



TUGAS AKHIR - MO 141326

**ANALISA DAMPAK *SLOSHING* PADA FSU DENGAN SISTEM
MEMBRAN PENAHAN TANGKI *PRISMATIC***

Fajar Vira Bahrayn

NRP. 4311 100 072

DOSEN PEMBIMBING:

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc., Ph.D

Ir. Handyanu M.Sc., Ph.D

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016



FINAL PROJECT - MO 141326

**ANALYSIS OF SLOSHING EFFECT ON FSU USING
PRISMATIC TANK DEFENSIVE MEMBRANE SYSTEM**

Fajar Vira Bahrayn

NRP. 4311 100 019

SUPERVISORS:

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc., Ph.D

Ir. Handayanu M.Sc., Ph.D

Ocean Engineering Department

Faculty Of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2016

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA DAMPAK *SLOSHING* PADA FSU DENGAN SISTEM
MEMBRAN PENAHANAN TANGKI *PRISMATIC***

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 Surabaya

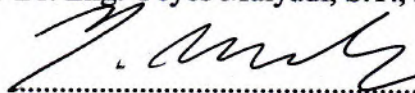
Oleh:

Fajar Vira Bahrayn

NRP. 4311100072

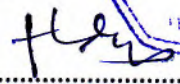
Disetujui oleh

1. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. (Pembimbing 1)

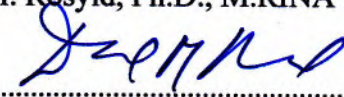
.....



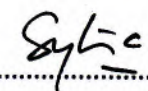
2. Dr. Ir. Handayanu, S.T. M.Sc. (Pembimbing 2)

.....

3. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., M.RINA (Penguji 1)

.....

4. Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D. (Penguji 2)

.....

SURABAYA, JULI 2016

ANALISA DAMPAK *SLOSHING* PADA FSU DENGAN SISTEM MEMBRAN PENAHANAN TANGKI *PRISMATIC*

Nama Mahasiswa : Fajar Vira Bahrayn

NRP : 4311100072

Jurusan : Teknik Kelautan – FTK ITS

Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

Dr. Ir. Handayanu, S.T., M.Sc

ABSTRAK

Sloshing atau biasa yang biasa kita sebut dengan kocak adalah suatu keadaan dimana fluida dalam suatu wadah tidak berada dalam satu garis lurus yang menyebabkan perubahan tegangan dalam wadah tersebut. Jika fluida yang ada didalam wadah tersebut adalah air, maka perubahan tegangan tidak signifikan. Dalam FSU fluida yang ada dalam tanker tersebut adalah LNG (*Liquefied Natural Gas*). *Sloshing* dapat dipengaruhi oleh beban lingkungan dan juga beban dari kapal itu sendiri. Dari beban lingkungan tersebut didapatkan frekuensi natural yang akan digunakan sebagai pokok pergerakan dari *sloshing*. Keadaan kapal juga berpengaruh besar terhadap gerak dari *sloshing* tersebut. Semakin besar frekuensi natural dari kapal itu semakin besar gerakan *sloshing* yang terjadi. Dari frekuensi natural dapat dihitung juga percepatan yang terjadi saat gelombang kapal dikenai *gelombang irregular*. Perhitungan pada tugas akhir ini menggunakan *software* ANSYS CFX dan *MECHANICAL*. Dengan menggunakan RAO (*Response Amplitudo Operator*) terbesar pada FSU saat *roll* dengan kondisi pembebanan 70% dan dengan *heading* 90° sebesar 0.00963 rad/s mendapatkan tegangan tegangan *sloshing* sebesar 1019.91 kPa dan tegangan pada membran tangki sebesar 4058.361 kPa. Tegangan ini masih sangat aman jika mengacu pada DNV “*Strength Assesment of Membrane-Type LNG Containment Systems Under Sloshing Load*” dengan ketentuan tegangan maksimum tidak melebihi 90% dari *yield strength* material *stainless steel* yaitu 193.5 MPa. Sedangkan tegangan maksimal yang terjadi pada membran sebesar 119.05 MPa. Jadi dapat dikatakan bahwa membran pada tangki masih aman untuk digunakan

Kata Kunci : *Sloshing, FSU, ANSYS CFX, ANSYS MECHANICAL, roll, membran tangki, stainless steel, DNV, tegangan.*

ANALYSIS OF SLOSHING EFFECT ON FSU USING PRISMATIC TANK DEFENSIVE MEMBRANE SYSTEM

Name : Fajar Vira Bahrayn
NRP : 4311100072
Department : Ocean Engineering – FTK ITS
Supervisors : Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.
Dr. Ir. Handayanu, S.T., M.Sc

ABSTRACT

Sloshing is a condition where fluids in a certain container weren't in a streamline position, which may cause slewing inside the container. if the fluid inside the container is water, then the slewing is not significant. However In FSU, fluids inside the tanker is LNG (liquified Natural Gas). Sloshing may be caused by enviromental loads and also the vessel load. from the enviromental load we can find natural frequency which will be used for the main sloshing movement. Vessel condition also has big effect towards sloshing. The greater the natural frequency, the greater sloshing movement happenning. Natural frequency can be found by calculating acceleration happenning when vessel subjected by irregular wave. The calculation in this final project used software ANSYS CFX and MECHANICAL. By using the greatest RAO (Response Amplitude Operator) on FSU while rolling with the weight condition 70% and heading 90° 0.00963 rad/s the results are sloshing 1019.91 kPa and container membrane stress 4058.361 kPa. This stress point is considered safe according to DNV "Strength Assessment of Membrane-Type LNG Containment Systems Under Sloshing Load" stating that maxium stress is not exceeding 90% of the yield strength stainless steel material which is 193.5 MPa. While the maximum stress happening at container membrane 119.05 MPa. Therefore in conclusion container membrane is safe to use.

Keywords : *Sloshing, FSU, ANSYS CFX, ANSYS MECHANICAL, roll, tank membrane, stainless steel, DNV, stress.*

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
LAMPIRAN	xv
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB 2	5
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	5
2.2.1 Pengertian Sloshing	5
2.2.2 Analisa Sloshing	7

2.2.3 Sloshing Response.....	8
2.2.4 Gerakan Struktur Bangunan Apung Akibat Eksitasi Gelombang .	9
2.2.4.1 Heaving	9
2.2.4.2 Pitching	11
2.2.4.3 Rolling.....	12
2.2.4.4 Yawing.....	13
2.2.4.5 Swaying.....	13
2.2.4.6 Surging	14
2.2.5 Analisa Dimensi	14
2.2.6 Mark III LNG Cargo Containment Sistem.....	15
2.2.7 Free Surface Shape	16
2.2.8 Viscosity.....	16
2.2.9 Compressibility.....	16
2.2.10 Surface Tension	17
2.2.11 Analisa Tegangan Membran.....	17
2.2.12 Membran Pada Tangki LNG	17
2.2.13 Analisa dari Ship Motion.....	19
2.2.14 Gas Alam	21
2.2.15 Data Kapal	23
2.2.16 Dimensi Tangki LNG	24
BAB 3	27
METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Skema Diagram Alir.....	27

3.2 Penjelasan Diagram Alir.....	30
3.2.1 Studi Literatur.....	30
3.2.2 Pengumpulan Data.....	30
3.2.3 Pemodelan Struktur Menggunakan Software MAXSURF.....	30
3.2.4 Validasi model Software MAXSURF.....	30
3.2.5 Analisa Gerakan dengan Software ANSYS AQWA.....	30
3.2.6 Perhitungan Percepatan Saat Terjadinya Sloshing	31
3.2.7 Simulasi Sloshing Menggunakan Software ANSYS CFX.....	31
3.2.8 Perhitungan Jumlah Strees pada Tangki.....	31
3.2.9 Pemodelan Struktur Tangki Mark III	31
3.2.10 Analisa Tegangan Pada Membran Tangki	32
3.2.11 Kesimpulan.....	32
BAB 4	33
ANALISA DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Pemodelan Struktur.....	33
4.1.1 Pemodelan FSU	33
4.1.1.1 Data Tebal Pelat	36
4.1.1.2 Data Beban Pelat.....	37
4.1.1.3 Data Girder/ Lunas.....	38
4.1.1.4 Data Sebaran Beban.....	39
4.1.2 Hidrostatik	42
4.2 Analisa Gerakan FSU.....	44
4.2.1 Response Amplitudo Operator (RAO)	46

4.2.1.1 Surge	48
4.2.1.2 Sway	49
4.2.1.3 Heave	50
4.2.1.4 Roll	51
4.2.1.5 Pitch	52
4.2.1.6 Yaw	53
4.2.2 Response Amplitudo Operator (RAO) FSU dengan Kondisi Tertambat (Moored)	54
4.3.2.1 Heading 45° 90% Load Condition	55
4.3.2.2 Heading 90° 90% Load Condition	57
4.3.2.3 Heading 135° 90% Load Condition	59
4.3.2.4 Heading 45° 80% Load Condition	61
4.3.2.5 Heading 90° 80% Load Condition	63
4.3.2.6 Heading 135° 80% Load Condition	65
4.3.2.7 Heading 45° 70% Load Condition	67
4.3.2.8 Heading 90° 70% Load Condition	69
4.3.2.9 Heading 135° 70% Load Condition	71
4.4 Perhitungan Sloshing dengan RAO Tertambat	72
4.5 Simulasi Sloshing	77
4.5.1 Surge	81
4.5.2 Sway	82
4.5.3 Heave	84
4.5.4 Roll	85
4.5.5 Pitch	86

4.5.6 Yaw.....	88
4.6 Analisa Tekanan Pada Tangki LNG	90
4.7 Konstruksi Tangki untuk Mark III.....	91
4.8 Analisa Tegangan Pada Membran Mark III.....	96
BAB 5	99
KESIMPULAN DAN SARAN	99
5.1 Kesimpulan	99
5.2 Saran	100
BAB 6	101
DAFTAR PUSTAKA	101
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter yang digunakan dalam analisa <i>sloshing</i> di LNG <i>carriers tank</i>	14
Tabel 2.2 Komponen dalam LNG	21
Tabel 2.3 Berat Jenis Komponen gas alam pada NTP dan STP	22
Tabel 2.4 Data FSU	23
Tabel 4.1 <i>Principle Dimension</i> dari FSU	33
Tabel 4.2 Tebal Pelat FSU	36
Tabel 4.3 Jumlah Beban yang terdistribusi di tiap <i>station</i>	37
Tabel 4.4 Tabel Girder	38
Tabel 4.5 Distribusi Beban.....	40
Tabel 4.6 Validasi data hidrostatis FSU pada 90% <i>load condition</i>	43
Tabel 4.7 Validasi data hidrostatis FSU pada 80% <i>load condition</i>	43
Tabel 4.8 Validasi data hidrostatis FSU pada 70% <i>load condition</i>	44
Tabel 4.9 Data titik berat dan radius gyration dapa FSU	44
Tabel 4.10 Data Lingkungan.....	45
Tabel 4.11 Hasil Simulasi <i>Free floating</i>	48
Tabel 4.12 Hasil Simulasi <i>sway free floating</i>	49
Tabel 4.13 Hasil Simulasi <i>heave free floating</i>	50
Tabel 4.14 Hasil Simulasi <i>roll free floating</i>	51
Tabel 4.15 Hasil Simulasi <i>pitch free floating</i>	52
Tabel 4.16 Hasil Simulasi <i>yaw free floating</i>	53
Tabel 4.17 Hasil perhitungan RAO pada saat 45° dengan 90% <i>Load condition</i>	55
Tabel 4.18 Hasil perhitungan RAO pada saat 90° dengan 90% <i>Load condition</i>	57
Tabel 4.19 Hasil perhitungan RAO pada saat 135° dengan 90% <i>Load condition</i>	59
Tabel 4.20 Hasil perhitungan RAO pada saat 45° dengan 80% <i>Load condition</i>	61
Tabel 4.21 Hasil perhitungan RAO pada saat 90° dengan 80% <i>Load condition</i>	63
Tabel 4.22 Hasil perhitungan RAO pada saat 135° dengan 80% <i>Load condition</i>	65
Tabel 4.23 Hasil perhitungan RAO pada saat 135° dengan 80% <i>Load condition</i>	67
Tabel 4.24 Hasil perhitungan RAO pada saat 90° dengan 70% <i>Load condition</i>	69

Tabel 4.25 Hasil perhitungan RAO pada saat 135° dengan <i>70% Load condition</i>	71
Tabel 4.26 Nilai Maksimum RAO FSU pada saat kondisi <i>moored</i>	74
Tabel 4.27 Tabel amplitudo gelombang pada RAO tertambat	75
Tabel 4.28 Tabel sudut pada tangki <i>sloshing</i>	76
Tabel 4.29 Tabel nilai <i>cartesian coordinate</i>	77
Tabel 4.30 <i>Material Properties</i> LNG	78
Tabel 4.31 <i>Material Properties Vapour</i>	78
Tabel 4.32 <i>Time Step Sloshing</i> pada LNG Tank	80
Tabel 4.33 Tabel <i>tank pressure</i> pada saat gerakan surge	81
Tabel 4.34 <i>Tank Pressure</i> pada saat gerakan heave	82
Tabel 4.35 <i>Tank Pressure</i> pada saat gerakan heave	84
Tabel 4.36 <i>Tank Pressure</i> pada saat gerakan roll	85
Tabel 4.37 <i>Tank Pressure</i> pada saat gerakan pitch	86
Tabel 4.38 <i>Tank Pressure</i> pada saat gerakan yaw	88
Tabel 4.39 Tekanan tertinggi pada setiap gerakan FSU	89
Tabel 4.40 Tekanan pada Tangki LNG saat <i>sloshing</i>	91
Tabel 4.41 <i>Material properties</i> dari <i>Stainless Steel</i>	94
Tabel 4.42 <i>Material Properties</i> dari <i>Teak Wood</i>	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Energy Horizon LNG carrier	2
Gambar 2.1 Ilustrasi <i>sloshing</i> pada tangki LNG	6
Gambar 2.2 Estimasi periode resonansi <i>sloshing</i> dari tangki membran LNG	7
Gambar 2.3 Klasifikasi <i>sloshing</i> yang berbeda dan dampak dari struktur yang terkena <i>sloshing</i>	8
Gambar 2.4 Ilustrasi gerakan <i>heaving</i>	10
Gambar 2.5 Ilustrasi gerakan <i>pitching</i>	11
Gambar 2.6 Ilustrasi gerakan <i>rolling</i>	12
Gambar 2.7 Ilustrasi gerakan <i>yawing</i>	13
Gambar 2.8 Ilustrasi gerakan <i>swaying</i>	13
Gambar 2.9 Ilustrasi gerakan <i>yawing</i>	14
Gambar 2.10 Detail membran dari Mark III	15
Gambar 2.11 Membran yang sudah dilapisi <i>stainless steel</i>	16
Gambar 2.12 Membran yang sudah dilapisi <i>stainless steel</i>	18
Gambar 2.13 Beberapa Lapisan dalam tangki LNG menurut aturan GT No 96 dan Mark III	18
Gambar 2.14 FSU XXX	24
Gambar 2.15 Acuan Dimensi ukuran dalam tangki LNG	24
Gambar 2.16 Dimensi tangki FSU (a) melintang; (b) memanjang	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)	28
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)	29
Gambar 4.1 Hasil Pemodelan FSU pada Maxsurf tampak <i>Isometric</i>	34
Gambar 4.2 Hasil Pemodelan FSU pada Maxsurf tampak samping	34
Gambar 4.3 Hasil Pemodelan FSU pada Maxsurf tampak atas	35
Gambar 4.4 Hasil Pemodelan FSU pada Maxsurf tampak depan	35
Gambar 4.5 Grafik distribusi beban	41
Gambar 4.6 Pemodelan akhir Kapal Menggunakan Maxsurf	42
Gambar 4.7 Model FSU pada ANSYS AQWA	46
Gambar 4.8 Skenario Pembebanan dan muatan pada FSU	47

Gambar 4.9 Grafik surge pada saat kondisi <i>free floating</i>	48
Gambar 4.10 Grafik sway pada saat kondisi <i>free floating</i>	49
Gambar 4.11 Grafik heave pada saat kondisi <i>free floating</i>	50
Gambar 4.12 Grafik roll pada saat kondisi <i>free floating</i>	51
Gambar 4.13 Grafik roll pada saat kondisi <i>free floating</i>	52
Gambar 4.14 Grafik yaw pada saat kondisi <i>free floating</i>	53
Gambar 4.15 Pemodelan FSU tertambat	54
Gambar 4.16 Kondisi pembebanan arah 45° dengan 90% <i>load condition</i>	55
Gambar 4.17 Grafik Perhitungan RAO pada saat heading 45° dengan 90% <i>Load condition</i>	56
Gambar 4.18 Kondisi pembebanan arah 90° dengan 90% <i>load condition</i>	57
Gambar 4.19 Grafik Perhitungan RAO pada saat 90° dengan 90% <i>Load condition</i>	58
Gambar 4.20 Kondisi pembebanan arah 135° dengan 90% <i>load condition</i>	59
Gambar 4.21 Grafik Perhitungan RAO pada saat 135° dengan 90% <i>Load condition</i>	60
Gambar 4.22 Kondisi pembebanan arah 45° dengan 80% <i>load condition</i>	61
Gambar 4.23 Grafik Perhitungan RAO pada saat 45° dengan 80% <i>Load condition</i>	62
Gambar 4.24 Kondisi pembebanan arah 90° dengan 80% <i>load condition</i>	63
Gambar 4.25 Grafik Perhitungan RAO pada saat 90° dengan 80% <i>Load condition</i>	64
Gambar 4.26 Kondisi pembebanan arah 135° dengan 80% <i>load condition</i>	65
Gambar 4.27 Grafik Perhitungan RAO pada saat 135° dengan 80% <i>Load condition</i>	66
Gambar 4.28 Kondisi pembebanan arah 45° dengan 70% <i>load condition</i>	67
Gambar 4.29 Grafik Perhitungan RAO pada saat 45° dengan 70% <i>Load condition</i>	68
Gambar 4.30 Kondisi pembebanan arah 90° dengan 70% <i>load condition</i>	69
Gambar 4.31 Grafik Perhitungan RAO pada saat 90° dengan 70% <i>Load condition</i>	70
Gambar 4.32 Kondisi pembebanan arah 135° dengan 70% <i>load condition</i>	71

Gambar 4.33 Grafik Perhitungan RAO pada saat 135° dengan 70% <i>Load condition</i>	72
Gambar 4.34 Hubungan antara <i>sloshing</i> dengan ship motion (Lee, 2008)	73
Gambar 4.35 Ilustrasi amplitudo gelombang laut dan gelombang <i>sloshing</i> pada kapal.....	73
Gambar 4.36 Ilustrasi sudut yang terjadi pada <i>sloshing</i>	76
Gambar 4.37 Pemodelan <i>sloshing</i> kondisi melintang	79
Gambar 4.38 Pemodelan <i>sloshing</i> pada kondisi memanjang	79
Gambar 4.39 Time Step <i>sloshing</i>	80
Gambar 4.40 Grafik <i>tank pressure</i> pada gerakan surge	81
Gambar 4.41 Grafik <i>tank pressure</i> pada gerakan sway.....	83
Gambar 4.42 Grafik <i>tank pressure</i> pada gerakan heave.....	84
Gambar 4.43 Grafik <i>tank pressure</i> pada gerakan roll	85
Gambar 4.44 Grafik <i>tank pressure</i> pada gerakan pitch.....	87
Gambar 4.45 Grafik <i>tank pressure</i> pada gerakan yaw	88
Gambar 4.46 Hasil Pemodelan Tangki Mark III menggunakan AUTOCAD 3D – Isometri	92
Gambar 4.47 Hasil Pemodelan Tangki Mark III menggunakan AUTOCAD 3D – Depan	93
Gambar 4.48 Hasil Pemodelan Tangki Mark III menggunakan AUTOCAD 3D – Samping	93
Gambar 4.49 Material Properties untuk pemodelan struktur tangki Mark III	96
Gambar 4.50 Elastic Support pada Tangki Mark III	96
Gambar 4.51 Fixed Support pada Tangki Mark III.....	97
Gambar 4.52 Hasil simulasi Von Misses pada struktur Tangki Mark III	98

LAMPIRAN

LAMPIRAN A	<i>CONSTRUCTION PROFILE FSU</i>
LAMPIRAN B	<i>RAO FSU TERTAMBAT</i>
LAMPIRAN C	<i>PREVIEW SIMULASI SLOSHING MELINTANG DAN MEMANJANG</i>
LAMPIRAN D	<i>OUTPUT TEGANGAN SLOSHING MENGUNAKAN ANSYS CFX</i>
LAMPIRAN D	<i>DETAIL UKURAN TANGKI MARK III</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Liquefied Natural Gas atau yang biasa disingkat LNG sudah ditemukan semenjak tahun 1870-an. LNG pertama kali ditemukan oleh seorang *engineer* Jerman bernama Carl von Linde's. Pada saat itu masih belum ada ilmuwan yang dapat “mencairkan”, tetapi masih dalam bentuk gas. Carl pertama kali memanfaatkan pemisahan oksigen sebagai bahan baku pengelasan gedung pencakar langit. Ilmuwan lainnya mengikuti langkahnya untuk memisahkan *ethane* untuk bahan baku plastik, *chlorine* untuk sanitasi, oksigen untuk kesehatan, dan nitrogen untuk *cryosurgery* dan untuk mengisolasi suatu komponen tertentu. Pada tahun 1908, fisikawan Belanda, Heike Kamerlingh Onnes berhasil “mencairkan” helium sampai dalam keadaan sangat dingin yaitu minus 452 derajat celcius. Pada keadaan ini helium berubah bentuk dari gas menjadi cair. Dari sinilah studi untuk mencairkan LNG dimulai. Mengacu pada penelitian Onnes, banyak ilmuwan yang mengolah LNG agar dengan mudah dimanfaatkan dan di distribusikan. Pada tahun 1924, Amerika Serikat dapat memproduksi pertama kali *liquid methane*. Barulah pada tahun 1941 para ilmuwan dan para pemerintah menggunakan LNG untuk kebutuhan komersial. (Bill White, 2012)

Seiring berkembangnya zaman, banyak perusahaan minyak dunia yang mengembangkan pencarian sumber daya minyak nya ke laut lepas. Hal ini mengakibatkan transportasi minyak dan gas alam mengalami pembaharuan. Yang dulunya hanya menggunakan pipa yang dialirkan ke darat, berubah menjadi kapal tanker yang mengangkut minyak dan gas alam. FLNG (*Floating Liquefied Natural Gas*) yang bertugas untuk mengolah dan mengangkut gas alam yang sudah di bentuknya menjadi cair pertama kali beroperasi pada tahun 2014 di Australia (Rahman, 2013). Sebelum FLNG, pemrosesan dilakukan di FPSO (*Floating Production Storage Offloading*) yang tidak hanya bertugas memisahkan minyak

bumi dan gas alam tetapi mengubahnya juga kedalam bentuk cairan. Lalu setelah proses selesai dipindahkan ke LNG carrier.

LNG carrier dalam perkembangannya banyak berubah. Mulai dari berbentuk bola berongga untuk wadah LNG sampai berbentuk *hexagonal*. Contohnya saja LNG carrier “Energy Horizon” yang dimiliki oleh Tokyo LNG Tanker Co., Ltd. adalah salah satu LNG carrier terbesar dalam hal kapasitas angkutnya. Tanker ini dapat menampung 177.000 m³ atau setara dengan 80.500 ton LNG (Kazumasai Hidai, 2011)



Gambar 1.1 Energy Horizon LNG carrier
(Sumber: Tokyo Gas Co. Magazine)

Dalam perkembangannya, proses *onloading* dan *offloading* dari tanker tersebut mengalami banyak sekali gangguan dari luar. Contohnya saja pada saat kapal melakukan gerakan *pitching*, *rolling* dan *heaving*. Hal ini menyebabkan LNG yang ada dalam tangki penyimpanan mengalami *sloshing* dan tegangan dalam tangki dapat naik dan membuat membran tangki dapat rusak dan bocor. Dalam perencanaannya sudah dipasang lapisan yang melindungi membran dari tegangan yang berlebihan. Dalam akhir penelitian diharapkan mendapat besar tegangan yang diperbolehkan agar tidak merusak membran yang ada di dalam tangki.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dikaji dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Berapakah tegangan terbesar yang terjadi di dalam tangki LNG saat terjadi *sloshing* dengan kondisi 90%, 80%, dan 70% dari kondisi penuh?
2. Berapakah tegangan yang terjadi pada membran tangki?
3. Apakah membran kuat untuk menahan tegangan pada saat terjadi *sloshing*?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian tugas akhir adalah:

1. Mengetahui tegangan terbesar yang terjadi di dalam tangki LNG saat terjadi *sloshing* kondisi 90%, 80%, dan 70% dari kondisi penuh
2. Mengetahui tegangan yang terjadi pada membran tangki
3. Mengetahui kuat tidaknya membran untuk menahan tegangan pada tangki saat terjadi *sloshing*

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Dapat mengetahui tegangan terbesar yang terjadi di dalam tangki LNG saat terjadi *sloshing* dengan kondisi 90%, 80%, dan 70% dari kondisi penuh
2. Dapat mengetahui tegangan yang terjadi pada membran tangki
3. Dapat mengetahui kuat tidaknya membran untuk menahan tegangan pada saat terjadi *sloshing*

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. LNG *carrier* yang digunakan untuk penelitian adalah FSU
2. LNG *carrier* dalam kondisi operasi
3. Pemodelan menggunakan software *MAXSURF* dan *ANSYS*
4. *Pump Tower* diabaikan
5. Analisa dilakukan pada nilai amplitudo tertinggi dari 6 *Degree of Freedom*
6. Pada pemodelan struktur tangki Mark III dimodelkan setengah bagian. Setengah bagian lainnya diasumsikan mendapat tegangan yang sama
7. Analisa tegangan yang diinputkan pada ANSYS adalah analisa tegangan Von-Misses

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Bentuk dari tangki LNG dalam LNG *carrier* sangat bermacam macam, diantaranya berbentuk bola berongga tanpa sekat, *hexagonal* bersekat, dan masih banyak lagi. Dari banyak tipe tangki LNG tersebut bahaya *sloshing* berlebihan masih menjadi permasalahan pada saat *onloading* maupun *offloading*. Penelitian oleh Ashar (2013) menyebutkan bahwa *sloshing* dapat diminimalisasi dengan menambahkan *baffle* atau sekat di dalam tangki agar mengurangi *sloshing*.

Beberapa studi juga dilakukan untuk menganalisa *sloshing* seperti yang dilakukan beberapa ahli, yaitu Aziz (2002), Bunnik, (2007), Bernhard (2009), Wei, dkk (2014), dan Alain (1999) serta Lee.S.J, *et al* (2005). Salah satu yang menjadi perhatian dalam penelitaian para ahli diatas adalah analisa *sloshing* pada akurasi prediksi beban implus pada struktur internal. Selama terjadi *sloshing* hebat, pengaruh *sloshing* berupa beban *impact* dapat menyebabkan kerusakan pada struktur tangki.

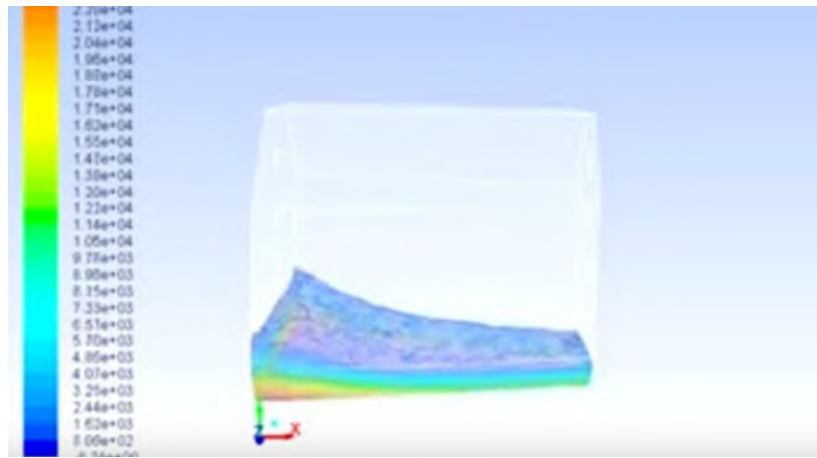
Tetapi banyak juga peneliti lain yang menitik beratkan penelitiannya pada respon dari *sloshing* terhadap gerakan kapal. Seperti yang dilakukan oleh Gavory (2011) yang menyebutkan bahwa *sloshing* yang berlebihan akan menyebabkan bertambahnya periode kemiringan kapal dan dapat membuat kapal tersebut terbalik.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengertian *Sloshing*

Sloshing dalam Bahasa Inggris diartikan mengaduk-aduk. Dalam hal hidrodinamika, *sloshing* adalah pergerakan fluida secara acak yang menyebabkan benda disekelilingnya menerima dampak dari gerakan tersebut. *Sloshing* juga dapat diartikan sebagai gerakan bebas dari fluida cair di dalam sebuah wadah Ashar (2013). Banyak penelitian yang membahas tentang *sloshing*. Dalam tangki LNG, fluida yang dimaksudkan adalah gas alam yang dimampatkan dan menjadi LNG.

Sloshing dapat terjadi ketika kapal tangker melakukan proses *onloading* maupun *offloading*.



Gambar 2.1 Ilustrasi *sloshing* pada tangki LNG

(Sumber: www.google.co.id)

Untuk mengetahui periode dari fluida yang bergerak dalam suatu wadah, dalam hal ini *sloshing*, maka berlaku rumus berikut ini:

$$T_{res} = 2 \sqrt{\pi \frac{B}{g} \frac{1}{\tanh\left(\frac{h}{B}\right)}} \quad (2.1)$$

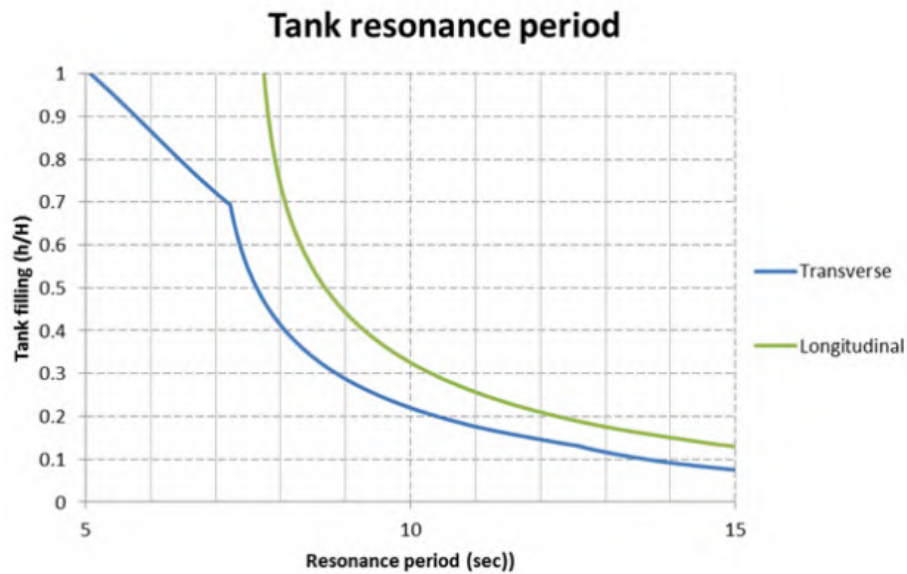
Keterangan:

H : Tinggi Tangki LNG (m)

B : panjang garis permukaan fluida (m)

g : gravitasi (m/s)

Formula diatas cocok untuk estimasi periode resonansi untuk gerakan longitudinal dan transversal dari cairan. Contohnya adalah pada gambar 2.2 dibawah ini:



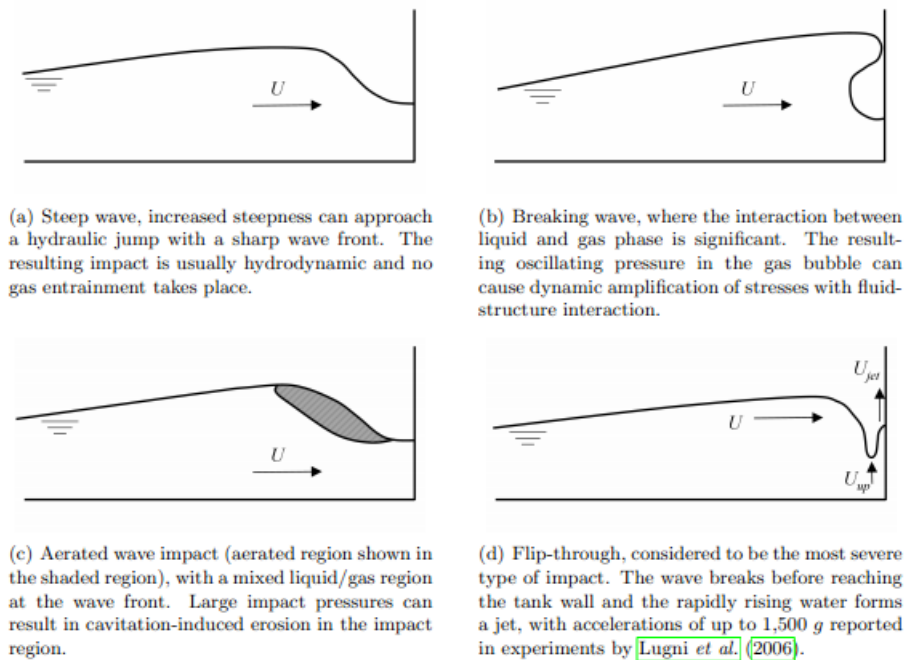
Gambar 2.2 Estimasi periode resonansi *sloshing* dari tangki membran LNG
(sumber: DNV)

2.2.2 Analisa *Sloshing*

Analisa *sloshing* berlaku jika ada selisih antara tinggi fluida dengan total tinggi dari wadahnya (Abramson *et al.* 1974). Perbedaan antara garis atas fluida dengan dasar tangki tersebut dengan rasio $h/L \leq 0.2$. *Sloshing* dibagi menjadi 3 tipe berdasarkan arah dari gerakan fluida

1. *Lateral Sloshing*, bagian penting dari *sloshing*. Bagian ini adalah penggabungan dari gerakan translasi dan angular dari tangki.
2. *Swirling*, atau rotasi dari *sloshing*. Adalah fenomena 3 dimensi dari *sloshing*. Kejadian ini bergantung pada bentuk dari tangki yang hasilnya adalah gerakan dari amplitudo dan frekuensi dari fluida tersebut.
3. *Vertical sloshing* dapat dihasilkan dari gelombang tunggal. Tetapi tidak untuk tangki LNG, sedangkan *vertical sloshing* dapat meningkatkan beban *lateral* dari *sloshing* tersebut.

Fluida akan bergerak mengisi wadah dan menimbulkan gelombang. Untuk menganalisa lebih mudahnya, perhatikan gambar 2.3 dibawah ini:



Gambar 2.3 Klasifikasi *sloshing* yang berbeda dan dampak dari struktur yang terkena *sloshing*
(sumber: Bernhard, 2009)

Analisa dampak dari fluida yang bergerak memiliki 2 skema klasifikasi *sloshing*. Dalam gambar diatas memiliki definisi yang baik dan hasil yang dapat diperhitungkan tanpa memasukkan fase gas dalam persamaan tersebut (Malencia *et.al*, 2009).

2.2.3 Sloshing Response

Sebuah model aliran linear potensial dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor dalam mempengaruhi respon *sloshing*. Hal ini dapat ditunjukkan bahwa kekuatan melintang dinamis karena *sloshing* yang disebabkan oleh gerakan translasional dari tangki adalah:

$$\frac{F}{\rho g h L b} = \ddot{x}(t) \frac{1}{g} \left[1 + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8 \tanh\left\{(2n+1)\pi \frac{h}{L}\right\}}{\pi^3 (2n+1)^3 \frac{L}{L}} \frac{1}{\left(\frac{\omega n}{\omega}\right)^2 - 1} \right] \quad (2.2)$$

Keterangan:

b: Lebar Tangki

g: Gravitasi

h : Tinggi fluida dalam tangki

L : Panjang Tangki

ρ : Massa Jenis Fluida

ω : Frekuensi *sloshing*

ω_n : Frekuensi natural dari *sloshing*

$\ddot{x}(t)$: akselerasi yang diaplikasikan ke dalam tangki LNG

n : 1,2,3....

Dari rumus 2.2, dapat dibedakan untuk bagian $\ddot{x}(t)$ adalah untuk akselerasi tangki, $\frac{8 \tanh\left\{(2n+1)\pi\frac{h}{L}\right\}}{\pi^3(2n+1)^3\frac{h}{L}}$ adalah untuk *tank geometri* dan *filling level*. Serta $\frac{1}{\left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)^2 - 1}$ adalah frekuensi *sloshing*.

Untuk frekuensi natural dari *sloshing*, menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\omega_n^2 = gk \tanh(kh), \quad (2.3)$$

Dimana

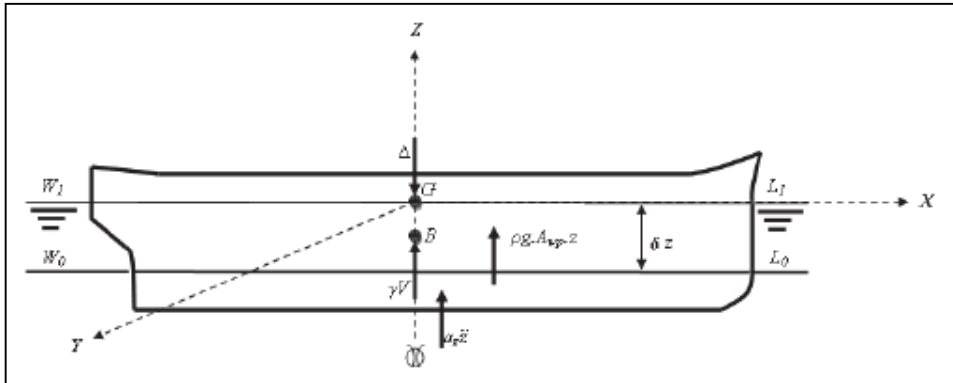
$$k^2 = \pi^2 \frac{n^2}{L^2} \quad (2.4)$$

2.2.4 Gerakan Struktur Bangunan Apung Akibat Eksitasi Gelombang

Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai 6 mode gerakan bebas (*Six Degree Of Freedom*) yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional yaitu *surge*, *sway* dan *heave* serta 3 mode gerakan rotasional yaitu *roll*, *pitch* dan *yaw*, dimana enam mode gerakan tersebut adalah:

2.2.4.1 Heaving

Heaving adalah gerakan osilasi translasi pada arah sumbu vertikal (sumbu z), dimana heaving adalah salah satu gerakan kapal pada permukaan perairan gelombang regular, dimana gerakan-gerakannya tersebut disebabkan oleh adanya gaya luar yang bekerja pada badan kapal yang tidak lain adalah gaya gelombang (Murtedjo, 1990).



Gambar 2.4 Ilustrasi gerakan heaving

(sumber: Murtedjo, 1999)

dengan:

Δ : displasmen struktur terapung (ton)

G : titik tangkip gaya berat (m)

B : titik tangkip gaya angkat ke atas (m)

γV : gaya angkat ke atas

W_0L_0 : garis air keadaan awal

W_1L_1 : garis air keadaan *heave*

$a_z Z$: tambahan gaya angkat ke atas karena massa tambah

Δz : besar jarak simpangan *heave* (m)

Dimana persamaan gelombang reguler dapat ditulis sebagai berikut:

$$\zeta = \zeta_a \cos(kx - \omega_e t) \quad (2.5)$$

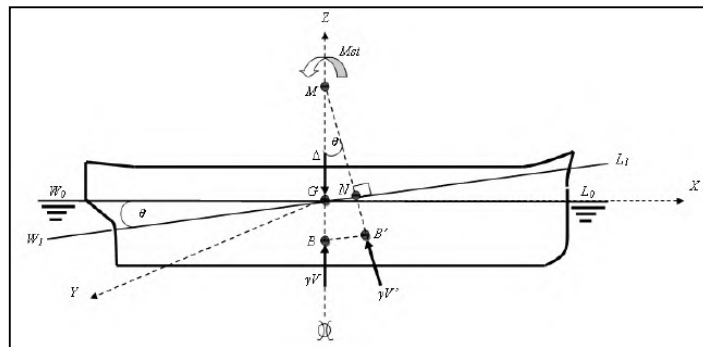
Secara umum persamaan gerakan heaving suatu kapal pada gelombang reguler adalah:

$$a\ddot{Z} + b\dot{Z} + cZ = F_0 \cos(\omega_e t) \quad (2.6)$$

Penyelesaian persamaan umum di atas adalah:

$$Z(t) = Z_h(t) + Z_p(t) \quad (2.7)$$

2.2.4.2 Pitching



Gambar 2.5 Ilustrasi gerakan *pitching*

(sumber: Murtedjo, 1999)

dengan:

- Δ : displasmen struktur terapung (ton)
- G : titik tangkip gaya berat (titik berat)
- B : titik tangkip gaya angkat ke atas kondisi awal
- B' : titik tangkip gaya angkat ke atas kondisi *pitching*
- γV : gaya angkat ke atas kondisi awal
- $\gamma V'$: gaya angkat ke atas saat *pitching*
- W_0L_0 : garis air keadaan awal
- W_1L_1 : garis air keadaan *pitching*
- θ : sudut *pitching*
- M : titik metacenter
- M_{st} : momen stabilitas

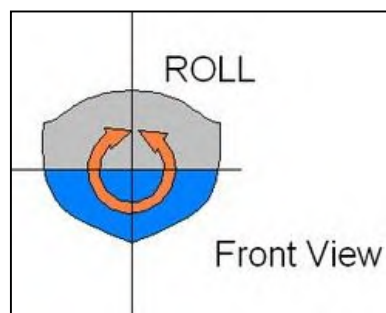
Pitching merupakan gerakan osilasi rotasional pada arah sumbu melintang (sumbu y), dimana gerakan rotasional pada gerakan *pitching* mengakibatkan beberapa momen, yaitu:

1. Momen Inersia
2. Momen Redaman
3. Momen Pengembali
4. Momen Eksitasi

Dimana persamaan umum dari gerakan *pitching* pada gelombang reguler adalah sebagai berikut:

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_0 \cos(\omega_e t) \quad (2.8)$$

2.2.4.3 Rolling



Gambar 2.6 Ilustrasi gerakan *rolling*

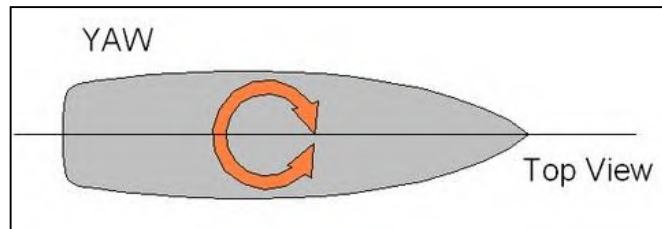
(*sumber:* wikipedia.org)

Rolling merupakan gerakan osilasi rotasional terhadap sumbu longitudinal (sumbu x), dimana persamaan umum dari gerakan *rolling* kapal pada gelombang reguler dapat di tulis sebagai berikut :

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_0 \cos(\omega_e t) \quad (2.9)$$

2.2.4.4 Yawing

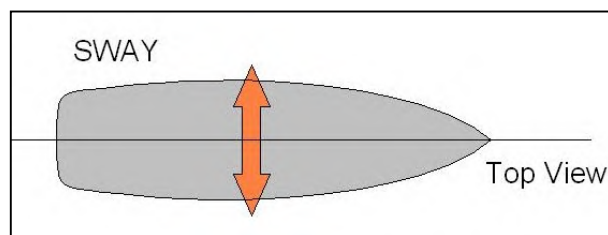
Yawing merupakan gerakan rotasional pada kapal dimana arah pergerakan dari gerakan rotasional ini mengacu pada sumbu utama yaitu sumbu vertikal (sumbu z).



Gambar 2.7 Ilustrasi gerakan yawing

(sumber: wikipedia.org)

2.2.4.5 Swaying

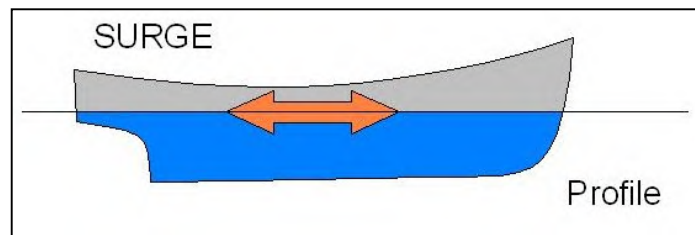


Gambar 2.8 Ilustrasi gerakan swaying

(sumber: wikipedia.org)

Swaying merupakan gerakan osilasi pada kapal dimana arah pergerakan dari gerakan rotasional ini mengacu pada sumbu utama yaitu sumbu melintang (sumbu y).

2.2.4.6 Surging



Gambar 2.9 Ilustrasi gerakan yawing

(sumber: wikipedia.org)

Surging merupakan gerakan osilasi pada kapal dimana arah pergerakan dari gerakan translasional ini mengacu pada sumbu utama yaitu sumbu longitudinal (sumbu x).

2.2.5 Analisa Dimensi

Parameter yang digunakan pada tabel 2.1 dibawah ini mengacu pada aturan DNV *Full Scale Measurement of Sloshing in LNG Tanks*.

Tabel 2.1 Parameter yang digunakan dalam analisa *sloshing* di LNG carriers tank

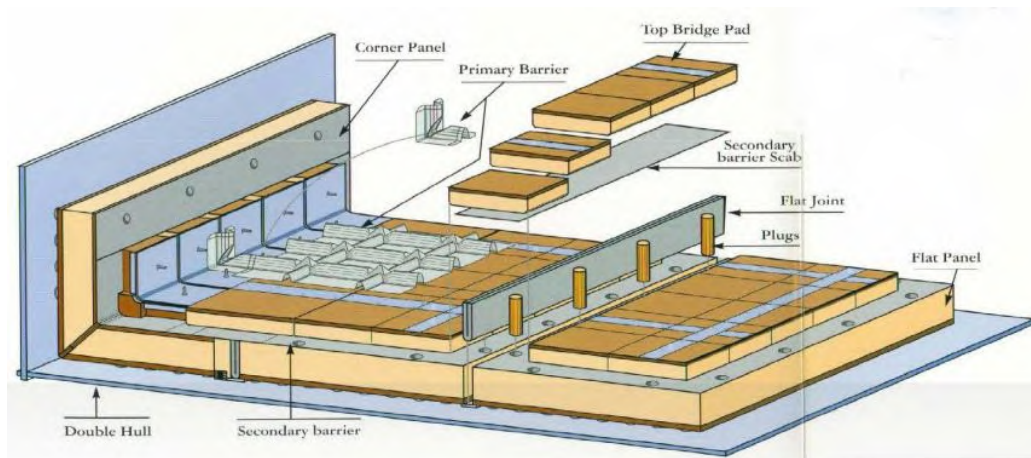
(sumber: DNV, 2011)

Simbol	Keterangan
P	Tegangan yang ada didalam Tangki
g	Gravitasi
L	Panjang Tangki
h	Tinggi fluida didalam tangki
L_i	Dimensi lain dari tangki
x_0	Amplitudo eksitasi
T	Periode eksitasi
μ	Viskositas
ρ	Massa jenis
σ	Tegangan Permukaan
c	Kecepatan suara

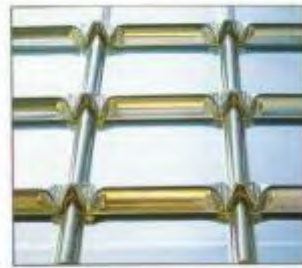
E	Modulus Elastisitas didalam tangki
ΔP	Perbedaan antara tegangan <i>free surface</i> dengan <i>vapour surface</i>

2.2.6 Mark III LNG Cargo Containment System

Pada penelitian ini, penulis menggunakan tipe Mark III untuk jenis tangki yang akan dianalisa. Mark III dikembangkan pertama kali pada tahun 1977 pada Tanker milik Amerika dan Jerman. Jenis ini adalah pengembangan dari generasi sebelumnya yaitu Mark II. Jenis Mark III ini mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan Mark II diantaranya adalah bagian dalamnya sudah dilapisi dengan *stainless steel* berkontur yang bertujuan untuk meredam getaran yang terjadi pada LNG. Dan juga ada *secondary barrier* yang melapisi *first barrier* yang bertujuan untuk menguatkan jika ada tekanan berlebihan pada tangki. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada 2.10 - 2.11 gambar dibawah ini.



Gambar 2.10 Detail membran dari Mark III



TGZ Corrugated membrane

Gambar 2.11 Membran yang sudah dilapisi stainless steel

2.2.7 Free Surface Shape

Dalam pemodelan *sloshing*, untuk *free surface shape* dan persamaan geometri, memakai *Froud Number*

$$Fn = \frac{U}{\sqrt{gL}} \quad (2.10)$$

Dengan U adalah karakteristik dari kecepatan fluida tersebut.

2.2.8 Viscosity

Persamaan viskositas memakai *Reynold Number* dan rumusnya adalah sebagai berikut:

$$Re = \frac{LU}{\nu} \quad (2.11)$$

Dengan ν adalah *kinetic viscosity* dan U adalah *character velocity*.

2.2.9 Compressibility

Kompresibilitas didapatkan dengan menghitung *Cauchy Number* dengan rumus:

$$Ca = \frac{\rho U^2}{E} \quad (2.12)$$

Dengan E diberikan rumus:

$$E = \rho c^2 \quad (2.13)$$

2.2.10 Surface Tension

Dalam penelitian ini, untuk mengetahui tegangan permukaan menggunakan *Bond Number* yang membandingkan *gravitational* dan gaya tegangan permukaan.

$$Bo = \frac{\rho g L^2}{\sigma} \quad (2.14)$$

Dengan σ adalah *surface tension*, *Bound Number* diberikan 10^8 untuk perhitungan sebenarnya (tanpa pemodelan).

2.2.11 Analisa Tegangan Membran

Analisa ini ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu *vapour pressure*, dan *dynamic sloshing pressure* serta material dari membran LNG tank. Untuk tegangan yang diterima oleh membran, tidak boleh melebihi tegangan yang diijinkan. Tegangan yang diterima oleh membran adalah jumlah tegangan yang diakibatkan oleh *sloshing* dan tegangan dari LNG.

$$\sigma_{vapour} + \sigma_{sloshing} \leq \sigma_{allowable} \quad (2.15)$$

dengan

$\sigma_{allowable}$ = tegangan yang diperbolehkan

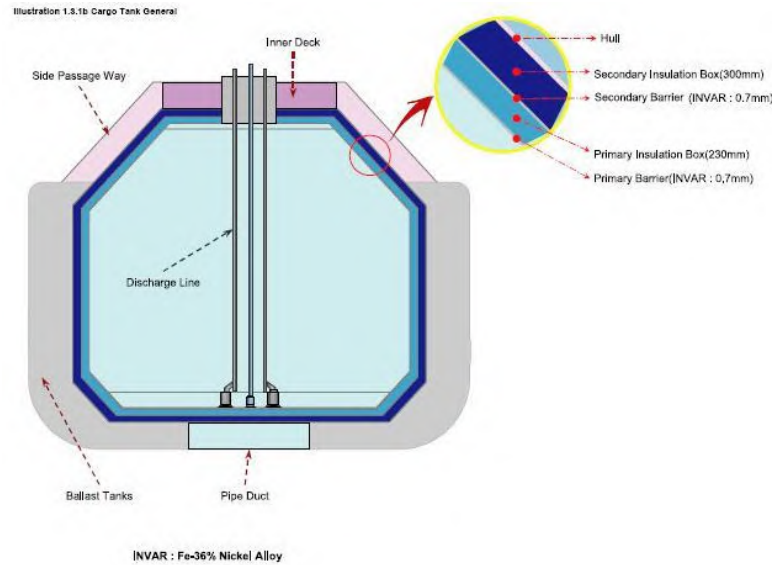
σ_{vapour} = tegangan uap dari LNG

$\sigma_{sloshing}$ = tegangan yang diakibatkan oleh *sloshing*

Untuk σ_{vapour} , menggunakan $\frac{M_{vapour}}{Z}$ dimana M_{vapour} adalah *bending moment* yang diakibatkan oleh tegangan uap dari LNG. Dan Z adalah *section modulus* dari tangki LNG.

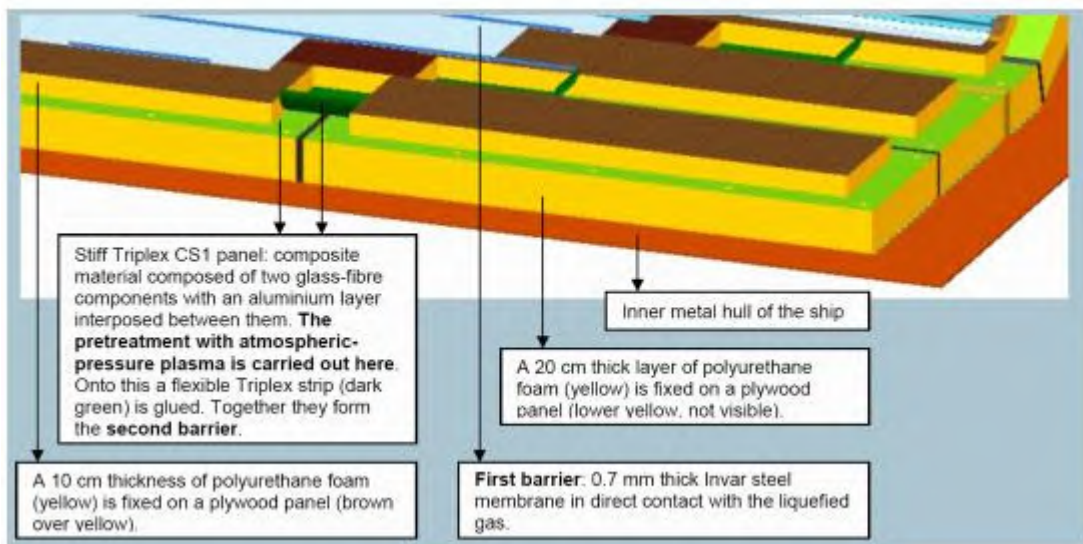
2.2.12 Membran Pada Tangki LNG

Membran yang digunakan diasumsikan sama seperti operator LNG dan LNG *floating production*. Jenis membran tangki LNG didefinisikan sesuai kode internasional untuk *International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases* dan peraturan DNV untuk klasifikasi kapal pengangkut LNG (Kim, 2006). Tangki LNG terdiri dari lapisan membran didukung dengan isolasi dari struktur lambung yang berdekatan dengan tangki.



