasi dari warna oranye yang lebih pekat disekitar lambung.



Gambar 5. 17 Kontur kecepatan fluida pada kapal dengan skeg secara melintang

Pada gambar 5.17 merupakan kontur kecepatan aliran pada kapal tanpa skeg. Dapat dilihat bahwa kontur disekitar lambung lebih cepat dari pada dibelakang lambung. Hal tersebut terindikasi dari warna oranye yang lebih pekat disekitar lambung. Dibandingkan dengan kapal tanpa skeg, kapal dengan skeg memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi disekitar skeg. Hal ini mengakibatkan kecepatan aliran yang masuk ke dalam propeller lebih tinngi pada kapal dengan skeg. Sehingga efisiensi propeller semakin tinggi walaupun tidak signifikan. Kecepatan aliran dapat dilihat pada Tabel 5.6. Untuk variasi kecepatan masing-masing kontur fluida terdapat pada lampiran A

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 6
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis perhitungan numerik dengan bantuan perangkat lunak *Ansys Aqwa* dan CFX, terdapat perbedaan antara kapal dengan dan tanpa skeg dalam hal olah gerak kapal dan hambatan. Dalam hal olah gerak kapal skeg dapat mereduksi gerakan rolling hingga 7%. Sedangkan dalam hal hambatan skeg meningkatkan hambatan sebanyak 2-3%.

1. Berdasarkan data yang didapat dari hasil simulasi CFD maka dapat dikatakan penambahan skeg pada bagian belakang kapal dapat mereduksi gerkan rolling pada kapal sebanyak 7% pada sudut gelombang 90º dan 5 % pada sudut gelombang 135 º dan 45 º

2. Gerakan *Roll* bertambah besar walaupun tidak signifikan seiring dengan meningkatnya kecepatan pada sudut 90º dan berkurang dengan tidak signifikan pada sudut selain 90º

3. Berdasarkan data yang didapat dari hasil simulasi CFD maka dapat disimpulkan dengan penambahan skeg pada bagian belakang kapal menambah hambatan viskos kapal sebanyak 2-3% dari nilai hambatan semula

4. Dengan pertimbangan bahwa skeg dapat mereduksi gerakan rolling sebanyak 7% dan menambah hambatan 2-3%, maka pemasangan skeg tetap dipertimbangkan

5.2 Saran

Variasi pada Tugas Akhir ini masih terlalau sederhanan. Adapun saran dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variasi bentuk skeg dengan luasan yang sama diberbanyak sehingga didapat bentuk skeg yang optimal

2. Dilakukan analisa pengaruh skeg terhadap manuver dan efisiensi propeller kapal

3. Dilakukan analisa rasio wetted area skeg dan wetted area lambung kapal untuk mendapatkan hasil optimum dengan pertimbangan *maneuver, Motion, Eficiency,* ataupun *Resistance*

LAMPIRAN

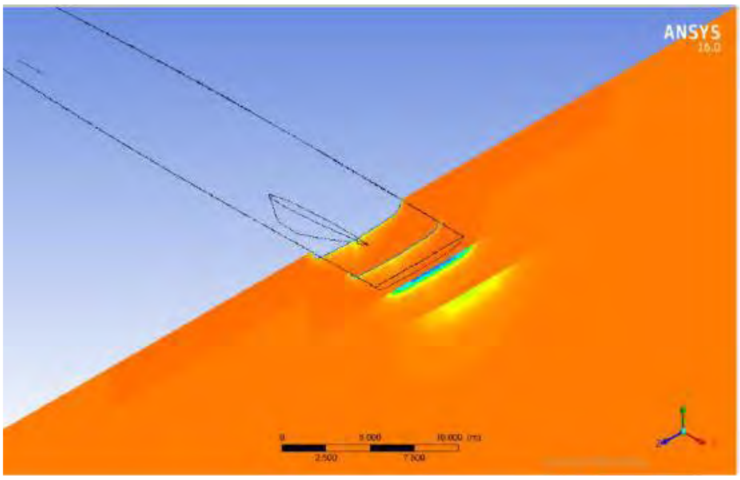
Daftar lampiran terdiri dari:

- Lampiran A : kontur kecepatan aliran fluida pada simulasi viskos
- Lampiran B : Kontur tekanan fluida pada simulasi viskos

