



TUGAS AKHIR - MO 184804

ANALISIS KEKUATAN *SPREAD MOORING* AKIBAT *SQUALL*

INNEKE YULISTANTY PRAVITASARI
NRP. 043 1154 0000 066

DOSEN PEMBIMBING:
Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.
Ir. Murdjito, M.Sc., Eng.

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



FINAL PROJECT - M0 184804

RESPONSE OF A SPREAD MOORED FSO IN SQUALL
CONDITION

INNEKE YULISTANTY PRAVITASARI
NRP. 043 1154 0000 066

SUPERVISORS:

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

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

ANALISIS KEKUATAN SPREAD MOORING AKIBAT SQUALL

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

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

Oleh :

INNEKE YULISTANTY PRAVITASARI

NRP. 0431154000066

Disetujui oleh :

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

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

3. Dr. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc. (Penguji 1)

4. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng. (Penguji 2)

5. Dr. Eng. Rudi Walujo P, S.T., M.T. (Penguji 3)

SURABAYA, JULI 2019

ANALISIS KEKUATAN *MOORING LINE* PADA *SPREAD MOORING* AKIBAT *SQUALL*

Nama : Inneke Yulistanty Pravitasari
NRP : 04311540000066
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.
Ir. Murdjito, M.Sc., Eng.

ABSTRAK

Squall adalah peristiwa terjadinya kenaikan kecepatan angin yang meningkat tajam secara tiba-tiba yang dapat mencapai kecepatan hingga 50 m/s dan diikuti dengan perubahan arah angin yang kemudian terjadi peluruhan kecepatan pada angin tersebut. Salah satu tempat sering terjadinya *squall* adalah di Laut Natuna Utara dimana terdapat FSO Belida yang ditambat dengan sistem tambat *spread mooring*. Beban lingkungan *squall* tersebut berdampak pada respon FSO dan tali tambat. Tugas akhir ini akan menganalisa dampak *squall* dengan mensimulasikan *squall* dalam domain waktu dengan variasi durasi *squall* yaitu 2.5 menit, 5 menit, dan 10 menit. Dan pada simulasi *squall* 10 menit akan divariasikan periode gelombang untuk mengetahui pengaruhnya terhadap respon struktur. Hasil analisis simulasi *squall* 10 menit menunjukkan bahwa terjadi kenaikan pada tegangan tali tambat sebesar 34% untuk kondisi operasi dan sebesar 70% untuk kondisi ekstrem. Untuk kenaikan terbesar *offset* pada sumbu X terjadi sebesar 352% untuk kondisi operasi dan 367% untuk kondisi ekstrem. Sedangkan untuk sumbu Y terjadi kenaikan *offset* berturut-turut sebesar 65% untuk kondisi operasi dan 115% untuk kondisi ekstrem. Sedangkan variasi nilai periode pada lingkungan *squall* durasi 10 menit tidak memberikan dampak cukup signifikan pada perubahan *tension* dan *offset*. Pengaruh durasi *squall* mempengaruhi *tension* tali tambat dan *offset vessel* dimana semakin pendek durasi *squall* akan menghasilkan *tension mooring line* dan *offset vessel* besar.

Kata Kunci : FSO, *Squall*, *Spread Mooring*, *Tension Mooring*, *Offset*

RESPONSE OF A SPREAD MOORED FSO IN SQUALL CONDITION

Name : Inneke Yulistanty Pravitasari
Reg. Number : 04311540000066
Department : Teknik Kelautan FTK - ITS
Supervisors : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.
Ir. Murdjito, M.Sc., Eng.

ABSTRACT

Squalls are mesoscale sudden wind-speed increases which rapidly reach a peak wind speed (up to 50 m/s) which followed by changes of wind direction and then decay to low speeds in a span of 60 to 90 minutes. One of the places where squall often occurs is in the North Natuna Sea where Belida FSO is moored with a spread mooring system. The environmental load of squall has an impact to the FSO response and mooring lines. This final project will analyze the impact of squall by simulating squall in the time domain with variation of squall duration i.e. 2.5 minutes, 5 minutes, and 10 minutes. For the squall 10 minutes simulation will vary the wave period to determine its effect on structural response. The results of the simulation analysis of squall 10 minutes show that there is an increase in mooring tension of 34% for operating conditions and 70% for extreme conditions. For the largest increase in offset on the X axis, it occurs at 352% for operating conditions and 367% for extreme conditions. While for the Y axis there is an increase in offset by 65% for operating conditions and 115% for extreme conditions. While the variation of period values in the squall with a duration of 10 minutes does not have a significant effect on changes in tension and offset. The effect of the duration of squall affects tension and offset vessel where the shorter of squall duration will produce a large tension of mooring line and offset vessel.

Keywords : FSO, Squall, Spread Mooring, Tension Mooring, Offset

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis sampaikan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul, “Analisis Kekuatan *Spread Mooring* Akibat *Squall*” ini dengan sebaik mungkin. Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat untuk mendapatkan gelar sarjana (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Laporan Tugas Akhir ini berisi tentang analisis tegangan tali tambat dan *offset* kapal yang terjadi bila dikenai pembebanan lingkungan *squall*. Hal tersebut kemudian penulis bandingkan dengan analisis sistem tambat menggunakan pembebanan lingkungan normal (*non-squall*)

