



TUGAS AKHIR - MO 091336

**ANALISIS OPERABILITAS CRANE VESSEL SAAT
LOWERING RISER SUPPORT STRUCTURE ARCH DI
SPLASH ZONE BERBASIS TIME DOMAIN**

ARIFTA YAHYA

NRP. 4310 100 100

Dosen Pembimbing:

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

Ir. Murdjito, M.Sc. Eng.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Tekonolgi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2014



FINAL PROJECT - MO 091336

**OPERABILITY ANALYSIS OF CRANE VESSEL IN
LOWERING RISER SUPPORT STRUCTURE ACRH AT
SPLASH ZONE BASED ON TIME DOMAIN**

ARIFTA YAHYA

REG. 4310 100 100

Supervisors:

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

Ir. Murdjito, M.Sc. Eng.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2014

**ANALISIS OPERABILITAS CRANE VESSEL SAAT
LOWERING RISER SUPPORT STRUCTURE ARCH DI SPLASH
ZONE BERBASIS TIME DOMAIN**

Nama Mahasiswa : Arifta Yahya
NRP : 4310 100 100
Jurusan : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D
Ir. Murdjito, M.Sc. Eng

ABSTRAK

Tugas Akhir ini membahas kajian kemampuan operasi (operabilitas) *Crane Vessel* dalam operasi menurunkan struktur bawah laut saat melewati muka air yang bergelombang (*splash zone*). Simulasi numerik dilakukan selama 3 jam untuk merefleksikan perilaku dinamis kapal dan obyek. Obyek yang diangkat dan diturunkan melewati muka air adalah *Riser Support Structure* (RSS) yang memiliki dimensi 127.3x20x11 m dan berat 1604 ton. Berdasarkan berat beban yang melebihi 1-2% displasemen kapal (displasemen kapal=78489 ton), operasi tersebut tergolong dalam *heavy lift operation*. *Crane Vessel* disebut mampu beroperasi jika memenuhi kriteria operasi. Hasil respon yang dievaluasi meliputi gerakan kapal, gerakan obyek dan *tension sling*. Harga *tension sling* harus memenuhi kriteria yang disyaratkan. Didapatkan gerakan signifikan kapal terbesar untuk gerakan *heave* 1.0m, *roll*=2.2°, dan *pitch* 0.82° yang diakibatkan gelombang acak $H_s=3.75$ m dan untuk gerakan signifikan vertikal obyek tidak memenuhi kriteria yaitu 1.2m akibat gelombang acak $H_s=2.75$ m. Untuk *tension* signifikan akibat $H_s=3.75$ terjadi kegagalan pada *sling* CS1 karena memiliki *Safety Factor* = 3.91 ($SF < 4$) saat posisi beban di muka air. Pada saat beban tercelup air, *sling* A1 mengalami kekenduran dimana harga minimum signifikan *tension*=492kN tidak memenuhi kriteria DNV (minimum >10% berat tercelup atau $\min > 610.3$ kN). Didapat batas tinggi gelombang signifikan yang menyebabkan *downtime* sebesar $H_s=2.00$ m dan harga operabilitas *crane vessel* dikorelasikan data sebaran gelombang Laut Natuna adalah 80.34%.

Kata Kunci: Operabilitas, *crane vessel*, *lowering*, *splash zone*

OPERABILITY ANALYSIS OF CRANE VESSEL IN LOWERING RISER SUPPORT STRUCTURE ARCH AT SPLASH ZONE BASED ON TIME DOMAIN

Name : Arifta Yahya
Reg : 4310 100 10
Department : Ocean Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Supervisors : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D
Ir. Murdjito, M.Sc. Eng

ABSTRACT

This Final Project study on the operability of Crane Vessel when lowered subsea structure passing through the splash zone. The lowering stage is divided in two step, structure above water level and structure is submerged below water level. Numerical simulation performed to investigate the coupling effect between the load and the vessel in presence of wave. The structure which lowered through splash zone namely Riser Support Structure (RSS,) RSS has dimension of 127.3x20x11m and weight of 1604 ton. Based on the ratio between load weight and the vessel displacement is higher than 1-2%, the operation is called heavy lift operation. Crane Vessel is working safely when the responses fulfill the operational limitation criteria. These responses which evaluated are vessel motion, load motion and the hoisting wire tension. The result explain that maximum significant vessel motion in vertical mode, heave=1.0m, roll=2.2° and pitch=0.82° whilst no operational issue comply with the operational limit. Whereas the vertical motion of the load =1.2 m (due to significant wave height, Hs=2.75m) doesn't comply the operational criteria. The tension of hoisting wire due to Hs=3.75m, fail occur at Crane Sling 1 because the Safety Factor (SF) =3.91 (SF less than 4.0) when the load is above the water level. When the load is submerged below water level, slack sling occur at sling A1 with significant minimum tension=455kN because the buoyancy already developed. DNV required minimum sling tension higher than 10% of submerged weight of the load (min significant tension > 610,3 kN) to avoid snap load due to slack. Finally, conclude that limiting significant wave height is 2.00 m and the operability of crane vessel correlate with wave scatter diagram of Natuna Sea is 80.34%.

Keywords: Operability, crane vessel, lowering, splash zone

**ANALISIS OPERABILITAS CRANE VESSEL SAAT
LOWERING RISER SUPPORT STRUCTURE ARCH DI SPLASH
ZONE BERBASIS TIME DOMAIN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ARIFTA YAHYA

NRP. 4310 100 100

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

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

2. Ir. Murdjito, M.Sc. Eng.....(Pembimbing 2)

SURABAYA, 11 AGUSTUS 2014

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan dengan baik. Judul yang diambil pada Tugas Akhir ini adalah “**Analisis Operabilitas Crane Vessel saat Lowering Riser Support Structure Arch di Splash Zone Berbasis Time Domain**”.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tujuan akhir dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yaitu untuk mengetahui besarnya operabilitas dari *Crane Vessel* saat menurunkan obyek di muka air, selain itu untuk menghitung batas tinggi gelombang signifikan agar instalasi dapat berlangsung secara aman.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu masukan dalam bentuk saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun sangat penulis harapkan sebagai penyempurnaan untuk penulisan selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi perkembangan dalam bidang teknik kelautan, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, Agustus 2014

Arifta Yahya

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG MASALAH	1
1.2. PERUMUSAN MASALAH	3
1.3. TUJUAN	3
1.4. MANFAAT	3.
1.5. BATASAN MASALAH.....	3
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.2. DASAR TEORI.....	8
2.2.1. <i>Offshore Floating Crane</i>	8
2.2.2. <i>Couple Dynamic Motion</i>	8
2.2.3. Spektrum Gelombang	11
2.2.4. <i>Response Amplitude Operator</i>	13
2.2.5. Penurunan Melewati Daerah Gelombang	13
2.2.6. Berat Statis	13
2.2.7. Gaya Hidrodinamis	14
2.2.8. Gaya Inersia	14

2.2.9. Gaya Apung.....	15
2.2.10. Gaya Drag	15
2.2.11. Beban Akibat Slamming.....	16
2.2.12. Teori Difraksi 3 Dimensi.....	17
2.2.13. <i>Free Body Diagram</i>	18
2.2.14. Kriteria Operabilitas	19
2.2.15. Operabilitas	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1. Metode Penelitian	22
3.2. Pengumpulan Data.....	24
3.2.1. Data Struktur.....	24
3.2.2. Data Lingkungan.....	28
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1. Skenario Pengoperasian	29
4.2. Pemodelan Kapal Instalasi AEGIR	30
4.3. Karakteristik Gerakan Kapal di Gelombang Reguler.....	33
4.3.1. Karakteristik gerakan moda Vertikal.....	34
4.3.2. Karakteristik gerakan mode Horizontal	36
4.4. Pemodelan RSS Arch.....	40
4.4.1. Perhitungan Berat RSS saat tercelup air	41
4.5. Pemodelan kapal termasuk konfigurasi beban	43
4.6. Respon Gerakan Kapal dan Obyek akibat Gelombang Acak	47
4.6.1. Respon gerakan Kapal dengan obyek di <i>splash zone</i> yang bergelombang acak	48
4.6.2. Respon gerakan Kapal kondisi #1 dan kondisi #2.....	50
4.6.3. Respon Gerakan Obyek kondisi #1 dan kondisi #2.....	60
4.6.4. Pengaruh Posisi Beban Kondisi #1 dan Kondisi #2 terhadap frekuensi gerakan Kapal.....	62
4.6.5. Pengaruh Massa Tambah, Buoyancy, Redaman pada Kondisi #1 dan Kondisi #2 terhadap gerakan Kapal dan Objek.....	63

4.6.6. Kenaikan Gerakan Kapal dan Obyek sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan.....	68
4.7. Cek Freeboard Kapal akibat terjadinya heel	72
4.8. Cek Freeboard Kapal akibat terjadinya trim	73
4.9. Tension Sling akibat gelombang acak	74
4.9.1. Signifikan <i>tension</i> sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan	76
4.9.1.1. Harga Signifikan Tension untuk Kondisi #1	76
4.9.1.2. Harga Signifikan Tension untuk Kondisi #2.....	79
4.10 Perhitungan Operabilitas.....	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	85
5.1 KESIMPULAN	85
5.2 SARAN	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Amplitudo dan tinggi gelombang pada spektra.....	11
Tabel 2.2 Kriteria batas untuk mengevaluasi operabilitas.....	19
Tabel 3.1 Data Karakteristik Aegir.....	24
Tabel 4.1 Luaran Hidrostatik Model	32
Tabel 4.2 RAO Tertinggi dan frekuensi alami gerakan kapal.....	40
Tabel 4.3 Data <i>Riser Support Structure Arch</i>	41
Tabel 4.4 Harga <i>Tension Winch</i>	43
Tabel 4.5 Data Konfigurasi <i>Rigging</i>	43
Tabel 4.6 Perubahan titik berat kapal kondisi #1 dan kondisi #2.....	50
Tabel 4.7 Periode dan frekuensi gerakan Heave Kapal akibat gelombang acak Hs=3.75	52
Tabel 4.8 Posisi titik berat kapal akibat adanya beban kondisi #1 kondisi #2.....	53
Tabel 4.9 Periode dan frekuensi gerakan <i>Roll</i> Kapal akibat gelombang Hs=3.75 m.....	56
Tabel 4.10 Periode dan frekuensi gerakan <i>Pitch</i> Kapal akibat gelombang Hs=3.75 m.....	59
Tabel 4.11 Data Karakteristik Sling.....	75
Tabel 4.12 Harga signifikan tension dan <i>safety factor</i> untuk kondisi #1	78
Tabel 4.13 Harga signifikan tension dan <i>safety factor</i> untuk kondisi #2	81
Tabel 4.14. Tinggi gelombang signifikan yang menyebabkan <i>downtime</i>	82

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 <i>Tower URF dan Riser Support Structure Arch</i>	1
Gambar 1.2 <i>Ilustrasi Kapal Instalasi AEGIR saat Lowering Riser Support Structure Arch</i>	2
Gambar 2.1 Beberapa metode instalasi <i>subsea structure</i>	6
Gambar 2.2 Moda Gerak <i>Crane Vessel</i> dan Objek yang.....	8
Gambar 2.3 Diagram Gaya yang Bekerja pada Sistem	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (berlanjut)	21
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan).....	22
Gambar 3.3 <i>General Arrangement</i> Kapal AEGIR.....	25
Gambar 3.4 <i>Drawing RSS Arch</i> (tampak depan)	25
Gambar 3.5 <i>Drawing RSS Arch</i> (tampak samping)	26
Gambar 3.6 <i>Drawing RSS Arch</i> (tampak atas)	26
Gambar 3.7 <i>Lifting Arrangement</i>	27
Gambar 3.8 Data Sebaran gelombang Belanak <i>Field</i> , Laut Natuna	28
Gambar 4.1 Variasi posisi objek saat berada di <i>splash zone</i>	29
Gambar 4.2 Arah pembebanan gelombang (mengikuti Orcaflex).....	30
Gambar 4.3 Pemodelan lambung menggunakan Maxsurf.....	31
Gambar 4.4 Model Lambung AEGIR pada MOSES (a) tampak isometri, (b) tampak samping, (c) tampak depan, (d) tampak atas	33
Gambar 4.5 <i>RAO</i> gerakan <i>heave</i> kapal kondisi <i>free floating</i>	34
Gambar 4.6 <i>RAO</i> gerakan <i>roll</i> kapal kondisi <i>free floating</i>	35
Gambar 4.7 <i>RAO</i> gerakan <i>pitch</i> kapal kondisi <i>free floating</i>	36
Gambar 4.8 <i>RAO</i> gerakan <i>surge</i> kapal kondisi <i>free floating</i>	37
Gambar 4.9 <i>RAO</i> gerakan <i>sway</i> kapal kondisi <i>free floating</i>	38
Gambar 4.10 <i>RAO</i> gerakan <i>yaw</i> kapal kondisi <i>free floating</i>	39
Gambar 4.11 Model RSS Arch pada Orcaflex Tampak Isometri	41
Gambar 4.12 Model RSS Arch tercelup air dengan diangkat 4 <i>winch</i>	41
Gambar 4.13 Konfigurasi <i>rigging</i> Kapal saat mengangkat beban RSS	

	(tampak belakang)	44
Gambar 4.14	Konfigurasi <i>rigging</i> Kapal saat mengangkat beban RSS (tampak samping).....	45
Gambar 4.15	Model Kapal Instalasi termasuk Konfigurasi beban Tampak samping (b) tampak belakang (c) tampak isometri	46
Gambar 4.16	Gerakan Kapal dan Objek (a) objek berada di atas air; (b) objek tercelup air.....	47
Gambar 4.17	Rekamana gelombang acak dengan $H_s=3.75\text{m}$	48
Gambar 4.18	Model Kapal dengan objek (RSS) di muka air (kondisi #1)	49
Gambar 4.19	Model Kapal dengan objek (RSS) tercelup air (kondisi #2)	49
Gambar 4.20	Gerakan <i>heave</i> kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 0°	50
Gambar 4.21	Gerakan <i>heave</i> kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 180°	51
Gambar 4.22	Gerakan <i>heave</i> kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 45°	51
Gambar 4.23	Gerakan <i>heave</i> kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 90°	52
Gambar 4.24	Gerakan <i>roll</i> kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 0°	53
Gambar 4.25	Gerakan <i>roll</i> kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 180°	54
Gambar 4.26	Gerakan <i>roll</i> kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 45°	55
Gambar 4.27	Gerakan <i>roll</i> kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 90°	55
Gambar 4.28	Gerakan <i>pitch</i> kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 0°	57
Gambar 4.29	Gerakan <i>pitch</i> kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 180°	57

Gambar 4.30	Gerakan <i>pitch</i> kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 45°	58
Gambar 4.31	Gerakan <i>pitch</i> kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 90°	59
Gambar 4.32	Gerakan <i>vertikal objek</i> akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 90°	60
Gambar 4.33	Gerakan <i>translasi obyek terhadap sumbu-x</i> akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 90°	61
Gambar 4.34	Gerakan <i>translasi obyek terhadap sumbu-y</i> akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 90°	62
Gambar 4.35	Ilustrasi perbedaan volume benda tercelup kondisi #1 dan kondisi #2	66
Gambar 4.36	Ilustrasi perbedaan gaya gelombang yang bekerja pada benda tercelup kondisi #1 dan kondisi #2	67
Gambar 4.37	Kenaikan gerakan <i>heave</i> kapal sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan.....	68
Gambar 4.38	Kenaikan gerakan <i>roll</i> kapal sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan.....	69
Gambar 4.39	Kenaikan gerakan <i>pitch</i> kapal sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan.....	70
Gambar 4.40	Kenaikan gerakan vertikal objek sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan.....	71
Gambar 4.41	<i>Heel</i> yang terjadi pada Kapal	72
Gambar 4.42	<i>Trim</i> yang terjadi pada Kapal	73
Gambar 4.43	Definisi sudut yang dibentuk oleh sling	75
Gambar 4.44	Harga Minimum signifikan tension sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan kondisi #1	76
Gambar 4.45	Harga maximum signifikan tension sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan kondisi #1	77
Gambar 4.46	Harga Minimum signifikan tension sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan kondisi #2	79

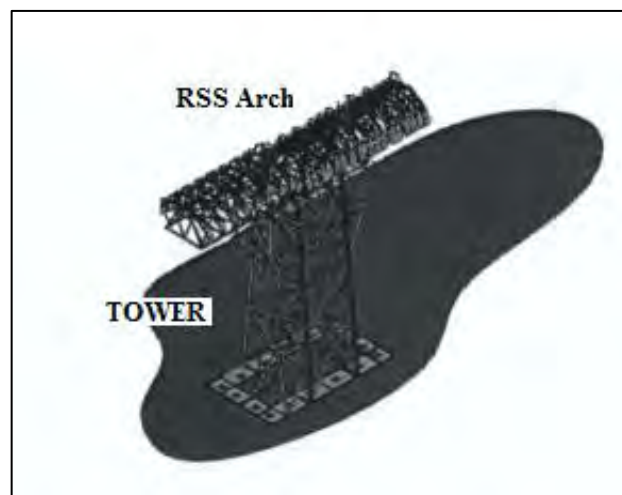
Gambar 4.47 Harga maximum signifikan tension sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan kondisi #2	80
Gambar 4.48 Diagram eliminasi operabilitas dengan batas $H_s=2.00$ meter di Laut Natuna.....	83

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

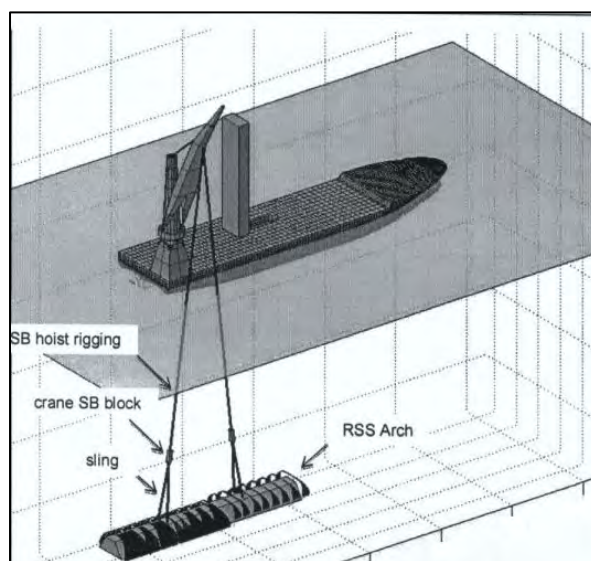
Kebutuhan energi dunia yang diproyeksi akan meningkat 45% sampai tahun 2030 atau rata-rata 1.6% per tahun (*International Energy Agency, 2012*). Dewasa ini, kebutuhan energi sebagian besar masih di-*supply* oleh energi fosil yang dihasilkan dari eksploitasi minyak dan gas di lepas pantai. Untuk mendukung eksploitasi minyak dan gas di lepas pantai dibutuhkan sistem produksi bawah air yang dapat bekerja secara handal. Disamping itu, tentunya terdapat *platform* lepas pantai utama baik yang bertipe terpancang atau terapung. *Platform* tersebut dapat berfungsi sebagai sarana pengeboran, pemrosesan, dan/atau penyimpanan. Untuk menyalurkan minyak dan/atau gas dari *subsea production* ke sarana pemrosesan/penyimpanan umumnya digunakan *flexible riser*. Gambar 1.1 di bawah ini memberikan contoh struktur bawah air berupa *Tower* yang berfungsi sebagai penyangga *flexible riser*. *Tower* ini berada di perairan Laut Timor di ladang gas Ichtys.



Gambar 1.1 Tower URF dan *Riser Support Structure Arch*

Flexible Riser yang berada diatas *Tower* URF (Gambar 1.1) ditumpu secara memanjang oleh struktur berupa *Riser Support Structure Arch* (untuk selanjutnya

disebut RSS Arch). Mengingat RSS Arch ini berada di atas Tower bawah air, maka dibutuhkan operasi instalasi yang tepat agar tidak membahayakan baik struktur itu sendiri maupun sistem lainnya yang berkaitan. Operasi penurunan (*lowering*) RSS Arch dilakukan dengan metode konvensional, yaitu *lifting* menggunakan *Crane Vessel*. RSS Arch dari *transportation barge* diangkat *crane* kemudian diturunkan melewati permukaan air (*splash zone*) selanjutnya diturunkan menuju ke bawah air tempat RSS Arch beroperasi.



Gambar 1.2 Ilustrasi Kapal Instalasi AEGIR saat *Lowering Riser Support Structure Arch*

Analisis penurunan objek tersebut dikenal sebagai *lowering analysis*. Fase paling kritis dari operasi *lowering* yaitu saat objek berada di *splash zone* (Sarkar 2012, Nielsen 2010), karena terjadi *impact* antara object dan permukaan air yang bergelombang yang dikenal dengan istilah *slamming*. Akibatnya beban dinamis pada objek diteruskan ke sistem *rigging* sehingga mempengaruhi respon dari *vessel* dan besarnya *tension* pada *wire sling*. Selain itu, kondisi lingkungan perairan lepas pantai yang tidak pasti (Nisa 2010, Hariroh 2010) maka beban gelombang pada objek mengakibatkan respon gerakan kapal dan *tension wire* menjadi tidak pasti. Untuk mengakomodasi hal tersebut diperlukan kriteria batas kondisi lingkungan agar operasi *lowering* di *splash zone* dapat dilakukan dengan aman. Implikasinya dilakukan analisis operabilitas operasi *lowering* tersebut

untuk memastikan berapa besar peluang sukses jika operasi dilakukan dengan variasi kondisi lingkungan tertentu.

Tugas akhir ini membahas mengenai “Analisis operabilitas *Crane Vessel* saat *Lowering Riser Support Structure Arch* di *Splash Zone* berbasis *time domain*”. Evaluasi operabilitas difokuskan hanya di posisi *splash zone*, yang dibagi menjadi 2 step yaitu: kondisi #1 saat objek di muka air dan kondisi #2 saat objek telah tercelup air. Lokasi operasi instalasi yang dikaji pada penelitian ini dilakukan pada perairan yang berbeda, yaitu berada di Belanak Field, Laut Natuna.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana respon gerakan kapal saat *lowering* RSS Arch di *splash zone*?
2. Berapa besarnya *tension* dari sling saat *lowering* RSS Arch di *splash zone*?
3. Berapa besarnya operabilitas *crane vessel* saat *lowering* RSS Arch di *splash zone*?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui respon gerakan kapal saat *lowering* RSS Arch di *splash zone*.
2. Menghitung besarnya *tension* dari sling saat *lowering* RSS Arch di *splash zone*.
3. Menghitung besarnya operabilitas *crane vessel* saat *lowering* RSS Arch saat di *splash zone*.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan evaluasi operabilitas dan rekomendasi kriteria batas kondisi lingkungan (tinggi gelombang signifikan) agar operasi *lowering* RSS Arch di *splash zone* dapat berlangsung dengan aman.

1.5 Batasan Masalah

Untuk memperjelas permasalahan tugas akhir ini, maka perlu adanya ruang lingkup atau batasan sebagai berikut :

1. Daerah operasi dilakukan di Belanak *Field*, Laut Natuna. Sehingga data gelombang yang digunakan berdasarkan data di perairan Natuna.

2. Operasi *lowering* RSS Arch dibagi dalam 2 step penurunan yaitu saat objek di muka air (kondisi #1), dan saat objek tercelup air (kondisi #2).
3. Objek yang dikaji yaitu RSS Arch dengan Gutter dimodelkan sebagai plat sisi miring. Berat RSS Arch saat di udara sebesar 1604 Ton.
4. *Crane Vessel* yang digunakan Kapal AEGIR dengan Displasemen 78489 Ton pada sarat 10.5 m (sarat operasi).
5. Beban lingkungan yang diperhitungkan adalah beban gelombang dengan variasi tinggi gelombang signifikan ($H_s = 0.75$; $H_s = 1.75$ m ; $H_s = 2.75$ m ; $H_s = 3.75$ m). Dengan periode puncak gelombang $T_p = 9.1$ s.
6. Kedalaman perairan Laut Natuna adalah 90 meter dan dasar laut diasumsikan datar.
7. Tidak memperhitungkan beban arus dan beban angin.
8. Tidak dilakukan kajian terhadap stabilitas dan *ballasting* dari Kapal.
9. Struktur dianggap *rigid body* sehingga tidak dilakukan kajian kekuatan dari Kapal, RSS Arch, dan *equipment rigging*.
10. *Dynamic Positioning System* tidak dimodelkan.
11. Pengaruh gelombang yang dikaji dalam operasi *lowering* RSS Arch ini adalah dari arah 0° , 45° , 90° , dan 180° .
12. Gerakan kapal yang dibahas hanya untuk moda vertikal saja yaitu *heave*, *roll*, *pitch*.
13. Beban gelombang diformulasikan menggunakan Teori Difraksi 3-Dimensi.
14. Gelombang acak dibangkitkan melalui deret Fourier yang menggunakan formulasi Spektra Jonswap dengan parameter puncak $\gamma=2.5$.
15. Tidak dilakukan analisis mengenai pergeseran titik berat (*cog shift*).
16. Simulasi *time domain* dilakukan selama 3 jam menggunakan software Orcaflex 9.7

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan beberapa hal, antara lain :

- a. Latar belakang
- b. Rumusan masalah
- c. Tujuan
- d. Manfaat
- e. Batasan masalah
- f. Sistematika penulisan

Bab II. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis berpedoman pada beberapa penelitian yang pernah dilakukan serta dasar teori dari Code dan *text book* yang berhubungan dengan topik Tugas Akhir.

Bab III. Metodologi Penelitian

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah pengerjaan dalam penyelesaian tugas akhir, beserta metode-metode yang digunakan.

Bab IV. Analisa Hasil dan Pembahasan

Pada bagian analisa hasil dan pembahasan ini akan dilakukan analisa terhadap respon gerakan kapal dan gerakan obyek, *tension* dari *sling* dan perhitungan operabilitas dengan mengorelasikan pada data sebaran gelombang Laut Natuna.

Bab V. Kesimpulan Dan Saran

Menjelaskan tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa respon gerakan, harga *tensión* yang mengalami kegagalan, batas tinggi gelombang signifikan dan besarnya operabilitas *crane vessel* serta saran dan tindak lanjut yang dapat dilakukan dari penelitian ini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

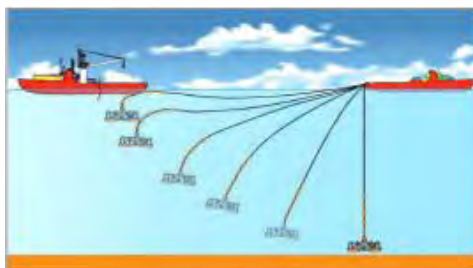
Umbilical Riser and Flowline (URF) merupakan salah satu komponen *Subsea Production System* yang berfungsi untuk menyalurkan minyak atau gas dari sistem produksi bawah menuju sarana pemrosesan/penyimpanan. Struktur bawah air umumnya di-*install* melalui operasi instalasi yang umum disebut *subsea lifting*. Menurut Riberio *et.al.* (2006) operasi pemasangan *subsea equipment* dapat dikategorikan menjadi 2 yaitu Metode Konvensional dan Metode Non-Konvensional. Metode Konvensional dapat dilakukan menggunakan *sling* melalui *Crane Barge* dengan/tanpa *Anchor Handling Tug Support Vessel* (AHTS), cara lain tanpa menggunakan *sling*, namun memanfaatkan *Drilling Riser* dari *Semi-submersible*. Sedangkan untuk metode non-konvensional melalui *Sheave Installation Method* dan *Pendulous Installation Method* seperti pada Gambar 2.1.



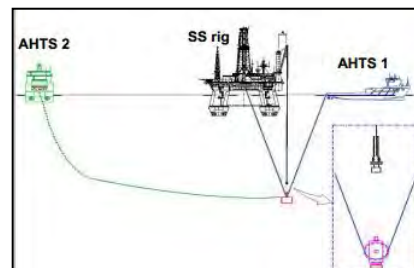
a) Konvensional - menggunakan *Crane Barge*



b) menggunakan *Drilling Riser*



c) *Sheave Installation Method*



d) *Pendulous Installation Method*

Gambar 2.1 Beberapa metode instalasi *subsea structure*

Menurut Sarkar dan Gudmestad (2010) fase kritis operasi pemasangan *subsea structure* terjadi saat di *splash zone*, yaitu saat objek menghempas air dan gelombang. Akibatnya terjadi beban *slamming* yang cukup besar, sehingga kemungkinan bahaya tersebut berimplikasi terhadap kriteria batas operasi *lifting* (Jacobsen dan Leira, 2012). Selain itu, saat objek di *splash zone* dimungkinkan terjadinya kekenduran (*slack*) dari sling akibat beban hidrodinamis yang lebih besar dari berat statis dari objek. Terjadi kekenduran dari sling sedapat mungkin dihindari karena dapat mengakibatkan beban kejut yang mengakibatkan beban yang cukup besar pada *hoisting system* (Sarkar dan Gudmestad, 2010). Mempertimbangkan kemungkinan bahaya diatas, direkomendasikan untuk melakukan analisis secara *time domain* (Sarkar dan Gudmestad, 2010) yang dilakukan selama 3 jam simulasi (DNV RP H103, 2011).

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Offshore Floating Crane

Crane Vessel merupakan media untuk pemasangan struktur di lepas pantai contohnya pemasangan pipa, pemasangan *jacket structur*, serta pemasangan *subsea equipment*. Operasi *Lifting* menggunakan *Floating Crane* berdasarkan beban struktur/modul yang diangkat dapat digolongkan menjadi 2 yaitu: *Heavy Lift Operation* dan *Light Lift Operation* (Nielsen, 2007).

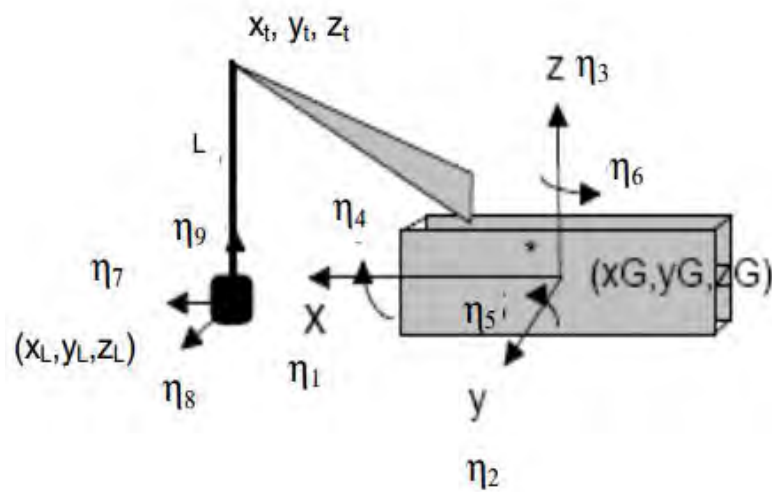
Disebut *Heavy lift operation* jika berat benda yang diangkat lebih dari 1-2 % *displacement vessel* dan secara tipikal beratnya lebih dari 1000 Ton. Pada operasi ini harus dipertimbangkan pengaruh *coupled dynamic* antara *vessel* dan benda yang diangkat.

Sedangkan disebut *light lift* jika berat benda yang diangkat sangat kecil dibandingkan *displacement* dari *vessel* (kurang dari 1-2 % *displacement vessel*), besarnya secara tipikal adalah beberapa ratus Ton. Pada kasus ini karakteristik gerakan *crane tip vessel* tidak dipengaruhi oleh gerakan benda yang diangkat.

2.2.2 Couple Dynamic Motion

Gambar 2.2 berikut menunjukkan *Crane Vessel* sedang mengangkat beban yang sangat berat (*heavy lift*) dengan sistem kerekan (*hoisting system*) vertikal terhadap

ujung *crane*. Pada kasus ini terdapat 2 *body* yang dihubungkan dengan *wire*, sehingga terdapat 12 *Degree of Freedom* (DOF). Rotasi dari objek umumnya dapat dikontrol dengan *tugger line* yang diikatkan ke benda yang diangkat (objek) ke *crane vessel*. Pada simulasi numeris sistem kopel, *tugger line* tersebut harus dimodelkan sebagai *spring*. Metode *simplified* mengabaikan rotasi dari objek, mengingat terdapat *tugger line* yang mengontrol rotasi dari objek, sehingga jumlah DOF dapat dikurangi dari 12 DOF menjadi 9 DOF.



Gambar. 2.2. Moda Gerak *Crane Vessel* dan Objek yang diangkat (DNV RP H103, 2011)

Moda gerak diatas disimbolkan sebagai η_i , $i = 1,2,3...9$ dimana $i = 1,2,3...6$ adalah moda gerak *crane vessel* dengan 3 gerakan translasi dan 3 gerakan rotasi secara berturut-turut adalah *surge*, *sway*, *heave* dan *roll*, *pitch*, *yaw*. Kemudian η_7 adalah gerakan translasi objek terhadap sumbu-x, η_8 adalah gerakan translasi objek terhadap sumbu-y, η_9 adalah gerakan translasi objek terhadap sumbu-z. Persamaan gerak dari sistem diatas di formulasikan sebagai berikut:

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{B} \dot{\mathbf{x}} + \mathbf{C} \mathbf{x} = \mathbf{F} \quad (2.1)$$

Dengan:

\mathbf{M} = Matriks massa dan inertia; \mathbf{B} = Matriks redaman linier; \mathbf{C} = Matriks kekakuan; \mathbf{F} = Gaya eksitasi harmonik akibat gelombang. \mathbf{M} merupakan matriks 9 x 9 dari massa dan inertia tanpa efek *couple* antara vessel dan objek:

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} \mathbf{M}_v + \mathbf{A} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{m}_o + \mathbf{a} \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

$\mathbf{M}_v = 6 \times 6$ matriks massa dari *vessel* [kg]

$\mathbf{A} = 6 \times 6$ matriks massa tambah dari *vessel* [kg]

$\mathbf{m}_o = 3 \times 3$ matriks massa dari objek [kg]

$\mathbf{a} = 3 \times 3$ matriks massa tambah dari objek [kg]

\mathbf{C} merupakan matriks 9 x 9 kekakuan yang dikontribusi dari 3 komponen yaitu matriks kekakuan hidrostatik, matriks kekakuan *mooring*, dan matriks *couple* antara *vessel* dan objek.

$$\mathbf{C}_c = \begin{pmatrix} k_s & 0 & 0 & 0 & k_s z_t & -k_s y_t & -k_s & 0 & 0 \\ & k_s & 0 & -k_s z_t & 0 & k_s x_t & 0 & -k_s & 0 \\ & & k_e & k_e y_t & -k_e x_t & 0 & 0 & 0 & -k_e \\ & & & C_{e44} & -k_e x_t y_t & k_s z_t x_t & 0 & k_s z_t & k_e y_t \\ & & & & C_{e55} & -k_s z_t y_t & -k_s z_t & 0 & k_e x_t \\ & & & & & C_{e66} & k_s y_t & -k_s x_t & 0 \\ & & & & & & k_s & 0 & 0 \\ & & & & & & & k_s & 0 \\ & & & & & & & & k_e \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

$k_s = w/L_s$ [N/m]

$k_e = AE/L_e$ [N/m]

$L_s =$ panjang *hoisting wire* dari ujung *crane* ke pusat benda yang diangkat [m]

$L_e =$ panjang efektif *hoisting wire* [m]

$AE =$ kekakuan dari *wire* [N/m]

$w =$ berat benda tercelup [N]

$x_t =$ posisi ujung *crane* searah sumbu-x [m]

$y_t =$ posisi ujung *crane* searah sumbu-y [m]

zt = posisi ujung *crane* searah sumbu-z [m]

F merupakan beban harmonis akibat gelombang, F dapat diformulasikan dalam bentuk kompleks sebagai berikut:

$$F = \text{Re} \{F_a e^{i\omega t}\} \quad (2.4)$$

$$F_a = \{F_1, \dots, F_6, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \mathbf{0}\}^T \quad (2.5)$$

F_a = amplitudo eksitasi beban; ω adalah frekuensi angular gelombang dan Re menunjukkan ekspresi bagian Real dari bentuk kompleks.

Kemudian respons gerakan dari sistem kopel *vessel* dan objek didapatkan dari:

$$\eta_i = (-\omega^2 M + i\omega B + C)^{-1} F \quad (2.6)$$

Dengan $\eta_i = \{\eta\}$, $i = 1, 2, 3, \dots, 9$

2.2.3 Spektrum Gelombang

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

Tabel 2.1. Amplitudo dan tinggi gelombang pada spektrum

Profil Gelombang	Amplitudo	Tinggi
Gelombang Rata-rata	$1,25\sqrt{m_0}$	$2,5\sqrt{m_0}$
Gelombang Signifikan	$2,00\sqrt{m_0}$	$4,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/10 Gelombang Tertinggi	$2,55\sqrt{m_0}$	$5,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/1000 Gelombang Tertinggi	$3,44\sqrt{m_0}$	$6,67\sqrt{m_0}$

dengan :

$$m_0 = \text{Luasan dibawah kurva spektrum (zero moment)} = \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega \quad (2.7)$$

Spektrum gelombang yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah spektrum JONSWAP. Persamaan spektrum JONSWAP merupakan modifikasi dari persamaan spektrum Pierson-Morkowitz yang disesuaikan dengan kondisi laut

yang ada. Menurut DNV RP C205 (2010) Persamaan Spektrum JONSWAP dapat ditulis sebagai berikut :

$$S_J(\omega) = A_\gamma S_{PM}(\omega) \gamma^{\exp\left(-0.5\left(\frac{\omega-\omega_p}{\sigma\omega_p}\right)^2\right)} \quad (2.8)$$

$$S_{PM}(\omega) = \frac{5}{16} H_s^2 \omega_p \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right) \quad (2.9)$$

dengan:

$S_J(\omega)$ = Spektrum Jonswap

$S_{PM}(\omega)$ = Spektrum Pierson-Moskowitz

$A_\gamma = 1 - 0.287 \ln(\gamma)$ merupakan faktor normalisasi

$\omega_p = 2\pi/T_p$ = frekuensi angular dari puncak spektra

T_p = Periode puncak spektra

H_s = tinggi gelombang signifikan

γ = parameter puncak non-dimensi

σ = parameter bentuk

untuk $\omega \leq \omega_p = 0,07$ dan $\omega > \omega_p = 0,09$

Harga parameter puncak (γ) rata-rata berdasarkan eksperiment $\gamma = 3.3$. Untuk $\gamma = 1$ Spektrum Jonswap menjadi sama dengan Spektrum Pierson Moskowitz. Jika tidak diketahui harga γ , menurut DNV RP C205 (2010) dapat digunakan persamaan berikut:

$$\gamma = 5 \text{ untuk } \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \leq 3.6 \quad (2.10)$$

$$\gamma = \exp\left(5.75 - 1.15 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}\right) \text{ untuk } 3.6 < \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} < 5 \quad (2.11)$$

$$\gamma = 1 \text{ untuk } 5 \leq \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \quad (2.12)$$

Menurut Djatmiko (2012) untuk perairan Indonesia umumnya menggunakan harga γ antara 2 sampai 2.5. Hal ini untuk mengurangi dominasi energy yang dikontribusikan oleh frekuensi tertentu saja.

2.2.4. Response Amplitudo Operator

Response Amplitudo Operator (RAO) atau disebut juga dengan *Transfer Function* merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan akibat gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon struktur. Menurut Chakrabarti (1987), persamaan RAO secara matematis adalah sebagai berikut:

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \quad (2.13)$$

dengan :

$X_p(\omega)$ = amplitudo respon struktur

$\eta(\omega)$ = amplitudo gelombang

2.2.5. Penurunan Melewati Daerah Gelombang

Berdasarkan DNV RP H103, objek yang diturunkan melewati ke permukaan air akan mendapat beberapa beban yang bervariasi. Tujuan *Simplified Method* ini adalah untuk menghitung beban karakteristik hidrodinamika pada objek yang diturunkan melalui permukaan air dan dilanjutkan ke dasar laut. Metode ini memiliki beberapa asumsi sebagai berikut:

- Panjang horizontal dari objek yang diturunkan (sesuai arah propagasi gelombang) dianggap kecil dibandingkan dengan panjang gelombang
- Gerakan vertikal dari objek mengikuti gerakan ujung *crane*.
- Kasus pembebanan yang didominasi oleh gerakan vertikal relatif antara objek dan air – dengan kata lain, moda lainnya dapat diabaikan.