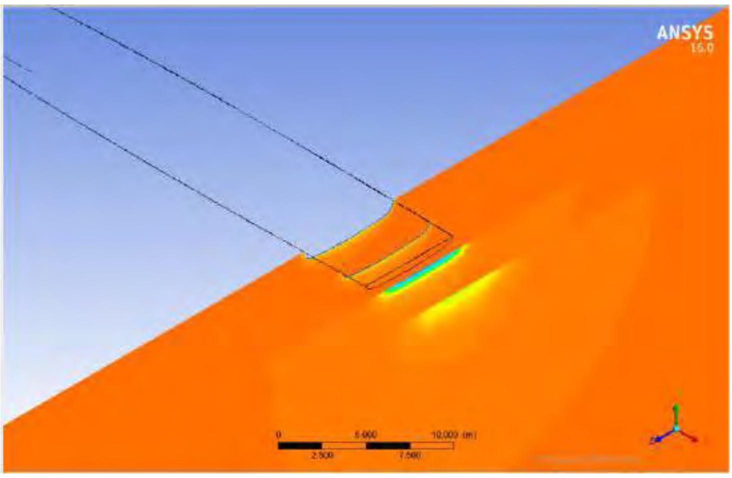
LAMPIRAN A
KONTUR KECEPATAN FLUIDA

Kecepatan aliran fluida merupakan salah satu pertimbangan dalam mendesain lambung kapal. Aliran fluida yang berada disekitar lambung diharapkan memiliki kecepatan tinggi dikarenakan akan mempengaruhi kecepatan aliran fluida yang melewati propeller (Speed of Advance) yang mana akan menambah efisiensi dari propeller tersebut. Berikut lampiran kecepatan aliran fluida sesuai variasi kecepatan yang ditentukan :