Penulis mengharapkan saran dan kritik dari para pembaca demi perbaikan dan kesempurnaan penyusunan dan penulisan berikutnya. Akhir kata penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan serta bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa ada menemani dan memberi petunjuk serta kemudahan sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya.
2. Ibu, Ayah, Adik, dan Nenek yang tak kenal henti dalam memberikan motivasi, doa, dan dukungan baik secara moril maupun materiil kepada penulis.
3. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing I dan Ir. Murdjito, M.Sc., Eng. selaku dosen pembimbing II dalam Tugas Akhir ini senantiasa membimbing penulis selama proses pengerjaan proposal hingga analisis Tugas Akhir ini.
4. Bapak Nur Syahroni S.T, M.T, Ph.D. selaku dosen wali penulis yang selalu membantu dan membimbing penulis dalam segala urusan dari awal hingga akhir perkuliahan.
5. Muchammad Faris Fatululloh, S.T. yang telah membagikan ilmu dan kesempatan untuk diskusi bersama mengenai pemodelan dan simulasi numerik menggunakan *software OrcaFlex*.
6. Kunthi dan Madea sebagai *partner* dalam pengerjaan Tugas Akhir ini serta teman-teman Laboratorium Hidrodinamika FTK ITS yang menjadi teman diskusi dan senantiasa memberikan bantuan dan dukungan selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
7. Sahabat-sahabat penulis yang menjadi teman berjuang luar biasa untuk segala bantuan, kebersamaan dan semangatnya selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Semua pihak yang turut membantu penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis mendapat ganjaran yang baik dari Tuhan YME dan semoga akan terus berlimpah kebermanfaatannya bagi sekitar.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1 <i>Squall</i>	7
2.2.2 Perkiraan Kecepatan <i>Squall</i> dengan Periode Ulang	9
2.2.3 FSO (<i>Floating Storage Offloading</i>).....	10
2.2.4 Sistem Tambat	11
2.2.4.1 <i>Spread Mooring</i>	12
2.2.5 Teori Gerak Kapal	13
2.2.6 Konsep Pembebanan Lingkungan	14
2.2.6.1 Beban Angin	15
2.2.6.2 Beban Gelombang.....	15
2.2.6.3 Beban Arus.....	16

2.2.7	Keadaan Laut	17
2.2.8	<i>Short Term Wave Analysis</i>	18
2.2.9	Spektrum Energi Gelombang.....	20
2.2.10	Formulasi Spektrum Gelombang	22
2.2.11	RAO	23
2.2.12	Perilaku Bangunan Apung pada Gelombang Acak	25
2.2.12.1	Spektrum Gelombang.....	25
2.2.12.2	Respon Struktur pada Gelombang Acak	26
2.2.13	Analisis Perhitungan	27
2.2.13.1	Analisis Dinamis	27
2.2.14	Tegangan Tali Tambat	27
2.2.15	<i>Offset Vessel</i>	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		31
3.1	Diagram Alir	31
3.2	Prosedur Penelitian	33
3.3	Pengumpulan Data	36
3.3.1	Data FSO Belida	37
3.3.2	Data Tali Tambat	37
3.3.3	Data Lingkungan.....	37
3.3.3.1	Data Gelombang.....	38
3.3.3.2	Data Angin	38
3.3.3.3	Data Arus	38
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Pemodelan FSO Belida	39
4.2	Hidrostatik	40
4.3	Analisis Gerakan Kapal	41
4.3.1	<i>Surge</i>	41
4.3.2	<i>Sway</i>	42
4.3.3	<i>Heave</i>	43
4.3.4	<i>Roll</i>	44
4.3.5	<i>Pitch</i>	45
4.3.6	<i>Yaw</i>	47

4.4	Analisis Beban Lingkungan <i>Squall</i>	48
4.4.1	Periode Ulang Angin <i>Squall</i>	48
4.4.2	Beban Gelombang Akibat <i>Squall</i>	50
4.4.2.1	Tinggi Gelombang Signifikan.....	56
4.4.2.2	Periode Gelombang.....	57
4.5	Pemodelan Sistem Tambat.....	58
4.6	Analisis <i>Tension</i> Mooring dan <i>Offset</i> FSO.....	58
4.6.1	Analisis <i>Tension</i> Maksimum Tali Tambat.....	58
4.6.1.1.	Arah Pembebanan 0°	59
4.6.1.2.	Arah Pembebanan 45°	61
4.6.1.3.	Arah Pembebanan 90°	63
4.6.1.4.	Arah Pembebanan 135°	65
4.6.1.5.	Arah Pembebanan 180°	67
4.6.2	Analisis <i>Offset</i> Maksimum FSO Belida.....	69
4.6.2.1.	Arah pembebanan 0°.....	70
4.6.2.2.	Arah pembebanan 45°.....	71
4.6.2.3.	Arah pembebanan 90°.....	73
4.6.2.4.	Arah pembebanan 135°.....	75
4.6.2.5.	Arah pembebanan 180°.....	77
	BAB V PENUTUP	83
5.1.	Kesimpulan	83
5.2.	Saran	84
	DAFTAR PUSTAKA	85
	LAMPIRAN	
	BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi FSO Belida di Laut Natuna Utara.....	2
Gambar 2.1 <i>Squall time series with respect to wind speed</i>	8
Gambar 2.2 <i>Squall time series with respect to direction</i>	8
Gambar 2.3 FSO Belida	10
Gambar 2.4 Sistem sumbu dan definisi gerakan bangunan laut terapung.....	13
Gambar 2.5 Gelombang acak terbentuk dari kumpulan tak berhingga gelombang regular	18
Gambar 2.6 Elevasi gelombang berbasis domain waktu	19
Gambar 2.7 Spektrum energi gelombang	20
Gambar 2.8 Karakteristik gelombang acak: (a) <i>narrow band</i> dan (b) <i>wide band</i>	21
Gambar 2.9 Skema proses perubahan rekaman gelombang menjadi kurva spektra energi gelombang menggunakan FFT	23
Gambar 2.10 Grafik respon gerakan bangunan apung	24
Gambar 3.1 Diagram alir	33
Gambar 4.1 Pemodelan FSO Belida pada <i>Software Maxsurf</i> : tampak isometri (a), tampak atas (b), tampak samping (c) dan tampak depan (d)	39
Gambar 4.2 Pemodelan FSO Belida pada <i>Software MOSES</i> : tampak isometri (a), tampak atas (b), tampak samping (c) dan tampak depan (d).....	40
Gambar 4.3 Grafik RAO <i>surge</i> FSO Belida.....	42
Gambar 4.4 Grafik RAO <i>sway</i> FSO Belida.....	43
Gambar 4.5 Grafik RAO <i>heave</i> FSO Belida	44
Gambar 4.6 Grafik RAO <i>roll</i> FSO Belida.....	45
Gambar 4.7 Grafik RAO <i>pitch</i> FSO Belida.....	46
Gambar 4.8 Grafik RAO <i>yaw</i> FSO Belida	47
Gambar 4.9 Grafik simulasi <i>squall</i> durasi 2.5 menit.....	49
Gambar 4.10 Grafik simulasi <i>squall</i> durasi 5 menit.....	49
Gambar 4.11 Grafik simulasi <i>squall</i> durasi 10 menit.....	50
Gambar 4.12 Rekaman gelombang acak arah Pembebanan 0° (kondisi operasi)	51
Gambar 4.13 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 0° (kondisi ekstrem)	51