2.2.6. Berat Statis

Berat statis dari benda yang tercelup air diberikan dalam persamaan:

$$F_{static} = M g - \rho g V \quad (2.14)$$

dengan:

M = massa benda di udara (kg)

g = percepatan gravitasi = 9.81 (m/det²)

ρ = massa jenis air laut = 1025 (kg/m³)

V = volume benda tercelup pada tahapan tertentu saat melewati permukaan air (m³).

2.2.7. Gaya Hidrodinamis

Gaya karakteristik hidrodinamis dari benda yang diturunkan melewati permukaan air merupakan fungsi waktu, yang dipengaruhi oleh gaya inersia, gaya apung, gaya drag, dan gaya akibat *slamming*. Persamaan kombinasi beban diatas yang sesuai dengan metode sederhana ini adalah:

$$F_{hyd} = \sqrt{(F_D + F_{slam})^2 + (F_M - F_\rho)^2} \quad (2.15)$$

dengan F_{hyd} = gaya karakteristik hidrodinamika (N)

F_D = gaya drag (N)

F_{slam} = beban akibat *slamming* (N)

F_M = gaya inersia (N)

F_ρ = gaya apung (N)

2.2.8. Gaya Inersia

Gaya inersia dari sebuah benda karena kombinasi percepatan benda dan partikel air secara matematis diberikan dalam persamaan:

$$F_{Mi} = \sqrt{[(M_i + A_{33i}) a_{ct}]^2 + [(\rho V_i + A_{33i}) a_w]^2} \quad (2.16)$$

Dengan:

M_i = massa benda di udara [kg]

A_{33i} = massa tambah benda gerakan *heave* [kg]

a_{ct} = amplitudo percepatan vertical ujung *crane* [m/s²]

ρ = massa jenis air laut = 1025 [kg/m³]

V_i = volume benda tercelup relatif terhadap permukaan air rata-rata [m^3]

a_w = percepatan vertical partikel air [m/s^2]

2.2.9. Gaya Apung

Perubahan *buoyancy* terhadap elevasi permukaan gelombang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$F_\rho = \rho g V \quad (2.17)$$

Dengan:

ρ = massa jenis air laut = 1025 [kg/m^3]

V = volume benda tercelup relatif dari permukaan air rata-rata terhadap muka air puncak gelombang atau lembah gelombang [m^3]

g = percepatan gravitasi [m/s^2]

2.2.10. Gaya Drag

Beban akibat gaya drag karakteristik mengikuti persamaan:

$$F_{Di} = 0.5 \rho C_D A_{pi} v_r^2 \quad (2.18)$$

Dengan:

ρ = massa jenis air laut = 1025 [kg/m^3]

C_D = koefisien drag [-]

A_{pi} = luas penampang melintang [m^2]

v_r = kecepatan relative antara objek dan kecepatan vertical partikel air [m/s]

Kecepatan relative karakteristik dapat dihitung sebagai berikut:

$$v_r = v_c + \sqrt{v_{ct}^2 + v_w^2} \quad (2.19)$$

v_c = kecepatan penurunan objek, umumnya = 0.50 [m/s]

v_{ct} = kecepatan single amplitudo *heave* dari ujung *crane* [m/s]

v_w = kecepatan vertical dari partikel gelombang [m/s]

2.2.11. Beban Akibat *Slamming*

Beban dampak *slamming* dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$F_{slam} = 0.5 \rho C_s A_s v_s^2 \quad (2.20)$$

Dengan:

ρ = massa jenis air laut = 1025 [kg/m³]

C_s = koefisien *slamming* yang bergantung variasi geometri [DNV RP-C205]

A_s = Luas penampang yang terkena *slamming* [m²]

v_s = kecepatan dampak *slamming* [m/s]

Kecepatan akibat *slamming* dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$v_s = v_c + \sqrt{v_{ct}^2 + v_w^2 \cdot \kappa} \quad (2.21)$$

dengan:

v_c = kecepatan penurunan objek, umumnya = 0.50 [m/s]

v_{ct} = kecepatan *single amplitudo heave* dari ujung *crane* [m/s]

v_w = *characteristic vertical water particle velocity* [m/s]

κ = faktor amplifikasi berharga $1.0 \leq \kappa \leq 2.0$ [-]

2.2.12. Teori Difraksi 3 Dimensi

Keberadaan struktur dalam air dapat mempengaruhi pola aliran fluida, sehingga pola aliran fluida yang mengenai *body* struktur akan dibelokkan. Fenomena ini dikenal dengan istilah difraksi. Difraksi gelombang akan berpengaruh signifikan jika dimensi struktur relatif besar dibandingkan dengan panjang gelombang. Umumnya pengaruh difraksi gelombang untuk struktur ramping tidak diperhitungkan dan perhitungan beban gelombang menggunakan teori morison. Namun, keberadaan struktur ramping tetaplah mempengaruhi medan aliran gelombang, sehingga agar perhitungan lebih akurat teori difraksi 3 dimensi seharusnya diterapkan dalam perhitungan beban gelombang.

Permasalahan difraksi untuk menghitung beban gelombang umumnya menggunakan persamaan Navier-Stokes dan menggunakan teori gelombang regular Airy. Penggunaan teori difraksi memberikan keleluasaan mengingat tidak ada batasan dalam hal ukuran struktur dan konfigurasi lambung baik itu tunggal atau jamak. Perhitungan dapat diselesaikan dengan relatif mudah dengan metode ini, mengingat kecanggihannya perangkat komputasi saat ini (Djarmiko, 2012).

Gaya dan momen eksitasi untuk gerakan *sway*, *heave*, dan *roll* yang disebabkan oleh difraksi dapat diekspresikan dalam matrik persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} f_{(2)}^D(x) \\ f_{(3)}^D(x) \\ f_{(4)}^D(x) \end{bmatrix} = i\rho\rho \int_{s(x)} e^{kz} \begin{bmatrix} \varphi_D^{(o)}(y, z, k, \mu) \\ \varphi_D^{(e)}(y, z, k, \mu) \\ \varphi_D^{(0)}(y, z, k, \mu) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -dz \\ dy \\ y = dy + (z - z_0)dz \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

$\varphi_D^{(o)}$ = kecepatan potensial difraksi pada fungsi *odd complex*

$\varphi_D^{(e)}$ = kecepatan potensial difraksi pada fungsi *even complex*

Kecepatan potensial difraksi ($\varphi_D^{(m)}$) dapat diekspresikan dalam persamaan dengan menggunakan diferensiasi normal.

$$\frac{\partial}{\partial n} \varphi_D^{(m)} = \left[\sum_{j=1}^N Q_j^{(m)} I_{ij}^{(m)} + \sum_{j=1}^N Q_{N+j}^{(m)} J_{ij}^{(m)} \right] + i \left[\sum_{j=1}^N Q_j^{(m)} I_{ij}^{(m)} - \sum_{j=1}^N Q_{N+j}^{(m)} J_{ij}^{(m)} \right] \quad (2.23)$$

dengan:

Q_j = *green function* pada segment j

I_{ij}, J_{ij} = koefisien *influence*

Untuk gaya gelombang fungsi waktu (*time series*) dapat dibangkitkan dari spektrum gelombang. Gaya gelombang *first order* sebagai fungsi waktu dapat diekspresikan:

$$F_{wv}^{(1)}(t) = \sum_{i=1}^N F_{wv}^{(1)}(\omega_i) \cos [\omega_i + \varepsilon_i] a_i \quad (2.24)$$

dengan :

$F_{wv}^{(1)}(t)$ = gaya gelombang *first order* sebagai fungsi waktu

$F_{wv}^{(1)}(\omega)$ = gaya *exciting* gelombang *first order* per satuan amplitudo gelombang sebagai fungsi waktu

ε_i = sudut fase komponen gelombang *first order*

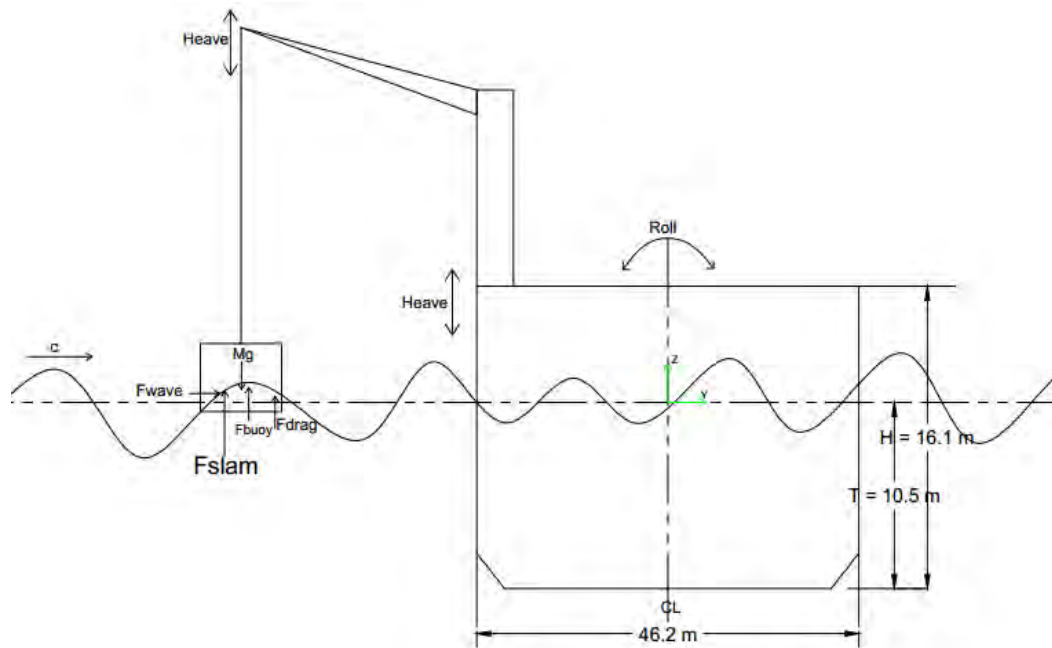
a_i = amplitudo komponen gelombang *first order* = $\sqrt{2S(\omega)d\omega}$

$S(\omega)$ = fungsi kepadatan spektra gelombang

2.2.13. *Free Body Diagram*

Berdasarkan kategori penyebab terjadinya beban, Arnstein Hosaas (2010) mengklasifikasikan bahwa beban yang bekerja pada objek saat *lifting* di *splash zone* dikategorikan menjadi 3 yaitu:

1. Beban akibat perubahan posisi, yaitu beban *buoyancy*/gaya angkat ke atas.
2. Beban yang tergantung pada kecepatan, yaitu beban *slamming* dan gaya drag.
3. Beban yang tergantung pada percepatan, yaitu gaya inersia.



Gambar. 2.3 Diagram Gaya yang Bekerja pada Sistem

2.2.14. Kriteria Operabilitas

Kriteria batas untuk mengevaluasi operabilitas *crane vessel* dalam menurunkan struktur bawah air disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel. 2.2 Kriteria batas untuk mengevaluasi operabilitas.

Subjek	Besaran	Harga	Kriteria Operable	satuan
Kapal	Amplitudo <i>heave</i> signifikan	1.275	Amplitudo <i>heave</i> signifikan < 1.275	m
	Amplitudo <i>roll</i> signifikan	3	Amplitudo <i>roll</i> signifikan < 3	deg
	Amplitudo <i>pitch</i> signifikan	1	Amplitudo <i>pitch</i> signifikan < 1	deg
Objek	Amplitudo gerakan vertikal	1.11	Amplitudo gerakan vertikal < 1.11	m
Sling	Safety Factor (SF)	4	SF > 4	-
	Kriteria Slack (10% dari berat tercelup)	610.3	Min signifikan tension > 610.3	kN

2.2.15. Operabilitas

Operabilitas merupakan perbandingan antara lama waktu struktur bekerja terhadap total waktu operasi dengan kriteria batas tertentu. Perhitungan operabilitas berguna untuk pengukuran produktivitas *system offshore* dengan hanya melihat cuaca, sehingga dapat digunakan sebagai ukuran perbandingan dari dua sistem yang berbeda (Hariroh, 2008; Susanto, 2009 dan Nisa, 2010).

Menurut Djatmiko (2012) operabilitas bangunan laut adalah kemampuan struktur untuk berfungsi optimal dan selamat di lokasi operasionalnya, khususnya pada kondisi lingkungan terburuk. Prosedur umum yang diterapkan untuk melakukan evaluasi operabilitas adalah dengan mengintegrasikan hasil prediksi respons gerakan di laut riil dengan sistem konstrain operasional, yang secara umum disebut sebagai kriteria *seakeeping* (Djatmiko, 2012). Operabilitas dicapai jika semua kriteria batas yang ditentukan dapat terpenuhi oleh sistem. Sebaliknya jika terdapat satu atau beberapa kriteria batas (konstrain) tidak dapat dipenuhi oleh sistem, hal ini berarti misi mengalami kegagalan dan bangunan laut harus menghentikan operasi atau diistilahkan sebagai *down time* (Djatmiko 2012).

Pada operasi *lowering* RSS Arch ini perhitungan operabilitas didasarkan pada data sebaran gelombang di perairan operasional. Dengan menghitung batas tinggi gelombang signifikan (H_s) yang mengakibatkan terjadinya *down time* (beban melampaui batas kapasitas sistem), maka dapat dihitung operabilitasnya dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Operabilitas} = \frac{TOH - WOW}{TOH} \times 100 \% \quad (2.25)$$

$$\text{Operabilitas} = 100 - WOW \% \quad (2.26)$$

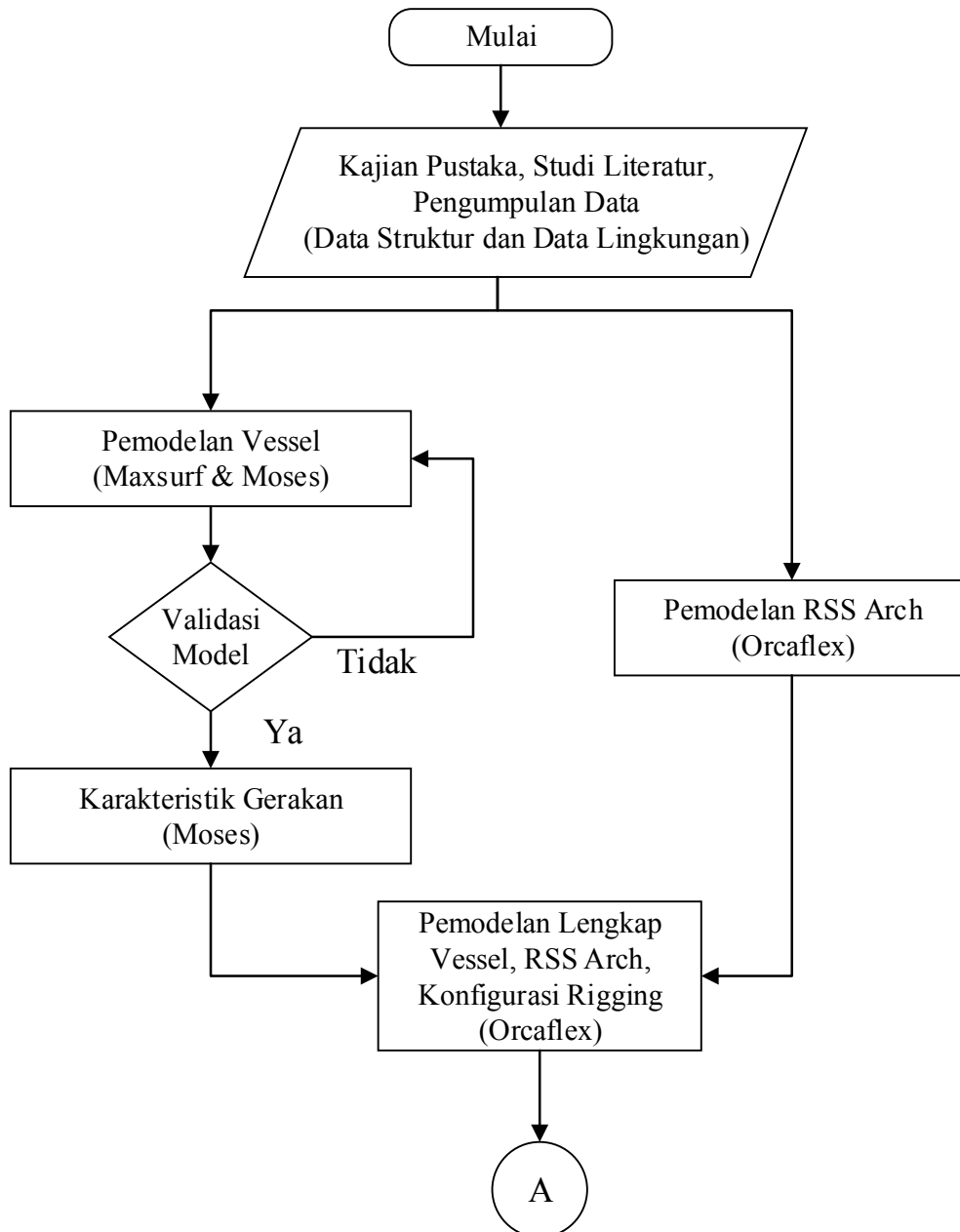
dengan: TOH = *Time on Hire*

WOW = *Waiting on Weather*

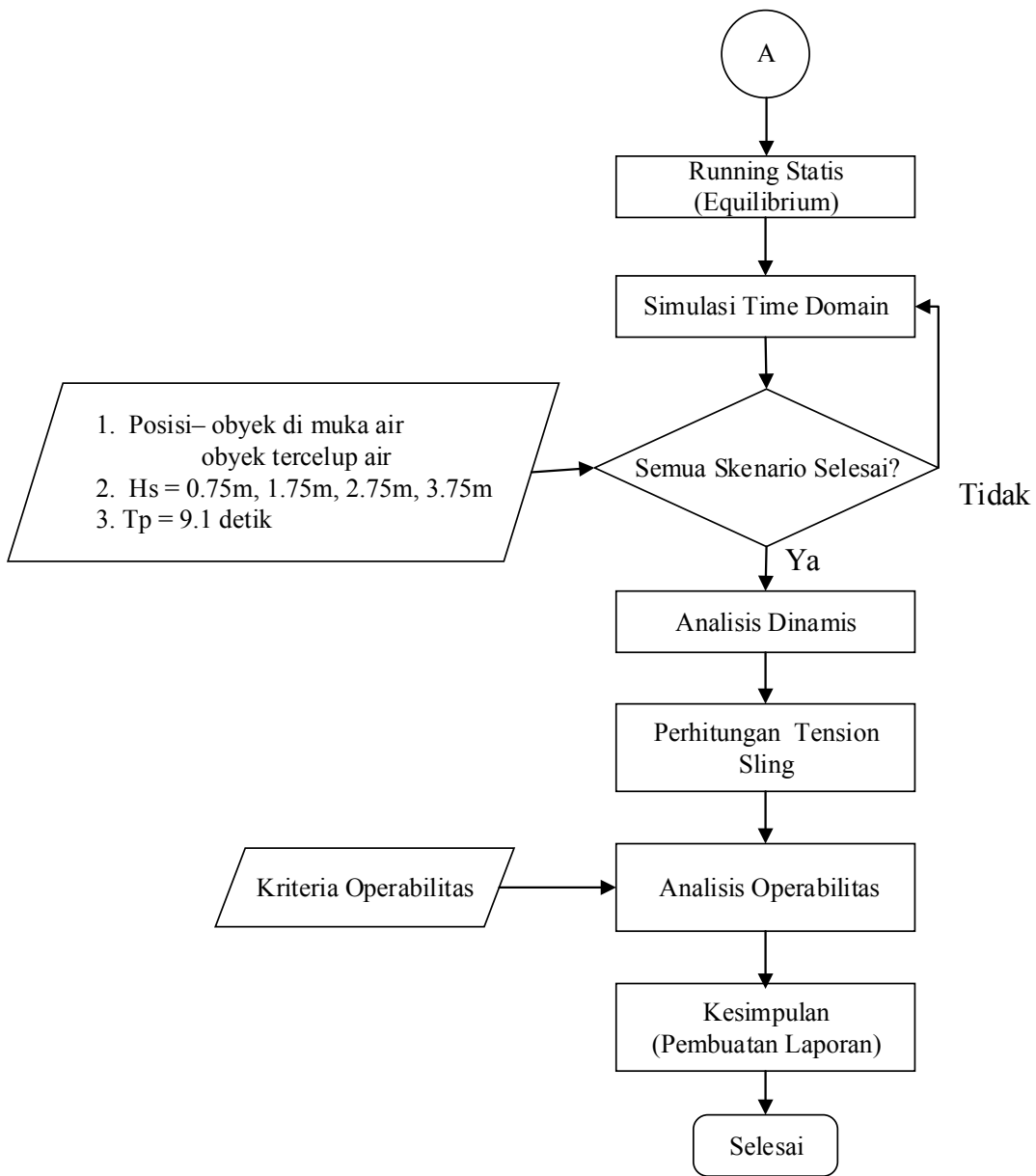
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan dengan tahap sebagaimana ditunjukkan dalam diagram alir dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (berlanjut)



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)

Pengerjaan tugas akhir ini dimulai dengan melakukan kajian pustaka dan studi literatur terkait permasalahan yang diambil dalam Tugas Akhir. Selanjutnya pengumpulan Data Struktur meliputi Data Kapal, data *Riser Support Structure Arch* dan Data konfigurasi *lifting*. Selain data struktur, data lingkungan dalam analisis ini yang menggunakan data Perairan Laut Natuna dengan kedalaman 90 meter. Kemudian dilakukan pemodelan lambung kapal dengan menggunakan *software* Maxsurf untuk selanjutnya memasukkan data *offset* hasil pemodelan untuk dilakukan pemodelan menggunakan MOSES.

Pemodelan Lambung Kapal dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *MOSES* untuk mendapatkan karakteristik hidrodinamis dari struktur seperti *Response Amplitude Operator*, *added mass*, *damping* dan untuk simulasi *time domain* saat Kapal mengangkat beban dilakukan menggunakan Orcaflex.

Hasil pemodelan ini kemudian divalidasi dengan data hidrostatik yang ada agar model layak untuk dilakukan analisa selanjutnya. Analisa kemudian dilanjutkan untuk menghasilkan RAO gerakan dari Kapal.

Setelah itu dilakukan pemodelan kapal menggunakan Orcaflex dengan memasukkan besaran hidrodinamika hasil luaran MOSES sebagai karakteristik gerakan Kapal. RSS Arch juga dimodelkan menggunakan Orcaflex dengan memasukkan besaran karakteristik meliputi massa, ukuran, inersia, koefisien drag, koefisien massa tambah. Setelah itu dilakukan konfigurasi lengkap sesuai *lifting arrangement* yang ada untuk kemudian dilakukan analisa statis agar Kapal dapat berada dalam kondisi rata untuk mengasumsikan *sistem ballasting* dari kapal saat membawa beban. Setelah itu dilakukan simulasi *time domain* selama 3 jam untuk mendapatkan respon gerakan dari kapal dan harga tension *slings* yang terjadi.

Dari luaran respon gerakan kapal dan tension *slings*, dihitung harga signifikan untuk kemudian ditunjukkan hubungan gerakan signifikan dan tension signifikan tersebut sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan dalam kurva. Kemudian dengan menerapkan kriteria batas terhadap hasil respon, maka dapat diketahui harga tinggi gelombang signifikan yang menyebabkan operasi *downtime*.

3.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut..

3.2.1 Data Struktur

Data struktur terdiri dari Data Kapal, Data Objek RSS Arch dan *Lifting Arrangement*. Data Kapal yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah Kapal AEGIR yang dimiliki oleh Heerema Marine Constructors.

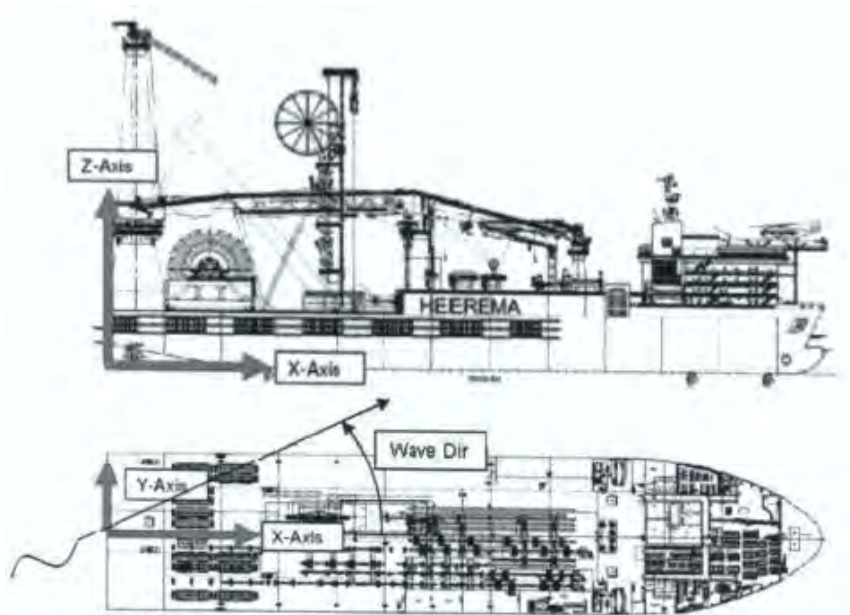
- Kapal AEGIR

Data Kapal meliputi Data ukuran utama struktur dan *General Arrangement*.

Tabel. 3.1. Data Karakteristik Aegir

Dimensi	Nilai	Satuan
Panjang Keseluruhan (LOA)	211.48	m
Panjang diantara 2 garis tegak (Lpp)	197.6	m
Lebar (B)	46.2	m
Tinggi (H)	16.1	m
Sarat Operasi (T)	10.5	m
Displasemen Operasi	78489	Ton
Volume Displasemen	76575	m ³
Luas Bidang Garis Air (WPA)	8162	m ²
Posisi Titik Berat (CoG) dengan <i>crane up</i>		
LCG (dari <i>Stern</i>)	97.1	m
TCG (positif <i>Portside</i>)	-0.2	m
VCG (dari Lunas)	13.4	m
Tinggi Metacentra		
GM _T	9.6	m
GM _L	310.5	m

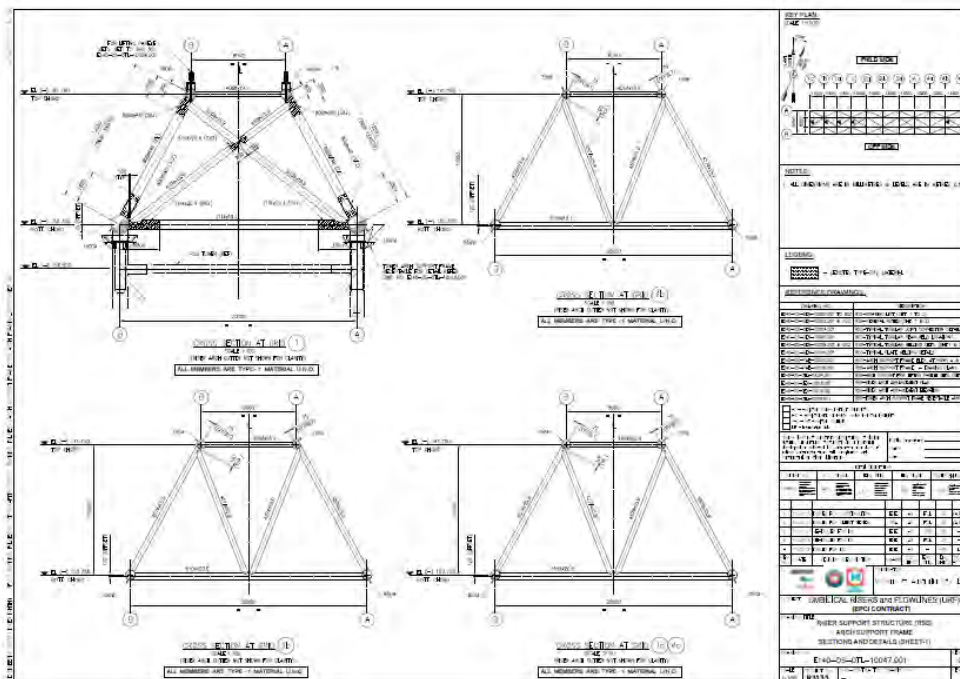
Data General Arrangement AEGIR ditunjukkan pada Gambar 3.3



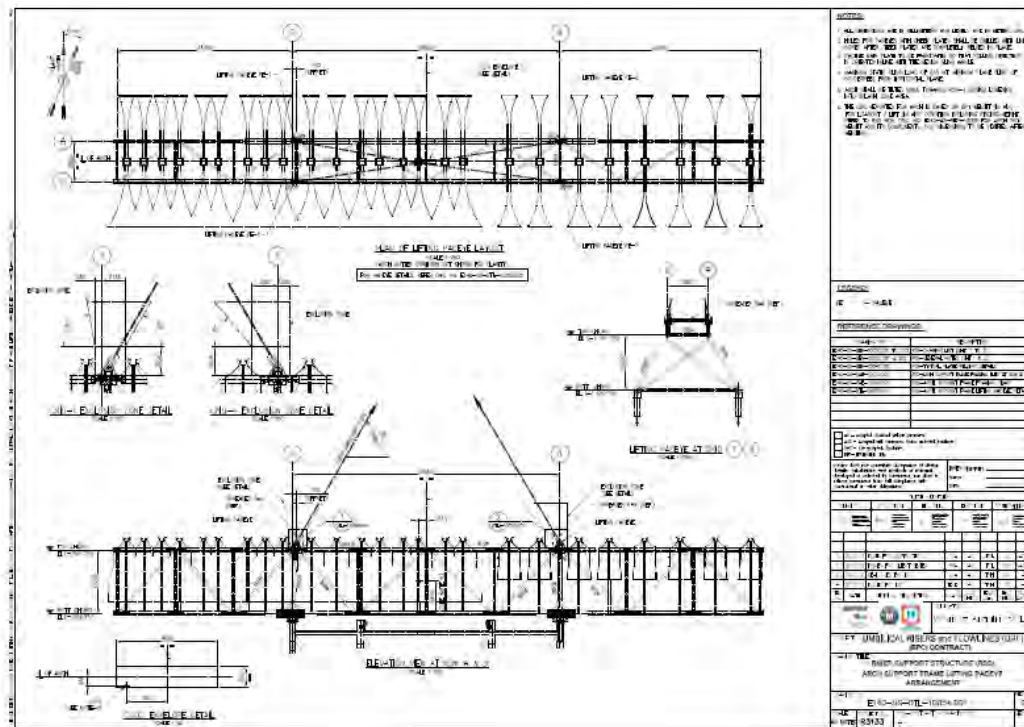
Gambar 3.3 General Arrangement Kapal AEGIR

- Data Riser Support Structure Arch (RSS Arch)

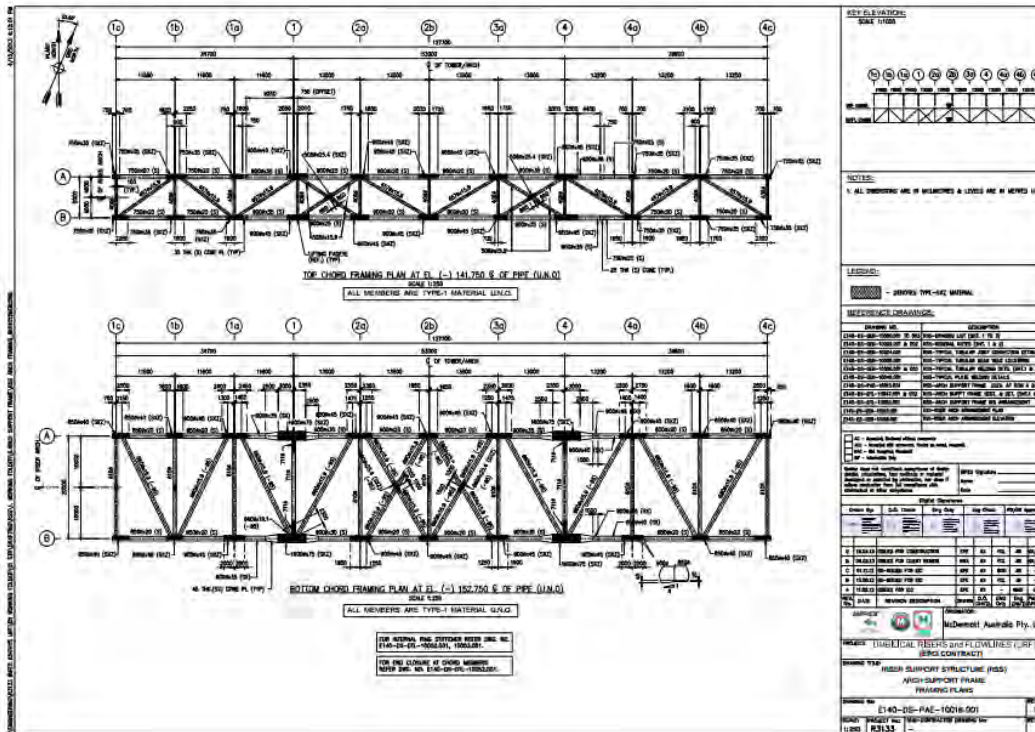
Riser Support Structure Arch merupakan konstruksi *frame* yang terdiri dari susunan silinder dan Gutter atau Plat yang berada di samping *frame*.



Gambar 3.4 Drawing RSS Arch (tampak depan)



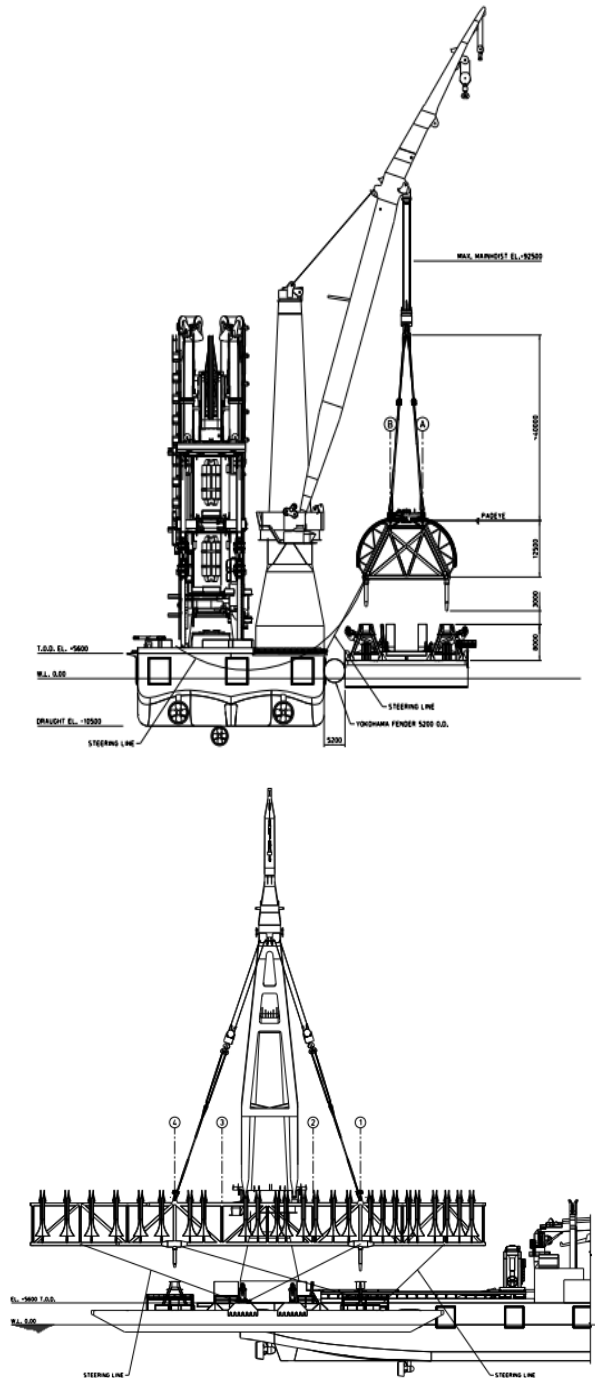
Gambar 3.5 Drawing RSS Arch (tampak samping)



Gambar. 3.6 Drawing RSS Arch (tampak atas)

- Lifting Arrangements

Data konfigurasi *lifting* digunakan untuk menyusun konfigurasi pada pemodelan Orcaflex. Dapat dilihat bahwa pada Gambar 3.8 bahwa Kapal AEGIR sedang mengangkat RSS Arch dari *transportation barge*.



Gambar 3.7 Lifting Arrangement

3.2.1 Data Lingkungan

Data lingkungan yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah data sebaran gelombang Laut Natuna di Belanak Field. Kedalaman perairan pada kondisi lingkungan ini adalah 90 meter.

Table 7.1 Significant Wave Height Against Peak Period for All Months & Years

T _p		H _s													
Lower	Upper	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	
		0.49	0.99	1.49	1.99	2.49	2.99	3.49	3.99	4.49	4.99	5.49	5.99	6.49	
0	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	1.9	0.0008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	2.9	0.0210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	3.9	0.1079	0.0863	0.0050	0.0018	0.0002	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	4.9	0.0183	0.1529	0.0143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	5.9	0.0060	0.0370	0.0771	0.0047	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	6.9	0.0043	0.0177	0.0409	0.0257	0.0010	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	7.9	0.0023	0.0079	0.0280	0.0382	0.0105	0.0002	-	-	-	-	-	-	-	
8	8.9	0.0020	0.0058	0.0103	0.0247	0.0334	0.0119	0.0009	-	-	-	-	-	-	
9	9.9	0.0007	0.0041	0.0062	0.0158	0.0176	0.0255	0.0129	0.0012	-	-	-	-	-	
10	10.9	-	0.0037	0.0051	0.0067	0.0095	0.0113	0.0114	0.0080	0.0017	-	-	-	-	
11	11.9	0.0001	0.0027	0.0034	0.0034	0.0043	0.0059	0.0047	0.0049	0.0025	0.0022	0.0003	-	-	
12	12.9	-	0.0020	0.0022	0.0016	0.0009	0.0020	0.0019	0.0018	0.0010	0.0009	0.0005	0.0003	-	
13	13.9	-	0.0007	0.0010	0.0004	0.0006	0.0002	0.0004	0.0011	0.0003	0.0002	0.0002	0.0001	-	
14	14.9	-	0.0002	0.0009	0.0004	0.0004	0.0003	0.0001	-	-	-	-	-	-	
15	15.9	0.0001	0.0001	0.0002	0.0006	0.0004	0.0007	0.0001	-	-	-	-	-	-	
16	16.9	-	0.0001	-	0.0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	17.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	18.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total		0.1636	0.3212	0.1947	0.1243	0.0789	0.058	0.0324	0.0169	0.0055	0.0033	0.0009	0.0004	-	

Gambar 3.8 Data Sebaran gelombang Belanak Field,
Laut Natuna (Sumber: PT Global Maritime)

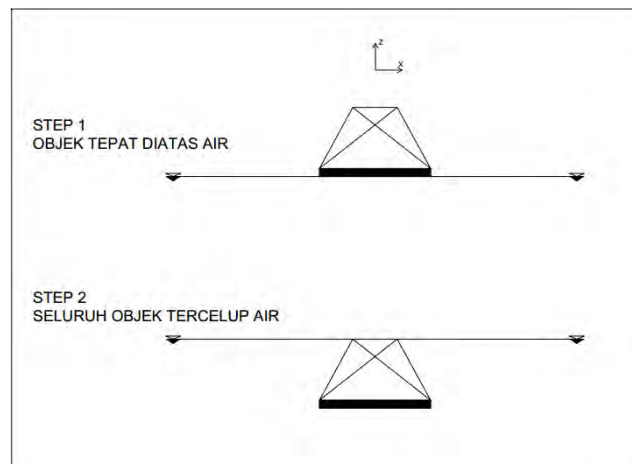
BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Skenario Pengoperasian

Hal yang perlu ditentukan sebelum melakukan analisis operabilitas adalah menetapkan skenario pengoperasian. Seperti tersebut di bab sebelumnya, operasi penurunan atau *lowering* RSS Arch ini dilakukan di Belanak Field, Laut Natuna. Beberapa variasi pengerjaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

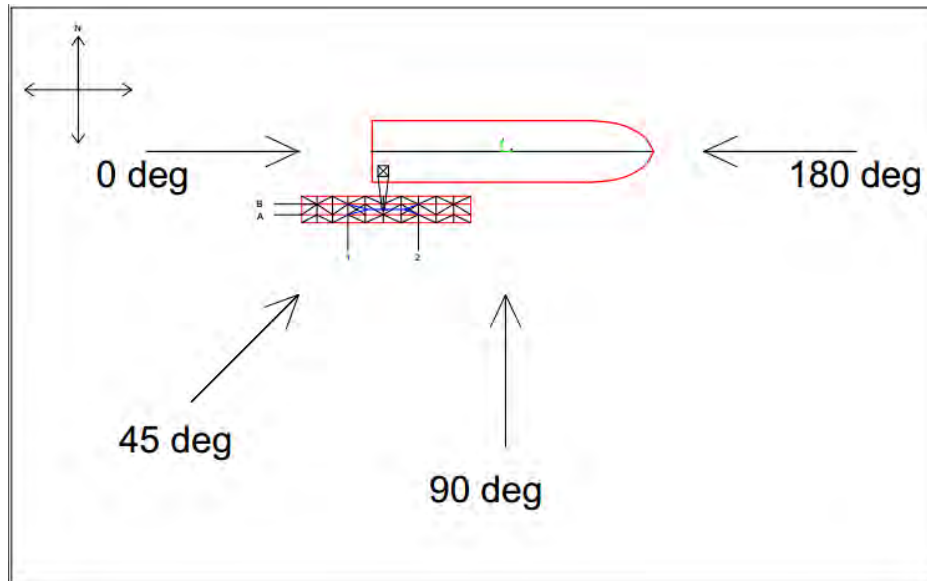
1. Terdapat **2** kondisi **posisi objek** yang dikaji dalam analisis, yaitu saat objek berada di muka air (kondisi #1) dan objek tercelup di air (kondisi #2). Variasi posisi objek dilakukan untuk menunjukkan bahwa terdapat pengaruh *buoyancy* dari objek pada respon gerak dan besarnya *tension* sling.