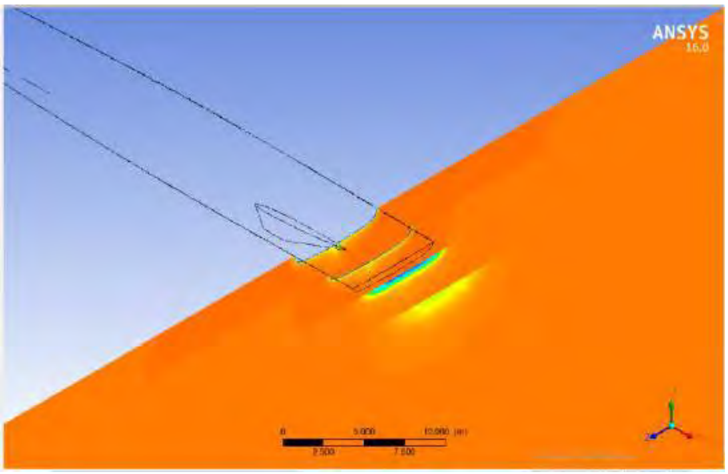
Lampiran A. 1 17 Knot Dengan Skeg



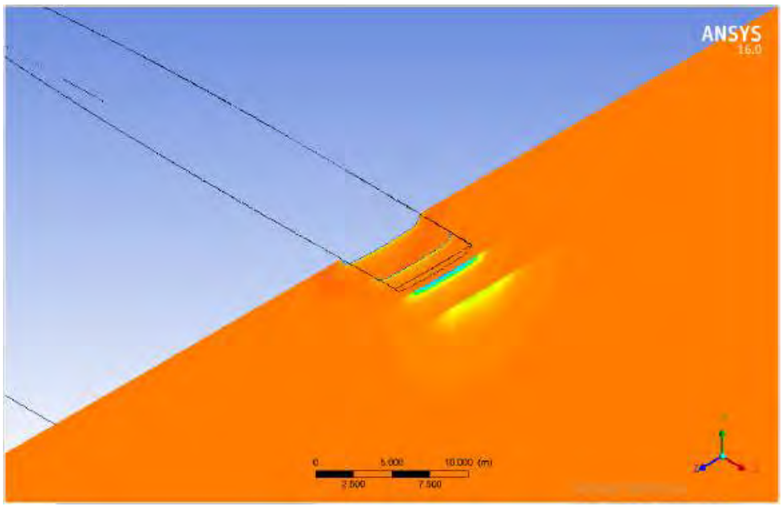
Lampiran A. 2 17 Knot Tanpa Skeg



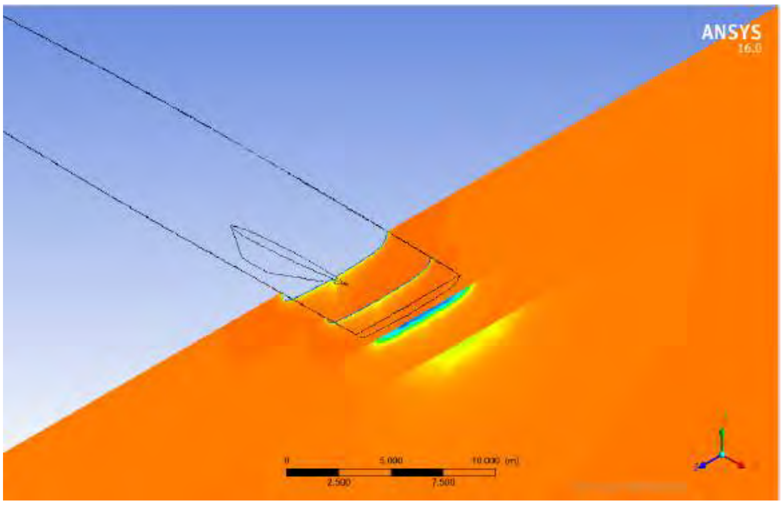
Lampiran A. 3 20 Knot Dengan Skeg



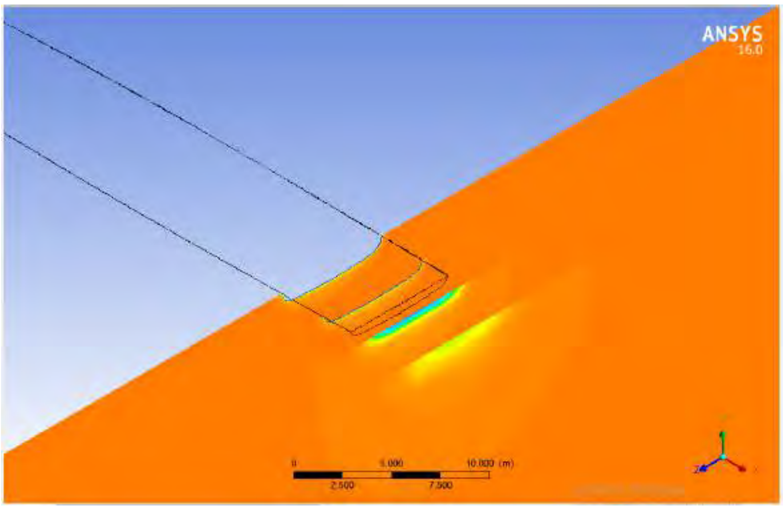
Lampiran A. 4 20 Knot TanpaSkeg



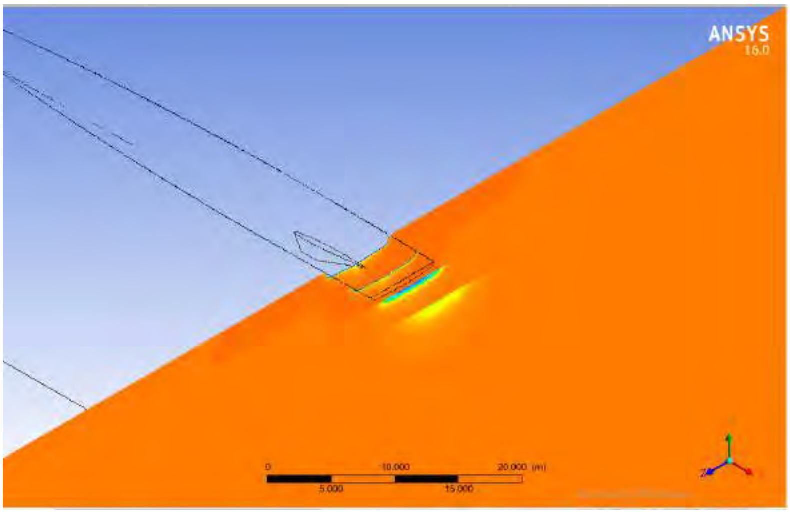
Lampiran A. 5 22 Knot Dengan Skeg



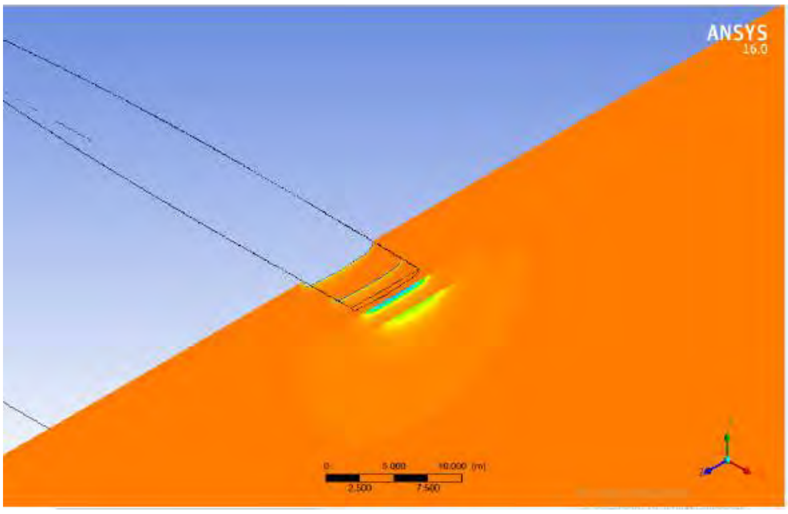
Lampiran A. 6 22 Knot Tanpa Skeg