Gambar 2.12 Membran yang sudah dilapisi stainless steel
(sumber: www.google.com)

Dalam penyusunan tangki membran, tidak hanya satu plat saja yang digunakan, tetapi banyak lapisan plat dikarenakan fluida dipakai adalah LNG atau fluida bertegangan tinggi.



Gambar 2.13 Beberapa Lapisan dalam tangki LNG menurut aturan GT No 96 dan Mark III

(sumber: Bernhard, 2009)

Untuk menghitung *fatigue capacity* dari membran tangki, menggunakan kurva S-N dikombinasikan dengan teori Miner-Palmgren, karakteristik dari *stress range* dan kurva distribusi *long term response*, didapatkan rumus:

$$D = \sum_i^0 \frac{n_i}{N_i} \quad (2.16)$$

Dengan:

D = *Fatigue Capacity*

n_i = Angka dari jumlah siklus beban dalam setiap interval tegangan

i = Jumlah interval tegangan

N_i = jumlah siklus kegagalan untuk rentang tegangan konstan interval

2.2.13 Analisa dari Ship Motion

Dalam aturan DNV, analisa pergerakan kapal dibutuhkanlah RAO (*Response Amplitudo Operators*). RAO dihitung dari gelombang regular dari unit jarak amplitudo dari frekuensi gelombang. Hal hal yang mempengaruhi pergerakan kapal adalah:

- **Kondisi Lingkungan**

- Spektrum Gelombang

Spektrum Gelombang dapat dihitung dari:

$$S(\omega, \theta) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \theta \cdot \frac{1.25 \omega_p^4 H_s^2 e^{-1.25(\frac{\omega_p}{\omega})^4}}{4 \omega^5} \quad (2.17)$$

Dengan

S = Energi Gelombang (m²-sec)

ω = Sudut frekuensi dai gelombang (rad/sec)

θ = Gelombang datang (rad)

ω_p = Frekuensi tertinggi (rad/sec)

H_s = Tinggi gelombang signifikan (m)

- **Analisis Gerak Spektrum dan Beban Gelombang**

Dalam analisa ini, harus dilakukan penghitungan COG (*Center of Gravity*) dari kapal yang bersangkutan. Setelah itu dilakukan analisa pada tangki-tangki LNG untuk mengetahui titik tengah dari tangki tersebut. Jika tidak ada data tersebut, maka dilakukanlah perhitungan:

$$r_{xx} = \begin{cases} 0.35B, & \text{Untuk kondisi Full Load} \\ 0,45B, & \text{Untuk kondisi Ballast} \end{cases}$$
$$r_{yy} = r_{zz} = 0.25L_{pp} \quad (2.18)$$

Dengan :

r_{xx} = radius *roll*

r_{yy} = radius *pitch*

r_{zz} = radius *yaw*

B = *Breadth* dari tanker

L_{pp} = *Length Between Perpendicular*

- **Perhitungan Amplitudo Kapal**

Untuk menghitung amplitudo, diperlukan data data amplitudo gelombang, panjang gelombang, serta frekuensi *encountering* dan frekuensi gelombang tersebut. Setelah perhitungan diatas didapatkan, maka nilai RAO dicari dengan memotongkan dua garis vertical dari nilai frekuensi pada grafik RAO. Setelah itu dicari amplitudo kapal dengan formula:

$$RAO = \zeta z^2 / \zeta w^2 \quad (2.19)$$

Dengan

ζz^2 = Amplitudo Kapal

ζw^2 = Amplitudo Gelombang

Dengan perhitungan diatas didapatkan nilai frekuensi *encountering* dan amplitudo kapal yang akan digunakan sebagai data input pada persamaan respon kapal akibat gelombang.

$$y(t) = \zeta z \cdot \cos(\omega e t)$$

(2.20)

Dari persamaan diatas didapatkan nilai yang akan dimasukkan kedalam *software* sebagai unit pembanding.

2.2.14 Gas Alam

Gas alam merupakan kelompok minyak bumi yang terjadi Gas alam merupakan kelompok minyak bumi yang terjadi (terbentuk) secara alami, campuran kompleks hidrokarbon dengan jumlah senyawa anorganik yang sedikit. Para ahli geologi dan ahli kimia mengatakan bahwa gas alam terbentuk dari sisa sisa kimia tumbuhan dan binatang yang berkumpul dengan sedimen bebatuan di dasar laut atau danau selama ribuan atau jutaan tahun. Komponen komponen yang membentuk gas alam tersebut adalah:

Tabel 2.2 Komponen dalam LNG
(sumber: Tomi Santoso, 2009)

Komponen	Bagian
Metana	0.8407
Etana	0.0586
Propana	0.0220
i-Butana	0.0035
n-Butana	0.0058
i-Pentana	0.0027
n-Pentana	0.0025
Hexana	0.0028
Heptana	0.0076
Karbon Dioksida	0.0130
Hidrogen Sulfida	0.0063
Nitrogen	0.0345
Total	1.0000

Persamaan Gas ideal adalah:

$$PV = nRT \quad (2.21)$$

Dengan

P = Tegangan yang terjadi

V = Volume

n = Jumlah mol

R = Konstanta Gas ideal

T = Temperatur

Selain komponen-komponen dalam LNG, ada juga beberapa unsur lain yang terkandung di dalamnya. Seperti tabel 2.3 berikut ini:

Tabel 2.3 Berat Jenis Komponen gas alam pada NTP dan STP

Gas	Formula	Molecular Weight	Density	
			(kg/m ³)	(lb/ft ³)
Acetylene (ethyne)	C ₂ H ₂	26	1,092 ¹⁾ 1,170 ²⁾	0,0682 ¹⁾ 0,0729 ²⁾
Air		29	1,205 ¹⁾ 1,293 ²⁾	0,0752 ¹⁾ 0,0806 ²⁾
Ammonia	NH ₃	17,031	0,717 ¹⁾ 0,769 ²⁾	0,0448 ¹⁾ 0,0480 ²⁾
Argon	Ar	39,948	1,661 ¹⁾	0,1037 ¹⁾
Benzene	C ₆ H ₆	78,11	3,486	0,20643
Blast Furnace Gas			1,250 ²⁾	0,0780 ²⁾
Butane	C ₄ H ₁₀	58,1	2,489 ¹⁾ 2,5 ²⁾	0,1554 ¹⁾ 0,156 ²⁾
Butylene (Butene)	C ₄ H ₈	56,11	2,504 ²⁾	0,148 ²⁾
Carbon Dioxide	CO ₂	44,01	1,842 ¹⁾ 1,977 ²⁾	0,1150 ¹⁾ 0,1234 ²⁾
Carbon Disulphide		76,13		
Carbon Monoxide	CO	28,01	1,165 ¹⁾ 1,250 ²⁾	0,0727 ¹⁾ 0,0780 ²⁾
Carburated Water Gas				0,048
Chlorine	Cl ₂	70,906	2,994 ¹⁾	0,1869 ¹⁾
Coke Oven Gas				0,034 ²⁾
Combustion Products			1,11 ²⁾	0,069 ²⁾
Cyclohexane		84,16		
Digester Gas				0,062
Ethane	C ₂ H ₆	30,07	1,264 ¹⁾	0,0789 ¹⁾
Ethyl Alcohol		46,07		
Ethyl Chloride		64,52		
Ethylene	C ₂ H ₄	28,03	1,260 ²⁾	0,0786 ²⁾
Helium	He	4,02	0,1664 ¹⁾	0,01030 ¹⁾
N-Heptane		100,20		
Hexane		86,17		
Hydrogen	H ₂	2,016	0,0899 ²⁾	0,0056 ²⁾
Hydrochloric Acid		36,47		
Hydrogen Chloride	HCl	36,5	1,528 ¹⁾	0,0954 ¹⁾
Hydrogen Sulfide	H ₂ S	34,076	1,434 ¹⁾	0,0895 ¹⁾
Methane	CH ₄	16,043	0,668 ¹⁾ 0,717 ²⁾	0,0417 ¹⁾ 0,0447 ²⁾
Methyl Alcohol		32,04		
Methyl Butane		72,15		
Methyl Chloride		50,49		
Natural Gas		19,5	0,7 – 0,9 ²⁾	0,044 – 0,056 ²⁾
Neon	Ne	20,179		0,052
Nitric Oxide	NO	30,0	1,249 ¹⁾	0,0780 ¹⁾

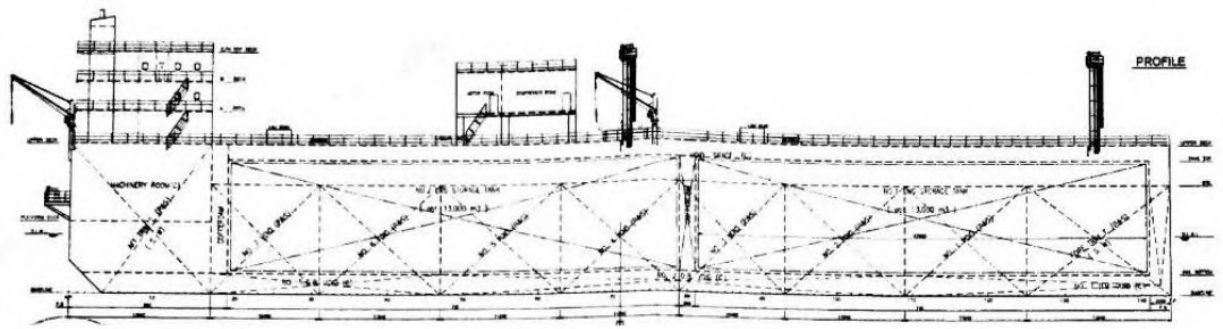
Nitrogen	N ₂	28,02	1,165 ¹⁾ 1,250 ²⁾	0,0727 ¹⁾ 0,0780 ²⁾
Nitrogen Dioxide	NO ₂	46,006		
N-Octane		114,22		
Nitrous Oxide	N ₂ O	44,013		0,114
Nitrous Trioxide	NO ₂	62,005		
Oxygen	O ₂	32	1,331 ¹⁾ 1,429 ²⁾	0,0831 ¹⁾ 0,0892 ²⁾
Ozone	O ₃	48		0,125
N-Pentane		72,15		
Iso-Pentane		72,15		
Propane	C ₃ H ₈	44,09	1,882 ¹⁾	0,1175 ¹⁾
Propene (Propylene)	C ₃ H ₆	42,1	1,748 ¹⁾	0,1091 ¹⁾
R-11		137,37		
R-12		120,92		
R-22		86,48		
R-114		170,93		
R-123		152,93		
R-134a		102,03		
Sasol				0,032
Sulfur	S	32,06		0,135
Sulfur Dioxide	SO ₂	64,06	2,279 ¹⁾ 2,926 ²⁾	0,1703 ¹⁾ 0,1828 ²⁾
Sulfur Trioxide	SO ₃	80,062		
Sulfur Oxide	SO	48,063		
Toluene	C ₇ H ₈	92,141	4,111 ²⁾	0,2435 ²⁾
Water Vapor	H ₂ O	18,016	0,804 ²⁾	0,048 ²⁾
Water Gas (Bituminous)				0,054 ²⁾

2.2.15 Data Kapal

Kapal yang digunakan adalah FSU dengan data pada tabel 2.4 sebagai berikut:

Tabel 2.4 Data FSU

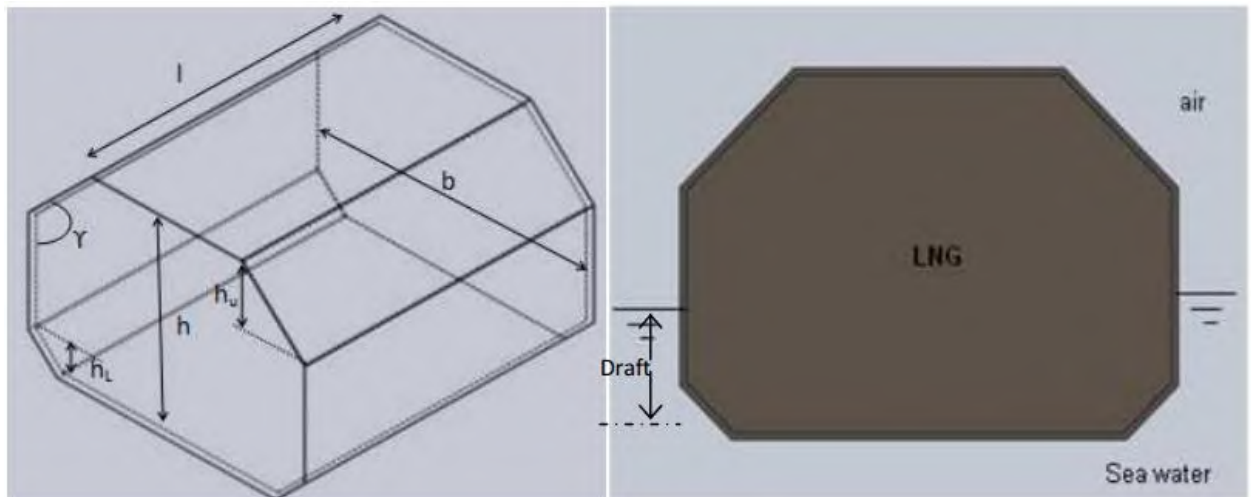
LOA	187.6m
LPP	187.6 m
B	41.00 m
D	14.58 m
T	5.7 m
DWT	201714 T
GT	21.056
Main Engine	10.600 HP
Turbin Generator	1300 KW
No 1 Diesel Generator	1300 KW
No 2 Diesel Generator	1300 KW
Service Speed	15 knot
Cargo Capacity	40.000 m ³



Gambar 2.14 FSU XXX

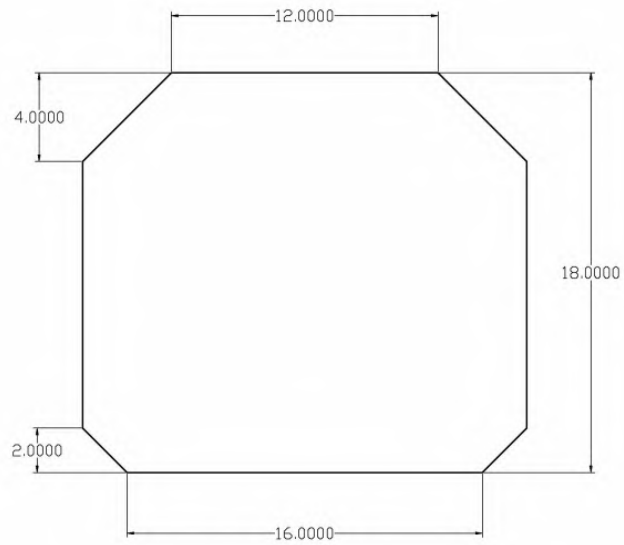
2.2.16 Dimensi Tangki LNG

Untuk ukuran dimensi, penelitian ini menggunakan acuan:

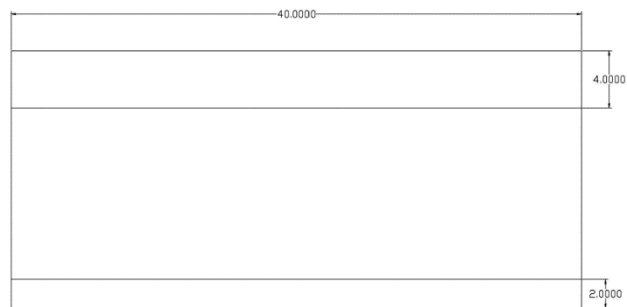


Gambar 2.15 Acuan Dimensi ukuran dalam tangki LNG

Untuk ukuran tangki dari FSU, terdapat 3 tangki dan ketiganya memiliki dimensi yang sama. Dimensinya dapat dilihat dalam gambar 2.16 dibawah ini.



(a)



(b)

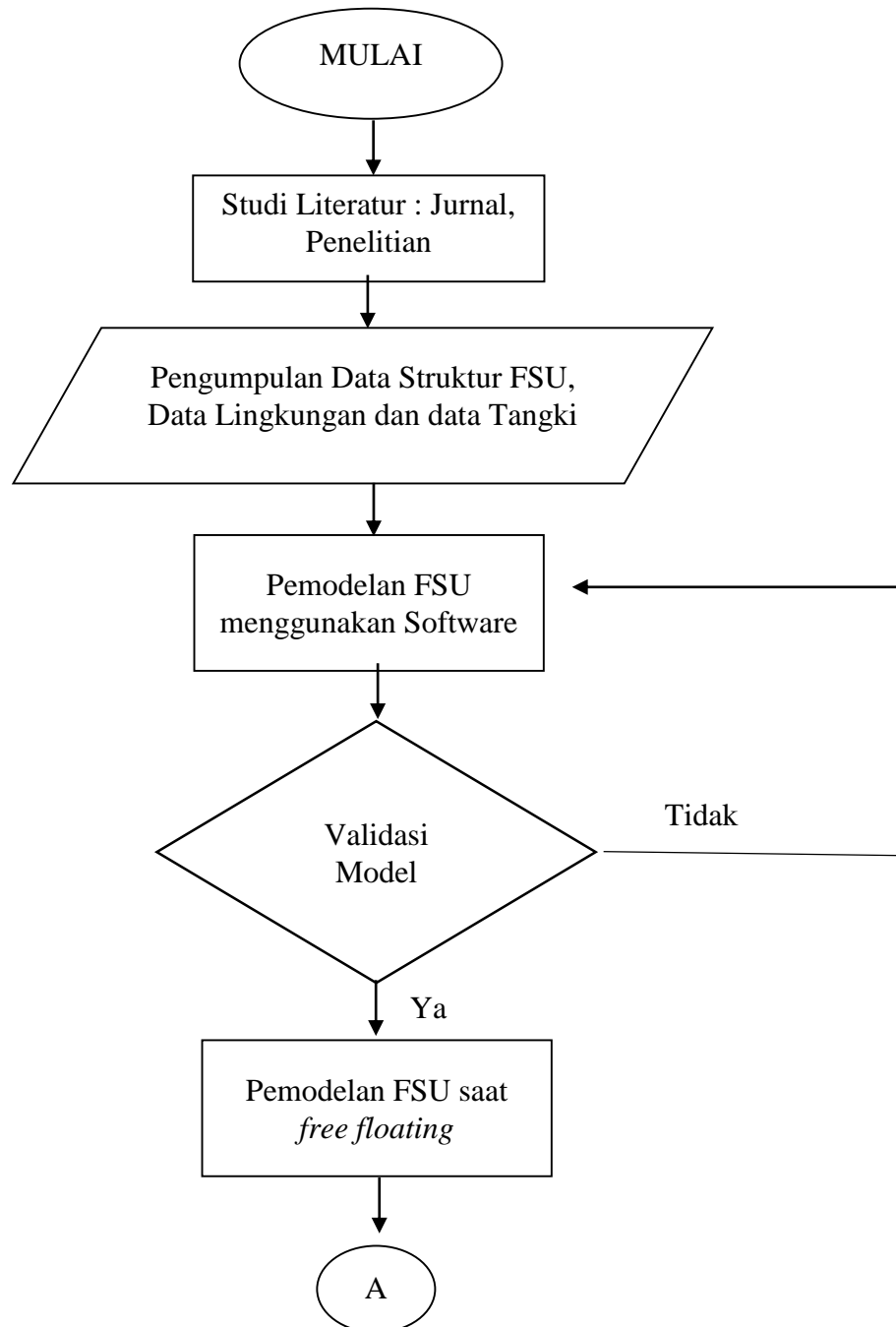
Gambar 2.16 Dimensi tangki FSU (a) melintang; (b) memanjang

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

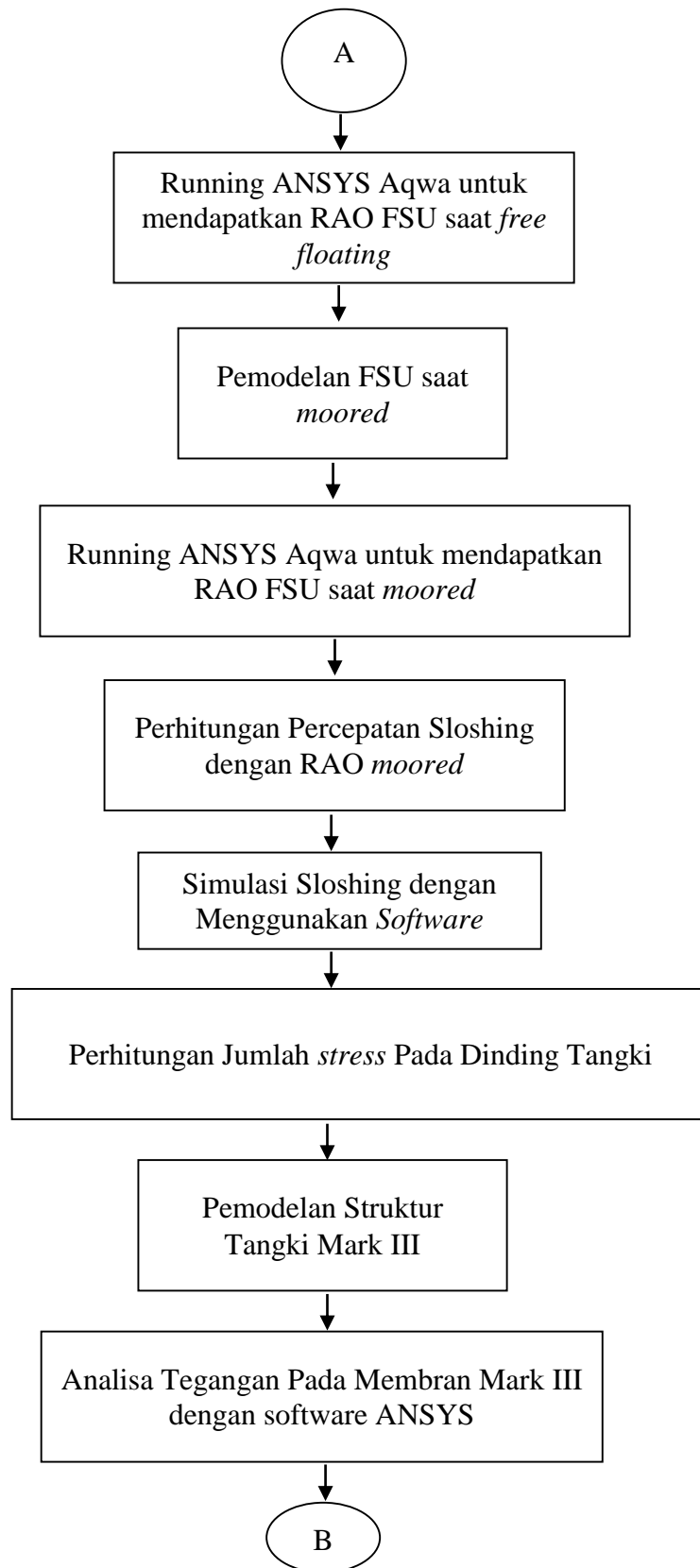
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Skema Diagram Alir

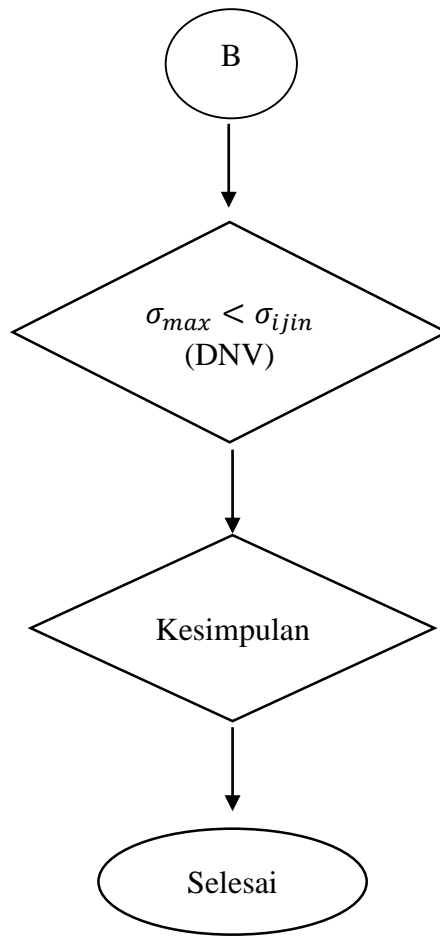
Untuk mempermudah proses pelaksanaan penelitian dalam Tugas Akhir ini, maka disusunlah alur penelitian sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

3.2 Penjelasan Diagram Alir

3.2.1 Studi Literatur

Langkah pertama dalam prosedur pengerjaan tugas akhir ini adalah studi literatur, dimana pada tahap ini berisi tentang kegiatan mencari, mengkaji, dan mengumpulkan materi serta informasi yang relevan dan terpercaya yang dapat menjadi acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

3.2.2 Pengumpulan Data

Langkah selanjutnya adalah pengumpulan data meliputi:

- Data FSU
- Data Lingkungan
- Data Tangki Mark III
- Data material *Liquid* dan *Vapour*

3.2.3 Pemodelan Struktur Menggunakan Software MAXSURF

Pemodelan ini bertujuan untuk mengetahui koordinat- koordinat bentuk body FSU serta untuk mendapatkan data hidrostatis dari pemodelan

3.2.4 Validasi model Software MAXSURF

Setelah Model FSU terbentuk, dilakukan validasi data berdasarkan data sebenarnya. Validasi ini bertujuan untuk meminimalisir *error* pada saat simulasi. Jika data pemodelan masih melebihi batas toleransi 5% dari data sebenarnya maka harus dilakukan desain ulang sampai menyerupai data sebenarnya.

3.2.5 Analisa Gerakan dengan Software ANSYS AQWA

Langkah selanjutnya adalah analisa gerakan dengan menggunakan *software* ANSYS AQWA. Analisa ini untuk mengetahui RAO dari struktur terhadap beban gelombang regular pada saat kondisi *free floating* dan terhadap beban gelombang *irregular* pada saat kondisi *moored*.

3.2.6 Perhitungan Percepatan Saat Terjadinya *Sloshing*

Perhitungan ini dilakukan sebelum memulai proses simulasi *sloshing*. Perhitungan ini dilakukan pada ANSYS CFX, *input* percepatan pada *liquid* sangatlah penting karena percepatan inilah yang menyebabkan terjadinya gerakan pada *liquid*. Jika proses *sloshing* yang sebenarnya adalah wadah yang bergerak yang mengakibatkan *liquid* juga bergerak, pada ANSYS CFX yang bergerak hanyalah *liquid*nya saja tetapi wadahnya hanya diam. Perhitungan ini menggunakan nilai tertinggi dari RAO tertambat. Karena amplitudo gelombang yang terjadi di luar wadh diasumsikan sama dengan amplitudo gelombang didalam wadah saat terjadinya *sloshing*

3.2.7 Simulasi *Sloshing* Menggunakan Software ANSYS CFX

Langkah selanjutnya adalah proses simulasi dari *sloshing* itu sendiri. Proses simulasi menggunakan dua (2) metode. Yaitu metode melintang dan memanjang. Untuk metode melintang analisa gerakan yang dilakukan gerakan *sway*, *roll* dan *yaw*. Sedangkan untuk metode memanjang, gerakan yang dianalisa adalah gerakan *surge*, *pitch* dan *yaw*. Hasil dari analisa ini adalah *stress* yang terjadi pada tangki saat terjadinya *sloshing*. Pada langkah ini material tangki masih belum dimasukkan untuk pemodelan.

3.2.8 Perhitungan Jumlah Strees pada Tangki

Perhitungan ini menggunakan rumus dari DNV CN-31-13 untuk *prismatic tank*. Hal ini dilakukan agar dapat mengetahui tegangan tangki yang terjadi saat terjadinya *sloshing* ditambahkan tegangan dari *liquid* serta *vapour* itu sendiri. Hasil dari perhitungan ini akan dimasukkan dalam pemodelan ANSYS Mechanical untuk mengetahui jumlah tegangan yang terjadi.

3.2.9 Pemodelan Struktur Tangki Mark III

Pemodelan ini menggunakan *software* Autocad 3D 2015. Hal ini dilakukan agar mempermudah dalam analisa tegangan yang terjadi.

3.2.10 Analisa Tegangan Pada Membran Tangki

Analisa ini dilakukan pada membran Tangki Mark III menggunakan *software* ANSYS *Mechanical*. Pada saat melakukan pemodelan, semua data material yang berkaitan dengan tangki Mark III di *input* kan kedalam *software* ini. Beban yang pada tahap ini adalah jumlah tegangan total yang terjadi pada saat *sloshing* yang terjadi didalam tangki. Analisa ini dilakukan dengan mengacu pada standar yang digunakan, yaitu DNV (*Det Norske Veritas*) untuk mengetahui apakah struktur tangki sesuai dengan kriteria atau tidak.

3.2.11 Kesimpulan

Pada pengambilan kesimpulan ini meliputi tegangan yang terjadi pada saat kondisi *sloshing* terjadi, jumlah tegangan yang terjadi pada membran saat *sloshing* terjadi serta kuat atau tidaknya membran menahan tegangan saat *sloshing* terjadi yang mengacu pada DNV (*Det Norske Veritas*).

BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini akan dibahas hasil dari pemodelan dan perhitungan yang didapatkan dari beberapa simulasi yang dilakukan dengan menggunakan *software* yang telah disesuaikan dengan metodologi penelitian yang telah terlampir pada bab sebelumnya. Hal yang dilakukan pertama adalah pemodelan awal dengan menggunakan *software maxsurf*. Pemodelan ini dilakukan agar mendapatkan hidrostatik model yang juga divalidasi dengan data yang sudah ada.

4.1 Pemodelan Struktur

Pada Pemodelan awal *body surface* FSU menggunakan *software maxsurf* yang bertujuan untuk mendapatkan titik-titik bentuk *body* FSU serta mendapatkan data hidrostatik model. Pemodelan pada *software* ini dilakukan dengan menggunakan *principle dimension* yang terdapat pada data referensi dari FSU pada *software maxsurf*, maka akan didapatkan titik koordinat FSU yang selanjutnya akan dilakukan pada *software ANSYS AQWA*.

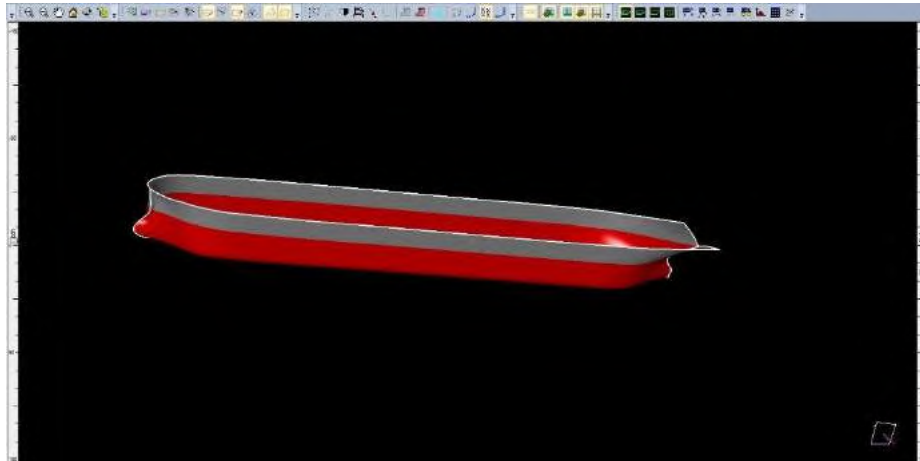
4.1.1 Pemodelan FSU

Pemodelan Body FSU ini dilakukan dengan tiga (3) kondisi yaitu kondisi 90%, 80% dan 70% *load condition*. Data yang digunakan sebagai *input* pemodelan FSU pada *software maxsurf* tertera pada tabel 4.1 berikut ini.

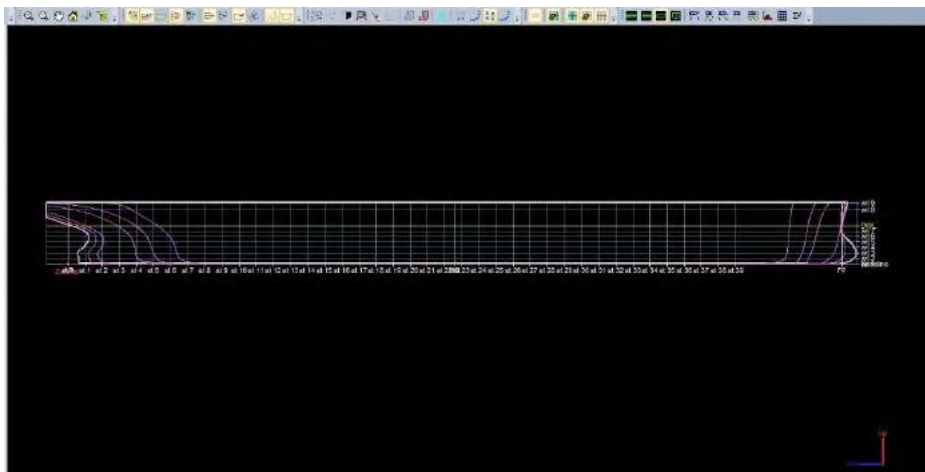
Tabel 4.1 *Principle Dimension* dari FSU

<i>Designation</i>	<i>Unit</i>	<i>Load Condition</i>		
		90%	80%	70%
<i>Length, LOA</i>	M	187.6	187.6	187.6
<i>Length, LPP</i>	M	167	167	167
<i>Length, LWL</i>	M	160.8	156.2	152.4
<i>Breadth, B</i>	M	40.6	40.6	40.6
<i>Depth, D</i>	M	18.6	18.6	18.6
<i>Draft, T</i>	M	7.7	7.56	7.48

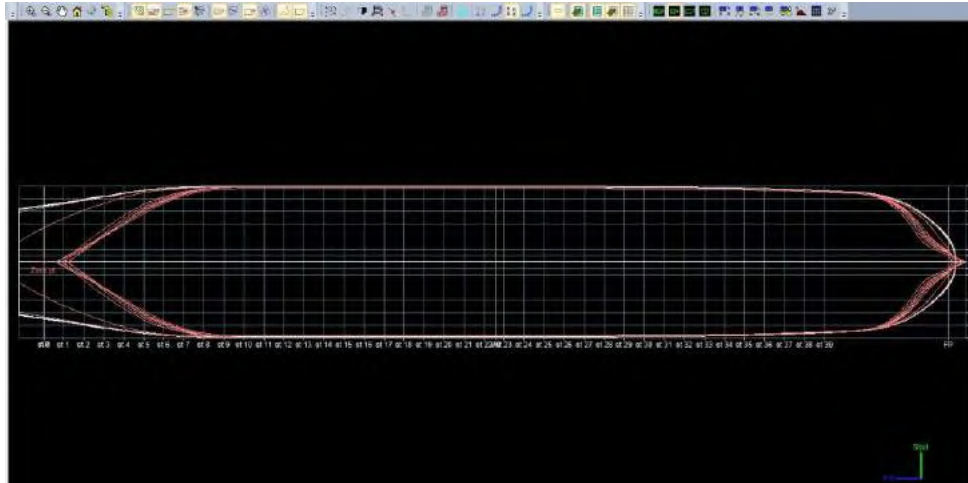
Dari data awal yang tertera pada tabel 4.1, dapat dilanjutkan ke pemodelan struktur awal pada Maxsurf. Pemodelan ini dapat dilihat pada gambar 4.1 – 4.4 dibawah ini.



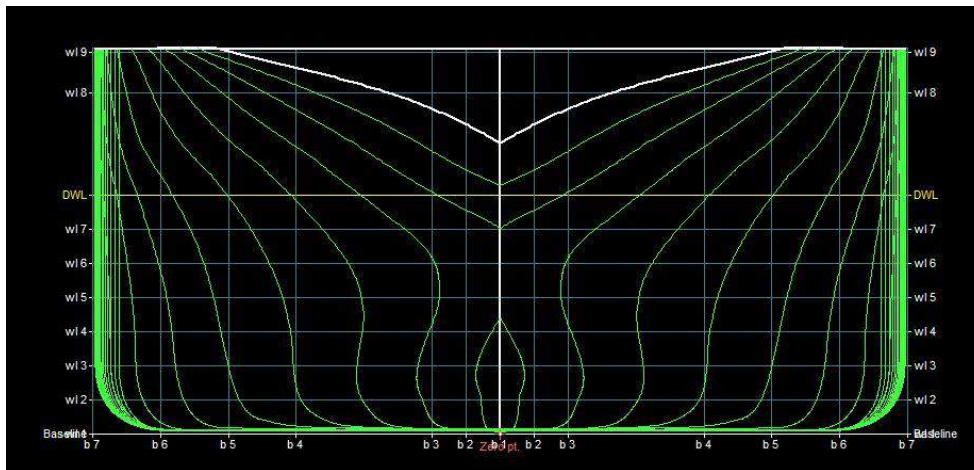
Gambar 4.1 Hasil Pemodelan FSU pada Maxsurf tampak Isometric



Gambar 4.2 Hasil Pemodelan FSU pada Maxsurf tampak samping



Gambar 4.3 Hasil Pemodelan FSU pada Maxsurf tampak atas



Gambar 4.4 Hasil Pemodelan FSU pada Maxsurf tampak depan

Setelah pemodelan awal pada maxsurf, ada beberapa data yang dapat digunakan untuk mendukung pemodelan dalam struktur antara lain adalah:

1. Data tebal pelat
2. Data beban pelat
3. Data girder/lunas
4. Analisa sebaran beban

Analisa diatas sudah termasuk dalam analisa scantling atau analisa profil kapal dan pelat yang menyusun nya.

4.1.1.1 Data Tebal Pelat

Data Pelat bertujuan untuk mengetahui tebal pelat (*thickness*) dan beban pelat yang didistribusikan pada tiap girder. Hasil perhitungan tebal pelat dan beban yang ditimbulkannya ada pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Tebal Pelat FSU

St	Range	Alas	Sisi	Alas Dalam	Dinding	Geladak	Tangki	Lajur Bilga	Lunas
	x/L	t (mm)	t (mm)	t (mm)	t (mm)	t (mm)	t (mm)	t (mm)	t (mm)
0	0 ≤ x/L < 0.2	12.00	12.00	10.00	6.00	10.00	0	12.00	14.00
1		12.00	12.00	10.00	6.00	10.00	0	12.00	14.00
2		12.00	12.00	10.00	6.00	10.00	0	12.00	14.00
3		12.00	12.00	10.00	6.00	10.00	0	12.00	14.00
4		12.00	12.00	10.00	6.00	10.00	0	12.00	14.00
5		12.00	12.00	10.00	6.00	10.00	0	12.00	14.00
6		12.00	12.00	10.00	6.00	10.00	0	12.00	14.00
7		12.00	12.00	10.00	6.00	10.00	0	12.00	14.00
8		12.00	12.00	10.00	6.00	10.00	0	12.00	14.00
9		12.00	12.00	10.00	6.00	10.00	0	12.00	14.00
10		12.00	12.00	10.00	6.00	10.00	0	12.00	14.00
11		12.00	12.00	10.00	6.00	10.00	0	12.00	14.00
12		12.00	12.00	10.00	6.00	10.00	0	12.00	14.00
13		12.00	12.00	10.00	6.00	10.00	0	12.00	14.00
14		12.00	12.00	10.00	6.00	10.00	0	12.00	14.00
15	12.00	12.00	10.00	6.00	10.00	0	12.00	14.00	
16	0.2 ≤ x/L < 0.7	12.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	12.00	14.00
17		12.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	12.00	14.00
18		12.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	12.00	14.00
19		12.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	12.00	14.00
20		12.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	12.00	14.00
21		12.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	12.00	14.00
22		12.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	12.00	14.00
23		12.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	12.00	14.00
24		12.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	12.00	14.00
25		12.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	12.00	14.00
26	12.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	12.00	14.00	
27	0.7 ≤ x/L < 1	14.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	14.00	16.00
28		14.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	14.00	16.00
29		14.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	14.00	16.00
30		14.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	14.00	16.00
31		14.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	14.00	16.00
32		14.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	14.00	16.00
33		14.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	14.00	16.00
34		14.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	14.00	16.00
35		14.00	12.00	10.00	6.00	10.00	12.0	14.00	16.00
36		14.00	12.00	10.00	6.00	10.00	12.0	14.00	16.00
37		14.00	12.00	10.00	6.00	10.00	12.0	14.00	16.00
38		14.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	14.00	16.00
39		14.00	12.00	10.00	7.00	10.00	12.0	14.00	16.00
40		14.00	12	10	9	10.00	12.0	14.00	16.00

4.1.1.2 Data Beban Pelat

Pelat yang diletakkan pada badan kapal akan menghasilkan momen yang dapat membebani penopang di bawahnya. Analisa ini dilakukan agar dapat mengetahui tegangan yang terjadi akibat beban pelat yang ada di dalam struktur kapal terhadap lunas / girder yang menopang pelat. Tabel 4.2 berikut ini adalah hasil perhitungan beban pelat terhadap girder yang menopangnya.

Tabel 4.3 Jumlah Beban yang terdistribusi di tiap station

St	Range	Sisi		Alas	Alas Dalam	Tangki		
		Below WL	Above WL			beban sisi	beban alas	beban alas dalam
	x/L	ps (kN/m ²)	ps (kN/m ²)	ps (kN/m ²)	ps (kN/m ²)	ps (kN/m ²)	ps (kN/m ²)	ps (kN/m ²)
0	0 ≤ x/L < 0.2	93.29	53.34	93.43	62.92	-	-	-
1		93.29	53.34	93.43	62.92	-	-	-
2		93.29	44.64	93.43	62.92	-	-	-
3		93.29	44.64	93.43	62.92	-	-	-
4		90.38	38.1	93.43	62.92	-	-	-
5		90.38	38.1	93.43	62.92	-	-	-
6		90.38	34.21	93.43	62.92	-	-	-
7		83.32	34.21	93.43	62.92	-	-	-
8		83.32	36.05	93.43	62.92	-	-	-
9		83.32	36.05	93.43	62.92	-	-	-
10		73.61	33.71	93.43	62.92	-	-	-
11		73.61	30.43	93.43	62.92	-	-	-
12		73.61	27.17	93.43	62.92	-	-	-
13		64.71	24.54	93.43	62.92	-	-	-
14		64.71	22.53	93.43	62.92	-	-	-
15	64.71	21.5	93.43	62.92	-	-	-	
16	0.2 ≤ x/L < 0.7	86.21	45.62	92.53	109.61	139.38	96.91	87.6
17		86.21	45.62	92.53	109.61	139.38	96.91	87.6
18		86.21	45.62	92.53	109.61	139.38	96.91	87.6
19		71.16	45.62	92.53	109.61	139.38	96.91	87.6
20		71.16	45.62	92.53	109.61	139.38	96.91	87.6
21		71.16	45.62	92.53	109.61	118.91	96.91	87.6
22		71.16	45.62	92.53	109.61	118.91	96.91	87.6
23		57.18	45.62	92.53	109.61	118.91	96.91	87.6
24		57.18	45.62	92.53	109.61	118.91	96.91	87.6
25		57.18	45.62	92.53	109.61	118.91	96.91	87.6
26		57.18	45.62	92.53	109.61	118.91	96.91	87.6

27	0.7 ≤ x/L < 1	93.03	45.09	149.04	112.12	118.91	96.91	87.6
28		93.03	45.09	149.04	112.12	95.95	96.91	87.6
29		93.03	45.09	149.04	112.12	95.95	96.91	87.6
30		83.17	45.09	149.04	112.12	95.95	96.91	87.6
31		83.17	45.09	149.04	112.12	95.95	96.91	87.6
32		83.17	39.82	149.04	112.12	95.95	96.91	87.6
33		71.1	39.82	149.04	112.12	95.95	96.91	87.6
34		71.1	39.82	149.04	112.12	95.95	96.91	87.6
35		71.1	39.82	149.04	112.12	77.46	96.91	87.6
36		61.79	39.82	149.04	112.12	77.46	96.91	87.6
37		61.79	35.44	149.04	112.12	77.46	96.91	87.6
38		61.79	35.44	149.04	112.12	77.46	96.91	87.6
39		54.35	35.44	149.04	112.12	77.46	96.91	87.6
40		54.35	35.44	149.04	112.12	77.46	96.91	87.6

4.1.1.3 Data Girder/ Lunas

Data girder ini dihitung dari beban yang dihasilkan oleh tangki LNG dengan beban pada pelat dan beberapa *equipment* seperti mesin, peralatan lain yang tidak dapat dipindahkan. Pada penelitian ini, analisa girder sangatlah penting dikarenakan tekanan pada *sloshing* dapat berakibat gagalnya struktur girder dan dapat menyebabkan amblesnya tangki pada *hull structure*. Analisa dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4 Tabel Girder

Type		Girder Type	Properties	W (cm ²)	A (cm ²)
Bottom	Machinary Space	Frame	L 130 x 65 x 10	125	13
		Deck Beam	L 100 x 50 x 10	74	10
		Docking Profiles	L 100 x 80 x 12	155	12
		Web Frame	Independent	3857	113
		Strong Beam	Independent	571.91	28.8
		Deck Girder	Independent	317.52	20
	Tween Deck	Frame	L 130 x 65 x 10	125	13
		Deck Beam	L 130 x 75 x 10	135	13
		Web Frame	Independent	681.5	36
		Strong Beam	Independent	868.3	30
		Deck Girder	Independent	317.52	20
	Super Structure	Frame	L 80 x 65 x 8	52	6.4
		Deck Beam	L 120 x 80 x 8	105	9.6
		Web Frame	Independent	245.55	18
		Strong Beam	Independent	358.5	24
		Deck Girder	Independent	119.4	12
	Deck house	Frame	L 80 x 40 x 6	29	13.3
		Frame	L 60 x 40 x 6	19	10
		Frame	L 100 x 50 x 6	75	16.7
		Deck Beam	L 90 x 60 x 6	43	0.82
		Strong Beam	T 130 x 10	170.87	13
Web Frame		L 120 x 10 x 10	156.5	12	
Deck Girder		Independent	119.4	12	

Front	Bottom Scantling	Bottom Longitudinal	L 120 x 80 x 10	130	12
		Inner Bottom Longitudinal	L 120 x 80 x 10	130	12
	Side Scantling	Side Longitudinal A	L 150 x 100 x 10	200	15
		Side Longitudinal B	L 130 x 90 x 10	155	13
		Side Longitudinal C	L 120 x 80 x 8	105	9.6
	Wing Tank	Wing Longitudinal A	L 130 x 90 x 10	155	13
		Wing Longitudinal B	L 120 x 80 x 8	105	9.6
	Side Transverse	Side Transverse A	T 300 x 12	820.124	431.968
		Side Transverse B	T 260 x 8	36	20.8
		Inner (Web Frame)	T 300 x 12	820.124	431.968
		Inner (Web Frame)	T 260 x 8	36	20.8
		Deck Transvers	Independent	1946.73	48
		Transverse Bulkhead	Independent	3329.04	60.5
	Bulkhead	Longitudinal A	L 150 x 100 x 10	200	15
		Longitudinal B	L 130 x 90 x 10	155	13
		Longitudinal C	L 120 x 80 x 8	105	9.6
		Frame	T 350 x 12	1458.05	42
	Cofferdam Bulkheads	Girder	T 350 x 12	1458.05	42
		Girder	T 350 x 14	1699.19	49
		Frame	L 180 x 90 x 14	330	25.2
	Collision Bulkhead	Girder	T 350 x 12	1458.05	42
		Stiffener	L 180 x 90 x 14	330	25.2
	Swash Bulkhead	Girder	T 300 x 12	1019.88	36
		Stiffener	L 180 x 90 x 14	330	25.2
		Side Stinger	Independent	1922.64	74.4

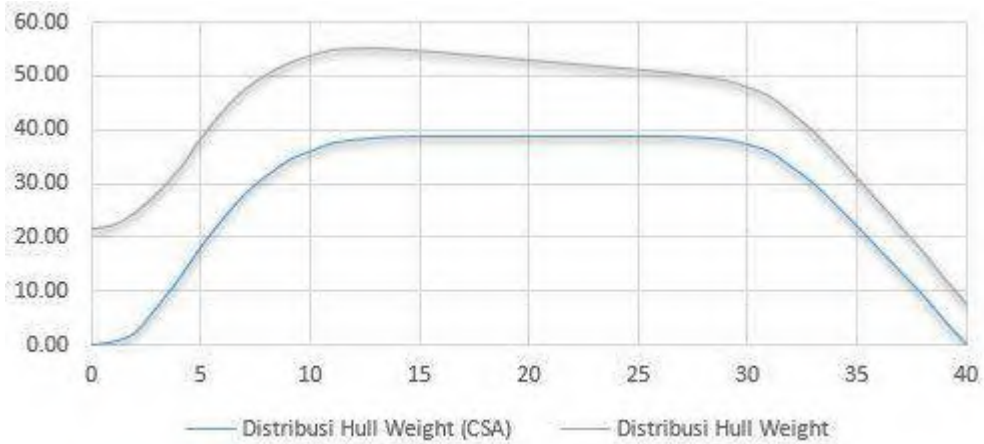
4.1.1.4 Data Sebaran Beban

Beban pada struktur kapal dapat di sebarakan pada tiap *stationnya*. Sebaran beban terutama untuk bagian hull dapat di jabarkan dalam bentuk CSA (*Curve Section Area*), Hull Weight dan dalam bentuk trapesium. Pada tabel 4.5 dibawah ini:

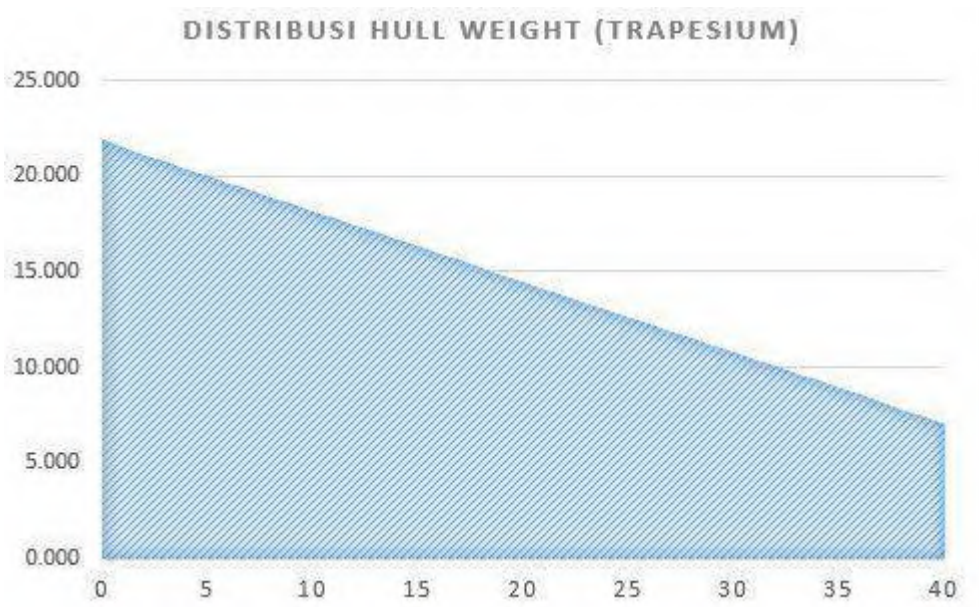
Tabel 4.5 Distribusi Beban

Distribusi Hull Weight (Lengkung CSA)				Distribusi Hull Weight (Trapezium)			Distribusi hull weight		
Station	q	FS	Hasil kali	q	FS	Hasil kali	q	FS	Hasil kali
0	0	1	0	21.564	1	21.56356	21.564	1	21.56
1	1.07	4	4.279647	21.209	4	84.83547	22.279	4	89.12
2	3.8	2	7.608154	20.854	2	41.70835	24.658	2	49.32
3	7.82	4	31.28279	20.499	4	81.99794	28.32	4	113.28
4	12.63	2	25.26261	20.145	2	40.28959	32.776	2	65.55
5	18.78	4	75.11412	19.79	4	79.16041	38.569	4	154.27
6	24.17	2	48.34524	19.435	2	38.87082	43.608	2	87.22
7	28.59	4	114.3697	19.081	4	76.32288	47.673	4	190.69
8	31.71	2	63.41289	18.726	2	37.45206	50.432	2	100.86
9	34.18	4	136.7329	18.371	4	73.48536	52.555	4	210.22
10	35.88	2	71.76522	18.017	2	36.0333	53.899	2	107.8
11	37.37	4	149.4952	17.662	4	70.64783	55.036	4	220.14
12	37.93	2	75.86744	17.307	2	34.61453	55.241	2	110.48
13	38.38	4	153.5252	16.953	4	67.8103	55.334	4	221.34
14	38.52	2	77.03008	16.598	2	33.19577	55.113	2	110.23
15	38.59	4	154.3687	16.243	4	64.97278	54.835	4	219.34
16	38.61	2	77.22356	15.889	2	31.77701	54.5	2	109
17	38.61	4	154.4471	15.534	4	62.13525	54.146	4	216.58
18	38.61	2	77.22356	15.179	2	30.35824	53.791	2	107.58
19	38.61	4	154.4471	14.824	4	59.29772	53.436	4	213.74
20	38.61	2	77.22356	14.47	2	28.93948	53.082	2	106.16
21	38.61	4	154.4471	14.115	4	56.4602	52.727	4	210.91
22	38.61	2	77.22356	13.76	2	27.52072	52.372	2	104.74
23	38.61	4	154.4471	13.406	4	53.62267	52.017	4	208.07
24	38.61	2	77.22356	13.051	2	26.10195	51.663	2	103.33
25	38.61	4	154.4471	12.696	4	50.78514	51.308	4	205.23
26	38.59	2	77.187	12.342	2	24.68319	50.935	2	101.87
27	38.56	4	154.2367	11.987	4	47.94761	50.546	4	202.18
28	38.32	2	76.64848	11.632	2	23.26443	49.956	2	99.91
29	38.01	4	152.0345	11.278	4	45.11009	49.286	4	197.14
30	37.06	2	74.11635	10.923	2	21.84566	47.981	2	95.96
31	35.69	4	142.7744	10.568	4	42.27256	46.262	4	185.05
32	32.9	2	65.80849	10.213	2	20.4269	43.118	2	86.24
33	29.83	4	119.3326	9.859	4	39.43503	39.692	4	158.77
34	25.94	2	51.88537	9.504	2	19.00814	35.447	2	70.89
35	21.88	4	87.52235	9.149	4	36.59751	31.03	4	124.12
36	17.6	2	35.19564	8.795	2	17.58937	26.393	2	52.79
37	13.36	4	53.42604	8.44	4	33.75998	21.797	4	87.19
38	9.14	2	18.28123	8.085	2	16.17061	17.226	2	34.45
39	4.37	4	17.47523	7.731	4	30.92245	12.099	4	48.4
40	0	1	0	7.376	1	7.375922	7.376	1	7.38
		jumlah	12493.68		jumlah	5986.53	1750.08	Jumlah	8213.84
		berat	15537.97		berat	7445.25		Berat	10215.28

Dengan adanya beberapa data pada tabel 4.2 sampai 4.5, maka didapatkan kurva sebagai berikut.