Gambar 4.14 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 45° (kondisi operasi)	52
Gambar 4.15 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 45° (kondisi ekstrem)	52
Gambar 4.16 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 90° (kondisi operasi)	53
Gambar 4.17 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 90° (kondisi ekstrem)	53
Gambar 4.18 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 135° (kondisi operasi)	54
Gambar 4.19 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 135° (kondisi ekstrem)	54
Gambar 4.20 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 180° (kondisi operasi)	55
Gambar 4.21 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 180° (kondisi ekstrem)	55
Gambar 4.22 Pemodelan sistem tambat <i>spread mooring</i> dan skenario arah pembebanan	58
Gambar 4.23 Grafik <i>tension</i> maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit pada arah pembebanan 0°	59
Gambar 2.24 Grafik <i>tension</i> maksimal arah pembebanan 45°	60
Gambar 4.25 Grafik <i>tension</i> maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit pada arah pembebanan 45°	61
Gambar 2.26 Grafik <i>tension</i> maksimal arah pembebanan 45°	62
Gambar 4.27 Grafik <i>tension</i> maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit pada arah pembebanan 90°	63
Gambar 2.28 Grafik <i>tension</i> maksimal arah pembebanan 90°	64
Gambar 4.29 Grafik <i>tension</i> maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit pada arah pembebanan 135°	65
Gambar 4.30 Grafik <i>tension</i> maksimal arah pembebanan 135°	66
Gambar 4.31 Grafik <i>tension</i> maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit pada arah pembebanan 180°	67

Gambar 4.32 Grafik <i>tension</i> maksimal arah pembebanan 180°	68
Gambar 4.33 Grafik <i>Offset X</i> Maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 0°	70
Gambar 4.34 Grafik <i>Offset Y</i> Maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 0°	71
Gambar 4.35 Grafik <i>Offset X</i> Maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 45°	72
Gambar 4.36 Grafik <i>Offset Y</i> Maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 45°	73
Gambar 4.37 Grafik <i>Offset X</i> Maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 90°	74
Gambar 4.38 Grafik <i>Offset Y</i> Maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 90°	75
Gambar 4.39 Grafik <i>Offset X</i> Maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 135°	76
Gambar 4.40 Grafik <i>Offset X</i> Maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 135°	77
Gambar 4.41 Grafik <i>Offset X</i> Maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 180°	78
Gambar 4.42 Grafik <i>offset Y</i> maksimal untuk arah pembebanan 180°	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 <i>Sea State Code</i> yang didefinisikan oleh <i>World Meteorological Organization</i>	17
Tabel 3-1 Data dimensi utama FSO Belida	37
Tabel 3-2 Data tali tambat	37
Tabel 3-3 Data periode ulang tinggi dan periode gelombang	38
Tabel 3-4 Data periode ulang kecepatan angin	38
Tabel 3-5 Data periode ulang kecepatan arus.....	38
Tabel 4-1 Validasi pemodelan FSO Belida	41
Tabel 4-2 Periode ulang kecepatan <i>squall</i>	48
Tabel 4-3 Perbandingan kecepatan angin saat kondisi normal dan kondisi <i>squall</i>	48
Tabel 4-4 <i>Dynamic amplification factor</i> untuk simulasi <i>squall</i>	50
Tabel 4-5 Tinggi gelombang signifikan saat lingkungan normal (<i>non-squall</i>) dan lingkungan <i>squall</i>	56
Tabel 4-6 Periode gelombang saat lingkungan normal (<i>non-squall</i>) dan lingkungan <i>squall</i>	57
Tabel 4-7 Hasil <i>tension</i> maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 0°	59
Tabel 4-8 Hasil <i>tension</i> maksimal untuk arah pembebanan 0°	60
Tabel 4-9 Hasil <i>tension</i> maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 45°	61
Tabel 4-10 Hasil <i>tension</i> maksimal untuk arah pembebanan 45°	62
Tabel 4-11 Hasil <i>tension</i> maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 90°	63
Tabel 4-12 Hasil <i>tension</i> maksimal untuk arah pembebanan 90°	64

Tabel 4-13 Hasil <i>tension</i> maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 135°	65
Tabel 4.14 Hasil <i>tension</i> maksimal untuk arah pembebanan 135°	66
Tabel 4-15 Hasil <i>tension</i> maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 180°	67
Tabel 4-16 Hasil <i>tension</i> maksimal untuk arah pembebanan 180°	68
Tabel 4-17 <i>Maximal tension</i> terbesar pada setiap arah pembebanan untuk durasi <i>squall</i> 10 menit.....	69
Tabel 4-18 Hasil <i>Offset</i> Maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 0°	70
Tabel 4-19 Hasil <i>Offset</i> Maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 45°	72
Tabel 4-20 Hasil <i>Offset</i> Maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 90°	74
Tabel 4-21 Hasil <i>Offset</i> Maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 135°	76
Tabel 4-22 Hasil <i>Offset</i> Maksimal durasi <i>squall</i> 10 menit untuk arah pembebanan 180°	78
Tabel 4-23 <i>Maximum Offset</i> terbesar pada setiap arah pembebanan	79
Tabel 4-24 <i>Maximum Offset X</i> terbesar dengan variasi durasi <i>squall</i> pada setiap arah pembebanan (kondisi operasi).....	80
Tabel 4-25 <i>Maximum offset Y</i> terbesar dengan variasi durasi <i>squall</i> pada setiap arah pembebanan (kondisi operasi).....	81
Tabel 4-26 <i>Maximum offset X</i> terbesar dengan variasi durasi <i>squall</i> pada setiap arah pembebanan (kondisi ekstrem)	81
Tabel 4-27 <i>Maximum offset Y</i> terbesar dengan variasi durasi <i>squall</i> pada setiap arah pembebanan (kondisi ekstrem)	81