Lampiran A. 7 24 Knot Dengan Skeg



Lampiran A. 8 24 Knot Tanpa Skeg

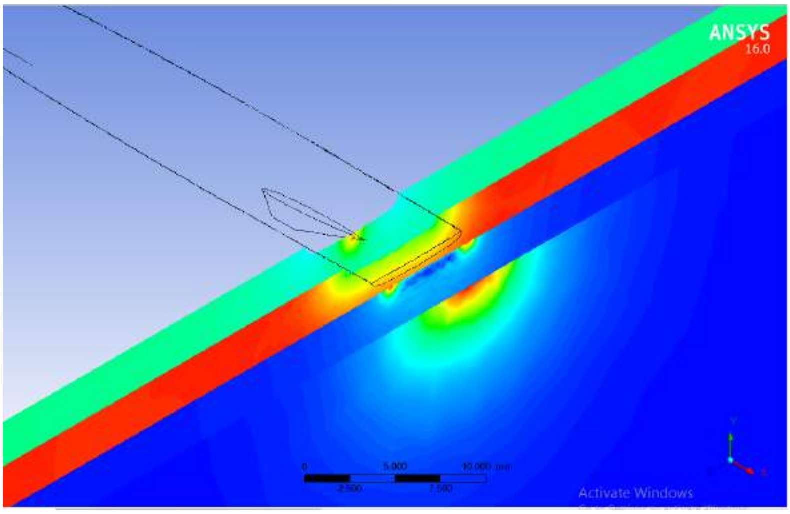


LAMPIRAN B

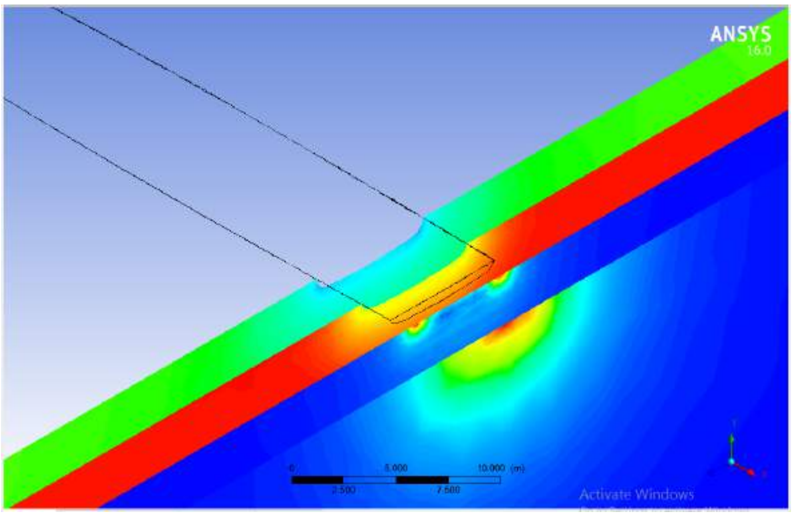
KONTUR TEKANAN FLUIDA

Tekanan pada dasarnya memberi efek pada aliran fluida di sekitar lambung kapal. Dasar dari pemikirannya adalah bahwa air bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Dengan penambahan skeg maka aliran disekitarnya akan bertekanan tinggi sehingga dapat menaikkan aliran fluida