(a)

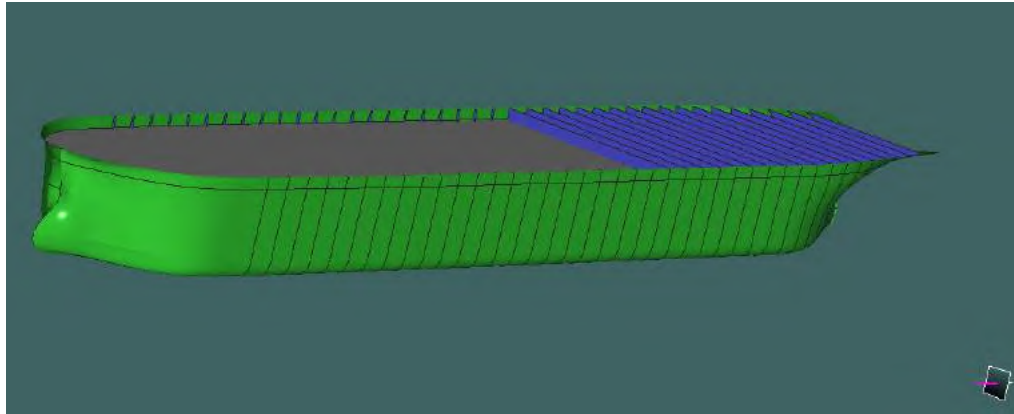


(b)

Gambar 4.5 Grafik distribusi beban

- (a) grafik distribusi beban dengan CSA dan Hull Weight, sedangkan
(b) adalah distribusi beban dengan metode trapesium

Dari data yang didapatkan perhitungan diatas maka struktur dapat dimodelkan. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan Software Maxsurf 20.00.02.31. Hasil dari pemodelan dapat dilihat pada gambar 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.6 Pemodelan akhir Kapal Menggunakan Maxsurf

4.1.2 Hidrostatik

Pada saat pemodelan, data sebenarnya dan data hidrostatik simulasi akan disesuaikan agar didapatkan pemodelan yang sama dengan data sebenarnya. Maka validasi model dilakukan dengan membandingkan data dari hasil hidrostatik yang dikeluarkan oleh *software* maxsurf dengan data FSU yang sudah ada. Validasi dilakukan dengan ketiga kondisi yaitu 90%, 80% dan 70%.

Pada tabel 4.6 – tabel 4.8 ditunjukkan bahwa perbandingan antara data hidrostatik yang diperoleh dari pemodelan dan simulasi dengan data hidrostatik yang sudah ada pada FSU. Pada hasil perbandingan diberikan toleransi *factor error* sebesar 5%. Dengan demikian hasil pemodelan pada *software* MAXSURF dapat valid untuk digunakan sebagai *input* dalam menghitung karakteristik kapal.

Tabel 4.6 Validasi data hidrostatis FSU pada 90% load condition

<i>Density (sea water)</i>	1.025	tonnes/m ³			
<i>Tolerance</i>	5	%			
	Data	Maxsurf	Koreksi %	Unit	Keterangan
<i>Displacement</i>	201366	201367.256	-0.01	tonne	memenuhi
<i>Volume</i>	197870	197768.3	1.01	m ³	memenuhi
<i>Drat to baseline</i>	7.7	7.7	0	m	memenuhi
<i>Immersed Depth</i>	7.7	7.7	0	m	memenuhi
<i>Beam wl</i>	23.835	23.835	0	m	memenuhi
<i>CP</i>	0.855	0.845	0		memenuhi
<i>CB</i>	0.828	0.813	0		memenuhi
<i>CM</i>	0.991	0.989	0		memenuhi
<i>LCB from Zero point</i>	92.4	93.4	-0.01	m	memenuhi
<i>LCF from Zero Point</i>	94.1	95.6	-0.02	m	memenuhi
<i>KB</i>	3.591	4.89	-0.01	m	memenuhi
<i>KM</i>	9.9991	9.947	0	m	memenuhi

Tabel 4.7 Validasi data hidrostatis FSU pada 80% load condition

<i>Density (sea water)</i>	1.025	tonnes/m ³			
<i>Tolerance</i>	5	%			
	Data	Maxsurf	Koreksi %	Unit	Keterangan
<i>Displacement</i>	201240	201107.256	1.33	tonne	memenuhi
<i>Volume</i>	190670	190678.3	-0.09	m ³	memenuhi
<i>Drat to baseline</i>	7.56	7.56	0	m	memenuhi
<i>Immersed Depth</i>	7.489	7.489	0	m	memenuhi
<i>Beam wl</i>	23.835	23.835	0	m	memenuhi
<i>CP</i>	0.855	0.857	0		memenuhi
<i>CB</i>	0.828	0.813	0.02		memenuhi
<i>CM</i>	0.989	0.987	0		memenuhi
<i>LCB from Zero point</i>	91	94.3	-0.33	m	memenuhi
<i>LCF from Zero Point</i>	95	94.8	0	m	memenuhi
<i>KB</i>	3.591	3.89	0	m	memenuhi
<i>KM</i>	25.6	24.6	0.01	m	memenuhi

Tabel 4.8 Validasi data hidrostatis FSU pada 70% load condition

<i>Density (sea water)</i>	1.025	tonnes/m ³			
<i>Tolerance</i>	5	%			
	Data	Maxsurf	Koreksi %	Unit	Keterangan
<i>Displacement</i>	200240	200156.256	0.84	tonne	memenuhi
<i>Volume</i>	190470	190412.3	0.57	m ³	memenuhi
<i>Drat to baseline</i>	7.48	7.48	0	m	memenuhi
<i>Immersed Depth</i>	7.48	7.48	0	m	memenuhi
<i>Beam wl</i>	23.835	23.835	0	m	memenuhi
<i>CP</i>	0.855	0.851	0		memenuhi
<i>CB</i>	0.828	0.811	0.02		memenuhi
<i>CM</i>	0.979	0.956	0.02		memenuhi
<i>LCB from Zero point</i>	91.6	91.5	0.01	m	memenuhi
<i>LCF from Zero Point</i>	98.7	97.3	0.14	m	memenuhi
<i>KB</i>	3.591	3.89	-0.03	m	memenuhi
<i>KM</i>	30.4	30.2	0.02	m	memenuhi

4.2 Analisa Gerakan FSU

Analisa gerakan ini dilakukan dengan bantuan software ANSYS AQWA. Dalam menggunakan software ini, diperlukan model yang telah dibuat dari software Maxsurf v20. Pada perancangan model FSU pada ANSYS AQWA diperlukan data titik berat, *displacement*, dan juga *radius gyration*. Dimana titik berat *radius gyration* dapat dilihat pada tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4.9 Data titik berat dan radius gyration dapa FSU

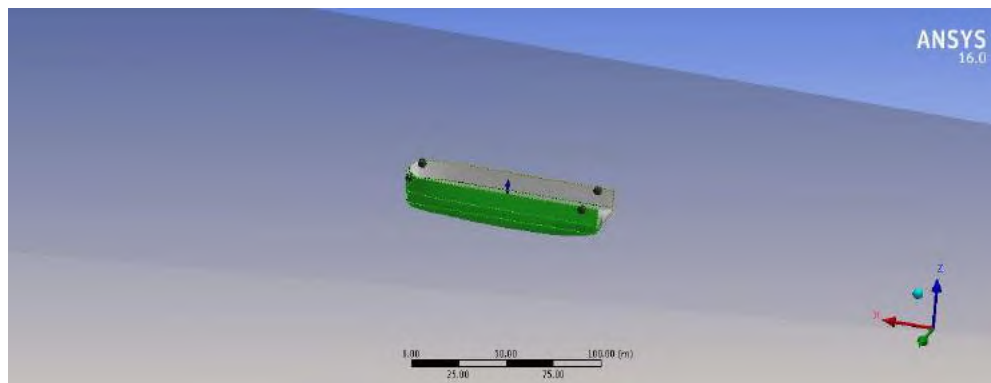
	FSU 90% load condition	FSU 80% load condition	FSU 70% load condition
X	-2.59 m	-1.2364 m	-0.987 m
Y	0	0	0
Z	2.547 m	2.8326 m	2.987 m
KX	14.804 m	14.804 m	14.804 m
KY	26.9 m	26.9 m	26.9 m
KZ	26.9 m	26.9 m	26.9 m
Displacement	201367.256 tonne	201107.256 tonne	200156.256 tonne

Selain titik berat dan *radius gyration* dibutuhkan juga data lingkungan yang dapat mendukung analisa gerakan FSU dalam Pemodelan ANSYS AQWA ini. Data ini diambil dari kondisi ekstrim 100 tahunan dimana FSU beroperasi. Data lingkungan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.10 dibawah ini.

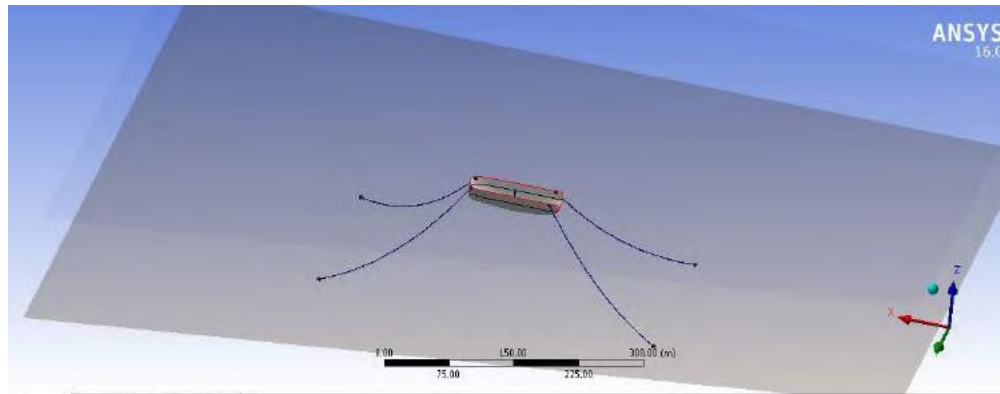
Tabel 4.10 Data Lingkungan

Parameter	Data
Kedalaman	100 m
Tinggi gelombang signifikan (H_s)	1.543 m
Periode gelombang signifikan (T_s)	5 s

Setelah dilakukan pemodelan dan input data, model FSU dapat dilihat pada gambar 4.7 dibawah ini. Ada 2 jenis analisa, yaitu pada saat kondisi *free floating* dan pada saat kondisi tertambat. Pada saat kondisi *free floating*, FSU dikenai gelombang regular dan pada saat tertambat FSU dikenai gelombang acak. Spectrum gelombang yang digunakan adalah spectrum gelombang JHONSWAP dengan asumsi perairan Indonesia adalah perairan tertutup.



(a)



(b)

Gambar 4.7 Model FSU pada ANSYS AQWA

(a) Pada saat *free floating*

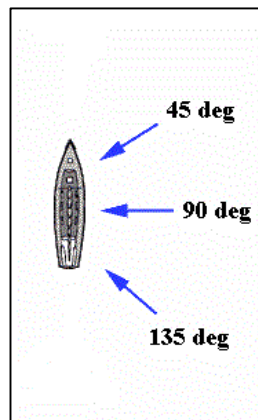
(b) Pada saat tertambat

4.2.1 *Response Amplitudo Operator (RAO)*

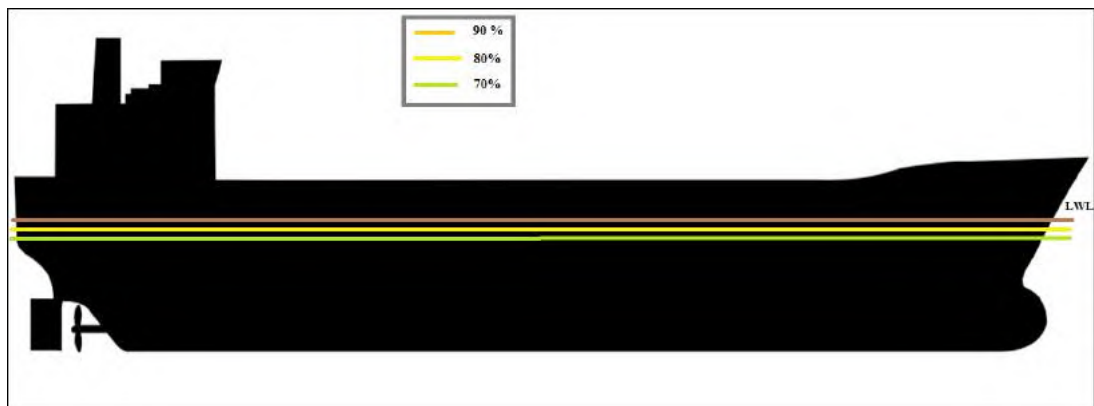
Analisa gerak FSU *free floating* dan tertambat dilakukan dengan mendapatkan RAO dari *software* ANSYS AQWA. Analisa respon ini dilakukan pada heading 45° , 90° , dan 135° . Respon yang dianalisa adalah semua gerakan *six degree of freedom* yang didalamnya terdapat gerakan translasi (*Surge, Sway, Heave*) dan rotasi (*Roll, Pitch, Yaw*). Keduanya mempunyai satuan yang berbeda untuk RAO. Untuk translasi satuannya adalah m/m dan untuk rotasi adalah deg/m. sebelum memulai proses simulasi, perlu diketahui skenario muatan dan pembebanan yang akan dipakai. Skenario yang akan dipakai adalah

- Skenario muatan pada FSU:
 - FSU kondisi muatan 90%
 - FSU kondisi muatan 80%
 - FSU kondisi muatan 70%
- Skenario pembebanan pada FSU
 - FSU dikenakan beban dari arah 45°
 - FSU dikenakan beban dari arah 90°
 - FSU dikenakan beban dari arah 135°

Untuk lebih jelasnya skenario muatan dan pembebanan dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut ini



(a)



(b)

Gambar 4.8 Skenario Pembebanan dan muatan pada FSU

(a) Pembebanan

(b) Muatan

4.2.1.1 Surge

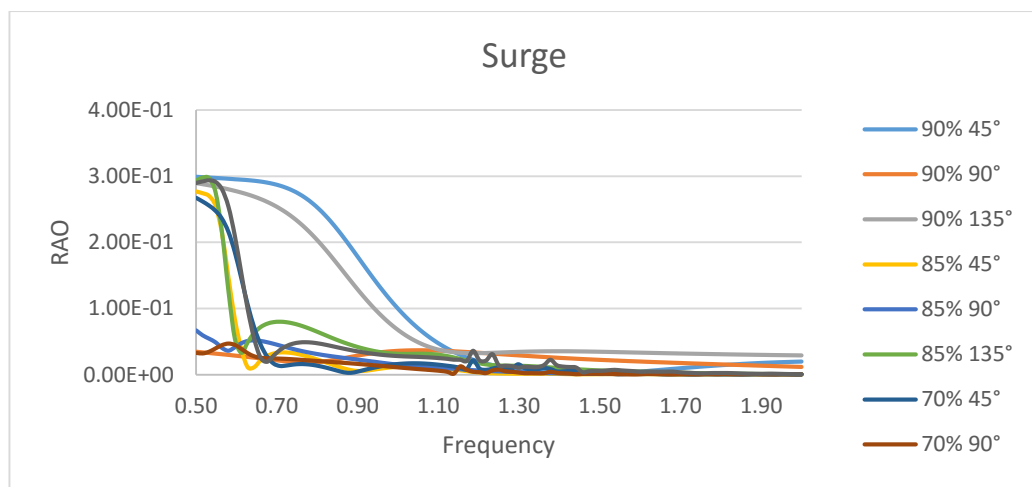
Hasil simulasi surge menggunakan ANSYS pada saat surge dapat dilihat pada tabel 4.11 berikut ini .

Tabel 4.11 Hasil Simulasi *Free Floating*

Surge	90% Load Condition			85% Load Condition			70% Load Condition		
	45°	90°	135°	45°	90°	135°	45°	90°	135°
0.5	2.99E-01	3.48E-02	2.89E-01	2.77E-01	6.67E-02	2.93E-01	2.67E-01	3.29E-02	2.90E-01
0.52	2.98E-01	3.38E-02	2.88E-01	2.74E-01	5.93E-02	2.98E-01	2.62E-01	3.20E-02	2.92E-01
0.53	2.98E-01	3.28E-02	2.86E-01	2.70E-01	5.43E-02	2.97E-01	2.55E-01	3.46E-02	2.94E-01
0.55	2.97E-01	3.19E-02	2.84E-01	2.55E-01	4.88E-02	2.76E-01	2.48E-01	3.96E-02	2.91E-01
0.56	2.97E-01	3.09E-02	2.82E-01	2.14E-01	4.03E-02	2.15E-01	2.36E-01	4.45E-02	2.80E-01

-
-
-

1.94	1.87E-02	1.28E-02	2.94E-02	1.05E-04	7.92E-04	9.94E-04	3.27E-04	6.63E-04	1.46E-03
1.95	1.90E-02	1.25E-02	2.93E-02	1.06E-04	7.51E-04	9.20E-04	5.71E-04	8.85E-04	1.21E-03
1.97	1.93E-02	1.22E-02	2.92E-02	9.69E-05	7.08E-04	8.44E-04	5.50E-04	7.31E-04	9.92E-04
1.98	1.96E-02	1.19E-02	2.91E-02	8.12E-05	6.63E-04	7.67E-04	2.17E-04	7.98E-04	8.23E-04
2	1.99E-02	1.16E-02	2.90E-02	6.12E-05	6.19E-04	6.91E-04	2.22E-04	7.99E-04	6.43E-04



Gambar 4.9 Grafik surge pada saat kondisi *free floating*

Dari data diatas, nilai puncak untuk 90% *Load Condition* pada saat surge ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 0.3 m/m; 90°, 0.04 m/m; dan untuk 135°, 0.29 m/m. Untuk 80% *Load Condition*, ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 0.28 m/m; 90°, 0.07 m/m; dan untuk 135°, 0.3 m/m. Untuk 70% *Load Condition*, ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 0.27 m/m; 90°, 0.05 m/m; dan untuk 135°, 0.29 m/m.

4.2.1.2 Sway

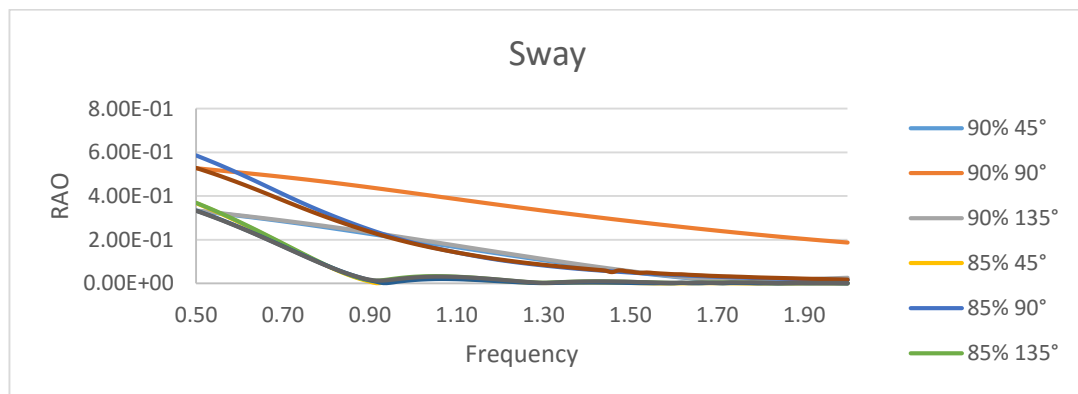
Hasil simulasi *sway* menggunakan ANSYS pada saat *heave* dapat dilihat pada tabel 4.12 berikut ini.

Tabel 4.12 Hasil Simulasi *sway free floating*

Sway	90% Load Condition			85% Load Condition			70% Load Condition		
	45°	90°	135°	45°	90°	135°	45°	90°	135°
0.5	3.33E-01	5.28E-01	3.35E-01	3.68E-01	5.86E-01	3.69E-01	3.33E-01	5.29E-01	3.33E-01
0.52	3.29E-01	5.25E-01	3.31E-01	3.55E-01	5.73E-01	3.56E-01	3.22E-01	5.18E-01	3.21E-01
0.53	3.26E-01	5.22E-01	3.28E-01	3.41E-01	5.60E-01	3.42E-01	3.10E-01	5.08E-01	3.10E-01
0.55	3.22E-01	5.19E-01	3.24E-01	3.28E-01	5.47E-01	3.29E-01	2.99E-01	4.97E-01	2.98E-01
0.56	3.18E-01	5.16E-01	3.21E-01	3.13E-01	5.34E-01	3.14E-01	2.86E-01	4.86E-01	2.85E-01

-
-
-

1.95	1.42E-02	1.95E-01	2.35E-02	7.39E-04	1.82E-02	1.74E-03	7.64E-04	2.03E-02	1.95E-03
1.97	1.51E-02	1.92E-01	2.46E-02	5.84E-04	1.76E-02	1.73E-03	6.17E-04	1.95E-02	1.96E-03
1.98	1.59E-02	1.90E-01	2.57E-02	4.20E-04	1.71E-02	1.65E-03	3.42E-04	1.87E-02	1.94E-03
2	1.68E-02	1.87E-01	2.68E-02	2.74E-04	1.65E-02	1.51E-03	5.67E-05	1.78E-02	1.84E-03



Gambar 4.10 Grafik *sway* pada saat kondisi *free floating*

Dari data diatas, nilai puncak untuk 90% *Load Condition* pada saat *sway* ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 0.33 m/m; 90°, 0.53 m/m; dan untuk 135°, 0.33 m/m. Untuk 80% *Load Condition*, ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 0.37 m/m; 90°, 0.59 m/m; dan untuk 135°, 0.37 m/m. Untuk 70% *Load Condition*, ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 0.33 m/m; 90°, 0.53 m/m; dan untuk 135°, 0.33 m/m.

4.2.1.3 Heave

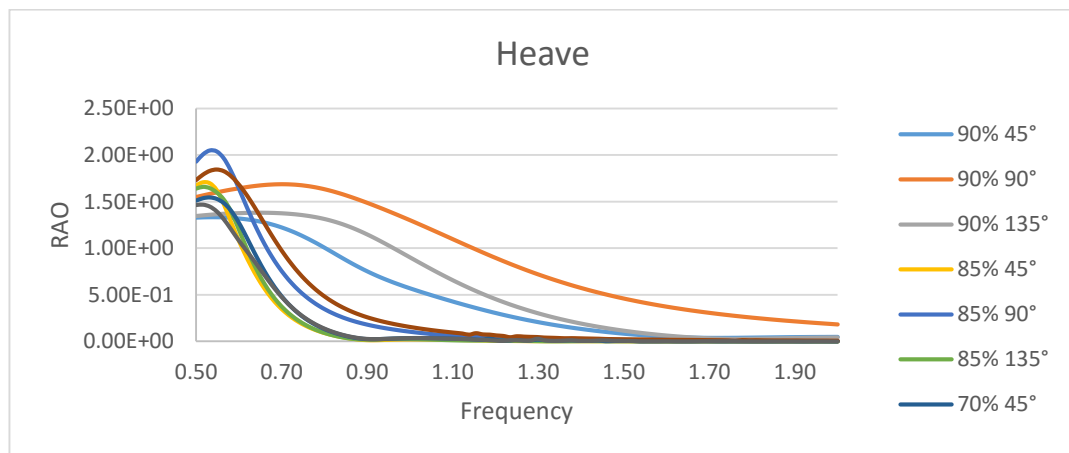
Hasil simulasi *heave* menggunakan ANSYS pada saat *heave* dapat dilihat pada tabel 4.12 berikut ini.

Tabel 4.13 Hasil Simulasi *heave free floating*

Heave	90% Load Condition			85% Load Condition			70% Load Condition		
	45°	90°	135°	45°	90°	135°	45°	90°	135°
0.5	1.33E+00	1.55E+00	1.35E+00	1.68E+00	1.93E+00	1.64E+00	1.51E+00	1.73E+00	1.46E+00
0.52	1.33E+00	1.57E+00	1.35E+00	1.71E+00	2.01E+00	1.66E+00	1.54E+00	1.79E+00	1.47E+00
0.53	1.33E+00	1.58E+00	1.36E+00	1.70E+00	2.05E+00	1.64E+00	1.55E+00	1.83E+00	1.45E+00
0.55	1.33E+00	1.60E+00	1.37E+00	1.62E+00	2.04E+00	1.60E+00	1.53E+00	1.84E+00	1.40E+00
0.56	1.33E+00	1.61E+00	1.37E+00	1.48E+00	1.97E+00	1.53E+00	1.49E+00	1.83E+00	1.31E+00

-
-
-

1.95	4.50E-02	1.95E-01	3.77E-02	1.49E-04	2.83E-03	2.92E-04	1.02E-03	5.65E-03	7.24E-04
1.97	4.53E-02	1.90E-01	3.85E-02	1.18E-04	2.71E-03	2.87E-04	7.96E-04	5.51E-03	7.96E-04
1.98	4.56E-02	1.84E-01	3.93E-02	8.95E-05	2.59E-03	2.85E-04	3.68E-04	5.05E-03	5.06E-04
2	4.59E-02	1.79E-01	4.01E-02	6.75E-05	2.48E-03	2.85E-04	3.85E-04	4.69E-03	2.90E-04



Gambar 4.11 Grafik *heave* pada saat kondisi *free floating*

Dari data diatas, nilai puncak untuk 90% *Load Condition* pada saat *heave* ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 1.33 m/m; 90°, 1.68 deg/m; dan untuk 135°, 1.38 m/m. Untuk 80% *Load Condition*, ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 1.71 m/m; 90°, 2.05 deg/m; dan untuk 135°, 1.66 m/m. Untuk 70% *Load Condition*, ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 1.55 m/m; 90°, 1.84 deg/m; dan untuk 135°, 1.47 m/m.

4.2.1.4 Roll

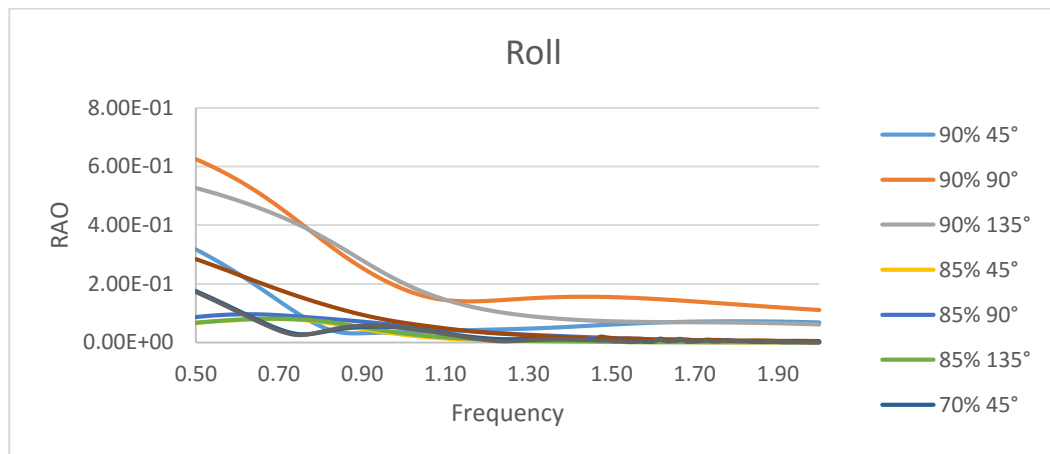
Hasil simulasi *roll* menggunakan ANSYS pada saat *heave* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.14 Hasil Simulasi *roll free floating*

Roll	90% Load Condition			85% Load Condition			70% Load Condition		
	45°	90°	135°	45°	90°	135°	45°	90°	135°
0.5	3.16E-01	6.24E-01	5.26E-01	6.67E-02	8.63E-02	6.74E-02	1.75E-01	2.84E-01	1.71E-01
0.52	3.05E-01	6.15E-01	5.20E-01	6.87E-02	8.85E-02	6.93E-02	1.65E-01	2.76E-01	1.61E-01
0.53	2.92E-01	6.04E-01	5.14E-01	7.05E-02	9.04E-02	7.11E-02	1.55E-01	2.68E-01	1.51E-01
0.55	2.80E-01	5.93E-01	5.07E-01	7.22E-02	9.21E-02	7.29E-02	1.44E-01	2.60E-01	1.40E-01

-
-

1.95	6.98E-02	1.15E-01	6.40E-02	1.62E-04	3.40E-03	1.64E-04	1.46E-03	5.27E-03	1.15E-03
1.97	6.93E-02	1.13E-01	6.33E-02	1.17E-04	3.25E-03	1.66E-04	1.13E-03	4.94E-03	8.63E-04
1.98	6.88E-02	1.12E-01	6.26E-02	7.71E-05	3.11E-03	1.55E-04	3.60E-04	4.68E-03	1.11E-03
2	6.82E-02	1.10E-01	6.19E-02	4.29E-05	2.97E-03	1.34E-04	4.36E-04	4.42E-03	1.26E-03



Gambar 4.12 Grafik *roll* pada saat kondisi *free floating*

Dari data diatas, nilai puncak untuk 90% *Load Condition* ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 0.32 deg/m; 90°, 0.62 deg/m; dan untuk 135°, 0.53 deg/m. Untuk 80% *Load Condition*, ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 0.08 deg/m; 90°, 0.1 deg/m; dan untuk 135°, 0.08 deg/m. Untuk 70% *Load Condition*, ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 0.17 deg/m; 90°, 0.28 m/m; dan untuk 135°, 0.17 deg/m.

4.2.1.5 Pitch

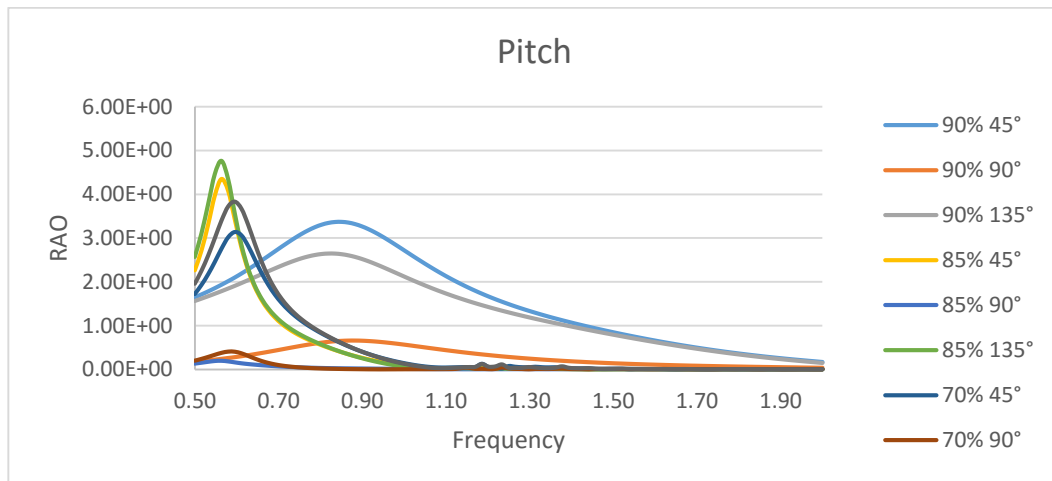
Hasil simulasi *pitch* menggunakan ANSYS pada saat *heave* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.15 Hasil Simulasi *pitch free floating*

Pitch	90% Load Condition			85% Load Condition			70% Load Condition		
	45°	90°	135°	45°	90°	135°	45°	90°	135°
0.5	1.64E+00	1.81E-01	1.56E+00	2.26E+00	1.36E-01	2.57E+00	1.72E+00	1.99E-01	1.96E+00
0.52	1.71E+00	1.95E-01	1.61E+00	2.71E+00	1.56E-01	3.11E+00	1.93E+00	2.39E-01	2.25E+00
0.53	1.78E+00	2.10E-01	1.67E+00	3.31E+00	1.78E-01	3.78E+00	2.17E+00	2.84E-01	2.60E+00
0.55	1.85E+00	2.27E-01	1.73E+00	3.97E+00	1.96E-01	4.46E+00	2.45E+00	3.32E-01	3.00E+00
0.56	1.93E+00	2.45E-01	1.79E+00	4.35E+00	2.01E-01	4.76E+00	2.76E+00	3.77E-01	3.40E+00

-
-

1.95	2.07E-01	4.77E-02	1.87E-01	5.64E-04	1.53E-03	9.30E-04	4.17E-03	4.86E-03	1.36E-03
1.97	1.94E-01	4.58E-02	1.74E-01	6.24E-04	1.49E-03	9.16E-04	2.77E-03	3.85E-03	1.65E-03
1.98	1.81E-01	4.39E-02	1.61E-01	6.54E-04	1.44E-03	8.90E-04	1.32E-03	2.80E-03	2.93E-03
2	1.67E-01	4.20E-02	1.47E-01	6.53E-04	1.39E-03	8.63E-04	1.99E-03	3.52E-03	3.02E-03



Gambar 4.13 Grafik *roll* pada saat kondisi *free floating*

Dari data diatas, nilai puncak untuk 90% *Load Condition* ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 3.37 deg/m; 90°, 0.66 deg/m; dan untuk 135°, 2.64 deg/m. Untuk 80% *Load Condition*, ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 4.35 deg/m; 90°, 0.2 deg/m; dan untuk 135°, 4.76 deg/m. Untuk 70% *Load Condition*, ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 3.14 deg/m; 90°, 0.4 deg/m; dan untuk 135°, 3.83 deg/m.

4.2.1.6 Yaw

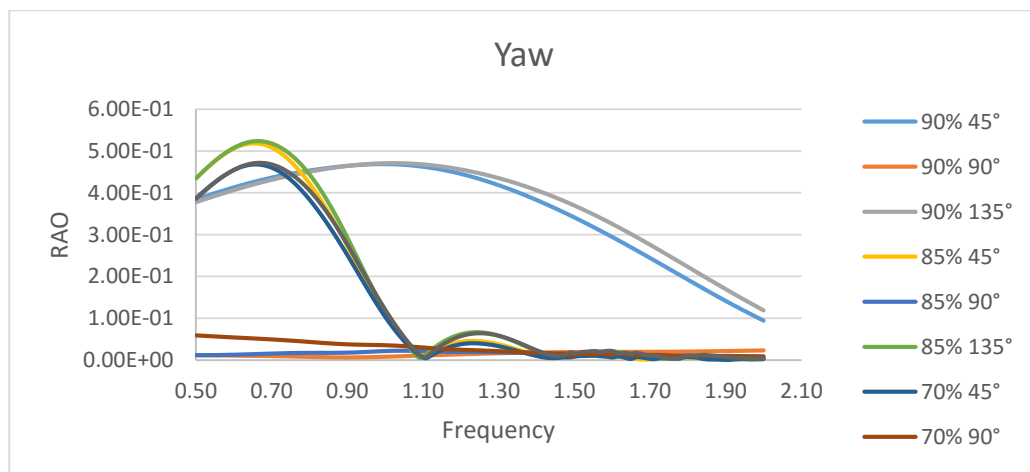
Hasil simulasi *yaw* menggunakan ANSYS pada saat *heave* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.16 Hasil Simulasi *yaw free floating*

Yaw	90% Load Condition			85% Load Condition			70% Load Condition		
	45°	90°	135°	45°	90°	135°	45°	90°	135°
0.5	3.85E-01	1.18E-02	3.78E-01	4.35E-01	1.12E-02	4.35E-01	3.87E-01	5.89E-02	3.86E-01
0.52	3.89E-01	1.16E-02	3.82E-01	4.49E-01	1.13E-02	4.49E-01	4.00E-01	5.81E-02	3.99E-01
0.53	3.94E-01	1.14E-02	3.87E-01	4.62E-01	1.14E-02	4.62E-01	4.13E-01	5.72E-02	4.11E-01
0.55	3.99E-01	1.12E-02	3.92E-01	4.74E-01	1.15E-02	4.75E-01	4.24E-01	5.65E-02	4.23E-01

-
-

1.95	1.17E-01	2.25E-02	1.43E-01	2.64E-03	8.49E-03	2.07E-03	2.97E-03	8.98E-03	3.89E-03
1.97	1.09E-01	2.28E-02	1.34E-01	3.02E-03	8.38E-03	1.19E-03	3.01E-03	8.74E-03	3.29E-03
1.98	1.02E-01	2.31E-02	1.26E-01	3.23E-03	8.28E-03	1.47E-03	2.97E-03	8.60E-03	3.02E-03
2	9.46E-02	2.33E-02	1.18E-01	3.26E-03	8.16E-03	2.38E-03	2.97E-03	8.42E-03	3.38E-03

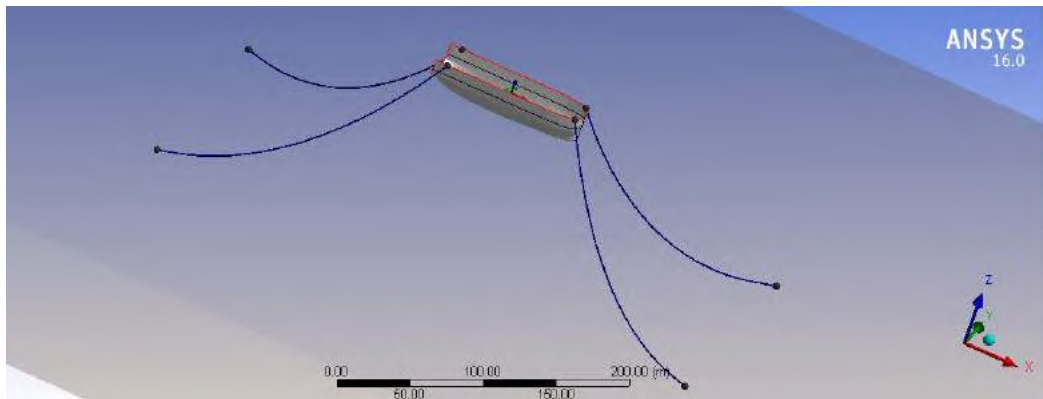


Gambar 4.14 Grafik *yaw* pada saat kondisi free floating

Dari data diatas, nilai puncak untuk 90% *Load Condition* ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 0.47 deg/m; 90°, 0.02 deg/m; dan untuk 135°, 0.47 deg/m. Untuk 80% *Load Condition*, ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 0.52 deg/m; 90°, 0.02 deg/m; dan untuk 135°, 0.52 deg/m. Untuk 70% *Load Condition*, ada 3, yaitu untuk sudut arah datang gelombang 45°, 0.47 deg/m; 90°, 0.06 m/m; dan untuk 135°, 0.47 deg/m.

4.2.2 Response Amplitudo Operator (RAO) FSU dengan Kondisi Tertambat (*Moored*)

Dalam tahap simulasi ini, FSU diikat dan diberikan gelombang *irregular* JHONSWAP. Simulasi ini untuk membuktikan bahwa jika FSU diikat akan menjadi lebih stabil meskipun diberi gelombang *irregular*. Pada gambar 4.15 berikut ini adalah model dari FSU tertambat.



Gambar 4.15 Pemodelan FSU tertambat

Berbeda dengan simulasi *free floating* untuk simulasi ini dikelompokkan berdasarkan *Load Condition* dari tangkinya dan *heading* yang diberikan. Hal ini dilakukan agar dapat dilihat perbedaan antara gerakan translasi dan rotasi yang terjadi. Berikut adalah hasil simulasi RAO tertambat.

4.2.2.1 Heading 45° 90% Load Condition

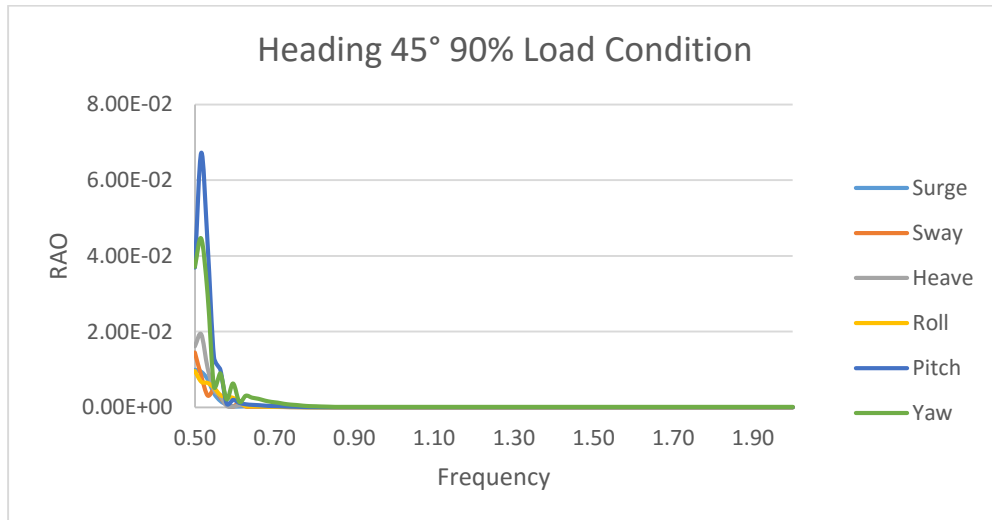
Pada simulasi ini FSU diberikan kondisi pembebanan arah 45° dengan kondisi muatan sebesar 90%. Ilustrasi simulasi ini dapat dilihat pada gambar 4.16 berikut ini.



Gambar 4.16 Kondisi pembebanan arah 45° dengan 90% *load condition*

Tabel 4.17 Hasil perhitungan RAO pada saat 45° dengan 90% *Load Condition*

	<i>Surge</i>	<i>Sway</i>	<i>Heave</i>	<i>Roll</i>	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
0.5	4.91E-02	1.45E-02	1.61E-02	9.56E-03	3.69E-02	3.71E-02
0.52	9.37E-02	8.29E-03	0.0192886	6.75E-03	6.72E-02	4.46E-02
0.53	7.42E-02	3.12E-03	1.04E-02	6.43E-03	4.32E-02	2.99E-02
0.55	3.69E-02	4.59E-03	4.70E-03	5.15E-03	1.33E-02	5.47E-03
0.56	1.68E-02	2.66E-03	3.06E-03	3.26E-03	9.99E-03	8.98E-03
0.58	7.16E-02	5.67E-04	4.43E-04	2.69E-03	9.64E-04	2.09E-03
-	-	-	-	-	-	-
1.95	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.97	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.98	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
2	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04

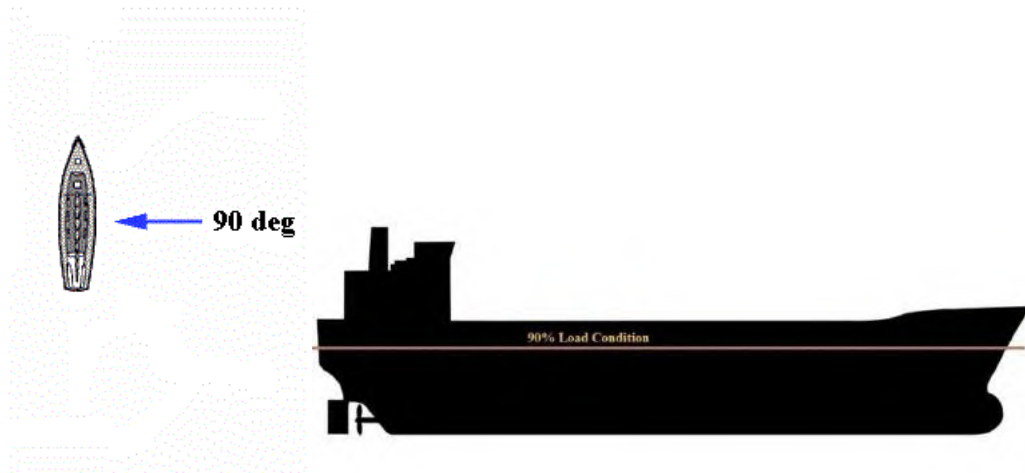


Gambar 4.17 Grafik Perhitungan RAO pada saat heading 45° dengan 90% *Load Condition*

Pada gambar 4.17, terdapat gerakan translasi dan rotasi pada saat diberikan pembebanan arah 45° dengan 90% *load condition*. Dapat dilihat diatas bahwa FSU memiliki keterbatasan untuk bergerak dan sangat berbeda saat kondisi *free floating*. Pada kondisi ini, grafik terlihat dominan naik turun meskipun dengan nilai yang sangat kecil. Pada rentang frekuensi 0.51 rad/s sampai 0.53 rad/s grafik cenderung turun. Tetapi pada rentang frekuensi 0.61 rad/s sampai 0.65 rad/s grafik cenderung kembali tenang dan stabil. Ini dikarenakan sistem tambat pada FSU sangat efektif untuk menahan gerakan kapal. Pada saat gerakan translasi, gerakan *heave* lah yang paling dominan dengan nilai 0.0196 m/m pada frekuensi 0.52 rad/s. Untuk gerakan rotasi didominasi oleh gerakan *pitch* dengan nilai sebesar 0.069 deg/m pada frekuensi 0.521 rad/s

4.2.2.2 Heading 90° 90% Load Condition

Pada simulasi ini FSU diberikan kondisi pembebanan arah 90° dengan kondisi muatan sebesar 90%. Ilustrasi simulasi ini dapat dilihat pada gambar 4.18 berikut ini.



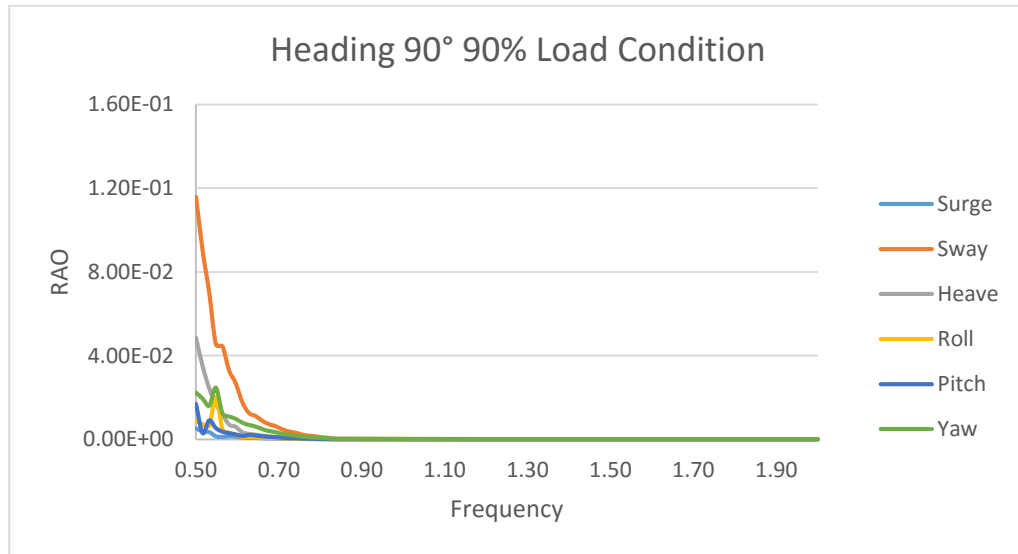
Gambar 4.18 Kondisi pembebanan arah 90° dengan 90% *load condition*

Tabel 4.18 Hasil perhitungan RAO pada saat 90° dengan 90% *Load Condition*

	<i>Surge</i>	<i>Sway</i>	<i>Heave</i>	<i>Roll</i>	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
0.5	5.19E-03	0.1158694	4.85E-02	8.74E-03	0.0168234	2.23E-02
0.52	3.63E-03	9.01E-02	3.49E-02	7.23E-03	2.96E-03	1.94E-02
0.53	3.40E-03	7.00E-02	2.43E-02	6.52E-03	9.04E-03	1.60E-02

-
-
-

1.97	5.54E-07	3.34E-05	3.25E-05	5.64E-07	1.98E-05	1.43E-06
1.98	5.54E-07	3.34E-05	3.25E-05	5.64E-07	1.98E-05	1.43E-06
2	5.54E-07	3.34E-05	3.25E-05	5.64E-07	1.98E-05	1.43E-06

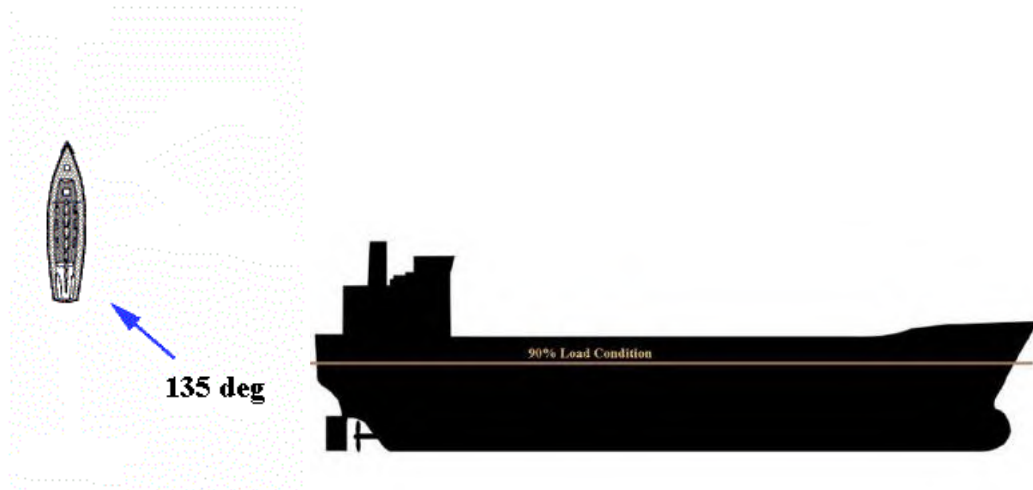


Gambar 4.19 Grafik Perhitungan RAO pada saat 90° dengan 90% *Load Condition*

Pada gambar 4.19, terdapat gerakan translasi dan rotasi pada saat diberikan pembebanan arah 90° dengan 90% *load condition*. Dapat dilihat bahwa kondisi grafik cenderung turun dengan frekuensi natural kedua gerakan translasi dan rotasi pada 0.5 rad/s. grafik cenderung turun dikarenakan sistem tambat yang dipasang pada FSU dapat meredam gerakan yang terjadi. Pada heading ini juga didominasi oleh gerakan translasi *sway* dengan nilai RAO sebesar 0.12 m/m. untuk gerakan rotasinya relatif kecil dengan nilai 0.032 deg/m pada saat kondisi *yaw*. Untuk gerakan yang lain baik rotasi dan translasi juga relatif kecil dengan kisaran nilai RAO 0.01 – 0.043. pada frekuensi 0.55 rad/s, grafik cenderung turun dan terus menerus turun. Semakin tinggi nilai frekuensi semakin kecil gerakan yang terjadi dan amplitudo gelombang juga semakin kecil sehingga akan memberikan efek FSU bergerak pada air yang relatif tenang.

4.2.2.3 Heading 135° 90% Load Condition

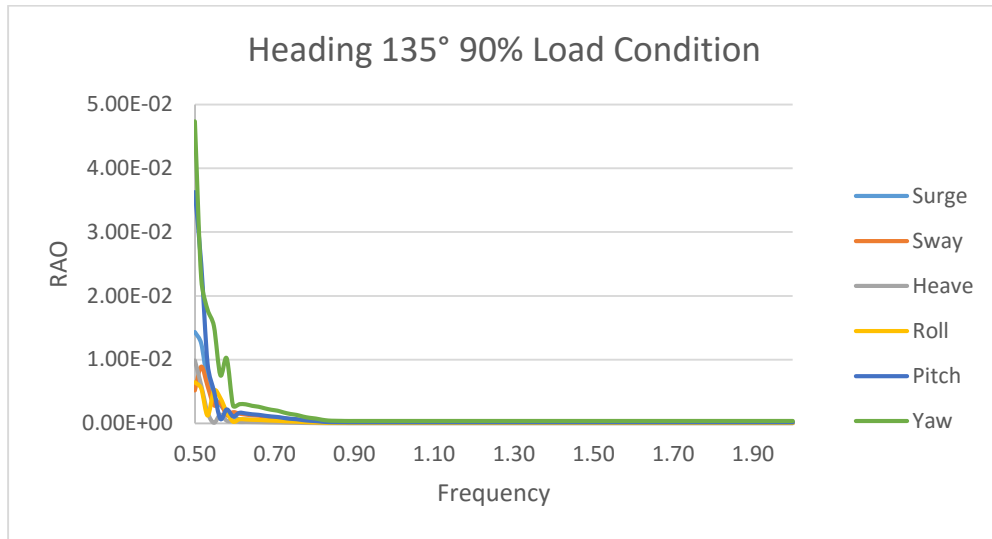
Pada simulasi ini FSU diberikan kondisi pembebanan arah 135° dengan kondisi muatan sebesar 90%. Ilustrasi simulasi ini dapat dilihat pada gambar 4.20 berikut ini.