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Hasil RAO FSO Belida Kondisi *Full Load*

LAMPIRAN B Grafik Spektrum Energi Gelombang

LAMPIRAN C Hasil Tegangan Tali Tambat

LAMPIRAN D Hasil *Offset Vessels*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

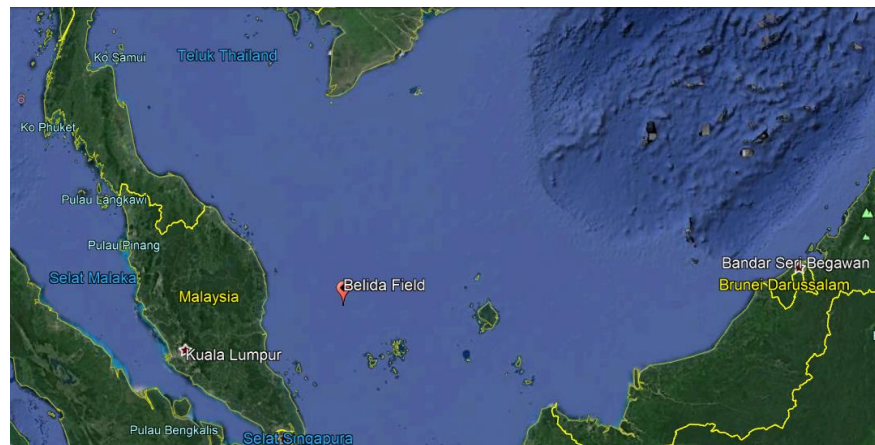
Eksplorasi dan eksploitasi kebutuhan sumber migas sudah merambah ke laut dalam, sehingga teknologi eksplorasi dan eksploitasi pun turut ikut berkembang dimana jenis *floating platform* lebih banyak digunakan daripada menggunakan *fixed platform*. Salah satu jenis bangunan apung yaitu *Floating Storage and Offloading (FSO)*, merupakan struktur terapung yang digunakan sebagai tempat storasi/penyimpanan maupun *offloading* minyak dan gas bumi lepas pantai. (Prasiwi *et.al.*, 2013).

Pada bangunan apung, terdapat berbagai jenis sistem tambat yang menjadi pilihan tergantung kebutuhan dan lokasi akan di-*install* bangunan apung tersebut. Salah satu contoh dari sistem tambat yaitu *spread mooring* yang menurut API RP 2SK adalah suatu sistem dimana tali tambat tertambat pada setiap ujung sisi dari bangunan apung, sehingga membatasi bangunan apung untuk bergerak bebas. Dalam desain *spread mooring*, pendekatan desain konvensional hanya didasarkan pada lingkungan laut yang terbatas.

Sejatinya lingkungan mempunyai dampak signifikan terhadap respon baik bangunan apung dan sistem tambat. Sehingga dalam banyak kasus desain sistem tambat *spread mooring* yang memang didesain untuk lingkungan jinak kurang cocok untuk daerah dengan lingkungan ekstrem. Salah satu peristiwa yang sering terjadi dan termasuk beban lingkungan ekstrem adalah *squall*. *Squall* adalah peristiwa dimana angin tiba-tiba berhembus sangat kencang dan mencapai kecepatan puncak dalam waktu singkat yang diikuti dengan variasi arah angin kemudian terjadi penurunan kecepatan angin tersebut (Liu *et al.*, 2015). *Squall* tentu mempengaruhi respon pada fasilitas *floating structure* yang berimbas pada respon sistem tambat juga. Menurut Dugal *et al.* (2019), *squall* menghasilkan beban lingkungan dan *offset* dari *floating system* cukup ekstrem dibandingkan dengan lingkungan kondisi normal. Berdasar penelitian Kymmell *et al.* (2016) terdapat karakteristik dari *squall* yang dapat menyebabkan dampak signifikan terhadap respon *mooring system* dan bangunan apung, yaitu

kecepatan angin, durasi angin, dan luas permukaan dari *vessel heading* yang terkena *squall*.

Studi kasus yang hendak dianalisa pada Tugas Akhir ini adalah FSO Belida ditambat dengan sistem *spread mooring* di Laut Natuna Utara seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1.1** yang mana pada daerah tersebut sering terjadi *squall*. Sehingga akan dianalisa dampak *squall* terhadap kekuatan *mooring line* dan *offset* dari FSO Belida jika dibandingkan dengan hasil dari kondisi pembebanan lingkungan normal (*non-squall*). Hal yang divariasikan untuk pembeda lingkungan kondisi normal (*non-squall*) dan lingkungan *squall* adalah variasi kecepatan angin, tinggi gelombang, dan periode gelombang. Akan digunakan 2 variasi kecepatan angin yaitu *wind speed under normal condition* untuk kondisi pembebanan lingkungan normal (*non-squall*) dan *wind speed due to squall* untuk kondisi pembebanan lingkungan *squall*. Variasi juga dilakukan untuk nilai tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang.



Gambar 1.1 Lokasi FSO Belida di Laut Natuna Utara
(Sumber : *Google Earth*, diakses pada 25 Januari 2019)

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang hendak dibahas dalam Tugas Akhir ini meliputi :

1. Bagaimana tegangan tali tambat dan *offset* FSO Belida yang terjadi saat pembebanan kondisi *squall* ?
2. Bagaimana perubahan tegangan tali tambat dan *offset* FSO Belida yang terjadi dari kondisi normal (*non-squall*) ke kondisi *squall* ?