Gambar. 4.1 Variasi posisi objek saat berada di *splash zone*

2. Terdapat **4** variasi **tinggi gelombang signifikan** dari propagasi gelombang acak, yaitu $H_s=0.75\text{m}$, $H_s=1.75\text{m}$, $H_s=2.75\text{m}$ dan $H_s=3.75\text{m}$. Gelombang acak yang dibangkitkan menggunakan formulasi spektra Jonswap dalam simulasi *time domain* selama 3 jam.

3. Terdapat **4 variasi arah pembebanan** gelombang, yaitu 0° , 45° , 90° , dan 180° . Arah pembebanan gelombang yang diambil lebih difokuskan pada arah yang terkena langsung dengan struktur RSS Arch. Sedangkan untuk arah gelombang yang tidak terkena langsung (terhalang badan kapal tidak dilakukan analisis).



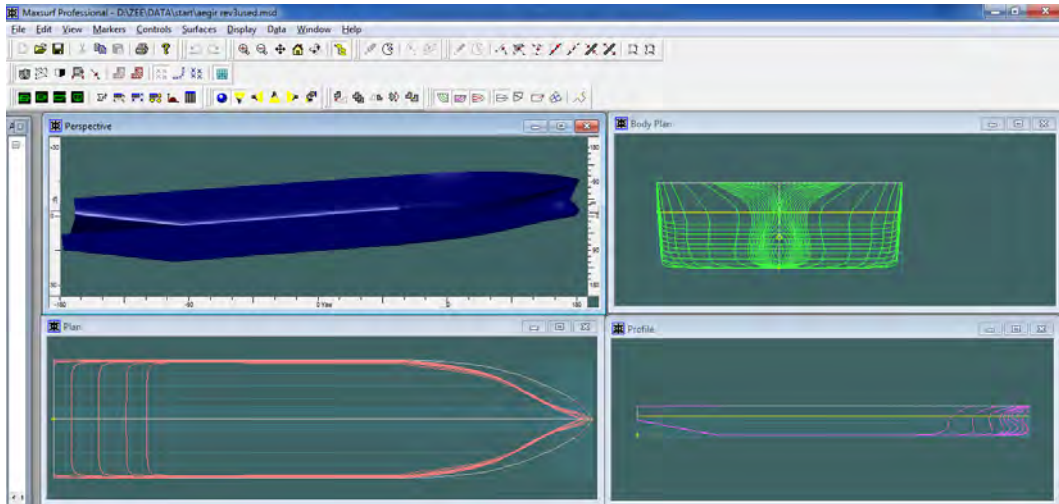
Gambar. 4.2 Arah pembebanan gelombang (mengikuti konvensi Orcaflex)

Dengan demikian terdapat 32 set perhitungan ($2 \times 4 \times 4$) yang harus diselesaikan terlebih dahulu, untuk selanjutnya dilakukan analisis operabilitas.

4.2 Pemodelan Kapal Instalasi AEGIR

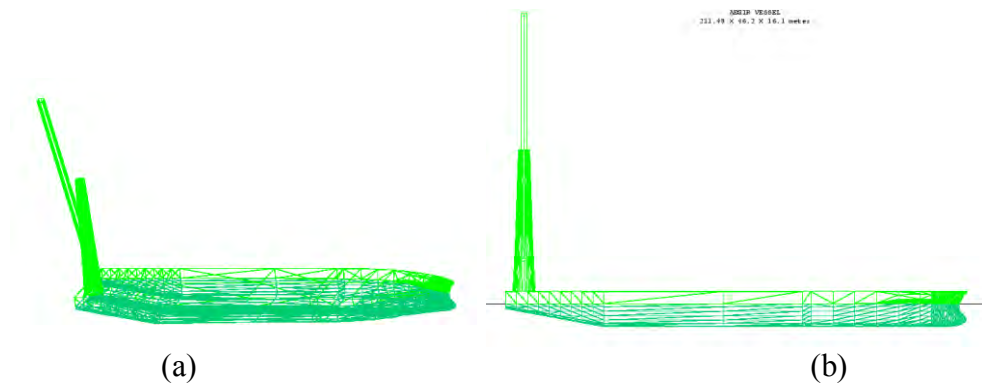
Tahap pemodelan kapal merupakan yang paling penting sebelum melakukan analisis, yaitu kapal dimodelkan sebagai lambung menggunakan perangkat lunak komputer. Pemodelan lambung Kapal AEGIR dilakukan menggunakan *software* Maxsurf dengan acuan Gambar *General Arrangement* (GA) dan *principal dimension* sebagai berikut:

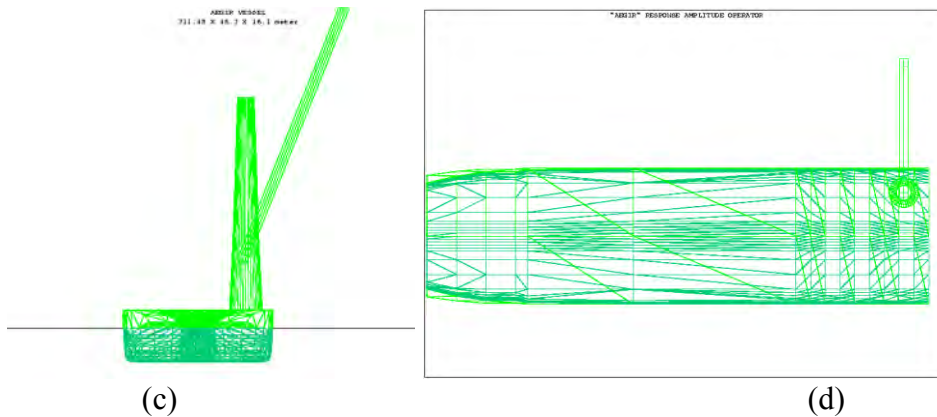
Hasil pemodelan lambung AEGIR dengan menggunakan *software* Maxsurf ditunjukkan dalam Gambar 4.3:



Gambar 4.3 Pemodelan lambung menggunakan Maxsurf

Setelah model lambung kapal telah siap, kemudian koordinat *offset* lambung kapal hasil pemodelan Maxsurf digunakan sebagai *input* untuk memodelkan lambung AEGIR menggunakan software MOSES 7.00. Hasil pemodelan lambung AEGIR beserta *Crane* menggunakan MOSES 7.00 dapat dilihat pada Gambar 4.4.





Gambar 4.4 Model Lambung AEGIR pada MOSES (a) tampak isometri, (b) tampak samping, (c) tampak depan, (d) tampak atas

Model lambung tersebut selanjutnya akan digunakan untuk analisis, dengan syarat telah sesuai dengan data hidrostatis dari kapal sebenarnya.

Tabel 4.2 di bawah ini menunjukkan pemodelan lambung yang dilakukan telah layak untuk dilakukan analisis selanjutnya, dengan kata lain model telah valid untuk digunakan dalam analisis. Perlu diketahui bahwa model tersebut hanya dilakukan validasi pada sarat operasi karena data yang tersedia hanya sebatas demikian.

Tabel 4.1 Luaran Hidrostatik Model

Parameter	Validasi			Koreksi	
	DATA	Maxsurf	MOSES	Maxsurf -Data	MOSES-Data
Displ. (Ton)	78489	78555.19	77743.3	0.08%	-0.95%
T (m)	10.5	10.5	10.5		
WPA (m ²)		8304.44	8273		
KB (m)		5.605	5.63		
KM _T (m)		23.017	23.01		
KM _L (m)		316.456	319.09		
BM _T (m)		17.412	17.37		
BM _L (m)		310.851	313.45		
Cp		0.782			
Cb		0.765			
Cm		0.978			
Cwp		0.870			

Menurut ABS model lambung kapal dikatakan valid jika koreksi/selisih antara model numerik dibandingkan data kurang dari 2% (koreksi $< 2\%$). Dari hasil perhitungan hidrostatis menggunakan software Maxsurf dan Moses pada Tabel 4.3 di atas, besaran hidrostatis sudah memenuhi koreksi yang disyaratkan.

4.3 Karakteristik Gerakan Kapal di Gelombang Reguler

Karakteristik gerak kapal dalam kondisi mengapung bebas (*free floating*) akan menghasilkan moda gerak vertikal (*heave, roll* dan *pitch*) yang lebih dominan daripada moda gerak horisontal (*surge, sway* dan *yaw*). Hal ini disebabkan karena moda gerak *heave, roll, pitch* memiliki faktor kekakuan akibat eksitasi gelombang harmonik. Adanya faktor kekakuan tersebut menyebabkan harga faktor redaman menjadi kecil sehingga ketika gerakan mencapai frekuensi resonansinya, perubahan karakteristik gerak akan mempunyai bagian yang melonjak secara tajam.

Sedangkan moda gerak horisontal yang tidak memiliki faktor kekakuan saat kondisi terapung bebas akan menghasilkan faktor redaman yang relatif besar sehingga gerakan akan teredam oleh adanya faktor redaman tersebut sehingga dalam moda gerak horisontal tidak memiliki bagian yang melonjak tajam. Bilapun ada kenaikan pada bagian tertentu, maka kenaikan kurva tersebut dipengaruhi oleh efek kopel dari gerakan lainnya.

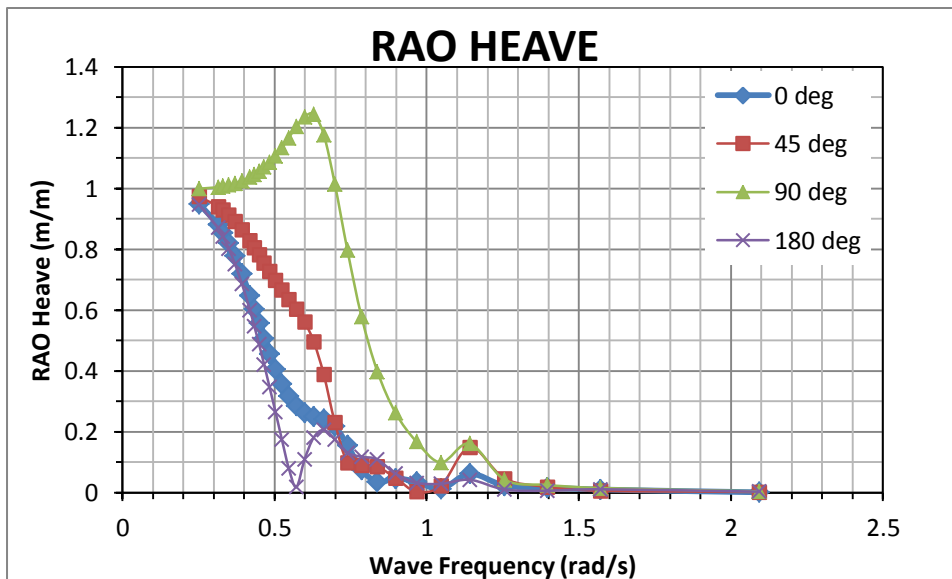
Penjelasan dibawah ini akan menerangkan karakteristik gerak kapal dengan variasi arah pembebanan gelombang, meliputi gelombang buritan (*heading* 0°), gelombang perempat buritan (*heading* 45°), gelombang sisi (*heading* 90°), dan gelombang haluan (*heading* 180°). Pembahasan akan lebih tepat jika dimulai dengan moda gerak vertikal dari kapal yaitu untuk gerakan *heave, roll, pitch*. Kemudian dilanjutkan dengan pembahasan moda gerak horizontal (*surge, sway, yaw*). Analisis karakteristik gerakan kapal di gelombang reguler dilakukan dengan membandingkan besarnya *Response Amplitudo Operator* (RAO) gerakan dari Kapal. Dimulai dengan pembahasan RAO gerakan *heave, roll, pitch* selanjutnya RAO gerakan *surge, sway, yaw* yang masing-masing akibat variasi

arah propagasi gelombang.

4.3.1 Karakteristik gerakan moda vertikal (*heave*, *roll* dan *pitch*)

Dalam hal kapal mengapung bebas tanpa sistem penambatan seperti pada hal ini maka akan lebih sesuai bila dibahas terlebih dulu ketiga metode gerakan vertikal yakni *heave*, *roll* dan *pitch*. Alasan utama hal ini adalah karena ketiga mode tersebut mempunyai pengaruh yang lebih dominan dibanding ketiga mode lainnya, yaitu *surge*, *sway* dan *yaw* yang diklasifikasikan sebagai mode gerakan horizontal.

RAO gerakan *Heave* seperti terlihat pada Gambar 4.5, pada frekuensi rendah RAO *Heave* mempunyai harga sekitar 1.0m/m. Intensitas gerakan *heave* terbesar terjadi saat gelombang sisi atau *heading* 90°. Harga tertingginya sebesar 1.243m/m yang terjadi pada frekuensi tinggi yaitu sekitar 0.63rad/s. Kurva RAO *heave* untuk gelombang sisi berawal dari harga mendekati *unity* yaitu 1.0m/m kemudian naik bertahap hingga frekuensi puncaknya, 0.63 rad/s selanjutnya harganya menurun cukup tajam sampai frekuensi sekitar 1.05rad/s dan terdapat puncak kedua pada frekuensi 1.15rad/s.

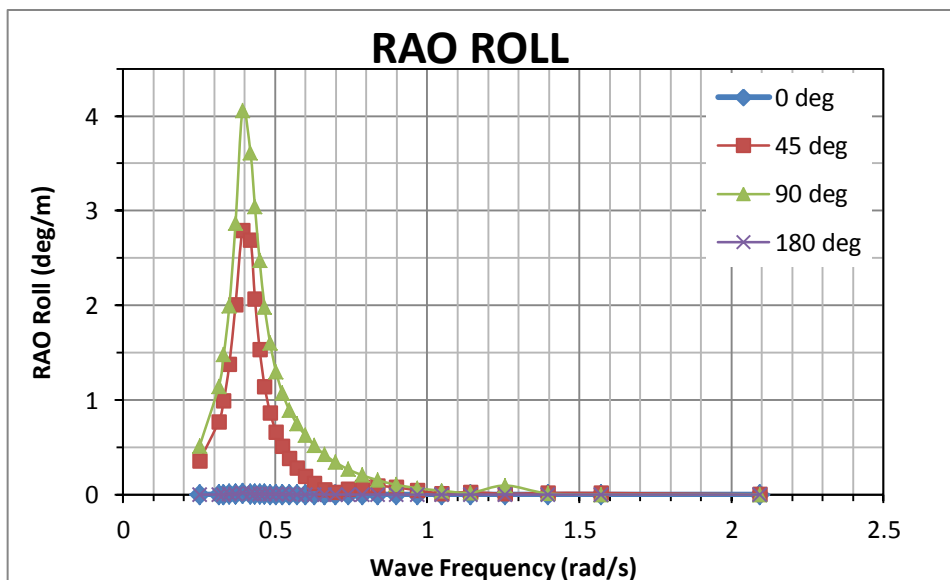


Gambar 4.5 RAO gerakan *heave* kapal kondisi *free floating*

Untuk gelombang yang berpropagasi dari haluan dan buritan, RAO *heave* tertinggi memiliki harga yang sama sebesar 0.946m/m yaitu pada frekuensi 0.25 rad/s. Dari harga awal yang mendekati nilai *unity* kemudian menurun secara tajam

sampai pada frekuensi 0.54rad/s. Di gelombang haluan, puncak kedua dari terjadi pada frekuensi 0.70 rad/s hal ini diakibatkan resonansi dari gerakan *pitch* sehingga mempengaruhi gerakan *heave*. Selanjutnya harga RAO *heave* terus menurun secara bertahap sampai frekuensi 2.1rad/s. Intensitas gerakan *heave* pada gelombang perempat buritan lebih besar dibanding akibat gelombang haluan dan gelombang buritan, namun masih lebih kecil dari intensitas akibat gelombang yang berpropagasi dari sisi. Secara umum gerakan *heave* akan tetap terjadi akibat gelombang pada semua arah.

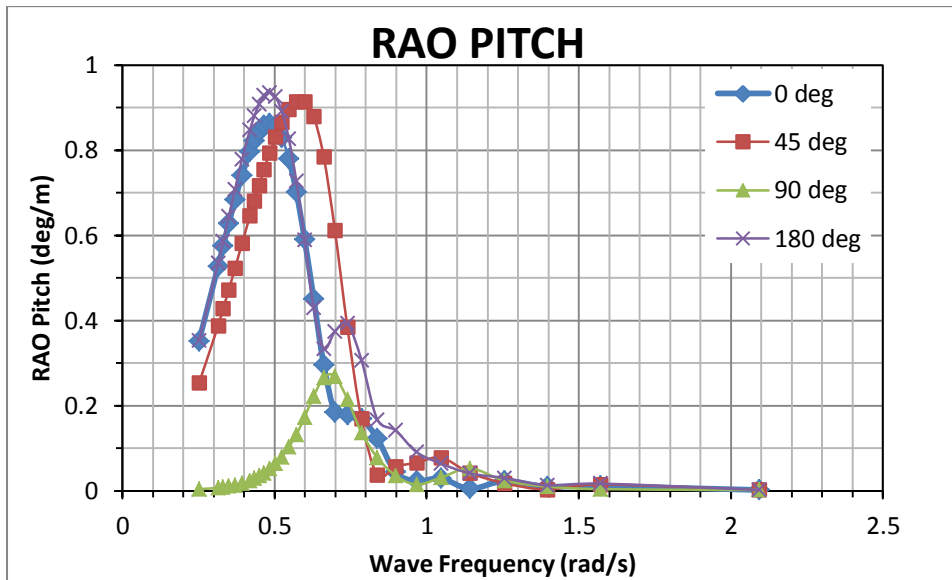
RAO gerakan *Roll* seperti terlihat pada Gambar 4.6 bahwa intensitas terbesar terjadi akibat gelombang sisi atau *heading* 90°. Harga RAO tertingginya sebesar 4.059deg/m yang terjadi pada frekuensi puncak 0.39 rad/s. Pada frekuensi rendah 0.25rad/s, RAO *roll* memiliki harga 0.512deg/m kemudian meningkat tajam menjadi 4.059deg/m di frekuensi puncaknya 0.39rad/s, kemudian menurun secara tajam berlanjut secara bertahap seiring meningkatnya frekuensi. Intensitas gerakan *roll* akibat gelombang perempat buritan cukup tinggi walaupun harganya lebih kecil dibandingkan gelombang sisi.



Gambar 4.6 RAO gerakan *roll* kapal kondisi *free floating*

Harga RAO *roll* tertinggi untuk gelombang perempat sebesar 2.793 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.39rad/s. Secara umum intensitas gerakan *roll* kapal akibat gelombang sisi dan gelombang perempat adalah cukup besar, hal ini disebabkan

oleh posisi titik berat kapal yang cukup tinggi yaitu 13.4 m di atas lunas kapal. Sebaliknya, untuk intensitas gerakan *roll* akibat gelombang haluan dan buritan tidak bernilai signifikan.



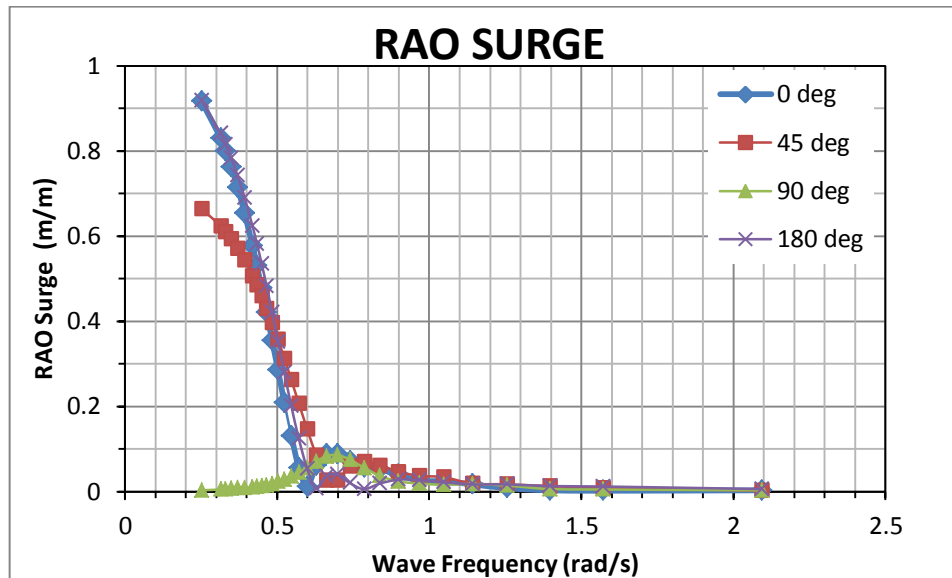
Gambar 4.7 RAO gerakan *pitch* kapal kondisi *free floating*

Gerakan *pitch* kapal terlihat pada Gambar 4.7 secara keseluruhan memiliki harga kurang dari 1 derajat pada amplitudo eksitasi gelombang satu meter. Untuk gelombang haluan (*heading* 180°) dan buritan (*heading* 0°) harga RAO *pitch* tertinggi secara berturut-turut 0.935 deg/m dan 0.863 deg/m, keduanya terjadi pada frekuensi puncak yang sama yaitu 0.48 rad/s. Intensitas gerakan *pitch* akibat gelombang perempat buritan (*heading* 45°) harga tertingginya sebesar 0.914deg/m, menarik diamati bahwa terdapat pergeseran frekuensi pada gerakan *pitch* tertingginya, yaitu di frekuensi 0.57rad/s. Selanjutnya intensitas gerakan *pitch* akibat gelombang sisi (*heading* 90°) tidak signifikan, walaupun masih terdapat harga sebesar 0.269rad/m yang terjadi di frekuensi resonansi gerakan *heave* 0.70 rad/s. Hal ini menarik bahwa gerakan *pitch* yang terjadi di gelombang sisi ternyata diakibatkan oleh resonansi gerakan *heave*.

4.3.2 Karakteristik gerakan mode Horizontal (*Surge*, *Sway* dan *Yaw*)

Setelah secara seksama mengkaji karakteristik gerakan vertikal, selanjutnya akan dibahas pola gerakan horizontal kapal, yakni *surge*, *sway* dan *yaw*. Dengan mengacu pada Gambar 4.8 sampai dengan 4.10. Kurva-kurva RAO ketiga gerakan

ini mempunyai harga besar di frekuensi rendah, mengarah ke nilai 1.0 pada frekuensi nol. Namun, demikian perlu digaris bawahi disini bahwa frekuensi nol artinya periode gelombangnya adalah tidak berhingga atau sebenarnya sama dengan air tenang. Sehingga tidak pernah dan tidak perlu lagi di bahas (Djatkiko, 2012).

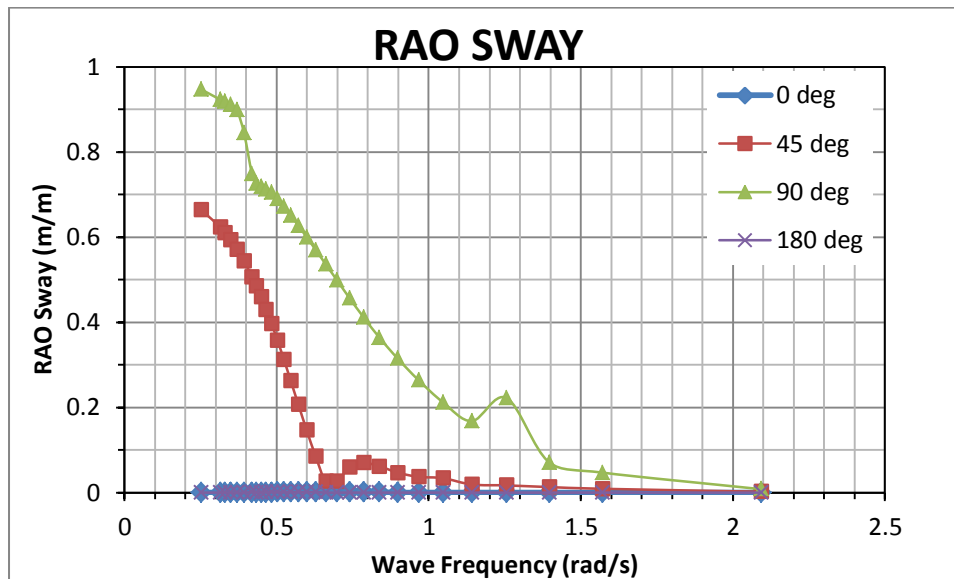


Gambar 4.8 RAO gerakan *surge* kapal kondisi *free floating*

Dapat dilihat pada Gambar 4.8 bahwa RAO *Surge* terbesar berada pada daerah frekuensi rendah, yaitu di frekuensi 0.25 rad/s harga RAO gelombang haluan sebesar 0.918 m/m. Dari harga puncak RAO pada frekuensi 0.25 rad/s, harganya kemudian menurun cukup tajam menjadi 0.012 m/m pada frekuensi sekitar 0.63 rad/s. Namun kemudian mengalami kenaikan sedikit menjadi 0.089 m/m pada frekuensi sekitar 0.7 rad/s dan selanjutnya menurun secara bertahap sampai 0.003 m/m pada frekuensi 2.1 rad/s. Akibat gelombang buritan, pola kurva gerakan *surge* adalah tipikal dengan arah gelombang haluan. RAO tertinggi untuk gelombang perempat buritan yaitu sebesar 0.664 m/m pada frekuensi 0.25 rad/s kemudian menurun signifikan seiring bertambahnya frekuensi.

Gelombang sisi menghasilkan RAO *surge* yang tidak signifikan, yaitu berada di bawah harga 0.1 m/m. RAO tertingginya hanya 0.086 m/m yang terjadi pada frekuensi 0.66 rad/s. RAO *surge* dapat disimpulkan sudah sesuai mengingat respon terbesar *surge* mengikuti arah gelombang dengan *heading* dari depan

(haluan) dan belakang kapal (buritan). Harga RAO *surge* akibat gelombang perempat akan bernilai lebih kecil amplitudo harga RAO *surge* akibat gelombang haluan dan gelombang buritan, dan untuk gelombang sisi RAO *surge* akan sangat kecil atau tidak signifikan. Bahkan secara teoritis gerakan *surge* tidak akan terjadi pada gelombang sisi, namun komputasi menunjukkan adanya hasil.

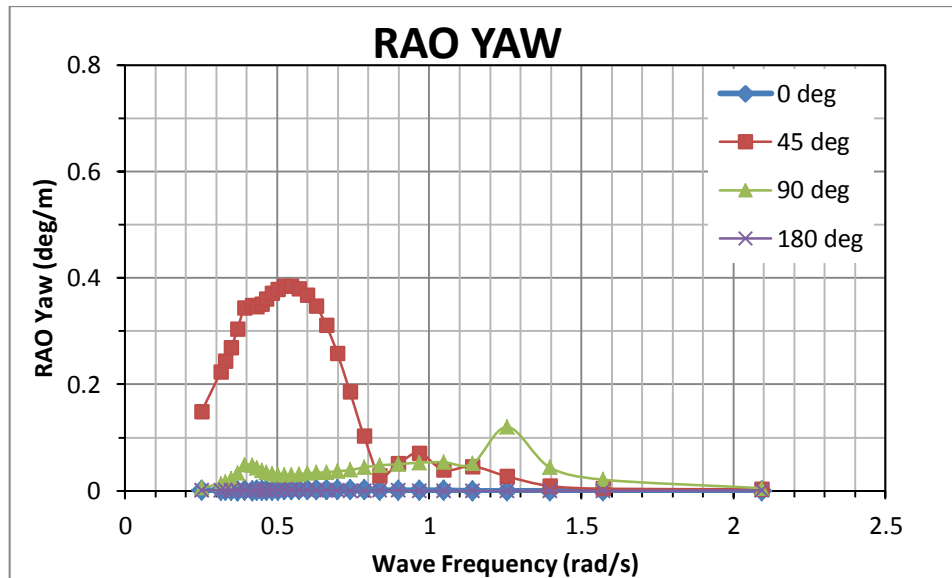


Gambar 4.9 RAO gerakan *sway* kapal kondisi *free floating*

RAO gerakan *Sway* dapat dilihat pada Gambar 4.9, intensitas gerakan terbesar terjadi pada propagasi gelombang sisi atau *heading* 90° . Harga RAO *sway* tertinggi adalah sebesar 0.947 m/m yang terjadi pada frekuensi 0.25 rad/s. Dari harga tertingginya RAO *sway* terus menurun seiring meningkatnya frekuensi.

RAO *sway* pada gelombang perempat buritan memiliki intensitas yang lebih rendah amplitudo dengan gelombang sisi. RAO *sway* tertinggi akibat gelombang perempat buritan yaitu sebesar 0.655 m/m yang terjadi pada frekuensi 0.25 rad/s. Sedangkan untuk gelombang haluan dan gelombang buritan harga RAO *sway* tidak signifikan, yaitu harga tertingginya hanya 0.026 m/m untuk gelombang buritan dan 0.017 m/m untuk gelombang haluan. Gerakan *sway* dominan terjadi akibat gelombang dengan frekuensi rendah atau gelombang panjang, seperti pada gerakan *surge*.

Secara keseluruhan karakteristik gerakan *sway* dari AEGIR adalah cukup baik mengingat harga RAO nya lebih kecil dari 1.0m/m. Yang artinya amplitudo respon *sway* yang terjadi lebih kecil dari amplitudo eksitasi gelombang.



Gambar 4.10 RAO gerakan *yaw* kapal kondisi *free floating*

Secara umum intensitas gerakan *yaw* pada Gambar 4.10 memiliki nilai yang cukup kecil, yaitu harga tertinggi dari semua arahnya berada di bawah 0.4deg/m. Untuk gelombang haluan (*heading* 180°) dan buritan (*heading* 0°) harga RAO *yaw* tidak signifikan, yaitu hanya berada di bawah 0.02deg/m saja. Hal ini mengingat *yaw* merupakan gerakan rotasional, sehingga kecil pengaruh gerakan *yaw* yang diakibatkan dari eksitasi gelombang sejajar dengan panjang kapal. Begitu pula untuk gelombang sisi harga RAO *yaw* hanya 0.12deg/m. Intensitas gerakan *yaw* akan lebih dominan akibat gelombang *quartering* dalam kasus ini pada propagasi gelombang perempat buritan. Meskipun demikian harga tertingginya hanya 0.4deg/m saja, secara keseluruhan karakteristik gerakan *yaw* kapal cukup baik mengingat harga RAO nya lebih kecil dari 1.0deg/m.

Selanjutnya dirangkum nilai maksimum RAO untuk setiap moda gerakan pada masing-masing arah propagasi gelombang dalam Tabel 4.2

Tabel 4.2 RAO Tertinggi dan frekuensi alami gerakan kapal

Moda Gerakan	Satuan	RAO Maximum				Frekuensi Alami (rad/s)
		0 deg	45 deg	90 deg	180 deg	
<i>Surge</i>	m/m	0.916	0.664	0.086	0.918	-
<i>Sway</i>	m/m	0.001	0.655	0.947	0.001	-
<i>Heave</i>	m/m	0.949	0.973	1.243	0.946	0.6283
<i>Roll</i>	deg/m	0.014	2.793	4.059	0.017	0.3927
<i>Pitch</i>	deg/m	0.863	0.914	0.269	0.935	0.4833
<i>Yaw</i>	deg/m	0.002	0.385	0.12	0.002	-

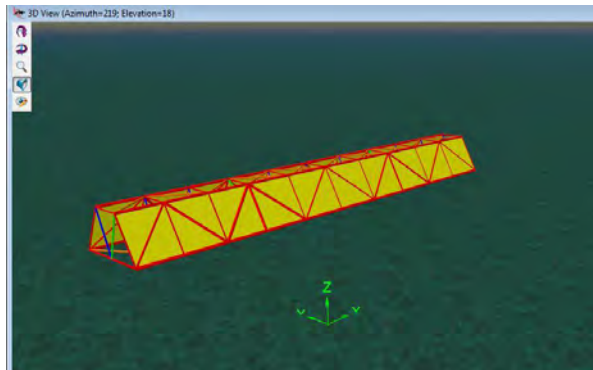
4.4 Pemodelan RSS Arch

Pemodelan RSS Arch dilakukan menggunakan software Orcaflex sebagai 6D Buoy yaitu benda apung yang memiliki 6 derajat kebebasan. Masing-masing elemen *tubular* yang memiliki *property* berbeda dimodelkan satu per satu sebagai 6D Buoy yang kemudian digabungkan menjadi konstruksi *frame* RSS Arch. Ditambah dengan *Gutter* yang diidealisasikan sebagai plat di kedua sisi *frame*. Perlu diingat bahwa input *property* dari model adalah yang paling penting, sehingga dilakukan perhitungan manual terlebih dahulu *property* dari setiap elemen RSS Arch untuk selanjutnya dimasukkan dalam program. Untuk *property* silinder harga koefisien massa tambah = 1.0, koefisien drag = 1.0. Sedangkan untuk *gutter/ plat* harga koefisien massa tambah = 1.0, koefisien gaya drag = 1.61.

Tabel 4.3 Data Riser Support Structure Arch (RSS Arch)

Dimensi	Nilai	Satuan
Panjang	127.3	m
Lebar	20	m
Tinggi	11	m
Berat	1604	Ton

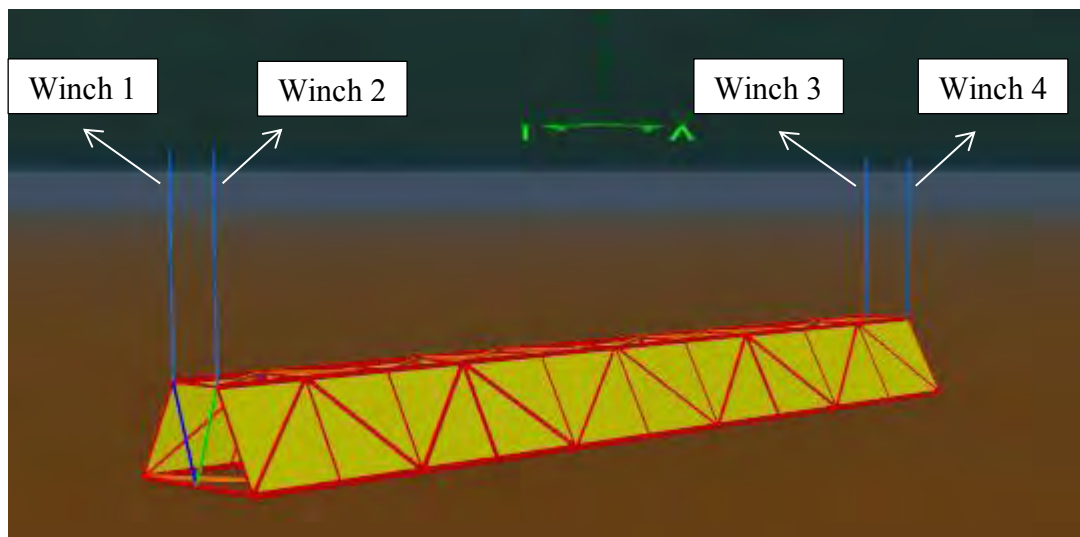
Namun perlu diingat bahwa pemodelan RSS Arch ini tidak dimasukkan RAO gerakannya, sehingga objek akan bergerak mengikuti gerakan kapal. Hasil pemodelan struktur RSS Arch menggunakan Orcaflex dapat dilihat Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Model RSS Arch pada Orcaflex Tampak Isometri

4.4.1 Perhitungan Berat RSS saat tercelup air

Perhitungan berat RSS saat tercelup air diperlukan untuk mendapatkan harga kriteria kekenduran (*slack*) dari sling. Dimana menurut DNV RP H103 (2011) menyebutkan bahwa harga minimum tension untuk menghindari kekenduran sling harus lebih besar dibanding 10% dari berat tercelup objek. Berat tercelup dari objek dihitung dengan cara meletakkan objek berada di bawah air dan menambah 4 buah *winch* yang menghubungkan ujung RSS dengan sebuah titik *fixed* di ujung. Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Model RSS Arch tercelup air dengan diangkat 4 *winch*

Kemudian dilakukan *running* statis dari model tersebut untuk mengetahui harga *tension* yang terjadi pada masing-masing *winch*. Hal ini berprinsip seperti pada *lifting* pada umumnya, dimana gaya tarik yang terjadi pada *winch*

diakibatkan oleh berat dari benda yang diangkat. Sehingga jika harga tension masing-masing *winch* diketahui, maka dapat dihitung berat benda yang diangkat. Perlu dicatat bahwa berat RSS di udara adalah 1604 Ton. Dalam kasus ini RSS telah tercelup air, maka terdapat gaya *buoyancy* yang menyebabkan berat benda saat tercelup menjadi lebih kecil harganya dibanding berat saat di udara. Hasil *tension* dari ke-empat *winch* yang dihasilkan adalah:

Tabel 4.4 Harga Tension *Winch*

Winch	Tension (kN)
1	1172.95
2	1612.88
3	1438.32
4	1878.24
Total	6102.39

Harga total tension atau penjumlahan dari masing-masing tension pada semua *winch* adalah sama dengan berat tercelup dari benda yang diangkat. Sehingga didapatkan berat tercelup dari RSS sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Berat tercelup} &= \text{Total Tension} / \text{percepatan gravitasi} \\ &= 6102.39 / 9.81 \\ &= 622.1 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Buoyancy} &= \text{Berat diudara} - \text{Berat tercelup} \\ &= 1604 - 622.1 \\ &= 981.9 \text{ ton} \end{aligned}$$

Artinya *buoyancy* yang dihasilkan sebesar 981.9 ton dan berat tercelup adalah sebesar 622.1 ton. Kemudian dapat dihitung kriteria Tension agar tidak terjadi kekenduran sling yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Kriteria Slack} &= 10\% * \text{Berat tercelup} \\ &= 0.1 * 622.1 \\ &= 62.21 \text{ Ton} \\ &= 610.3 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kriteria *slack* nantinya digunakan untuk mengevaluasi harga minimum *tension* dalam perhitungan operabilitas. Dimana sling dikatakan mampu operasi terhadap kriteria ini jika harga minimum *tension* lebih dari 610.3 kN.