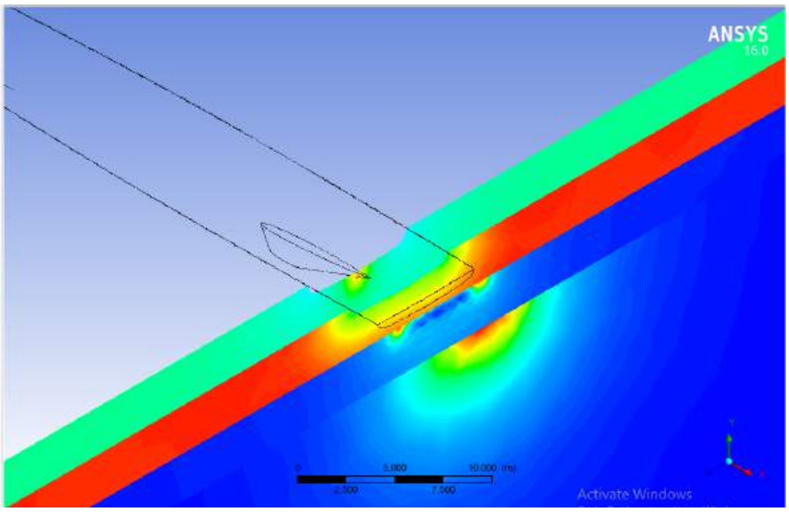
Lampiran B. 1 17 Knot Dengan Skeg



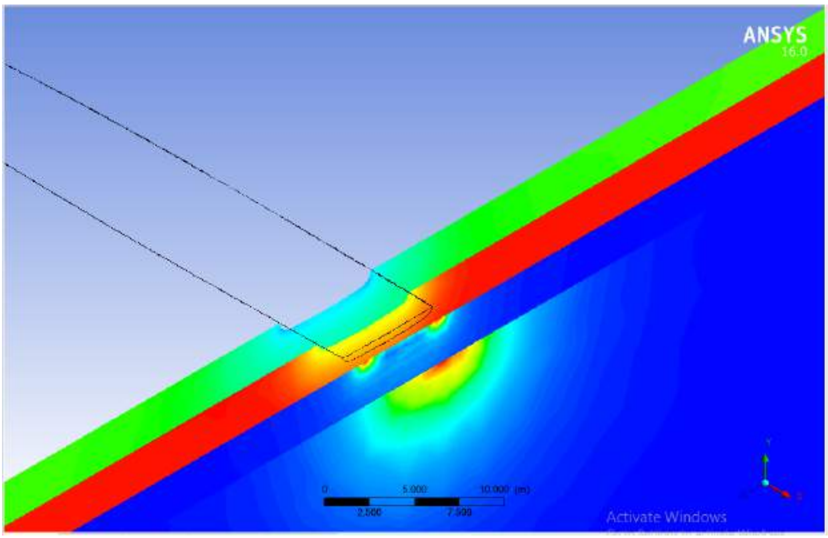
Lampiran B. 2 17 Knot TanpaSkeg



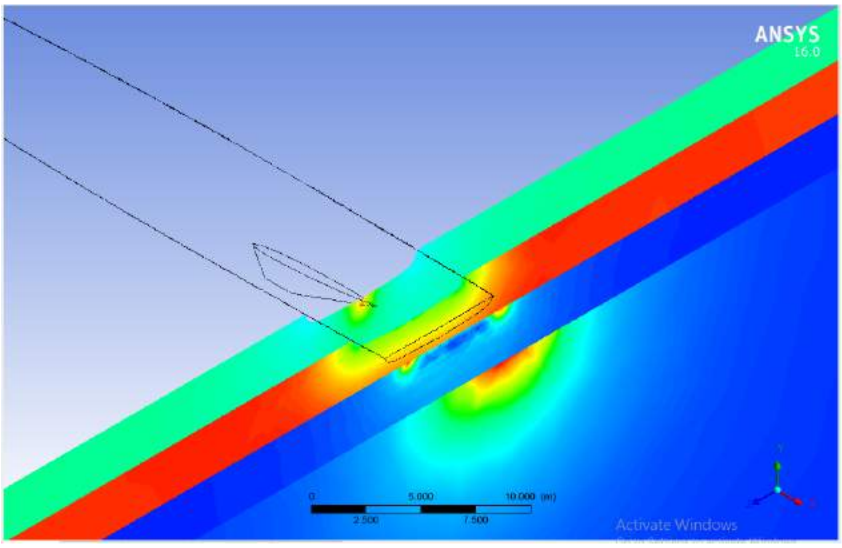
Lampiran B. 3 20 Knot Dengan Skeg



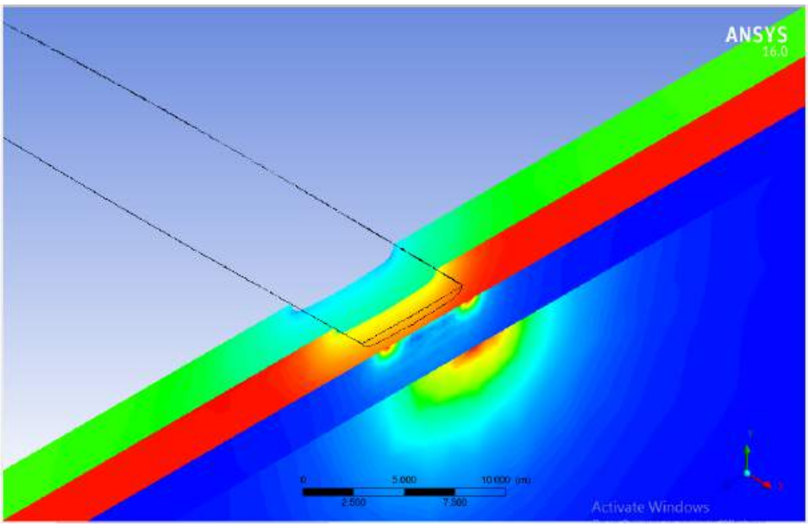
Lampiran B. 4 20 Knot Tanpa Skeg



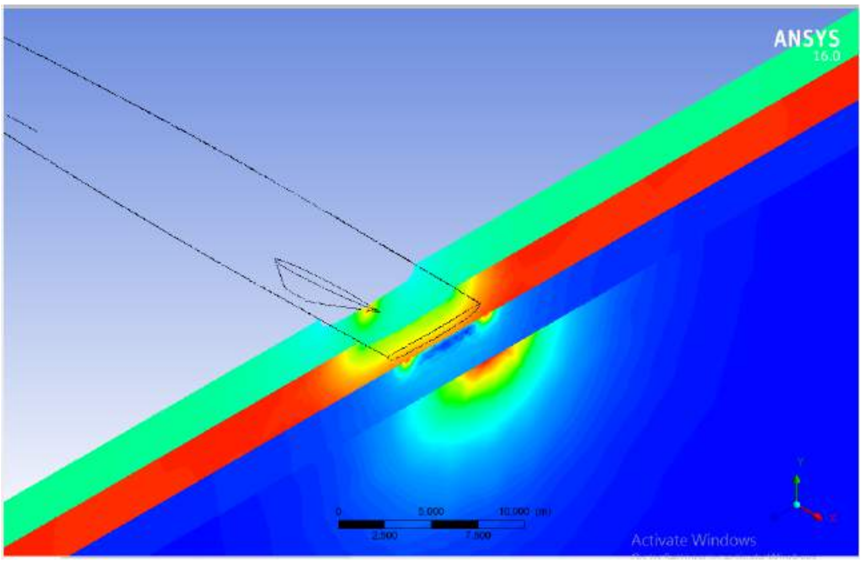
Lampiran B. 5 22 Knot Dengan Skeg



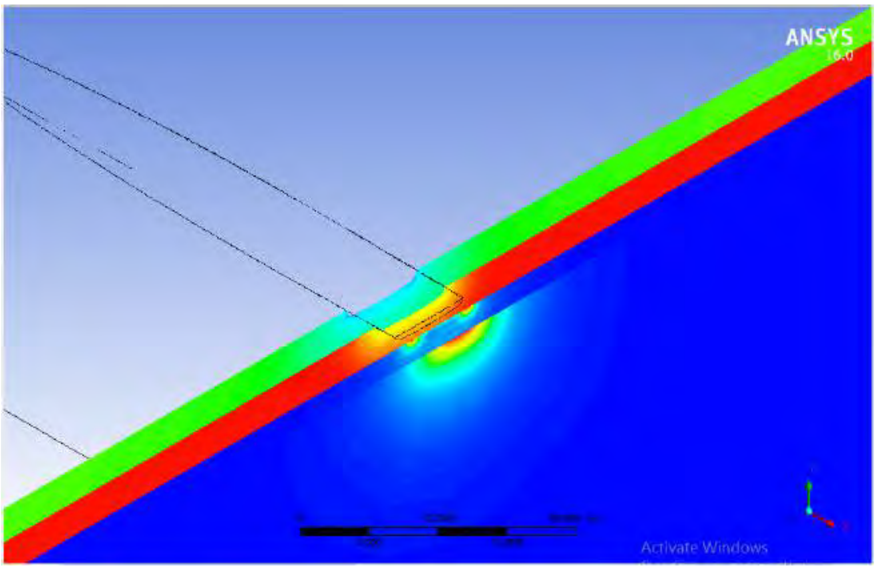
Lampiran B. 6 22 Knot Tanpa Skeg



Lampiran B. 7 24 Knot Dengan Skeg



Lampiran B. 8 24 Knot Dengan Skeg



BAB 6
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis perhitungan numerik dengan bantuan perangkat lunak *Ansys Aqwa* dan CFX, terdapat perbedaan antara kapal dengan dan tanpa skeg dalam hal olah gerak kapal dan hambatan. Dalam hal olah gerak