Gambar 4.20 Kondisi pembebanan arah 135° dengan 90% *load condition*

Tabel 4.19 Hasil perhitungan RAO pada saat 135° dengan 90% *Load Condition*

	<i>Surge</i>	<i>Sway</i>	<i>Heave</i>	<i>Roll</i>	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
0.5	1.43E-02	5.16E-03	9.84E-03	6.45E-03	3.63E-02	4.74E-02
0.52	1.25E-02	8.89E-03	5.95E-03	5.49E-03	2.50E-02	2.27E-02
0.53	6.56E-03	5.84E-03	1.71E-03	1.23E-03	9.34E-03	1.78E-02
-	-	-	-	-	-	-
1.97	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.98	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
2	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04

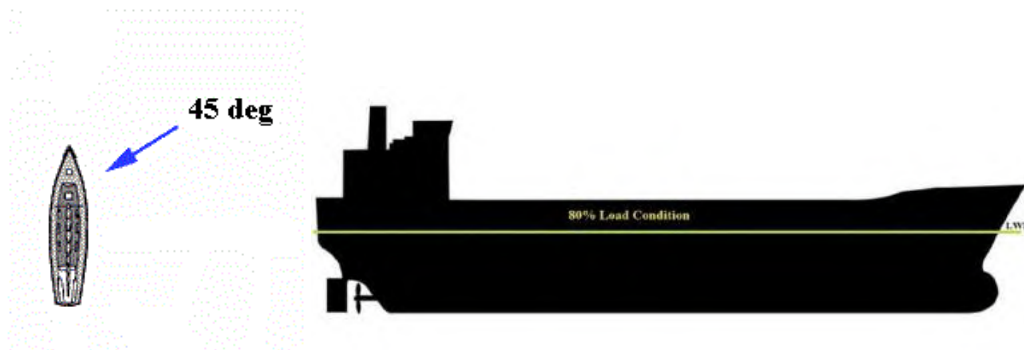


Gambar 4.21 Grafik Perhitungan RAO pada saat 135° dengan 90% *Load Condition*

Pada gambar 4.21, terdapat gerakan translasi dan rotasi pada saat diberikan pembebanan arah 135° dengan 90% *load condition*. Kondisi pembebanan ini didominasi oleh gerakan *yaw* dengan nilai 0.0493 deg/m pada frekuensi 0.5 rad/s. grafik cenderung turun pada frekuensi 0.564 rad/s dan kembali naik lalu turun lagi. Hal ini membuktikan bahwa sistem mooring yang dipasang sangatlah efektif untuk meredam gerakan yang terjadi. Bila gerakan rotasi didominasi oleh gerakan *yaw*, pada gerakan translasi didominasi oleh gerakan surge dengan nilai RAO sebesar 0.0151 m/m pada frekuensi 0.5 rad/s. grafik pada gerakan ini juga sama naik turun dan cenderung stabil setelah pada frekuensi 0.609 rad/s. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi nilai frekuensi semakin kecil gerakan yang terjadi dan amplitudo gelombang juga semakin kecil sehingga akan memberikan efek FSU bergerak pada air yang relatif tenang.

4.2.2.4 Heading 45° 80% Load Condition

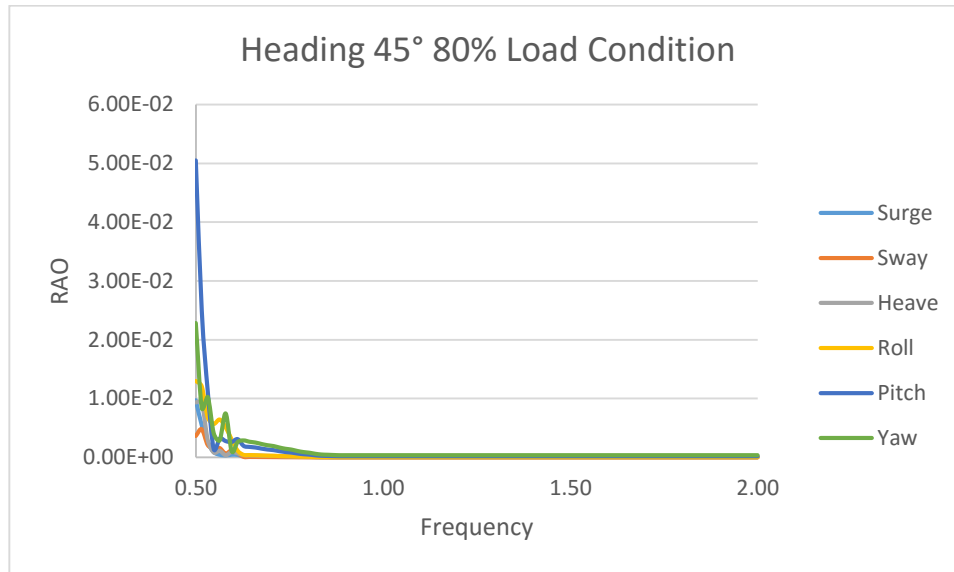
Pada simulasi ini FSU diberikan kondisi pembebanan arah 45° dengan kondisi muatan sebesar 80%. Ilustrasi simulasi ini dapat dilihat pada gambar 4.22 berikut ini.



Gambar 4.22 Kondisi pembebanan arah 45° dengan 80% load condition

Tabel 4.20 Hasil perhitungan RAO pada saat 45° dengan 80% Load Condition

	<i>Surge</i>	<i>Sway</i>	<i>Heave</i>	<i>Roll</i>	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
0.5	9.72E-03	3.64E-03	9.35E-03	1.30E-02	5.05E-02	2.28E-02
0.52	5.45E-03	4.77E-03	9.35E-03	1.21E-02	0.0249398	8.37E-03
0.53	2.58E-03	2.11E-03	2.95E-03	6.83E-03	1.13E-02	1.03E-02
-	-	-	-	-	-	-
1.95	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.97	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.98	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
2	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04

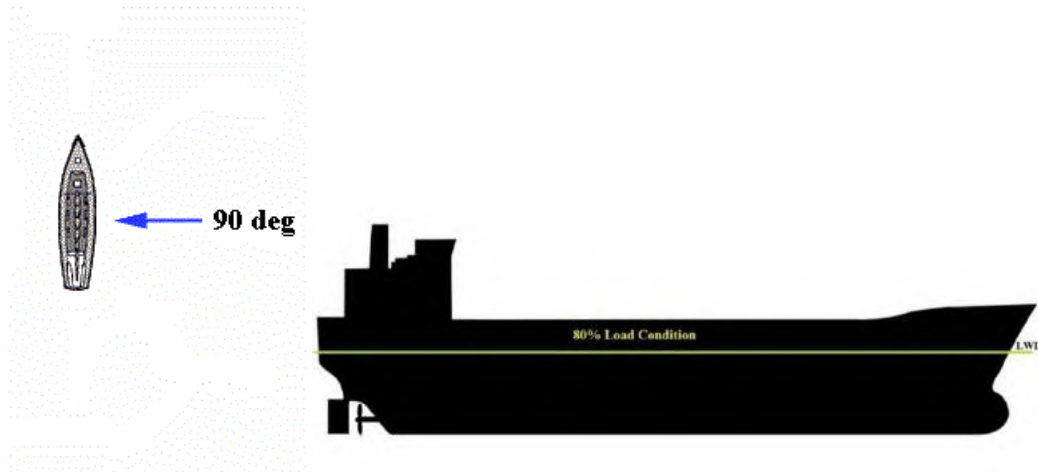


Gambar 4.23 Grafik Perhitungan RAO pada saat 45° dengan 80% *Load Condition*

Pada gambar 4.23, terdapat gerakan translasi dan rotasi pada saat diberikan pembebanan arah 45° dengan 80% *load condition*. Kondisi pembebanan ini didominasi oleh gerakan *pitch* dengan nilai 0.0503 deg/m pada frekuensi 0.5 rad/s. Grafik cenderung turun pada frekuensi 0.51 rad/s dan kembali naik lalu turun lagi. Berbeda dengan heading yang lain, pada pembebanan ini, gerakan FSU cenderung kecil setelah frekuensi 0.52 rad/s. setelah mengalami beberapa naik turun yang tidak seberapa signifikan, grafik kembali menjadi stabil ke titik 0. Hal ini membuktikan bahwa *mooring* pada FSU sangatlah efektif untuk meredam gerakan yang terjadi. Pada pembebanan ini juga membuktikan bahwa semakin tinggi nilai frekuensinya semakin kecil amplitudo gelombang yang terjadi yang mengakibatkan semakin kecilnya nilai RAO dari FSU.

4.2.2.5 Heading 90° 80% Load Condition

Pada simulasi ini FSU diberikan kondisi pembebanan arah 90° dengan kondisi muatan sebesar 80%. Ilustrasi simulasi ini dapat dilihat pada gambar 4.24 berikut ini.



Gambar 4.24 Kondisi pembebanan arah 90° dengan 80% *load condition*

Tabel 4.21 Hasil perhitungan RAO pada saat 90° dengan 80% *Load Condition*

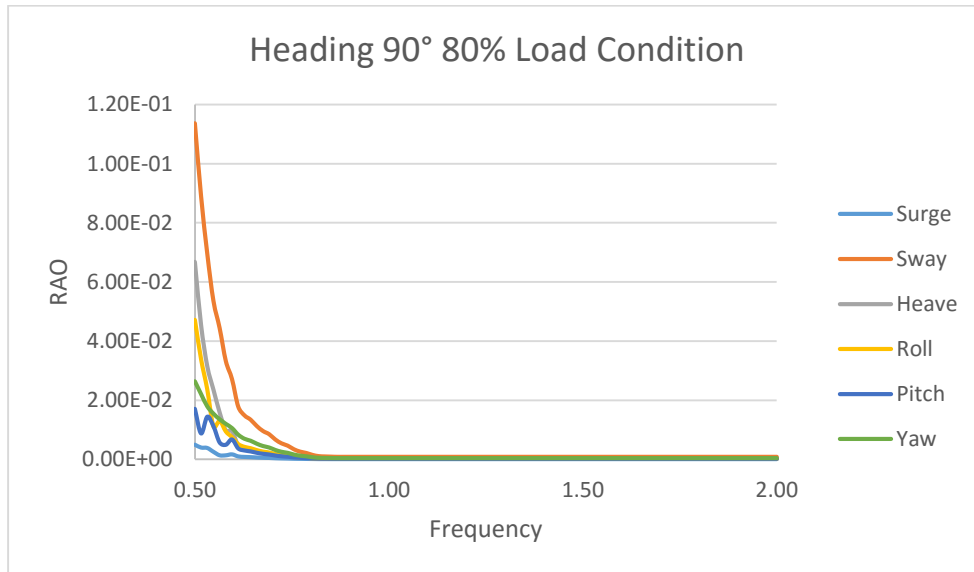
	<i>Surge</i>	<i>Sway</i>	<i>Heave</i>	<i>Roll</i>	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
0.5	4.96E-03	0.1136289	6.68E-02	4.72E-02	1.71E-02	2.64E-02
0.52	3.99E-03	0.0890163	4.55E-02	3.39E-02	8.77E-03	2.21E-02
0.53	3.84E-03	6.96E-02	3.16E-02	2.37E-02	0.0144248	1.80E-02

-

-

-

1.97	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.98	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
2	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04

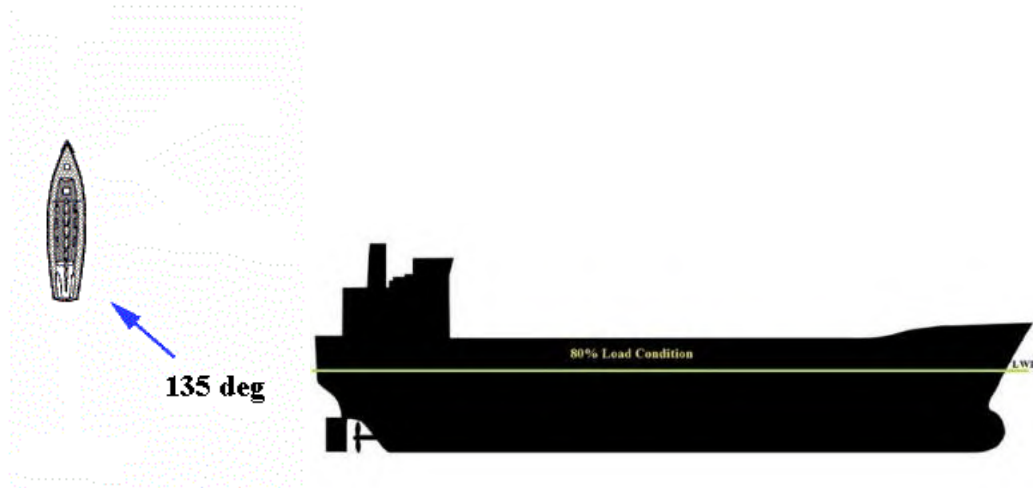


Gambar 4.25 Grafik Perhitungan RAO pada saat 90° dengan 80% *Load Condition*

Pada gambar 4.25 dijelaskan bahwa RAO terbesar didominasi oleh gerakan translasi saat *sway* sebesar 0.1897 m/m saat frekuensi 0.5 rad/s. selain gerakan *sway*, gerakan dominan lainnya adalah gerakan *heave* dengan RAO sebesar 0.0612 m/m pada saat frekuensi 0.5 rad/s. dari gambar 4.25 juga dapat disimpulkan bahwa gerakan kapal cenderung stabil saat mencapai frekuensi 0.814 rad/s. untuk gerakan *pitch* sempat naik turun dengan nilai RAO yang relatif kecil lalu kembali stabil saat mencapai frekuensi 0.67 rad/s. Pada saat RAO mencapai titik 0, dibuktikan bahwa sistem *mooring* pada FSU sangat efektif dalam meredam gerakan FSU dari gelombang *irregular*. Hal ini juga membuktikan bahwa semakin besar frekuensi maka semakin kecil amplitudo gelombang yang terjadi dan menyebabkan gerakan FSU sangatlah tenang seperti berada di perairan yang relatif datar.

4.2.2.6 Heading 135° 80% Load Condition

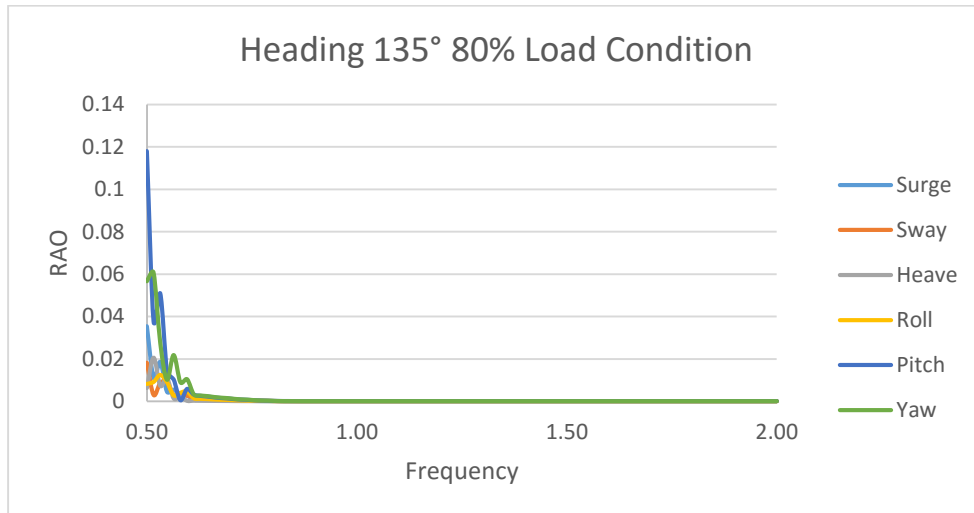
Pada simulasi ini FSU diberikan kondisi pembebanan arah 135° dengan kondisi muatan sebesar 80%. Ilustrasi simulasi ini dapat dilihat pada gambar 4.26 berikut ini.



Gambar 4.26 Kondisi pembebanan arah 135° dengan 80% load condition

Tabel 4.22 Hasil perhitungan RAO pada saat 135° dengan 80% Load Condition

	<i>Surge</i>	<i>Sway</i>	<i>Heave</i>	<i>Roll</i>	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
0.5	0.0353869	1.82E-02	6.29E-03	8.22E-03	0.1180438	5.67E-02
0.52	1.10E-02	3.03E-03	2.07E-02	9.16E-03	3.79E-02	6.07E-02
0.53	1.85E-02	8.69E-03	7.32E-03	1.25E-02	5.09E-02	2.76E-02
-						
-						
-						
1.97	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.98	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
2	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04

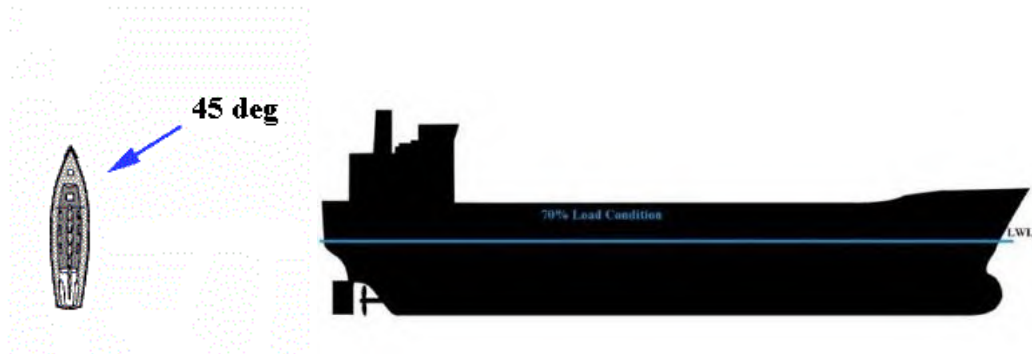


Gambar 4.27 Grafik Perhitungan RAO pada saat 135° dengan 80% *Load Condition*

Pada gambar 4.27 dijelaskan bahwa RAO terbesar didominasi oleh gerakan rotasi saat *pitch* sebesar 0.12 deg/m. Pada pembebanan ini didapatkan nilai RAO dari *pitch* yang relatif besar dibandingkan dengan nilai RAO gerakan lain. Pada gerakan *yaw*, nilai RAO yang terjadi adalah 0.598 deg/m. Pada gambar 4.27 juga dapat disimpulkan bahwa pada pembebanan ini FSU akan bergerak stabil pada frekuensi 0.598 rad/s dimana pada frekuensi ini nilai RAO cenderung menuju titik 0. Dapat dilihat pula titik puncak dari masing masing gerakan terletak antara frekuensi 0.5-0.63 rad/s. Pada saat RAO mencapai titik 0, dibuktikan bahwa sistem *mooring* pada FSU sangat efektif dalam meredam gerakan FSU dari gelombang *irregular*. Hal ini juga membuktikan bahwa semakin besar frekuensi maka semakin kecil amplitudo gelombang yang terjadi dan menyebabkan gerakan FSU sangatlah tenang seperti berada di perairan yang relatif datar.

4.2.2.7 Heading 45° 70% Load Condition

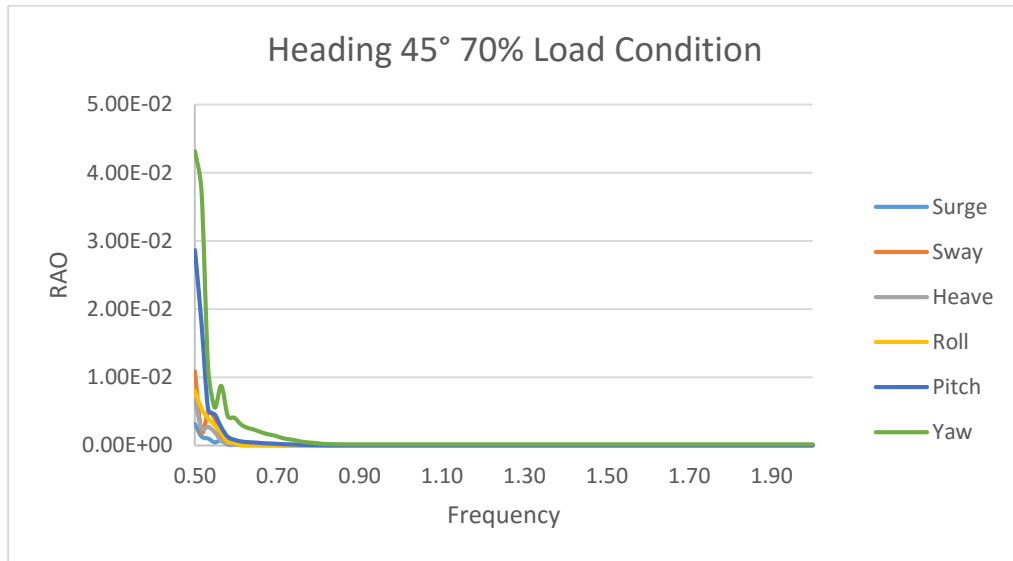
Pada simulasi ini FSU diberikan kondisi pembebanan arah 45° dengan kondisi muatan sebesar 70%. Ilustrasi simulasi ini dapat dilihat pada gambar 4.28 berikut ini.



Gambar 4.28 Kondisi pembebanan arah 45° dengan 70% load condition

Tabel 4.23 Hasil perhitungan RAO pada saat 135° dengan 80% Load Condition

	<i>Surge</i>	<i>Sway</i>	<i>Heave</i>	<i>Roll</i>	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
0.5	3.13E-03	1.09E-02	6.68E-03	7.96E-03	2.86E-02	4.32E-02
0.52	1.30E-03	2.03E-03	2.49E-03	5.45E-03	1.79E-02	3.73E-02
0.53	1.00E-03	4.80E-03	2.73E-03	3.98E-03	5.30E-03	1.14E-02
1.97	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.98	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
2	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04

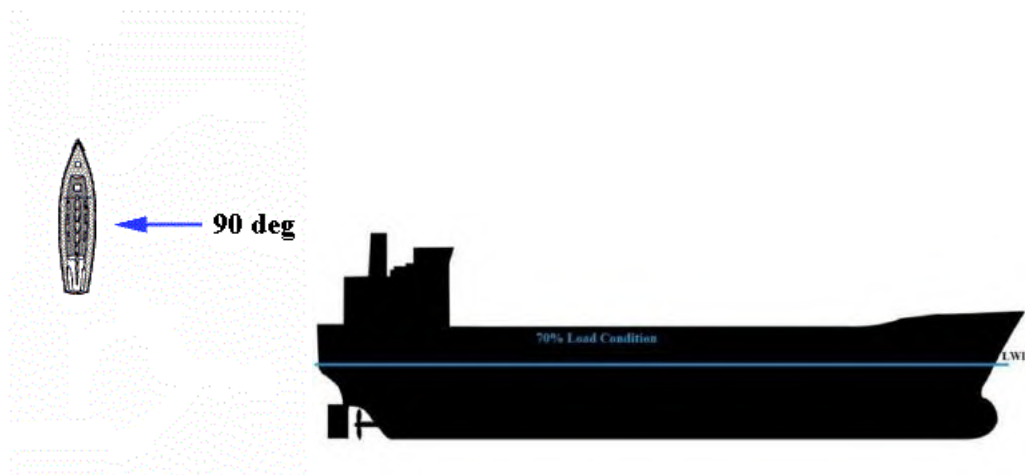


Gambar 4.29 Grafik Perhitungan RAO pada saat 45° dengan 70% *Load Condition*

Pada gambar 4.29 dijelaskan bahwa RAO terbesar didominasi oleh gerakan rotasi saat yaw sebesar 0.0434 deg/m. Pada pembebanan ini didapatkan nilai RAO dari *pitch* yang relatif besar dibandingkan dengan nilai RAO gerakan lain. Pada gerakan *pitch*, nilai RAO yang terjadi adalah 0.029 deg/m. Pada gambar 4.27 juga dapat disimpulkan bahwa pada pembebanan ini FSU akan bergerak stabil pada frekuensi 0.78 rad/s dimana pada frekuensi ini nilai RAO cenderung menuju titik 0. Dapat dilihat pula titik puncak dari masing masing gerakan terletak antara frekuensi 0.5-0.6 rad/s. Pada saat RAO mencapai titik 0, dibuktikan bahwa sistem *mooring* pada FSU sangat efektif dalam meredam gerakan FSU dari gelombang *irregular*. Hal ini juga membuktikan bahwa semakin besar frekuensi maka semakin kecil amplitudo gelombang yang terjadi dan menyebabkan gerakan FSU sangatlah tenang seperti berada di perairan yang relatif datar.

4.2.2.8 Heading 90° 70% Load Condition

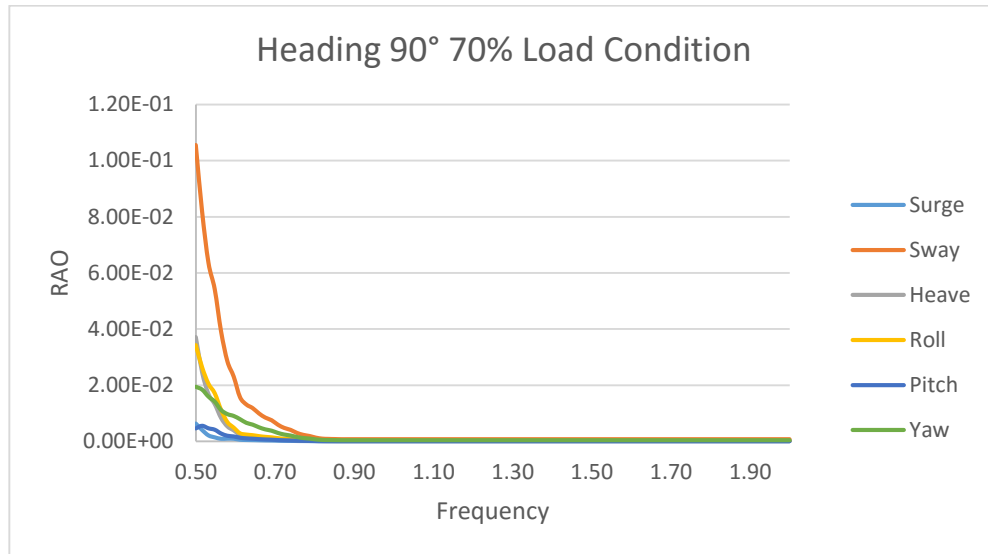
Pada simulasi ini FSU diberikan kondisi pembebanan arah 90° dengan kondisi muatan sebesar 70%. Ilustrasi simulasi ini dapat dilihat pada gambar 4.30 berikut ini.



Gambar 4.30 Kondisi pembebanan arah 90° dengan 70% load condition

Tabel 4.24 Hasil perhitungan RAO pada saat 90° dengan 70% Load Condition

	<i>Surge</i>	<i>Sway</i>	<i>Heave</i>	<i>Roll</i>	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
0.5	6.35E-03	0.1056243	3.72E-02	3.43E-02	4.66E-03	1.95E-02
0.52	4.04E-03	0.0818734	2.47E-02	2.64E-02	5.58E-03	1.84E-02
0.53	2.11E-03	6.37E-02	1.69E-02	0.020537	4.68E-03	1.59E-02
	-	-	-	-	-	-
1.97	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.98	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
2	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04

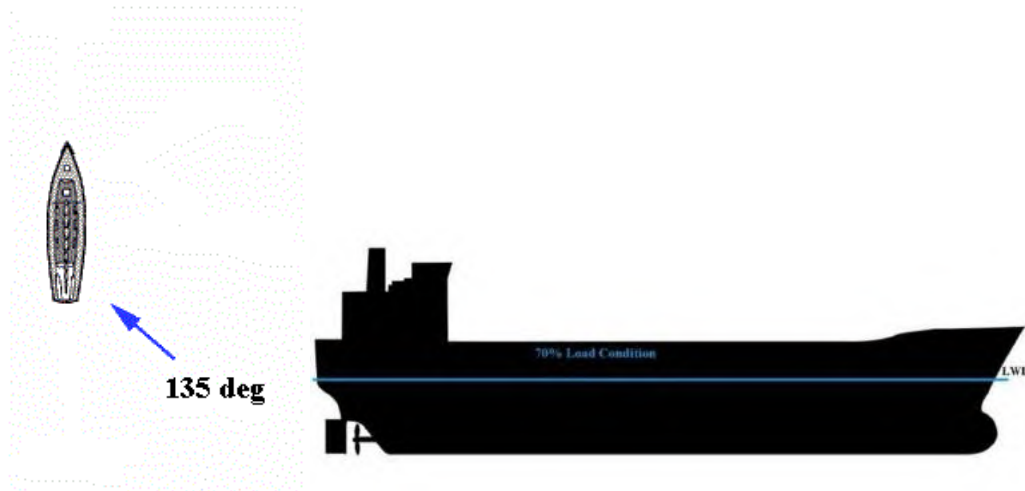


Gambar 4.31 Grafik Perhitungan RAO pada saat 90° dengan 70% *Load Condition*

Pada gambar 4.31 dijelaskan bahwa RAO terbesar didominasi oleh gerakan translasi saat *sway* sebesar 0.141 m/m. Pada gambar 4.27 juga dapat disimpulkan bahwa pada pembebanan ini FSU akan bergerak stabil pada frekuensi 0.81 rad/s dimana pada frekuensi ini nilai RAO cenderung menuju titik 0. Dapat dilihat pula titik puncak dari masing masing gerakan terletak antara frekuensi 0.5-0.6 rad/s. Pada saat RAO mencapai titik 0, dibuktikan bahwa sistem *mooring* pada FSU sangat efektif dalam meredam gerakan FSU dari gelombang *irregular*. Hal ini juga membuktikan bahwa semakin besar frekuensi maka semakin kecil amplitudo gelombang yang terjadi dan menyebabkan gerakan FSU sangatlah tenang seperti berada di perairan yang relatif datar.

4.2.2.9 Heading 135° 70% Load Condition

Pada simulasi ini FSU diberikan kondisi pembebanan arah 135° dengan kondisi muatan sebesar 70%. Ilustrasi simulasi ini dapat dilihat pada gambar 4.32 berikut ini.



Gambar 4.32 Kondisi pembebanan arah 135° dengan 70% load condition

Tabel 4.25 Hasil perhitungan RAO pada saat 135° dengan 70% Load Condition

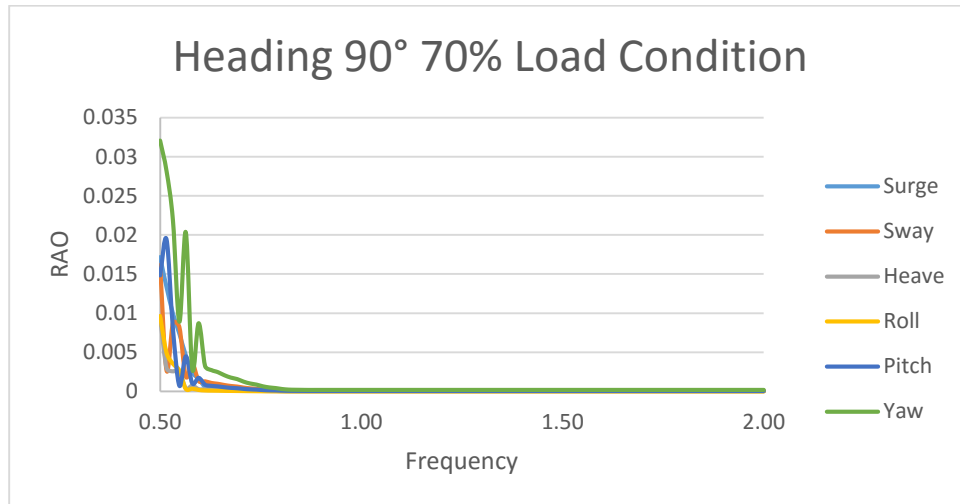
	<i>Surge</i>	<i>Sway</i>	<i>Heave</i>	<i>Roll</i>	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
0.5	0.0171553	1.61E-02	9.47E-03	9.64E-03	1.48E-02	3.21E-02
0.52	1.33E-02	2.68E-03	2.96E-03	4.94E-03	1.94E-02	2.82E-02
0.53	9.95E-03	8.76E-03	2.56E-03	3.54E-03	7.97E-03	2.18E-02

-

-

-

1.97	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.98	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
2	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04



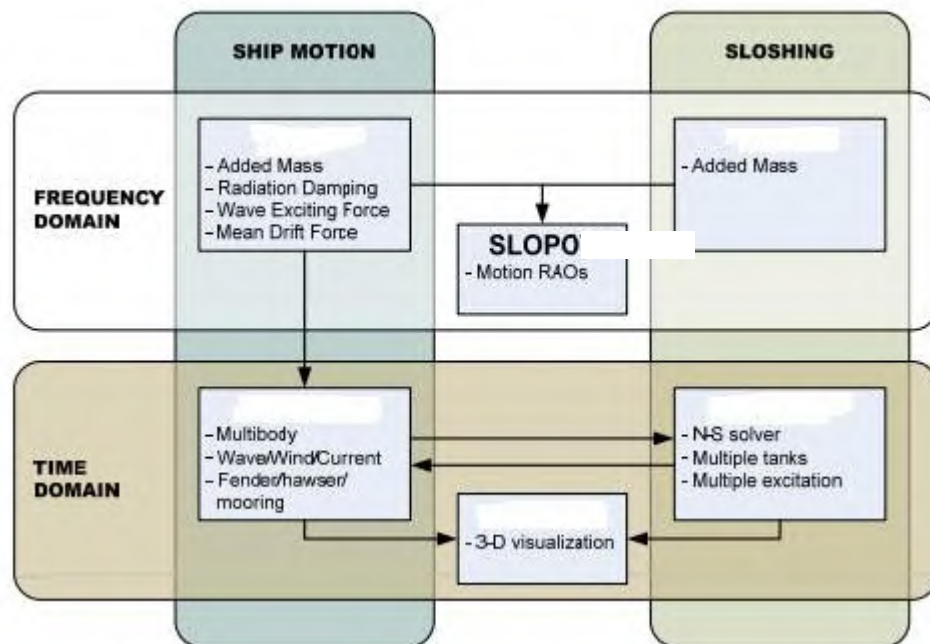
Gambar 4.33 Grafik Perhitungan RAO pada saat 135° dengan 70% *Load Condition*

Pada gambar 4.33 dijelaskan bahwa RAO terbesar didominasi oleh gerakan rotasi saat *yaw* sebesar 0.0347 m/m. Pada gambar 4.27 juga dapat disimpulkan bahwa pada pembebanan ini FSU akan bergerak stabil pada frekuensi 0.8 rad/s dimana pada frekuensi ini nilai RAO cenderung menuju titik 0. Dapat dilihat pula titik puncak dari masing masing gerakan terletak antara frekuensi 0.5-0.7 rad/s. Pada saat RAO mencapai titik 0, dibuktikan bahwa sistem *mooring* pada FSU sangat efektif dalam meredam gerakan FSU dari gelombang irregular. Hal ini juga membuktikan bahwa semakin besar frekuensi maka semakin kecil amplitudo gelombang yang terjadi dan menyebabkan gerakan FSU sangatlah tenang seperti berada di perairan yang relatif datar.

4.3 Perhitungan *Sloshing* dengan RAO Tertambat

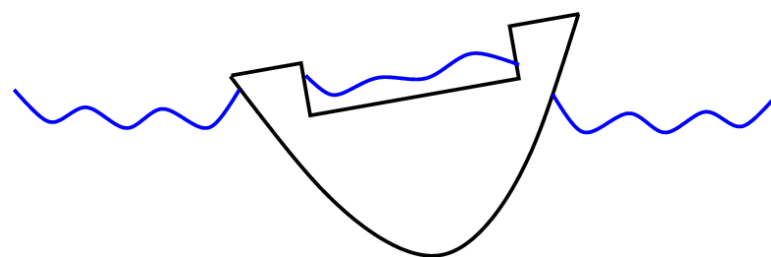
Perhitungan ini menggunakan sistem *cartesian coordinate* yang ada pada *input* ANSYS untuk membuat fluida bergerak. Berbeda dengan kebanyakan anggapan orang jika simulasi *sloshing* pada *software* wadah fluidanya akan bergerak sesuai kehendak kita tetapi tidak pada ANSYS CFX, fluida yang bergerak sedangkan wadahnya tetap diam. Dengan tidak Bergeraknya wadah, maka harus ada persamaan yang menghubungkan pergerakan wadah yang diakibatkan pergerakan

kapal dengan fluida. Pada gambar 4.34 ini adalah ilustrasi hubungan antara *ship motion* dengan *sloshing*.



Gambar 4.34 Hubungan antara *sloshing* dengan *ship motion* (Lee, 2008)

Percepatan yang dibutuhkan *liquid* pada tangki, diperoleh dari RAO tertinggi pada saat kondisi tertambat. Pada saat kondisi tertambat inilah, *splash zone* dari *liquid* pada tangki lah yang dicari. Karena splash amplitudo mempunyai besar amplitudo yang sama dengan gelombang yang mengenai FSU. Untuk lebih jelasnya ilustrasi dapat dilihat pada gambar 4.35 berikut ini.



Gambar 4.35 Ilustrasi amplitudo gelombang laut dan gelombang *sloshing* pada kapal

Dapat dilihat pada gambar 4.35, bahwa amplitudo gelombang yang terjadi pada dalam tangki kapal hampir mirip dengan amplitudo gelombang yang membuat

kapal tersebut bergerak. Pada ANSYS CFX, diperlukan percepatan liquid yang dipengaruhi oleh amplitudo gelombang yang terjadi. Yang perlu diperhatikan disini adalah hubungan antara percepatan dengan amplitudo gelombang yang terjadi. Untuk menginput percepatan pada ANSYS AQWA, dibutuhkan hasil RAO tertinggi pada saat kondisi tertambat.

Tabel 4.26 Nilai Maksimum RAO FSU pada saat kondisi *moored*

<i>Load Condition</i>	<i>Heading</i>	<i>Surge (m/m)</i>	<i>Sway (m/m)</i>	<i>Heave (m/m)</i>	<i>Roll (deg/m)</i>	<i>Pitch (deg/m)</i>	<i>Yaw (deg/m)</i>
90%	45°	9.90E-03	1.50E-02	1.90E-02	9.60E-03	6.70E-02	4.50E-02
	90°	5.20E-03	1.20E-01	4.80E-02	1.70E-02	2.00E-02	2.50E-02
	135°	1.40E-02	8.90E-03	9.80E-03	6.50E-03	3.60E-02	4.70E-02
80%	45°	9.70E-03	4.80E-03	9.30E-03	1.30E-02	5.10E-02	2.30E-02
	90°	5.00E-03	1.10E-01	6.70E-02	4.70E-02	1.70E-02	2.60E-02
	135°	3.50E-02	1.80E-02	2.10E-02	9.20E-03	3.80E-02	6.10E-02
70%	45°	3.10E-03	1.10E-02	6.70E-03	8.00E-03	2.90E-02	4.30E-02
	90°	6.40E-03	1.10E-01	3.70E-02	3.40E-02	4.70E-03	1.90E-02
	135°	1.70E-02	1.60E-02	9.50E-03	9.60E-03	1.90E-02	3.20E-02

Setelah mengetahui RAO tertinggi pada setiap gerakan, maka dicari amplitudo gelombang tertinggi pada setiap gerakan dengan rumus sebagai berikut.

$$A = \frac{2\pi}{f} \quad (4.1)$$

Dengan:

A = Amplitudo gelombang (m)

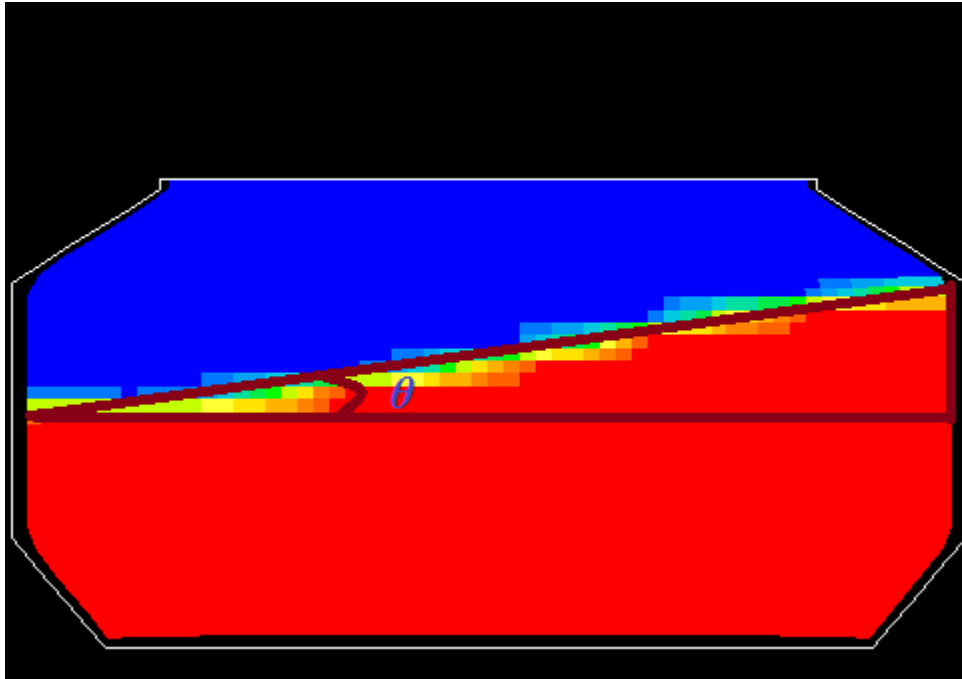
f = frekuensi (rad/s)

Dari rumus 4.1, dapat dihitung amplitudo gelombang yang terjadi pada gelombang. Hasil dari perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.27 berikut ini

Tabel 4.27 Tabel amplitudo gelombang pada RAO tertambat

DOF	Load Condition	45°	90°	135°
		A (m)	A (m)	A (m)
<i>Surge</i>	90%	6.34E+02	1.21E+03	4.38E+02
	80%	6.46E+02	1.27E+03	1.77E+02
	70%	2.01E+03	9.88E+02	1.96E+02
<i>Sway</i>	90%	4.32E+02	5.42E+01	7.06E+02
	80%	1.32E+03	5.53E+01	3.46E+02
	70%	5.79E+02	5.95E+01	3.89E+02
<i>Heave</i>	90%	3.26E+02	1.30E+02	6.38E+02
	80%	6.72E+02	9.40E+01	3.04E+02
	70%	9.40E+02	1.69E+02	1.96E+02
<i>Roll</i>	90%	6.57E+02	3.09E+02	9.73E+02
	80%	4.83E+02	1.33E+02	5.03E+02
	70%	7.88E+02	1.83E+02	6.52E+02
<i>Pitch</i>	90%	9.34E+01	3.73E+02	1.73E+02
	80%	1.24E+02	3.67E+02	5.32E+01
	70%	2.19E+02	1.13E+03	3.23E+02
<i>Yaw</i>	90%	1.41E+02	2.55E+02	1.33E+02
	80%	2.75E+02	2.37E+02	1.03E+02
	70%	1.46E+02	3.23E+02	1.96E+02

Setelah mengetahui amplitudo gelombang, dihitung sudut yang terjadi saat terjadinya *sloshing*. Sudut ini bertujuan untuk mendapatkan percepatan pada tangki yang digunakan untuk *input* pada ANSYS CFX. Pada gambar 4.36 berikut ini dapat dilihat ilustrasi sudut dari *sloshing* itu sendiri.



Gambar 4.36 Ilustrasi sudut yang terjadi pada *sloshing*

Sudut pada *sloshing* ini sangat berpengaruh pada percepatan yang dihasilkan. Sudut ini juga sama dianggap sama dengan sudut yang terjadi pada gelombang laut yang mengenai badan kapal.

Tabel 4.28 Tabel sudut pada tangki *sloshing*

DOF	Load Condition	45°	90°	135°
		θ	θ	θ
<i>Surge</i>	90%	6.987	7.3	6.97
	80%	7.56	7.7	7.51
	70%	7.8	7.9	7.75
<i>Sway</i>	90%	7.1	7.13	7.13
	80%	7.64	7.76	7.67
	70%	7.8	7.85	7.91
<i>Heave</i>	90%	8.14	8.45	8.42
	80%	8.48	8.56	8.55
	70%	8.79	8.67	8.76
<i>Roll</i>	90%	6.93	5.1	7.56
	80%	7.5	7.3	7.76
	70%	7.69	7.4	7.81
<i>Pitch</i>	90%	6.23	6.8	6.38
	80%	6.57	6.96	6.75
	70%	6.79	6.99	6.84
<i>Yaw</i>	90%	7.2	8.02	7.99
	80%	7.68	8.15	8
	70%	7.81	8.26	8.21

Pada tabel 4.28, sudut yang terjadi relatif kecil hal ini menyebabkan percepatan pada *sloshing* juga relatif kecil. Hal ini juga dapat mempengaruhi efek tekanan yang dialami tangki saat terjadinya *sloshing*.

Tabel 4.29 Tabel nilai *cartesian coordinate*

DOF	Load Condition	45°	90°	135°
		U (rad/s)	U (rad/s)	U (rad/s)
<i>Surge</i>	90%	0.011029	0.006031	0.015916
	80%	0.011698	0.006078	0.042318
	70%	0.003887	0.007994	0.039564
<i>Sway</i>	90%	0.016433	0.131552	0.010092
	80%	0.005797	0.140408	0.022174
	70%	0.013478	0.13203	0.020333
<i>Heave</i>	90%	0.025001	0.065251	0.013198
	80%	0.012618	0.091132	0.02812
	70%	0.009355	0.051342	0.04472
<i>Roll</i>	90%	0.010544	0.0165	0.00777
	80%	0.015515	0.05488	0.015429
	70%	0.009753	0.040431	0.011992
<i>Pitch</i>	90%	0.066706	0.018206	0.036857
	80%	0.052841	0.018945	0.126878
	70%	0.030965	0.006206	0.021154
<i>Yaw</i>	90%	0.051076	0.031452	0.060219
	80%	0.027959	0.034304	0.077385
	70%	0.05369	0.025576	0.041936

Pada *Cartesian coordinate* diatas menggunakan satuan rad/s dikarenakan asumsi pada ANSYS bahwa wadah fluidanya yang bergerak dan menyebabkan fluida yang ada didalamnya menjadi bergerak. Maka dipakailah satuan percepatan agar dapat menciptakan efek *sloshing*.

4.4 Simulasi *Sloshing*

Simulasi *sloshing* menggunakan software ASYS CFX 16.0. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui *time response* dari *sloshing*. Dari *time response* tersebut dapat diketahui tekanan yang terjadi dalam tangki akibat *sloshing* terjadi.

Analisa ini menggunakan 2 metode. Yaitu metode melintang dan memanjang. Oleh karena itu FSU dipecah tampak depan dan tampak samping. Dari tampak depan gerakan yang dianalisa adalah *roll*, *yaw* dan *sway*. Sedangkan dari tampak samping gerakan yang dianalisa adalah *pitch*, *surge* dan *heave*. Hal ini dilakukan agar memudahkan penganalisaan dan simulasi.

Material yang digunakan pada ANSYS CFX secara *default* adalah *water* dan udara murni, maka dibutuhkan *input* manual untuk material LNG dan *vapour*. *Vapour* disini adalah udara bertekanan tinggi yang berada pada tangki yang diakibatkan penguapan dari LNG itu sendiri. Untuk input material pada ANSYS CFX dapat dilihat pada tabel 4.30 berikut ini.

Tabel 4.30 *Material Properties LNG*

Value	Digit	Unit
Material Group	-	Constant Property Liquids
Molar Mass	58.12	kg kmol ⁻¹
Density	422.36	kg m ⁻³
Specify Heat Capacity	0.839	J kg ⁻¹ K ⁻¹
Dynamic Viscosity	0.146	centipoise
Thermal Conductivity	0.2135	W m ⁻¹ K ⁻¹

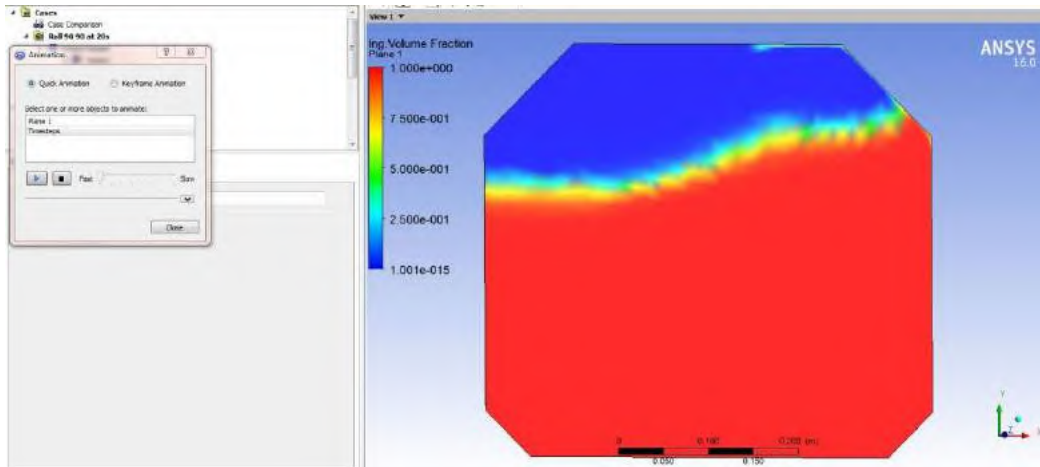
Tabel 4.31 *Material Properties Vapour*

Value	Digit	Unit
Material Group	-	Constant Property Gases
Molar Mass	19	kg kmol ⁻¹
Density	1.816	kg m ⁻³
Specify Heat Capacity	0.0358	J kg ⁻¹ K ⁻¹
Dynamic Viscosity	0.01064	centipoise
Thermal Conductivity	30.57	W m ⁻¹ K ⁻¹

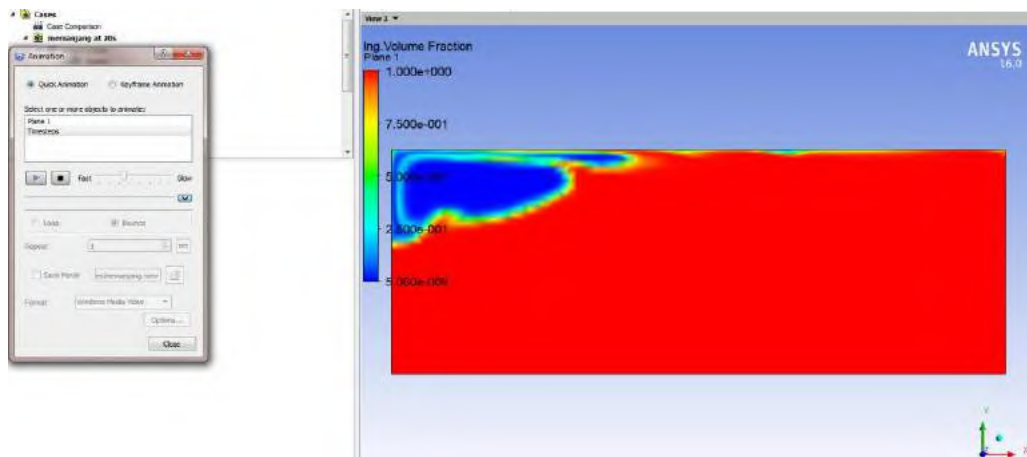
Pada Tabel 4.30 dan 4.31, diketahui perbedaan yang sangat mencolok pada massa jenis antara kedua material tersebut. Untuk LNG mempunyai massa jenis sebesar 422.36 kg m⁻³ sedangkan pada *vapour* mempunyai massa jenis yang sangat jauh dibawahnya, yaitu sebesar 1.85 kg m⁻³. Hal ini mengakibatkan *vapour* selalu berada pada bagian atas dari tangki dan tidak dapat bercampur dengan material LNG saat terjadi *sloshing*. Sedangkan untuk *thermal conductivity vapour*

lebih besar daripada LNG karena *vapour* masih bersifat gas yang dapat dengan mudah mengalirkan suhu di sekitarnya.

Setelah *input* material, maka simulasi dilakukan. Seperti yang sudah dijelaskan diatas simulasi dilakukan dengan 2 jenis metode, yaitu metode melintang dan memanjang. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.37-4.38 berikut ini.



Gambar 4.37 Pemodelan *sloshing* kondisi melintang



Gambar 4.38 Pemodelan *sloshing* pada kondisi memanjang

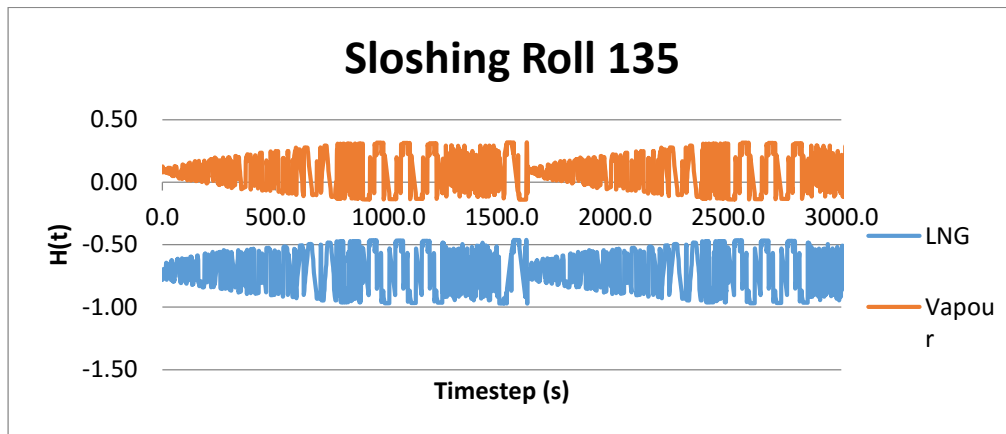
Setelah proses simulasi selesai, terdapat *output default* yang menginformasikan kedudukan fluida dalam tangki. Analisa tersebut dinamakan analisa *time response*. Analisa *time response* dalam ANSYS 16 adalah sebagai berikut.