4.5 Pemodelan Kapal termasuk konfigurasi beban

Kapal yang dilengkapi dengan *crane* di buritan bagian *starboard* (sebelah kanan) kapal. Input besaran hidrodinamika pada Orcaflex didapat dari hasil analisis menggunakan software MOSES. Besaran yang dimasukkan meliputi ukuran kapal, massa struktur, *Response Amplitudo Operator*, kekakuan, *added mass*, *damping* yang didapatkan dari luaran software MOSES.

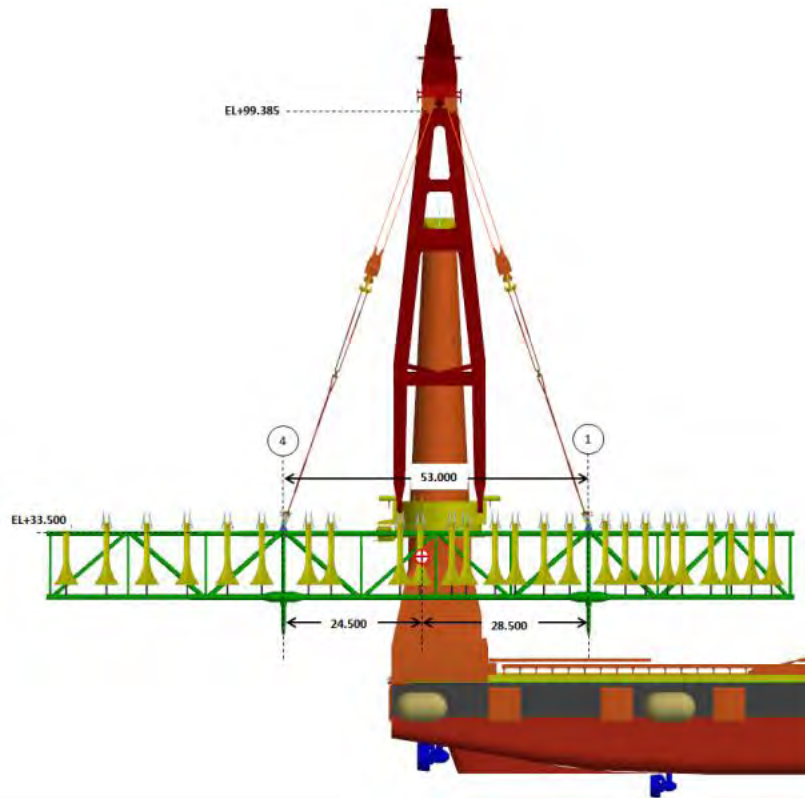
Tabel 4.5 Data Konfigurasi *Rigging*

Dimensi	Nilai	Satuan
Kapasitas <i>Crane</i> sampai radius 50 m	3000	Ton
Slew Angle	90	deg
Boom Angle	21	deg
Diameter Wire	72	mm
Hoist		
Jumlah	2	-
Reeving	2x12	-
Kekakuan Aksial (EA)	3.36E+06	kN
<i>Crane Block</i>		
Jumlah	2	-
Berat	88.5	Ton
Sling		
Jumlah	4	-
Panjang Sling A1	48.17	m
Panjang Sling A4	46.12	m
Panjang Sling B1	48.08	m
Panjang Sling B4	46.03	m
<i>Safe Working Load Hoisting Wire</i>	1500	Ton
Kekakuan Aksial (EA)	4.50E+06	kN
Posisi Ujung <i>Crane</i>		
X (dari Stern)	8.4	m
Y (dari Tengah)	43.6	m
Z (dari Lunas)	118.6	m

Selanjutnya dilengkapi dengan konfigurasi *rigging* berupa *Crane Sling 1*, *Crane Sling 2*, *Sling A1*, *A4*, *B1*, dan *B4* yang menghubungkan objek RSS Arch pada Ujung *Crane* dari kapal instalasi.

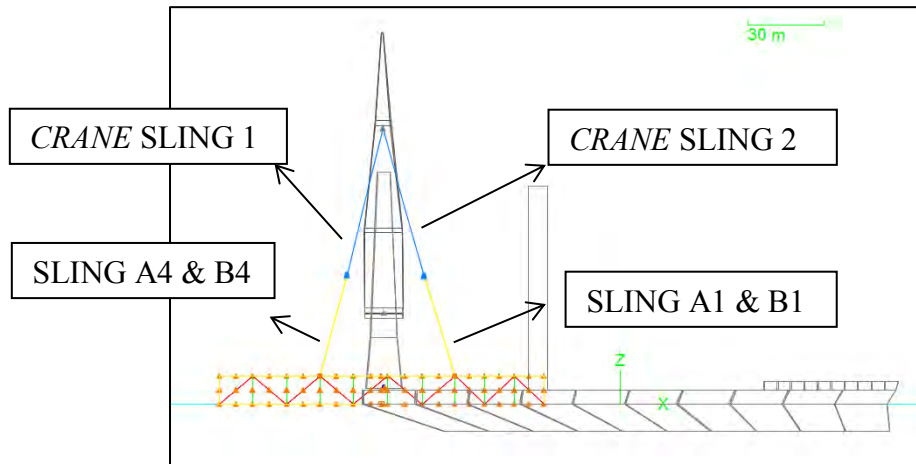


Gambar. 4.13 Konfigurasi *rigging* Kapal saat mengangkat beban RSS (tampak belakang)

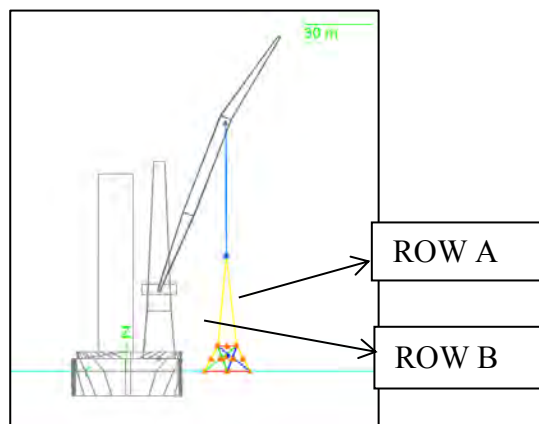


Gambar. 4.14 Konfigurasi *rigging* Kapal saat mengangkat beban RSS (tampak samping)

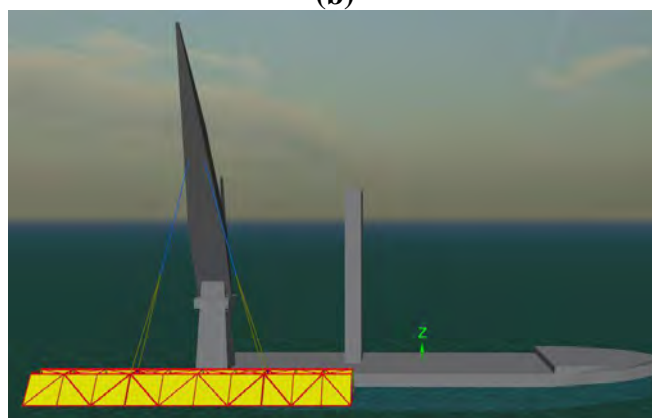
Hasil pemodelan lengkap untuk Kapal yang sedang membawa beban untuk diturunkan di *splash zone* dilakukan menggunakan Orcaflex.



(a)



(b)



(c)

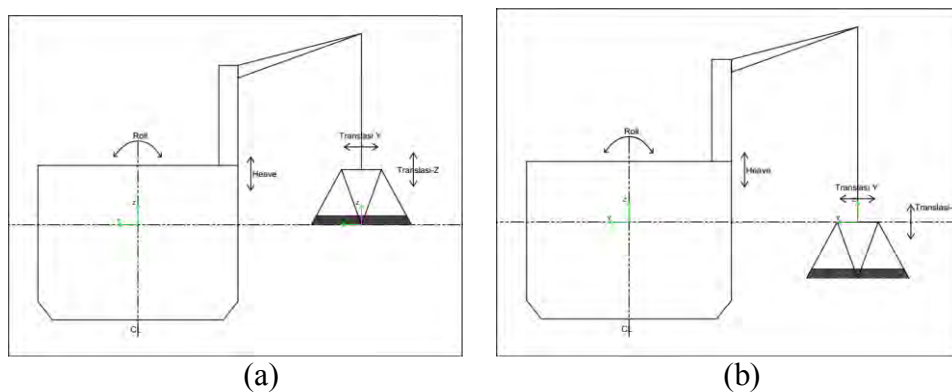
Gambar 4.15 Model Kapal Instalasi termasuk Konfigurasi beban
Tampak samping (b) tampak belakang (c) tampak isometri

Posisi objek RSS Arch pada Gambar 4.15 di atas berada tepat diatas permukaan air, yaitu pada bagian paling bawah struktur. Telah disebutkan diatas bahwa terdapat 2 variasi posisi objek yang dilakukan analisis, yaitu konisi #1 saat objek tepat diatas muka air dan kondisi #2 saat objek tercelup air yang dapat dilihat pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19.

4.6 Respon Gerakan Kapal dan Objek akibat Gelombang Acak

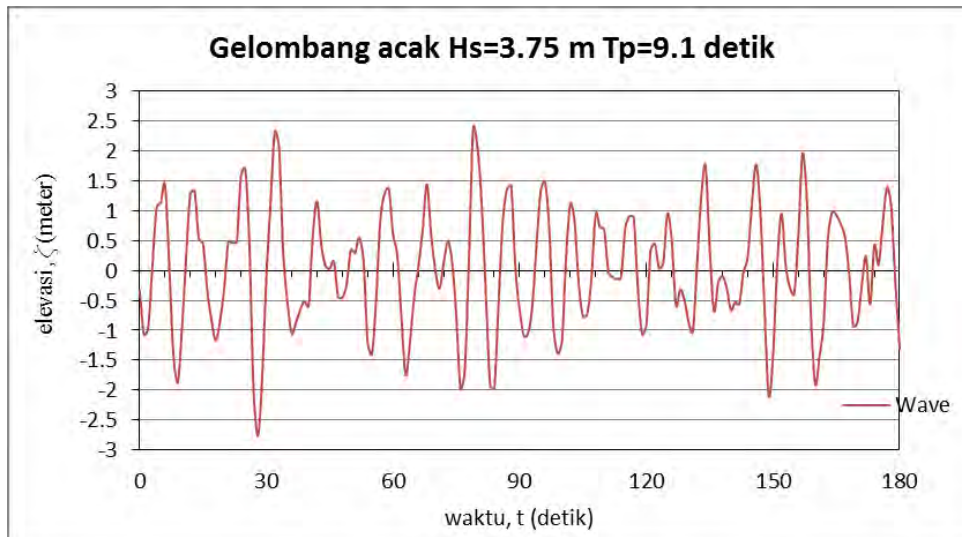
Respon gerakan kapal hasil simulasi dinamis *time domain* dilakukan selama 3 jam, namun untuk penyajian dalam analisis jika ditunjukkan rekaman selama 3 jam akan sulit untuk memberikan visualisasi yang jelas. Oleh karena itu diwakili dengan rekaman selama 180 detik untuk menunjukkan osilasi gerakan yang lebih jelas.

Interaksi gerakan kapal dan gerakan objek yang dibahas adalah gerakan moda vertikal dari kapal, meliputi gerakan *heave*, *roll*, dan *pitch*; sedangkan untuk gerakan objek yang dibahas meliputi: gerakan translasi terhadap sumbu-x, gerakan translasi terhadap sumbu-y, gerakan translasi terhadap sumbu-z. Demi kepentingan efisiensi penulisan maka untuk analisis yang ditunjukkan hanya ditampilkan untuk hasil respon gerakan yang paling ekstrim, yaitu akibat gelombang acak dengan $H_s=3.75$ m dengan variasi arah propagasi gelombang haluan (*heading* 180°), gelombang buritan (*heading* 0°), gelombang perempat buritan (*heading* 45°), dan gelombang sisi (*heading* 90°). Moda gerakan kapal dan gerakan objek dapat dilihat pada ilustrasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4.16. Gerakan Kapal dan Objek (a) objek berada di atas air; (b) objek tercelup air

Dipandang perlu untuk menunjukkan rekaman gelombang acak yang dibangkitkan sebagai sumber beban lingkungan yang mengakibatkan respon gerakan dan gaya pada struktur terapung.



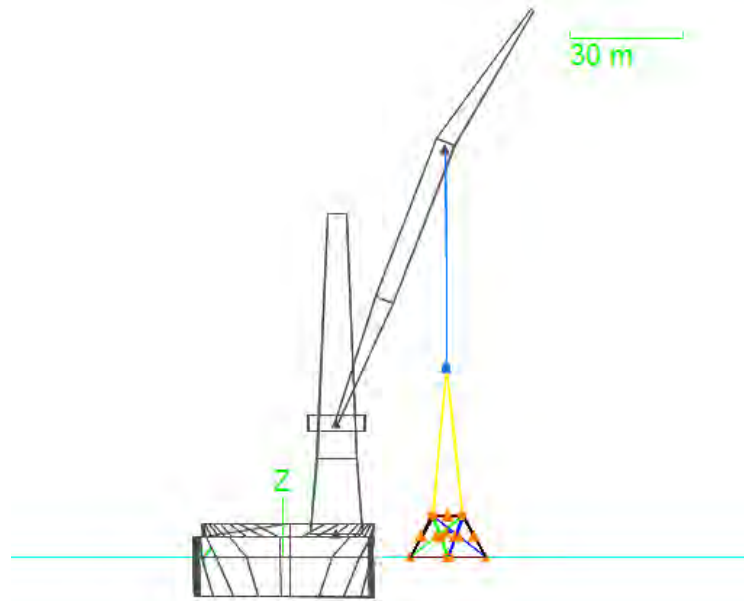
Gambar 4.17 Rekamana gelombang acak dengan $H_s=3.75\text{m}$

Seperti terlihat pada Gambar 4.17 rekaman gelombang acak selama 180 detik sudah dapat mewakili rekaman gelombang acak dengan tinggi gelombang signifikan $H_s=3.75\text{m}$ atau amplitudo gelombang signifikan sebesar 1.875 m . Elevasi yang terjadi dapat mencapai amplitudo lebih kecil dan lebih besar dari harga amplitudo gelombang signifikannya.

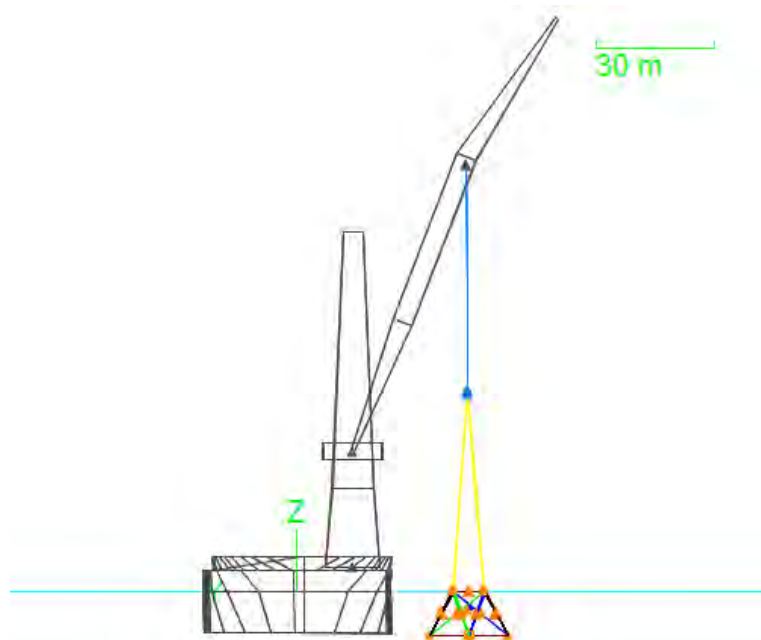
4.6.1 Respon gerakan Kapal dengan objek di *splash zone* yang bergelombang acak

Pada bagian ini akan diulas mengenai hasil respon gerakan kapal saat membawa beban, gerakan kapal yang ditinjau adalah moda vertikal, yaitu gerakan *heave*, *roll*, dan *pitch*. Pembahasan dilakukan dengan membandingkan posisi objek yang diangkat, yaitu untuk kondisi #1 objek berada di muka air, dan kondisi #2 objek tercelup air. Variasi posisi dari objek yang diturunkan dapat dilihat pada Gambar 4.18 dan 4.19.

Variasi arah pembebanan gelombang acak juga ditunjukkan untuk menunjukkan intensitas respon gerakan akibat arah propagasi gelombang dengan $H_s=3.75\text{ m}$.



Gambar 4.18. Model Kapal dengan objek (RSS) di muka air (kondisi #1)



Gambar 4.19. Model Kapal dengan objek (RSS) tercelup air (kondisi #2)

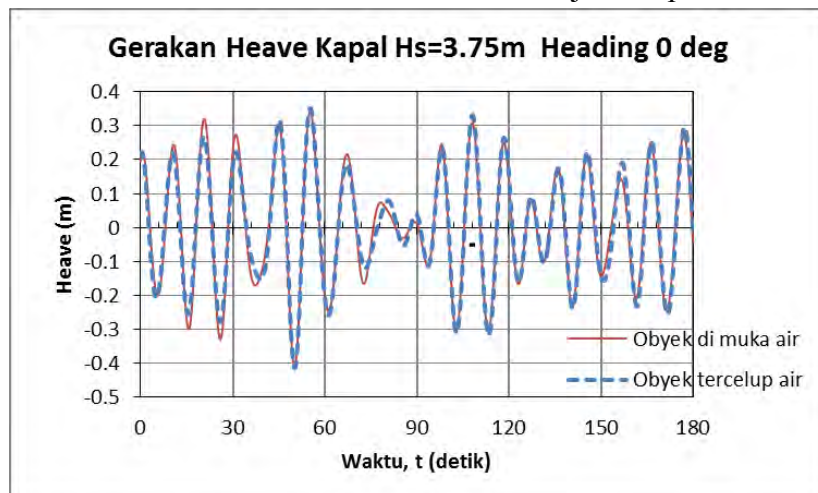
4.6.2 Respon gerakan Kapal kondisi #1 dan kondisi #2

Pada bagian ini akan diberikan plot rekaman gerakan *heave* kapal saat membawa beban yaitu untuk kondisi #1 dan kondisi #2 dengan variasi arah pembebanan juga ditunjukkan mulai dari Gambar 4.20 s/d Gambar 4.23. Perubahan titik berat pada kapal saat membawa beban dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perubahan titik berat kapal kondisi #1 dan kondisi #2

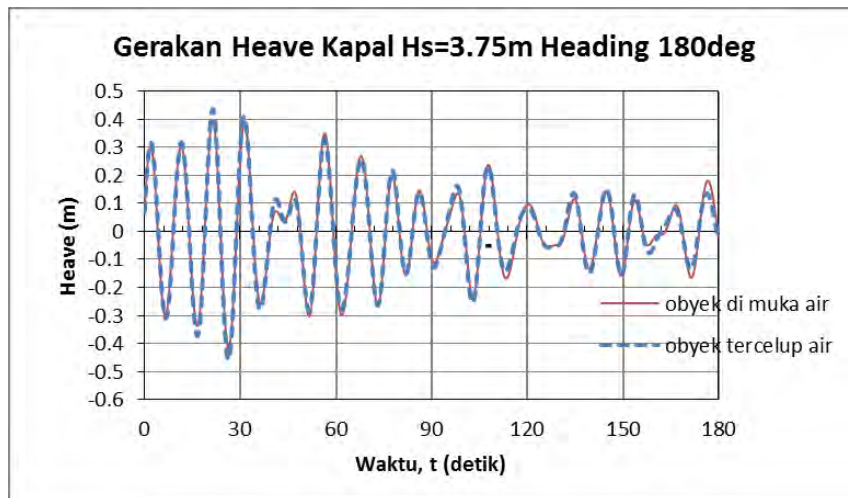
Besaran	Kondisi 1	Kondisi 2
Displasemen Kapal (ton)	78489	78489
Berat Objek (ton)	1604	622.1
LCG (m) dari stern	96.932	96.932
TCG (m) dari tengah, positif <i>portiside</i>	-1.069	-1.069
VCG (m) dari lunas	13.472	13.251

Untuk gerakan *heave* kondisi #1 dan kondisi #2 ditunjukkan pada Gambar 4.25



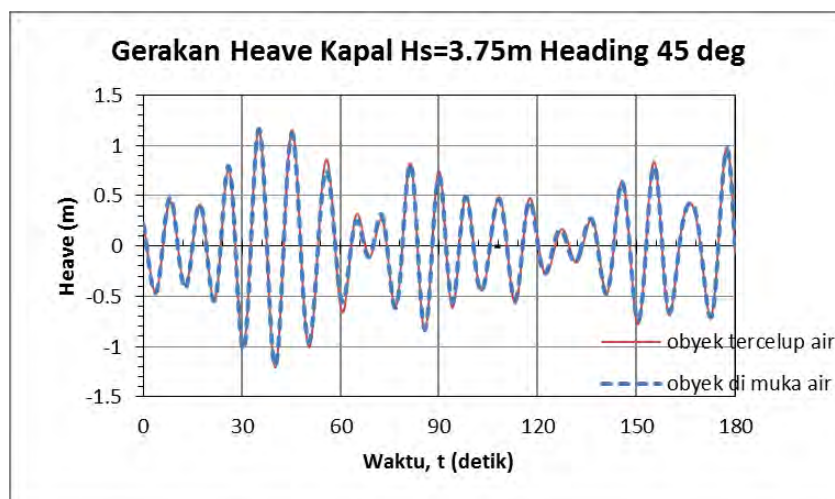
Gambar 4.20. Gerakan *heave* kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 0°

Gerakan *heave* kapal akibat gelombang dari arah 0 derajat untuk kondisi #1 dan kondisi #2 beresilasi dengan pola yang mirip meskipun masih terdapat sedikit perbedaan. Perbedaan gerakan *heave* ini diakibatkan oleh letak titik berat vertikal (VCG) dari kapal pada kondisi #1 sedikit berbeda dengan kondisi #2 (selisih $13.472-13.251=0.221\text{m}$) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7.



Gambar 4.21. Gerakan *heave* kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 180°

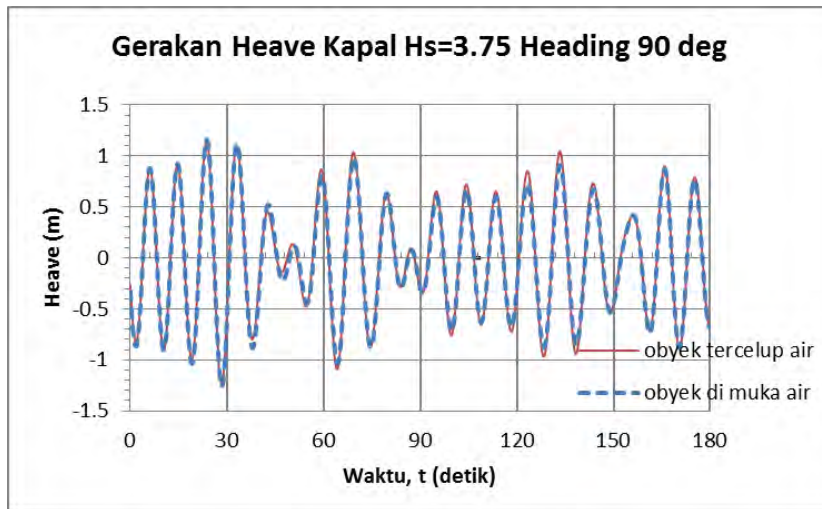
Gerakan *heave* kapal akibat gelombang dari arah 180 derajat untuk kondisi #1 dan kondisi #2 beresilasi dengan pola yang mirip meskipun masih terdapat sedikit perbedaan. Perbedaan gerakan *heave* ini diakibatkan oleh letak titik berat vertikal (VCG) dari kapal pada kondisi #1 sedikit berbeda dengan kondisi #2 (selisih $13.472-13.251=0.221\text{m}$) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7.



Gambar 4.22. Gerakan *heave* kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 45°

Gerakan *heave* kapal akibat gelombang dari arah 180 derajat untuk kondisi #1 dan kondisi #2 beresilasi dengan pola yang mirip meskipun masih terdapat sedikit perbedaan. Perbedaan gerakan *heave* ini diakibatkan oleh letak titik berat vertikal

(VCG) dari kapal pada kondisi #1 sedikit berbeda dengan kondisi #2 (selisih $13.472-13.251=0.221\text{m}$) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7.



Gambar 4.23. Gerakan *heave* kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 90°

Gerakan *heave* kapal akibat gelombang dari arah 90 derajat untuk kondisi #1 dan kondisi #2 beresilasi dengan pola yang mirip meskipun masih terdapat sedikit perbedaan. Perbedaan gerakan *heave* ini diakibatkan oleh letak titik berat vertikal (VCG) dari kapal pada kondisi #1 sedikit berbeda dengan kondisi #2 (selisih $13.472-13.251=0.221\text{m}$) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Periode dan frekuensi gerakan *Heave* Kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{ m}$

Gerakan	Heading (deg)	Kondisi 1		Kondisi 2	
		Periode (s)	Frekuensi (rad/s)	Periode (s)	Frekuensi (rad/s)
<i>Heave</i>	0	10.07	0.62	10.10	0.62
	45	9.5	0.66	9.51	0.66
	90	9.57	0.66	9.59	0.66
	180	9.59	0.65	9.6	0.66

Memperhatikan respon gerakan *heave* kapal yang ditunjukkan pada Gambar 4.20 s/d 4.23 dapat diamati bahwa dengan tinggi gelombang yang sama ($H_s=3.75\text{m}$), gerakan kapal saat objek berada di muka air dan objek tercelup air adalah mirip/tipikal. Hal ini berlaku untuk semua arah propagasi gelombang baik itu gelombang haluan, gelombang buritan, gelombang perempat dan gelombang sisi.

Ditambah lagi dengan melihat Tabel 4.7 harga periode dan frekuensi gerakan *heave* nya adalah hampir sama.

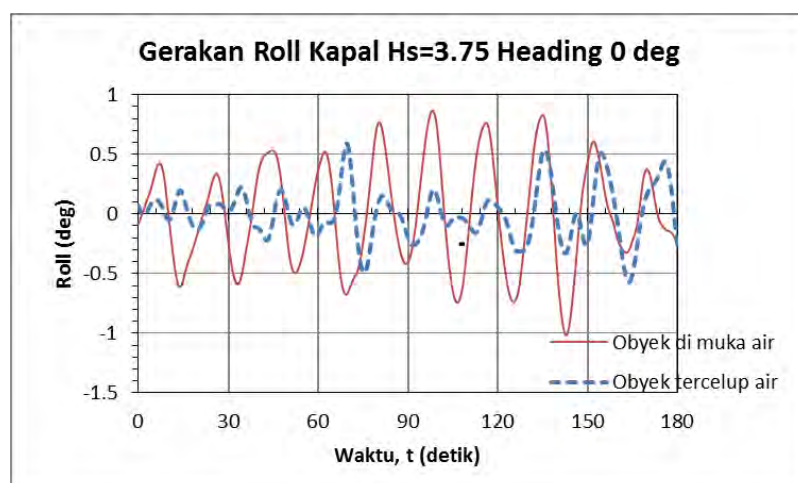
Pada bagian ini akan diberikan plot rekaman gerakan *roll* kapal saat membawa beban yaitu untuk kondisi #1 dan kondisi #2 dengan variasi arah pembebanan yang ditunjukkan mulai dari Gambar 4.24 s/d Gambar 4.27.

Untuk perubahan titik berat kapal akibat adanya beban diberikan pada tabel 4.7

Tabel 4.8 Posisi titik berat kapal akibat adanya beban kondisi #1 kondisi #2

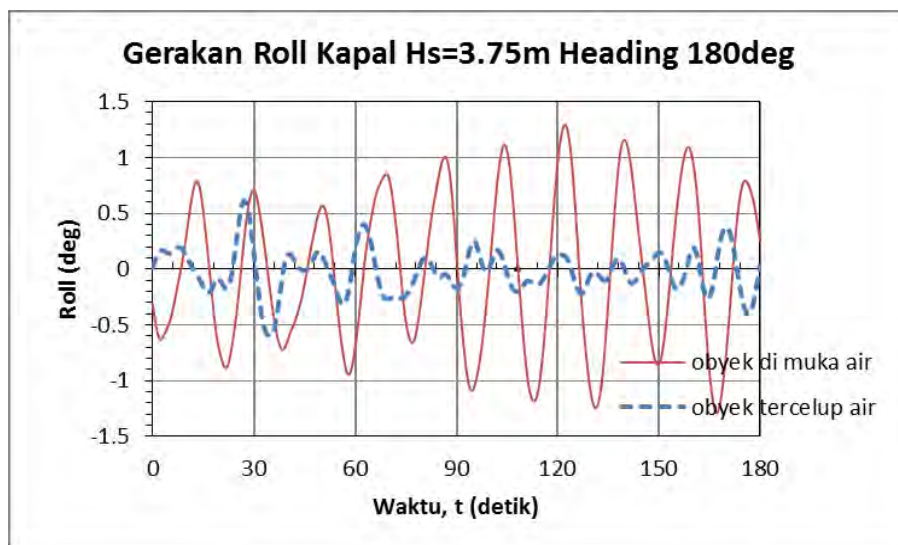
Besaran	Kondisi 1	Kondisi 2
Displasemen Kapal (ton)	78489	78489
X (m) dari stern	96.932	96.932
Y (m) dari tengah, positif <i>portiside</i>	-1.069	-1.069
Z (m) dari lunas	13.472	13.251

Gerakan *roll* kapal akibat gelombang dari arah 0 derajat untuk kondisi #1 dan kondisi #2 beresilasi dengan pola jauh berbeda. Gerakan *roll* kapal kondisi #1 memiliki osilasi yang jauh berbeda dan jauh lebih besar dibanding kondisi #2. Hal ini diakibatkan perbedaan momen inersia *roll* yang besar dari kedua kondisi. Momen inersia *roll* dipengaruhi oleh displasemen dan vcg, dengan kapal displasemen yang besar, sedikit pergeseran letak vcg akan mengakibatkan momen inersia *roll* yang sangat besar.



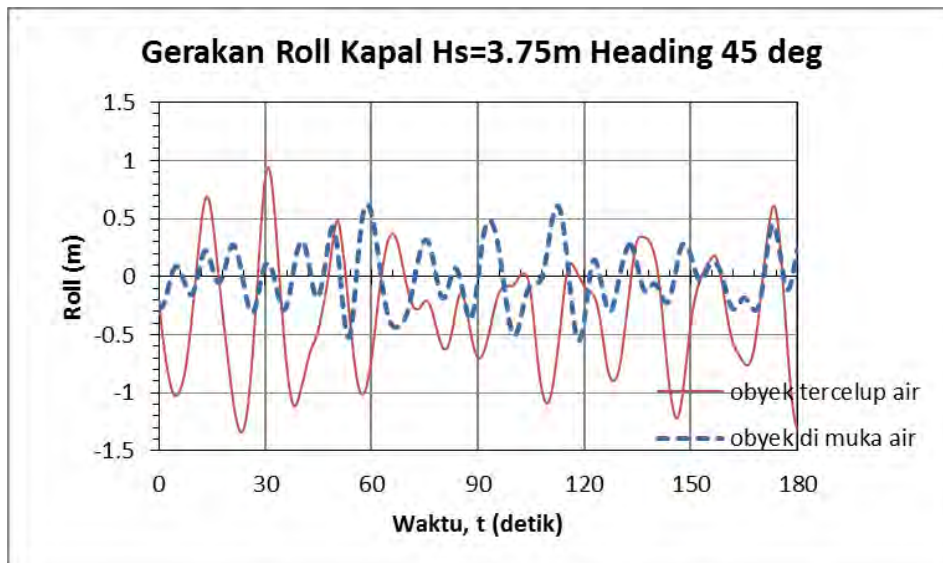
Gambar 4.24 Gerakan *roll* kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75m$ heading 0°

Gerakan *roll* kapal akibat gelombang dari arah 0 derajat untuk kondisi #1 dan kondisi #2 beresilasi dengan pola jauh berbeda. Gerakan *roll* kapal kondisi #1 memiliki osilasi yang jauh berbeda dan jauh lebih besar dibanding kondisi #2. Hal ini diakibatkan perbedaan momen inersia *roll* yang besar dari kedua kondisi. Momen inersia *roll* dipengaruhi oleh displasemen dan vcg, dengan kapal displasemen yang besar, sedikit pergeseran letak vcg akan mengakibatkan momen inersia *roll* yang sangat besar.



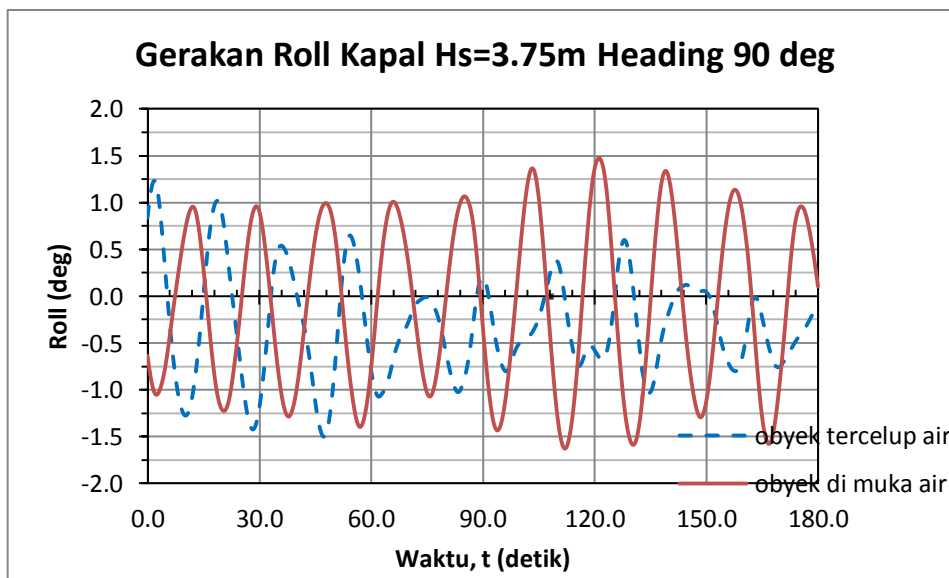
Gambar 4.25 Gerakan *roll* kapal akibat gelombang acak Hs=3.75m heading 180°

Gerakan *roll* kapal akibat gelombang dari arah 0 derajat untuk kondisi #1 dan kondisi #2 beresilasi dengan pola jauh berbeda. Gerakan *roll* kapal kondisi #1 memiliki osilasi yang jauh berbeda dan jauh lebih besar dibanding kondisi #2. Hal ini diakibatkan perbedaan momen inersia *roll* yang besar dari kedua kondisi. Momen inersia *roll* dipengaruhi oleh displasemen dan vcg, dengan kapal displasemen yang besar, sedikit pergeseran letak vcg akan mengakibatkan momen inersia *roll* yang sangat besar.



Gambar 4.26 Gerakan *roll* kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 45°

Gerakan *roll* kapal akibat gelombang dari arah 0 derajat untuk kondisi #1 dan kondisi #2 beresilasi dengan pola jauh berbeda. Gerakan *roll* kapal kondisi #1 memiliki osilasi yang jauh berbeda dan jauh lebih besar dibanding kondisi #2. Hal ini diakibatkan perbedaan momen inersia *roll* yang besar dari kedua kondisi. Momen inersia *roll* dipengaruhi oleh displasemen dan vcg, dengan kapal displasemen yang besar, sedikit pergeseran letak vcg akan mengakibatkan momen inersia *roll* yang sangat besar.



Gambar 4.27 Gerakan *roll* kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 90°

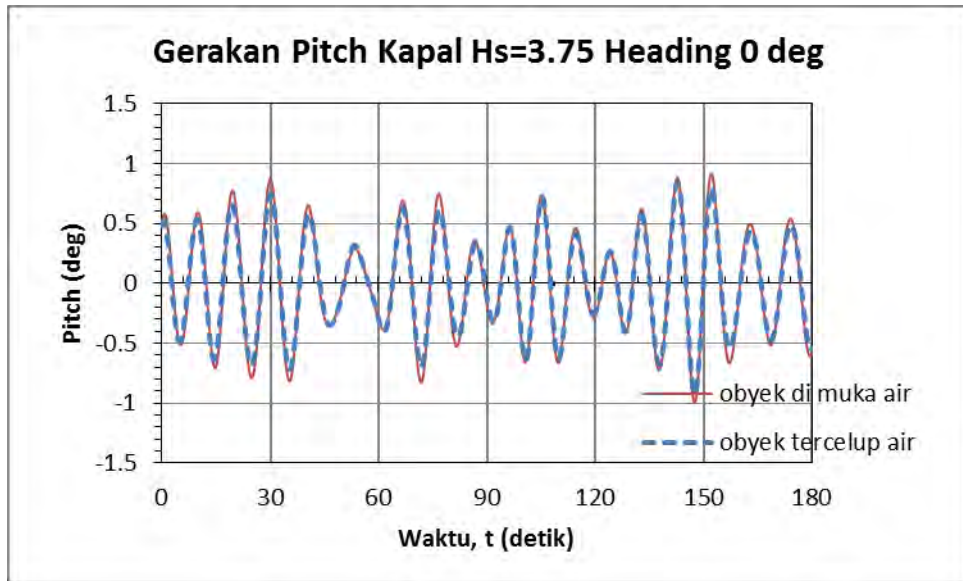
Gerakan *roll* kapal akibat gelombang dari arah 0 derajat untuk kondisi #1 dan kondisi #2 beresilasi dengan pola jauh berbeda. Gerakan *roll* kapal kondisi #1 memiliki osilasi yang jauh berbeda dan jauh lebih besar dibanding kondisi #2. Hal ini diakibatkan perbedaan momen inersia *roll* yang besar dari kedua kondisi. Momen inersia *roll* dipengaruhi oleh displasemen dan vcg, dengan kapal displasemen yang besar, sedikit pergeseran letak vcg akan mengakibatkan momen inersia *roll* yang sangat besar.