kapal skeg dapat mereduksi gerakan rolling hingga 7%. Sedangkan dalam hal hambatan skeg meningkatkan hambatan sebanyak 2-3%.

1. Berdasarkan data yang didapat dari hasil simulasi CFD maka dapat dikatakan penambahan skeg pada bagian belakang kapal dapat mereduksi gerkan rolling pada kapal sebanyak 7% pada sudut gelombang 90º dan 5 % pada sudut gelombang 135 º dan 45 º

2. Gerakan *Roll* bertambah besar walaupun tidak signifikan seiring dengan meningkatnya kecepatan pada sudut 90º dan berkurang dengan tidak signifikan pada sudut selain 90º

3. Berdasarkan data yang didapat dari hasil simulasi CFD maka dapat disimpulkan dengan penambahan skeg pada bagian belakang kapal menambah hambatan viskos kapal sebanyak 2-3% dari nilai hambatan semula

4. Dengan pertimbangan bahwa skeg dapat mereduksi gerakan rolling sebanyak 7% dan menambah hambatan 2-3%, maka pemasangan skeg tetap dipertimbangkan

5.2 Saran

Variasi pada Tugas Akhir ini masih terlalau sederhanan. Adapun saran dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variasi bentuk skeg dengan luasan yang sama diberbanyak sehingga didapat bentuk skeg yang optimal

2. Dilakukan analisa pengaruh skeg terhadap manuver dan efisiensi propeller kapal

3. Dilakukan analisa rasio wetted area skeg dan wetted area lambung kapal untuk mendapatkan hasil optimum dengan pertimbangan *maneuver, Motion, Eficiency,* ataupun *Resistance*

DAFTAR PUSTAKA

Bambang, T.(2005). Kajian Teknis Penambahan Skeg pada Kapal Patroli Tipe 36 m dengan Metode CFD. Surabaya : Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK, ITS.