Tabel 4.32 *Time Step Sloshing* pada LNG Tank

<i>Time Step</i>	LNG	Vapour	Z [m]
0	-0.7834	0.1064	0.0000254
1	-0.7739	0.07778	0.0000254
2	-0.7763	0.1257	0.0000254
3	-0.7537	0.09901	0.0000254
4	-0.6967	0.09333	0.0000254

·
·
·

3208	-0.9712	-0.0282	-2.28E-14
3209	-0.9712	-0.0434	-2.28E-14
3210	-0.9712	-0.0587	-2.28E-14
3211	-0.9712	-0.0739	-2.28E-14



Gambar 4.39 *Time Step sloshing*

Dapat dilihat pada gambar diatas bahwa LNG dan *vapour* tidak dapat bersatu dan memiliki tekanan yang berbeda. Gerakan pada *vapour* mengakibatkan tekanan pada *vapour*. Hal inilah yang dapat menyebabkan kegagalan pada struktur tangki. Grafik diatas juga bersifat tetap pada semua simulasi dikarenakan sifat fisik dari LNG dan *Vapour* juga sama.

Pada simulasi ini, *output* yang diambil hanya *pressure* dari keseluruhan tangki saja karena *output* yang lain dirasa tidak terlalu berkaitan dengan tugas akhir ini.

Berikut ini adalah hasil *output pressure* dari simulasi yang di kelompokkan menjadi per gerakan.

4.5.1 Surge

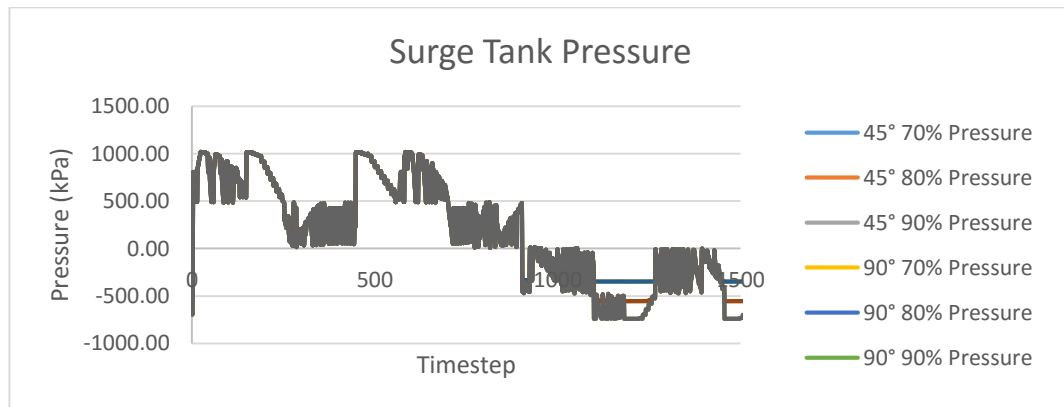
Untuk gerakan surge, menggunakan metode memanjang, hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.33 berikut ini.

Tabel 4.33 Tabel *tank pressure* pada saat gerakan surge

Timestep	Pressure								
	45°			90°			135°		
	70%	80%	90%	70%	80%	90%	70%	80%	90%
0	-347.4	-645.64	-645.83	-347.41	-553.11	-645.83	-347.4	-553.11	-645.64
1	-347.48	-696.29	-696.44	-347.5	-553.58	-696.44	-347.49	-553.58	-696.29
2	-347.43	-671.23	-671.45	-347.45	-553.41	-671.44	-347.44	-553.41	-671.23
3	804.56	804.64	804.78	804.57	804.72	804.78	804.55	804.72	804.64

-
-
-

1602	-347.18	-548.17	-548.1	-347.2	-530.57	-548.1	-347.19	-530.57	-548.17
1603	-347	-511.56	-511.46	-347.02	-505.66	-511.47	-347.01	-505.66	-511.56
1604	-346.76	-476.22	-476.26	-346.78	-474.66	-476.26	-346.77	-474.66	-476.22
1605	-346.86	-498.54	-498.44	-346.88	-494.62	-498.44	-346.87	-494.62	-498.54



Gambar 4.40 Grafik *tank pressure* pada gerakan surge

Pada gambar 4.40 diatas, grafik menunjukkan tekanan yang sangat signifikan pada saat simulai dimulai. Hal ini dikarenakan pergerakan pada *liquid* dan *vapour* terjadi pergerakan yang sangat signifikan. Lalu pada saat *timestep* menunjukkan angka 200, tekanan pada tangki menurun karena *liquid* dan *vapour* sedang menuju

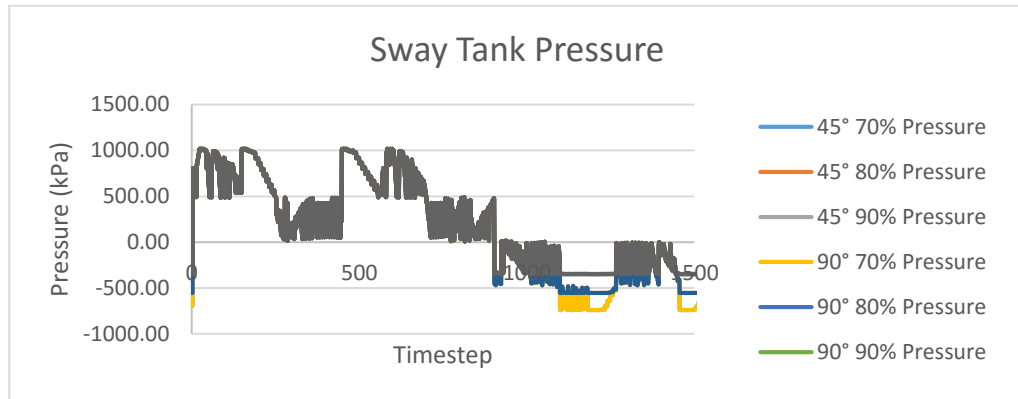
ke posisi semula saat sebelum *sloshing* terjadi. Setelah terjadi beberapa gerakan yang relatif kecil dari kedua material tersebut, grafik kembali naik secara signifikan. Hal ini terjadi akibat *liquid* menbrak dinding pembatas pada tangki yang menyebabkan tekanan pada tangki menjadi lebih besar. Setelah beberapa kali naik turun dengan kondisi puncak dari grafik yang sangat rapat, grafik cenderung turun sampai pada tekanan terendahnya. Pada grafik diatas tidak stabil di angka 0 dikarenakan tekanan pada tangki tidak mungkin 0. Hal ini terjadi karena terdapat tekanan dari LNG dan *vapour* itu sendiri yang mengakibatkan tekanan dalam tangki tidak dapat stabil di angka 0. Dari gambar 4.40 juga dapat kita lihat bahwa tekanan tertinggi pada saat kondisi surge adalah pada *heading* 45° dengan kondisi pembebanan 80% sebesar 1017.86 kPa.

4.5.2 Sway

Untuk gerakan *sway*, menggunakan metode melintang, hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.34 berikut ini.

Tabel 4.34 Tank Pressure pada saat gerakan *heave*

Timestep	Pressure								
	45°			90°			135°		
	70%	80%	90%	70%	80%	90%	70%	80%	90%
0	-645.83	-553.11	-347.44	-645.87	-347.39	-347.65	-553.11	-347.64	-347.35
1	-696.45	-553.57	-347.53	-696.5	-347.47	-347.74	-553.57	-347.72	-347.44
2	-671.45	-553.4	-347.48	-671.5	-347.42	-347.69	-553.4	-347.67	-347.39
3	804.78	804.58	804.55	804.79	804.56	804.45	804.58	804.41	804.53
1602	-548.1	-530.39	-347.23	-548.12	-347.17	-347.44	-530.4	-347.43	-347.14
1603	-511.47	-505.56	-347.05	-511.48	-346.99	-347.26	-505.58	-347.25	-346.96
1604	-476.26	-474.61	-346.81	-476.3	-346.75	-347.03	-474.61	-347.02	-346.72
1605	-498.44	-494.54	-346.91	-498.45	-346.85	-347.12	-494.55	-347.11	-346.82



Gambar 4.41 Grafik *tank pressure* pada gerakan *sway*

Pada gambar 4.41 diatas, grafik menunjukkan tekanan yang sangat signifikan pada saat simulai dimulai. Hal ini dikarenakan pergerakan pada *liquid* dan *vapour* terjadi pergerakan yang sangat signifikan. Lalu pada saat *timestep* menunjukkan angka 200, tekanan pada tangki menurun karena *liquid* dan *vapour* sedang menuju ke posisi semula saat sebelum *sloshing* terjadi. Setelah terjadi beberapa gerakan yang relatif kecil dari kedua material tersebut, grafik kembali naik secara signifikan. Hal ini terjadi akibat *liquid* menbrak dinding pembatas pada tangki yang menyebabkan tekanan pada tangki menjadi lebih besar. Setelah beberapa kali naik turun dengan kondisi puncak dari grafik yang sangat rapat, grafik cenderung turun sampai pada tekanan terendahnya. Pada grafik diatas tidak stabil di angka 0 dikarenakan tekanan pada tangki tidak mungkin 0. Hal ini terjadi karena terdapat tekanan dari LNG dan *vapour* itu sendiri yang mengakibatkan tekanan dalam tangki tidak dapat stabil di angka 0. Dari gambar 4.41 juga dapat kita lihat bahwa tekanan tertinggi pada saat kondisi *sway* adalah pada *heading* 45° dengan kondisi pembebanan 70% sebesar 1017.85 kPa.

4.5.3 Heave

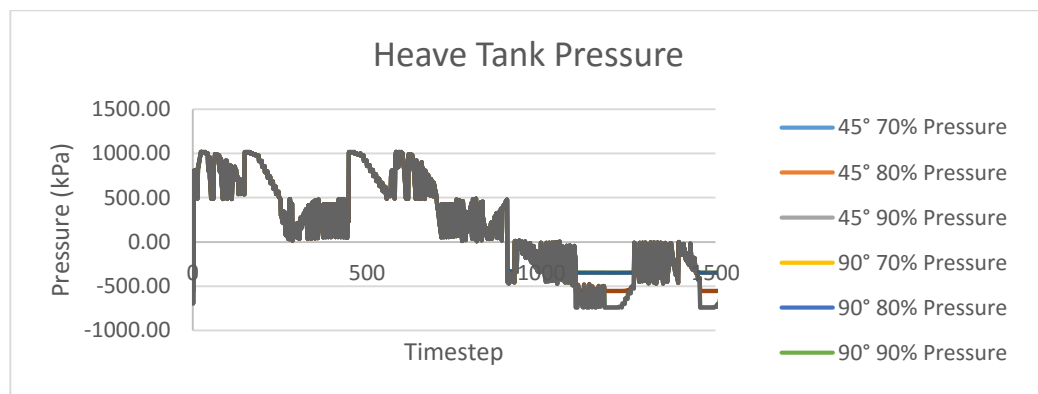
Untuk gerakan *heave*, menggunakan metode memanjang, hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.35 berikut ini

Tabel 4.35 *Tank Pressure* pada saat gerakan *heave*

Timestep	Pressure								
	45°			90°			135°		
	70%	80%	90%	70%	80%	90%	70%	80%	90%
0	-347.39	-553.11	-645.84	-347.41	-553.12	-645.85	-347.41	-553.11	-645.64
1	-347.47	-553.57	-696.46	-347.5	-553.58	-696.48	-347.49	-553.57	-696.29
2	-347.42	-553.4	-671.46	-347.45	-553.41	-671.48	-347.45	-553.4	-671.23
3	804.56	804.58	804.78	804.56	804.58	804.79	804.56	804.58	804.64

-
-
-

1603	-346.99	-505.57	-511.47	-347.02	-505.6	-511.47	-347.02	-505.58	-511.56
1604	-346.75	-474.61	-476.27	-346.78	-474.63	-476.28	-346.78	-474.62	-476.22
1605	-346.85	-494.55	-498.44	-346.88	-494.57	-498.45	-346.87	-494.56	-498.54



Gambar 4.42 Grafik *tank pressure* pada gerakan *heave*

Pada gambar 4.42 diatas, grafik menunjukkan tekanan yang sangat signifikan pada saat simulai dimulai. Hal ini dikarenakan pergerakan pada *liquid* dan *vapour* terjadi pergerakan yang sangat signifikan. Lalu pada saat *timestep* menunjukkan angka 200, tekanan pada tangki menurun karena *liquid* dan *vapour* sedang menuju ke posisi semula saat sebelum *sloshing* terjadi. Setelah terjadi beberapa gerakan yang relatif kecil dari kedua material tersebut, grafik kembali naik secara signifikan. Hal ini terjadi akibat *liquid* menbrak dinding pembatas pada tangki yang menyebabkan tekanan pada tangki menjadi lebih besar. Setelah beberapa kali naik

turun dengan kondisi puncak dari grafik yang sangat rapat, grafik cenderung turun sampai pada tekanan terendahnya. Pada grafik diatas tidak stabil di angka 0 dikarenakan tekanan pada tangki tidak mungkin 0. Hal ini terjadi karena terdapat tekanan dari LNG dan *vapour* itu sendiri yang mengakibatkan tekanan dalam tangki tidak dapat stabil di angka 0. Dari gambar 4.41 juga dapat kita lihat bahwa tekanan tertinggi pada saat kondisi *heave* adalah pada *heading* 135° dengan kondisi pembebanan 90% sebesar 1017.87 kPa.

4.5.4 Roll

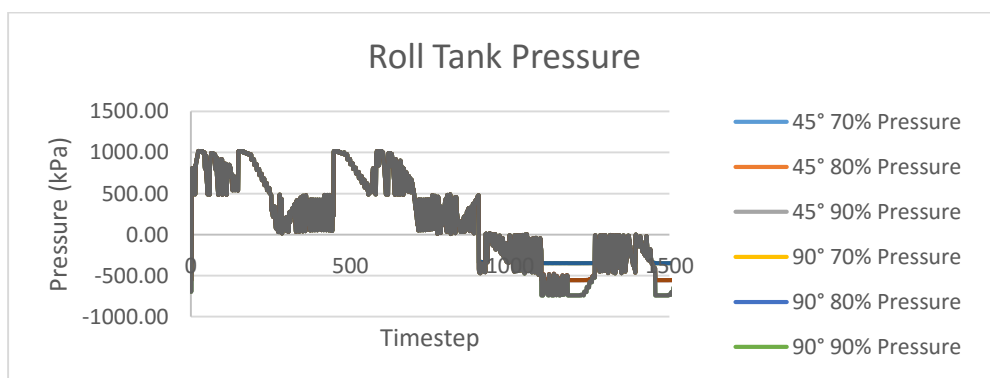
Untuk gerakan *roll*, menggunakan metode melintang, hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.36 berikut ini

Tabel 4.36 Tank Pressure pada saat gerakan *roll*

Timestep	Pressure								
	45°			90°			135°		
	70%	80%	90%	70%	80%	90%	70%	80%	90%
0	-347.39	-553.11	-645.84	-347.41	-553.12	-645.85	-347.41	-553.11	-645.64
1	-347.47	-553.57	-696.46	-347.5	-553.58	-696.48	-347.49	-553.57	-696.29
2	-347.42	-553.4	-671.46	-347.45	-553.41	-671.48	-347.45	-553.4	-671.23
3	804.56	804.58	804.78	804.56	804.58	804.79	804.56	804.58	804.64

-
-
-

1603	-346.99	-505.57	-511.47	-347.02	-505.6	-511.47	-347.02	-505.58	-511.56
1604	-346.75	-474.61	-476.27	-346.78	-474.63	-476.28	-346.78	-474.62	-476.22
1605	-346.85	-494.55	-498.44	-346.88	-494.57	-498.45	-346.87	-494.56	-498.54



Gambar 4.43 Grafik *tank pressure* pada gerakan *roll*

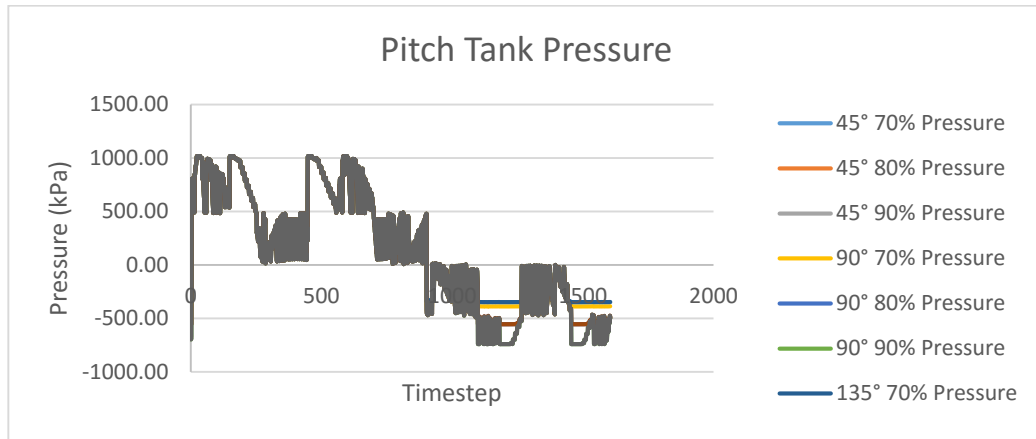
Pada gambar 4.43 diatas, grafik menunjukkan tekanan yang sangat signifikan pada saat simulasi dimulai. Hal ini dikarenakan pergerakan pada *liquid* dan *vapour* terjadi pergerakan yang sangat signifikan. Lalu pada saat *timestep* menunjukkan angka 200, tekanan pada tangki menurun karena *liquid* dan *vapour* sedang menuju ke posisi semula saat sebelum *sloshing* terjadi. Setelah terjadi beberapa gerakan yang relatif kecil dari kedua material tersebut, grafik kembali naik secara signifikan. Hal ini terjadi akibat *liquid* menbrak dinding pembatas pada tangki yang menyebabkan tekanan pada tangki menjadi lebih besar. Setelah beberapa kali naik turun dengan kondisi puncak dari grafik yang sangat rapat, grafik cenderung turun sampai pada tekanan terendahnya. Pada grafik diatas tidak stabil di angka 0 dikarenakan tekanan pada tangki tidak mungkin 0. Hal ini terjadi karena terdapat tekanan dari LNG dan *vapour* itu sendiri yang mengakibatkan tekanan dalam tangki tidak dapat stabil di angka 0. Dari gambar 4.41 juga dapat kita lihat bahwa tekanan tertinggi pada saat kondisi *roll* adalah pada *heading* 135° dengan kondisi pembebanan 70% sebesar 1017.87 kPa.

4.5.5 Pitch

Untuk gerakan *pitch*, menggunakan metode memanjang, hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.37 berikut ini

Tabel 4.37 Tank Pressure pada saat gerakan *pitch*

Timestep	Pressure								
	45°			90°			135°		
	70%	80%	90%	70%	80%	90%	70%	80%	90%
0	-347.33	-553.12	-645.83	-387.78	-553.11	-645.83	-347.36	-553.12	-645.66
1	-347.41	-553.58	-696.43	-387.86	-553.57	-696.46	-347.44	-553.58	-696.31
2	-347.36	-553.41	-671.43	-387.82	-553.4	-671.45	-347.4	-553.41	-671.25
3	804.49	804.58	804.78	804.41	804.58	804.78	804.62	804.58	804.63
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1603	-346.94	-505.59	-511.48	-386.98	-505.57	-511.47	-346.96	-505.6	-511.57
1604	-346.7	-474.62	-476.29	-386.2	-474.61	-476.26	-346.72	-474.63	-476.23
1605	-346.79	-494.57	-498.45	-386.64	-494.55	-498.44	-346.82	-494.58	-498.55



Gambar 4.44 Grafik *tank pressure* pada gerakan *pitch*

Pada gambar 4.43 diatas, grafik menunjukkan tekanan yang sangat signifikan pada saat simulasi dimulai. Hal ini dikarenakan pergerakan pada *liquid* dan *vapour* terjadi pergerakan yang sangat signifikan. Lalu pada saat *timestep* menunjukkan angka 200, tekanan pada tangki menurun karena *liquid* dan *vapour* sedang menuju ke posisi semula saat sebelum *sloshing* terjadi. Setelah terjadi beberapa gerakan yang relatif kecil dari kedua material tersebut, grafik kembali naik secara signifikan. Hal ini terjadi akibat *liquid* menabrak dinding pembatas pada tangki yang menyebabkan tekanan pada tangki menjadi lebih besar. Setelah beberapa kali naik turun dengan kondisi puncak dari grafik yang sangat rapat, grafik cenderung turun sampai pada tekanan terendahnya. Pada grafik diatas tidak stabil di angka 0 dikarenakan tekanan pada tangki tidak mungkin 0. Hal ini terjadi karena terdapat tekanan dari LNG dan *vapour* itu sendiri yang mengakibatkan tekanan dalam tangki tidak dapat stabil di angka 0. Dari gambar 4.41 juga dapat kita lihat bahwa tekanan tertinggi pada saat kondisi *pitch* adalah pada *heading* 135° dengan kondisi pembebanan 90% sebesar 1017.85 Pa.

4.5.6 Yaw

Untuk gerakan *yaw*, menggunakan metode melintang, hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.38 berikut ini

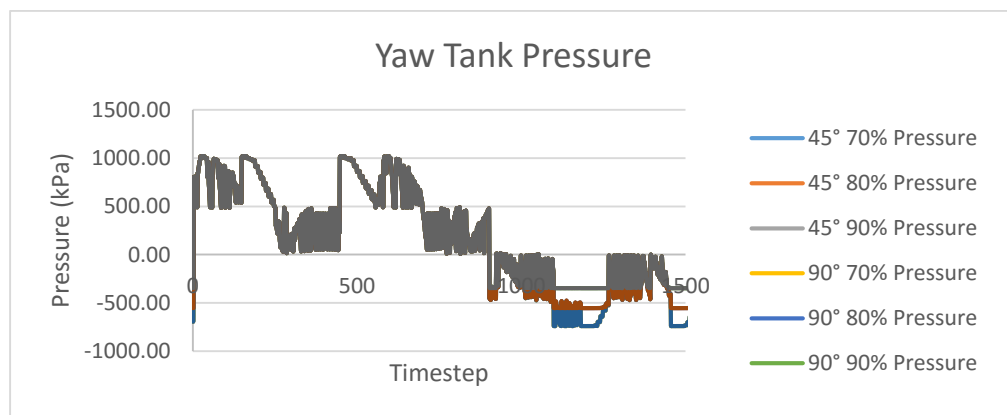
Tabel 4.38 Tank Pressure pada saat gerakan *yaw*

Timestep	Pressure								
	45°			90°			135°		
	70%	80%	90%	70%	80%	90%	70%	80%	90%
0	-645.66	-553.11	-347.64	-645.65	-553.12	-347.37	-645.66	-553.12	-347.37
1	-696.32	-553.59	-347.72	-696.3	-553.59	-347.45	-696.31	-553.58	-347.45
2	-671.26	-553.42	-347.67	-671.24	-553.42	-347.41	-671.26	-553.41	-347.41
3	804.63	804.73	804.41	804.63	804.73	804.58	804.63	804.58	804.47

-

-

1603	-511.57	-505.68	-347.25	-511.57	-505.68	-346.97	-511.57	-505.6	-346.98
1604	-476.24	-474.67	-347.02	-476.23	-474.68	-346.73	-476.23	-474.63	-346.75
1605	-498.55	-494.63	-347.11	-498.55	-494.63	-346.83	-498.55	-494.57	-346.84



Gambar 4.45 Grafik tank pressure pada gerakan *yaw*

Pada gambar 4.43 diatas, grafik menunjukkan tekanan yang sangat signifikan pada saat simulai dimulai. Hal ini dikarenakan pergerakan pada *liquid* dan *vapour* terjadi pergerakan yang sangat signifikan. Lalu pada saat *timestep* menunjukkan angka 200, tekanan pada tangki menurun karena *liquid* dan *vapour* sedang menuju ke posisi semula saat sebelum *sloshing* terjadi. Setelah terjadi beberapa gerakan yang relatif kecil dari kedua material tersebut, grafik kembali naik secara signifikan. Hal ini terjadi akibat *liquid* menbrak dinding pembatas pada tangki yang menyebabkan tekanan pada tangki menjadi lebih besar. Setelah beberapa kali naik

turun dengan kondisi puncak dari grafik yang sangat rapat, grafik cenderung turun sampai pada tekanan terendahnya. Pada grafik diatas tidak stabil di angka 0 dikarenakan tekanan pada tangki tidak mungkin 0. Hal ini terjadi karena terdapat tekanan dari LNG dan *vapour* itu sendiri yang mengakibatkan tekanan dalam tangki tidak dapat stabil di angka 0. Dari gambar 4.41 juga dapat kita lihat bahwa tekanan tertinggi pada saat kondisi *yaw* adalah pada *heading* 45° dengan kondisi pembebanan 80% sebesar 1017.86 kPa.

Dari simulasi *sloshing* yang telah dilakukan, didapatkan tekanan terbesar pada tiap gerakan. Data tekanan terbesar dapat dilihat pada tabel 4.39 berikut ini

Tabel 4.39 Tekanan tertinggi pada setiap gerakan FSU

<i>Heading</i>	<i>Load Condition</i>	45°	90°	135°
		<i>Po (kPa)</i>	<i>Po (kPa)</i>	<i>Po (kPa)</i>
<i>Surge</i>	90%	1017.4296	1017.3952	1017.0266
	80%	1017.3819	1017.2597	1016.9141
	70%	1017.3342	1017.1242	1016.8015
<i>Sway</i>	90%	1017.2865	1016.9887	1016.689
	80%	1017.2388	1016.8532	1016.5765
	70%	1017.1911	1016.7178	1016.4639
<i>Heave</i>	90%	1017.1433	1016.5823	1016.3514
	80%	1017.0956	1016.4468	1016.2389
	70%	1017.0479	1016.3113	1016.1263
<i>Roll</i>	90%	1017.9399	1018.8102	1017.8666
	80%	1017.8112	1019.101	1017.8349
	70%	1018.6643	1019.9138	1018.8414
<i>Pitch</i>	90%	1016.6953	1016.7994	1017.1497
	80%	1017.6417	1017.813	1017.4449
	70%	1017.7139	1017.8042	1017.8555
<i>Yaw</i>	90%	1016.8474	1017.8021	1016.1827
	80%	1017.8564	1017.8036	1017.6814
	70%	1017.8441	1017.8057	1017.4466

Pada tabel 3.9 diatas dapat dilihat bahwa gerakan terbesar pada kondisi *roll* dengan *load condition* 70% dengan *heading* 90° sebesar 1019.9138 kPa. Hal ini dikarenakan pada *heading* ini, *liquid* bergerak bebas dengan titik stabil dari *liquid*

yang kecil. Dengan *load condition* yang hanya 70%, *liquid* dengan bebas menabrak dinding-dinding pembatas tangki. Volume *vapour* juga berperan penting dalam pergerakan *liquid*. Semakin besar volume *vapour* yang berada pada tangki, semakin besar pula tekanan yang diakibatkan oleh pergerakan *liquid* pada tangki. Sebaliknya bila semakin kecil volume *vapour*, maka semakin kecil pula tekanan yang dihasilkan oleh pergerakan *liquid* dalam tangki. Dapat dilihat juga perbedaan tekanan yang tidak terlalu signifikan dari semua gerakan yang terjadi karena sudut *sloshing* yang dihitung sebelumnya tidak terlalu besar perbedaannya.

4.5 Analisa Tekanan Pada Tangki LNG

Analisa ini digunakan untuk menghitung *stress* saat *sloshing* terjadi ditambahkan dengan tekanan dari tangki tersebut. Tekanan yang terjadi pada aktifitas *sloshing* tidak dapat ditambahkan secara langsung dengan tekanan yang ada dalam tangki. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam analisa ini diantaranya adalah material dari tangki itu sendiri yang sangat berpengaruh pada tekanan yang terjadi. Analisa ini menggunakan peraturan dari DNV CN-31-13 untuk *prismatic tank* dengan rumus sebagai berikut.

$$t = \frac{p \cdot R_i}{20\sigma_t e^{-0.5p}} \quad (4.2)$$

dari rumus diatas untuk mencari σ_s diubah menjadi

$$\sigma_s = \frac{p R_i}{t} - 0.5 p \quad (4.3)$$

Dengan :

R_i = Inner Radius (mm)

σ_s = Sloshing Stress (kPa)

e = Joint efficiency Factor untuk kapal kelas C bernilai 1

t = 10 mm

p = tekanan *sloshing* yang terjadi (kPa)

Dari rumus 4.2 dan 4.3 dapat diketahui tekanan pada tangki LNG saat *sloshing* terjadi. Nilainya dapat dilihat dalam tabel 4.40 dibawah ini.

Tabel 4.40 Tekanan pada Tangki LNG saat *sloshing*

<i>Heading</i>	<i>Load Condition</i>	45°	90°	135°
		σ_s (kPa)	σ_s (kPa)	σ_s (kPa)
<i>Surge</i>	90%	4057.7348	4058.3515	4058.5603
	80%	4057.7236	4058.3541	4058.5116
	70%	4057.7572	4058.5103	4058.5004
<i>Sway</i>	90%	4058.3554	4056.8973	4057.9927
	80%	4058.4191	4057.7655	4056.9611
	70%	4058.4968	4058.3724	4057.6133
<i>Heave</i>	90%	4057.7243	4058.5721	4058.347
	80%	4057.7129	4058.3103	4058.4457
	70%	4057.7655	4058.3614	4058.4715
<i>Roll</i>	90%	4057.7243	4058.5463	4058.472
	80%	4057.7129	4058.3103	4058.4857
	70%	4057.7655	4058.9871	4058.5721
<i>Pitch</i>	90%	4057.8891	4058.3043	4058.5048
	80%	4057.6754	4058.3583	4058.4853
	70%	4057.9633	4058.3232	4058.5277
<i>Yaw</i>	90%	4058.4953	4058.315	4057.8387
	80%	4058.5313	4058.3208	4057.8336
	70%	4058.4822	4058.3291	4056.8973

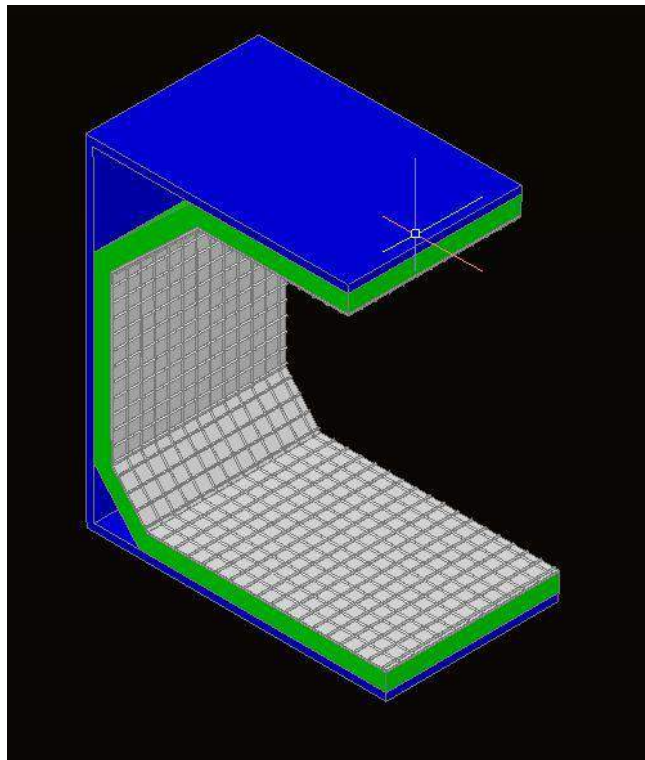
Dari tabel 4.40 didapatkan tekanan yang terjadi pada tangki saat *sloshing* terjadi terbesar ada pada kondisi *roll* dengan *load condition* sebesar 70% pada saat *heading* 135° sebesar 4058.572 kPa. Kondisi ini diakibatkan oleh pergerakan *liquid* yang besar karena volume *vapour* yang besar juga. Nilai dari tabel tersebut akan digunakan untuk analisa selanjutnya.

4.6 Konstruksi Tangki untuk Mark III

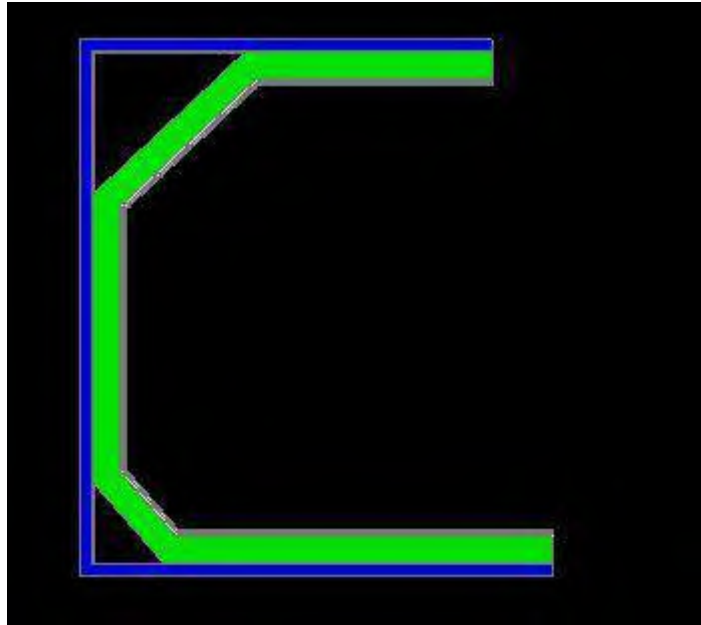
Tugas Akhir ini menggunakan bahan tangki Mark III untuk konstruksi tangkinya. Konstruksi ini dipilih karena kekuatannya yang sangat stabil pada *prismatic tank*. Konstruksi ini menggunakan 3 lapisan pada dalam tangkinya yang terdiri atas stainless steel pada bagian paling dalamnya lalu ditahan oleh plat baja dengan tebal 0.01 m untuk menahan tekanan yang terjadi ditambah dengan lapisan

teak wood yang terkenal kekuatan dan elastisitasnya agar dapat menahan tekanan yang terjadi pada tangki. Konstruksi kayu pada konstruksi ini dimaksudkan agar tangki tidak mudah *fatigue* pada saat menerima tekanan secara terus menerus. Pada tangki tipe *prismatic*, lapisan baja saja tidak cukup menahan tekanan yang terjadi pada tangki. Berbeda dengan tangki *spherical* yang tidak mempunyai sudut pada tangkinya, tangki tipe *prismatic* mempunyai banyak sudut yang membutuhkan elastisitas agar dapat menahan tekanan yang terus menerus pada tangki.

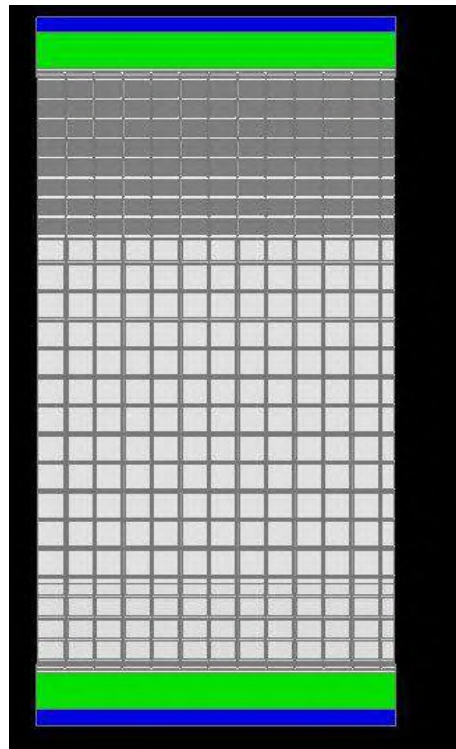
Konstruksi tangki Mark III dimodelkan dengan AUTOCAD 3D dan kekuatan *pressure*nya dimodelkan dengan ANSYS 16.0. Untuk pemodelan tangki dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.46 Hasil Pemodelan Tangki Mark III menggunakan AUTOCAD 3D – Isometri



Gambar 4.47 Hasil Pemodelan Tangki Mark III menggunakan AUTOCAD 3D –
Depan



Gambar 4.48 Hasil Pemodelan Tangki Mark III menggunakan AUTOCAD 3D –
Samping

Struktur ini dimodelkan hanya sebagian dengan asumsi bahwa ssetengah bagian lainnya mendapatkan tekanan yang sama. Struktur ini juga menggunakan 3 jenis material diantaranya *Stainless Steel*, *Teak Wood* dan Baja. Detail material dapat dilihat pada tabel 4.41 dan 4.42 berikut ini

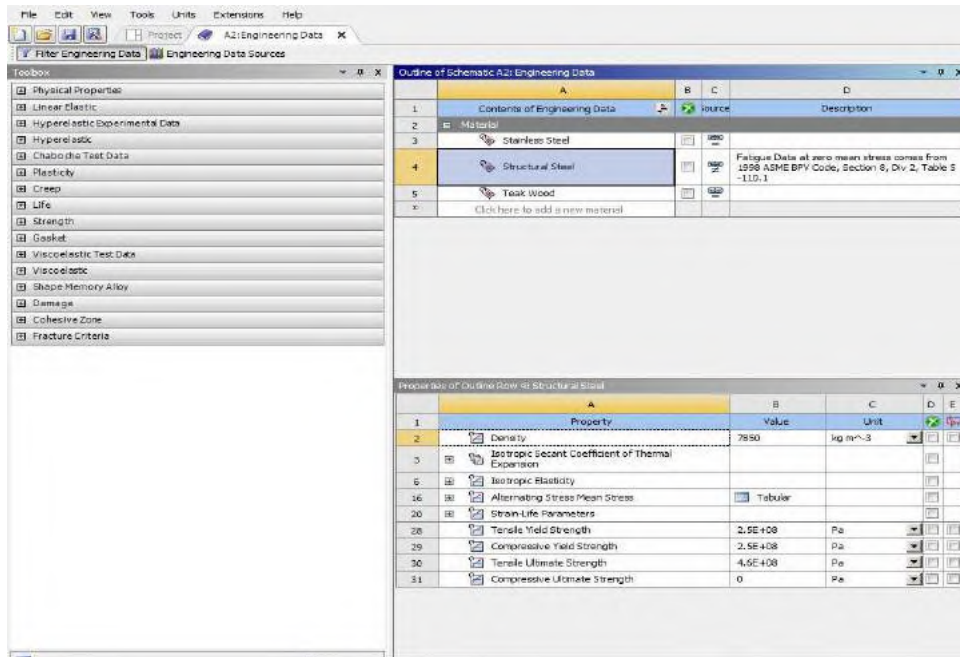
Tabel 4.41 *Material properties* dari *Stainless Steel*

<i>Value</i>	<i>Digit</i>	<i>Unit</i>
<i>Density</i>	7700	kg m ⁻³
<i>Coefficient of thermall Expansion</i>	9.90E-06	R ⁻¹
<i>Refference Temperature</i>	34	C
<i>Young Modulus</i>	2.03E+08	Pa
<i>Poisson's Ratio</i>	0.275	
<i>Bulk Modulus</i>	1.50E+08	Pa
<i>Shear Modulus</i>	7.96E+07	Pa
<i>Strength Coefficient</i>	9.20E+08	Pa
<i>Strength Exponent</i>	-1.06E-01	
<i>Ductility Coefficient</i>	2.13E-01	
<i>Ductility Exponent</i>	-4.70E-01	
<i>Cyclic Stregth Coefficient</i>	1.00E+09	Pa
<i>Cyclic hardening Exponent</i>	0.2	
<i>Tensile Yield Stregth</i>	6.20E+05	Pa
<i>Compressive Yield Stregth</i>	3.10E+05	Pa

Tabel 4.42 *Material Properties* dari *Teak Wood*

<i>Value</i>	<i>Digit</i>	<i>Unit</i>
<i>Density</i>	0.0228	lb in ⁻³
<i>Coefficient of thermal Expansion X</i>	2.10E-06	C ⁻¹
<i>Coefficient of thermal Expansion Y</i>	1.26E-06	C ⁻¹
<i>Coefficient of thermal Expansion Z</i>	1.20E-06	C ⁻¹
<i>Reference Temperature</i>	34	C
<i>Young Modulus X</i>	97.1E+ 05	Pa
<i>Young Modulus Y</i>	5.83E+05	Pa
<i>Young Modulus Z</i>	5.83E+05	Pa
<i>Poisson's Ratio X</i>	0.434	
<i>Poisson's Ratio Y</i>	0.2604	
<i>Poisson's Ratio Z</i>	2.60E-01	
<i>Shear Modulus</i>	7.96E+07	Pa
<i>Strength Coefficient</i>	9.20E+08	Pa
<i>Strength Exponent</i>	-1.06E-01	
<i>Ductility Coefficient</i>	2.13E-01	
<i>Ductility Exponent</i>	-4.70E-01	
<i>Cyclic Strength Coefficient</i>	1.00E+09	Pa
<i>Cyclic hardening Exponent</i>	0.2	
<i>Tensile Yield Strength</i>	6.20E+05	Pa
<i>Compressive Yield Strength</i>	3.10E+05	Pa

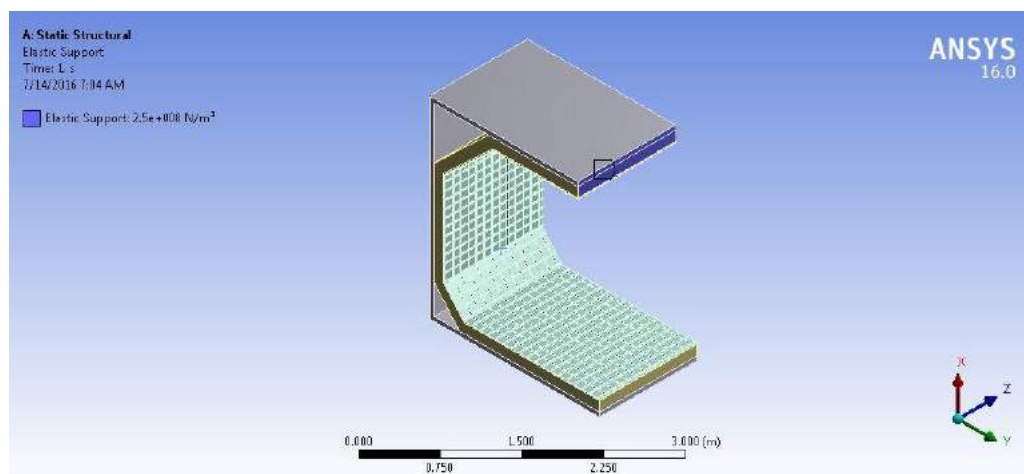
Pada Tabel 4.41 dan 4.42 dapat dilihat bahwa ada perbedaan *value* di *modulus young* dan *poisson ratio*. Ini dikarenakan pada *stainless steel* diasumsikan tidak mengalami elastisitas pada arah sumbu x, y dan z tetapi pada material *teak wood* mempunyai elastisitas arah sumbu x, y dan z. Pada ANSYS, *input* ini menjadi acuan dalam proses simulasi untuk mendapatkan *design stress* yang diinginkan. Untuk material baja menggunakan material *default* yang terdapat pada ANSYS. Hasil input material dapat dilihat pada gambar 4.49 berikut ini.



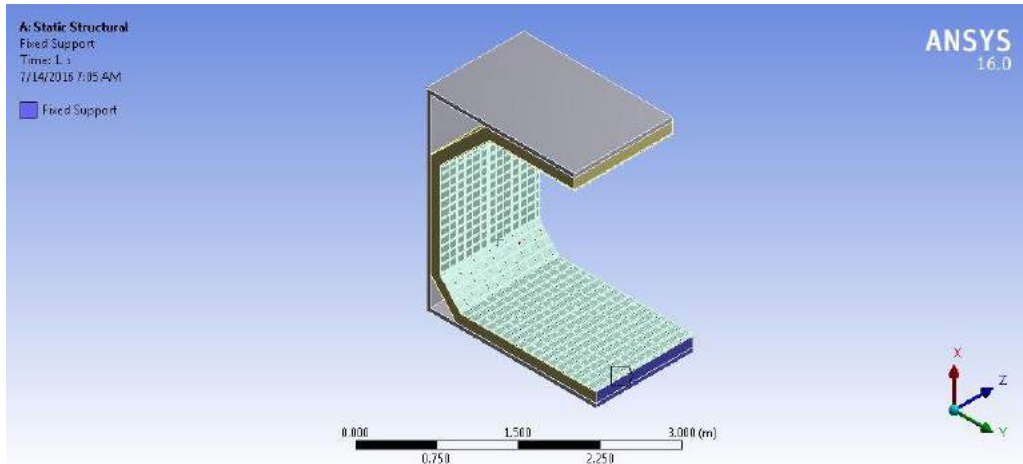
Gambar 4.49 Material Properties untuk pemodelan struktur tangki Mark III

4.7 Analisa Tegangan Pada Membran Mark III

Dikarenakan pemodelan tangki Mark III hanya sebagian maka harus dibatasi oleh *support fix* dan juga *support elastic* pada ANSYS. Pada bagian atas diberikan *support elastic* dikarenakan asumsi setelah terjadi *pressure* maka tangki dapat menekan keatas. Dan juga *support fix* diletakkan pada bagian sambungan bawah dari tangki. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.50 dan 4.51 berikut ini.



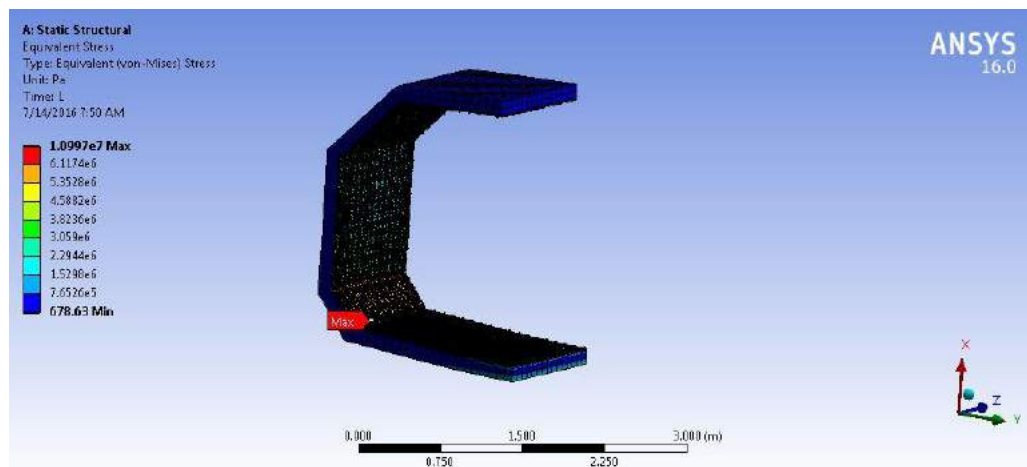
Gambar 4.50 Elastic Support pada Tangki Mark III



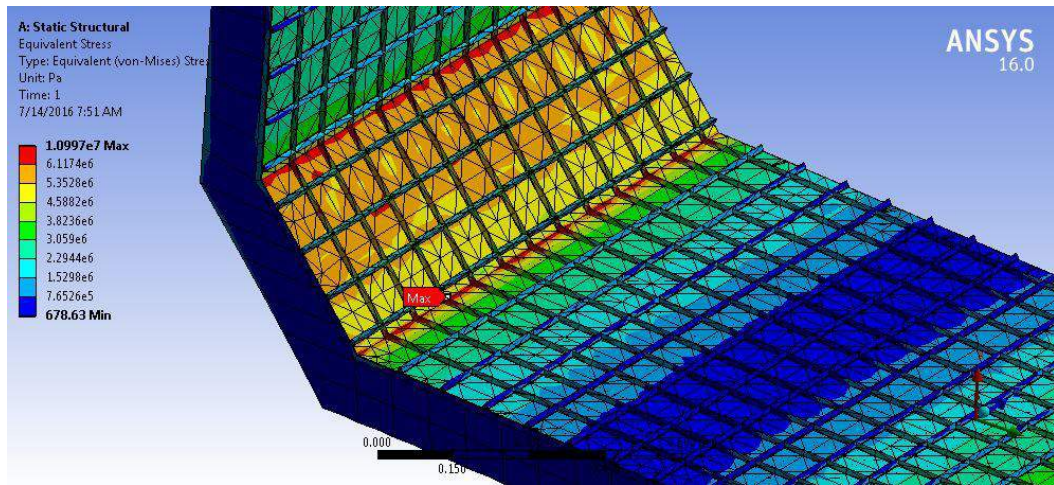
Gambar 4.51 *Fixed Support* pada Tangki Mark III

Berdasarkan hasil *meshing* dan pembebanan yang dilakukan dari pemodelan pada ANSYS, menghasilkan tegangan maksimum yang sebesar 119.05 MPa terjadi pada sambungan bawah konstruksi Tangki Mark III. Tegangan tersebut disebabkan oleh *pressure* dari LNG itu sendiri dan *pressure* yang diakibatkan oleh *sloshing*.