Tabel 4.9 Periode dan frekuensi gerakan *Roll* Kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75$ m

Gerakan	Heading (deg)	Kondisi 1		Kondisi 2	
		Periode (s)	Frekuensi (rad/s)	Periode (s)	Frekuensi (rad/s)
<i>Roll</i>	0	18.48	0.34	12.88	0.49
	45	18.35	0.34	12.03	0.52
	90	17.29	0.36	11.89	0.53
	180	18.46	0.34	13.27	0.47

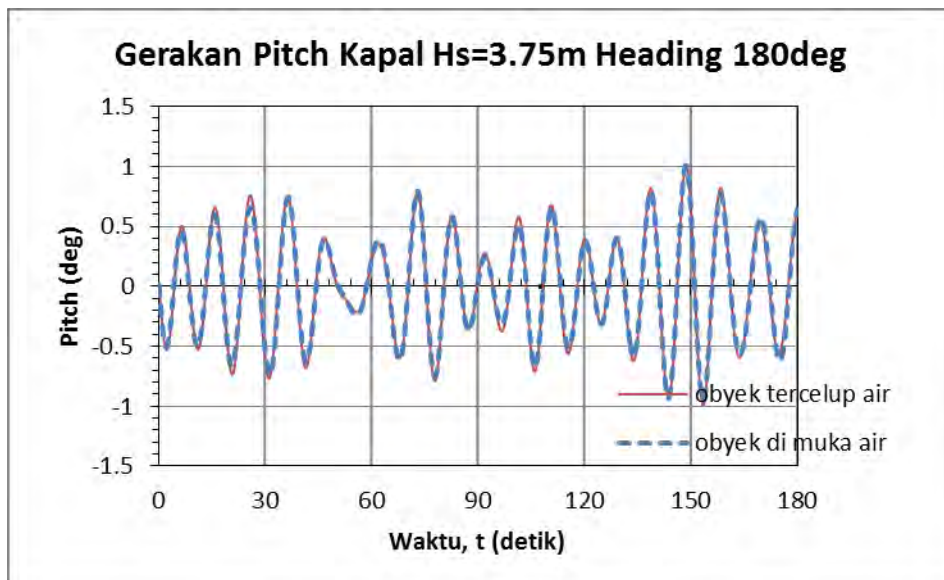
Memperhatikan respon gerakan *roll* kapal yang ditunjukkan pada Gambar 4.29 s/d 4.32 dapat diamati bahwa dengan tinggi gelombang yang sama ($H_s=3.75$ m), gerakan kapal saat objek berada di muka air lebih tinggi dibanding saat objek tercelup air. Hal ini berlaku untuk semua arah propagasi gelombang baik itu gelombang haluan, gelombang buritan, gelombang perempat dan gelombang sisi. Saat objek berada di muka air, maka bagian bawah objek terkena gaya gelombang yang menyebabkan objek leluasa bergerak translasi (*swing*) searah sumbu-y. Kemudian untuk gerakan objek saat sudah tercelup air akan terhambat oleh kekentalan air, sehingga dapat mengurangi gerakan yang terjadi.

Pada bagian ini akan diberikan plot rekaman gerakan *pitch* kapal saat membawa beban yaitu untuk kondisi #1 dan kondisi #2 dengan variasi arah pembebanan juga ditunjukkan mulai dari Gambar 4.33 s/d Gambar 4.36.



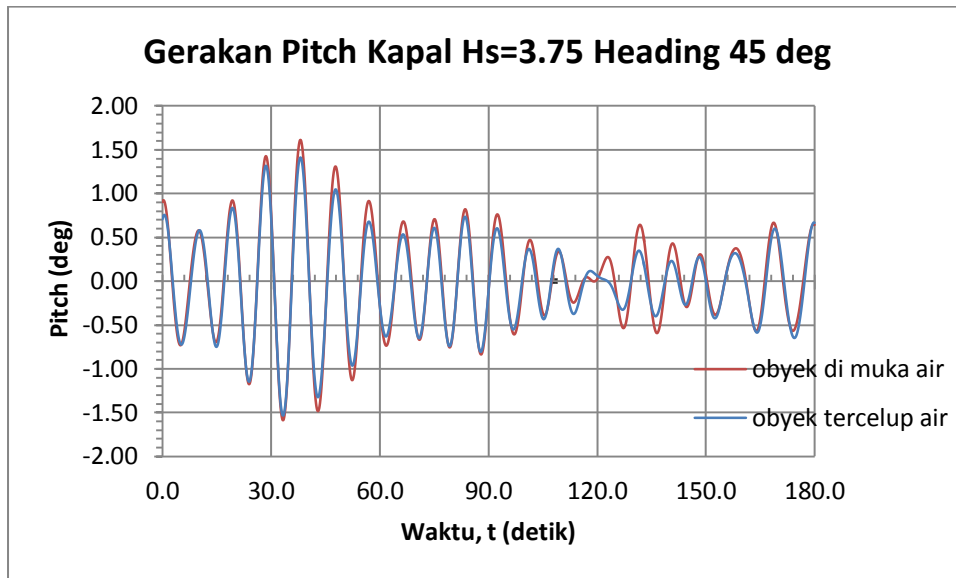
Gambar 4.28 Gerakan *pitch* kapal akibat gelombang acak
 $H_s=3.75\text{m}$ heading 0°

Gerakan seperti halnya pada gerakan *heave*, Gerakan *pitch* kapal kondisi #1 memiliki osilasi sama dibanding kondisi #2, namun gerakan *pitch* kondisi #1 sedikit lebih tinggi akibat perbedaan posisi titik berat vertikal (*vcg*) hal ini karena posisi titik berat memanjang (*lcg*) kedua kondisi adalah sama sehingga perbedaan momen inersia gerakan *pitch* sangat kecil.



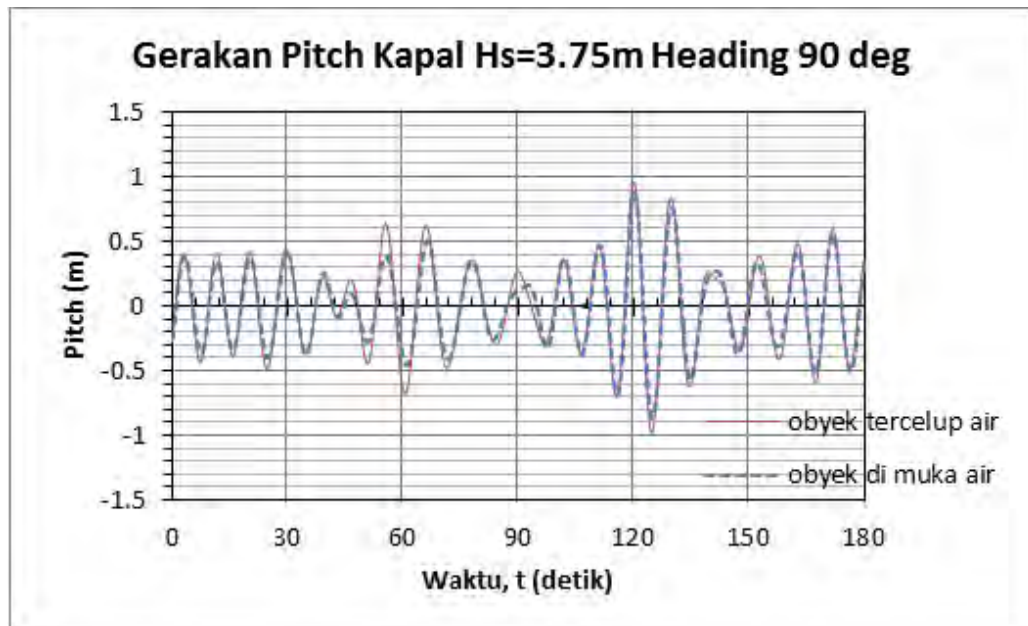
Gambar 4.29 Gerakan *pitch* kapal akibat gelombang acak
 $H_s=3.75\text{m}$ heading 180°

Gerakan seperti halnya pada gerakan *heave*, Gerakan *pitch* kapal kondisi #1 memiliki osilasi sama dibanding kondisi #2, namun gerakan *pitch* kondisi #1 sedikit lebih tinggi akibat perbedaan posisi titik berat vertikal (vcg) hal ini karena posisi titik berat memanjang (lcg) kedua kondisi adalah sama sehingga perbedaan momen inersia gerakan *pitch* sangat kecil.



Gambar 4.30 Gerakan *pitch* kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 45°

Gerakan seperti halnya pada gerakan *heave*, Gerakan *pitch* kapal kondisi #1 memiliki osilasi sama dibanding kondisi #2, namun gerakan *pitch* kondisi #1 sedikit lebih tinggi akibat perbedaan posisi titik berat vertikal (vcg) hal ini karena posisi titik berat memanjang (lcg) kedua kondisi adalah sama sehingga perbedaan momen inersia gerakan *pitch* sangat kecil.



Gambar 4.31 Gerakan *pitch* kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{m}$ heading 90°

Gerakan seperti halnya pada gerakan *heave*, Gerakan *pitch* kapal kondisi #1 memiliki osilasi sama dibanding kondisi #2, namun gerakan *pitch* kondisi #1 sedikit lebih tinggi akibat perbedaan posisi titik berat vertikal (v_{cg}) hal ini karena posisi titik berat memanjang (l_{cg}) kedua kondisi adalah sama sehingga perbedaan momen inersia gerakan *pitch* sangat kecil.

Tabel 4.10 Periode dan frekuensi gerakan *Pitch* Kapal akibat gelombang acak $H_s=3.75\text{ m}$

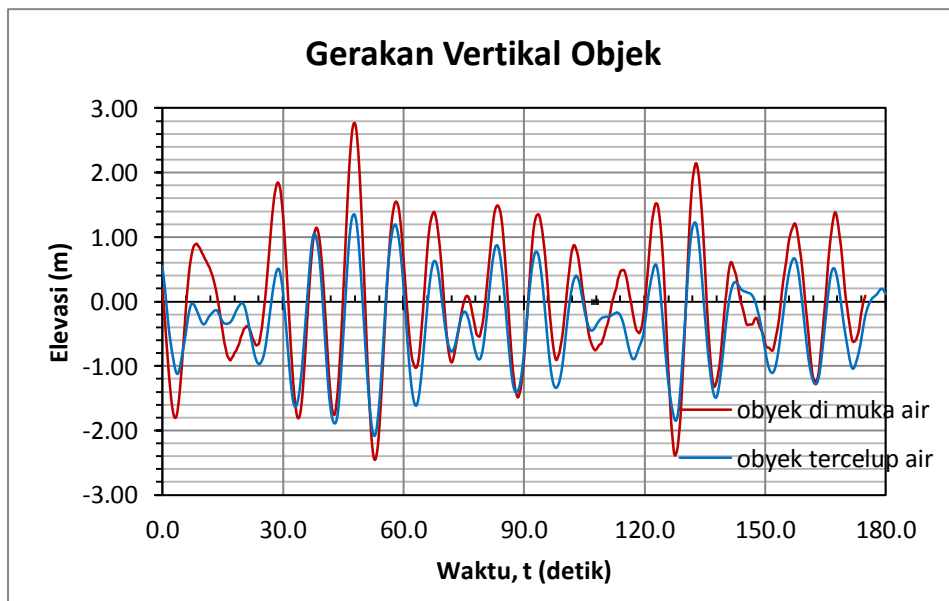
Gerakan	Heading	Kondisi 1		Kondisi 2	
	(deg)	Periode (s)	Frekuensi (rad/s)	Periode (s)	Frekuensi (rad/s)
<i>Pitch</i>	0	9.71	0.65	9.78	0.64
	45	9.55	0.66	9.53	0.66
	90	9.53	0.66	9.53	0.66
	180	9.79	0.64	9.84	0.64

Memperhatikan respon gerakan *pitch* kapal yang ditunjukkan pada Gambar 4.28 s/d 4.31 dapat diamati bahwa dengan tinggi gelombang yang sama ($H_s=3.75\text{m}$), gerakan kapal saat objek berada di muka air dan objek tercelup air adalah mirip/tipikal. Hal ini berlaku untuk semua arah propagasi gelombang baik itu

gelombang haluan, gelombang buritan, gelombang perempat dan gelombang sisi. Bilapun terdapat perbedaan harganya sangat kecil dan mendekati nol.

4.6.3 Respon Gerakan Objek kondisi #1 dan kondisi #2

Gerakan vertikal (gerakan translasi obyek terhadap sumbu z) objek merupakan salah satu kriteria dalam mengevaluasi operasi penurunan objek saat melewati *splash zone*, dimana terdapat kriteria batas untuk amplitudo signifikan dari gerakan vertikal objek maksimum 1.11m. Untuk menunjukkan pengaruh posisi objek pada kondisi #1 dan kondisi #2 terhadap gerakan vertikal objek diberikan plot rekaman gerakan vertikal objek sebagai fungsi waktu hasil simulasi *time domain*. Rekaman gelombang selama 180 detik yang paling ekstrim akibat gelombang acak $H_s=3.75$ arah 90° untuk kondisi #1 dan kondisi #2 dapat dilihat pada Gambar 4.37.

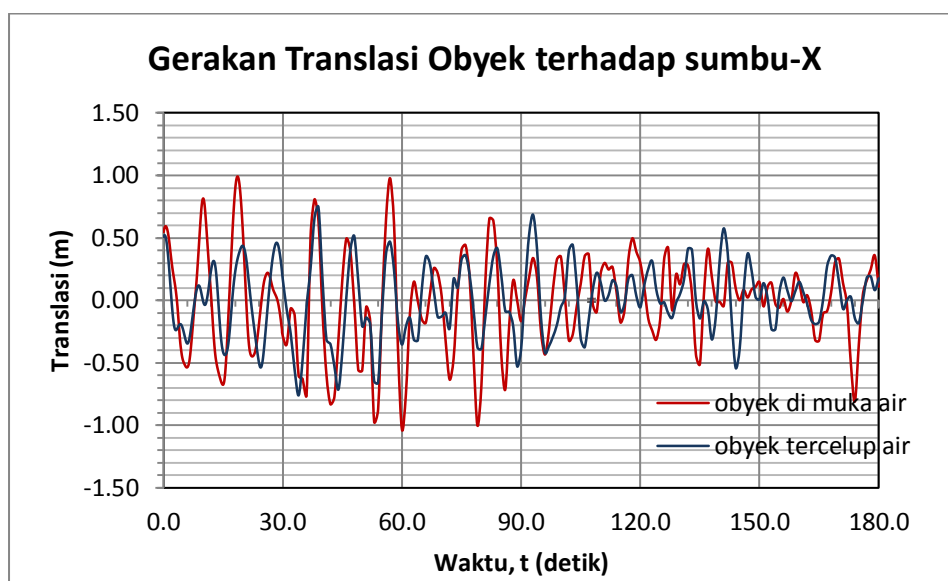


Gambar 4.32 Gerakan vertikal objek akibat gelombang acak dengan $H_s=3.75$ m heading 90°

Memperhatikan kurva pada Gambar 4.39 bahwa terdapat perbedaan gerakan vertikal objek saat kondisi #1 dibanding kondisi #2. Hal ini diakibatkan karena perbedaan besaran hidrodinamis, yaitu: massa tambah, redaman, kekakuan dan

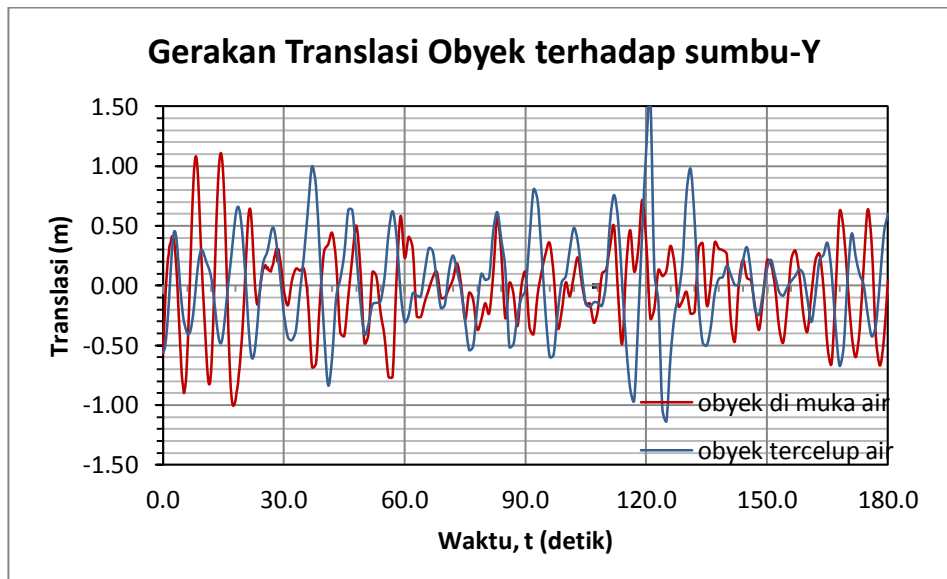
gaya eksitasi gelombang yang dialami objek pada kedua kondisi tersebut. Lebih lanjut mengenai pengaruhnya terhadap gerakan diberikan pada sub-bab 4.5.2.3.

Selain mengalami gerakan vertikal, obyek juga dapat bergerak *swing* yaitu gerakan translasi obyek terhadap sumbu-x dan gerakan translasi obyek terhadap sumbu-y. Ditunjukkan gerakan obyek yang paling ekstrim yaitu yang diakibatkan oleh gelombang dengan $H_s=3.75$ meter dan arah propagasi dari arah 90° .



Gambar 4.33 Gerakan translasi obyek terhadap sumbu-x akibat gelombang acak dengan $H_s=3.75\text{m}$ heading 90°

Dari gambar 4.37 dapat disimpulkan secara visual bahwa harga gerakan translasi obyek terhadap sumbu-x saat di muka air (kondisi #1) lebih tinggi daripada harga gerakan translasi obyek terhadap sumbu-x saat obyek telah tercelup air (kondisi #2). Selanjutnya untuk rekaman gerakan translasi obyek terhadap sumbu-y dalam fungsi waktu selama 180 diberikan pada gambar 4.38.



Gambar 4.34 Gerakan translasi obyek terhadap sumbu-*y* akibat gelombang acak dengan $H_s=3.75\text{m}$ heading 90°

4.6.4 Pengaruh Posisi Beban Kondisi #1 dan Kondisi #2 terhadap frekuensi gerakan Kapal

Posisi beban yang berada di kondisi #1 dan kondisi #2 pada gerakan *heave* kapal secara kualitatif dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$\omega_{nZ} = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{\rho g A_w}{\rho \nabla + m_A}} \quad (4.1)$$

Yaitu saat kondisi #1 berat beban berada di muka air sehingga berat benda tercelup harganya relatif lebih besar dibanding dengan berat benda tercelup saat kondisi #2 karena pada kondisi #2 *buoyancy* yang terjadi sudah semakin bertambah. Hal ini berakibat pada massa kapal yang ditambahkan dengan berat tercelup objek nilainya lebih besar untuk kondisi 1, oleh karena itu frekuensi gerakan *heave* kapal kondisi #1 akan bernilai lebih kecil dibanding kondisi #2. Namun penambahan displasemen yang tidak signifikan maka, perbedaan harga frekuensi natural gerakan *heave* juga kecil akan.

Pengaruh perubahan beban pada frekuensi gerakan *roll* kapal tidak bernilai signifikan karena rasio displasemen awal dan displasemen baru tidak signifikan,

Perbedaan frekuensi yang jauh seperti pada Tabel diakibatkan oleh perbedaan momen inersia *roll* yang besar dari kedua kondisi. Momen inersia *roll* dipengaruhi oleh displasemen dan vcg, dengan kapal displasemen yang besar, sedikit pergeseran letak vcg akan mengakibatkan momen inersia *roll* yang sangat besar.

$$\omega_{n\phi} = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{\rho g \nabla \overline{GM}_T}{I_\phi + I_{\phi\Delta}}} \quad (4.2)$$

Pengaruh perubahan beban pada frekuensi gerakan *pitch* kapal pada kondisi #1 dan kondisi #2, mengingat perbedaan displasemen yang tidak signifikan maka harga frekuensi gerakan *pitch* untuk kondisi #1 dan kondisi #2 tidak akan berbeda.

$$\omega_{n\theta} = \sqrt{\frac{\rho g \nabla \overline{GM}_L}{I_\theta + I_{\theta\Delta}}} \quad (4.3)$$

4.6.5 Pengaruh Massa Tambah, *Buoyancy*, Redaman pada Kondisi #1 dan Kondisi #2 terhadap gerakan Kapal dan Objek

Merujuk kepada persamaan gerakan kapal dan obyek menurut DNV RP H103 (2011) pada persamaan 4.1, pada pembahasan selanjutnya akan ditunjukkan pengaruh besaran hidrodinamis tersebut terhadap respon gerak kapal dan objek.

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{B} \dot{\mathbf{x}} + \mathbf{C} \mathbf{x} = \mathbf{F} \quad (4.4)$$

\mathbf{M} = Matriks massa dan inertia; \mathbf{B} = Matriks redaman linier; \mathbf{C} = Matriks kekakuan; \mathbf{F} = Gaya eksitasi harmonik akibat gelombang. \mathbf{M} merupakan matriks 9 x 9 dari massa dan inertia tanpa efek *couple* antara *vessel* dan obyek:

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} \mathbf{M}_v + \mathbf{A} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{m}_o + \mathbf{a} \end{pmatrix} \quad (4.5)$$

$M_v = 6 \times 6$ matriks massa dari vessel [kg]

$A = 6 \times 6$ matriks massa tambah dari vessel [kg]

$m_o = 3 \times 3$ matriks massa dari obyek [kg]

$a = 3 \times 3$ matriks massa tambah dari obyek [kg]

C merupakan matriks 9×9 kekakuan yang dikontribusi dari 3 komponen yaitu matriks kekakuan hidrostatis, matriks kekakuan *mooring*, dan matriks *couple* antara *vessel* dan obyek.

$$C_c = \begin{pmatrix} k_s & 0 & 0 & 0 & k_s z_t & -k_s y_t & -k_s & 0 & 0 \\ & k_s & 0 & -k_s z_t & 0 & k_s x_t & 0 & -k_s & 0 \\ & & k_e & k_e y_t & -k_e x_t & 0 & 0 & 0 & -k_e \\ & & & C_{c44} & -k_e x_t y_t & k_s z_t x_t & 0 & k_s z_t & k_e y_t \\ & & & & C_{c55} & -k_s z_t y_t & -k_s z_t & 0 & k_e x_t \\ & & & & & C_{c66} & k_s y_t & -k_s x_t & 0 \\ & & & & & & k_s & 0 & 0 \\ & & & & & & & k_s & 0 \\ & & & & & & & & k_e \end{pmatrix} \quad (4.6)$$

$k_s = w/L_s$ [N/m]

$k_e = AE/L_e$ [N/m]

L_s = panjang *hoisting wire* dari ujung *crane* ke pusat benda yang diangkat [m]

L_e = panjang efektif *hoisting wire* [m]

AE = kekakuan dari wire [N/m]

w = berat benda tercelup [N]

x_t = posisi ujung *crane* searah sumbu-x [m]

y_t = posisi ujung *crane* searah sumbu-y [m]

z_t = posisi ujung *crane* searah sumbu-z [m]

F merupakan beban harmonis akibat gelombang, F dapat diformulasikan dalam bentuk kompleks sebagai berikut:

$$F = \text{Re} \{ F_a e^{i\omega t} \} \quad (4.7)$$

$$F_a = \{ F_1, \dots, F_6, 0, 0, 0 \}^T \quad (4.8)$$

F_a = amplitudo eksitasi beban; ω adalah frekuensi angular gelombang dan Re menunjukkan ekspresi bagian Real dari bentuk kompleks.

Kemudian respon gerakan dari sistem kopel *vessel* dan obyek didapatkan dari:

$$\boldsymbol{\eta}_i = (-\omega^2 \mathbf{M} + i\omega \mathbf{B} + \mathbf{C})^{-1} \mathbf{F} \quad (4.9)$$

Dengan $\boldsymbol{\eta}_i = \{\eta\}$, $i = 1, 2, 3, \dots, 9$

Perbedaan gerakan objek saat posisi tercelup dapat dijelaskan dengan merujuk pada persamaan gerak yang ditunjukkan pada persamaan 4.5, bahwa dipengaruhi oleh suku besaran hidrodinamis yaitu matriks massa \mathbf{M} , matriks redaman \mathbf{B} , matriks kekakuan \mathbf{C} dan gaya eksitasi gelombang yang terjadi \mathbf{F} .

Perbedaan massa tambah dari objek yang tercelup air dapat dijelaskan melalui persamaan 4.3. (DNV RP H103, 2011)

$$A_{ij} = \rho C_A^{ij} V_R \quad (4.10)$$

dengan:

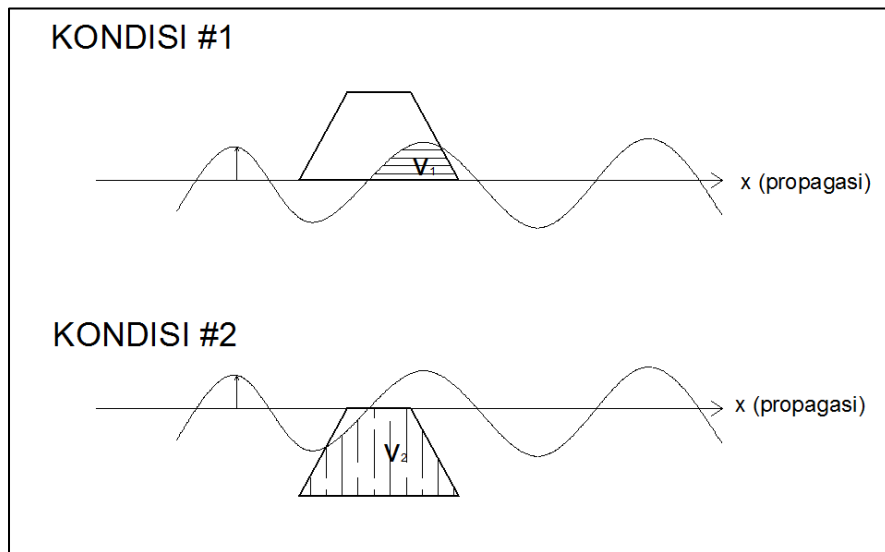
ρ = massa jenis air laut (kg/m)

V_R = volume benda tercelup relatif terhadap elevasi muka air (m³)

C_A^{ij} = koefisien massa tambah

Ditunjukkan ilustrasi perbedaan kondisi objek pada muka air yang bergelombang pada Gambar 4.40 untuk menunjukkan perbedaan volume benda yang tercelup.

Mengingat massa tambah merupakan fungsi dari volume benda yang tercelup (V_R) maka untuk volume benda tercelup kondisi #1 sebesar V_1 dan kondisi #2 sebesar V_2 , perbedaan volume ini secara otomatis harga massa tambah yang mengikuti persamaan 4.3 juga akan berbeda.



Gambar 4.35 Ilustrasi perbedaan volume benda tercelup kondisi #1 dan kondisi #2

Harga massa tambah pada objek yang terjadi mengakibatkan harga massa total objek juga berbeda. Sehingga besarnya koefisien inersia (**M**) pada komponen gaya inersia juga berbeda. Perbedaan volume benda yang tercelup seperti yang diberikan pada gambar 4.40 menyebabkan harga *buoyancy* atau gaya apung yang terjadi pada benda juga berubah sebagai fungsi dari posisi relatif terhadap muka air laut. Persamaan gaya apung F_p adalah:

$$F_p = \rho g V_R \quad (4.11)$$

Dengan:

ρ = massa jenis air laut = 1025 [kg/m³]

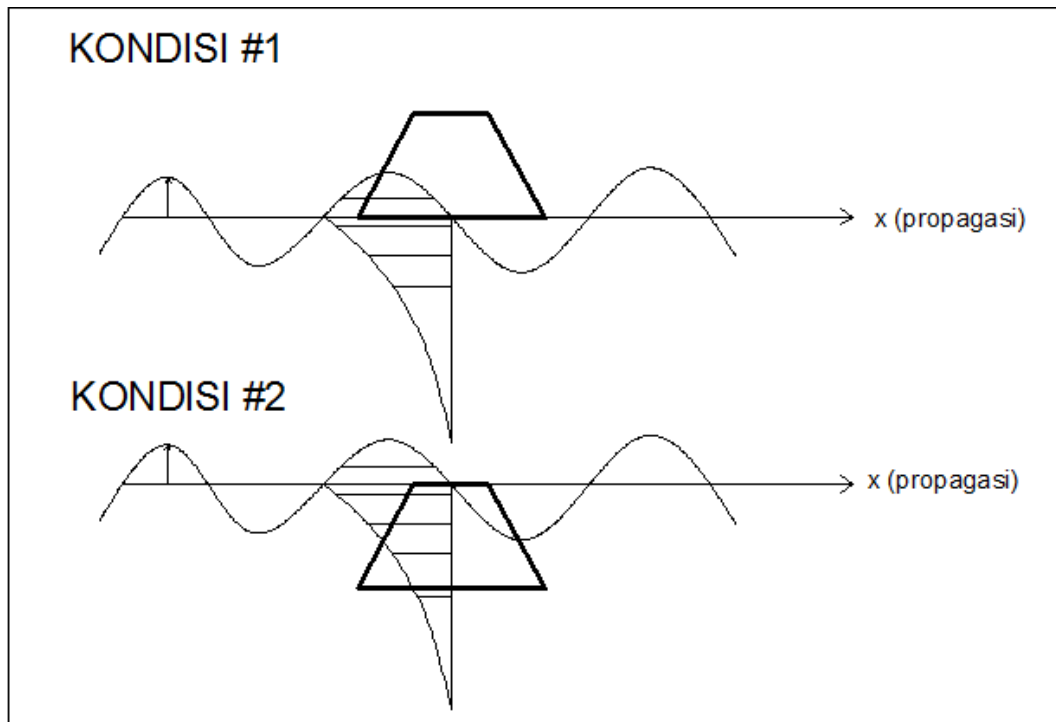
V_R = volume benda tercelup relatif terhadap elevasi muka air (m³)

g = percepatan gravitasi [m/s²]

Mengingat gaya apung memiliki harga yang berubah tergantung posisi relatif terhadap muka air, maka harga berat benda tercelup w secara otomatis akan berubah sebagai fungsi posisi. Akibatnya matriks kekakuan **C** yang terdapat komponen berat benda tercelup w yaitu harga $\mathbf{k}_s = w/Ls$. Kontribusi harga \mathbf{k}_s dalam matriks kekakuan **C** sangat dominan.

Selanjutnya harga redaman linear juga akan berubah sebagai fungsi dari posisi benda yang tercelup dimana gaya redaman mengikuti persamaan:

Suku ruas kanan pada persamaan gerak dikontribusikan oleh gaya eksternal F yang bekerja pada benda, yaitu gaya gelombang. Gaya gelombang pada kedua benda pun juga berbeda seperti yang diilustrasikan pada gambar 4.41.



Gambar 4.36 Ilustrasi perbedaan gaya gelombang yang bekerja pada benda tercelup kondisi #1 dan kondisi #2

Memperhatikan gambar 4.41 bahwa gaya gelombang yang bekerja pada objek pada saat kondisi #1 dan kondisi #2 adalah berbeda. Sehingga suku ruas kanan dari persamaan gerak akan memiliki harga yang berbeda.

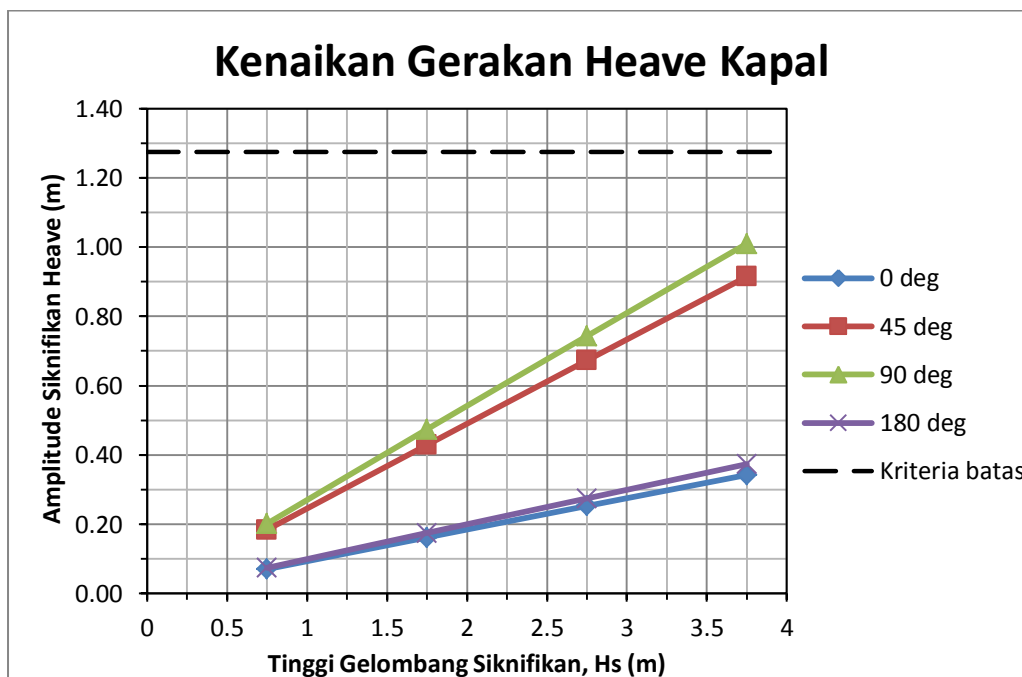
Meruntut penjelasan diatas, bahwa harga besaran hidrodinamis Massa M , Redaman B , Kekakuan C dan Gaya Eksitasi F mengalami perubahan terhadap variasi posisi beban saat kondisi #1 dan kondisi #2. Maka respon gerakan kapal dan obyek yang mengikuti persamaan $= (-\omega^2 M + i\omega B + C)^{-1} F$.

akan menghasilkan respon gerakan kapal dan objek yang berbeda. Mengingat moda gerak kapal dan objek disimbolkan η_i , $i = 1,2,3...9$ dimana $i = 1,2,3...6$ adalah moda gerak *crane vessel* dengan 3 gerakan translasi dan 3 gerakan rotasi

secara berturut-turut adalah *surge*, *sway*, *heave* dan *roll*, *pitch*, *yaw*. Kemudian η_7 adalah gerakan translasi objek terhadap sumbu-x, η_8 adalah gerakan translasi objek terhadap sumbu-y, η_9 adalah gerakan translasi objek terhadap sumbu-z.

4.6.6 Kenaikan Gerakan Kapal dan Objek sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan

Dari harga amplitudo signifikan gerakan moda vertikal kapal dan gerakan vertikal objek, selanjutnya dibuatlah kurva dengan absisnya adalah tinggi gelombang signifikan dan ordinatnya adalah harga amplitudo signifikan respon gerakan. Memperhatikan respon gerakan kapal kondisi #1 memiliki harga yang lebih tinggi daripada kondisi #2, maka kurva kenaikan gerakan yang di plot menggunakan kondisi #1. Yaitu dengan pertimbangan untuk evaluasi operabilitas dipilih untuk kasus kondisi paling ekstrim.

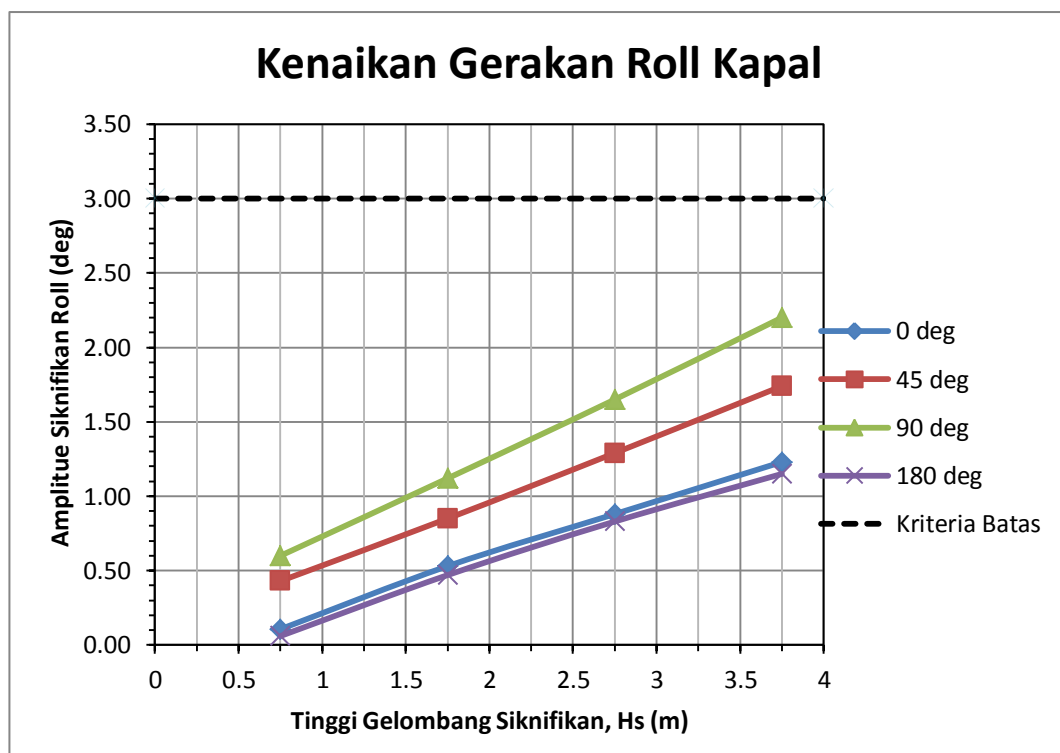


Gambar 4.37 Kenaikan gerakan *heave* kapal sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan

Memperhatikan gerakan *heave* kapal dengan kriteria batas operasi untuk amplitudo gerakan *heave* yang diizinkan sebesar 1.255 m, yaitu menyatakan tentang keselamatan/kemudahan dalam pemindahan dan pemuatan barang

(Djarmiko, 2012). Kenaikan gerakan *heave* seperti terlihat pada Gambar 4.33 tidak ada yang melampaui kriteria batas yang disyaratkan. Gerakan *heave* yang terjadi berturut-turut mulai dari yang tertinggi diakibatkan oleh gelombang sisi, kemudian diikuti dengan gelombang perempat buritan, gelombang haluan dan gelombang buritan.

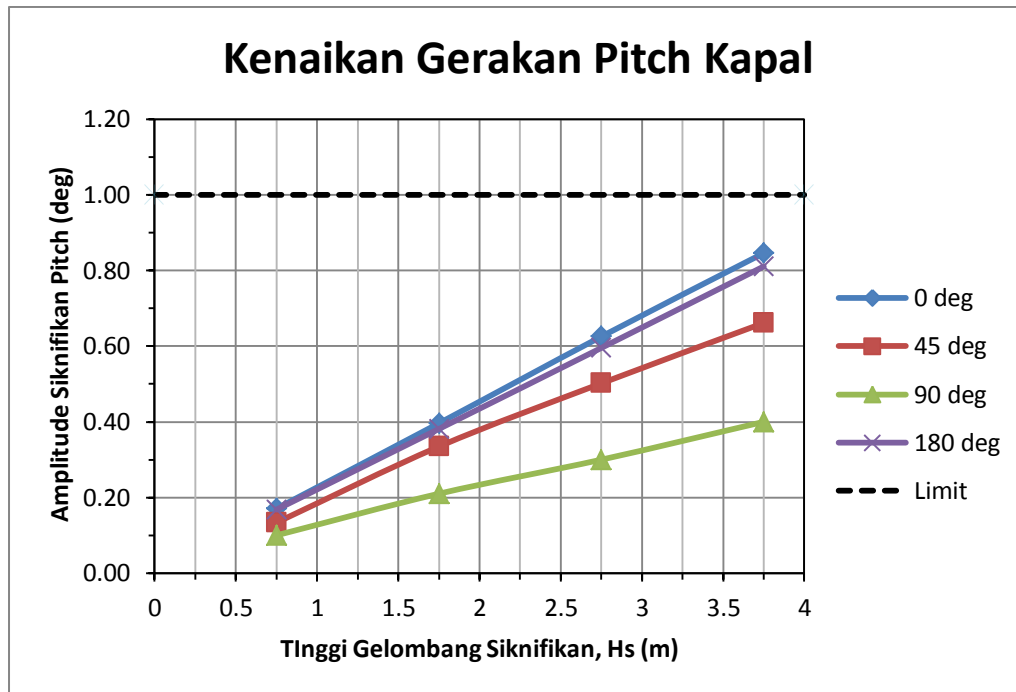
Selanjutnya untuk kenaikan amplitudo signifikan gerakan *roll* kapal sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan ditunjukkan pada Gambar 4.41.



Gambar 4.38 Kenaikan gerakan *roll* kapal sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan

Kriteria batas operasi untuk amplitudo signifikan gerakan *roll* yang diizinkan sebesar 3° (Claus dan Riekert, 1990). Kriteria gerakan *roll* kapal yang dilengkapi *crane* sebesar 3° ini berdasarkan pengalaman praktis di lapangan yang berkaitan terhadap keselamatan operasi *heavy lifting* di lepas pantai. Meninjau pada Gambar 4.41 terlihat bahwa tidak ada kriteria yang tidak terpenuhi, sehingga gerakan *roll* yang terjadi pada kapal tidak membahayakan operasi. Namun cukup menarik untuk diamati bahwa akibat gelombang arah 180° dan 90° terjadi gerakan *roll* yang cukup besar. Hal ini karena terjadi perubahan posisi titik berat y.