3. Bagaimana pengaruh variasi periode gelombang pada saat kondisi *squall* terhadap tegangan tali tambat dan *offset* FSO Belida ?

1.3 Tujuan

Tujuan dari pengerjaan Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengetahui tegangan tali tambat dan *offset* FSO Belida yang terjadi saat pembebanan kondisi *squall*.
2. Mengetahui perubahan tegangan tali tambat dan *offset* FSO Belida yang terjadi dari kondisi normal (*non-squall*) ke kondisi *squall*.
3. Mengetahui pengaruh variasi periode gelombang pada saat kondisi *squall* terhadap tegangan tali tambat dan *offset* FSO Belida.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari pengerjaan tugas akhir ini adalah dapat diketahui pengaruh pembebanan lingkungan terhadap tegangan tali tambat dan *offset* FSO Belida dengan sistem tambat yaitu *spread mooring* serta pengaruh variasi periode gelombang saat pembebanan lingkungan *squall* terhadap *tension* tali tambat dan *offset* FSO.

1.5 Batasan Masalah

Agar tetap menjaga fokus penelitian dari pembahasan yang melebar dan memudahkan analisis yang ingin dicapai sesuai tujuan, maka berikut adalah batasan ruang lingkup yang diterapkan pada tugas akhir ini:

1. Jumlah *mooring line* yang digunakan dalam sistem *spread mooring* ini berjumlah 8 *line* dengan jenis *catenary*.
2. FSO Belida dianggap sebagai *rigid body*.
3. Kriteria pembebanan *ultimate limit state*.
4. Permukaan *seabed* dianggap datar.
5. FSO Belida dianalisa dalam kondisi *stand alone* (saat FSO dalam muatan *full load*).
6. *Anchor* dianggap kuat menahan beban.
7. Beban lingkungan yang ditinjau berupa beban angin, beban gelombang, dan beban arus pada lokasi tinjauan yaitu pada Laut Natuna Utara

dengan kala ulang 1 tahun untuk kondisi operasi dan 100 tahun untuk kondisi ekstrem.

8. Digunakan *codes* yaitu API RP 2SK, DNV-OS-E301, dan DNV-RP-C205

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini meliputi sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab I dijelaskan mengenai latar belakang masalah yang sedang ditinjau, rumusan masalah, tujuan, manfaat yang hendak dicapai, sekaligus batasan-batasan masalah dari tugas akhir yang sedang diteliti.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab II berisi tentang tinjauan pustaka dan dasar teori yang menjadi acuan dalam pelaksanaan penelitian di tugas akhir ini. Sumber baik tinjauan pustaka maupun dasar teori didapat dari buku, jurnal referensi, maupun literatur lain yang relevan dengan topik teknologi kelautan, sekaligus *rules/codes* yang terkait.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab III berisi tentang langkah-langkah pelaksanaan penelitian tugas akhir ini beserta data-data yang diperoleh penulis untuk memulai penelitian.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV membahas tentang seluruh hasil yang didapat dari langkah-langkah penelitian yang sudah tertera pada Bab III. Penulis akan membahas dari pengolahan data awal yang diperoleh hingga analisis akhir yang diharapkan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab IV akan disampaikan mengenai capaian hasil untuk menjawab rumusan masalah pada Bab I secara terangkum sehingga dapat menggambarkan ketercapaian hasil penelitian serta saran yang ingin disampaikan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Respon tanker dan tali tambat adalah suatu yang tidak dapat dipisahkan satu sama lain. *Offset* pada tanker dibatasi oleh sistem tambat dan penjangkaran, sedangkan *offset mooring* tergantung pada karakteristik *motion* tanker yang berubah-ubah karena disebabkan oleh gaya pengembali (*restoring force*) dan gaya redaman (*drag force*) dari sistem tambat (Aryawan, 2005). Oleh karena itu desain sistem tambat dan respon gerak dari tanker saling mempengaruhi.

Menurut Kim *et al.* (2005) tidak ada *standard* dan *guidelines* desain *mooring* yang spesifik untuk beban lingkungan ekstrem. Sedangkan dalam beberapa kasus, desain sistem tambat dengan *standard* yang ada dinilai kurang berlaku akibat banyak parameter yang diabaikan salah satunya mengabaikan beban lingkungan ekstrem. Contoh fenomena yang sering terjadi di lingkungan laut ekstrem adalah *squall*. *Squall* adalah peristiwa dimana angin tiba-tiba berhembus sangat kencang dan mencapai kecepatan puncak dalam waktu singkat yang diikuti dengan variasi arah angin kemudian terjadi penurunan kecepatan angin tersebut (Liu *et al.*, 2015). *Squall* dapat mempengaruhi operasi *floating structure*, hal ini dibuktikan oleh penelitian Dugal *et al.* (2011) dengan daerah tinjauan *Offshore West Africa* dimana *squall* menghasilkan beban lingkungan dan *offset* dari *floating system* cukup ekstrem dibandingkan dengan kondisi lingkungan biasa.

Menurut Kymmell *et al.* (2016) terdapat karakteristik dari *squall* yang menyebabkan dampak signifikan terhadap respon *mooring system* dan *vessel*, yaitu puncak kecepatan angin, durasi angin, dan luas permukaan dari *vessel heading* yang terkena *squall*. Menurut Jeans *et al.* (2014) formula yang tepat untuk analisa *squall* adalah *time history* dengan variasi kecepatan dan arah yang dapat berpotensi kritis pada desain *mooring system*. Terdapat beberapa penelitian lain tentang dampak *squall* terhadap respon bangunan apung dewasa ini. Zhong *et al.* (2005) melakukan studi