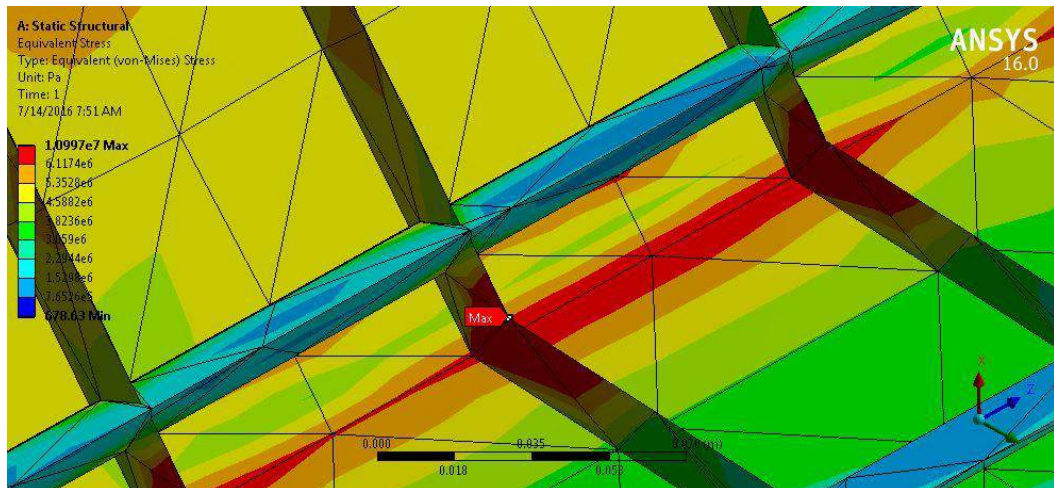
Berdasarkan material yang digunakan yaitu Stainless Steel type Grade 304 dengan nilai *Yield Strength* sebesar 215.12 MPa. mengacu pada ketentuan DNV “*Strength Assessment of Membrane-Type LNG Containment Systems Under Sloshing Loads*” yang menganjurkan tegangan *Von Misses* tidak boleh melebihi 90% dari *yield strength material* yaitu 193.5 MPa maka Tangki masih dikatakan aman untuk beroperasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



(a)



(b)

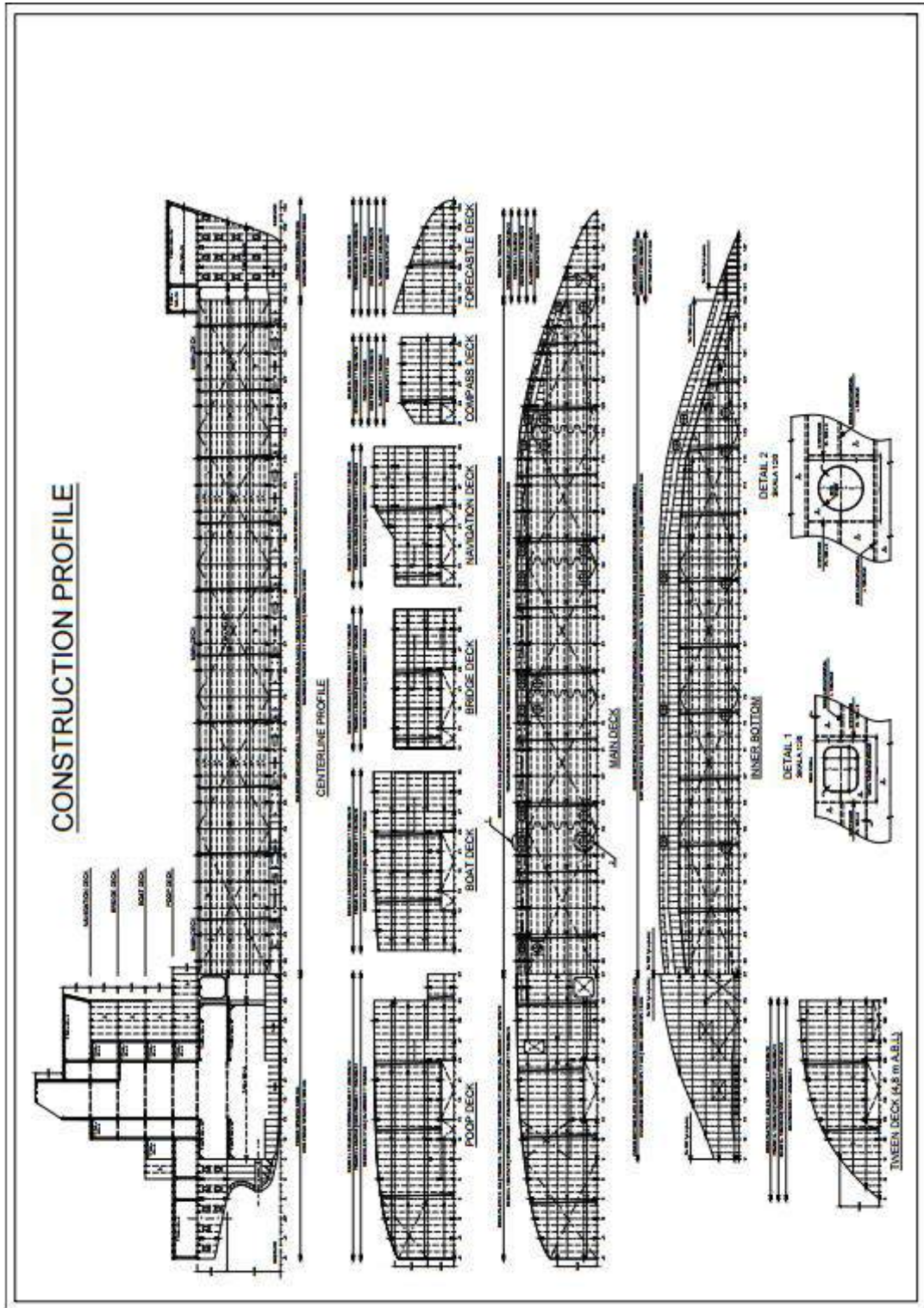


(c)

Gambar 4.52 Hasil simulasi Von Misses pada struktur Tangki Mark III

LAMPIRAN A
CONSTRUCTION PROFILE
FSU

CONSTRUCTION PROFILE FSU



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

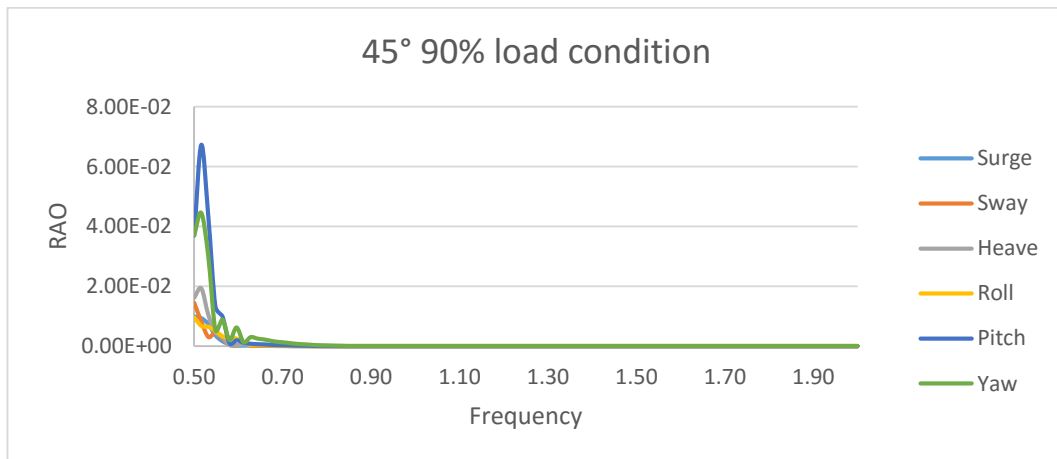
LAMPIRAN B
TABEL RAO FSU
TERTAMBAT(*MOORED*)

FSU moored (tertambat)

- *Heading 45° dengan 90% load condition*

	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.50	9.91E-03	1.45E-02	1.61E-02	9.56E-03	3.69E-02	3.71E-02
0.52	9.37E-03	8.29E-03	0.0192886	6.75E-03	6.72E-02	4.46E-02
0.53	7.42E-03	3.12E-03	1.04E-02	6.43E-03	4.32E-02	2.99E-02
0.55	3.69E-03	4.59E-03	4.70E-03	5.15E-03	1.33E-02	5.47E-03
0.56	1.68E-03	2.66E-03	3.06E-03	3.26E-03	9.99E-03	8.98E-03
0.58	7.16E-04	5.67E-04	4.43E-04	2.69E-03	9.64E-04	2.09E-03
0.60	2.52E-04	1.41E-04	2.13E-04	2.50E-03	1.97E-03	6.29E-03
0.61	2.15E-04	1.24E-03	5.81E-04	1.40E-03	1.17E-03	1.40E-03
0.63	2.83E-04	1.92E-04	4.93E-04	3.25E-04	8.07E-04	0.0030501
0.64	2.35E-04	1.60E-04	4.05E-04	2.72E-04	6.61E-04	2.54E-03
0.66	2.08E-04	1.41E-04	3.54E-04	2.40E-04	5.78E-04	2.24E-03
0.68	1.64E-04	1.11E-04	2.76E-04	1.90E-04	4.49E-04	1.77E-03
0.69	1.33E-04	9.01E-05	2.22E-04	1.54E-04	3.60E-04	1.43E-03
0.71	1.14E-04	7.76E-05	1.90E-04	1.33E-04	3.08E-04	1.23E-03
0.72	8.59E-05	5.83E-05	1.41E-04	1.00E-04	2.29E-04	9.24E-04
0.74	6.68E-05	4.53E-05	1.09E-04	7.81E-05	1.77E-04	7.18E-04
0.76	5.56E-05	3.78E-05	9.09E-05	6.51E-05	1.47E-04	5.98E-04
0.77	3.91E-05	2.66E-05	6.36E-05	4.59E-05	1.03E-04	4.21E-04
0.79	2.90E-05	1.97E-05	4.70E-05	3.40E-05	7.59E-05	3.12E-04
0.80	2.46E-05	1.67E-05	3.99E-05	2.89E-05	6.43E-05	2.65E-04
0.82	1.89E-05	1.28E-05	3.05E-05	2.22E-05	4.93E-05	2.03E-04
0.84	1.49E-05	1.02E-05	2.41E-05	1.76E-05	3.89E-05	1.61E-04
0.85	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
0.87	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
0.88	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
0.90	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
0.91	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
0.93	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
0.95	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
0.96	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
0.98	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
0.99	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.01	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.03	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.04	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.06	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.07	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.09	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.11	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04

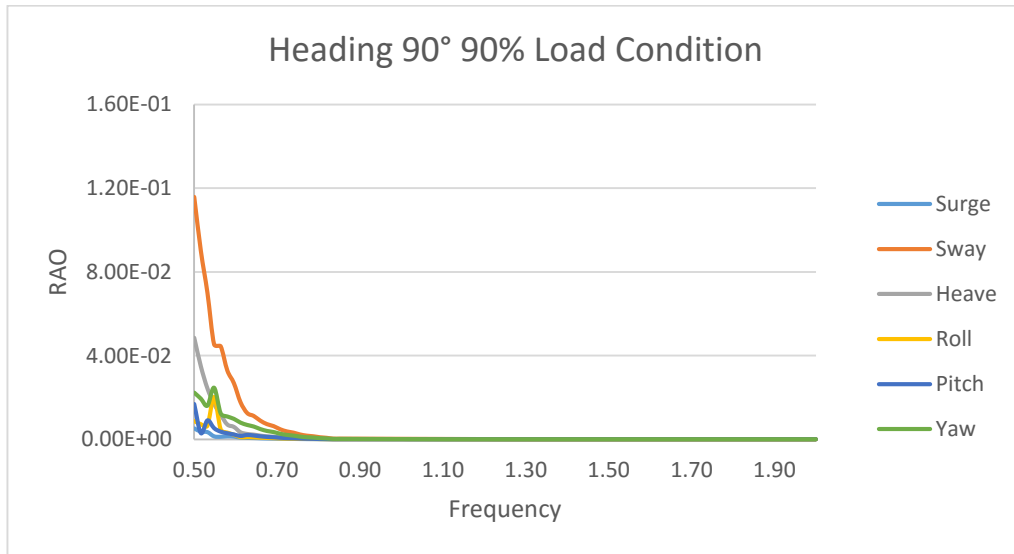
1.81	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.82	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.84	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.86	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.87	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.89	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.90	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.92	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.94	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.95	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.97	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
1.98	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04
2.00	3.52E-06	2.40E-06	5.33E-06	1.36E-05	2.97E-05	1.06E-04



- Heading 90° 90% Load Condition**

	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.50	5.19E-03	0.11586943	4.85E-02	8.74E-03	0.0168234	2.23E-02
0.52	3.63E-03	9.01E-02	3.49E-02	7.23E-03	2.96E-03	1.94E-02
0.53	3.40E-03	7.00E-02	2.43E-02	6.52E-03	9.04E-03	1.60E-02
0.55	1.38E-03	4.54E-02	1.69E-02	2.03E-02	5.33E-03	2.46E-02
0.56	1.17E-03	4.45E-02	1.17E-02	4.75E-03	3.63E-03	1.24E-02
0.58	1.39E-03	3.29E-02	7.07E-03	3.19E-03	2.89E-03	1.09E-02
0.60	1.27E-03	2.68E-02	5.92E-03	2.19E-03	2.31E-03	9.75E-03
0.61	7.89E-04	1.77E-02	3.35E-03	1.00E-03	1.61E-03	7.95E-03
0.63	6.63E-04	1.26E-02	2.55E-03	1.05E-03	2.06E-03	6.85E-03
0.64	5.88E-04	1.12E-02	2.24E-03	9.41E-04	1.81E-03	6.08E-03
0.66	4.70E-04	8.90E-03	1.76E-03	7.58E-04	1.42E-03	4.86E-03
0.68	3.84E-04	7.26E-03	1.43E-03	6.24E-04	1.14E-03	3.97E-03
0.69	3.33E-04	6.30E-03	1.23E-03	5.44E-04	9.86E-04	3.45E-03

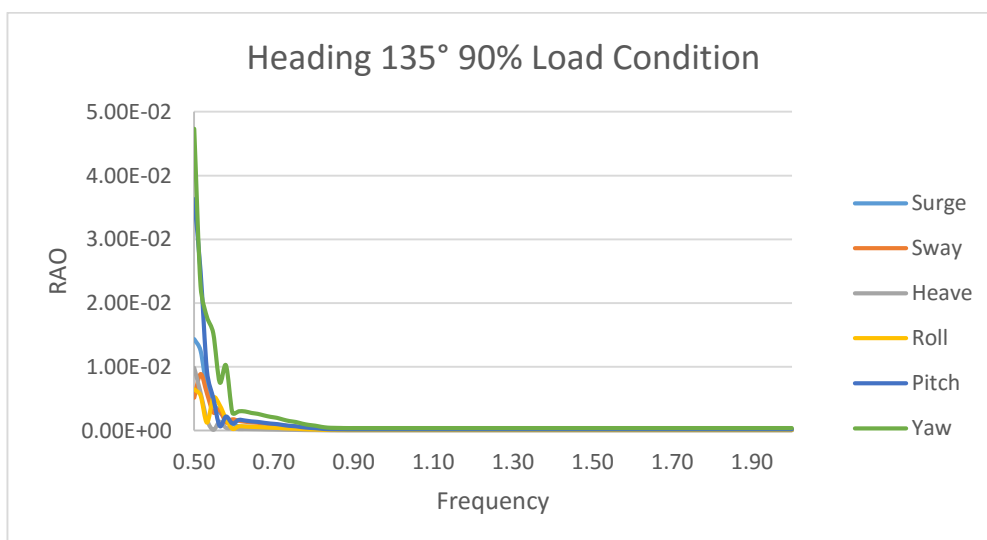
0.71	2.54E-04	4.81E-03	9.30E-04	4.18E-04	7.44E-04	2.63E-03
0.72	2.00E-04	3.78E-03	7.28E-04	3.31E-04	5.82E-04	2.07E-03
0.74	1.69E-04	3.20E-03	6.13E-04	2.81E-04	4.90E-04	1.75E-03
0.76	1.23E-04	2.32E-03	4.42E-04	2.05E-04	3.53E-04	1.27E-03
0.77	9.30E-05	1.76E-03	3.34E-04	1.56E-04	2.67E-04	9.65E-04
0.79	7.63E-05	1.44E-03	2.74E-04	1.29E-04	2.18E-04	7.93E-04
0.80	5.25E-05	9.91E-04	1.88E-04	8.88E-05	1.50E-04	5.46E-04
0.82	3.83E-05	7.23E-04	1.37E-04	6.50E-05	1.09E-04	3.98E-04
0.84	1.77E-05	3.33E-04	6.25E-05	3.06E-05	4.98E-05	1.84E-04
0.85	1.67E-05	3.23E-04	6.15E-05	2.96E-05	4.88E-05	1.74E-04
0.87	1.57E-05	3.13E-04	6.05E-05	2.86E-05	4.78E-05	1.64E-04
0.88	1.47E-05	3.03E-04	5.95E-05	2.76E-05	4.68E-05	1.54E-04
0.90	1.37E-05	2.93E-04	5.85E-05	2.66E-05	4.58E-05	1.44E-04
0.91	1.27E-05	2.83E-04	5.75E-05	2.56E-05	4.48E-05	1.34E-04
0.93	1.17E-05	2.73E-04	5.65E-05	2.46E-05	4.38E-05	1.24E-04
0.95	1.07E-05	2.63E-04	5.55E-05	2.36E-05	4.28E-05	1.14E-04
0.96	9.68E-06	2.53E-04	5.45E-05	2.26E-05	4.18E-05	1.04E-04
0.98	8.68E-06	2.43E-04	5.35E-05	2.16E-05	4.08E-05	9.44E-05
0.99	7.68E-06	2.33E-04	5.25E-05	2.06E-05	3.98E-05	8.44E-05
1.01	6.68E-06	2.23E-04	5.15E-05	1.96E-05	3.88E-05	7.44E-05
1.03	5.68E-06	2.13E-04	5.05E-05	1.86E-05	3.78E-05	6.44E-05
1.04	4.68E-06	2.03E-04	4.95E-05	1.76E-05	3.68E-05	5.44E-05
1.06	3.68E-06	1.93E-04	4.85E-05	1.66E-05	3.58E-05	4.44E-05
1.07	2.68E-06	1.83E-04	4.75E-05	1.56E-05	3.48E-05	3.44E-05
1.09	1.68E-06	1.73E-04	4.65E-05	1.46E-05	3.38E-05	2.44E-05
1.11	6.84E-07	1.63E-04	4.55E-05	1.36E-05	3.28E-05	1.44E-05
1.12	6.74E-07	1.53E-04	4.45E-05	1.26E-05	3.18E-05	1.34E-05
1.14	6.64E-07	1.43E-04	4.35E-05	1.16E-05	3.08E-05	1.24E-05
1.15	6.54E-07	1.33E-04	4.25E-05	1.06E-05	2.98E-05	1.14E-05
1.17	6.44E-07	1.23E-04	4.15E-05	9.56E-06	2.88E-05	1.04E-05
1.19	6.34E-07	1.13E-04	4.05E-05	8.56E-06	2.78E-05	9.43E-06
1.20	6.24E-07	1.03E-04	3.95E-05	7.56E-06	2.68E-05	8.43E-06
1.22	6.14E-07	9.34E-05	3.85E-05	6.56E-06	2.58E-05	7.43E-06
1.23	6.04E-07	8.34E-05	3.75E-05	5.56E-06	2.48E-05	6.43E-06
1.25	5.94E-07	7.34E-05	3.65E-05	4.56E-06	2.38E-05	5.43E-06
1.27	5.84E-07	6.34E-05	3.55E-05	3.56E-06	2.28E-05	4.43E-06
1.28	5.74E-07	5.34E-05	3.45E-05	2.56E-06	2.18E-05	3.43E-06
1.30	5.64E-07	4.34E-05	3.35E-05	1.56E-06	2.08E-05	2.43E-06
1.31	5.54E-07	3.34E-05	3.25E-05	5.64E-07	1.98E-05	1.43E-06
1.33	5.54E-07	3.34E-05	3.25E-05	5.64E-07	1.98E-05	1.43E-06
1.35	5.54E-07	3.34E-05	3.25E-05	5.64E-07	1.98E-05	1.43E-06
1.36	5.54E-07	3.34E-05	3.25E-05	5.64E-07	1.98E-05	1.43E-06
1.38	5.54E-07	3.34E-05	3.25E-05	5.64E-07	1.98E-05	1.43E-06



- **Heading 135° 90% Load Condition**

	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.50	1.43E-02	5.16E-03	9.84E-03	6.45E-03	3.63E-02	4.74E-02
0.52	1.25E-02	8.89E-03	5.95E-03	5.49E-03	2.50E-02	2.27E-02
0.53	6.56E-03	5.84E-03	1.71E-03	1.23E-03	9.34E-03	1.78E-02
0.55	4.28E-03	2.84E-03	1.00E-04	5.13E-03	5.10E-03	1.52E-02
0.56	2.89E-03	3.30E-03	1.37E-03	3.99E-03	7.19E-04	7.58E-03
0.58	1.81E-03	1.27E-03	4.28E-04	1.82E-03	2.20E-03	1.02E-02
0.60	1.12E-03	1.76E-03	3.52E-04	2.77E-04	1.10E-03	2.79E-03
0.61	6.50E-04	1.53E-03	2.21E-04	6.55E-04	1.67E-03	3.02E-03
0.63	6.14E-04	1.38E-03	2.24E-04	6.21E-04	1.57E-03	2.99E-03
0.64	5.67E-04	1.28E-03	2.05E-04	5.73E-04	1.44E-03	2.76E-03
0.66	5.37E-04	1.21E-03	1.94E-04	5.44E-04	1.35E-03	2.62E-03
0.68	4.86E-04	1.09E-03	1.74E-04	4.92E-04	1.21E-03	2.36E-03
0.69	4.41E-04	9.93E-04	1.57E-04	4.47E-04	1.09E-03	2.15E-03
0.71	4.10E-04	9.22E-04	1.45E-04	4.16E-04	1.01E-03	1.99E-03
0.72	3.52E-04	7.92E-04	1.24E-04	3.57E-04	8.61E-04	1.71E-03
0.74	3.06E-04	6.87E-04	1.07E-04	3.10E-04	7.41E-04	1.48E-03
0.76	2.75E-04	6.18E-04	9.53E-05	2.79E-04	6.63E-04	1.33E-03
0.77	2.22E-04	4.98E-04	7.63E-05	2.25E-04	5.30E-04	1.07E-03
0.79	1.83E-04	4.10E-04	6.25E-05	1.85E-04	4.34E-04	8.84E-04
0.80	1.58E-04	3.56E-04	5.40E-05	1.61E-04	3.75E-04	7.66E-04
0.82	1.20E-04	2.69E-04	4.05E-05	1.21E-04	2.81E-04	5.78E-04
0.84	9.36E-05	2.10E-04	3.15E-05	9.50E-05	2.19E-04	4.52E-04
0.85	8.65E-05	1.94E-04	2.91E-05	8.78E-05	2.02E-04	4.18E-04
0.87	8.28E-05	1.86E-04	2.79E-05	8.40E-05	1.93E-04	4.00E-04
0.88	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04

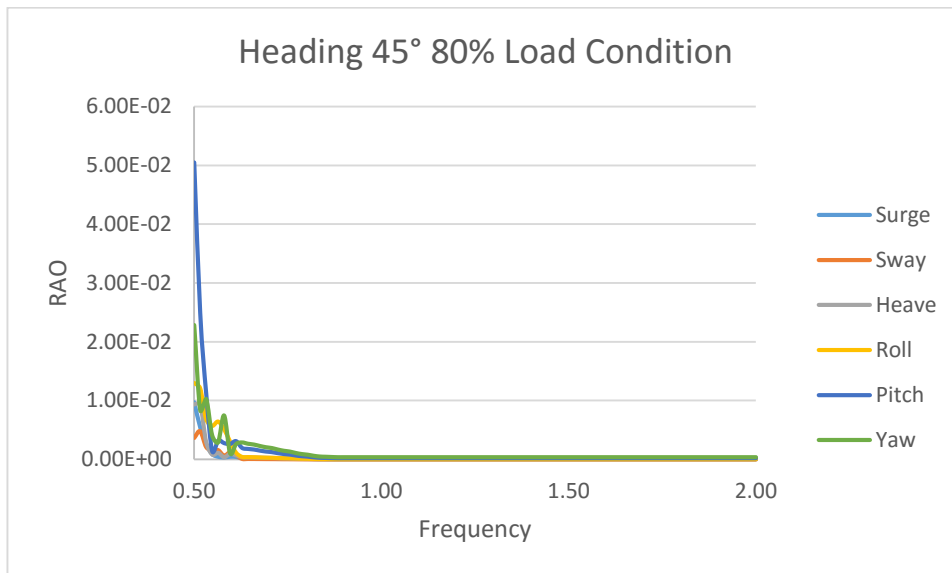
1.59	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.60	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.62	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.63	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.65	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.66	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.68	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.70	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.71	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.73	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.74	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.76	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.78	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.79	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.81	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.82	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.84	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.86	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.87	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.89	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.90	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.92	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.94	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.95	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.97	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
1.98	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04
2.00	7.93E-05	1.78E-04	2.67E-05	8.05E-05	1.85E-04	3.83E-04



- **Heading 45° 80% Load Condition**

	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.50	9.72E-03	3.64E-03	9.35E-03	1.30E-02	5.05E-02	2.28E-02
0.52	5.45E-03	4.77E-03	9.35E-03	1.21E-02	0.0249398	8.37E-03
0.53	2.58E-03	2.11E-03	2.95E-03	6.83E-03	1.13E-02	1.03E-02
0.55	9.01E-04	1.57E-03	8.39E-04	5.70E-03	1.43E-03	4.08E-03
0.56	4.41E-04	1.59E-03	1.13E-03	6.44E-03	3.22E-03	2.87E-03
0.58	3.33E-04	6.47E-04	3.73E-04	5.13E-03	2.78E-03	7.45E-03
0.60	4.42E-04	1.23E-03	9.53E-04	3.04E-03	2.62E-03	1.04E-03
0.61	4.16E-04	7.09E-04	7.05E-04	1.16E-03	3.12E-03	2.59E-03
0.63	2.05E-04	1.07E-04	3.87E-04	4.42E-04	1.97E-03	2.86E-03
0.64	1.91E-04	9.96E-05	3.55E-04	4.07E-04	1.79E-03	2.64E-03
0.66	1.82E-04	9.47E-05	3.35E-04	3.86E-04	1.69E-03	2.50E-03
0.68	1.65E-04	8.60E-05	3.01E-04	3.48E-04	1.50E-03	2.26E-03
0.69	1.50E-04	7.85E-05	2.72E-04	3.16E-04	1.35E-03	2.05E-03
0.71	1.41E-04	7.34E-05	2.52E-04	2.94E-04	1.25E-03	1.91E-03
0.72	1.23E-04	6.41E-05	2.18E-04	2.55E-04	1.07E-03	1.65E-03
0.74	1.08E-04	5.64E-05	1.90E-04	2.23E-04	9.27E-04	1.44E-03
0.76	9.80E-05	5.12E-05	1.71E-04	2.02E-04	8.33E-04	1.31E-03
0.77	8.04E-05	4.20E-05	1.39E-04	1.65E-04	6.72E-04	1.07E-03
0.79	6.71E-05	3.51E-05	1.15E-04	1.37E-04	5.54E-04	8.85E-04
0.80	5.87E-05	3.07E-05	1.00E-04	1.20E-04	4.80E-04	7.72E-04
0.82	4.50E-05	2.36E-05	7.61E-05	9.15E-05	3.64E-04	5.89E-04
0.84	3.56E-05	1.87E-05	5.98E-05	7.22E-05	2.85E-04	4.65E-04
0.85	3.24E-05	1.70E-05	5.44E-05	6.58E-05	2.59E-04	4.23E-04
0.87	2.94E-05	1.55E-05	4.93E-05	5.97E-05	2.35E-04	3.84E-04
0.88	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
0.90	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
0.91	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
0.93	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
0.95	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
0.96	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
0.98	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
0.99	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.01	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.03	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.04	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.06	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.07	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.09	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.11	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.12	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04

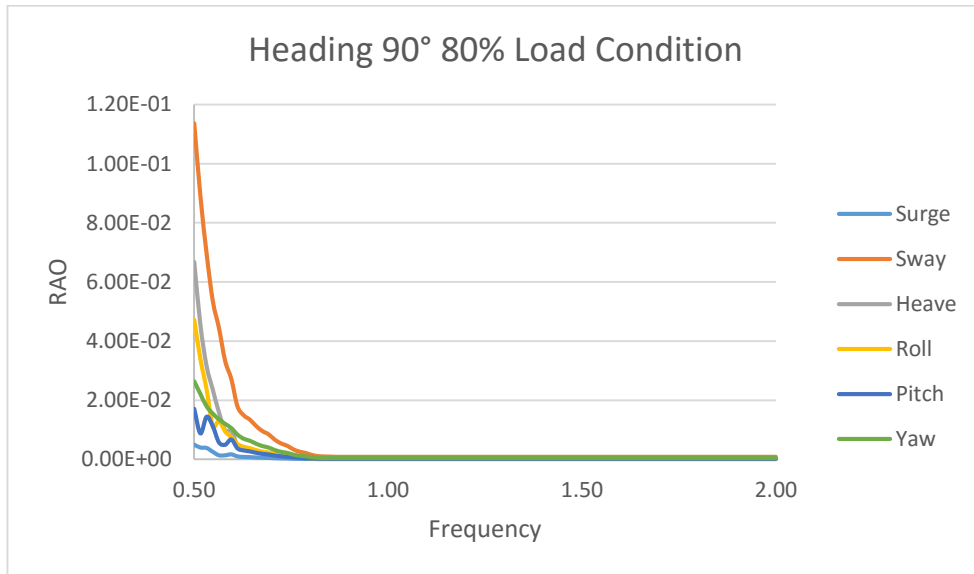
1.82	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.84	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.86	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.87	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.89	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.90	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.92	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.94	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.95	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.97	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
1.98	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04
2.00	2.68E-05	1.41E-05	4.49E-05	5.44E-05	2.14E-04	3.50E-04



- Heading 90° 80% Load Condition**

	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.50	4.96E-03	0.1136289	6.68E-02	4.72E-02	1.71E-02	2.64E-02
0.52	3.99E-03	0.0890163	4.55E-02	3.39E-02	8.77E-03	2.21E-02
0.53	3.84E-03	6.96E-02	3.16E-02	2.37E-02	0.0144248	1.80E-02
0.55	2.53E-03	5.36E-02	2.36E-02	1.12E-02	1.12E-02	1.55E-02
0.56	1.35E-03	4.44E-02	1.59E-02	1.31E-02	5.69E-03	1.36E-02
0.58	1.33E-03	3.33E-02	9.84E-03	9.47E-03	4.91E-03	1.20E-02
0.60	1.65E-03	2.72E-02	9.63E-03	7.55E-03	6.72E-03	1.06E-02
0.61	9.62E-04	1.79E-02	4.70E-03	5.21E-03	3.67E-03	8.36E-03
0.63	7.92E-04	0.0149327	3.87E-03	4.27E-03	2.99E-03	7.00E-03
0.64	7.09E-04	0.0134655	3.46E-03	3.82E-03	2.66E-03	6.32E-03
0.66	5.90E-04	1.13E-02	2.87E-03	3.16E-03	2.19E-03	5.31E-03
0.68	4.99E-04	9.63E-03	2.42E-03	2.66E-03	1.84E-03	4.53E-03

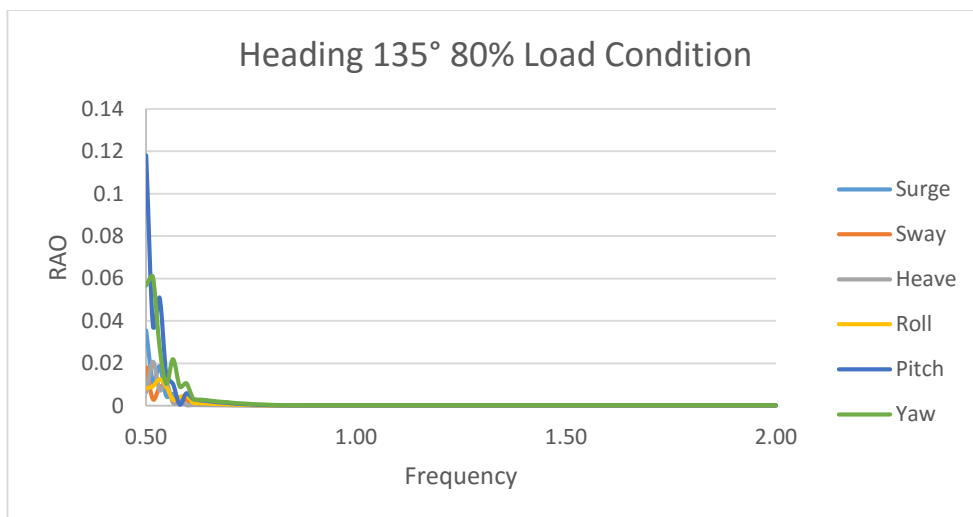
0.69	4.41E-04	8.55E-03	2.14E-03	2.35E-03	1.62E-03	4.03E-03
0.71	0.0003451	6.75E-03	1.67E-03	1.83E-03	1.26E-03	3.18E-03
0.72	2.78E-04	5.46E-03	1.35E-03	1.47E-03	1.01E-03	2.58E-03
0.74	2.37E-04	4.68E-03	1.15E-03	1.25E-03	8.60E-04	2.21E-03
0.76	1.75E-04	3.46E-03	8.44E-04	9.19E-04	6.30E-04	1.64E-03
0.77	1.34E-04	2.66E-03	6.47E-04	7.04E-04	4.82E-04	1.26E-03
0.79	1.11E-04	2.21E-03	5.35E-04	5.82E-04	3.98E-04	1.05E-03
0.80	7.74E-05	1.54E-03	3.73E-04	4.06E-04	2.78E-04	7.34E-04
0.82	5.71E-05	1.14E-03	2.75E-04	2.99E-04	2.04E-04	5.43E-04
0.84	5.16E-05	1.03E-03	2.49E-04	2.70E-04	1.85E-04	4.91E-04
0.85	4.83E-05	9.66E-04	2.33E-04	2.53E-04	1.73E-04	4.60E-04
0.87	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
0.88	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
0.90	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
0.91	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
0.93	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
0.95	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
0.96	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
0.98	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
0.99	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.01	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.03	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.04	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.06	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.07	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.09	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.11	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.12	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.14	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.15	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.17	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.19	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.20	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.22	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.23	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.25	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.27	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.28	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.30	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.31	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.33	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.35	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04
1.36	4.53E-05	9.06E-04	2.18E-04	2.37E-04	1.62E-04	4.32E-04



- **Heading 135° 80% Load Condition**

	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.50	0.0353869	1.82E-02	6.29E-03	8.22E-03	0.1180438	5.67E-02
0.52	1.10E-02	3.03E-03	2.07E-02	9.16E-03	3.79E-02	6.07E-02
0.53	1.85E-02	8.69E-03	7.32E-03	1.25E-02	5.09E-02	2.76E-02
0.55	4.49E-03	9.08E-03	1.10E-02	9.09E-03	1.45E-02	1.03E-02
0.56	5.48E-03	2.98E-03	1.33E-03	2.78E-03	1.03E-02	2.19E-02
0.58	2.98E-03	3.65E-03	2.22E-03	4.05E-03	5.50E-04	9.06E-03
0.60	2.66E-03	2.63E-03	2.13E-04	4.70E-03	5.89E-03	1.05E-02
0.61	6.87E-04	1.86E-03	2.83E-04	1.45E-03	3.20E-03	3.40E-03
0.63	5.70E-04	1.55E-03	2.31E-04	1.19E-03	2.60E-03	2.83E-03
0.64	5.12E-04	1.40E-03	2.06E-04	1.07E-03	2.31E-03	2.55E-03
0.66	4.28E-04	1.17E-03	1.70E-04	8.90E-04	1.91E-03	2.14E-03
0.68	3.63E-04	1.00E-03	1.43E-04	7.52E-04	1.60E-03	1.82E-03
0.69	3.22E-04	8.88E-04	1.26E-04	6.64E-04	1.41E-03	1.62E-03
0.71	2.53E-04	7.00E-04	9.81E-05	5.20E-04	1.09E-03	1.27E-03
0.72	2.04E-04	5.66E-04	7.87E-05	4.18E-04	8.74E-04	1.03E-03
0.74	1.75E-04	4.85E-04	6.71E-05	3.57E-04	7.43E-04	8.82E-04
0.76	1.29E-04	3.59E-04	4.92E-05	2.62E-04	5.44E-04	6.52E-04
0.77	9.93E-05	2.76E-04	3.77E-05	2.01E-04	4.16E-04	5.01E-04
0.79	8.23E-05	2.29E-04	3.12E-05	1.66E-04	3.44E-04	4.15E-04
0.80	5.76E-05	1.60E-04	2.17E-05	1.16E-04	2.39E-04	2.91E-04
0.82	4.25E-05	1.18E-04	1.60E-05	8.55E-05	1.76E-04	2.15E-04
0.84	3.85E-05	1.07E-04	1.45E-05	7.74E-05	1.59E-04	1.94E-04
0.85	3.60E-05	1.00E-04	1.36E-05	7.24E-05	1.49E-04	1.82E-04
0.87	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
0.88	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
0.90	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04

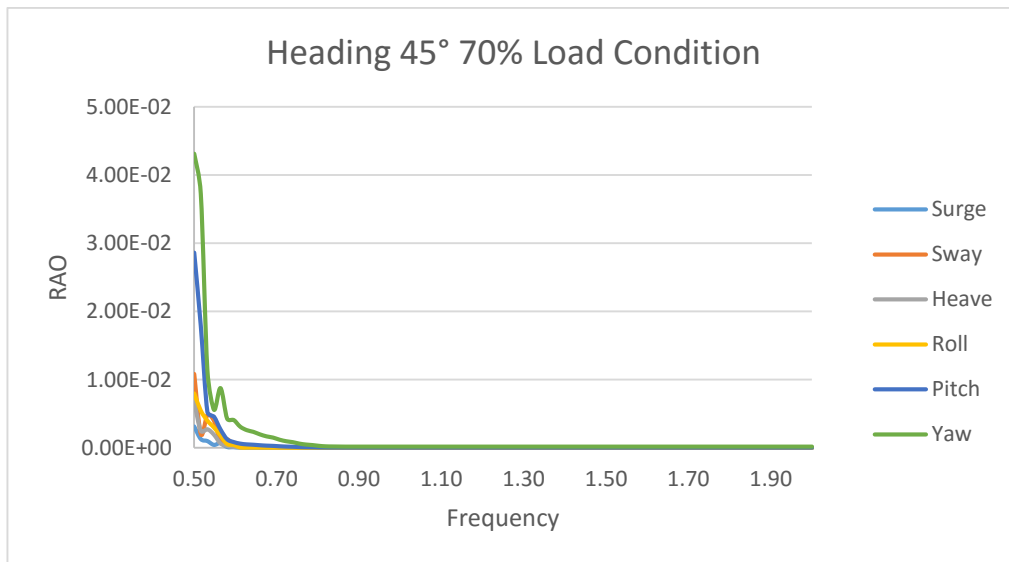
1.60	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.62	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.63	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.65	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.66	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.68	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.70	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.71	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.73	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.74	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.76	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.78	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.79	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.81	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.82	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.84	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.86	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.87	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.89	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.90	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.92	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.94	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.95	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.97	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
1.98	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04
2.00	3.38E-05	9.40E-05	1.27E-05	6.79E-05	1.40E-04	1.70E-04



- **Heading 45° 70% Load Condition**

	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.50	3.13E-03	1.09E-02	6.68E-03	7.96E-03	2.86E-02	4.32E-02
0.52	1.30E-03	2.03E-03	2.49E-03	5.45E-03	1.79E-02	3.73E-02
0.53	1.00E-03	4.80E-03	2.73E-03	3.98E-03	5.30E-03	1.14E-02
0.55	4.42E-04	3.96E-03	1.94E-03	2.98E-03	4.58E-03	0.0055694
0.56	7.12E-04	1.01E-03	6.55E-04	1.78E-03	2.69E-03	8.74E-03
0.58	1.33E-04	1.24E-03	2.96E-04	5.54E-04	1.26E-03	4.28E-03
0.60	1.09E-04	5.10E-04	1.46E-04	4.15E-04	8.43E-04	4.07E-03
0.61	4.25E-05	3.00E-04	7.08E-05	4.30E-05	6.07E-04	3.08E-03
0.63	3.54E-05	2.50E-04	5.84E-05	3.58E-05	5.00E-04	2.58E-03
0.64	3.18E-05	2.26E-04	5.23E-05	3.23E-05	4.47E-04	2.32E-03
0.66	2.67E-05	1.90E-04	4.35E-05	2.70E-05	3.72E-04	1.95E-03
0.68	2.27E-05	1.62E-04	3.68E-05	2.30E-05	3.14E-04	1.66E-03
0.69	2.01E-05	1.44E-04	3.25E-05	2.03E-05	2.77E-04	1.48E-03
0.71	1.59E-05	1.13E-04	2.55E-05	1.60E-05	2.17E-04	1.17E-03
0.72	1.28E-05	9.18E-05	2.05E-05	1.29E-05	1.74E-04	9.45E-04
0.74	1.10E-05	7.87E-05	1.75E-05	1.10E-05	1.49E-04	8.09E-04
0.76	8.11E-06	5.82E-05	1.29E-05	8.11E-06	1.09E-04	5.99E-04
0.77	6.24E-06	4.48E-05	9.89E-06	6.21E-06	8.39E-05	4.61E-04
0.79	5.17E-06	3.72E-05	8.19E-06	5.14E-06	6.94E-05	3.82E-04
0.80	3.62E-06	2.60E-05	5.71E-06	3.58E-06	4.84E-05	2.68E-04
0.82	2.67E-06	1.92E-05	4.21E-06	2.63E-06	3.57E-05	1.98E-04
0.84	2.42E-06	1.74E-05	3.81E-06	2.38E-06	3.23E-05	1.79E-04
0.85	2.26E-06	1.63E-05	3.57E-06	2.23E-06	3.02E-05	1.67E-04
0.87	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
0.88	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
0.90	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
0.91	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
0.93	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
0.95	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
0.96	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
0.98	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
0.99	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.01	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.03	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.04	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.06	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.07	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.09	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.11	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.12	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04

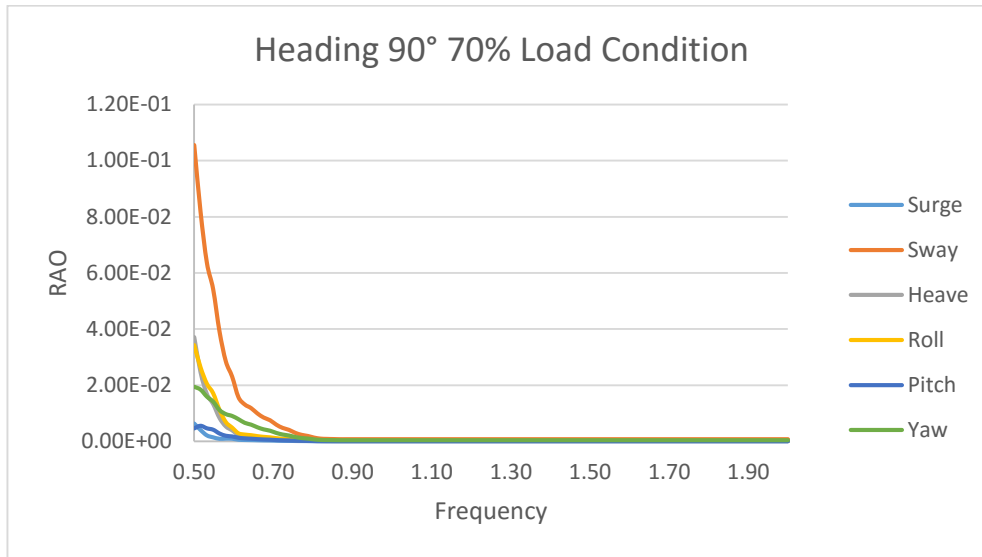
1.82	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.84	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.86	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.87	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.89	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.90	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.92	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.94	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.95	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.97	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
1.98	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04
2.00	2.12E-06	1.53E-05	3.35E-06	2.09E-06	2.83E-05	1.57E-04



- **Heading 90° 70% Load Condition**

	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.50	6.35E-03	0.1056243	3.72E-02	3.43E-02	4.66E-03	1.95E-02
0.52	4.04E-03	0.0818734	2.47E-02	2.64E-02	5.58E-03	1.84E-02
0.53	2.11E-03	6.37E-02	1.69E-02	0.020537	4.68E-03	1.59E-02
0.55	1.40E-03	5.42E-02	1.33E-02	0.0171315	4.17E-03	1.42E-02
0.56	8.90E-04	3.92E-02	8.40E-03	1.12E-02	2.81E-03	1.11E-02
0.58	9.57E-04	0.0285842	5.37E-03	6.84E-03	2.01E-03	9.71E-03
0.60	9.15E-04	2.31E-02	3.97E-03	4.86E-03	1.76E-03	9.05E-03
0.61	5.52E-04	1.58E-02	2.33E-03	2.84E-03	1.30E-03	7.89E-03
0.63	4.61E-04	1.32E-02	1.92E-03	2.39E-03	1.07E-03	6.60E-03
0.64	4.16E-04	1.19E-02	1.72E-03	2.16E-03	9.54E-04	5.95E-03
0.66	3.49E-04	1.00E-02	1.43E-03	1.83E-03	7.93E-04	5.00E-03

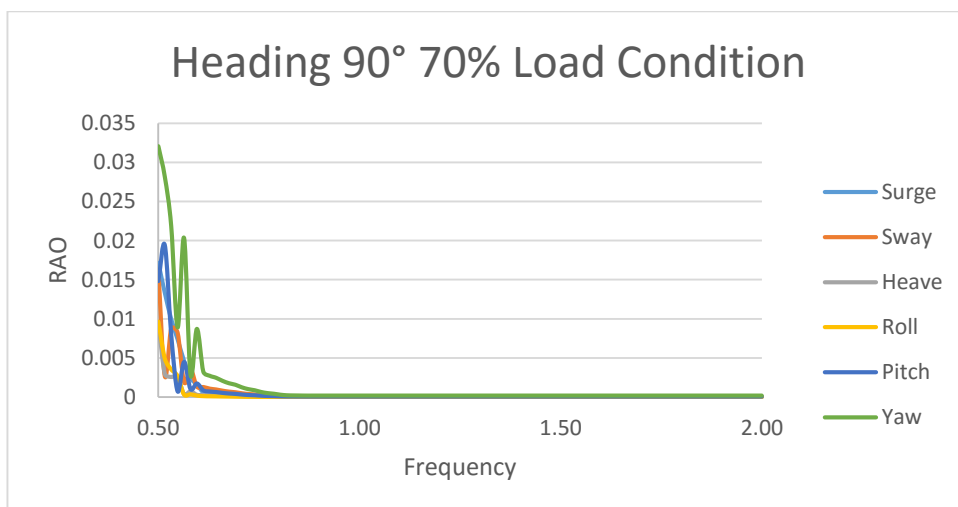
0.68	2.98E-04	8.52E-03	1.21E-03	1.57E-03	6.70E-04	4.26E-03
0.69	2.64E-04	7.57E-03	1.07E-03	1.39E-03	5.91E-04	3.79E-03
0.71	2.09E-04	5.98E-03	8.38E-04	1.11E-03	4.63E-04	2.99E-03
0.72	1.69E-04	4.84E-03	6.75E-04	8.98E-04	3.72E-04	2.42E-03
0.74	1.45E-04	4.15E-03	5.76E-04	7.72E-04	3.18E-04	2.07E-03
0.76	1.07E-04	3.07E-03	4.24E-04	5.73E-04	2.34E-04	1.54E-03
0.77	8.24E-05	2.36E-03	3.25E-04	4.42E-04	1.79E-04	1.18E-03
0.79	6.83E-05	1.96E-03	2.69E-04	3.67E-04	1.48E-04	9.80E-04
0.80	4.78E-05	1.37E-03	1.88E-04	2.57E-04	1.03E-04	6.86E-04
0.82	3.53E-05	1.01E-03	1.39E-04	1.90E-04	7.62E-05	5.07E-04
0.84	3.19E-05	9.16E-04	1.25E-04	1.72E-04	6.89E-05	4.59E-04
0.85	2.99E-05	8.58E-04	1.17E-04	1.61E-04	6.45E-05	4.29E-04
0.87	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
0.88	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
0.90	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
0.91	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
0.93	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
0.95	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
0.96	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
0.98	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
0.99	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.01	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.03	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.04	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.06	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.07	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.09	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.11	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.12	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.14	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.15	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.17	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.19	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.20	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.22	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.23	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.25	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.27	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.28	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.30	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.31	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.33	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04
1.35	2.80E-05	8.04E-04	1.10E-04	1.51E-04	6.05E-05	4.03E-04



- Heading 135° 70% Load Condition**

	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.50	0.0171553	1.61E-02	9.47E-03	9.64E-03	1.48E-02	3.21E-02
0.52	1.33E-02	2.68E-03	2.96E-03	4.94E-03	1.94E-02	2.82E-02
0.53	9.95E-03	8.76E-03	2.56E-03	3.54E-03	7.97E-03	2.18E-02
0.55	7.38E-03	8.22E-03	2.60E-03	0.0026803	7.02E-04	8.88E-03
0.56	4.61E-03	1.90E-03	3.58E-04	3.26E-04	4.46E-03	2.03E-02
0.58	2.48E-03	3.59E-03	7.34E-04	3.57E-04	1.01E-03	2.88E-03
0.60	1.60E-03	1.33E-03	2.80E-04	1.93E-04	1.71E-03	8.70E-03
0.61	6.20E-04	1.29E-03	2.69E-04	1.28E-04	8.36E-04	3.23E-03
0.63	5.18E-04	1.08E-03	2.22E-04	1.08E-04	6.88E-04	2.70E-03
0.64	4.68E-04	9.72E-04	1.99E-04	9.74E-05	6.15E-04	2.44E-03
0.66	3.93E-04	8.17E-04	1.65E-04	8.23E-05	5.11E-04	2.05E-03
0.68	3.35E-04	6.96E-04	1.40E-04	7.04E-05	4.31E-04	1.75E-03
0.69	2.98E-04	6.18E-04	1.23E-04	6.26E-05	3.81E-04	1.55E-03
0.71	2.35E-04	4.88E-04	9.67E-05	4.97E-05	2.98E-04	1.22E-03
0.72	1.90E-04	3.95E-04	7.78E-05	4.03E-05	2.39E-04	9.91E-04
0.74	1.63E-04	3.38E-04	6.65E-05	3.46E-05	2.04E-04	8.49E-04
0.76	1.21E-04	2.50E-04	4.89E-05	2.57E-05	1.50E-04	6.28E-04
0.77	9.30E-05	1.93E-04	3.75E-05	1.98E-05	1.15E-04	4.84E-04
0.79	7.71E-05	1.60E-04	3.11E-05	1.65E-05	9.52E-05	4.01E-04
0.80	5.40E-05	1.12E-04	2.17E-05	1.15E-05	6.64E-05	2.81E-04
0.82	3.99E-05	8.27E-05	1.60E-05	8.54E-06	4.89E-05	2.07E-04
0.84	3.61E-05	7.48E-05	1.45E-05	7.73E-06	4.43E-05	1.88E-04
0.85	3.38E-05	7.00E-05	1.35E-05	7.24E-06	4.14E-05	1.76E-04
0.87	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
0.88	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04

1.59	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.60	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.62	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.63	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.65	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.66	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.68	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.70	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.71	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.73	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.74	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.76	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.78	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.79	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.81	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.82	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.84	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.86	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.87	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.89	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.90	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.92	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.94	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.95	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.97	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
1.98	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04
2.00	3.17E-05	6.57E-05	1.27E-05	6.79E-06	3.88E-05	1.65E-04



LAMPIRAN C
***PREVIEW* SIMULASI SLOSHING**
MEMANJANG DAN MELINTANG

Preview untuk simulasi *sloshing* melintang dan memanjang

- **Melintang**

```
+-----+
| Mesh Statistics |
+-----+
| Domain Name | Orthog. Angle | Exp. Factor | Aspect Ratio |
+-----+
| Minimum [deg] | Maximum | Maximum |
+-----+
| Default Domain | 87.2 OK | 6 ok | 850 ok |
+-----+
| %! %ok %OK | %! %ok %OK | %! %ok %OK |
+-----+
| Default Domain | 0 0 100 | 0 2 98 | 0 100 0 |
+-----+
Domain Name : Default Domain
  Total Number of Nodes           = 3212
  Total Number of Elements        = 1547
  Total Number of Prisms          = 1
  Total Number of Hexahedrons     = 1546
  Total Number of Faces           = 3211
+-----+
| Reference Pressure Information |
+-----+
Domain Group: Default Domain
  Pressure has not been set at any boundary conditions.
  The pressure will be set to 0.00000E+00 at the following location:
  Domain : Default Domain
  Node : 1 (equation 1)
  Coordinates : (-7.83392E-01, 1.06374E-01, 2.54000E-05).
+-----+
| ***** Notice ***** |
| This is a multiphase simulation in a closed system. |
| A global correction will be applied to the volume fractions to |
| accelerate mass conservation. |
+-----+
Domain Group: Default Domain
  Buoyancy has been activated. The absolute pressure will include
  hydrostatic pressure contribution, using the following reference
  coordinates: (-7.83392E-01, 1.06374E-01, 2.54000E-05).
+-----+
| Initial Conditions Supplied by Fields in the Input Files |
+-----+
Domain Name : Default Domain
  Absolute Pressure
  Courant Number
  Density
  Density.Gradient
  Pressure
  Pressure.Gradient
  Temperature
  Total Pressure
  Volume Porosity
  Ing.Buoyancy Force.Bforce
  Ing.Conservative Volume Fraction
  Ing.Conservative Volume Fraction.Beta
  Ing.Conservative Volume Fraction.Gradient
  Ing.Courant Number
  Ing.Eddy Viscosity
  Ing.Effective Density at End of Timestep
  Ing.Shear Strain Rate
  Ing.Specific Volume
  Ing.Static Enthalpy
  Ing.Static Entropy
  Ing.Superficial Velocity
  Ing.TANGLIM
  Ing.Temperature
  Ing.Total Enthalpy
  Ing.Total Enthalpy.Gradient
```


Ing.Total Temperature
 Ing.Turbulence Eddy Dissipation
 Ing.Turbulence Eddy Frequency
 Ing.Turbulence Kinetic Energy
 Ing.Velocity
 Ing.Velocity Correlation
 Ing.Velocity.Beta
 Ing.Velocity.Gradient
 Ing.Volume Fraction
 vapor.Buoyancy Force.Bforce
 vapor.Conservative Volume Fraction
 vapor.Conservative Volume Fraction.Beta
 vapor.Conservative Volume Fraction.Gradient
 vapor.Courant Number
 vapor.Eddy Viscosity
 vapor.Effective Density at End of Timestep
 vapor.Sheer Strain Rate
 vapor.Specific Volume
 vapor.Static Enthalpy
 vapor.Static Entropy
 vapor.Superficial Velocity
 vapor.TANGLIM
 vapor.Temperature
 vapor.Total Enthalpy
 vapor.Total Enthalpy.Gradient
 vapor.Total Temperature
 vapor.Volume Fraction

-----+
 | Average Scale Information |
 -----+

Domain Name : Default Domain

Global Length	= 1.7728E-02
Minimum Extent	= 2.5400E-05
Maximum Extent	= 5.0800E-01
vapor.Density	= 1.8160E+00
vapor.Dynamic Viscosity	= 1.0640E-05
vapor.Velocity	= 3.8557E-02
vapor.Advection Time	= 4.5979E-01
vapor.RMS Courant Number	= 6.2782E-02
vapor.Maximum Courant Number	= 4.5678E-01
vapor.Reynolds Number	= 1.1666E+02
vapor.Mass (Conservative)	= 2.4963E-06
vapor.Mass (Normalised)	= 2.4963E-06
vapor.Volume	= 1.3746E-06
vapor.Volume Fraction	= 2.4672E-01
vapor.Thermal Conductivity	= 3.0570E+01
vapor.Specific Heat Capacity at Constant Pressure	= 3.5800E-02
vapor.Prandtl Number	= 1.2460E-08
vapor.Temperature Range	= 1.8843E+00
Ing.Density	= 4.2236E+02
Ing.Dynamic Viscosity	= 1.4600E-04
Ing.Velocity	= 3.8557E-02
Ing.Advection Time	= 4.5979E-01
Ing.RMS Courant Number	= 6.1996E-02
Ing.Maximum Courant Number	= 5.1544E-01
Ing.Reynolds Number	= 1.9774E+03
Ing.Mass (Conservative)	= 1.7726E-03
Ing.Mass (Normalised)	= 1.7726E-03
Ing.Volume	= 4.1970E-06
Ing.Volume Fraction	= 7.5328E-01
Ing.Thermal Conductivity	= 2.1350E-01
Ing.Specific Heat Capacity at Constant Pressure	= 8.3900E-01
Ing.Prandtl Number	= 5.7374E-04
Ing.Temperature Range	= 1.8843E+00
Wave Speed	= 4.1681E-01
Froude Number	= 9.2504E-02

-----+
 | Checking for Isolated Fluid Regions |
 -----+

No isolated fluid regions were found.