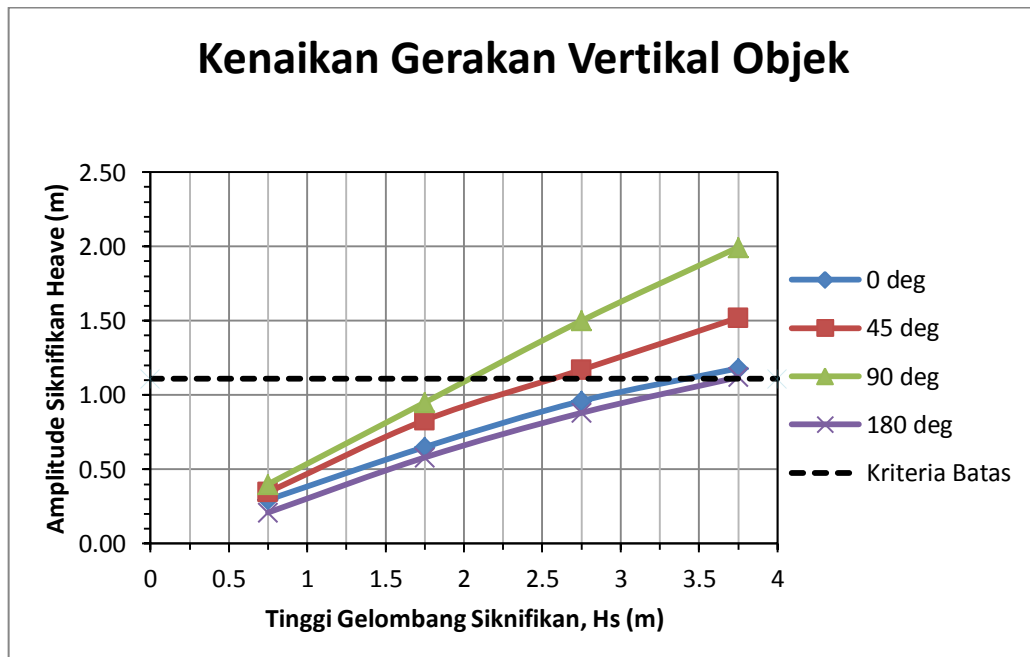
Selanjutnya untuk kenaikan amplitudo signifikan gerakan *pitch* kapal sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan ditunjukkan pada Gambar 4.42.



Gambar 4.39 Kenaikan gerakan *pitch* kapal sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan

Kriteria batas operasi untuk amplitudo signifikan gerakan *pitch* yang diizinkan sebesar 1° (Clauss dan Riekert, 1990). Kriteria gerakan *pitch* kapal yang dilengkapi *crane* sebesar 1° ini berdasarkan pengalaman praktis di lapangan yang berkaitan terhadap keselamatan operasi *heavy lifting* di lepas pantai. Perlu diketahui bahwa kapal dengan panjang 211.48 meter jika mengalami *pitch* 1° adalah cukup besar, dan dapat membahayakan operasi. Memperhatikan Gambar 4.42 bahwa untuk gerakan *pitch* masih memenuhi kriteria yang disyaratkan, sehingga gerakan *pitch* yang terjadi pada kapal tidak membahayakan operasi.

Selain kriteria batas yang disyaratkan pada gerakan kapal, gerakan objek yang diangkat juga dibatasi. Gerakan yang dibatasi adalah amplitudo signifikan gerakan vertikal (gerakan translasi sumbu-z) dari objek tidak diizinkan melebihi harga 1.11m (Clauss dan Riekert, 1990). Hal ini berkaitan dengan keamanan dari struktur bawah air sendiri jika nantinya dioperasikan di bawah laut.



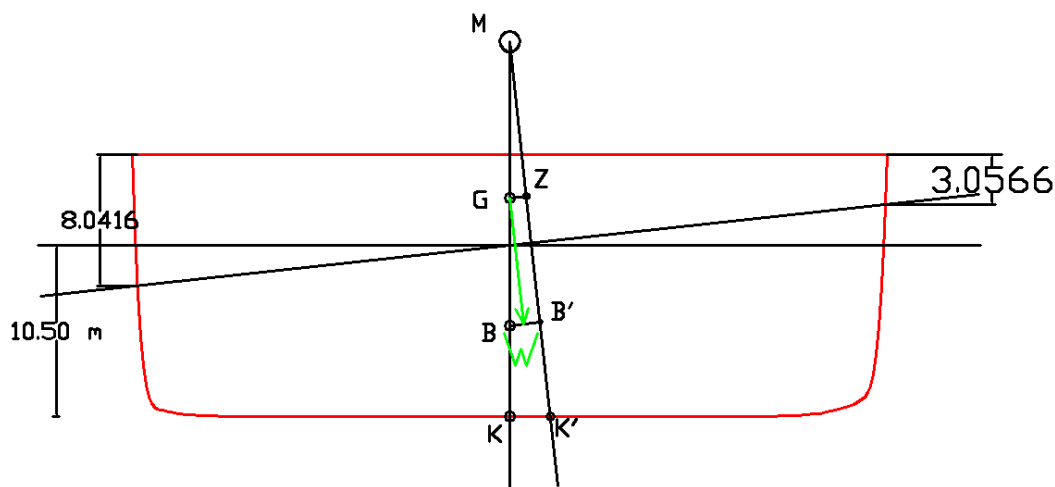
Gambar 4.40 Kenaikan gerakan vertikal objek sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan

Memperhatikan kurva kenaikan amplitudo signifikan gerakan vertikal objek pada Gambar 4.43, bahwa kriteria batas sebesar 1.11 m terlampaui pada tinggi gelombang signifikan $H_s=2.75$ m pada *heading* 90° , sehingga operasi tidak boleh dilakukan pada kondisi lingkungan ini atau dikatakan *downtime*.

Merangkum pembahasan untuk kriteria batas yang terkait dengan gerakan kapal dan gerakan objek, dapat diketahui bahwa untuk gerakan kapal yang terjadi tidak terdapat isu operasi yang membahayakan, artinya gerakan kapal tidak melanggar kriteria batas yang disyaratkan meninjau respon gerakannya kapal dikatakan mampu operasi. Sedangkan untuk gerakan vertikal objek, kriteria operasi tidak dipenuhi akibat tinggi gelombang signifikan $H_s=2.75$ m. Sehingga *downtime* terjadi pada saat gelombang acak yang berpropagasi memiliki harga tinggi gelombang signifikan sebesar 2.75m.

4.7 Cek *Freeboard* Kapal akibat terjadinya *heel*

Freeboard atau lambung timbul dari kapal perlu dilakukan cek apakah dalam keadaan masih aman atau bahkan sudah tenggelam. Berikut ini diberikan visualisasi untuk hasil *roll* dari Kapal yang diambil dari harga RAO *Roll* tertinggi dari analisis gelombang reguler yaitu mencapai 4 deg dan ditambahkan dengan amplitudo signifikan *roll* sebesar 2,2 deg. Sehingga total sudut menjadu *heel* sebesar 6.2° seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.44.



Gambar 4.41. *Heel* yang terjadi pada Kapal

Memperhatikan Gambar 4.44 bahwa dengan beban yang mengakibatkan kapal mengalami *heel* sebesar 6.2° . Terlihat bahwa masih terdapat *Freeboard* sebesar 3.0567 m. Sehingga dalam hal stabilitas statis kapal akan mampu untuk kembali tegak dikarenakan gerakan *roll* yang bersifat olang-alik. Jika merujuk kepada teori stabilitas statis, maka kapal yang mengalami oleng akan dapat kembali tegak disebabkan oleh adanya lengan penegak (GZ). Dimana besarnya lengan penegak GZ adalah:

$$GZ = MG \sin \alpha$$

Dengan:

GM = tinggi metasentra (m)

GZ = lengan pengembali (m)

α = sudut oleng kapal (deg)

Besarnya momen pengembali ini adalah:

$$\text{Momen penegak} = W \times MG \sin \alpha$$

Dengan:

W = displasemen kapal (ton)

MG = tinggi metasentra (m)

α = sudut oleng kapal.

Sehingga besarnya momen penegak untuk kasus kapal yang mengalami *heel* ini dapat dihitung dengan:

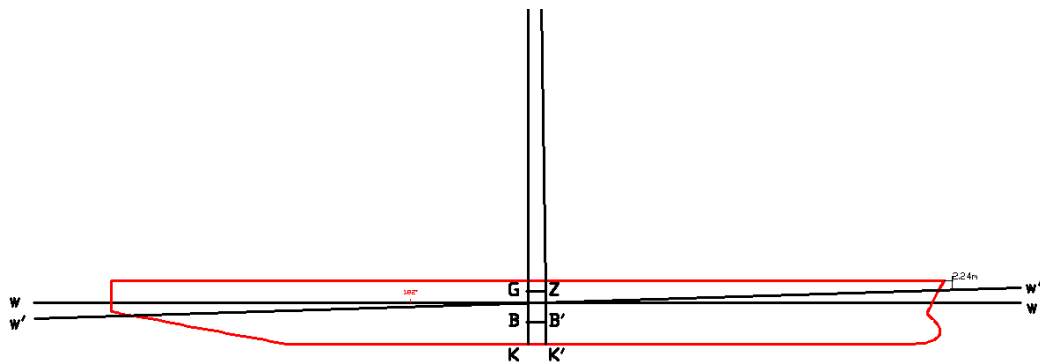
$$\text{Momen penegak} = W \times MG_T \sin \alpha$$

$$\text{Momen penegak} = 78489 \times 9.6 \times \sin (6.2^\circ)$$

$$\text{Momen penegak} = 81376.91 \text{ ton.m}$$

4.8 Cek *Freeboard* Kapal akibat terjadinya *trim*

Berikut ini diberikan visualisasi untuk *pitch* dari Kapal yang diambil dari harga RAO *Roll* tertinggi dari analisis gelombang reguler yaitu mencapai 1° dan ditambahkan dengan amplitudo signifikan *pitch* sebesar 0.82° . Sehingga total sudut menjadu *heel* sebesar 1.82° seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.45.



Gambar 4.42. *Trim* yang terjadi pada Kapal

Besarnya momen penegak untuk kasus kapal yang mengalami *trim* ini dapat dihitung dengan:

$$\text{Momen penegak} = W \times MG_L \sin \alpha$$

$$\text{Momen penegak} = 78489 \times 310.5 \times \sin (1.82^\circ)$$

$$\text{Momen penegak} = 774009.19 \text{ ton.m}$$

4.9 Tension Sling akibat gelombang acak

Harga *tension* pada *sling* dalam simulasi *time domain* akan diambil besaran statistiknya. Dalam konfigurasi *rigging* dari operasi *lowering* ini menggunakan *hoisting wire* yang memiliki kerekan sebanyak 24 kali lilitan. Masing masing *wire* memiliki diameter 72 mm. Dari data diperoleh bahwa harga *Minimum Breaking Load* (MBL) dari 24 kali lilitan *wire sling* yang masing-masing berdiameter 72 mm adalah sebesar 58860 kN.

Kemudian untuk *sling* yang menghubungkan RSS dengan *hoisting wire* berupa *grommet*, yaitu gabungan dari *sling* yang dengan dililit berputar agar dimensinya lebih besar dan memiliki kapasitas *tension* yang lebih besar. *Grommet* ini memiliki diameter 200 mm dengan harga *Minimum Breaking Load* sebesar 38148.64 kN.

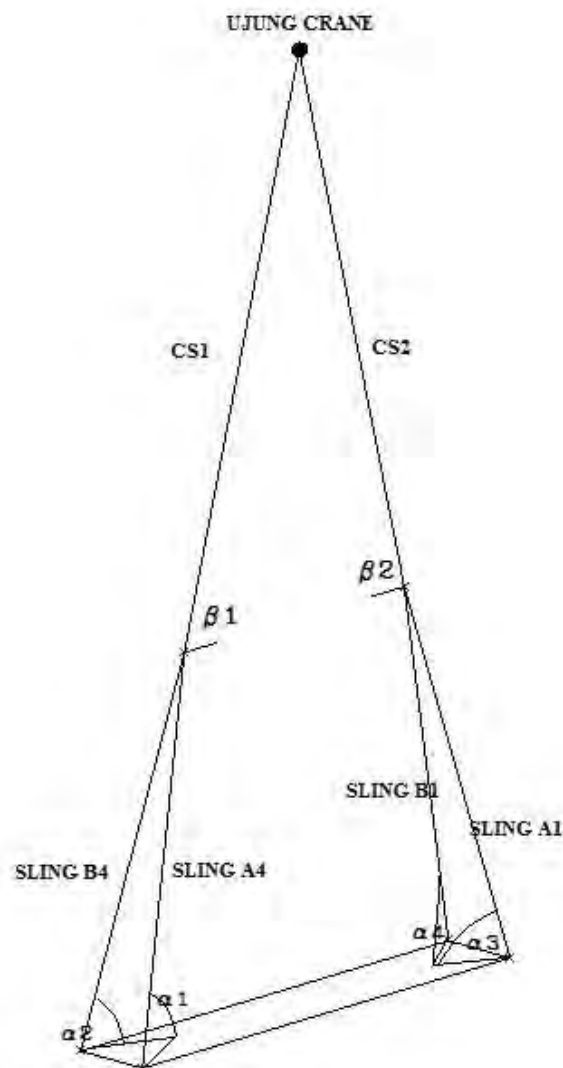
Pembahasan harga kenaikan *tension* sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan diambil harga paling ekstrim, yaitu akibat gelombang acak yang berpropagasi dari arah 90° (*beam seas*). Akibat gelombang pada arah ini memberikan respon gerakan yang tinggi untuk gerakan *heave* dan *roll* yang disebabkan oleh tekanan gelombang yang mengenai area badan kapal sepanjang sumbu longitudinal dari kapal. Artinya badan kapal mengalami beban gelombang paling besar akibat luasan badan kapal yang terkena tekanan gelombang juga besar. Hal ini kemudian berimplikasi kepada harga *tension* yang dialami *sling* juga membesar seiring tingginya osilasi atau gerakan dari kapal.

Akan ditunjukkan besarnya *tension* yang terjadi pada masing-masing *sling*, namun sebelumnya dirasa perlu untuk diketahui bahwa harga *tension* ini dilakukan konversi terlebih dahulu dengan membaginya terhadap harga sinus dari sudut yang dibentuk. Definisi sudut yang dimaksud ditunjukkan pada Gambar 4.44.

Selanjutnya untuk besaran karakteristik meliputi panjang, besarnya sudut, diameter dan *Minimum Breaking Load* dari masing-masing sling diberikan pada Tabel 4.11

Tabel. 4.11 Data Karakteristik *sling*

Data	Diameter (mm)	MBL (kN)	Panjang (m)		Sudut (deg)		Keterangan
			Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 1	Kondisi 2	
Sling CS1	72	58860	59.11	71.23	75.6	79.3	Katrol dengan 24 kali lilitan
Sling CS2	72	58860	59.61	71.63	73.6	77.7	Katrol dengan 24 kali lilitan
Sling A1	200	38148.64	48.17	48.17	63.4	63.8	grommet
Sling B1	200	38148.64	48.08	48.08	63.5	64.0	grommet
Sling A4	200	38148.64	46.12	46.12	60.1	67.5	grommet
Sling B4	200	38148.64	46.03	46.03	60.3	67.7	grommet



Gambar. 4.43 Definisi sudut yang dibentuk oleh sling

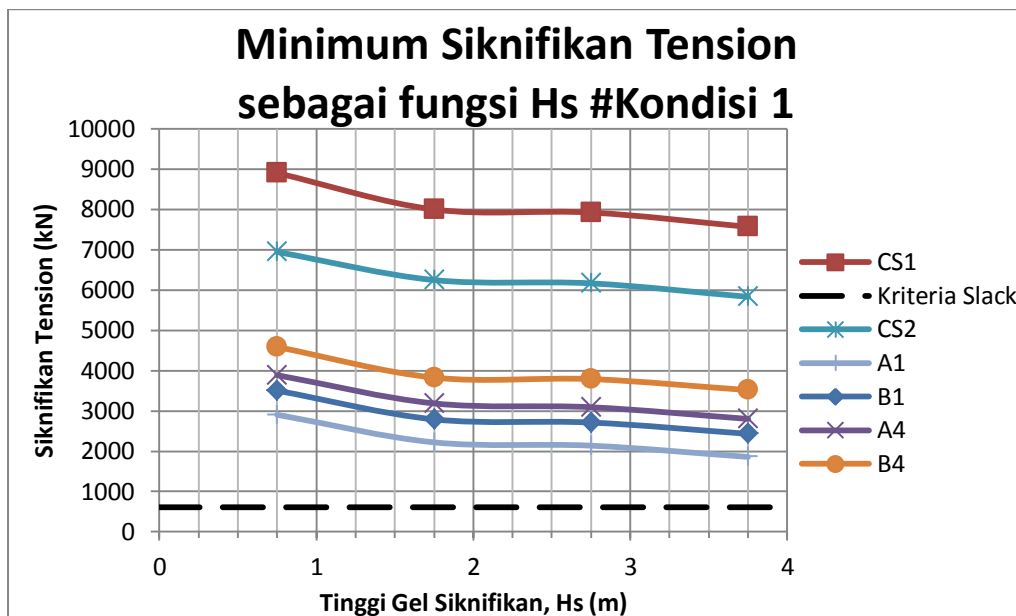
4.9.1 Siknifikan tension sebagai fungsi tinggi gelombang siknifikan

Untuk harga siknifikan tension yang terjadi harga minimum dan maksimumnya, dimana untuk harga minimum siknifikan *tension* dikorelasikan dengan kriteria *slack* yang menjadi kriteria operasi untuk evaluasi operabilitas. Sedangkan dari harga maksimum siknifikan *tension* dikorelasikan dengan harga *Minimum Breaking Load* nya untuk menghitung *safety factor* aktual dari sling akibat tension yang terjadi yang juga merupakan kriteria operasi dalam evaluasi operabilitas.

Harga minimum dan maksimum siknifikan tension yang terjadi pada masing-masing sling yang dibahas disini diwakili oleh harga yang paling ekstrim, yaitu akibat propagasi gelombang sisi (*heading* 90°). Dilakukan plot dengan sumbu-x adalah tinggi gelombang siknifikan dan sumbu-y adalah harga siknifikan tension yang terjadi pada masing-masing sling. Tidak lupa pula untuk ditunjukkan kurva tersebut pada kondisi #1 dan kondisi #2 seperti yang telah dilakukan sebelumnya.

4.9.1.1 Harga Siknifikan Tension untuk Kondisi #1

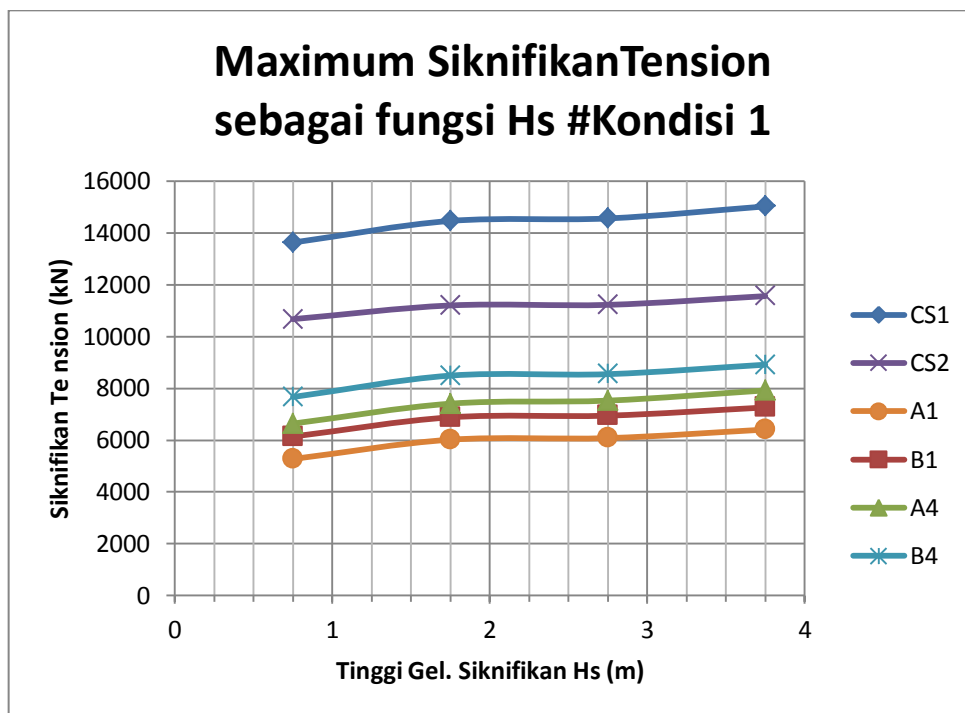
Harga minimum siknifikan tension dan maksimum siknifikan tension saat objek berada di muka air berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4.45 dan Gambar 4.46.



Gambar. 4.44 Harga Minimum siknifikan tension sebagai fungsi tinggi gelombang siknifikan kondisi #1

Memperhatikan Gambar 4.37 di atas, bahwa untuk kriteria *slack* semua sling tidak ada yang melanggar, artinya tidak terjadi kekenduran sling pada saat kondisi #1 yaitu objek di muka air. Harga minimum signifikan tension semakin menurun seiring bertambahnya tinggi gelombang signifikan. Hal ini wajar terjadi, mengingat semakin lebarnya rentang antara harga minimum dan maksimum dari tension seiring bertambahnya H_s . Harga yang menunjukkan persebaran yaitu deviasi standar.

Selanjutnya harga maksimum signifikan tension yang diplot dapat dilihat pada Gambar 4.38 di bawah ini. Dapat diulas bahwa harga tension yang terjadi pada *sling* semakin meningkat seiring bertambahnya harga tinggi gelombang signifikan. Hal ini dapat dipahami mengingat semakin besar tinggi gelombang maka semakin besar pula respon gerakan yang terjadi pada kapal dan objek, sehingga mengakibatkan harga tension juga semakin besar.



Gambar. 4.45 Harga maximum signifikan tension sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan kondisi #1

Untuk mengevaluasi harga *safety factor* dari sling, MBL kita bagi dengan harga maksimum signifikan tension. Sehingga didapat harga *safety factor* (SF) aktual pada sling. Harga SF aktual ini harus melebihi harga SF minimal yang disyaratkan

yaitu sama dengan 4. Artinya sling mampu operasi jika SF memiliki harga yang lebih dari sama dengan 4 ($SF > 4$). Untuk mempermudah penyajian ditunjukkan Tabel 4.8 yang memberikan harga signifikan tension dan *safety factor*-nya. Dari harga SF ini kemudian dilakukan justifikasi apakah dengan tinggi gelombang signifikan tersebut sling dikategorikan mampu operasi (*operable*) atau gagal (*downtime*).

Tabel 4.12 Harga signifikan tension dan *safety factor* untuk kondisi #1

Sling	Hs (m)	Signifikan Tension		SF
		Min	Max	
CS1	0.75	8899	13638	4.32
	1.75	7996	14473	4.07
	2.75	7920	14569	4.04
	3.75	7565	15035	3.91*
CS2	0.75	6942	10677	5.51
	1.75	6245	11208	5.25
	2.75	6163	11230	5.24
	3.75	5829	11568	5.09
A1	0.75	2905	5273	7.23
	1.75	2220	6019	6.34
	2.75	2137	6080	6.27
	3.75	1859	6410	5.95
B1	0.75	3503	6140	6.21
	1.75	2790	6883	5.54
	2.75	2712	6948	5.49
	3.75	2431	7265	5.25
A4	0.75	3886	6641	5.74
	1.75	3186	7411	5.15
	2.75	3091	7529	5.07
	3.75	2802	7923	4.81
B4	0.75	4585	7669	4.97
	1.75	3826	8496	4.49
	2.75	3789	8552	4.46
	3.75	3516	8917	4.28

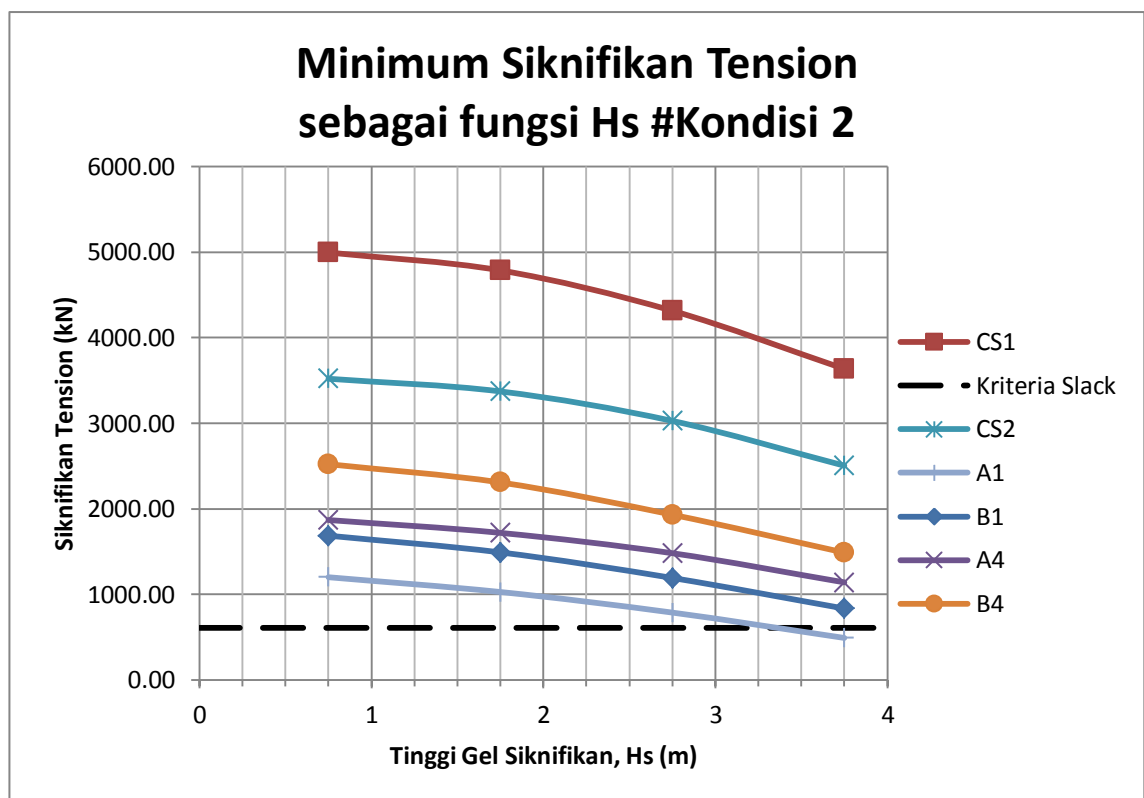
*sling mengalami kegagalan karena $SF < 4$

Dari Tabel 4.11 diketahui bahwa saat kondisi #1 terdapat sling yang mengalami kegagalan atau *downtime*, yaitu Sling CS1 yang memiliki harga *Safety Factor* sebesar 3.91 yang terjadi akibat tinggi gelombang signifikan sebesar 3.75 m.

Sehingga untuk kondis #1 ini dapat disimpulkan tidak terjadi kekenduran sling, namun salah satu sling mengalami kegagalan saat tinggi gelombang signifikan mencapai 3.75m, artinya *downtime* terjadi pada $H_s=3.75m$.

4.9.1.2 Harga Signifikan Tension untuk Kondisi #2

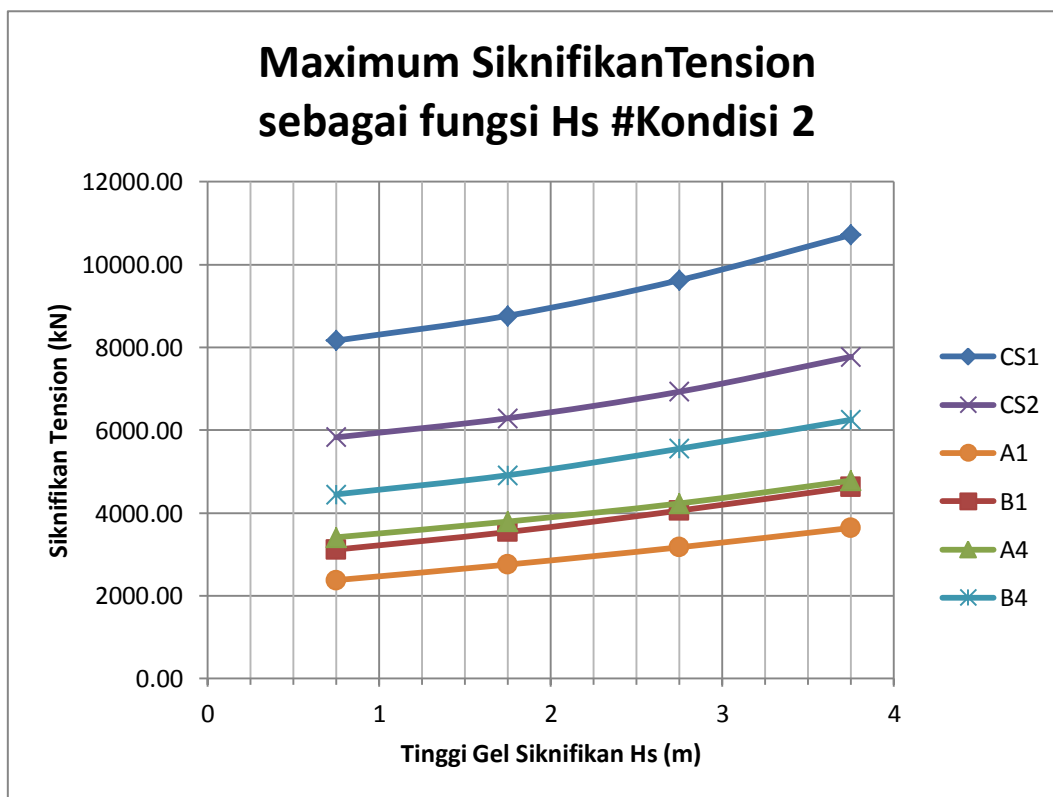
Harga minimum signifikan tension dan maksimum signifikan tension saat objek tercelup air berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4.39 dan Gambar 4.40.



Gambar. 4.46 Harga Minimum signifikan tension sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan kondisi #2

Memperhatikan Gambar 4.47 di atas, bahwa kriteria *slack* dilanggar oleh sling A1 yaitu akibat tinggi gelombang signifikan $H_s=3.75m$. Artinya sling A1 mengalami kekenduran pada saat objek yang telah tercelup air. Dipahami kemudian bahwa terjadinya kekenduran pada sling ini diakibatkan oleh pengaruh *buoyancy* dari objek yang sudah bertambah. Sehingga berat tercelup dari objek semakin kecil, akibatnya sling mengalami kekenduran mengingat beban yang diangkat sudah jauh lebih kecil dari berat saat di udara. Dari perhitungan sebelumnya diketahui

bahwa saat *buoyancy* penuh adalah sebesar 981.9 ton yang harganya lebih besar dari berat tercelupnya 622.1 ton. Ditambah lagi bahwa sling A1 merupakan sling terpanjang jika dibandingkan dengan sling A4, B1, dan B4. Untuk harga minimum *tension* yang lainnya masih memenuhi dari kriteria *slack* yang disyaratkan. Mengingat terdapat satu sling yang mengalami kekenduran, maka dapat ditentukan harga batas tinggi gelombang signifikan yang menyebabkan *downtime* untuk kriteria *slack* pada kondisi #2 adalah $H_s=3.75\text{m}$. Selanjutnya harga maksimum signifikan *tension* yang diplot dapat dilihat pada Gambar 4.40



Gambar. 4.47 Harga maximum signifikan tension sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan kondisi #2

Dapat diulas bahwa harga tension yang terjadi pada *sling* semakin meningkat seiring bertambahnya harga tinggi gelombang signifikan. Hal ini dapat dipahami mengingat semakin besar tinggi gelombang maka semakin besar pula respon gerakan yang terjapada kapal dan objek, sehingga mengakibatkan harga tension juga semakin besar.

Untuk mengevaluasi harga *safety factor* (SF) dari sling, Harga MBL kita bagi dengan harga maksimum signifikan tension seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa harga SF harus lebih besar sama dengan 4. Untuk mempermudah penyajian ditunjukkan Tabel 4.12 yang memberikan harga signifikan tension dan *safety factor*-nya. Dari harga SF ini kemudian dilakukan justifikasi apakah dengan tinggi gelombang signifikan tersebut *sling* dikategorikan mampu operasi (*operable*) atau gagal (*downtime*).

Tabel 4.13 Harga signifikan tension dan *safety factor* untuk kondisi #2

Sling	Hs (m)	KONDISI 2		
		Signifikan Tension		SF
		Min	Max	
CS1	0.75	4995	8166	7.21
	1.75	4786	8765	6.72
	2.75	4315	9625	6.12
	3.75	3636	10719	5.49
CS2	0.75	3521	5828	10.10
	1.75	3372	6289	9.36
	2.75	3028	6930	8.49
	3.75	2505	7773	7.57
A1	0.75	1202	2377	16.05
	1.75	1029	2753	13.86
	2.75	788	3170	12.03
	3.75	492*	3639	10.48
B1	0.75	1687	3115	12.25
	1.75	1492	3540	10.78
	2.75	1193	4058	9.40
	3.75	836	4628	8.24
A4	0.75	1870	3412	11.18
	1.75	1720	3792	10.06
	2.75	1482	4231	9.02
	3.75	1142	4783	7.98
B4	0.75	2522	4450	8.57
	1.75	2309	4912	7.77
	2.75	1932	5552	6.87
	3.75	1489	6252	6.10

*sling mengalami kekenduran

Memperhatikan Tabel 4.9 di atas ini, dapat diketahui bahwa untuk harga *safety factor* dari semua sling memenuhi kriteria yang disyaratkan, yaitu bernilai lebih besar dari 4. Seperti halnya yang dijelaskan sebelumnya bahwa pada kondisi #2 ini sudah terjadi *buoyancy* yang mendekati penuh, sehingga berat benda tercelup semakin kecil dan berakibat kepada gaya Tarik yang dialami sling menjadi lebih kecil. Oleh karenanya harga *safety factornya* akan jauh melebihi 4 bahkan jika dibanding pada kondisi #1 dengan *buoyancy* yang terjadi masih kecil.

Dari ulasan di atas dapat ditentukan untuk kondisi #2 yang menyebabkan terjadinya *downtime* adalah terjadinya kekenduran sling akibat *buoyancy* yang sudah semakin bertambah. *Downtime* yang dialami sling pada kondisi #2 ini diakibatkan oleh gelombang acak dengan tinggi gelombang signifikan $H_s=3.75$ m.

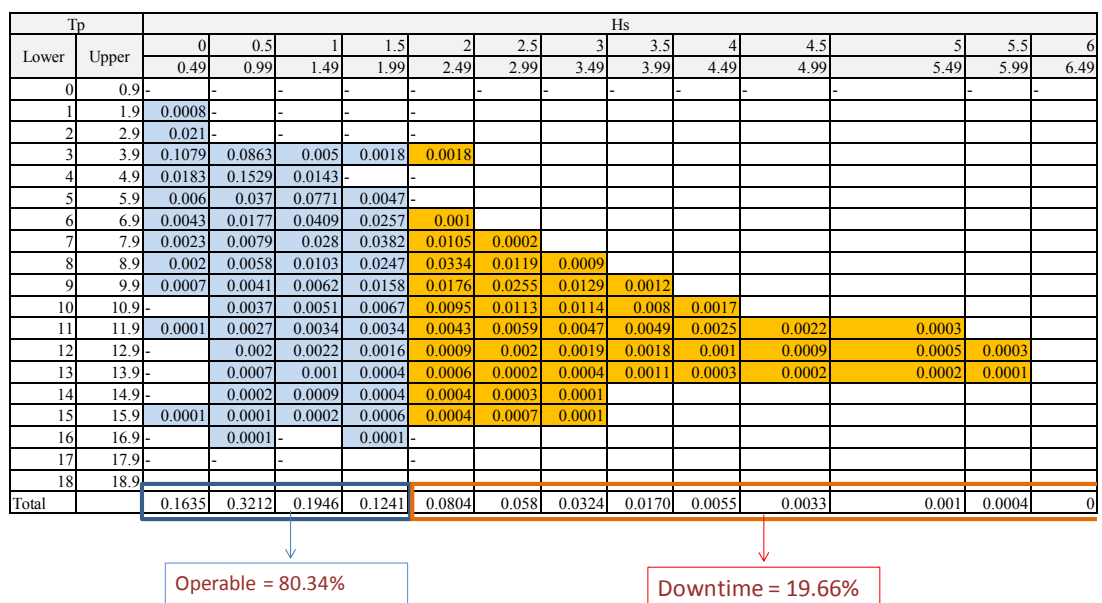
4.10 Perhitungan Operabilitas

Setelah dibahas lengkap terkait respon gerakan dan *tension sling* yang terjadi, juga telah dikorelasikan dengan kriteria operabilitas yang ada, maka untuk merangkum tinggi gelombang signifikan yang menyebabkan *downtime* pada setiap kriteria ditunjukkan Tabel 4.13 di bawah ini.

Tabel 4.14 Tinggi gelombang signifikan yang menyebabkan *downtime*

Subjek	Kriteria Operable	Downtime terjadi pada H_s
Kapal	Amplitudo Signifikan <i>Heave</i> < 1.275 m	-
	Amplitudo Signifikan <i>Roll</i> < 3°	-
	Amplitudo Signifikan <i>Pitch</i> < 1°	-
Objek	Gerakan vertikal signifikan < 1.11 m	2.00 m
Sling	<i>Safety Factor Sling</i> > 4	3.75 m
	Kriteria Slack Min signifikan tension > 610.3 kN	3.75 m

Berdasarkan Tabel 4.14, tinggi gelombang signifikan $H_s=2.00\text{m}$ dapat menyebabkan operasi mengalami *downtime*, sehingga untuk tinggi gelombang yang lebih besar dari 2.00m juga pasti mengakibatkan kegagalan operasi. Langkah selanjutnya adalah mengorelasikan harga tinggi gelombang signifikan $H_s=2.00\text{m}$ dengan data sebaran gelombang di Laut Natuna. Maka dapat dihitung harga operabilitas *crane vessel* saat operasi *lowering* RSS Arch di *splash zone* seperti pada Gambar 4.46.



Gambar 4.46 Diagram eliminasi operabilitas dengan batas $H_s=2.00$ meter di Laut Natuna

Sehingga didapatkan harga operabilitas *crane vessel* saat operasi *lowering* RSS Arch di *Splash Zone* adalah sebesar 80.34% dan harga *downtime* adalah 19.66%. Selain itu, Informasi penting yang diperoleh adalah batasan tinggi gelombang signifikan yang menyebabkan *downtime* adalah saat $H_s=2.00\text{m}$. Jadi, untuk melakukan operasi penurunan RSS di *splash zone* tidak boleh dilakukan jika tinggi gelombang signifikan sebesar 2.00 m , yaitu harus kurang dari 2.00m .