tentang *turret mooring* pada FPSO di *West Africa* dan mengoptimalkan variasi waktu *squall* untuk memprediksi respon global dari FPSO. Minnebo *et al.* (2012) melakukan studi tentang karakteristik lingkungan *squall* dan variasi parameter yang berdampak pada respon FPSO dengan daerah tinjauan di *West Africa*. Oberlies *et al.* (2015) melakukan penelitian tentang analisa *turret mooring system* FPSO pada lingkungan *squall* dan menunjukkan bahwa *maximal tension* terjadi saat kondisi ballast FPSO. Yu dan Huang (2015) melakukan penelitian pada efek *squall* terhadap prediksi tegangan ekstrem dan *offset* pada *internal turret mooring system* dan mengkomparasikan dengan hasil respon akibat kecepatan angin konstan. Brown *et al.* (2016) dalam penelitiannya menyatakan bahwa *squall* tidak mempunyai dampak signifikan pada *CALM buoy mooring system* ketika *vessel* diijinkan berotasi bebas mengelilingi *Single Point Mooring*. Paalvast *et al.* (2016) dalam penelitiannya tentang respon *calm buoy moored, vessel* pada kondisi *squall* menunjukkan bahwa arah awal kapal relatif terhadap arah *squall* pada kecepatan angin maksimum memiliki efek nyata pada besarnya *offset* kapal dan tegangan tali tambat maksimum.

Dalam *spread mooring*, bangunan apung mempunyai batasan bergerak atau berputar yang relatif kecil, sehingga jika beban lingkungan yang diterima struktur terapung besar akan mengakibatkan nilai *tension* pada *mooring line* dan *offset* besar. FSO Belida ditambat dengan sistem *spread mooring* di Laut Natuna Utara dimana pada daerah ini sering terjadi *squall*. Untuk itu, pada Tugas Akhir ini akan dilakukan penelitian tentang efek *squall* terhadap tegangan tali *mooring* dan *offset* pada FSO Belida. Efek *squall* ditransformasikan dengan variasi berupa kecepatan angin dimana akan dilakukan simulasi domain waktu dan terjadi kenaikan kecepatan angin sepanjang waktu analisis tersebut. Kenaikan kecepatan angin sepanjang waktu analisis tentu berpengaruh pada pembentukan tinggi dan periode gelombang yang baru. Untuk itu akan dianalisa juga tinggi dan periode gelombang baru akibat kecepatan angin *squall*. Sehingga data

lingkungan akibat *squall* inilah yang akan dijadikan pembebanan pada analisis sistem tambat akibat *squall*.

2.2 Dasar Teori

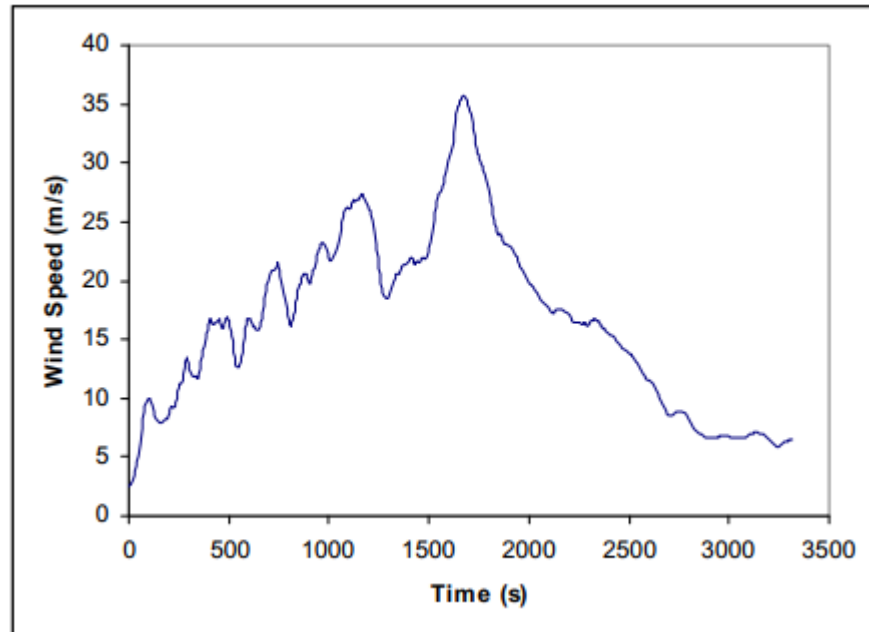
2.2.1 Squall

Squall adalah suatu peristiwa terjadinya kenaikan kecepatan angin yang meningkat tajam secara tiba-tiba dan diikuti juga dengan perubahan arah angin secara mendadak yang kemudian terjadi penurunan kecepatan pada angin tersebut dimana kejadian *squall* hanya terjadi kurang lebih selama 1 jam. *Squall* secara garis besar menyiratkan perubahan tingkat kecepatan angin rata-rata (*DNV RP C205*). *Squall* hanya dapat terjadi di wilayah tropis dan lintang menengah. Salah satu contoh *squall* di wilayah tropis yang terjadi di wilayah tinjauan Tugas Akhir ini *Sumatra Squall*. *Sumatra Squall* adalah barisan badai guntur yang biasa terjadi di antara September hingga November setiap tahunnya. *Sumatra Squall* mulai tumbuh pada malam hari di Pulau Sumatra atau perairan Selat Malaka bergerak ke timur melintasi Singapura, semenanjung Malaysia dan termasuk Batam pada dini hari hingga fajar yang sering ditandai dengan adanya angin kencang di permukaan dan hujan lebat yang terjadi 1 atau 2 jam lamanya.