-----+
 | The Equations Solved in This Calculation |
 -----+

Subsystem : Momentum and Mass

U-Mom-Bulk

V-Mom-Bulk

W-Mom-Bulk

P-Vol

Subsystem : Volume Fractions

Mass-Ing

Subsystem : Heat Transfer

H-Energy-vapor

H-Energy-Ing

Subsystem : TurbKE and Diss.K

K-TurbKE-Bulk

E-Diss.K-Bulk

CFD Solver started: Tue Jul 19 00:23:40 2016

```
-----+
|           Convergence History           |
+-----+
+-----+
| Writing transient file 2000_full.tm     |
| Name  : Transient Results 1            |
| Type  : Standard                        |
| Option: Timestep Interval              |
+-----+
```

```
=====
|           Timestepping Information       |
+-----+
| Timestep | RMS Courant Number | Max Courant Number |
+-----+
| 1.0000E-02 | 0.06 | 0.51 |
+-----+
```

```
=====
TIME STEP = 2001 SIMULATION TIME = 2.0010E+01 CPU SECONDS = 9.986E+03
(THIS RUN: 1 1.0000E-02 2.141E+00)
```

```
=====
COEFFICIENT LOOP ITERATION = 1 CPU SECONDS = 2.141E+00
```

```
-----+
| Equation | Rate | RMS Res | Max Res | Linear Solution |
+-----+
| U-Mom-Bulk | 1.22 | 1.9E-08 | 3.4E-07 | 2.8E-03 OK|
| V-Mom-Bulk | 1.00 | 4.1E-08 | 5.3E-07 | 3.5E-03 OK|
| W-Mom-Bulk | 0.98 | 1.7E-13 | 2.1E-12 | 1.6E+00 ok|
| P-Vol | 1.03 | 1.1E-08 | 1.1E-07 | 8.7 2.3E-03 OK|
+-----+
| Mass-Ing | 0.97 | 4.0E-06 | 3.6E-05 | 10.3 2.5E-08 OK|
+-----+
| H-Energy-vapor | 0.91 | 7.9E-05 | 8.2E-04 | 5.9E-06 OK|
| H-Energy-Ing | 0.93 | 3.0E-06 | 3.1E-05 | 9.0 1.6E-06 OK|
+-----+
| K-TurbKE-Bulk | 0.94 | 5.4E-09 | 4.1E-08 | 9.1 5.5E-04 OK|
| E-Diss.K-Bulk | 0.74 | 4.4E-06 | 1.1E-04 | 11.5 3.8E-04 OK|
+-----+
```

CFD Solver finished: Tue Jul 19 00:23:40 2016

CFD Solver wall clock seconds: 6.9500E-01

```
=====
Termination and Interrupt Condition Summary
=====
```

CFD Solver: Run duration reached
(Maximum simulation time)

```
=====
Boundary Flow and Total Source Term Summary
=====
```

```
-----+
|           U-Mom-Bulk           |
+-----+
Boundary : Symm2 1.2877E-18
Boundary : Wall 6.7357E-08
Neg Accumulation : Default Domain -5.6995E-08
```

```
-----+
Domain Imbalance : 1.0363E-08
+-----+
```

```
-----+
|           V-Mom-Bulk           |
+-----+
```

Boundary : Symm2 1.1440E-13
 Boundary : Wall 1.7332E-02
 Domain Src (Neg) : Default Domain -1.7332E-02
 Neg Accumulation : Default Domain -5.4420E-08

Domain Imbalance : -1.7167E-08

-----+
 | W-Mom-Bulk |
 -----+

Boundary : Symm1 -3.5081E+01
 Boundary : Symm2 3.5081E+01
 Boundary : Wall 9.6946E-24
 Neg Accumulation : Default Domain 1.0024E-21

Domain Imbalance : -7.6294E-06

-----+
 | P-Vol |
 -----+

Neg Accumulation : Default Domain -7.9864E-09

-----+
 | Mass-Ing |
 -----+

Neg Accumulation : Default Domain -8.5140E-09

-----+
 | H-Energy-vapor |
 -----+

Domain Src (Neg) : Default Domain -8.5776E-01
 Domain Src (Pos) : Default Domain 8.8729E-01
 Neg Accumulation : Default Domain -1.0764E-07

Domain Imbalance : 2.9528E-02

-----+
 | H-Energy-Ing |
 -----+

Domain Src (Neg) : Default Domain -8.8729E-01
 Domain Src (Pos) : Default Domain 8.5776E-01
 Neg Accumulation : Default Domain 2.6984E-08

Domain Imbalance : -2.9528E-02

-----+
 | Normalised Imbalance Summary |
 -----+

Equation	Maximum Flow	Imbalance (%)
U-Mom-Bulk	3.5081E+01	0.0000
V-Mom-Bulk	3.5081E+01	-0.0000
W-Mom-Bulk	3.5081E+01	-0.0000
P-Vol	7.9864E-09	-0.4499
Mass-Ing	8.5140E-09	-0.4891
H-Energy-vapor	8.8729E-01	3.3278
H-Energy-Ing	8.8729E-01	-3.3279

=====
 Wall Force and Moment Summary
 =====

Notes:

- Pressure integrals exclude the reference pressure. To include it, set the expert parameter 'include pref in forces = t'.

-----+
 | Pressure Force On Walls |
 -----+

X-Comp. Y-Comp. Z-Comp.
 Domain Group: Default Domain
 Wall -8.6380E-08 -1.7396E-02 0.0000E+00

Domain Group Totals : -8.6380E-08 -1.7396E-02 0.0000E+00

-----+
 | Viscous Force On Walls |
 -----+

X-Comp. Y-Comp. Z-Comp.
 Domain Group: Default Domain

```

Wall                1.8369E-08  1.7816E-08 -9.6946E-24
-----
Domain Group Totals :      1.8369E-08  1.7816E-08 -9.6946E-24
+-----+
|           Pressure Moment On Walls           |
+-----+
|           X-Comp.  Y-Comp.  Z-Comp.         |
Domain Group: Default Domain
Wall                2.2093E-07 -1.0996E-12  1.2477E-02
-----
Domain Group Totals :      2.2093E-07 -1.0996E-12  1.2477E-02
+-----+
|           Viscous Moment On Walls           |
+-----+
|           X-Comp.  Y-Comp.  Z-Comp.         |
Domain Group: Default Domain
Wall                -2.2626E-13  2.3328E-13 -7.5598E-09
-----
Domain Group Totals :      -2.2626E-13  2.3328E-13 -7.5598E-09
+-----+
|           Locations of Maximum Residuals     |
+-----+
| Equation | Domain Name | Node Number |
+-----+
| U-Mom-Bulk | Default Domain | 1518 |
| V-Mom-Bulk | Default Domain | 1526 |
| W-Mom-Bulk | Default Domain | 2571 |
| P-Vol      | Default Domain | 2 |
+-----+
| Mass-Ing   | Default Domain | 1913 |
+-----+
| H-Energy-vapor | Default Domain | 3196 |
| H-Energy-Ing   | Default Domain | 3196 |
+-----+
| K-TurbKE-Bulk | Default Domain | 1504 |
| E-Diss.K-Bulk | Default Domain | 3188 |
+-----+
|           Average Scale Information         |
+-----+
Domain Name : Default Domain
Global Length                = 1.7728E-02
Minimum Extent                = 2.5400E-05
Maximum Extent                = 5.0800E-01
vapor.Density                 = 1.8160E+00
vapor.Dynamic Viscosity       = 1.0640E-05
vapor.Velocity                = 3.8555E-02
vapor.Advection Time          = 4.5981E-01
vapor.RMS Courant Number      = 5.6760E+05
vapor.Maximum Courant Number  = 3.2168E+07
vapor.Reynolds Number         = 1.1666E+02
vapor.Mass (Conservative)     = 2.4963E-06
vapor.Mass (Normalised)      = 2.4963E-06
vapor.Volume                  = 1.3746E-06
vapor.Volume Fraction         = 2.4672E-01
vapor.Thermal Conductivity    = 3.0570E+01
vapor.Specific Heat Capacity at Constant Pressure = 3.5800E-02
vapor.Prandtl Number          = 1.2460E-08
vapor.Temperature Range      = 1.8851E+00
Ing.Density                   = 4.2236E+02
Ing.Dynamic Viscosity         = 1.4600E-04
Ing.Velocity                  = 3.8555E-02
Ing.Advection Time           = 4.5981E-01
Ing.RMS Courant Number        = 6.1991E-02
Ing.Maximum Courant Number    = 5.1543E-01
Ing.Reynolds Number           = 1.9773E+03
Ing.Mass (Conservative)      = 1.7726E-03
Ing.Mass (Normalised)        = 1.7726E-03
Ing.Volume                    = 4.1970E-06
Ing.Volume Fraction           = 7.5328E-01
Ing.Thermal Conductivity     = 2.1350E-01
Ing.Specific Heat Capacity at Constant Pressure = 8.3900E-01
Ing.Prandtl Number           = 5.7374E-04

```

lng.Temperature Range = 1.8851E+00
 Wave Speed = 4.1681E-01
 Froude Number = 9.2499E-02

-----+
 | Variable Range Information |
 +-----+

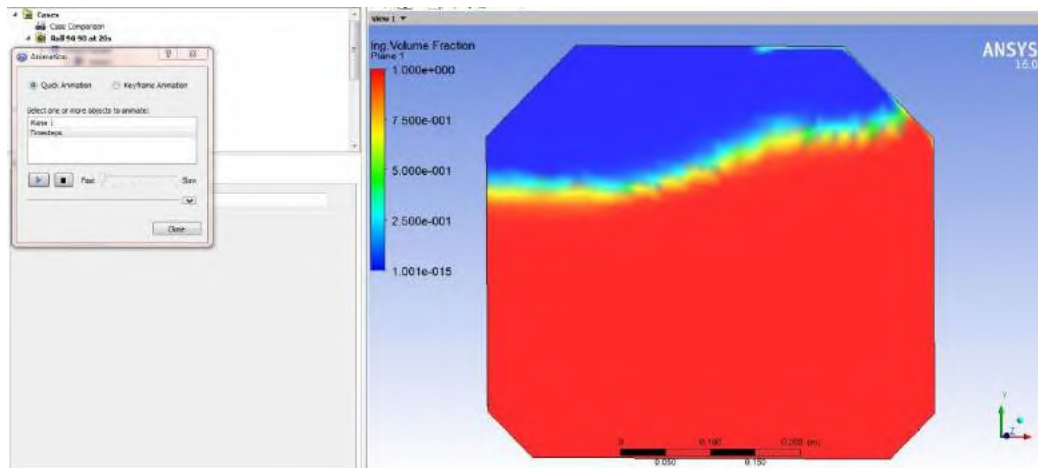
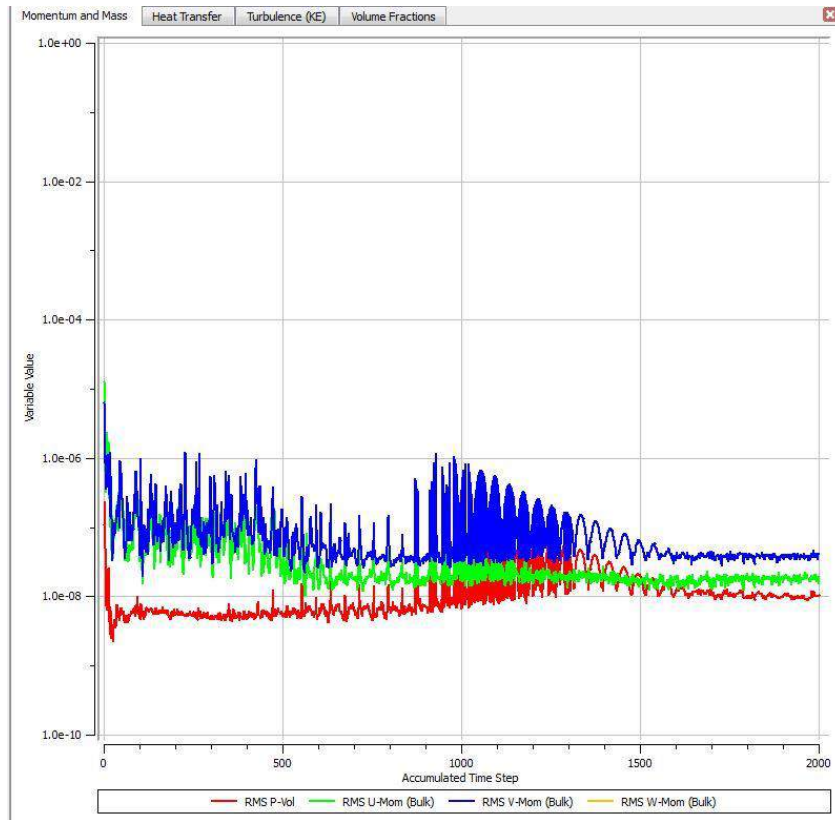
Domain Name : Default Domain

Variable Name	min	max
vapor.Density	1.82E+00	1.82E+00
vapor.Dynamic Viscosity	1.06E-05	1.06E-05
vapor.Thermal Conductivity	3.06E+01	3.06E+01
vapor.Specific Heat Capacity at Constant Pr	3.58E-02	3.58E-02
vapor.Static Entropy	-3.57E-02	-3.51E-02
lng.Density	4.22E+02	4.22E+02
lng.Dynamic Viscosity	1.46E-04	1.46E-04
lng.Thermal Conductivity	2.13E-01	2.13E-01
lng.Specific Heat Capacity at Constant Pres	8.39E-01	8.39E-01
lng.Static Entropy	-8.36E-01	-8.22E-01
lng.Velocity u	-2.04E-01	1.56E-01
lng.Velocity v	-1.69E-01	3.61E-01
lng.Velocity w	-5.68E-14	5.68E-14
Pressure	-3.48E+02	1.02E+03
lng.Conservative Volume Fraction	3.47E-09	1.00E+00
vapor.Volume Fraction	1.00E-15	1.00E+00
lng.Volume Fraction	3.47E-09	1.00E+00
lng.Turbulence Kinetic Energy	1.59E-05	2.20E-02
lng.Turbulence Eddy Dissipation	6.97E-06	3.05E-01
vapor.Eddy Viscosity	2.85E-06	2.08E-03
lng.Eddy Viscosity	6.64E-04	4.85E-01
vapor.Temperature	1.10E+02	1.12E+02
vapor.Static Enthalpy	-6.73E+00	-6.66E+00
vapor.Total Enthalpy	-6.73E+00	-6.60E+00
lng.Temperature	1.10E+02	1.12E+02
lng.Static Enthalpy	-3.50E+02	-3.47E+02
lng.Total Enthalpy	-3.50E+02	-3.47E+02
Eddy Viscosity	4.83E-05	4.85E-01

-----+
 | CPU Requirements of Numerical Solution |
 +-----+

Subsystem Name	Discretization		Linear Solution	
	(secs.	%total)	(secs.	%total)
Momentum and Mass	1.09E-01	3.8 %	1.00E-02	0.4 %
Volume Fractions	1.40E-02	0.5 %	4.00E-03	0.1 %
Heat Transfer	5.90E-02	2.1 %	5.00E-03	0.2 %
TurbKE and Diss.K	3.40E-02	1.2 %	1.20E-02	0.4 %
Subsystem Summary	2.16E-01	7.6 %	3.10E-02	1.1 %
Variable Updates	1.08E-01	3.8 %		
File Reading	1.90E-02	0.7 %		
File Writing	2.33E-01	8.2 %		
Miscellaneous	2.23E+00	78.6 %		
Total	2.84E+00			

Hasil Running sloshing pada ANSYS CFX kondisi melintang



- **Memanjang**

```

-----+
|           Mesh Statistics           |
-----+
| Domain Name   | Orthog. Angle | Exp. Factor | Aspect Ratio |
-----+-----+-----+-----+
|           | Minimum [deg] | Maximum    | Maximum    |
-----+-----+-----+-----+
| Default Domain | 79.4 OK | 6 ok | 150 ok |
-----+-----+-----+-----+
|           | %! %ok %OK | %! %ok %OK | %! %ok %OK |
-----+-----+-----+-----+
| Default Domain | 0 0 100 | 0 <1 100 | 0 4 96 |
-----+-----+-----+-----+
Domain Name : Default Domain
  Total Number of Nodes           = 10392
  Total Number of Elements        = 5055
  Total Number of Prisms          = 4
  Total Number of Hexahedrons     = 5051
  Total Number of Faces           = 10394
-----+
|           Reference Pressure Information           |
-----+
Domain Group: Default Domain
  Pressure has not been set at any boundary conditions.
  The pressure will be set to 0.00000E+00 at the following location:
  Domain   : Default Domain
  Node    : 1 (equation 1)
  Coordinates : ( 1.28479E+00, 3.96813E-01, 0.00000E+00).
-----+
|           ***** Notice *****           |
-----+
| This is a multiphase simulation in a closed system.           |
| A global correction will be applied to the volume fractions to |
| accelerate mass conservation.                                 |
-----+
Domain Group: Default Domain
  Buoyancy has been activated. The absolute pressure will include
  hydrostatic pressure contribution, using the following reference
  coordinates: ( 1.28479E+00, 3.96813E-01, 0.00000E+00).
-----+
| Initial Conditions Supplied by Fields in the Input Files |
-----+
Domain Name : Default Domain
  Absolute Pressure
  Courant Number
  Density
  Density.Gradient

```

Pressure
Pressure.Gradient
Temperature
Total Pressure
Volume Porosity
Ing.Buoyancy Force.Bforce
Ing.Conservative Volume Fraction
Ing.Conservative Volume Fraction.Beta
Ing.Conservative Volume Fraction.Gradient
Ing.Courant Number
Ing.Eddy Viscosity
Ing.Effective Density at End of Timestep
Ing.Shear Strain Rate
Ing.Specific Heat Capacity at Constant Pressure
Ing.Specific Volume
Ing.Static Enthalpy
Ing.Static Entropy
Ing.Superficial Velocity
Ing.TANGLIM
Ing.Temperature
Ing.Total Enthalpy
Ing.Total Enthalpy.Gradient
Ing.Total Temperature
Ing.Volume Fraction
vapour.Buoyancy Force.Bforce
vapour.Conservative Volume Fraction
vapour.Conservative Volume Fraction.Beta
vapour.Conservative Volume Fraction.Gradient
vapour.Courant Number
vapour.Eddy Viscosity
vapour.Effective Density at End of Timestep
vapour.Shear Strain Rate
vapour.Specific Heat Capacity at Constant Pressure
vapour.Specific Volume
vapour.Static Enthalpy
vapour.Static Entropy
vapour.Superficial Velocity
vapour.TANGLIM
vapour.Temperature
vapour.Total Enthalpy
vapour.Total Enthalpy.Gradient
vapour.Total Temperature
vapour.Turbulence Eddy Dissipation
vapour.Turbulence Eddy Frequency
vapour.Turbulence Kinetic Energy
vapour.Velocity
vapour.Velocity Correlation
vapour.Velocity.Beta
vapour.Velocity.Gradient

vapour.Volume Fraction

```
+-----+
|           Average Scale Information           |
+-----+
```

Domain Name : Default Domain

Global Length	= 7.4265E-02
Minimum Extent	= 2.5400E-04
Maximum Extent	= 2.0995E+00
vapour.Density	= 1.8160E+00
vapour.Dynamic Viscosity	= 1.0640E-05
vapour.Velocity	= 1.0670E-01
vapour.Advection Time	= 6.9599E-01
vapour.RMS Courant Number	= 6.5960E-02
vapour.Maximum Courant Number	= 4.5954E-01
vapour.Reynolds Number	= 1.3525E+03
vapour.Mass (Conservative)	= 1.9206E-04
vapour.Mass (Normalised)	= 1.9206E-04
vapour.Volume	= 1.0576E-04
vapour.Volume Fraction	= 2.5821E-01
vapour.Thermal Conductivity	= 3.0570E+01
vapour.Specific Heat Capacity at Constant Pressure	= 3.5800E-02
vapour.Prandtl Number	= 1.2460E-08
vapour.Temperature Range	= 5.0956E+01
Ing.Density	= 4.2236E+02
Ing.Dynamic Viscosity	= 1.4600E-04
Ing.Velocity	= 1.0670E-01
Ing.Advection Time	= 6.9599E-01
Ing.RMS Courant Number	= 1.0036E+04
Ing.Maximum Courant Number	= 6.8980E+05
Ing.Reynolds Number	= 2.2924E+04
Ing.Mass (Conservative)	= 1.2832E-01
Ing.Mass (Normalised)	= 1.2832E-01
Ing.Volume	= 3.0383E-04
Ing.Volume Fraction	= 7.4179E-01
Ing.Thermal Conductivity	= 2.1350E-01
Ing.Specific Heat Capacity at Constant Pressure	= 8.3900E-01
Ing.Prandtl Number	= 5.7374E-04
Ing.Temperature Range	= 5.1184E+01
Wave Speed	= 8.5311E-01
Froude Number	= 1.2508E-01

```
+-----+
|           Checking for Isolated Fluid Regions           |
+-----+
```

No isolated fluid regions were found.

```
+-----+
|           The Equations Solved in This Calculation           |
+-----+
```

Subsystem : Momentum and Mass

U-Mom-Bulk

V-Mom-Bulk

W-Mom-Bulk

P-Vol

Subsystem : Volume Fractions

Mass-vapour

Subsystem : Heat Transfer

H-Energy-vapour

H-Energy-Ing

Subsystem : TurbKE and Diss.K

K-TurbKE-Bulk

E-Diss.K-Bulk

CFD Solver started: Sun Jul 24 03:03:29 2016

-----+
| Convergence History |

-----+
-----+
-----+
| Writing transient file 2000_full.trn |

| Name : Transient Results 1 |

| Type : Standard |

| Option : Timestep Interval |

-----+

=====
| Timestepping Information |

| Timestep | RMS Courant Number | Max Courant Number |

-----+-----+-----+
| 1.0000E-02 | 0.07 | 0.48 |

-----+

=====
TIME STEP = 2001 SIMULATION TIME = 2.0010E+01 CPU SECONDS = 1.155E+04

(THIS RUN: 1 1.0000E-02 2.867E+00)

COEFFICIENT LOOP ITERATION = 1 CPU SECONDS = 2.867E+00

| Equation | Rate | RMS Res | Max Res | Linear Solution |

-----+-----+-----+-----+
-----+-----+-----+-----+
| U-Mom-Bulk | 0.87 | 2.4E-05 | 1.2E-03 | 8.1E-04 OK|

| V-Mom-Bulk | 0.69 | 1.4E-05 | 6.7E-04 | 9.9E-04 OK|

| W-Mom-Bulk | 0.98 | 9.9E-13 | 1.9E-11 | 8.3E+00 ok|

| P-Vol | 0.91 | 1.4E-07 | 2.9E-06 | 8.6 1.1E-02 OK|

-----+-----+-----+-----+
-----+-----+-----+-----+
| Mass-vapour | 0.79 | 9.9E-04 | 2.0E-02 | 10.4 2.5E-08 OK|

-----+-----+-----+-----+
-----+-----+-----+-----+
| H-Energy-vapour | 0.68 | 1.7E-03 | 7.2E-03 | 1.4E-06 OK|

| H-Energy-Ing | 0.69 | 4.6E-02 | 2.0E-01 | 9.2 1.9E-08 OK|

-----+-----+-----+-----+
-----+-----+-----+-----+
| K-TurbKE-Bulk | 0.99 | 1.0E-05 | 1.8E-04 | 8.9 7.0E-06 OK|

| E-Diss.K-Bulk | 0.87 | 1.5E-03 | 2.2E-02 | 10.7 1.1E-05 OK|

```

+-----+-----+-----+-----+
-----
COEFFICIENT LOOP ITERATION = 2      CPU SECONDS = 3.398E+00
-----

```

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Linear Solution
U-Mom-Bulk	0.78	1.9E-05	6.7E-04	5.0E-03 OK
V-Mom-Bulk	6.24	8.4E-05	2.8E-03	3.0E-03 OK
W-Mom-Bulk	0.99	9.9E-13	1.9E-11	9.2E+00 ok
P-Vol	1.20	1.7E-07	3.5E-06	8.6 2.7E-02 OK
Mass-vapour	0.05	5.1E-05	1.4E-03	10.5 2.5E-08 OK
H-Energy-vapour	0.06	1.1E-04	6.4E-04	5.8E-06 OK
H-Energy-Ing	0.07	3.2E-03	1.9E-02	9.0 6.6E-08 OK
K-TurbKE-Bulk	0.27	2.8E-06	5.4E-05	9.0 4.0E-06 OK
E-Diss.K-Bulk	0.56	8.5E-04	1.3E-02	10.7 2.0E-06 OK

```

-----
COEFFICIENT LOOP ITERATION = 3      CPU SECONDS = 3.902E+00
-----

```

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Linear Solution
U-Mom-Bulk	0.57	1.1E-05	4.4E-04	1.4E-02 OK
V-Mom-Bulk	0.28	2.4E-05	1.5E-03	1.2E-02 OK
W-Mom-Bulk	0.91	9.0E-13	1.9E-11	7.5E+00 ok
P-Vol	0.21	3.6E-08	5.8E-07	8.6 3.8E-02 OK
Mass-vapour	0.24	1.2E-05	5.6E-04	10.5 2.5E-08 OK
H-Energy-vapour	4.46	4.8E-04	2.5E-03	1.3E-06 OK
H-Energy-Ing	4.49	1.4E-02	7.5E-02	9.0 2.7E-08 OK
K-TurbKE-Bulk	0.46	1.3E-06	3.3E-05	8.9 1.4E-06 OK
E-Diss.K-Bulk	0.42	3.6E-04	5.8E-03	10.7 2.9E-06 OK

```

-----
COEFFICIENT LOOP ITERATION = 4      CPU SECONDS = 4.407E+00
-----

```

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Linear Solution
U-Mom-Bulk	0.75	8.2E-06	3.7E-04	2.8E-02 OK
V-Mom-Bulk	0.54	1.3E-05	8.6E-04	3.1E-02 OK
W-Mom-Bulk	1.09	9.8E-13	1.9E-11	4.0E+00 ok
P-Vol	0.43	1.6E-08	2.2E-07	8.6 3.0E-02 OK
Mass-vapour	0.44	5.3E-06	2.7E-04	10.5 2.5E-08 OK

H-Energy-vapour	0.41	2.0E-04	1.1E-03	1.7E-06	OK
H-Energy-Ing	0.41	5.9E-03	3.2E-02	9.0 2.2E-08	OK
-----+					
K-TurbKE-Bulk	0.47	6.1E-07	1.6E-05	8.9 1.7E-06	OK
E-Diss.K-Bulk	0.42	1.5E-04	2.4E-03	10.7 4.2E-06	OK
-----+					

COEFFICIENT LOOP ITERATION =		5	CPU SECONDS = 4.913E+00		

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Linear Solution	
-----+					
U-Mom-Bulk	0.60	4.9E-06	3.0E-04	4.4E-02	OK
V-Mom-Bulk	0.55	7.0E-06	4.8E-04	4.5E-02	OK
W-Mom-Bulk	0.99	9.6E-13	1.9E-11	2.6E+00	ok
P-Vol	0.59	9.2E-09	8.4E-08	8.6 3.6E-02	OK
-----+					
Mass-vapour	0.42	2.2E-06	1.1E-04	10.4 2.9E-08	OK
-----+					
H-Energy-vapour	0.55	1.1E-04	5.4E-04	2.3E-06	OK
H-Energy-Ing	0.55	3.3E-03	1.6E-02	9.0 2.8E-08	OK
-----+					
K-TurbKE-Bulk	0.48	2.9E-07	7.8E-06	8.9 1.8E-06	OK
E-Diss.K-Bulk	0.42	6.2E-05	1.0E-03	10.7 4.2E-06	OK
-----+					

COEFFICIENT LOOP ITERATION = 6 CPU SECONDS = 5.421E+00

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Linear Solution	
-----+					
U-Mom-Bulk	0.54	2.6E-06	1.8E-04	6.3E-02	OK
V-Mom-Bulk	0.60	4.2E-06	2.8E-04	6.0E-02	OK
W-Mom-Bulk	0.98	9.4E-13	1.9E-11	1.6E+00	ok
P-Vol	0.88	8.1E-09	9.3E-08	8.6 2.5E-02	OK
-----+					
Mass-vapour	0.42	9.4E-07	4.1E-05	10.5 2.6E-08	OK
-----+					
H-Energy-vapour	0.70	7.7E-05	3.5E-04	2.9E-06	OK
H-Energy-Ing	0.70	2.3E-03	1.0E-02	9.0 3.2E-08	OK
-----+					
K-TurbKE-Bulk	0.48	1.4E-07	3.9E-06	8.9 1.5E-06	OK
E-Diss.K-Bulk	0.43	2.6E-05	4.3E-04	10.7 3.4E-06	OK
-----+					

COEFFICIENT LOOP ITERATION = 7 CPU SECONDS = 5.954E+00

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Linear Solution	
-----+					
U-Mom-Bulk	0.53	1.4E-06	9.3E-05	7.6E-02	OK
V-Mom-Bulk	0.65	2.7E-06	1.9E-04	6.4E-02	OK

W-Mom-Bulk	0.99 9.4E-13 1.9E-11	1.0E+00 ok
P-Vol	0.86 7.0E-09 7.2E-08 8.6	1.8E-02 OK
+-----+-----+-----+-----+		
Mass-vapour	0.47 4.4E-07 1.6E-05 10.5	2.7E-08 OK
+-----+-----+-----+-----+		
H-Energy-vapour	0.77 5.9E-05 2.5E-04	2.6E-06 OK
H-Energy-Ing	0.77 1.7E-03 7.5E-03 9.0	3.1E-08 OK
+-----+-----+-----+-----+		
K-TurbKE-Bulk	0.50 7.0E-08 2.1E-06 8.9	1.2E-06 OK
E-Diss.K-Bulk	0.45 1.2E-05 1.9E-04 10.7	2.9E-06 OK
+-----+-----+-----+-----+		

COEFFICIENT LOOP ITERATION = 8 CPU SECONDS = 6.469E+00

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Linear Solution
U-Mom-Bulk	0.55 7.6E-07 5.0E-05	7.0E-02 OK		
V-Mom-Bulk	0.70 1.9E-06 1.3E-04	6.1E-02 OK		
W-Mom-Bulk	0.94 8.8E-13 9.8E-12	7.6E-01 ok		
P-Vol	0.96 6.8E-09 9.1E-08 8.6	1.4E-02 OK		
+-----+-----+-----+-----+				
Mass-vapour	0.63 2.8E-07 8.2E-06 10.5	2.4E-08 OK		
+-----+-----+-----+-----+				
H-Energy-vapour	0.80 4.7E-05 1.8E-04	2.4E-06 OK		
H-Energy-Ing	0.80 1.4E-03 5.2E-03 9.0	3.1E-08 OK		
+-----+-----+-----+-----+				
K-TurbKE-Bulk	0.53 3.7E-08 1.1E-06 8.9	7.6E-07 OK		
E-Diss.K-Bulk	0.48 5.7E-06 9.5E-05 10.7	2.2E-06 OK		
+-----+-----+-----+-----+				

COEFFICIENT LOOP ITERATION = 9 CPU SECONDS = 6.982E+00

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Linear Solution
U-Mom-Bulk	0.76 5.8E-07 4.2E-05	6.2E-02 OK		
V-Mom-Bulk	0.70 1.3E-06 8.5E-05	5.0E-02 OK		
W-Mom-Bulk	1.09 9.5E-13 1.9E-11	6.1E-01 ok		
P-Vol	1.08 7.3E-09 8.1E-08 8.6	1.3E-02 OK		
+-----+-----+-----+-----+				
Mass-vapour	0.79 2.2E-07 7.4E-06 10.5	2.6E-08 OK		
+-----+-----+-----+-----+				
H-Energy-vapour	0.82 3.9E-05 1.4E-04	2.1E-06 OK		
H-Energy-Ing	0.82 1.1E-03 4.2E-03 9.0	3.1E-08 OK		
+-----+-----+-----+-----+				
K-TurbKE-Bulk	0.62 2.3E-08 5.4E-07 8.9	7.6E-07 OK		
E-Diss.K-Bulk	0.72 4.0E-06 7.8E-05 10.7	1.8E-06 OK		
+-----+-----+-----+-----+				

COEFFICIENT LOOP ITERATION = 10 CPU SECONDS = 7.493E+00

```

-----
| Equation | Rate | RMS Res | Max Res | Linear Solution |
+-----+-----+-----+-----+
| U-Mom-Bulk | 0.71 | 4.1E-07 | 2.3E-05 | 5.3E-02 OK|
| V-Mom-Bulk | 0.73 | 9.7E-07 | 5.4E-05 | 4.1E-02 OK|
| W-Mom-Bulk | 1.01 | 9.6E-13 | 1.9E-11 | 5.0E-01 ok|
| P-Vol | 0.94 | 6.8E-09 | 7.3E-08 | 8.6 9.3E-03 OK|
+-----+-----+-----+-----+
| Mass-vapour | 0.79 | 1.7E-07 | 6.5E-06 | 10.5 2.8E-08 OK|
+-----+-----+-----+-----+
| H-Energy-vapour | 0.84 | 3.3E-05 | 1.1E-04 | 2.1E-06 OK|
| H-Energy-Ing | 0.84 | 9.6E-04 | 3.2E-03 | 9.0 3.1E-08 OK|
+-----+-----+-----+-----+
| K-TurbKE-Bulk | 0.81 | 1.9E-08 | 3.5E-07 | 8.9 6.9E-07 OK|
| E-Diss.K-Bulk | 1.00 | 4.1E-06 | 1.1E-04 | 10.7 2.0E-06 OK|
+-----+-----+-----+-----+

```

CFD Solver finished: Sun Jul 24 03:03:34 2016

CFD Solver wall clock seconds: 5.6680E+00

```

=====
Termination and Interrupt Condition Summary
=====

```

CFD Solver: Run duration reached
(Maximum simulation time)

```

=====
Boundary Flow and Total Source Term Summary
=====

```

```

+-----+
| U-Mom-Bulk |
+-----+
Boundary : Wall 8.1497E-02
Neg Accumulation : Default Domain -8.1497E-02
-----
Domain Imbalance : 5.9605E-08
+-----+
| V-Mom-Bulk |
+-----+
Boundary : Wall 1.2460E+00
Domain Src (Neg) : Default Domain -1.2547E+00
Neg Accumulation : Default Domain 8.7433E-03
-----
Domain Imbalance : 1.9516E-05
+-----+
| W-Mom-Bulk |
+-----+
Boundary : Symm1 -4.6537E+02
Boundary : Symm2 4.6537E+02
Boundary : Wall -8.2713E-16
Neg Accumulation : Default Domain -2.3446E-18

```

```

-----
Domain Imbalance :                2.1362E-04
+-----+
|                P-Vol                |
+-----+
Neg Accumulation : Default Domain    4.2515E-07
+-----+
|                Mass-vapour           |
+-----+
Neg Accumulation : Default Domain    -2.8598E-09
+-----+
|                H-Energy-vapour       |
+-----+
Domain Src (Neg) : Default Domain    -6.2510E+02
Domain Src (Pos) : Default Domain    2.4844E+03
Neg Accumulation : Default Domain    -6.4939E-05

```

```

-----
Domain Imbalance :                1.8592E+03
+-----+
|                H-Energy-Ing           |
+-----+
Domain Src (Neg) : Default Domain    -2.4844E+03
Domain Src (Pos) : Default Domain    6.2510E+02
Neg Accumulation : Default Domain    5.2693E-03

```

```

-----
Domain Imbalance :                -1.8592E+03
+-----+
|                Normalised Imbalance Summary                |
+-----+
| Equation | Maximum Flow | Imbalance (%) |
+-----+
| U-Mom-Bulk | 4.6537E+02 | 0.0000 |
| V-Mom-Bulk | 4.6537E+02 | 0.0000 |
| W-Mom-Bulk | 4.6537E+02 | 0.0000 |
| P-Vol      | 4.2515E-07 | 0.3308 |
+-----+
| Mass-vapour | 2.8598E-09 | -1.5465 |
+-----+
| H-Energy-vapour | 2.4844E+03 | 74.8385 |
| H-Energy-Ing   | 2.4844E+03 | -74.8382 |
+-----+

```

```

=====
Wall Force and Moment Summary
=====

```

Notes:

1. Pressure integrals exclude the reference pressure. To include it, set the expert parameter 'include pref in forces = t'.

```

+-----+
|           Pressure Force On Walls           |
+-----+
                X-Comp.   Y-Comp.   Z-Comp.

```

Domain Group: Default Domain
Wall -8.1498E-02 -1.2507E+00 0.0000E+00

Domain Group Totals : -8.1498E-02 -1.2507E+00 0.0000E+00

```

+-----+
|           Viscous Force On Walls           |
+-----+
                X-Comp.   Y-Comp.   Z-Comp.

```

Domain Group: Default Domain
Wall 2.3191E-07 1.9667E-06 8.2713E-16

Domain Group Totals : 2.3191E-07 1.9667E-06 8.2713E-16

```

+-----+
|           Pressure Moment On Walls        |
+-----+
                X-Comp.   Y-Comp.   Z-Comp.

```

Domain Group: Default Domain
Wall -1.5884E-04 1.0350E-05 -1.2308E+00

Domain Group Totals : -1.5884E-04 1.0350E-05 -1.2308E+00

```

+-----+
|           Viscous Moment On Walls        |
+-----+
                X-Comp.   Y-Comp.   Z-Comp.

```

Domain Group: Default Domain
Wall 2.4977E-10 -2.9455E-11 2.0574E-06

Domain Group Totals : 2.4977E-10 -2.9455E-11 2.0574E-06

```

+-----+
|           Locations of Maximum Residuals   |
+-----+

```

Equation	Domain Name	Node Number
U-Mom-Bulk	Default Domain	5050
V-Mom-Bulk	Default Domain	10287
W-Mom-Bulk	Default Domain	4913
P-Vol	Default Domain	3241
Mass-vapour	Default Domain	9137
H-Energy-vapour	Default Domain	3639
H-Energy-Ing	Default Domain	8839

K-TurbKE-Bulk	Default Domain	5050
E-Diss.K-Bulk	Default Domain	4960

Average Scale Information

Domain Name : Default Domain

Global Length	= 7.4265E-02
Minimum Extent	= 2.5400E-04
Maximum Extent	= 2.0995E+00
vapour.Density	= 1.8160E+00
vapour.Dynamic Viscosity	= 1.0640E-05
vapour.Velocity	= 9.9166E-02
vapour.Advection Time	= 7.4890E-01
vapour.RMS Courant Number	= 6.2282E-02
vapour.Maximum Courant Number	= 4.9970E-01
vapour.Reynolds Number	= 1.2570E+03
vapour.Mass (Conservative)	= 1.9206E-04
vapour.Mass (Normalised)	= 1.9206E-04
vapour.Volume	= 1.0576E-04
vapour.Volume Fraction	= 2.5821E-01
vapour.Thermal Conductivity	= 3.0570E+01
vapour.Specific Heat Capacity at Constant Pressure	= 3.5800E-02
vapour.Prandtl Number	= 1.2460E-08
vapour.Temperature Range	= 5.0847E+01
Ing.Density	= 4.2236E+02
Ing.Dynamic Viscosity	= 1.4600E-04
Ing.Velocity	= 9.9166E-02
Ing.Advection Time	= 7.4890E-01
Ing.RMS Courant Number	= 1.7535E+05
Ing.Maximum Courant Number	= 1.5293E+07
Ing.Reynolds Number	= 2.1305E+04
Ing.Mass (Conservative)	= 1.2832E-01
Ing.Mass (Normalised)	= 1.2832E-01
Ing.Volume	= 3.0383E-04
Ing.Volume Fraction	= 7.4179E-01
Ing.Thermal Conductivity	= 2.1350E-01
Ing.Specific Heat Capacity at Constant Pressure	= 8.3900E-01
Ing.Prandtl Number	= 5.7374E-04
Ing.Temperature Range	= 5.1008E+01
Wave Speed	= 8.5311E-01
Froude Number	= 1.1624E-01

Variable Range Information

Domain Name : Default Domain

Variable Name	min	max
---------------	-----	-----

```

+-----+
| vapour.Density          | 1.82E+00 | 1.82E+00 |
| vapour.Specific Heat Capacity at Constant P| 3.58E-02 | 3.58E-02 |
| vapour.Dynamic Viscosity      | 1.06E-05 | 1.06E-05 |
| vapour.Thermal Conductivity   | 3.06E+01 | 3.06E+01 |
| vapour.Static Entropy        | 9.11E-03 | 1.36E-02 |
| lng.Density               | 4.22E+02 | 4.22E+02 |
| lng.Specific Heat Capacity at Constant Pres| 8.39E-01 | 8.39E-01 |
| lng.Dynamic Viscosity        | 1.46E-04 | 1.46E-04 |
| lng.Thermal Conductivity     | 2.13E-01 | 2.13E-01 |
| lng.Static Entropy          | 2.14E-01 | 3.18E-01 |
| vapour.Velocity u          | -4.47E-01 | 4.95E-01 |
| vapour.Velocity v          | -3.63E-01 | 3.33E-01 |
| vapour.Velocity w          | -1.14E-13 | 1.14E-13 |
| Pressure                   | -5.91E+02 | 2.01E+03 |
| vapour.Conservative Volume Fraction | 1.00E-15 | 1.00E+00 |
| vapour.Volume Fraction     | 1.00E-15 | 1.00E+00 |
| lng.Volume Fraction        | 1.00E-15 | 1.00E+00 |
| vapour.Turbulence Kinetic Energy | 1.08E-06 | 9.41E-02 |
| vapour.Turbulence Eddy Dissipation | 3.83E-07 | 2.64E-01 |
| vapour.Eddy Viscosity      | 1.46E-07 | 5.94E-03 |
| lng.Eddy Viscosity         | 3.40E-05 | 1.38E+00 |
| vapour.Temperature        | 3.85E+02 | 4.35E+02 |
| vapour.Static Enthalpy     | -4.51E+04 | -4.37E+04 |
| vapour.Total Enthalpy      | -4.51E+04 | -4.37E+04 |
| lng.Temperature           | 3.85E+02 | 4.36E+02 |
| lng.Static Enthalpy       | -1.21E+02 | -7.25E+01 |
| lng.Total Enthalpy        | -1.21E+02 | -7.25E+01 |
| Eddy Viscosity            | 3.40E-05 | 4.95E-01 |

```

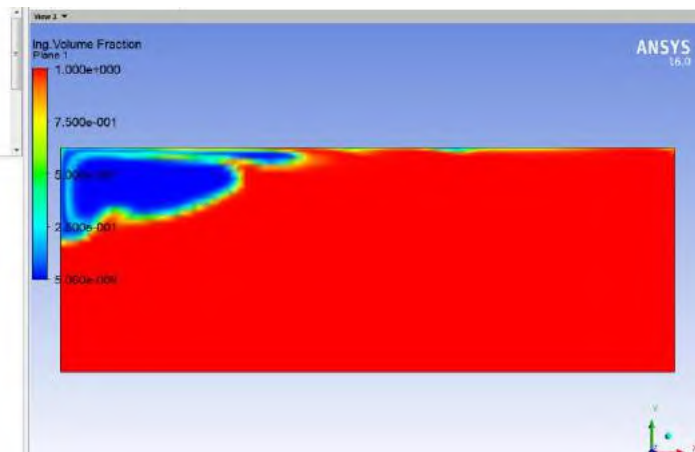
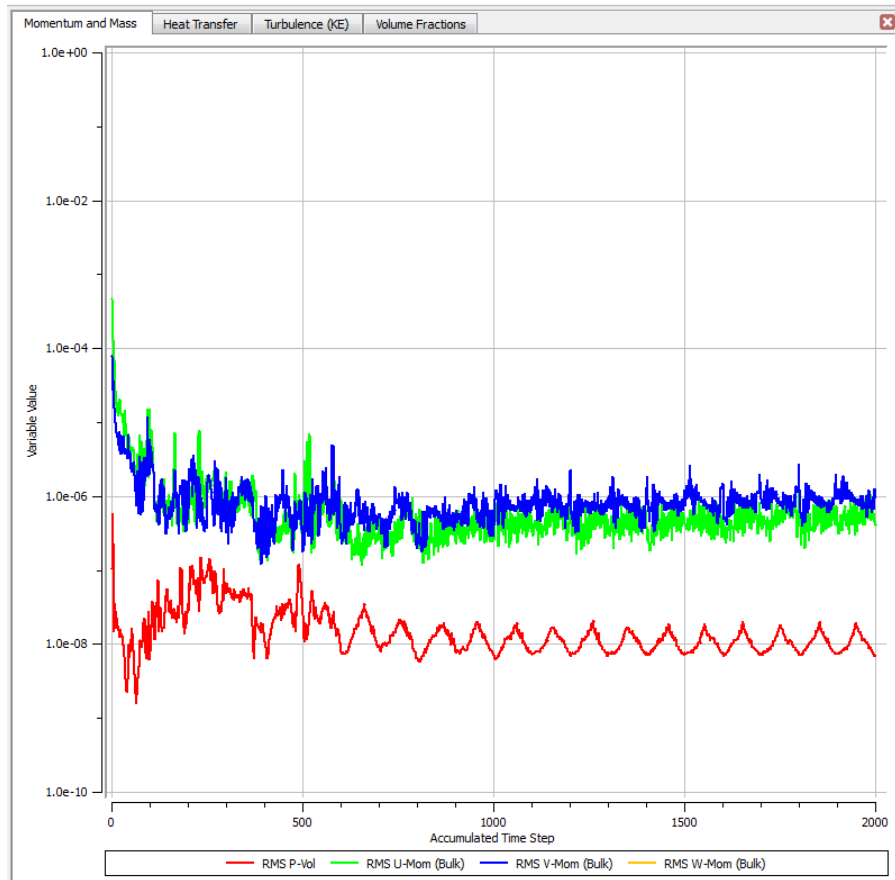
```

+-----+
+-----+
|           CPU Requirements of Numerical Solution           |
+-----+
Subsystem Name      Discretization   Linear Solution
                   (secs. %total) (secs. %total)
-----
Momentum and Mass   2.10E+00 24.8 %   3.42E-01 4.0 %
Volume Fractions    2.35E-01 2.8 %     1.24E-01 1.5 %
Heat Transfer       7.96E-01 9.4 %     1.47E-01 1.7 %
TurbKE and Diss.K   4.50E-01 5.3 %     2.37E-01 2.8 %
-----
Subsystem Summary   3.58E+00 42.3 %   8.50E-01 10.0 %

Variable Updates    7.90E-01 9.3 %
File Reading        4.10E-02 0.5 %
File Writing        5.21E-01 6.2 %
Miscellaneous       2.68E+00 31.7 %
-----
Total               8.47E+00

```

Grafik *Solution* pada simulasi *sloshing* kondisi memanjang



LAMPIRAN D
OUTPUT TEGANGAN *SLOSHING*
MENGGUNAKAN ANSYS CFX

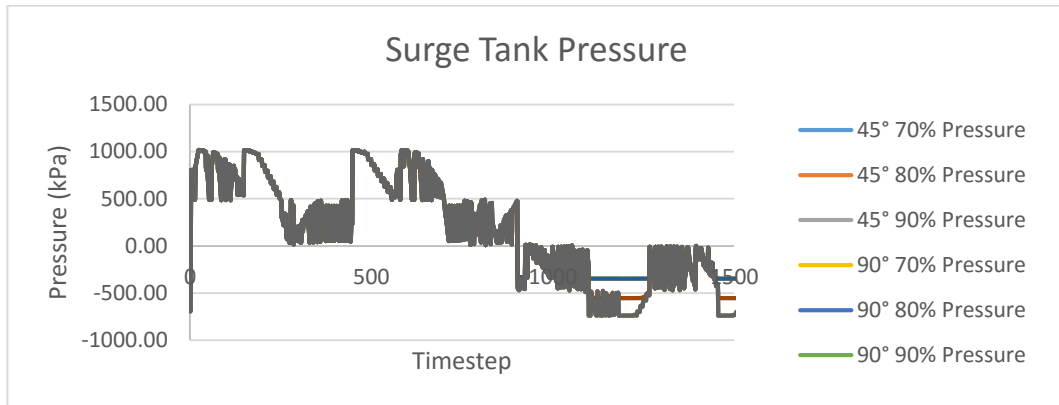
Hasil *output* tegangan saat simulasi sloshing menggunakan ANSYS CFX

- Surge

Timestep	Pressure								
	45°			90°			135°		
	70%	80%	90%	70%	80%	90%	70%	80%	90%
0	-347.40	-645.64	-645.83	-347.41	-553.11	-645.83	-347.40	-553.11	-645.64
1	-347.48	-696.29	-696.44	-347.50	-553.58	-696.44	-347.49	-553.58	-696.29
2	-347.43	-671.23	-671.45	-347.45	-553.41	-671.44	-347.44	-553.41	-671.23
3	804.56	804.64	804.78	804.57	804.72	804.78	804.55	804.72	804.64
4	741.84	742.05	742.02	741.83	741.99	742.02	741.84	741.99	742.05
5	744.43	744.64	744.62	744.42	744.59	744.62	744.43	744.59	744.64
6	807.63	807.72	807.84	807.63	807.79	807.84	807.62	807.78	807.72
7	678.98	679.29	679.12	678.97	679.11	679.12	678.98	679.11	679.29
8	681.14	681.45	681.28	681.12	681.27	681.29	681.14	681.27	681.45
9	616.35	616.58	616.50	616.35	616.47	616.50	616.34	616.47	616.58
10	618.05	618.29	618.20	618.06	618.18	618.21	618.05	618.17	618.29
11	553.83	554.04	553.99	553.82	553.96	554.00	553.83	553.96	554.04
12	555.24	555.45	555.40	555.24	555.37	555.41	555.24	555.37	555.45
13	491.24	491.44	491.38	491.24	491.35	491.38	491.24	491.35	491.44
14	492.39	492.58	492.52	492.38	492.49	492.52	492.38	492.49	492.58
15	847.38	847.64	847.54	847.37	847.52	847.55	847.37	847.52	847.64
16	843.17	843.48	843.33	843.16	843.31	843.33	843.17	843.31	843.48
17	885.95	886.19	886.12	885.94	886.09	886.12	885.94	886.09	886.19
18	890.86	891.09	891.03	890.86	891.00	891.04	890.86	891.00	891.09
19	926.88	927.12	927.04	926.87	927.02	927.05	926.87	927.01	927.12
20	932.75	933.00	932.91	932.74	932.89	932.92	932.74	932.89	933.00
21	968.09	968.35	968.25	968.08	968.23	968.26	968.08	968.23	968.35
22	974.70	974.95	974.86	974.69	974.83	974.86	974.69	974.83	974.95
23	1010.40	1010.61	1010.59	1010.40	1010.56	1010.60	1010.40	1010.55	1010.61
24	1017.66	1017.86	1017.85	1017.65	1017.81	1017.85	1017.66	1017.81	1017.86
25	1015.80	1016.08	1015.95	1015.79	1015.93	1015.95	1015.79	1015.93	1016.08

-
-
-

1580	-347.19	-560.04	-560.00	-347.21	-536.47	-560.00	-347.20	-536.47	-560.04
1581	-347.09	-520.00	-520.06	-347.11	-512.95	-520.05	-347.10	-512.95	-520.00
1582	-346.91	-477.73	-477.42	-346.93	-476.41	-477.45	-346.91	-476.41	-477.73
1583	-347.68	-740.05	-740.08	-347.70	-553.92	-740.08	-347.69	-553.92	-740.05
1584	-347.61	-737.15	-737.21	-347.63	-553.84	-737.21	-347.62	-553.84	-737.15
1585	-347.55	-726.29	-726.35	-347.57	-553.80	-726.35	-347.56	-553.80	-726.29
1586	-347.49	-703.42	-703.45	-347.51	-553.72	-703.43	-347.50	-553.72	-703.42
1587	-347.42	-669.73	-669.94	-347.44	-553.40	-669.94	-347.43	-553.40	-669.73
1588	-347.35	-631.04	-631.29	-347.37	-551.75	-631.29	-347.36	-551.75	-631.04
1589	-347.28	-591.79	-591.85	-347.29	-546.72	-591.86	-347.28	-546.73	-591.79
1590	-347.20	-552.57	-552.40	-347.22	-534.24	-552.41	-347.21	-534.24	-552.57
1591	-347.16	-513.35	-513.38	-347.17	-508.59	-513.37	-347.16	-508.59	-513.35
1592	-347.50	-707.09	-707.21	-347.52	-553.70	-707.20	-347.51	-553.70	-707.09
1593	-347.43	-670.18	-670.40	-347.44	-553.36	-670.39	-347.44	-553.36	-670.18
1594	-347.35	-629.85	-630.05	-347.37	-551.78	-630.05	-347.36	-551.78	-629.85
1595	-347.28	-590.56	-590.69	-347.30	-546.67	-590.69	-347.29	-546.67	-590.56
1596	-347.19	-550.71	-550.81	-347.20	-533.70	-550.82	-347.19	-533.71	-550.71
1597	-347.05	-507.88	-508.01	-347.07	-504.73	-508.02	-347.06	-504.73	-507.88
1598	-347.36	-627.14	-627.35	-347.38	-551.77	-627.35	-347.37	-551.77	-627.14
1599	-347.29	-588.68	-588.79	-347.30	-546.45	-588.79	-347.29	-546.45	-588.68
1600	-347.19	-551.13	-551.21	-347.20	-533.02	-551.21	-347.19	-533.02	-551.13
1601	-347.05	-513.19	-513.30	-347.07	-508.09	-513.31	-347.06	-508.09	-513.19
1602	-347.18	-548.17	-548.10	-347.20	-530.57	-548.10	-347.19	-530.57	-548.17
1603	-347.00	-511.56	-511.46	-347.02	-505.66	-511.47	-347.01	-505.66	-511.56
1604	-346.76	-476.22	-476.26	-346.78	-474.66	-476.26	-346.77	-474.66	-476.22
1605	-346.86	-498.54	-498.44	-346.88	-494.62	-498.44	-346.87	-494.62	-498.54