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Untuk menjawab tujuan yang telah disebutkan di awal, berikut kesimpulan dari tugas akhir ini:

1. Respon gerakan kapal dipengaruhi oleh beban yang diangkat karena terjadi perubahan titik berat pada kapal, pengaruh yang terjadi yaitu pada moda gerak *roll*. Posisi objek yang diturunkan saat di muka air memberikan respon gerakan yang lebih tinggi dibanding saat objek telah tercelup air. Respon terbesar terjadi akibat $H_s=3.75$ m dan heading 90° untuk kondisi objek di muka air yaitu amplitudo signifikan *heave* = 1.01 m, amplitudo signifikan *roll* = 2.2 deg, amplitudo signifikan *pitch* = 0.85 deg. Untuk gerakan vertikal objek dengan amplitudo signifikan sebesar 1.2 m melebihi batas operasi yang disyaratkan yaitu maksimum sebesar 1.11m.
2. Besarnya tension sling pada kondisi #1 yang mengalami kegagalan adalah Sling CS1 yaitu 15035 kN dengan *safety factor* 3.91 (kurang dari 4). Selanjutnya untuk kondisi #2 terjadi kekenduran pada sling A1 dengan tension sebesar 492 kN yang tidak memnuhi kriteria *slack*, kriteria minimal tension yang disyaratkan sebesar 610.3 kN.
3. Kemampuan operasi Kapal Aegir untuk menurunkan RSS Arch di *Splash Zone* adalah mencapai tinggi gelombang 2.00 meter. Artinya pada tinggi gelombang lebih dari itu, operasi instalasi dinyatakan tidak dapat dilakukan. Besarnya operabilitas *crane vessel* untuk operasi *lowering* RSS Arch setelah dikorelasikan dengan data sebaran gelombang laut Natuna adalah 80.34%.

5.2. Saran

Penelitian lebih lanjut mengenai tugas akhir ini dapat dilanjutkan dengan:

1. Memperhitungkan beban angin dan arus.
2. Memodelkan *dynamic positioning sistem* (DPS) atau dapat juga menggunakan *mooring* untuk *stationkeeping* kapal.
3. Memasukkan penjadwalan operasi dalam perhitungan operabilitas.
4. Memperhitungkan *ballasting* dan stabilitas dari kapal.
5. Memperhitungkan pergeseran posisi titik berat dari objek (*cog shift*).
6. Dapat dilakukan penelitian yang sama dengan menggunakan Software yang lain, misalnya menggunakan Ansys Aqwa.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Arunjyoti, Sarkar dan Gudmestad, OveT.,2010. Splash Zone Lifting Analysis of Subsea Structures. *Proceeding of the ASME 2010 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. OMAE2010-20489
- Bai, Young dan Bi, Qiang. 2010. *Subsea Engineering Handbook*. Elsevier. USA.
- Chakrabarti, S. K., 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*. Boston : Computational Mechanics Publications Southampton.
- Clauss, G. F and Riekert, T. 1990. *Operational Limitation of Offshore Crane Vessel*. Offshore Technology Conference. Berlin, Germany
- Djarmiko, E. B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*, ITS Press, Surabaya.
- DNV-RP-C205. 2010. *Environmental Conditions And Environmental Loads*. Recommended Practice. Norway
- DNV-RP-H103. 2011. *Modelling and Analysis of Marine Operations*. Recommended Practice. Norway
- Hariroh, Umi. 2008. *Analisa Operabilitas Semi-Submersible Pipelay Akibat Pengaruh Gerakan Di Gelombang*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS Surabaya, Indonesia.
- Hosaas, Arnstein. 2010. *Engineering optimization by using the Simplified Method for Lifting through the Splash Zone*. Presented in DNV-RP H103.
- International Energy Agency. 2012. *World Energy Outlook*. Paris : IEA Publication.
- PT.Global Maritime Indonesia. 2001. *Field site data and Environmental Design Basis*. Belanak field Development.
- Nielsen, F.G. 2007. *Lecture Notes in Marine Operations*. Department of Marine Hydrodynamics, Faculty of Marine Technology, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim/Bergen January 2007.
- Nisa, Chrisida Naurin. 2010. *Analisa Operabilitas Cable Lay Vessel Untuk Instalasi Submarine Fiber Optic Cable Akibat Beban Lingkungan Berbasis Keandalan*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS Surabaya, Indonesia.

Ribeiro, Mario L.P.G. *Subsea Manifold Design For Pendulous Installation Method In Ultra Deep Water. OMAE 2006*

Susanto, Danang. 2009. *Analisa Operabilitas Fpso Dengan Single Buoy Mooring Berbasis Keandalan*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS Surabaya, Indonesia.

BIODATA PENULIS



Arifta Yahya, lahir di Lumajang, 20 Juni 1991. Pendidikan formal dari SD hingga SMA ditempuh di Lumajang. Setelah lulus dari SMAN 3 Lumajang pada tahun 2010, Penulis melanjutkan studi S1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur SNMPTN. Selama menempuh masa perkuliahan penulis aktif di beberapa organisasi kemahasiswaan intra kampus. Bergabung dalam kepengurusan HIMATEKLA 12/13 diamanahi sebagai Ketua Divisi Akademik Departemen Kesejahteraan Mahasiswa. Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT Tripatra Engineering dan PT ZEE Indonesia. Penulis memiliki minat di bidang hidrodinamika dan operasi lepas pantai sehingga tugas akhir yang diambil berjudul “Analisis Operabilitas *Crane Vessel* saat *Lowering Riser Support Structure Arch* di *Splash Zone* Berbasis Time Domain”.



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Input Pemodelan Moses

LAMPIRAN B Output Response Amplitude Operator Moses

LAMPIRAN C Amplitudo Signifikan Gerakan Kapal Dan Objek

LAMPIRAN D Perhitungan Tension Sling Kondisi #1

LAMPIRAN E Perhitungan Tension Sling Kondisi #2

Input Pemodelan Kapal pada Moses (AEGIR.dat)

```

$=====
=====
12.5 \
13.4155 \
1.8518
&Dimen -Save -Dimen METERS M-TONS 14.5 \
&Describe Body AEGIR 2
$$&instate AEGIR -condi 10.5 0.00 0.00 14.6233 \
$#WEIGHT 78489 22.1 55.0 53.9 -CEN 3
211.48-97.1 -0.2 13.4 15.2355 \
4
$ 15.6493 \
&dimen -save -dimen meters m-tons 5
$===== 15.9901 \
===== UPPER BOW 5.3458
Pgen -Perm 1.0 -Loc 0.0 0.0 0.0 - 16.1
Cs_Wind 1.00 1.00 0.00 -Diftype 3DDIF
END_PGEM
$=====
===== BULBOUS BOW
Pgen -Perm 1.0 -Loc 0.0 0.0 0.0 -
Cs_Wind 1.00 1.00 0.00 -Diftype 3DDIF
PLANE 211.48-211.48 -CARTES 0
16.1
PLANE 211.48-211 -CARTES 0
15.2541 \
1.0086
16.1
PLANE 211.48-210 -CARTES
0.377 14.5 \
1
15.3217 \
2
15.968 \
2.3124
16.1
PLANE 211.48-208 -CARTES
0.0581 10.5 \
0.1063
11 \
0.1705
11.5 \
0.2553
12 \
0.3732
12.5 \
1
14.0156 \
1.3728
14.5 \
2
15.0527 \
3
15.5909 \
4
15.959 \
4.4386
16.1
PLANE 211.48-207 -CARTES
0.2566 10.5 \
0.3013
11 \
0.3852
11.5 \
0.4914
12 \
6.6285 \
0.6199
1
1.8518
2
3
4
5
5.3458
16.1
END_PGEM
$=====
===== BULBOUS BOW
Pgen -Perm 1.0 -Loc 0.0 0.0 0.0 -
Cs_Wind 1.00 1.00 0.00 -Diftype 3DDIF
PLANE 211.48-211 -CARTES 0
2.5 \
0.3
3 \
0
4
PLANE 211.48-210 -CARTES 0
1.8658 \
0.6546
3 \
0.6226
4 \
0
5
PLANE 211.48-209 -CARTES 0
1.1309 \
0.5736
1.5 \
1
2.0807 \
1.3409
3 \
1.4578
4 \
1.295
5 \
1
5.4839 \
0
6.0425
PLANE 211.48-208 -CARTES 0
0.7539 \
1
1.3818 \
1.0927
1.5 \
1.8006
3 \
1.9473
4 \
1.881
5 \
1
6.6285 \

```

		0			0.3732
6.9648			12.5 \		
PLANE 211.48-207		-CARTES 0			1
0.5144 \			14.0156 \		1.3728
0.9654 \		1	14.5 \		2
1.5 \		1.4649	15.0527 \		3
2.5073 \		2	15.5909 \		4
3 \		2.01587	15.959 \		4.4386
5 \		2.284	16.1		
6.026 \		2	PLANE 211.48-207		-CARTES 0
7 \		1.4364	0.5144 \		1
7.4592 \		1	0.9654 \		1.4649
8 \		0.3671	1.5 \		2
9 \		0.1854	2.5073 \		2.01587
9.1		0	3 \		2.284
END_PGEN			5 \		2
\$=====			6.026 \		1.4364
=====			7 \		1
==== HULL			7.4592 \		0.3671
Pgen -Perm 1.0 -Loc 0.0 0.0 0.0 -			8 \		0.1854
Cs_Wind 1.00 1.00 0.00 -Diftype 3DDIF			9 \		0.2566
PLANE 211.48-208		-CARTES 0	10.5 \		0.3013
0.7539 \			11 \		0.3852
1.3818 \		1	11.5 \		0.4914
1.5 \		1.0927	12 \		0.6199
3 \		1.8006	12.5 \		1
4 \		1.9473	13.4155 \		1.8518
5 \		1.881	14.5 \		2
6.6285 \		1	14.6233 \		3
6.9648 \		0	15.2355 \		4
7 \		0	15.6493 \		5
8 \		0	15.9901 \		5.3458
9 \		0	16.1		
10 \		0.0581	PLANE 211.48-206		-CARTES 0
10.5 \		0.1063	0.3524 \		
11 \		0.1705			
11.5 \		0.2553			
12 \					

		1		0.9088
0.7195 \		1.772	11.5 \	1
1.5 \		2	11.9299 \	1.2095
1.865 \		2.4485	12.5 \	2
3 \		2.5897	13.6748 \	3.0239
5 \		2	14.5 \	4
6.8553 \		1.9255	15.0121 \	5
7 \		1	15.4233 \	6.9239
8.3088 \		0.6437	16.1	
9 \		0.5096	PLANE 211.48-204	-CARTES 0
10.5 \		0.5447	0.154 \	1
11 \		0.627	0.4247 \	2
11.5 \		0.7422	1.1385 \	2.2997
12 \		0.8866	1.5 \	2.9702
12.5 \		1	3 \	3
12.7469 \		2	3.1382 \	3.0806
14.1532 \		2.4119	5 \	3
14.5 \		3	5.5226 \	2.5485
14.8654 \		4	7 \	2
15.344 \		5	8.1289 \	1.555
15.7042 \		6.1703	9 \	1.1568
16.1			10.5 \	1.1683
			11 \	1.2185
PLANE 211.48-205		-CARTES 0	11.5 \	1.3687
0.2336 \		1	12 \	1.5704
0.548 \		2	12.5 \	2
1.4357 \		2.7156	13.1465 \	3
3 \		2.8452	14.0883 \	3.6903
5 \		2.2661	14.5 \	4
7 \		2	14.6718 \	5
7.515 \		1.1363	15.1059 \	7.6201
9 \		1	16.1	
9.3437 \		0.8164	PLANE 211.48-203	-CARTES 0
10.5 \		0.836	0.0973 \	
11 \				

0.3461 \	1	11 \	1.9235
0.9074 \	2	11.5 \	2.0097
1.5 \	2.5544	12 \	2.2
2.295 \	3	12.5 \	2.4991
3 \	3.2187	13.0908 \	3
5 \	3.305	13.8773 \	4
6.4035 \	3	14.4296 \	5
7 \	2.7918	15.7194 \	8
8.7257 \	2	16.1	8.8839
9 \	1.9137	PLANE 211.48-201	-CARTES 0
10.5 \	1.5091	0.0288 \	1
11 \	1.5211	0.2256 \	2
11.5 \	1.6044	0.5843 \	3
12 \	1.75	1.2825 \	3.0957
12.5 \	2.00109	1.5 \	3.7483
13.6168 \	3	3 \	3.7679
14.2846 \	4	5 \	3.2635
14.5 \	4.4008	7 \	3
14.9008 \	5	7.7426 \	2.5657
15.986 \	8	9 \	2.3078
16.1	8.2716	10.5 \	2.3479
PLANE 211.48-202	-CARTES 0	11 \	2.4797
0.0556 \	1	11.5 \	2.7035
0.2769 \	2	12 \	3.034
0.7222 \	2.8178	12.5 \	4
1.5 \	3	13.4422 \	5
1.7739 \	3.4759	14.0704 \	5.8627
3 \	3.529	14.5 \	8
5 \	3.0221	15.4483 \	9.4455
7 \	2.2352	16.1	
9 \	2	PLANE 211.48-200	-CARTES 0
9.8056 \	1.9007	0.0137 \	1
10.5 \		0.1744 \	

		2		10.5 \	3.2217
0.4588 \		3		11 \	3.3328
1.0597 \		3.4105		11.5 \	3.5229
1.5 \		4		12 \	3.8103
2.8581 \		4.0351		12.2755 \	4
3 \		4.0253		12.5 \	4.2115
5 \		4		13.2005 \	5
5.1401 \		3.5235		14.5 \	7.2228
7 \		3		14.8622 \	8
8.6624 \		2.9148		16.1	10.5024
9 \		2.7471		PLANE 211.48-198	-CARTES 0
10.5 \		2.8258		0.0047 \	
11 \		2.9877		0.094 \	1
11.5 \		3		0.2645 \	2
11.5346 \		3.244		0.6088 \	3
12 \		3.6099		1.4674 \	4
12.5 \		4		1.5 \	4.1169
12.9145 \		5		3 \	4.6943
13.6516 \		6.5628		5 \	4.6144
14.5 \		8		7 \	4.1309
15.1665 \		9.991		7.5014 \	4
16.1				9 \	3.7034
PLANE 211.48-199		-CARTES 0		10.5 \	3.7266
0	\	1		11 \	3.858
0.1339 \		2		11.5 \	4.0745
0.3504 \		3		12 \	4.3837
0.8043 \		3.7495		12.5 \	4.8127
1.5 \		4		12.6885 \	5
1.9074 \		3.3497		14.5 \	7.8546
3 \		4.3059		14.5728 \	8
5 \		4		16.1	10.9988
6.3405 \		3.8098		PLANE 211.48-197	-CARTES 0
7 \		3.2918		0.009 \	
9 \					

0.0708 \	1	10.5 \	4.9752
0.1865 \	2	11 \	4.9124
0.4477 \	3	11.5 \	5.1583
0.9818 \	4	12 \	5.5071
1.5 \	4.5153	12.5 \	5.9702
2.6096 \	5	13.9254 \	8
3 \	5.066	14.5 \	9.0174
4.9375 \	5	16.1	11.9367
5 \	4.7117	PLANE 211.48-195	-CARTES 0
7 \	4.4974	0.0169 \	1
9 \	4.1482	0.0423 \	2
10.5 \	4.2366	0.1037 \	3
11 \	4.3984	0.2343 \	4
11.5 \	4.6253	0.4903 \	5
12 \	4.9574	1.0584 \	5.403
12.0608 \	5	1.5 \	5.8954
12.5 \	5.4074	3 \	5.7515
14.2565 \	8	5 \	5.3531
14.5 \	8.4519	7 \	5.0985
16.1	11.4732	9 \	5.2554
PLANE 211.48-196	-CARTES 0	10.5 \	5.4252
0.0131 \	1	11 \	5.6799
0.054 \	2	11.5 \	6.10377
0.1416 \	3	12 \	6.5052
0.3092 \	4	12.5 \	9.5575
0.6982 \	5	14.5 \	12.3595
1.5814 \	4.944	16.1	
1.5 \	5.466	PLANE 211.48-190	-CARTES 0
3 \	5.3341	0.031 \	1
5 \	5	0.0365 \	2
6.5575 \	4.9064	0.047 \	3
7 \	4.6171	0.0749 \	4
9 \		0.1267 \	

		5		14.9808
0.213 \		7.1544	12.5 \	16.6677
0.75 \		8.0159	14.5 \	18
1.5 \		8.4389	15.9793 \	18.1034
3 \		8.2715	16.1	
5 \		7.873	PLANE 211.48-170	-CARTES 0
7 \		7.5739	0.0302 \	1
9 \		7.7294	0.0343 \	2
10.5 \		8	0.035 \	3
11.1043 \		8.2517	0.0356 \	4
11.5 \		8.6884	0.0362 \	5
12 \		9.2519	0.0398 \	8
12.5 \		12.1323	0.0585 \	13
14.5 \		13	0.2087 \	15.5696
15.0853 \		14.4707	0.75 \	16.3243
16.1			1.5 \	16.947
PLANE 211.48-180		-CARTES 0	3 \	17.3196
0.0341 \		1	5 \	17.3944
0.0353 \		2	7 \	17.5431
0.0369 \		3	9 \	17.9414
0.0389 \		4	10.5 \	18
0.0468 \		5	10.6919 \	20.5398
0.0597 \		8	16.1	
0.1384 \		11.9685	PLANE 211.48-160	-CARTES 0
0.75 \		12.9018	0.0335 \	1
1.5 \		13.3689	0.034 \	2
3 \		13.3938	0.0343 \	3
5 \		13.2809	0.0346 \	4
7 \		13.2515	0.0348 \	5
9 \		13.653	0.0357 \	8
10.5 \		13.9258	0.0429 \	13
11 \		14.2415	0.0903 \	17.6675
11.5 \		14.5889	0.75 \	18
12 \			1.0086 \	

		19.10086			13
	1.5 \			0.0599 \	
		19.1493			18
	3 \			0.3335 \	
		19.5556			19.0568
	5 \			0.75 \	
		19.6583			19.8929
	7 \			1.5 \	
		19.9682			20.6889
	9 \			3 \	
		20.2988			21.0322
	10.5 \			5 \	
		21.9131			21.2712
	16.1			7 \	
					21.5392
PLANE	211.48-150	-CARTES 0		9 \	
	0.0338 \				21.7505
		1		10.5 \	
	0.0339 \				22.6116
		2		16.1	
	0.034 \				
	0.0341 \	3	PLANE	211.48-136	-CARTES 0
	0.0343 \	4		0.0337 \	
	0.0346 \	5			1
	0.0378 \	8		0.0338 \	2
		13			3
	0.0599 \	18		0.0339 \	4
					5
	0.3283 \	19.0682		0.034 \	8
		19.8785			13
	0.75 \			0.034 \	18
		20.6889			20.2268
	1.5 \			0.0343 \	
		21.0332			8
	3 \			0.0361 \	13
		21.2712			18
	5 \			0.0503 \	20.2268
		21.5392			21.2337
	7 \			0.1856 \	21.8728
		21.7585			22.1521
	9 \			0.75 \	
		22.675			22.3437
	10.5 \			1.5 \	
					22.45085
	16.1			3 \	
					22.46203
PLANE	211.48-140	-CARTES 0		5 \	
	0.0327 \				23.0131
		1		7 \	
	0.0339 \				
		2		9 \	
	0.034 \				22.46203
	0.0341 \	3		10.5 \	
	0.0343 \	4			23.0131
	0.0346 \	5		16.1	
	0.0378 \	8			
			PLANE	211.48-100	-CARTES 0
				0.0335 \	
					1
				0.0338 \	2
					3
				0.0339 \	
				0.0339 \	

		4		23.1
	0.034 \		16.1	
		5		
	0.0342 \		PLANE 211.48-40	-CARTES 0
		8	0.8836 \	
	0.0357 \			1
		13	0.8836 \	
	0.0486 \			2
		18	0.8836 \	
	0.1587 \			3
		21.8239	0.8824 \	
	1.5 \			4
		22.3069	0.8821 \	
	3 \			5
		22.5418	0.8821 \	
	5 \			8
		22.6934	0.8821 \	
	7 \			13
		22.8105	0.8821 \	
	9 \			18
		22.8839	0.9283 \	
	10.5 \			19.101
		23.1	0.9712 \	
	16.1			20.101
			1.0512 \	
PLANE	211.48-45	-CARTES 0		21.101
	0.0402 \		1.2117 \	
		1		21.7805
	0.0397 \		1.5 \	
		2		22.1
	0.0397 \		2.1016 \	
		3		22.2973
	0.0397 \		3 \	
		4		22.5403
	0.0384 \		5 \	
		5		22.6937
	0.0381 \		7 \	
		8		22.8111
	0.0374 \		9 \	
		13		22.8845
	0.0407 \		10.5 \	
		18		23.1
	0.0843 \		16.1	
		19.101		
	0.1278 \		PLANE 211.48-35	-CARTES 0
		20.101	1.8073 \	
	0.2085 \			1
		21.101	1.8073 \	
	0.3762 \			2
		21.6019	1.8073 \	
	0.5323 \			3
		22.1	1.8063 \	
	1.2951 \			4
		22.1477	1.8059 \	
	1.5 \			5
		22.406	1.8059 \	
	3 \			8
		22.6	1.8052 \	
	5 \			13
		22.7279	1.809 \	
	7 \			18
		22.8303	1.8526 \	
	9 \			19.101
		22.9	1.8955 \	
	10.5 \			

	1.9754 \	20.101	3.6539 \	3
	2.1413 \	21.101	3.6535 \	4
	2.9985 \	22.1	3.6535 \	5
	3 \	22.103	3.6533 \	8
	5 \	22.4653	3.6533 \	13
	7 \	22.6512	3.6575 \	18
	9 \	22.7872	3.7013 \	19.101
	10.5 \	22.8656	3.7441 \	20.101
	16.1	23.1	3.8238 \	21.101
			3.9889 \	22.1
PLANE	211.48-30 2.731 \	-CARTES 0	4.7622 \	22.1708
	2.7291 \	1	5 \	22.5244
	2.7291 \	2	7 \	22.7146
	2.7291 \	3	9 \	22.819
	2.7291 \	4	10.5 \	23.1
	2.7291 \	5	16.1	
	2.7291 \	8	PLANE 211.48-20 4.5774 \	-CARTES 0
	2.7332 \	13	4.5774 \	1
	2.7333 \	18	4.5774 \	2
	2.777 \	19.101	4.5774 \	3
	2.8198 \	20.101	4.5774 \	4
	2.8996 \	20.7865	4.5774 \	5
	3 \	21.101	4.5774 \	8
	3.0651 \	22.1	4.5774 \	13
	3.8753 \	22.3545	4.5817 \	18
	5 \	22.6025	4.6256 \	19.101
	7 \	22.7586	4.6684 \	20.101
	9 \	22.844	4.748 \	21.101
	10.5 \	23.1	4.9127 \	21.4337
	16.1		5 \	22.1
PLANE	211.48-25 3.6543 \	-CARTES 0	5.65 \	22.427
	3.6543 \	1	7 \	22.63
	3.6541 \	2	9 \	22.7896
			10.5 \	

		23.1		22.4989
	16.1		9 \	
PLANE	211.48-15	-CARTES 0	10.5 \	22.6932
	5.5019 \		16.1	23.1
	5.5019 \	1		
	5.5019 \	2	PLANE 211.48-5	-CARTES 0
	5.5015 \	3	7.3492 \	
	5.5013 \	4	7.3492 \	1
	5.5013 \	5	7.3492 \	2
	5.5013 \	8	7.3492 \	3
	5.5013 \	13	7.3492 \	4
	5.506 \	18	7.3492 \	5
	5.55 \	19.101	7.3492 \	8
	5.5926 \	20.101	7.3545 \	13
	5.6722 \	21.7716	7.3986 \	18
	5.8365 \	22.1	7.4412 \	19.101
	6.536 \	22.26	7.5205 \	20.101
	6.998 \	22.6	7.6891 \	21.101
	9 \	22.7515	8.3095 \	22.1
	10.5 \	23.1	9 \	22.34
	16.1		10.5 \	22.6216
PLANE	211.48-10	-CARTES 0	16.1	23.1
	6.4252 \	1	PLANE 211.48-0	-CARTES 0
	6.4252 \	2	8.2728 \	
	6.4252 \	3	8.2729 \	1
	6.4252 \	4	8.2729 \	2
	6.4252 \	5	8.2729 \	3
	6.4305 \	8	8.2729 \	4
	6.4305 \	13	8.273 \	5
	6.4302 \	18	8.2736 \	8
	6.4743 \	19.101	8.2787 \	13
	6.5963 \	20.101	8.3229 \	18
	6.7603 \	21.7716	8.3655 \	19.101
	7 \	22.1	8.4447 \	20.101
	7.4227 \		8.6079 \	21.101

```

          21.9568
9         \
          22.5042
10.5     \
          23.1
16.1

END_PGEN
$=====
===== CRANE PEDESTAL

Pgen -Perm 1.0 -location 211.48-8.4
14.7 16.1 0 -90 0 -difttype none
plane 0 -circ 0 0 4 0 10 36
plane 0 -circ 0 0 5 0 10 36

plane 20.0 -circ 0 0 4 0 10 36
plane 20.0 -circ 0 0 4 0 10 36
plane 65 -circ 0 0 2.5 0 10 36
plane 65 -circ 0 0 2.5 0 10 36
end_PGEN

$=====
===== BOOM
Pgen -perm 1 -location 211.48-8.4 14.7
30 0 360-68 90 -difttype none
plane 0 121 \
      -rect 0 3 3 0 3 0
END_PGEN

$=====
=====

```


Input Analisa Hidrostatik MOSES (Hydro.cif)

```
&title AEGIR VESSEL
&SUBTI 211.48 X 46.2 X 16.1 meter
&devi -cecho yes -oecho NO -PRIMA DEV -
auxin AEGIR.dat
inmo
&DIMEN -DIMEN METERS M-TONS
&instate AEGIR -condi 10.5 0.0 0.0
&weight -compute AEGIR 13.4 22.1 55.0
53.9
MEDIT
&DESCRIBE BODY AEGIR
END_MEDIT
&PLTMODEL VESSEL
    PIC ISO -anot points
    PIC STARBOARD
    PIC stern
    PIC TOP
END
hstati
CFORM 0.5 0.0 0.0 -DRAFT 1 11
REPORT
end
equi -num 1000
&stat b_w -h
end
&fini
```

Input Moses Untuk Running RAO Gerakan (RAO.cif)

```
&title "AEGIR" RESPONSE AMPLITUDE
OPERATOR
&devi -cecho yes -oecho no -PRIMA DEV -
AUXIN aegir.dat
inmo
&DIMEN -DIMEN METERS M-TONS
&instate ob -condi 10.5 0 0
&weight -compute AEGIR 13.4 22.1 55.0
53.9
&PLTMODEL VESSEL
    PIC ISO
    PIC STARBOARD
    PIC BOW
    PIC TOP
END
hstati
equi -num 9000 -echo yes
$
&stat -hard
&stat comp -h
&stat draft -h
END
hydro
$&para -m_dist 3
g_press AEGIR -speed 0.0 -heading 0 45
90 180
&DIMEN -DIMEN METERS K-NTS
V_MDRIFT
    REPORT
    END
end
$
freq_resp
rao -heading 0 45 90 180
$
&subti 211.48 X 46.2 X 16.1 meter
&DIMEN -DIMEN METERS K-NTS
fp_std &BODY(CG AEGIR)
equ_sum
MATRICES -FILE YES
    REPORT
    END
&EOFILE
&fini
```

Output Hidrostatics MOSES

```

*
*                                     *** MOSES ***
*                                     -----
*                                     25 June, 2014
*
* "AEGIR" RESPONSE AMPLITUDE OPERATOR
*
*

```

+++ B U O Y A N C Y A N D W E I G H T F O R A E G I R +++
=====

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

Results Are Reported In Body System

Draft = 10.50 Roll Angle = 0.00 Pitch Angle = 0.00

Wet Radii Of Gyration About CG

K-X = 22.10 K-Y = 55.00 K-Z = 53.90

GMT = 9.61 GML = 305.68

Name	Weight	/-- Center of Gravity ---/			Sounding	% Full
		---X---	---Y---	---Z---		
----- Part AEGIR -----						
LOAD_GRO	77743.3	114.40	0.00	13.40		
=====						
Total	77743.3	114.40	0.00	13.40		
Buoyancy	77743.4	114.40	0.00	5.63		

Output RAO MOSES

```

*****
*                                     *** MOSES ***                               *
*                                     -----                               *
*                                     25 June, 2014                               *
* "AEGIR" RESPONSE AMPLITUDE OPERATOR                                         *
* 211.48 X 46.2 X 16.1 meter                                                    *
* Draft = 10.5 Meters                  Trim Angle = 0.00 Deg.                  GMT = 9.61 Meters *
* Roll Gy. Radius = 22.1 Meters        Pitch Gy. Radius = 55.0 Meters        Yaw Gy. Radius = 53.9 Meters *
* Heading = 0.00 Deg.                  Forward Speed = 0.00 Knots            Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

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

Of Point On Body AEGIR At X = 114.4 Y = 0.0 Z = 13.4
 Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
-----		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
Frequency	Period	/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.2513	25.00	0.913	131	0.000	0	0.945	41	0.000	0	0.351	-44	0.000	0
0.3142	20.00	0.827	155	0.000	0	0.872	64	0.000	0	0.527	-19	0.000	0
0.3307	19.00	0.798	162	0.000	0	0.844	71	0.000	0	0.575	-12	0.000	0
0.3491	18.00	0.761	170	0.000	0	0.808	79	0.000	0	0.628	-3	0.000	0
0.3696	17.00	0.717	180	0.000	0	0.761	88	0.000	0	0.686	7	0.000	0
0.3927	16.00	0.661	-168	0.000	0	0.698	99	0.001	104	0.749	19	0.000	0
0.4189	15.00	0.592	-154	0.000	0	0.615	113	0.001	-43	0.813	34	0.000	0
0.4333	14.50	0.551	-146	0.000	0	0.564	120	0.000	0	0.844	43	0.000	0
0.4488	14.00	0.505	-137	0.000	0	0.505	129	0.000	0	0.872	52	0.000	0
0.4654	13.50	0.455	-127	0.000	0	0.439	138	0.000	0	0.894	63	0.000	0
0.4833	13.00	0.398	-116	0.000	0	0.364	149	0.000	0	0.907	74	0.000	0
0.5027	12.50	0.335	-104	0.000	0	0.282	162	0.000	0	0.904	87	0.000	0
0.5236	12.00	0.266	-90	0.000	0	0.192	176	0.000	0	0.877	102	0.000	0
0.5464	11.50	0.193	-74	0.000	0	0.097	-164	0.000	0	0.817	119	0.000	0
0.5712	11.00	0.121	-55	0.000	0	0.015	-57	0.000	0	0.717	140	0.000	0
0.5984	10.50	0.055	-28	0.000	0	0.095	33	0.000	0	0.579	166	0.000	0
0.6283	10.00	0.014	70	0.000	0	0.166	59	0.000	0	0.430	-154	0.000	0

0.6614	9.50	0.034	165	0.000	0	0.193	87	0.000	0	0.350	-95	0.000	0
0.6981	9.00	0.038	-152	0.000	0	0.167	127	0.000	0	0.386	-34	0.000	0
0.7392	8.50	0.022	-105	0.000	0	0.129	-169	0.000	0	0.395	20	0.000	0
0.7854	8.00	0.002	161	0.000	0	0.113	-90	0.000	0	0.310	85	0.000	0
0.8378	7.50	0.020	-151	0.000	0	0.097	1	0.000	0	0.198	176	0.000	0
0.8976	7.00	0.032	-41	0.000	0	0.060	112	0.000	0	0.144	-57	0.000	0
0.9666	6.50	0.025	124	0.000	0	0.031	-100	0.000	0	0.096	98	0.000	0
1.0472	6.00	0.024	-53	0.000	0	0.031	118	0.000	0	0.064	-61	0.000	0
1.1424	5.50	0.022	-158	0.000	0	0.032	-2	0.000	0	0.044	177	0.000	0
1.2566	5.00	0.018	175	0.000	0	0.009	18	0.000	0	0.027	167	0.000	0
1.3963	4.50	0.012	-91	0.000	0	0.006	81	0.000	0	0.013	-77	0.000	0
1.5708	4.00	0.009	-177	0.000	0	0.011	-11	0.000	0	0.014	177	0.000	0
2.0944	3.00	0.004	18	0.000	0	0.002	-175	0.000	0	0.003	38	0.000	0

*

*** MOSES ***

*

*

25 June, 2014

*

*

"AEGIR" RESPONSE AMPLITUDE OPERATOR

*

*

211.48 X 46.2 X 16.1 meter

*

*

Draft = 10.5 Meters

Trim Angle = 0.00 Deg.

GMT = 9.61 Meters

*

*

Roll Gy. Radius = 22.1 Meters

Pitch Gy. Radius = 55.0 Meters

Yaw Gy. Radius = 53.9

Meters

*

*

Heading = 45.00 Deg.

Forward Speed = 0.00 Knots

Linearization Based on 1/ 20

*

*

*

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

=====

Of Point On Body AEGIR At X = 114.4 Y = 0.0 Z = 13.4

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

E N C O U N T E R			Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw
-----			Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		
Wave Ampl.	Frequency	Period	/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/----
-----	-----	-----	/		/		/		/		/		/
Ampl.	-(Rad/Sec)- Phase	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	
0.153	0.2513 -153	25.00	0.663	119	0.654	119	0.971	29	0.357	127	0.252	-57	
0.229	0.3142 -139	20.00	0.624	136	0.614	135	0.937	45	0.781	147	0.389	-39	
0.250	0.3307 -135	19.00	0.611	140	0.603	140	0.923	50	1.005	153	0.428	-34	
0.272	0.3491 -131	18.00	0.595	146	0.591	146	0.906	56	1.389	153	0.474	-27	
0.290	0.3696 -127	17.00	0.576	153	0.580	151	0.883	63	2.131	146	0.527	-20	
0.280	0.3927 -119	16.00	0.552	161	0.537	155	0.852	70	2.841	113	0.590	-11	
0.292	0.4189 -101	15.00	0.522	171	0.447	165	0.810	80	2.617	73	0.664	0	
0.319	0.4333 -93	14.50	0.504	177	0.412	173	0.784	85	2.159	55	0.705	5	
0.343	0.4488 -88	14.00	0.485	-176	0.393	-177	0.753	91	1.588	49	0.751	12	
0.360	0.4654 -82	13.50	0.462	-169	0.372	-169	0.717	98	1.186	51	0.800	19	
0.371	0.4833 -76	13.00	0.436	-162	0.346	-160	0.675	105	0.904	60	0.852	27	
0.378	0.5027 -68	12.50	0.407	-154	0.316	-151	0.626	113	0.701	71	0.906	35	
0.380	0.5236 -60	12.00	0.372	-145	0.281	-140	0.568	122	0.542	84	0.959	45	
0.375	0.5464 -50	11.50	0.331	-136	0.242	-128	0.498	132	0.412	99	1.006	55	

0.361	0.5712 -38	11.00	0.285	-125	0.197	-114	0.414	141	0.299	117	1.041	67
0.336	0.5984 -26	10.50	0.233	-113	0.149	-96	0.309	151	0.197	137	1.052	79
0.297	0.6283 -11	10.00	0.177	-101	0.098	-73	0.178	158	0.102	162	1.022	93
0.243	0.6614 5	9.50	0.121	-90	0.054	-32	0.030	140	0.018	-135	0.920	108
0.173	0.6981 24	9.00	0.071	-84	0.040	44	0.105	9	0.069	14	0.712	127
0.089	0.7392 44	8.50	0.042	-92	0.054	102	0.159	23	0.132	50	0.436	156
0.009	0.7854 35	8.00	0.039	-92	0.056	142	0.142	56	0.154	88	0.221	-145
0.047	0.8378 -73	7.50	0.038	-61	0.041	-179	0.098	112	0.130	136	0.156	-56
0.053	0.8976 -47	7.00	0.032	10	0.011	-150	0.058	-157	0.064	-155	0.149	29
0.032	0.9666 -59	6.50	0.018	144	0.013	83	0.059	-46	0.041	19	0.101	132
0.039	1.0472 -43	6.00	0.027	-75	0.025	93	0.055	74	0.055	129	0.082	-85
0.010	1.1424 -148	5.50	0.022	61	0.036	177	0.198	-60	0.005	-97	0.133	137
0.072	1.2566 -70	5.00	0.011	-29	0.057	-142	0.063	-167	0.044	-162	0.022	4
0.013	1.3963 -69	4.50	0.011	-76	0.024	-141	0.006	33	0.032	-175	0.006	-50
0.011	1.5708 -90	4.00	0.006	19	0.013	-156	0.001	34	0.013	-125	0.002	-112
0.004	2.0944 -56	3.00	0.004	-105	0.001	-64	0.000	0	0.002	42	0.000	0

*

*** MOSES ***

*

0.046	0.3696 45	17.00	0.009	6	0.894	88	1.016	0	2.883	52	0.013	-3
0.072	0.3927 8	16.00	0.010	7	0.840	85	1.025	0	4.062	17	0.016	-4
0.086	0.4189 -45	15.00	0.012	10	0.739	87	1.037	0	4.147	-34	0.022	-7
0.068	0.4333 -60	14.50	0.013	11	0.736	90	1.045	0	2.976	-47	0.026	-9
0.062	0.4488 -75	14.00	0.014	13	0.728	92	1.056	0	2.423	-62	0.031	-11
0.056	0.4654 -86	13.50	0.016	14	0.722	93	1.069	0	1.941	-73	0.038	-14
0.052	0.4833 -95	13.00	0.019	16	0.713	94	1.086	-1	1.564	-80	0.047	-18
0.050	0.5027 -99	12.50	0.022	17	0.698	95	1.107	-2	1.268	-81	0.058	-23
0.049	0.5236 -103	12.00	0.027	17	0.680	96	1.133	-3	1.045	-81	0.073	-30
0.049	0.5464 -107	11.50	0.033	15	0.659	97	1.166	-6	0.870	-81	0.094	-38
0.050	0.5712 -111	11.00	0.041	10	0.635	98	1.204	-9	0.727	-80	0.120	-48
0.052	0.5984 -115	10.50	0.052	3	0.608	100	1.240	-14	0.606	-78	0.155	-62
0.054	0.6283 -119	10.00	0.064	-7	0.579	101	1.253	-22	0.500	-76	0.197	-80
0.056	0.6614 -121	9.50	0.076	-23	0.546	104	1.199	-32	0.407	-73	0.236	-105
0.059	0.6981 -121	9.00	0.081	-43	0.509	107	1.042	-44	0.324	-69	0.243	-134
0.066	0.7392 -121	8.50	0.074	-64	0.468	110	0.818	-54	0.253	-63	0.199	-163
0.075	0.7854 -123	8.00	0.059	-79	0.422	115	0.588	-61	0.196	-54	0.134	176
0.082	0.8378 -126	7.50	0.043	-85	0.373	121	0.399	-61	0.146	-44	0.085	168
0.087	0.8976 -126	7.00	0.033	-86	0.320	129	0.255	-55	0.104	-28	0.054	-177

0.091	0.9666	6.50	0.024	-73	0.263	140	0.158	-45	0.080	-8	0.024	-150
	-128											
0.089	1.0472	6.00	0.019	-69	0.204	157	0.088	-27	0.055	9	0.033	-126
	-124											
0.080	1.1424	5.50	0.014	-43	0.157	-179	0.138	-29	0.034	32	0.046	-177
	-120											
0.156	1.2566	5.00	0.011	-52	0.230	-83	0.047	-4	0.099	-99	0.028	-86
	-34											
0.050	1.3963	4.50	0.006	-1	0.063	-93	0.025	99	0.011	126	0.016	-28
	-73											
0.014	1.5708	4.00	0.006	31	0.048	-30	0.017	92	0.003	60	0.010	-48
	-16											
0.006	2.0944	3.00	0.001	8	0.008	-136	0.002	65	0.000	0	0.001	-75
	-117											

```

*
*                                     *** MOSES ***
*
*                                     ----- 25 June, 2014
*
*          "AEGIR" RESPONSE AMPLITUDE OPERATOR
*
*          211.48 X 46.2 X 16.1 meter
*
*          Draft = 10.5 Meters           Trim Angle = 0.00 Deg.           GMT = 9.61 Meters
*
*          Roll Gy. Radius = 22.1 Meters   Pitch Gy. Radius = 55.0 Meters   Yaw Gy. Radius = 53.9
Meters *
*          Heading = 180.00 Deg.           Forward Speed = 0.00 Knots           Linearization Based on 1/ 20
*
*

```