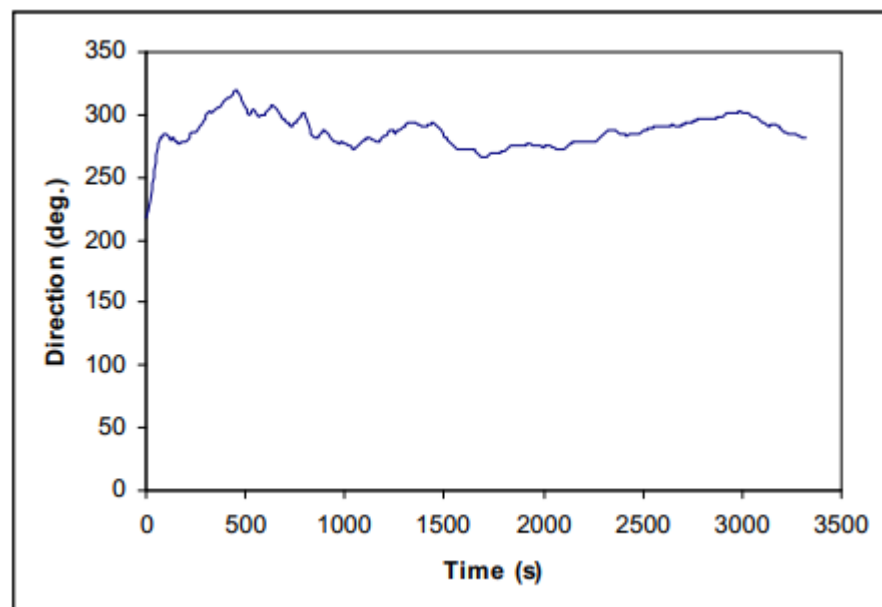
Squall dikaitkan dengan bertemunya udara dingin dengan udara hangat dimana kepadatan udara dingin lebih tinggi daripada udara hangat, hal itu mendorong udara hangat ke atas. Saat udara hangat mulai bergerak ke atas, uap air mulai mengembun yang membuat udara lebih ringan dan mempercepatnya ke atas sehingga menyebabkan hembusan badai terjadi terbentuk secara lokal. Perubahan suhu udara akibat ketidakstabilan atmosfer dan musimam bisa menjadi indikator utama keberadaan *squall*, karena angin mungkin tidak selalu berubah arah.

Menurut *DNV OS E301*, kecepatan angin *squall* harus dipertimbangkan untuk mewakili periode ulang 100 tahun. Penskalaan sumbu waktu untuk mempertahankan laju peningkatan kecepatan angin harus dipertimbangkan. *Squall* dianggap mendekati dari arah mana pun jika tidak didokumentasikan arah tertentu. Nilai ekstrem dari tegangan tambat dan

offset mooring harus diambil nilai maksimum untuk rangkaian waktu dari respons aktual. Data kala ulang lingkungan yang digunakan dalam analisis *squall* adalah kecepatan angin *squall* 100 tahun yang dikombinasikan dengan gelombang dan arus sesuai efek dominan yang terjadi di lokasi tersebut. Sebuah contoh dari seri waktu *squall* sehubungan dengan kecepatan dan arah angin diberikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.1 *Squall time series with respect to wind speed*



Gambar 2.2 *Squall time series with respect to direction*

2.2.2 Perkiraan Kecepatan *Squall* dengan Periode Ulang

Frekuensi angin besar seperti *squall* merupakan faktor yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan maupun operabilitas bangunan lepas pantai. Untuk mengetahui prediksi besar kecepatan angin *squall* dalam jangka waktu tertentu maka dibutuhkan data pengukuran cukup panjang yakni lebih dari satu tahun. Setelah itu dapat diperkirakan kecepatan *squall* yang diharapkan menyamai atau melampaui setidaknya satu kali dalam kala ulang T tahun. Salah satu metode yang sering digunakan dalam perhitungan periode ulang kecepatan angin adalah distribusi *Weibull*. Rumus-rumus probabilitas yang digunakan untuk Metode *Weibull* adalah sebagai berikut :

$$P(W \leq W_m) = 1 - \frac{m-0.2-\frac{0.27}{\sqrt{k}}}{N_T+0.2+\frac{0.23}{\sqrt{k}}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana,

$P(W \leq W_m)$ = probabilitas dari tinggi gelombang representatif ke m yang tidak dilampaui

N_T = jumlah data N angin

m = nomor urut data angin

k = parameter bentuk

Hitungan didasarkan pada analisis regresi linear dengan nilai y_m ditentukan dari persamaan sebagai berikut.

$$W_m = \hat{A}y_m + \hat{B} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana nilai y_m diberikan oleh bentuk berikut ini :

$$y_m = [-\ln\{1 - P(W \leq W_m)\}]^{1/k} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan \hat{A} dan \hat{B} adalah perkiraan dari parameter skala dan lokal yang diperoleh dari analisis regresi linear. Sedangkan untuk kecepatan angin dalam periode ulang tertentu dapat ditentukan oleh persamaan berikut ini :

$$W_{sr} = \hat{A}y_{sr} + \hat{B} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana nilai y_{sr} diberikan oleh bentuk berikut ini :

$$y_r = \{\ln(LT_\gamma)\}^{\frac{1}{k}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan,

W_{sr} = kecepatan angin dengan periode ulang T_γ

- K = panjang data
T_y = periode ulang
L = rerata jumlah kejadian per periode ulang

2.2.3 FSO (*Floating Storage Offloading*)



Gambar 2.3 FSO Belida

(Sumber www.shipspotting.com, diakses pada 25 Januari 2019)

FSO (*Floating Storage and Offloading System*) merupakan salah satu jenis dari *Storage Tanker* yang digunakan oleh industri minyak dan gas lepas pantai untuk penyimpanan dan penyalur hidrokarbon seperti minyak atau gas cair tanpa dilengkapi dengan fasilitas pemrosesan. Menurut OCIMF, *Chapter Tandem Mooring Offloading Guidelines for CTs at F(P)SO Facilities*, fungsi FSO meliputi 3 hal, yaitu menerima hasil proses *crude oil* atau gas dari fasilitas pemrosesan eksternal, menyimpan *crude oil* yang telah diproses, dan menyalurkan *crude oil* atau gas ke *shuttle tanker*. Pada umumnya, FSO merupakan konversi dari kapal tanker, walau tak jarang juga FSO yang bersifat bangunan baru (*new build*). Parameter yang dipertimbangkan dalam penggunaan bangunan baru ataupun konversi tanker diantaranya biaya dan waktu produksi, desain dan konstruksi kapal, serta penentuan umur lelah kapal. Jika kurang dari 15 tahun masa operasi, maka direkomendasikan bahwa FSO menggunakan hasil konversi tanker, begitu sebaliknya jika masa operasi FSO lebih dari 15 tahun maka sebaiknya menggunakan *new build*. Karena FSO merupakan salah satu jenis bangunan lepas pantai yang tergolong memiliki ukuran yang relatif

besar yang beroperasi dan melakukan bongkar muat di lepas pantai sehingga kondisinya selalu terkena beban lingkungan yang signifikan, yaitu beban angin, arus, dan gelombang. Maka desain FSO termasuk sistem tambatnya harus didesain dan dilakukan analisa dengan tepat.