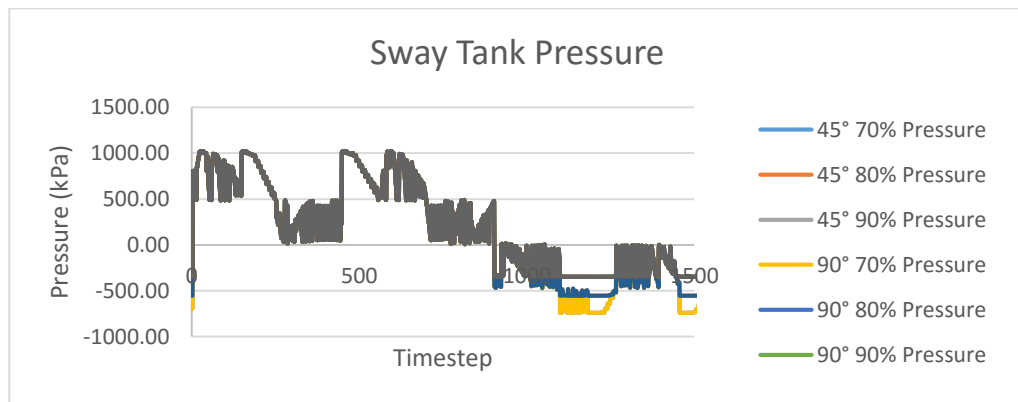


- Sway

Timestep	Pressure								
	45°			90°			135°		
	70%	80%	90%	70%	80%	90%	70%	80%	90%
0	-645.83	-553.11	-347.44	-645.87	-347.39	-347.65	-553.11	-347.64	-347.35
1	-696.45	-553.57	-347.53	-696.50	-347.47	-347.74	-553.57	-347.72	-347.44
2	-671.45	-553.40	-347.48	-671.50	-347.42	-347.69	-553.40	-347.67	-347.39
3	804.78	804.58	804.55	804.79	804.56	804.45	804.58	804.41	804.53
4	742.02	742.01	741.79	742.00	741.84	741.64	742.00	741.61	741.94
5	744.62	744.60	744.39	744.60	744.43	744.24	744.59	744.21	744.52
6	807.84	807.66	807.62	807.84	807.63	807.51	807.66	807.47	807.60
7	679.12	679.25	678.91	679.07	678.98	678.72	679.24	678.68	679.19
8	681.28	681.41	681.07	681.24	681.14	680.88	681.40	680.84	681.34
9	616.50	616.54	616.31	616.46	616.35	616.15	616.53	616.09	616.51
10	618.20	618.25	618.02	618.17	618.06	617.85	618.25	617.79	618.23
11	553.99	553.99	553.79	553.97	553.83	553.64	553.99	553.59	553.95
12	555.40	555.40	555.20	555.38	555.24	555.05	555.40	555.00	555.37
13	491.38	491.39	491.19	491.36	491.26	491.02	491.39	490.98	491.38
14	492.52	492.53	492.33	492.50	492.40	492.16	492.53	492.12	492.52
15	847.54	847.60	847.33	847.51	847.38	847.17	847.59	847.13	847.53
16	843.33	843.44	843.12	843.29	843.17	842.95	843.43	842.91	843.38
17	886.11	886.14	885.91	886.09	885.95	885.75	886.14	885.71	886.08
18	891.03	891.05	890.83	891.01	890.87	890.67	891.04	890.63	890.99
19	927.04	927.08	926.84	927.02	926.88	926.69	927.08	926.65	927.03
20	932.91	932.96	932.72	932.89	932.75	932.56	932.95	932.52	932.91
21	968.25	968.30	968.05	968.22	968.09	967.88	968.30	967.85	968.23
22	974.86	974.91	974.66	974.83	974.70	974.48	974.90	974.45	974.83
23	1010.59	1010.56	1010.37	1010.58	1010.41	1010.21	1010.56	1010.20	1010.47
24	1017.85	1017.82	1017.63	1017.83	1017.66	1017.46	1017.81	1017.45	1017.72
25	1015.94	1016.04	1015.75	1015.91	1015.80	1015.55	1016.03	1015.53	1015.97

-
-
-
-

1580	-560.00	-536.33	-347.24	-560.02	-347.19	-347.46	-536.35	-347.44	-347.16
1581	-520.06	-512.85	-347.14	-520.11	-347.09	-347.36	-512.86	-347.34	-347.08
1582	-477.43	-476.45	-346.96	-477.48	-346.91	-347.18	-476.46	-347.16	-346.92
1583	-740.08	-553.90	-347.73	-740.08	-347.68	-347.94	-553.91	-347.93	-347.64
1584	-737.21	-553.83	-347.66	-737.23	-347.60	-347.87	-553.83	-347.85	-347.57
1585	-726.36	-553.78	-347.60	-726.40	-347.54	-347.81	-553.78	-347.79	-347.51
1586	-703.45	-553.71	-347.54	-703.49	-347.48	-347.75	-553.71	-347.73	-347.44
1587	-669.94	-553.39	-347.47	-669.98	-347.41	-347.68	-553.40	-347.66	-347.38
1588	-631.29	-551.73	-347.40	-631.33	-347.34	-347.61	-551.74	-347.59	-347.31
1589	-591.85	-546.64	-347.33	-591.88	-347.27	-347.54	-546.65	-347.52	-347.24
1590	-552.40	-534.13	-347.25	-552.42	-347.19	-347.46	-534.15	-347.45	-347.17
1591	-513.38	-508.58	-347.21	-513.41	-347.15	-347.42	-508.59	-347.40	-347.15
1592	-707.21	-553.69	-347.55	-707.27	-347.49	-347.76	-553.69	-347.74	-347.46
1593	-670.40	-553.34	-347.48	-670.44	-347.42	-347.68	-553.34	-347.67	-347.38
1594	-630.05	-551.75	-347.40	-630.10	-347.35	-347.61	-551.75	-347.60	-347.31
1595	-590.69	-546.57	-347.33	-590.73	-347.27	-347.54	-546.58	-347.52	-347.24
1596	-550.81	-533.53	-347.24	-550.85	-347.18	-347.45	-533.55	-347.43	-347.15
1597	-508.02	-504.58	-347.10	-508.06	-347.05	-347.32	-504.59	-347.30	-347.02
1598	-627.36	-551.72	-347.41	-627.40	-347.35	-347.62	-551.73	-347.60	-347.32
1599	-588.79	-546.33	-347.33	-588.83	-347.28	-347.54	-546.34	-347.53	-347.24
1600	-551.21	-532.85	-347.23	-551.25	-347.18	-347.45	-532.87	-347.43	-347.15
1601	-513.31	-507.94	-347.10	-513.35	-347.04	-347.32	-507.96	-347.30	-347.02
1602	-548.10	-530.39	-347.23	-548.12	-347.17	-347.44	-530.40	-347.43	-347.14
1603	-511.47	-505.56	-347.05	-511.48	-346.99	-347.26	-505.58	-347.25	-346.96
1604	-476.26	-474.61	-346.81	-476.30	-346.75	-347.03	-474.61	-347.02	-346.72
1605	-498.44	-494.54	-346.91	-498.45	-346.85	-347.12	-494.55	-347.11	-346.82

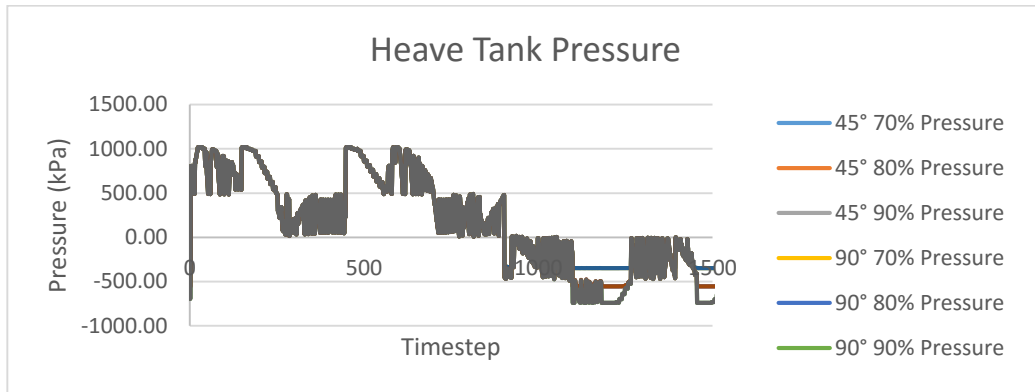


- Heave

Timestep	Pressure								
	45°			90°			135°		
	70%	80%	90%	70%	80%	90%	70%	80%	90%
0	-347.39	-553.11	-645.84	-347.41	-553.12	-645.85	-347.41	-553.11	-645.64
1	-347.47	-553.57	-696.46	-347.50	-553.58	-696.48	-347.49	-553.57	-696.29
2	-347.42	-553.40	-671.46	-347.45	-553.41	-671.48	-347.45	-553.40	-671.23
3	804.56	804.58	804.78	804.56	804.58	804.79	804.56	804.58	804.64
4	741.84	742.00	742.01	741.83	741.99	742.01	741.83	742.00	742.05
5	744.43	744.59	744.61	744.42	744.58	744.61	744.43	744.59	744.64
6	807.63	807.66	807.84	807.63	807.66	807.84	807.62	807.66	807.72
7	678.98	679.24	679.10	678.97	679.22	679.08	678.98	679.24	679.29
8	681.14	681.40	681.27	681.13	681.38	681.25	681.13	681.40	681.45
9	616.35	616.53	616.49	616.35	616.52	616.47	616.34	616.53	616.59
10	618.06	618.25	618.19	618.05	618.23	618.18	618.05	618.24	618.30
11	553.83	553.99	553.99	553.82	553.97	553.98	553.83	553.98	554.04
12	555.24	555.40	555.40	555.23	555.38	555.39	555.24	555.39	555.45
13	491.26	491.39	491.37	491.24	491.38	491.36	491.24	491.38	491.44
14	492.40	492.53	492.51	492.38	492.52	492.50	492.38	492.53	492.58
15	847.38	847.59	847.53	847.37	847.58	847.52	847.37	847.59	847.64
16	843.17	843.43	843.32	843.16	843.42	843.30	843.17	843.43	843.48
17	885.95	886.14	886.11	885.94	886.13	886.10	885.94	886.13	886.19
18	890.87	891.04	891.02	890.86	891.03	891.02	890.86	891.04	891.09
19	926.88	927.08	927.03	926.87	927.06	927.03	926.87	927.07	927.13
20	932.75	932.95	932.90	932.74	932.94	932.90	932.74	932.95	933.00
21	968.09	968.30	968.24	968.08	968.28	968.23	968.08	968.30	968.35
22	974.70	974.90	974.85	974.69	974.89	974.84	974.69	974.90	974.95
23	1010.41	1010.56	1010.59	1010.39	1010.55	1010.58	1010.40	1010.55	1010.61
24	1017.66	1017.81	1017.84	1017.65	1017.80	1017.83	1017.65	1017.81	1017.87
25	1015.80	1016.03	1015.93	1015.79	1016.02	1015.92	1015.79	1016.03	1016.08

-
-
-

1580	-347.19	-536.34	-560.00	-347.21	-536.38	-560.02	-347.21	-536.36	-560.07
1581	-347.09	-512.86	-520.07	-347.11	-512.89	-520.08	-347.10	-512.87	-520.02
1582	-346.91	-476.45	-477.45	-346.93	-476.46	-477.50	-346.92	-476.46	-477.73
1583	-347.68	-553.90	-740.08	-347.70	-553.92	-740.08	-347.70	-553.91	-740.04
1584	-347.60	-553.83	-737.22	-347.63	-553.84	-737.22	-347.62	-553.83	-737.15
1585	-347.54	-553.78	-726.37	-347.57	-553.79	-726.39	-347.56	-553.78	-726.29
1586	-347.48	-553.71	-703.46	-347.51	-553.72	-703.46	-347.50	-553.71	-703.41
1587	-347.41	-553.40	-669.95	-347.44	-553.41	-669.97	-347.44	-553.40	-669.73
1588	-347.34	-551.74	-631.30	-347.37	-551.75	-631.33	-347.36	-551.74	-631.04
1589	-347.27	-546.65	-591.86	-347.30	-546.68	-591.88	-347.29	-546.66	-591.79
1590	-347.19	-534.14	-552.41	-347.22	-534.18	-552.42	-347.21	-534.16	-552.59
1591	-347.15	-508.59	-513.38	-347.17	-508.61	-513.40	-347.17	-508.59	-513.36
1592	-347.49	-553.69	-707.23	-347.52	-553.70	-707.24	-347.52	-553.69	-707.08
1593	-347.42	-553.34	-670.41	-347.45	-553.35	-670.42	-347.44	-553.35	-670.18
1594	-347.35	-551.75	-630.06	-347.37	-551.77	-630.09	-347.37	-551.75	-629.85
1595	-347.27	-546.58	-590.70	-347.30	-546.61	-590.72	-347.29	-546.59	-590.56
1596	-347.18	-533.54	-550.82	-347.21	-533.58	-550.84	-347.20	-533.55	-550.70
1597	-347.05	-504.58	-508.02	-347.07	-504.62	-508.05	-347.06	-504.60	-507.87
1598	-347.35	-551.73	-627.36	-347.38	-551.74	-627.38	-347.37	-551.73	-627.14
1599	-347.28	-546.34	-588.79	-347.30	-546.37	-588.81	-347.30	-546.35	-588.67
1600	-347.18	-532.86	-551.21	-347.20	-532.90	-551.23	-347.20	-532.88	-551.13
1601	-347.04	-507.95	-513.31	-347.07	-507.99	-513.33	-347.07	-507.96	-513.18
1602	-347.17	-530.40	-548.10	-347.20	-530.44	-548.11	-347.20	-530.41	-548.17
1603	-346.99	-505.57	-511.47	-347.02	-505.60	-511.47	-347.02	-505.58	-511.56
1604	-346.75	-474.61	-476.27	-346.78	-474.63	-476.28	-346.78	-474.62	-476.22
1605	-346.85	-494.55	-498.44	-346.88	-494.57	-498.45	-346.87	-494.56	-498.54

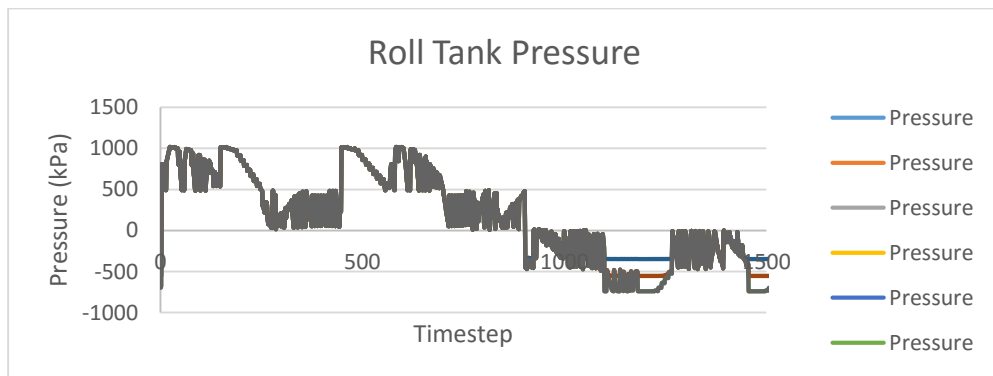


• Roll

Timestep	Pressure								
	45°			90°			135°		
	70%	80%	90%	70%	80%	90%	70%	80%	90%
0	-347.39	-553.11	-645.84	-347.41	-553.12	-645.85	-347.41	-553.11	-645.64
1	-347.47	-553.57	-696.46	-347.50	-553.58	-696.48	-347.49	-553.57	-696.29
2	-347.42	-553.40	-671.46	-347.45	-553.41	-671.48	-347.45	-553.40	-671.23
3	804.56	804.58	804.78	804.56	804.58	804.79	804.56	804.58	804.64
4	741.84	742.00	742.01	741.83	741.99	742.01	741.83	742.00	742.05
5	744.43	744.59	744.61	744.42	744.58	744.61	744.43	744.59	744.64
6	807.63	807.66	807.84	807.63	807.66	807.84	807.62	807.66	807.72
7	678.98	679.24	679.10	678.97	679.22	679.08	678.98	679.24	679.29
8	681.14	681.40	681.27	681.13	681.38	681.25	681.13	681.40	681.45
9	616.35	616.53	616.49	616.35	616.52	616.47	616.34	616.53	616.59
10	618.06	618.25	618.19	618.05	618.23	618.18	618.05	618.24	618.30
11	553.83	553.99	553.99	553.82	553.97	553.98	553.83	553.98	554.04
12	555.24	555.40	555.40	555.23	555.38	555.39	555.24	555.39	555.45
13	491.26	491.39	491.37	491.24	491.38	491.36	491.24	491.38	491.44
14	492.40	492.53	492.51	492.38	492.52	492.50	492.38	492.53	492.58
15	847.38	847.59	847.53	847.37	847.58	847.52	847.37	847.59	847.64
16	843.17	843.43	843.32	843.16	843.42	843.30	843.17	843.43	843.48
17	885.95	886.14	886.11	885.94	886.13	886.10	885.94	886.13	886.19
18	890.87	891.04	891.02	890.86	891.03	891.02	890.86	891.04	891.09
19	926.88	927.08	927.03	926.87	927.06	927.03	926.87	927.07	927.13
20	932.75	932.95	932.90	932.74	932.94	932.90	932.74	932.95	933.00
21	968.09	968.30	968.24	968.08	968.28	968.23	968.08	968.30	968.35
22	974.70	974.90	974.85	974.69	974.89	974.84	974.69	974.90	974.95
23	1010.41	1010.56	1010.59	1010.39	1010.55	1010.58	1010.40	1010.55	1010.61
24	1017.66	1017.81	1017.84	1017.65	1017.80	1017.83	1017.65	1017.81	1017.87
25	1015.80	1016.03	1015.93	1015.79	1016.02	1015.92	1015.79	1016.03	1016.08

-
-
-
-

1580	-347.19	-536.34	-560.00	-347.21	-536.38	-560.02	-347.21	-536.36	-560.07
1581	-347.09	-512.86	-520.07	-347.11	-512.89	-520.08	-347.10	-512.87	-520.02
1582	-346.91	-476.45	-477.45	-346.93	-476.46	-477.50	-346.92	-476.46	-477.73
1583	-347.68	-553.90	-740.08	-347.70	-553.92	-740.08	-347.70	-553.91	-740.04
1584	-347.60	-553.83	-737.22	-347.63	-553.84	-737.22	-347.62	-553.83	-737.15
1585	-347.54	-553.78	-726.37	-347.57	-553.79	-726.39	-347.56	-553.78	-726.29
1586	-347.48	-553.71	-703.46	-347.51	-553.72	-703.46	-347.50	-553.71	-703.41
1587	-347.41	-553.40	-669.95	-347.44	-553.41	-669.97	-347.44	-553.40	-669.73
1588	-347.34	-551.74	-631.30	-347.37	-551.75	-631.33	-347.36	-551.74	-631.04
1589	-347.27	-546.65	-591.86	-347.30	-546.68	-591.88	-347.29	-546.66	-591.79
1590	-347.19	-534.14	-552.41	-347.22	-534.18	-552.42	-347.21	-534.16	-552.59
1591	-347.15	-508.59	-513.38	-347.17	-508.61	-513.40	-347.17	-508.59	-513.36
1592	-347.49	-553.69	-707.23	-347.52	-553.70	-707.24	-347.52	-553.69	-707.08
1593	-347.42	-553.34	-670.41	-347.45	-553.35	-670.42	-347.44	-553.35	-670.18
1594	-347.35	-551.75	-630.06	-347.37	-551.77	-630.09	-347.37	-551.75	-629.85
1595	-347.27	-546.58	-590.70	-347.30	-546.61	-590.72	-347.29	-546.59	-590.56
1596	-347.18	-533.54	-550.82	-347.21	-533.58	-550.84	-347.20	-533.55	-550.70
1597	-347.05	-504.58	-508.02	-347.07	-504.62	-508.05	-347.06	-504.60	-507.87
1598	-347.35	-551.73	-627.36	-347.38	-551.74	-627.38	-347.37	-551.73	-627.14
1599	-347.28	-546.34	-588.79	-347.30	-546.37	-588.81	-347.30	-546.35	-588.67
1600	-347.18	-532.86	-551.21	-347.20	-532.90	-551.23	-347.20	-532.88	-551.13
1601	-347.04	-507.95	-513.31	-347.07	-507.99	-513.33	-347.07	-507.96	-513.18
1602	-347.17	-530.40	-548.10	-347.20	-530.44	-548.11	-347.20	-530.41	-548.17
1603	-346.99	-505.57	-511.47	-347.02	-505.60	-511.47	-347.02	-505.58	-511.56
1604	-346.75	-474.61	-476.27	-346.78	-474.63	-476.28	-346.78	-474.62	-476.22
1605	-346.85	-494.55	-498.44	-346.88	-494.57	-498.45	-346.87	-494.56	-498.54



- Pitch

Timestep	Pressure								
	45°			90°			135°		
	70%	80%	90%	70%	80%	90%	70%	80%	90%
0	-347.33	-553.12	-645.83	-387.78	-553.11	-645.83	-347.36	-553.12	-645.66
1	-347.41	-553.58	-696.43	-387.86	-553.57	-696.46	-347.44	-553.58	-696.31
2	-347.36	-553.41	-671.43	-387.82	-553.40	-671.45	-347.40	-553.41	-671.25
3	804.49	804.58	804.78	804.41	804.58	804.78	804.62	804.58	804.63
4	741.89	741.99	742.03	741.83	742.00	742.02	741.88	741.99	742.04
5	744.48	744.58	744.63	744.42	744.59	744.61	744.47	744.58	744.63
6	807.58	807.66	807.84	807.49	807.66	807.84	807.69	807.66	807.71
7	679.15	679.23	679.13	679.07	679.24	679.11	679.03	679.22	679.27
8	681.29	681.39	681.29	681.23	681.40	681.28	681.18	681.38	681.42
9	616.46	616.52	616.50	616.36	616.53	616.49	616.41	616.52	616.57
10	618.17	618.24	618.21	618.08	618.25	618.20	618.12	618.23	618.28
11	553.90	553.98	554.00	553.82	553.99	553.99	553.88	553.97	554.02
12	555.31	555.39	555.41	555.23	555.40	555.40	555.29	555.38	555.43
13	491.32	491.38	491.39	491.22	491.39	491.37	491.30	491.37	491.42
14	492.46	492.52	492.53	492.36	492.53	492.52	492.44	492.52	492.57
15	847.51	847.58	847.55	847.43	847.59	847.54	847.43	847.58	847.63
16	843.35	843.42	843.34	843.28	843.43	843.32	843.22	843.42	843.47
17	886.06	886.13	886.12	885.98	886.14	886.11	886.00	886.12	886.17
18	890.97	891.04	891.04	890.88	891.04	891.03	890.92	891.03	891.08
19	927.00	927.07	927.05	926.92	927.08	927.04	926.94	927.06	927.11
20	932.88	932.94	932.92	932.79	932.95	932.91	932.81	932.94	932.99
21	968.22	968.29	968.26	968.14	968.30	968.25	968.14	968.28	968.33
22	974.82	974.89	974.87	974.74	974.90	974.86	974.74	974.88	974.93
23	1010.46	1010.55	1010.60	1010.38	1010.56	1010.59	1010.44	1010.54	1010.59
24	1017.71	1017.80	1017.86	1017.64	1017.81	1017.84	1017.70	1017.80	1017.85
25	1015.97	1016.02	1015.95	1015.88	1016.03	1015.94	1015.85	1016.01	1016.06

-
-
-

1580	-347.13	-536.37	-559.96	-387.44	-536.35	-560.00	-347.16	-536.39	-559.99
1581	-347.05	-512.88	-520.03	-387.40	-512.86	-520.07	-347.06	-512.89	-519.96
1582	-346.89	-476.46	-477.69	-386.88	-476.46	-477.43	-346.87	-476.46	-477.74
1583	-347.62	-553.91	-740.07	-388.06	-553.91	-740.08	-347.65	-553.92	-740.06
1584	-347.54	-553.84	-737.19	-387.99	-553.83	-737.22	-347.57	-553.84	-737.16
1585	-347.48	-553.79	-726.33	-387.93	-553.78	-726.37	-347.51	-553.79	-726.29
1586	-347.42	-553.72	-703.46	-387.87	-553.71	-703.45	-347.45	-553.72	-703.45
1587	-347.35	-553.40	-669.89	-387.81	-553.40	-669.95	-347.38	-553.41	-669.75
1588	-347.28	-551.75	-631.22	-387.74	-551.74	-631.29	-347.31	-551.75	-631.07
1589	-347.21	-546.67	-591.81	-387.62	-546.65	-591.85	-347.24	-546.69	-591.80
1590	-347.14	-534.17	-552.38	-387.46	-534.15	-552.40	-347.16	-534.19	-552.52
1591	-347.12	-508.60	-513.37	-387.73	-508.59	-513.38	-347.12	-508.61	-513.34
1592	-347.43	-553.70	-707.20	-387.88	-553.69	-707.22	-347.46	-553.70	-707.11
1593	-347.36	-553.35	-670.37	-387.81	-553.34	-670.40	-347.39	-553.36	-670.21
1594	-347.29	-551.76	-630.01	-387.74	-551.75	-630.06	-347.32	-551.77	-629.87
1595	-347.21	-546.60	-590.67	-387.63	-546.58	-590.69	-347.24	-546.61	-590.58
1596	-347.12	-533.57	-550.81	-387.46	-533.55	-550.81	-347.15	-533.59	-550.72
1597	-347.00	-504.61	-508.03	-387.14	-504.59	-508.02	-347.01	-504.62	-507.89
1598	-347.29	-551.74	-627.34	-387.74	-551.73	-627.36	-347.32	-551.75	-627.16
1599	-347.22	-546.36	-588.78	-387.64	-546.34	-588.79	-347.25	-546.38	-588.69
1600	-347.12	-532.89	-551.21	-387.46	-532.87	-551.21	-347.15	-532.91	-551.14
1601	-346.99	-507.98	-513.32	-387.13	-507.96	-513.31	-347.01	-507.99	-513.20
1602	-347.11	-530.42	-548.10	-387.44	-530.40	-548.10	-347.14	-530.45	-548.18
1603	-346.94	-505.59	-511.48	-386.98	-505.57	-511.47	-346.96	-505.60	-511.57
1604	-346.70	-474.62	-476.29	-386.20	-474.61	-476.26	-346.72	-474.63	-476.23
1605	-346.79	-494.57	-498.45	-386.64	-494.55	-498.44	-346.82	-494.58	-498.55

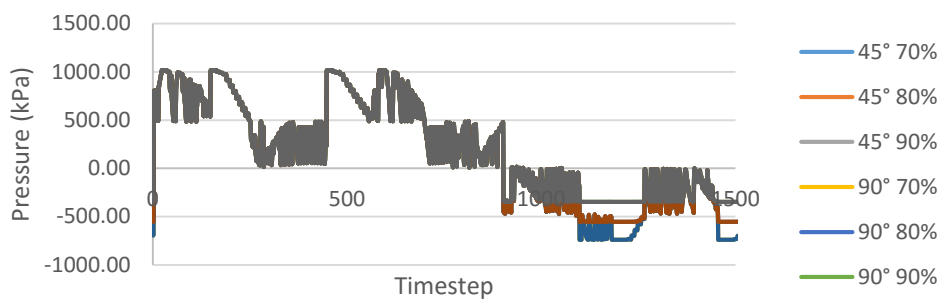
- Yaw

Timestep	Pressure								
	45°			90°			135°		
	70%	80%	90%	70%	80%	90%	70%	80%	90%
0	-645.66	-553.11	-347.64	-645.65	-553.12	-347.37	-645.66	-553.12	-347.37
1	-696.32	-553.59	-347.72	-696.30	-553.59	-347.45	-696.31	-553.58	-347.45
2	-671.26	-553.42	-347.67	-671.24	-553.42	-347.41	-671.26	-553.41	-347.41
3	804.63	804.73	804.41	804.63	804.73	804.58	804.63	804.58	804.47
4	742.03	741.99	741.61	742.04	741.99	741.86	742.03	741.99	741.87
5	744.62	744.58	744.21	744.63	744.58	744.45	744.63	744.58	744.45
6	807.71	807.79	807.47	807.71	807.79	807.65	807.71	807.66	807.55
7	679.26	679.09	678.68	679.28	679.09	679.01	679.26	679.22	679.10
8	681.42	681.26	680.84	681.43	681.25	681.16	681.42	681.38	681.25
9	616.56	616.46	616.09	616.57	616.46	616.38	616.56	616.52	616.41
10	618.27	618.17	617.79	618.29	618.17	618.09	618.28	618.23	618.13
11	554.02	553.95	553.59	554.03	553.95	553.86	554.02	553.97	553.85
12	555.43	555.36	555.00	555.44	555.36	555.27	555.43	555.39	555.26
13	491.42	491.34	490.98	491.43	491.34	491.28	491.42	491.38	491.26
14	492.56	492.49	492.12	492.57	492.48	492.42	492.56	492.52	492.40
15	847.62	847.51	847.13	847.63	847.51	847.40	847.62	847.58	847.47
16	843.46	843.30	842.91	843.47	843.29	843.20	843.46	843.42	843.31
17	886.17	886.08	885.71	886.18	886.08	885.98	886.17	886.13	886.03
18	891.07	891.00	890.63	891.09	891.00	890.89	891.08	891.03	890.94
19	927.10	927.01	926.65	927.12	927.01	926.91	927.11	927.07	926.97
20	932.98	932.88	932.52	932.99	932.88	932.78	932.98	932.94	932.85
21	968.33	968.22	967.85	968.34	968.22	968.12	968.33	968.29	968.19
22	974.93	974.83	974.45	974.94	974.83	974.72	974.93	974.89	974.78
23	1010.59	1010.55	1010.20	1010.60	1010.55	1010.42	1010.59	1010.55	1010.43
24	1017.84	1017.81	1017.45	1017.86	1017.80	1017.68	1017.85	1017.80	1017.68
25	1016.06	1015.92	1015.53	1016.07	1015.92	1015.83	1016.06	1016.02	1015.93

-
-
-

1580	-559.98	-536.48	-347.44	-559.97	-536.48	-347.17	-559.99	-536.38	-347.18
1581	-519.95	-512.97	-347.34	-519.94	-512.97	-347.07	-519.97	-512.89	-347.09
1582	-477.74	-476.42	-347.16	-477.74	-476.42	-346.89	-477.74	-476.46	-346.93
1583	-740.06	-553.93	-347.93	-740.05	-553.93	-347.66	-740.06	-553.92	-347.66
1584	-737.16	-553.85	-347.85	-737.15	-553.85	-347.58	-737.16	-553.84	-347.58
1585	-726.30	-553.80	-347.79	-726.29	-553.80	-347.52	-726.30	-553.79	-347.53
1586	-703.45	-553.72	-347.73	-703.44	-553.73	-347.46	-703.44	-553.72	-347.46
1587	-669.77	-553.41	-347.66	-669.75	-553.41	-347.39	-669.76	-553.41	-347.39
1588	-631.09	-551.76	-347.59	-631.06	-551.76	-347.32	-631.07	-551.75	-347.32
1589	-591.81	-546.74	-347.52	-591.80	-546.74	-347.25	-591.80	-546.68	-347.25
1590	-552.50	-534.25	-347.45	-552.50	-534.25	-347.17	-552.53	-534.18	-347.18
1591	-513.32	-508.60	-347.40	-513.33	-508.60	-347.13	-513.34	-508.61	-347.15
1592	-707.12	-553.71	-347.74	-707.10	-553.71	-347.48	-707.11	-553.70	-347.48
1593	-670.22	-553.36	-347.67	-670.20	-553.36	-347.40	-670.21	-553.35	-347.40
1594	-629.88	-551.79	-347.60	-629.87	-551.79	-347.33	-629.88	-551.76	-347.33
1595	-590.59	-546.69	-347.52	-590.58	-546.69	-347.25	-590.58	-546.61	-347.25
1596	-550.73	-533.72	-347.43	-550.71	-533.73	-347.16	-550.72	-533.58	-347.16
1597	-507.89	-504.74	-347.30	-507.88	-504.75	-347.03	-507.90	-504.61	-347.04
1598	-627.17	-551.78	-347.60	-627.15	-551.78	-347.33	-627.16	-551.74	-347.33
1599	-588.70	-546.46	-347.53	-588.69	-546.46	-347.26	-588.70	-546.37	-347.26
1600	-551.15	-533.03	-347.43	-551.14	-533.04	-347.16	-551.14	-532.90	-347.16
1601	-513.21	-508.10	-347.30	-513.19	-508.11	-347.03	-513.20	-507.98	-347.03
1602	-548.18	-530.59	-347.43	-548.18	-530.59	-347.15	-548.18	-530.43	-347.16
1603	-511.57	-505.68	-347.25	-511.57	-505.68	-346.97	-511.57	-505.60	-346.98
1604	-476.24	-474.67	-347.02	-476.23	-474.68	-346.73	-476.23	-474.63	-346.75
1605	-498.55	-494.63	-347.11	-498.55	-494.63	-346.83	-498.55	-494.57	-346.84

Yaw Tank Pressure

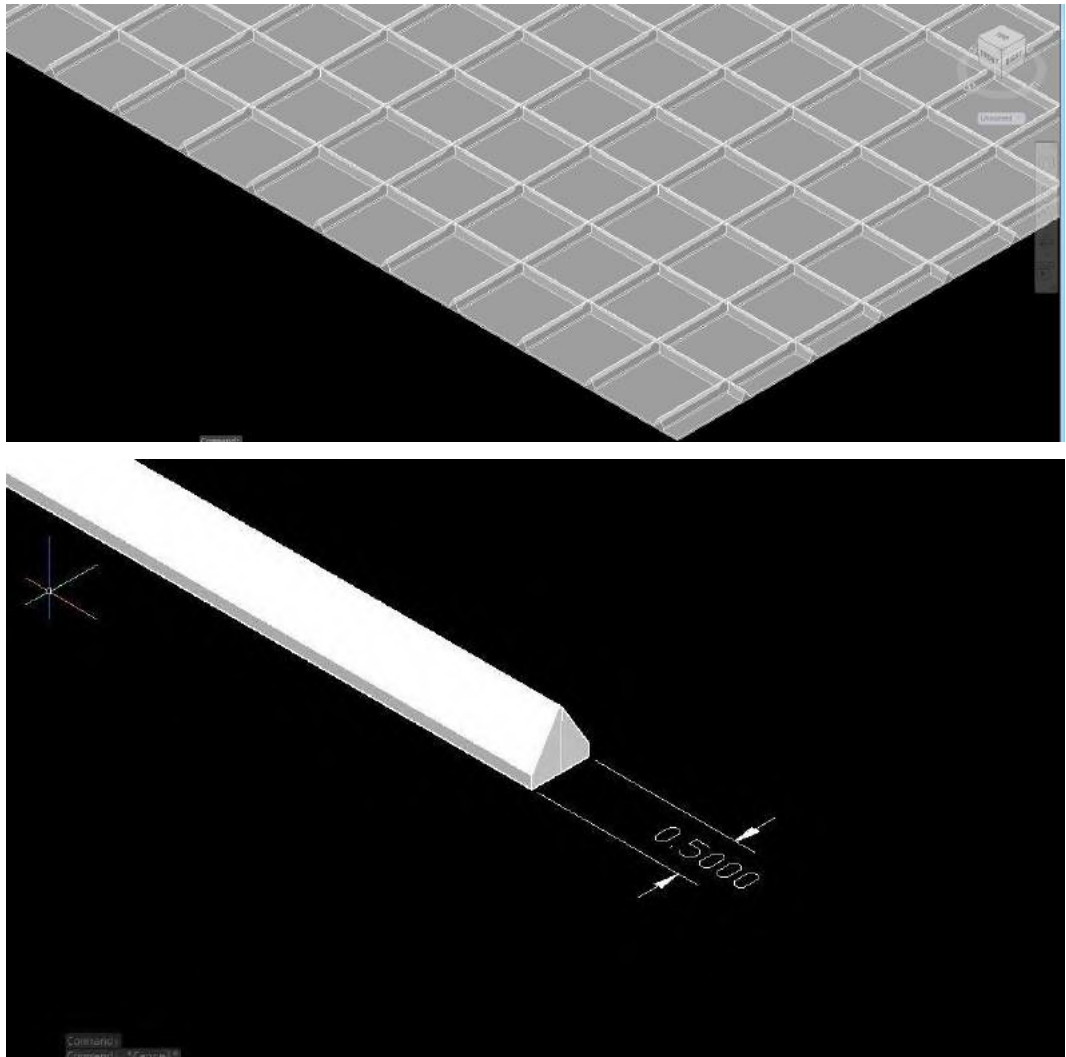


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN E
DETAIL UKURAN TANGKI
MARK III

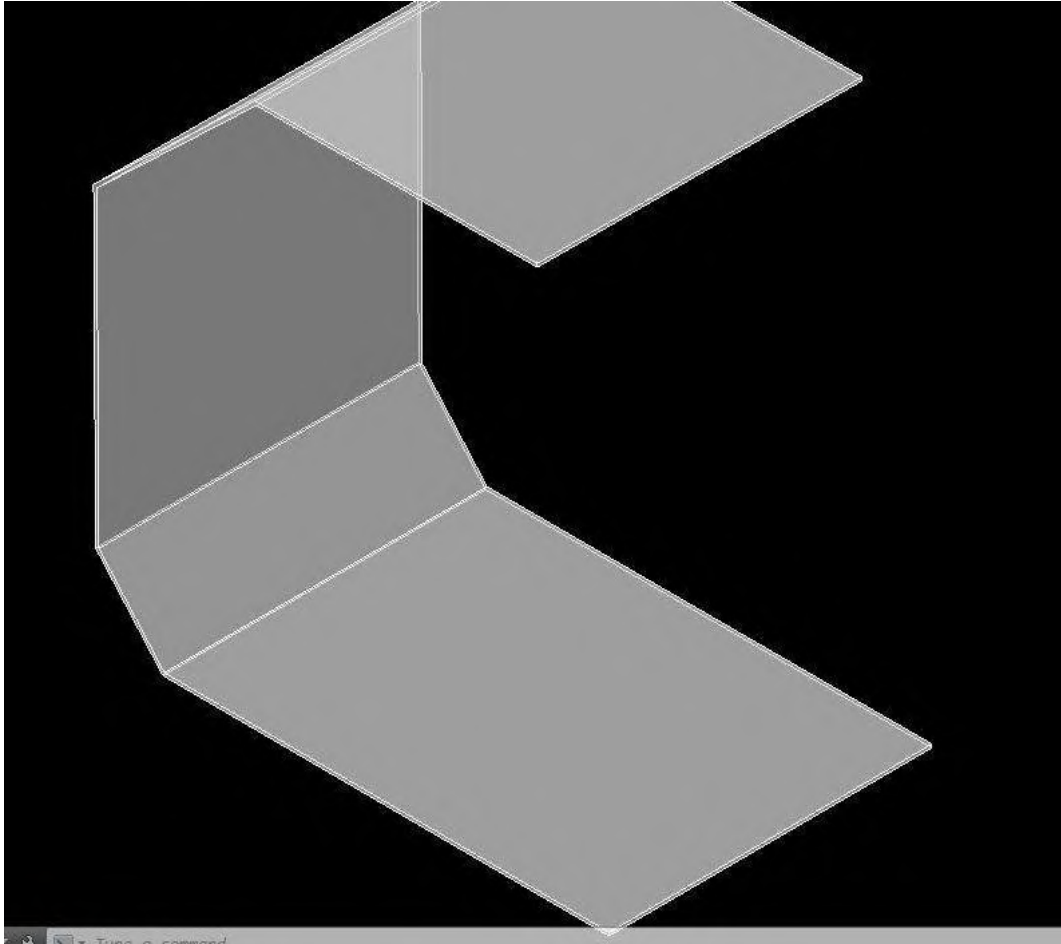
Detail Konstruksi Tangki

- Membran



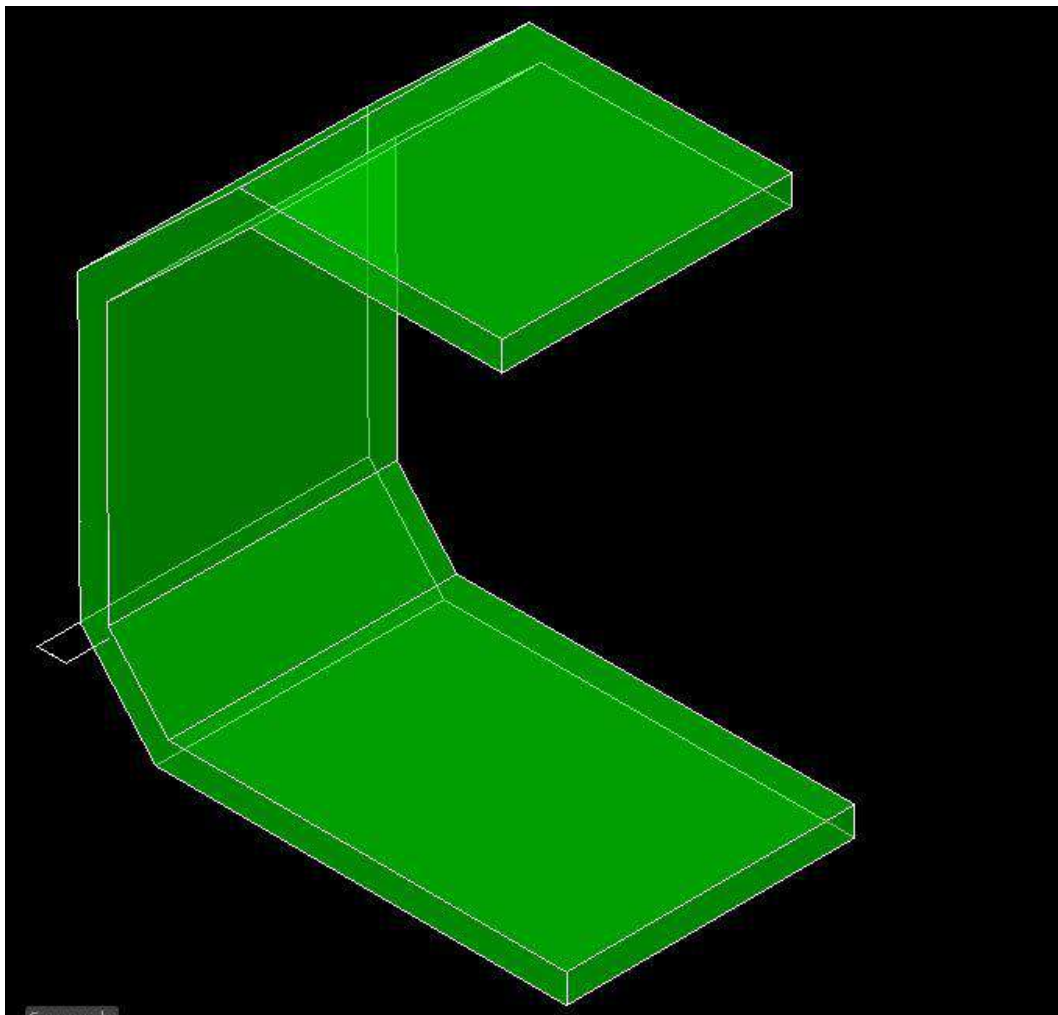
Membran ini memiliki tebal 0.5 inch. Dengan tinggi kontur 0.5 inch. Membran ini adalah bagian terdalam dari tangki.

- Pelat baja



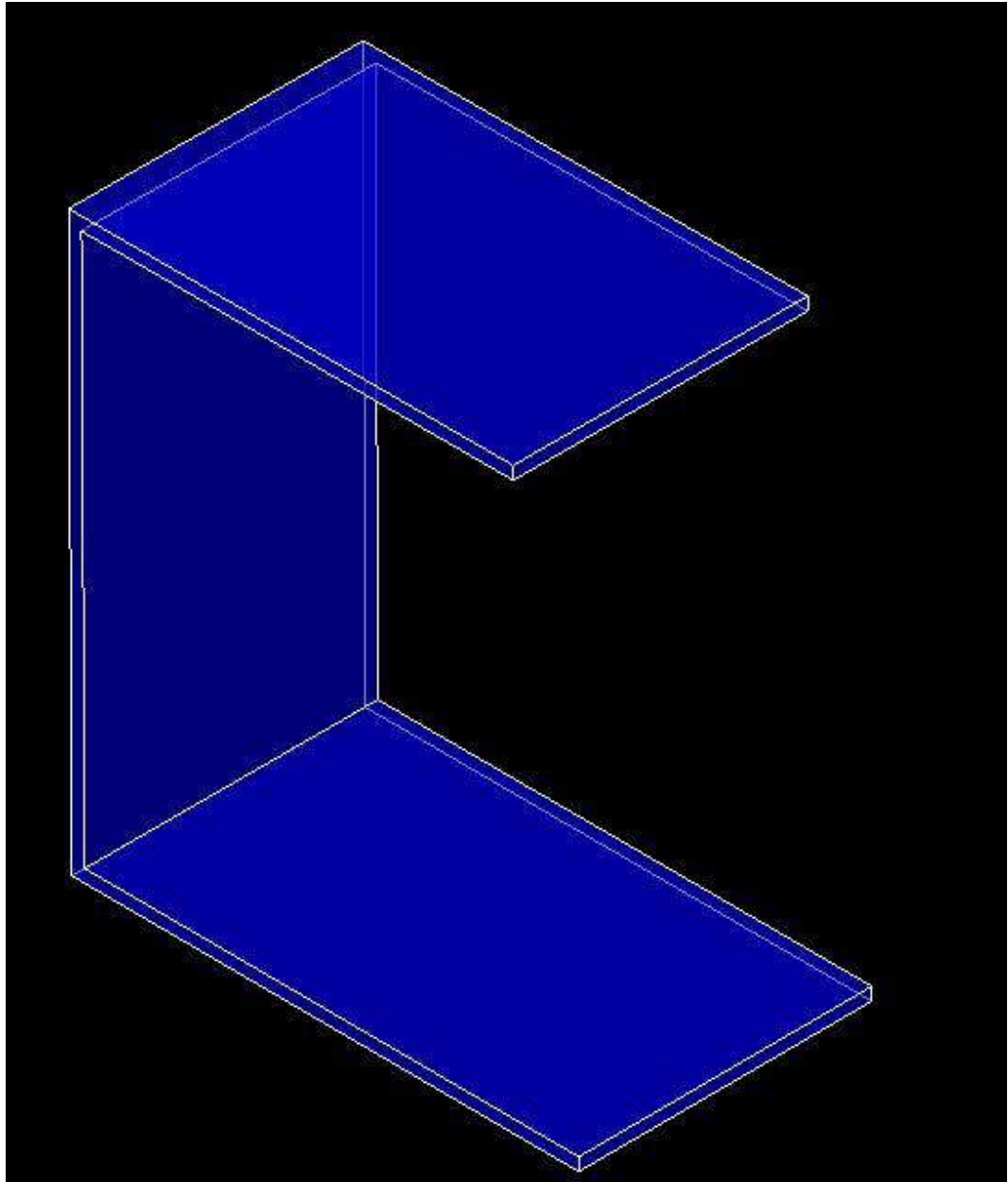
Pelat ini adalah lapisan kedua dari tangki terdalam yang berfungsi untuk mendukung membran agar tidak terjadinya *buckling*. Tebal dari pelat baja ini sendiri adalah 0.5 inch.

- **Lapisan *Teak Wood***



Lapisan ini digunakan sebagai penahan agar tekanan didalam tangki dapat teredam dengan baik. Lapisan kayu dipilih karena kekuatan elastisitasnya yang tinggi dan dapat kembali ke bentuk semula setelah diberikan tekanan yang tinggi. Tebal dari lapisan *teak wood* ini sendiri adalah 5 inch.

- **Inner Hull FSU**



Bagian ini adalah bagian dari *inner hull* FSU yang dimodelkan dalam AUTOCAD 2015.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat dibuat berdasarkan pengerjaan Tugas Akhir ini adalah:

1. Tegangan terbesar di dalam tangki saat *sloshing* pada saat 90%, 80% da 70% *load condition* adalah sebagai berikut:
 - Pada saat kondisi pembebanan 90%, tegangan terbesar yang terjadi pada saat *roll heading* 90° sebesar 1018.8102 kPa
 - Pada saat kondisi pembebanan 80%, tegangan terbesar yang terjadi pada saat *roll heading* 90° sebesar 1018.101 kPa
 - Pada saat kondisi pembebanan 70%, tegangan terbesar yang terjadi pada saat *roll heading* 90° sebesar 1019.9138 kPa
2. Tegangan yang terjadi pada membran terbesar pada saat terjadinya *sloshing* adalah:
 - Pada saat kondisi pembebanan 90%, tegangan terbesar yang terjadi pada saat *roll heading* 90° sebesar 4058.5721 kPa
 - Pada saat kondisi pembebanan 80%, tegangan terbesar yang terjadi pada saat *roll heading* 90° sebesar 4058.5463 kPa
 - Pada saat kondisi pembebanan 70%, tegangan terbesar yang terjadi pada saat *roll heading* 90° sebesar 4058.9871 kPa
3. Hasil pemodelan struktur menggunakan ANSYS *mechanical* yang bertujuan untuk mengetahui tegangan total pada membran tangki menunjukkan angka 119.05 MPa. dengan kondisi 70% *load condition* dengan heading 90° pada saat gerakan *roll*. Ditinjau pada letak tegangan maksimal ada pada sambungan membran bawah yang menghubungkan antara dasar membran dengan bagian miring sebelah bawah pada membran. Nilai tersebut masih lebih kecil daripada nilai tegangan yang diijinkanoleh DNV “*Strength Assessment of Membrane-Type LNG Containment Systems Under Sloshing Loads*” sebesar 193.5 MPa maka tangki masih dikatakan aman untuk beroperasi.

5.2 Saran

1. Dalam analisa *sloshing* masih menggunakan teknik 2D, nantinya bisa dikembangkan lagi menjadi menjadi 3D agar dapat dengan mudah lagi menganalisisnya.
2. *Heading* dapat divariasikan lagi menjadi 30° dan kelipatannya.
3. Pada analisa ini hanya menggunakan *pressure* saja. Dapat dikombinasikan lagi dengan *volume fraction* pada tiap fluida dan juga dengan *force* yang bekerja pada fluida.
4. Perlu adanya ditambahkan *heading* 0° pada arah pembebanan FSU.
5. Pada penelitian selanjutnya dapat dilanjutkan dengan analisa *fatigue* untuk mengetahui umur kelelahan pada struktur

DAFTAR PUSTAKA

- Abramson, H., Bass, R., Faltinsen, O., and Olsen, H. (1974). *Liquid slosh in LNG carriers. In 10th Symposium on Naval Hydrodynamics*, USA
- American Bureau of Shipping. 2006. *Sloshing And Structural Analysis of LNG Pump Tower*, American Bureau of Shipping, USA
- American Bureau of Shipping. 2006. *Strength Assessment of Membrane -Type LNG Containment Sitemes Under Sloshing Loads*, American Bureau of Shipping, USA
- Arsad, Ashar Khoirul, *et.al*, 2013. Studi Gerakan *Sloshing* terhadap Tangki Kotak (*Rectangular Tank*) Dengan dan Tanpa Pelat Memanjang (*Baffle*) Akibat Gerakan *Rolling* Kapal Dengan Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD), Tugas Akhir, ITS
- Aziz, R. and Yu Tang. 2002. *Sloshing Analysis of Tanks Containing Multiple Fluid Layers*. Argonne, USA
- Bunnik, T. and Huijsmans, R. ,2007. *Large scale LNG sloshing model tests. In Proceedings of the 17th International Offshore and Polar Engineering Conference*, Canada
- Cariou, Alain, (1999). *Liquid Sloshing In Ship Tanks: A Comparative Study Of Numerical Simulation*, Elsevier, Italy
- Det Norske Veritas. Strength Assessment of Membrane-Type LNG Containment Systems Under Sloshing Loads. Det Norske Veritas, Norway
- Det Norske Veritas No. 30.9. 2012. *Sloshing Analysis of LNG Membrane Tanks*. Det Norske Veritas, Norway
- Gavory, (2011) *Sloshing In Membrane LNG Carriers and its Consequences From A Designer's Perspective. Liquid Motion Department, Gaztransport & Technigaz*, France
- Godderige, Bernhard, 2009. *A phenomenological rapid sloshing model for use as an operator*

guidance sistem on Liquefied Natural Gas carriers, Thesis of University of Southampton, England

Hidai, Kazumasa, 2011. *Naming of new LNG Carrier "Energy Horizon"*, Tokyo LNG Tanker Magazine, Japan

https://en.wikipedia.org/wiki/Six_degrees_of_freedom

Kim, Yonghwan, 2006. *Numerical Analysis of Sloshing Problem*. American Bureau of Shipping. USA

Lee, S.J., et.al. (2008). *The Effects Of Tank Sloshing On Lng Vessel And Floating Terminal Responses*. WWFEB, United States of America

Malencia, et.al. (2009). *Impulsive Pressure Loading and Response Assesment*. ISSC:Seoul. Korea

Murtedjo, M., (1990). *Teori Gerak*, Fakultas Teknologi Kelautan, Surabaya

Rahman, Insannur (2013). *Perkembangan Teknologi LNG Terapung di Dunia*. 27 Oktober 2013. <http://insanurr.blogspot.co.id/2013/10/dipostkan-by-insanur-rahman.html>

Santoso, Tomi. 2009. *Desain Tangki dan Tinjauan Kekuatannya Pada Kapal Pengangkut CNG (Compressed Natural Gas)*, Tugas Akhir, ITS

Uras, R. Aziz, 2002. *Sloshing Analysis of Viscous Liquid Storage Tanks, Thesis of Reactor Engineering Division:Illionis, USA*

Wang, Wei, et.al, (2014). *Minimising The Sloshing Impact In Membrane LNG Tank Using A Baffle, Proceeding of EUROLYN, Portugal*

White, Bill. 2012. *All You Need to Know About LNG, Energy and Natural Gas Magazine, USA*

BIODATA PENULIS



Fajar Vira Bahrayn lahir di Kediri, Jawa Timur pada 23 Desember 1993. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Ayah penulis bekerja sebagai anggota TNI AL menjadikan pribadi yang disiplin. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar di SDS Al-Irsyad, Surabaya dilanjutkan tingkat menengah di SMPN 1 Surabaya dan tingkat atas di SMAN 4 Surabaya. Setelah tamat SMA, penulis melanjutkan studi S1 nya di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Selama menempuh masa studi, selain aktif di bidang akademis penulis juga aktif di berbagai kegiatan intra kampus. Penulis aktif di berbagai kepanitiaan seperti OCEANO, ketua panitia dalam Bakti Sosial Teknik Kelautan pada tahun 2012 dan pada saat yang sama penulis juga ikut dalam kepanitiaan GERIGI berturut-turut selama 2 tahun menjadi *Organizing Commite* dan tahun selanjutnya menjadi *Instructur Commite*. Penulis juga menjabat *Instructur Commite* pada acara pengaderan Teknik Kelautan pada tahun 2013. Selain itu penulis juga pernah menjabat sebagai ketua divisi Dayung UKM Olahraga Air ITS. Penulis memiliki pengalaman melakukan kerja praktek (KP) di PT. McDermott Indonesia, Batam selama 2 bulan sebagai *Field Engineer* disana. Untuk menyelesaikan studi S1 nya di Teknik Kelautan, FTK, ITS, penulis membahas tugas akhir yang berjudul “Analisa Dampak *Sloshing* pada FSU dengan Sistem Membran Penahan Tangki *Prismatic*” dengan bimbingan bapak Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T. M.Sc, dan bapak Ir. Handayanu, S.T., M.Sc., Ph.D. Kritik dan saran untuk kelancaran penelitian ini dapat disampaikan melalui *email* penulis yaitu fajarvirabahrayn@gmail.com.