Ali, B (2004). Roll Damping characteristic of Fishing Boats with and without Drift motion. Department of Marine System Engineering Graduate School of Engineering, .Sakai : Osaka Prefecture University

Bhattacharyya, Rameswar. (1978). *Dynamics of Marine Vehicle.* New York: John Wiley and Sons.

Hull Engineering Department.(2000). *Wamit-Moses Hydrodynamic Analysis Comparison Study*. J. Ray McDermott

Ikeda Y (2004). Prediction Methods of Roll Damping of Ships and Their Application to Determine Optimum stabilization Devices. Department of Marine System Engineering Graduate School of Engineering, .Sakai : Osaka Prefecture University

Insel, M dan Molland, A F (1992), *An Investigation into the Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans*, Transactions of the Royal Institution of Naval Architects (RINA), Vol. 134.

Kwon,C. S. (2005) Analysis of Factor Affecting Extreme Ship Motion in Following and Quartering Seas. Seoul : Dept of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University

Nam Kyum Im (2015). The influence of skegs on course stability of a barge with a different configuration. Mokpo : Division of Marine Transportation System, Mokpo Maritime University, Jeonnam 530-729, Republic of Korea

Oni, R., Utama, I.K.A.P, (2015). Analisa Pengaruh Bentuk Lambung Axe Bow Pada Kapal High Speed Craft Terhadap Hambatan Total.

Pesman, E., Bayraktar, D.,&Taylan, M., (2007). Influence of Damping on the Roll Motion of Ship. The2nd International Conference on Marine Research and Transprtation

Sutiyo (2014). Studi Pengaruh Interferensi Terhadap Hambatan pada Kapal Katamaran Simetri Melalui CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS). Surabaya : Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS.

Utama, I.K.A.P dan Hantoro R. 2010. "Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan ANSYS CFX", ITS Surabaya.

Vugts, J.H (1970). The hydrodynamic forces and ship motions in waves. TU Delft. Waltman

Yarrarapu, S. K. (2015). Significance of Skeg in Course Stability using Computational Fluid Dynamics. Visakhapatnam : Andhra University College of Engineering

LAMPIRAN

Daftar lampiran terdiri dari:

- Lampiran A : kontur kecepatan aliran fluida pada simulasi viskos
- Lampiran B : Kontur tekanan fluida pada simulasi viskos

BIODATA PENULIS

Penulis lahir di Balikpapan, Kalimantan Timur pada 17 Nopember 1993. Penulis merupakan anak pertama Bapak Heroe W dan Ibu Asmarini. Pendidikan formal penulis terletak di daerah Bekasi yaitu TK Pipit Sejahtera. Setelah lulus dari TK Penulis berkesempatan mengenyam pendidikan dasar di SD Jaka Setia 7 Bekasi selama 3 tahun (2000-2003). Setelah naik ke tingkat 4 penulis menempuh pendidikan di SD Muhammadiyah 1 Kota Pontianak, Kalimantan barat selama 3 tahun (2003-2006). Setelah lulus Sekolah Dasar Penulis bersekolah di SMP Negri 1 Pamulang, Tangerang Selatan (2006-2009). Setelah lulus Sekolah Menengah penulis melanjutkan studi ke jenjang yang lebih tinggi di SMAN 2 Tangerang Selatan (Moonzher) selama 3 tahun (2009-2012). Penulis diterima di Jurusan Teknik Perkapalan lewat jalur SNMPTN tulis pada tahun 2012

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di berbagai organisasi Jurusan maupun Kampus. Pada tahun 2013-2014 Penulis aktif menjadi anggota JMMI ITS sebagai staff Dana Usaha. Di Himpunan Jurusan penulis aktif sebagai staff Kajian Strategis Teknik Perkapalan “Sirine dari Kedalaman”. Pada rentang tahun itu juga penulis menjadi Steering Comitte (SC) dari acara Gebyar Manarul Ilmi 2013. Pada tahun 2013-2014 Penulis aktif sebagai ketua departemen Syiar Lembaga Dakwah Jurusan Assafiinah Teknik Perkapalan dan Menjadi Staff Ahli Kajian Strategis Jurusan. Selama berkuliah penulis pernnah mengikuti pelatihan dari Fakultas dan LDK. Penulis sedikit banyak menguasai software Maxsurf, Ansys Aqwa dan Ansys CFX