```

+++ M O T I O N   R E S P O N S E   O P E R A T O R S +++
=====
Of Point On Body AEGIR At X = 114.4 Y = 0.0 Z = 13.4

```


Harga Amplitudo Sikonifikan dari Gerakan Kapal saat kondisi #1

Heave Sikonifikan (m)		Heading			
		0	45	90	180
Hs	0.75	0.07	0.18	0.20	0.07
	1.75	0.16	0.43	0.47	0.17
	2.75	0.25	0.67	0.74	0.27
	3.75	0.34	0.91	1.01	0.37

Roll Sikonifikan (deg)		Heading			
		0	45	90	180
Hs	0.75	0.11	0.43	0.60	0.06
	1.75	0.53	0.85	1.12	0.47
	2.75	0.88	1.29	1.65	0.83
	3.75	1.23	1.74	2.20	1.15

Pitch Signifikan (deg)		Heading			
		0	45	90	180
Hs	0.75	0.17	0.13	0.10	0.17
	1.75	0.40	0.33	0.21	0.38
	2.75	0.63	0.50	0.30	0.60
	3.75	0.85	0.66	0.40	0.81

Harga Amplitudo Sikonifikan dari Gerakan Kapal saat kondisi #2

Heave Sikonifikan (m)		Heading			
		0	45	90	180
Hs	0.75	0.07	0.18	0.20	0.08
	1.75	0.16	0.43	0.46	0.18
	2.75	0.24	0.64	0.72	0.28
	3.75	0.32	0.87	0.97	0.39

Roll Sikonifikan (deg)		Heading			
		0	45	90	180
Hs	0.75	0.36	0.39	0.59	0.32
	1.75	0.36	0.51	1.05	0.34
	2.75	0.38	0.66	1.53	0.36
	3.75	0.44	0.72	1.98	0.41

Pitch Signifikan (deg)		Heading			
		0	45	90	180
Hs	0.75	0.17	0.16	0.19	0.16
	1.75	0.38	0.36	0.43	0.37
	2.75	0.57	0.52	0.66	0.58
	3.75	0.76	0.68	0.87	0.78

Harga Amplitudo Signifikan dari Gerakan Obyek saat kondisi #1

Gerakan vertikal Signifikan (m)		Heading			
		0	45	90	180
Hs	0.75	0.29	0.35	0.40	0.21
	1.75	0.65	0.83	0.95	0.58
	2.75	0.96	1.17	1.50	0.88
	3.75	1.18	1.52	1.99	1.12

Harga Amplitudo Signifikan dari Gerakan Obyek saat kondisi #2

Gerakan vertikal Signifikan (m)		Heading			
		0	45	90	180
Hs	0.75	0.41	0.48	0.58	0.24
	1.75	0.72	0.76	0.83	0.46
	2.75	1.05	1.08	1.18	0.74
	3.75	1.30	1.37	1.51	0.96

HEADING 0 DEG

HASIL RESPON UNTUK :

Hs = 0.75 m Heading = 0 degree

Statistik Tension	P						MBL	Sling Angle		Ps= P*DAF/Sin a		SF	Cek
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak		Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak		
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		A (deg)		(kN)	(kN)	(MBL/Sikn Max)	SF>4
Crane Sling 1	10357.54	10942.72	10695.37	56.24	10582.89	10807.86	58860.00	75.61	0.97	9104.57	13389.29	4.40	OK
Crane Sling 2	8017.60	8583.46	8276.52	49.38	8177.77	8375.27	58860.00	73.56	0.96	7105.17	10478.54	5.62	OK
Sling A1	2945.99	3907.43	3425.31	85.19	3254.93	3595.69	38148.64	60.13	0.87	3128.09	4976.02	7.67	OK
Sling B1	3593.28	4591.05	4052.70	89.23	3874.25	4231.15	38148.64	60.27	0.87	3717.89	5846.96	6.52	OK
Sling A4	4117.09	4982.33	4569.62	85.52	4398.57	4740.66	38148.64	63.37	0.89	4100.61	6364.11	5.99	OK
Sling B4	4862.03	5773.83	5331.24	89.89	5151.46	5511.01	38148.64	63.54	0.90	4795.12	7386.92	5.16	OK

Hs = 1.75 m Heading = 0 degree

Statistik Tension	P						MBL	Sling Angle		Ps= P*DAF/Sin a		SF	Cek
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak		Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak		
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		A (deg)		(kN)	(kN)	(MBL/Sikn Max)	SF>4
Crane Sling 1	8119.39	12585.59	10544.49	425.91	9692.67	11396.32	58860.00	75.61	0.97	8338.71	14118.30	4.17	OK
Crane Sling 2	6178.43	9497.26	8154.58	315.05	7524.48	8784.68	58860.00	73.56	0.96	6537.56	10990.76	5.36	OK
Sling A1	1297.32	5345.35	3359.95	454.29	2451.36	4268.53	38148.64	60.13	0.87	2355.83	5907.15	6.46	OK
Sling B1	1657.09	5951.31	3995.61	462.79	3070.04	4921.18	38148.64	60.27	0.87	2946.14	6800.50	5.61	OK
Sling A4	2002.95	6402.68	4486.55	448.67	3589.20	5383.89	38148.64	63.37	0.89	3346.06	7227.62	5.28	OK
Sling B4	2617.45	7192.96	5262.74	469.77	4323.20	6202.28	38148.64	63.54	0.90	4024.15	8313.49	4.59	OK

HEADING 0 DEG

Hs = 2.75 m Heading = 0 degree

Statistik Tension	P						MBL	Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		SF	Cek
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak		Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak		
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		A (deg)		(kN)	(kN)		
Crane Sling 1	7896.74	14442.43	10508.03	476.38	9555.26	11460.79	58860.00	75.61	0.97	8220.50	14198.17	4.15	OK
Crane Sling 2	5769.67	9395.80	8102.57	360.38	7381.81	8823.34	58860.00	73.56	0.96	6413.60	11039.13	5.33	OK
Sling A1	969.19	5557.17	3339.61	467.14	2405.32	4273.90	38148.64	60.13	0.87	2311.58	5914.57	6.45	OK
Sling B1	1546.69	5840.46	3963.76	476.74	3010.27	4917.24	38148.64	60.27	0.87	2888.78	6795.06	5.61	OK
Sling A4	1786.52	7072.67	4473.38	472.78	3527.82	5418.93	38148.64	63.37	0.89	3288.84	7274.66	5.24	OK
Sling B4	2723.13	8133.25	5239.16	484.46	4270.25	6208.08	38148.64	63.54	0.90	3974.87	8321.25	4.58	OK

Hs = 3.75 m Heading = 0 degree

Statistik Tension	P						MBL	Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		SF	Cek
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak		Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak		
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		A (deg)		(kN)	(kN)		
Crane Sling 1	6633.76	17373.71	10489.78	663.30	9163.19	11816.37	58860.00	75.61	0.97	7883.19	14638.69	4.02	OK
Crane Sling 2	4168.44	10061.88	8030.79	501.07	7028.66	9032.93	58860.00	73.56	0.96	6106.77	11301.34	5.21	OK
Sling A1	407.06	5640.39	3305.26	546.55	2212.16	4398.37	38148.64	60.13	0.87	2125.95	6086.83	6.27	OK
Sling B1	515.42	6719.68	3926.24	561.74	2802.76	5049.73	38148.64	60.27	0.87	2689.64	6978.14	5.47	OK
Sling A4	584.05	8515.61	4463.92	583.34	3297.24	5630.60	38148.64	63.37	0.89	3073.89	7558.81	5.05	OK
Sling B4	1857.18	10234.82	5230.19	585.58	4059.03	6401.34	38148.64	63.54	0.90	3778.26	8580.30	4.45	OK

HEADING 45 DEG

HASIL RESPON UNTUK :

Hs = 0.75 m

Heading = 45 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak			
Variabel	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)	(kN)	(MBL/Sikn Max)	SF>4
Crane Sling 1	9502.78	10994.27	10692.30	67.85	10556.61	10827.99	75.61	0.97	9081.97	13414.23	58860.00	4.39	OK
Crane Sling 2	7578.75	8574.77	8275.54	60.53	8154.48	8396.61	73.56	0.96	7084.92	10505.23	58860.00	5.60	OK
Sling A1	2910.42	3889.24	3424.75	131.61	3161.53	3687.97	60.13	0.87	3038.32	5103.72	38148.64	7.47	OK
Sling B1	3409.97	4536.37	4052.28	125.58	3801.13	4303.44	60.27	0.87	3647.72	5946.85	38148.64	6.41	OK
Sling A4	3810.87	5033.36	4567.95	122.21	4323.54	4812.36	63.37	0.89	4030.65	6460.36	38148.64	5.91	OK
Sling B4	4662.77	5814.12	5329.81	125.15	5079.50	5580.12	63.54	0.90	4728.14	7479.54	38148.64	5.10	OK

Hs = 1.75 m

Heading = 45 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak			
Variabel	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)	(kN)	(MBL/Sikn Max)	SF>4
Crane Sling 1	7970.57	13101.95	10487.72	544.25	9399.22	11576.22	75.61	0.97	8086.25	14341.17	58860.00	4.10	OK
Crane Sling 2	6071.66	9732.11	8085.63	406.56	7272.51	8898.75	73.56	0.96	6318.64	11133.47	58860.00	5.29	OK
Sling A1	1321.78	5659.11	3332.99	482.65	2367.69	4298.28	60.13	0.87	2275.42	5948.32	38148.64	6.41	OK
Sling B1	1412.12	6082.36	3953.39	498.10	2957.18	4949.59	60.27	0.87	2837.83	6839.76	38148.64	5.58	OK
Sling A4	1702.24	6659.87	4465.28	501.69	3461.90	5468.65	63.37	0.89	3227.39	7341.40	38148.64	5.20	OK
Sling B4	2054.70	7153.35	5226.95	528.61	4169.74	6284.17	63.54	0.90	3881.30	8423.24	38148.64	4.53	OK

HEADING 45 DEG

Hs = 2.75 m Heading = 45 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak			
Variabel	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)	(kN)	(MBL/Sikn Max)	SF>4
Crane Sling 1	6079.11	15129.19	10451.92	603.93	9244.06	11659.77	75.61	0.97	7952.77	14444.68	58860.00	4.07	OK
Crane Sling 2	4219.58	11599.44	8035.72	446.26	7143.21	8928.24	73.56	0.96	6206.30	11170.37	58860.00	5.27	OK
Sling A1	275.73	7021.43	3312.58	531.59	2249.40	4375.77	60.13	0.87	2161.74	6055.55	38148.64	6.30	OK
Sling B1	956.60	6263.61	3923.72	544.99	2833.74	5013.70	60.27	0.87	2719.37	6928.35	38148.64	5.51	OK
Sling A4	1392.85	7648.26	4451.12	565.56	3320.01	5582.23	63.37	0.89	3095.10	7493.88	38148.64	5.09	OK
Sling B4	2075.89	9325.80	5205.03	568.17	4068.69	6341.37	63.54	0.90	3787.25	8499.92	38148.64	4.49	OK

Hs = 3.75 m Heading = 45 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak			
Variabel	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)	(kN)	(MBL/Sikn Max)	SF>4
Crane Sling 1	1252.46	28722.61	10432.66	818.94	8794.78	12070.55	75.61	0.97	7566.24	14953.57	58860.00	3.94	FAIL
Crane Sling 2	1168.16	26581.36	7997.14	640.87	6715.39	9278.88	73.56	0.96	5834.59	11609.07	58860.00	5.07	OK
Sling A1	66.06	12134.05	3292.75	630.95	2030.85	4554.65	60.13	0.87	1951.71	6303.10	38148.64	6.05	OK
Sling B1	91.82	13713.62	3904.98	644.83	2615.32	5194.63	60.27	0.87	2509.77	7178.37	38148.64	5.31	OK
Sling A4	90.34	18006.18	4438.52	689.22	3060.07	5816.97	63.37	0.89	2852.78	7809.00	38148.64	4.89	OK
Sling B4	91.71	14849.64	5198.20	673.52	3851.15	6545.25	63.54	0.90	3584.76	8773.19	38148.64	4.35	OK

HEADING 90 DEG

HASIL RESPON UNTUK :

Hs = 0.75 m Heading = 90 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek	
	Variabel	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min				Sikn Mak
		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)				(kN)
Crane Sling 1	8592.30	11365.88	10676.01	166.20	10343.62	11008.41	75.61	0.97	8898.73	13637.74	58860.00	4.32	OK	
Crane Sling 2	6751.39	8873.18	8261.68	136.05	7989.58	8533.78	73.56	0.96	6941.66	10676.85	58860.00	5.51	OK	
Sling A1	2033.74	4673.97	3416.47	196.94	3022.58	3810.36	60.13	0.87	2904.79	5273.10	38148.64	7.23	OK	
Sling B1	2480.57	5244.16	4046.63	198.27	3650.08	4443.17	60.27	0.87	3502.77	6139.95	38148.64	6.21	OK	
Sling A4	3124.18	5590.93	4557.72	194.64	4168.44	4947.00	63.37	0.89	3886.07	6641.11	38148.64	5.74	OK	
Sling B4	3440.94	6436.75	5323.67	198.80	4926.08	5721.26	63.54	0.90	4585.33	7668.72	38148.64	4.97	OK	

Hs = 1.75 m Heading = 90 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek	
	Variabel	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min				Sikn Mak
		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)				(kN)
Crane Sling 1	7216.97	13854.79	10488.29	597.13	9294.04	11682.54	75.61	0.97	7995.76	14472.89	58860.00	4.07	OK	
Crane Sling 2	5531.90	9757.94	8072.90	442.53	7187.85	8957.95	73.56	0.96	6245.08	11207.54	58860.00	5.25	OK	
Sling A1	1072.90	5747.73	3329.41	509.83	2309.74	4349.08	60.13	0.87	2219.73	6018.62	38148.64	6.34	OK	
Sling B1	1338.06	6088.76	3944.29	518.40	2907.50	4981.08	60.27	0.87	2790.16	6883.28	38148.64	5.54	OK	
Sling A4	2040.97	6792.40	4468.68	525.85	3416.97	5520.39	63.37	0.89	3185.50	7410.86	38148.64	5.15	OK	
Sling B4	2173.97	7495.98	5224.15	557.15	4109.86	6338.44	63.54	0.90	3825.57	8495.99	38148.64	4.49	OK	

HEADING 90 DEG

Hs = 2.75 m

Heading = 90 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak			
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)			
Crane Sling 1	6910.52	15229.72	10483.08	638.63	9205.83	11760.33	75.61	0.97	7919.87	14569.25	58860.00	4.04	OK
Crane Sling 2	5284.93	9724.71	8034.74	470.64	7093.46	8976.03	73.56	0.96	6163.07	11230.16	58860.00	5.24	OK
Sling A1	656.12	5537.82	3308.76	542.30	2224.16	4393.36	60.13	0.87	2137.48	6079.90	38148.64	6.27	OK
Sling B1	1037.70	6251.35	3926.65	550.55	2825.54	5027.75	60.27	0.87	2711.51	6947.77	38148.64	5.49	OK
Sling A4	1691.22	7530.65	4462.00	573.08	3315.84	5608.17	63.37	0.89	3091.22	7528.71	38148.64	5.07	OK
Sling B4	2187.48	8852.74	5225.33	577.39	4070.55	6380.11	63.54	0.90	3788.98	8551.85	38148.64	4.46	OK

Hs = 3.75 m

Heading = 90 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak			
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)			
Crane Sling 1	4097.34	17773.56	10464.41	835.83	8792.75	12136.07	75.61	0.97	7564.50	15034.74	58860.00	3.91	FAIL
Crane Sling 2	2381.99	14925.15	7977.58	634.30	6708.98	9246.17	73.56	0.96	5829.02	11568.14	58860.00	5.09	OK
Sling A1	77.72	8009.54	3282.98	674.44	1934.10	4631.85	60.13	0.87	1858.73	6409.94	38148.64	5.95	OK
Sling B1	102.60	9510.79	3895.27	681.05	2533.18	5257.36	60.27	0.87	2430.94	7265.06	38148.64	5.25	OK
Sling A4	122.69	9549.66	4453.57	724.17	3005.23	5901.90	63.37	0.89	2801.65	7923.02	38148.64	4.81	OK
Sling B4	119.59	11565.35	5214.86	718.97	3776.92	6652.79	63.54	0.90	3515.66	8917.34	38148.64	4.28	OK

HEADING 180 DEG

HASIL RESPON UNTUK :

Hs = 0.75 m Heading = 180 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak			
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)	(kN)	MBL/Sikn Max	SF>4
Crane Sling 1	10471.39	10876.10	10696.70	39.09	10618.52	10774.88	75.61	0.97	9135.22	13348.44	58860.00	4.41	OK
Crane Sling 2	8091.02	8445.75	8276.56	31.19	8214.18	8338.93	73.56	0.96	7136.80	10433.07	58860.00	5.64	OK
Sling A1	3060.51	3768.99	3425.30	86.43	3252.44	3598.17	60.13	0.87	3125.69	4979.44	38148.64	7.66	OK
Sling B1	3575.36	4410.45	4052.75	89.30	3874.16	4231.34	60.27	0.87	3717.81	5847.22	38148.64	6.52	OK
Sling A4	4189.71	4952.66	4570.24	86.99	4396.26	4744.22	63.37	0.89	4098.45	6368.90	38148.64	5.99	OK
Sling B4	4913.87	5699.31	5331.94	90.23	5151.47	5512.40	63.54	0.90	4795.13	7388.78	38148.64	5.16	OK

Hs = 1.75 m Heading = 180 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak			
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)	(kN)	MBL/Sikn Max	SF>4
Crane Sling 1	7941.48	12861.59	10588.34	326.53	9935.29	11241.39	75.61	0.97	8547.43	13926.37	58860.00	4.23	OK
Crane Sling 2	6349.50	9100.21	8189.02	244.82	7699.39	8678.65	73.56	0.96	6689.52	10858.10	58860.00	5.42	OK
Sling A1	350.54	5663.54	3375.13	422.80	2529.53	4220.72	60.13	0.87	2430.95	5840.99	38148.64	6.53	OK
Sling B1	1263.20	6405.19	4015.06	430.68	3153.71	4876.41	60.27	0.87	3026.43	6738.63	38148.64	5.66	OK
Sling A4	2079.87	6648.49	4506.31	408.35	3689.62	5323.00	63.37	0.89	3439.68	7145.88	38148.64	5.34	OK
Sling B4	2631.63	7753.74	5286.96	426.76	4433.44	6140.49	63.54	0.90	4126.77	8230.66	38148.64	4.63	OK

HEADING 180 DEG

Hs = 2.75 m

Heading = 180 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak			
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)			
Crane Sling 1	7680.52	12959.08	10521.06	447.86	9625.33	11416.78	75.61	0.97	8280.78	14143.65	58860.00	4.16	OK
Crane Sling 2	5857.06	9447.86	8109.37	335.67	7438.04	8780.70	73.56	0.96	6462.46	10985.78	58860.00	5.36	OK
Sling A1	111.19	5314.49	3338.60	468.03	2402.55	4274.65	60.13	0.87	2308.92	5915.61	38148.64	6.45	OK
Sling B1	1104.92	6107.33	3971.69	484.60	3002.50	4940.88	60.27	0.87	2881.33	6827.73	38148.64	5.59	OK
Sling A4	2205.29	6695.98	4474.97	462.13	3550.71	5399.22	63.37	0.89	3310.18	7248.19	38148.64	5.26	OK
Sling B4	2681.61	7818.41	5250.71	486.40	4277.92	6223.51	63.54	0.90	3982.00	8341.94	38148.64	4.57	OK

Hs = 3.75 m

Heading = 180 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak			
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)			
Crane Sling 1	7099.53	13901.61	10490.31	524.45	9441.42	11539.20	75.61	0.97	8122.56	14295.31	58860.00	4.12	OK
Crane Sling 2	4763.08	9994.11	8049.15	418.09	7212.96	8885.34	73.56	0.96	6266.90	11116.69	58860.00	5.29	OK
Sling A1	340.98	5635.49	3309.75	476.81	2356.13	4263.37	60.13	0.87	2264.31	5900.01	38148.64	6.47	OK
Sling B1	1301.73	6014.60	3940.09	498.59	2942.92	4937.26	60.27	0.87	2824.15	6822.73	38148.64	5.59	OK
Sling A4	1567.13	6848.10	4458.22	485.61	3487.00	5429.44	63.37	0.89	3250.79	7288.76	38148.64	5.23	OK
Sling B4	2712.99	7453.91	5236.51	504.64	4227.22	6245.79	63.54	0.90	3934.81	8371.81	38148.64	4.56	OK

HEADING 0 DEG

HASIL RESPON UNTUK :

Hs = 0.75 m Heading = 0 degree

Statistik Tension	P						MBL	Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		SF (MBL/Sikn Max)	Cek SF>4	Cek Slack Tension Min>610.3 kN
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak		Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak			
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		A (deg)		(kN)	(kN)			
Crane Sling 1	5687.89	7154.13	6250.54	127.53	5995.48	6505.59	58860.00	79.31	0.98	5084.48	7944.59	7.41	OK	OK
Crane Sling 2	4032.27	5096.29	4396.96	89.95	4217.07	4576.85	58860.00	77.73	0.98	3596.38	5620.62	10.47	OK	OK
Sling A1	1181.39	1971.09	1514.73	83.41	1347.91	1681.54	38148.64	63.83	0.90	1251.59	2248.40	16.97	OK	OK
Sling B1	1706.66	2544.91	2056.76	87.15	1882.46	2231.06	38148.64	63.97	0.90	1745.79	2979.47	12.80	OK	OK
Sling A4	1972.71	2854.20	2327.49	95.45	2136.60	2518.39	38148.64	67.54	0.92	1926.70	3270.21	11.67	OK	OK
Sling B4	2660.80	3708.57	3101.07	108.03	2885.02	3317.12	38148.64	67.71	0.93	2598.30	4301.95	8.87	OK	OK

Hs = 1.75 m Heading = 0 degree

Statistik Tension	P						MBL	Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		SF (MBL/Sikn Max)	Cek SF>4	Cek Slack Tension Min>610.3 kN
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak		Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak			
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		A (deg)		(kN)	(kN)			
Crane Sling 1	4686.75	8025.96	6375.95	283.31	5809.33	6942.57	58860.00	79.31	0.98	4926.61	8478.22	6.94	OK	OK
Crane Sling 2	3247.18	5751.30	4496.32	207.50	4081.32	4911.31	58860.00	77.73	0.98	3480.61	6031.34	9.76	OK	OK
Sling A1	713.15	2392.38	1564.10	179.05	1206.01	1922.20	38148.64	63.83	0.90	1119.83	2570.18	14.84	OK	OK
Sling B1	943.96	3089.06	2107.36	188.86	1729.64	2485.08	38148.64	63.97	0.90	1604.07	3318.71	11.50	OK	OK
Sling A4	1318.24	3428.65	2394.71	203.15	1988.42	2801.01	38148.64	67.54	0.92	1793.07	3637.21	10.49	OK	OK
Sling B4	1883.75	4372.93	3159.87	230.19	2699.50	3620.25	38148.64	67.71	0.93	2431.22	4695.07	8.13	OK	OK

HEADING 0 DEG

Hs = 2.75 m Heading = 0 degree

Statistik Tension	P						MBL	Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		SF	Cek	Cek Slack
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak		Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak			
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		A (deg)		(kN)	(kN)			
Crane Sling 1	3207.23	9512.21	6458.21	485.91	5486.39	7430.02	58860.00	79.31	0.98	4652.74	9073.50	6.49	OK	OK
Crane Sling 2	2654.15	6914.42	4566.01	342.57	3880.86	5251.15	58860.00	77.73	0.98	3309.65	6448.69	9.13	OK	OK
Sling A1	149.81	2944.37	1597.76	265.94	1065.89	2129.64	38148.64	63.83	0.90	989.72	2847.55	13.40	OK	OK
Sling B1	213.95	4087.61	2143.82	291.56	1560.71	2726.93	38148.64	63.97	0.90	1447.40	3641.69	10.48	OK	OK
Sling A4	416.92	4051.08	2437.13	307.38	1822.36	3051.90	38148.64	67.54	0.92	1643.34	3963.00	9.63	OK	OK
Sling B4	1012.37	5622.42	3200.08	377.01	2446.06	3954.09	38148.64	67.71	0.93	2202.97	5128.02	7.44	OK	OK

Hs = 3.75 m Heading = 0 degree

Statistik Tension	P						MBL	Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		SF	Cek	Cek Slack
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak		Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak			
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		A (deg)		(kN)	(kN)			
Crane Sling 1	2264.94	12329.49	6513.06	766.25	4980.56	8045.56	58860.00	79.31	0.98	4223.77	9825.19	5.99	OK	OK
Crane Sling 2	1627.13	8519.53	4610.13	528.44	3553.25	5667.01	58860.00	77.73	0.98	3030.26	6959.39	8.46	OK	OK
Sling A1	98.05	3797.42	1617.27	370.56	876.15	2358.39	38148.64	63.83	0.90	813.55	3153.42	12.10	OK	OK
Sling B1	106.67	5077.59	2168.71	420.76	1327.19	3010.23	38148.64	63.97	0.90	1230.83	4020.02	9.49	OK	OK
Sling A4	110.34	4876.15	2461.96	441.15	1579.66	3344.26	38148.64	67.54	0.92	1424.48	4342.64	8.78	OK	OK
Sling B4	559.70	7456.60	3230.25	564.58	2101.09	4359.41	38148.64	67.71	0.93	1892.28	5653.68	6.75	OK	OK

HEADING 45 DEG

HASIL RESPON UNTUK :

Hs = 0.75 m Heading = 45 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek	Cek Slack
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak				
Variabel	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)	(kN)	(MBL/Sikn Max)	SF>4	Tension Min>610.3 kN
Crane Sling 1	5377.41	7377.83	6300.30	214.87	5870.56	6730.05	79.31	0.98	4978.53	8218.69	58860.00	7.16	OK	OK
Crane Sling 2	3701.30	5271.42	4444.91	158.43	4128.06	4761.77	77.73	0.98	3520.47	5847.70	58860.00	10.07	OK	OK
Sling A1	1073.73	2201.72	1540.93	119.49	1301.94	1779.92	63.83	0.90	1208.91	2379.94	38148.64	16.03	OK	OK
Sling B1	1575.79	2714.39	2078.78	127.77	1823.24	2334.33	63.97	0.90	1690.87	3117.39	38148.64	12.24	OK	OK
Sling A4	1758.32	3061.53	2358.57	139.31	2079.96	2637.18	67.54	0.92	1875.63	3424.47	38148.64	11.14	OK	OK
Sling B4	2564.67	3898.61	3120.05	164.81	2790.43	3449.66	67.71	0.93	2513.12	4473.84	38148.64	8.53	OK	OK

Hs = 1.75 m

Heading = 45 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek	Cek Slack
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak				
Variabel	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)	(kN)	(MBL/Sikn Max)	SF>4	Tension Min>610.3 kN
Crane Sling 1	3894.85	8848.17	6409.34	375.36	5658.62	7160.06	79.31	0.98	4798.80	8743.82	58860.00	6.73	OK	OK
Crane Sling 2	2658.80	6515.57	4537.51	282.48	3972.55	5102.46	77.73	0.98	3387.85	6266.09	58860.00	9.39	OK	OK
Sling A1	405.82	2717.39	1583.03	220.00	1143.04	2023.02	63.83	0.90	1061.36	2704.99	38148.64	14.10	OK	OK
Sling B1	569.12	3628.81	2129.82	245.20	1639.43	2620.22	63.97	0.90	1520.40	3499.18	38148.64	10.90	OK	OK
Sling A4	865.82	3765.32	2411.97	243.93	1924.12	2899.82	67.54	0.92	1735.09	3765.52	38148.64	10.13	OK	OK
Sling B4	1657.45	4709.93	3176.20	294.56	2587.08	3765.31	67.71	0.93	2329.98	4883.21	38148.64	7.81	OK	OK

HEADING 45 DEG

Hs = 2.75 m Heading = 45 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek	Cek Slack
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak				
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)				
Crane Sling 1	2442.05	12444.39	6481.51	675.19	5131.13	7831.90	79.31	0.98	4351.46	9564.27	58860.00	6.15	OK	OK
Crane Sling 2	1461.29	8697.17	4603.83	503.70	3596.43	5611.22	77.73	0.98	3067.09	6890.88	58860.00	8.54	OK	OK
Sling A1	101.90	3655.82	1612.39	344.02	924.34	2300.43	63.83	0.90	858.29	3075.92	38148.64	12.40	OK	OK
Sling B1	103.99	4583.98	2167.19	409.09	1349.01	2985.37	63.97	0.90	1251.07	3986.82	38148.64	9.57	OK	OK
Sling A4	110.97	5283.34	2447.39	378.89	1689.60	3205.17	67.54	0.92	1523.62	4162.02	38148.64	9.17	OK	OK
Sling B4	651.80	6679.30	3213.24	507.60	2198.04	4228.44	67.71	0.93	1979.59	5483.83	38148.64	6.96	OK	OK

Hs = 3.75 m Heading = 45 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek	Cek Slack
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak				
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)				
Crane Sling 1	1067.92	16848.60	6525.46	1083.05	4359.37	8691.56	79.31	0.98	3696.97	10614.07	58860.00	5.55	OK	OK
Crane Sling 2	1026.20	13650.03	4648.12	816.23	3015.67	6280.58	77.73	0.98	2571.81	7712.88	58860.00	7.63	OK	OK
Sling A1	86.02	8268.33	1629.14	505.86	617.41	2640.87	63.83	0.90	573.30	3531.12	38148.64	10.80	OK	FAIL
Sling B1	80.03	7925.33	2194.98	613.14	968.70	3421.27	63.97	0.90	898.37	4568.94	38148.64	8.35	OK	OK
Sling A4	84.46	8244.02	2467.02	564.15	1338.72	3595.33	67.54	0.92	1207.21	4668.66	38148.64	8.17	OK	OK
Sling B4	98.92	9708.08	3237.62	768.18	1701.26	4773.97	67.71	0.93	1532.19	6191.33	38148.64	6.16	OK	OK

HEADING 90 DEG

HASIL RESPON UNTUK :

Hs = 0.75 m heading = 90 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek	Cek Slack
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak				
Variabel	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)	(kN)	MBL/Sikn Max	SF>4	Tension Min>610.3 kN
Crane Sling 1	5528.40	7507.64	6288.32	199.13	5890.06	6686.59	79.31	0.98	4995.07	8165.62	58860.00	7.21	OK	OK
Crane Sling 2	3734.28	5263.36	4436.99	154.28	4128.42	4745.56	77.73	0.98	3520.78	5827.80	58860.00	10.10	OK	OK
Sling A1	1049.14	2163.14	1535.92	120.92	1294.08	1777.75	63.83	0.90	1201.61	2377.04	38148.64	16.05	OK	OK
Sling B1	1569.63	2685.46	2075.82	128.34	1819.14	2332.50	63.97	0.90	1687.06	3114.94	38148.64	12.25	OK	OK
Sling A4	1824.68	2919.89	2350.72	138.51	2073.71	2627.74	67.54	0.92	1869.99	3412.21	38148.64	11.18	OK	OK
Sling B4	2576.88	3984.29	3115.85	157.54	2800.78	3430.93	67.71	0.93	2522.44	4449.54	38148.64	8.57	OK	OK

Hs = 1.75 m heading = 90 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek	Cek Slack
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak				
Variabel	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)	(kN)	MBL/Sikn Max	SF>4	Tension Min>610.3 kN
Crane Sling 1	4069.32	8486.27	6410.49	383.26	5643.97	7177.00	79.31	0.98	4786.38	8764.51	58860.00	6.72	OK	OK
Crane Sling 2	2841.84	6273.00	4537.89	291.81	3954.28	5121.50	77.73	0.98	3372.26	6289.47	58860.00	9.36	OK	OK
Sling A1	213.07	2685.40	1583.75	237.71	1108.33	2059.17	63.83	0.90	1029.14	2753.33	38148.64	13.86	OK	OK
Sling B1	497.98	3492.94	2129.50	260.54	1608.41	2650.58	63.97	0.90	1491.63	3539.73	38148.64	10.78	OK	OK
Sling A4	927.82	3543.75	2413.75	253.40	1906.96	2920.55	67.54	0.92	1719.62	3792.43	38148.64	10.06	OK	OK
Sling B4	1320.74	4819.73	3175.57	306.08	2563.40	3787.74	67.71	0.93	2308.65	4912.29	38148.64	7.77	OK	OK

HEADING 90 DEG

Hs = 2.75 m heading = 90 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek	Cek Slack
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak				
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)	(kN)	MBL/Sikn Max	SF>4	Tension Min>610.3 kN
Crane Sling 1	2522.93	11180.29	6484.80	698.47	5087.87	7881.74	79.31	0.98	4314.77	9625.13	58860.00	6.12	OK	OK
Crane Sling 2	1168.68	8264.41	4596.61	523.09	3550.42	5642.80	77.73	0.98	3027.85	6929.66	58860.00	8.49	OK	OK
Sling A1	100.91	3971.97	1609.95	380.51	848.93	2370.97	63.83	0.90	788.27	3170.24	38148.64	12.03	OK	OK
Sling B1	104.13	4764.31	2162.40	437.98	1286.43	3038.37	63.97	0.90	1193.03	4057.60	38148.64	9.40	OK	OK
Sling A4	314.66	4651.65	2450.90	403.56	1643.78	3258.02	67.54	0.92	1482.29	4230.65	38148.64	9.02	OK	OK
Sling B4	390.17	6172.84	3213.02	533.85	2145.32	4280.72	67.71	0.93	1932.11	5551.63	38148.64	6.87	OK	OK

Hs = 3.75 m heading = 90 degree

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek	Cek Slack
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak				
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)	(kN)	MBL/Sikn Max	SF>4	Tension Min>610.3 kN
Crane Sling 1	1162.97	15422.34	6532.38	1122.70	4286.99	8777.78	79.31	0.98	3635.58	10719.37	58860.00	5.49	OK	OK
Crane Sling 2	1015.49	11110.17	4633.36	848.14	2937.07	6329.64	77.73	0.98	2504.78	7773.13	58860.00	7.57	OK	OK
Sling A1	89.45	6343.29	1625.99	547.82	530.35	2721.62	63.83	0.90	492.46	3639.10	38148.64	10.48	OK	FAIL
Sling B1	98.16	7771.44	2183.34	641.09	901.17	3465.51	63.97	0.90	835.74	4628.03	38148.64	8.24	OK	OK
Sling A4	90.94	7097.12	2474.53	604.34	1265.86	3683.21	67.54	0.92	1141.50	4782.77	38148.64	7.98	OK	OK
Sling B4	104.46	8320.69	3236.98	791.83	1653.31	4820.64	67.71	0.93	1489.01	6251.86	38148.64	6.10	OK	OK

HEADING 180 DEG

HASIL RESPON UNTUK :

Hs = 0.75 m

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek	Cek Slack
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak				
Variabel	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)	(kN)	(MBL/Sikn Max)	SF>4	Tension Min>610.3 kN
Crane Sling 1	5861.27	7097.75	6233.39	99.38	6034.64	6432.14	79.31	0.98	5117.68	7854.89	58860.00	7.49	OK	OK
Crane Sling 2	4130.66	5148.18	4388.60	78.44	4231.72	4545.48	77.73	0.98	3608.87	5582.09	58860.00	10.54	OK	OK
Sling A1	1172.00	1941.08	1510.80	73.03	1364.73	1656.87	63.83	0.90	1267.22	2215.41	38148.64	17.22	OK	OK
Sling B1	1764.94	2575.91	2052.25	76.02	1900.21	2204.29	63.97	0.90	1762.25	2943.72	38148.64	12.96	OK	OK
Sling A4	1991.31	2787.80	2319.26	81.35	2156.56	2481.96	67.54	0.92	1944.70	3222.91	38148.64	11.84	OK	OK
Sling B4	2774.78	3646.41	3092.09	88.31	2915.47	3268.71	67.71	0.93	2625.73	4239.16	38148.64	9.00	OK	OK

HASIL RESPON UNTUK :

Hs = 1.75 m

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek	Cek Slack
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak				
Variabel	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)	(kN)	(MBL/Sikn Max)	SF>4	Tension Min>610.3 kN
Crane Sling 1	5861.27	7097.75	6233.39	99.38	6034.64	6432.14	79.31	0.98	5117.68	7854.89	58860.00	7.49	OK	OK
Crane Sling 2	4130.66	5148.18	4388.60	78.44	4231.72	4545.48	77.73	0.98	3608.87	5582.09	58860.00	10.54	OK	OK
Sling A1	1172.00	1941.08	1510.80	73.03	1364.73	1656.87	63.83	0.90	1267.22	2215.41	38148.64	17.22	OK	OK
Sling B1	1764.94	2575.91	2052.25	76.02	1900.21	2204.29	63.97	0.90	1762.25	2943.72	38148.64	12.96	OK	OK
Sling A4	1991.31	2787.80	2319.26	81.35	2156.56	2481.96	67.54	0.92	1944.70	3222.91	38148.64	11.84	OK	OK
Sling B4	2774.78	3646.41	3092.09	88.31	2915.47	3268.71	67.71	0.93	2625.73	4239.16	38148.64	9.00	OK	OK

HEADING 180 DEG

Hs = 2.75 m

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek	Cek Slack
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak				
Variabel	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)	(kN)	(MBL/Sikn Max)	SF>4	Tension Min>610.3 kN
Crane Sling 1	5861.27	7097.75	6233.39	99.38	6034.64	6432.14	79.31	0.98	5117.68	7854.89	58860.00	7.49	OK	OK
Crane Sling 2	4130.66	5148.18	4388.60	78.44	4231.72	4545.48	77.73	0.98	3608.87	5582.09	58860.00	10.54	OK	OK
Sling A1	1172.00	1941.08	1510.80	73.03	1364.73	1656.87	63.83	0.90	1267.22	2215.41	38148.64	17.22	OK	OK
Sling B1	1764.94	2575.91	2052.25	76.02	1900.21	2204.29	63.97	0.90	1762.25	2943.72	38148.64	12.96	OK	OK
Sling A4	1991.31	2787.80	2319.26	81.35	2156.56	2481.96	67.54	0.92	1944.70	3222.91	38148.64	11.84	OK	OK
Sling B4	2774.78	3646.41	3092.09	88.31	2915.47	3268.71	67.71	0.93	2625.73	4239.16	38148.64	9.00	OK	OK

Hs = 3.75 m

Statistik Tension	P						Sling Angle		Ps= P *DAF /Sin a		MBL	SF	Cek	Cek Slack
	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	Sikn Min	Sikn Mak	Sudut	Sin A	Sikn Min	Sikn Mak				
Variabel	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	A (deg)		(kN)	(kN)	(kN)	(MBL/Sikn Max)	SF>4	Tension Min>610.3 kN
Crane Sling 1	5861.27	7097.75	6233.39	99.38	6034.64	6432.14	79.31	0.98	5117.68	7854.89	58860.00	7.49	OK	OK
Crane Sling 2	4130.66	5148.18	4388.60	78.44	4231.72	4545.48	77.73	0.98	3608.87	5582.09	58860.00	10.54	OK	OK
Sling A1	1172.00	1941.08	1510.80	73.03	1364.73	1656.87	63.83	0.90	1267.22	2215.41	38148.64	17.22	OK	OK
Sling B1	1764.94	2575.91	2052.25	76.02	1900.21	2204.29	63.97	0.90	1762.25	2943.72	38148.64	12.96	OK	OK
Sling A4	1991.31	2787.80	2319.26	81.35	2156.56	2481.96	67.54	0.92	1944.70	3222.91	38148.64	11.84	OK	OK
Sling B4	2774.78	3646.41	3092.09	88.31	2915.47	3268.71	67.71	0.93	2625.73	4239.16	38148.64	9.00	OK	OK