2.2.4 Sistem Tambat

Sistem tambat (*mooring system*) adalah sebuah sistem yang digunakan pada bangunan apung di lepas pantai agar tetap pada tempatnya (*stationer*). Menurut *API RP 2SK*, secara garis besar konfigurasi sistem tambat suatu struktur apung berupa jenis tambat menyebar (*spread mooring*), jenis tambat titik tunggal (*single point mooring*), dan jenis *dynamic positioning*. Bangunan apung umumnya tidak selalu ditambatkan dengan satu jenis tali tambat. Tali tambat yang akan di-*install* akan ditinjau terlebih dahulu sesuai kondisi lokasi bangunan apung beroperasi. Hal yang menjadi pertimbangan konfigurasi tali tambat meliputi segi kekuatan, ekonomis dan beban *payload* (Barltrop, 1998). Berdasarkan *API-RP2SK 3rd edition* (2005), tipe *mooring line* yang digunakan pada *floating structure* dibagi menjadi 3 kategori, yaitu *chain*, *wire rope*, dan kombinasi keduanya. Berikut merupakan karakteristik dari tiap tipe tali tambat :

a. *Chain*

Memiliki karakteristik berat yang lebih besar dan dapat membentuk *catenary* karena beratnya, namun elastisitas dari *chain* relatif cukup rendah.

b. *Wire rope*

Memiliki karakteristik yang lebih ringan dari *chain* dan memiliki elastisitas yang relatif tinggi.

Berikut adalah variasi segmentasi tali tambat berdasar kedalaman air laut, yaitu :

a. *Shallow water* (≤ 100 m)

Tali yang biasa digunakan pada kedalaman dangkal adalah tipe *chain* karena memiliki daya tahan cukup besar terhadap abrasi.

b. *Moderate and deep water* (101-1000 m)

Biasanya digunakan tipe tali tambat kombinasi agar mengurangi beban vertikal yaitu *wire rope – chain, chain – wire rope – chain*.

c. *Ultra deep water* (≥ 1000 m)

Karena membutuhkan tali yang relatif panjang, maka digunakan kombinasi *fibre rope* dengan *chain*. *Fibre rope* dipilih karena mempunyai berat lebih ringan dan umur lelah lebih tinggi dari *wire rope*.

2.2.4.1 Spread Mooring

Spread mooring adalah cara yang paling sederhana sebagai sarana tambat FSO/FPSO, karena pada sistem ini tidak memungkinkan bagi kapal untuk bergerak/berputar atau dengan kata lain, *spread mooring* menyebabkan *offset* yang lebih terkendali. Namun hal ini akan mengakibatkan *tension* yang dialami tali tambat lebih besar, yang mana akan mengakibatkan bertambahnya jumlah *mooring lines* untuk mengindari *tension* yang besar tersebut.

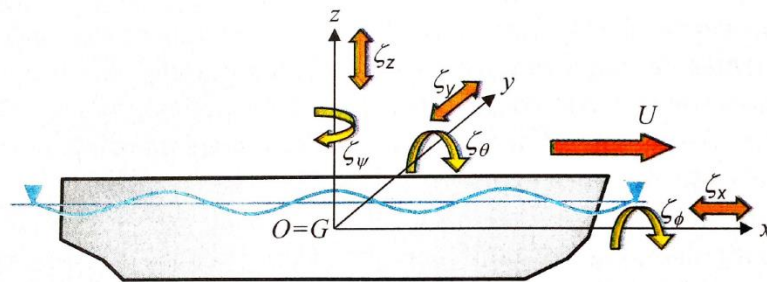
Peralatan yang digunakan biasanya merupakan peralatan yang pada umumnya sudah tersedia di kapal. Pada sistem ini digunakan satu set *anchor legs* dan *mooring lines* yang biasanya terletak pada posisi *bow* dan *stern* kapal. Karena peralatan yang digunakan relatif sederhana, maka tidak perlu *dry docking* untuk melakukan modifikasi terhadap *mooring systemnya*. *Spread mooring* dapat diterapkan pada setiap tipe kapal, namun dengan tetap memperhatikan fasilitas produksi di atas kapal.

Spread mooring biasa dirancang untuk perairan yang dangkal atau dalam dan lingkungan yang ringan hingga sedang. Kinerja *spread mooring* tergantung pada cuaca yang berlaku dan dianggap cocok untuk daerah dengan kisaran arah cuaca yang cukup terbatas dan tidak begitu efektif dalam lingkungan yang keras atau multi-arah di mana perubahan angin, gelombang, dan arus dapat menimbulkan beban berat pada sistem penahan dan menciptakan gerakan berlebihan pada unit. Penting juga untuk mempertimbangkan kelayakan pembongkaran sebagai fungsi dari

lingkungan sehari-hari dengan mempertimbangkan pendekatan dan operasi pembongkaran dengan kapal tanker ekspor.

2.2.5 Teori Gerak Kapal

Berdasarkan arah gerakan, gerakan struktur apung dapat dibedakan menjadi 2 macam gerak, gerakan yang bersifat translasional dan rotasional. Gerakan *rigid body* yang bersifat translasional terdiri dari gerakan *surge*, *sway* dan *heave*. Sedangkan gerakan rotasional terdiri dari *roll*, *pitch* dan *yaw*. Moda gerakan tersebut dapat dilihat penjelasannya pada **Gambar 2.3** dengan memakai konversi sumbu tangan kanan. Tiga gerakan translasi pada arah sumbu x, y dan z, adalah masing-masing *surge* (ζ_1), *sway* (ζ_2) dan *heave* (ζ_3), sedangkan untuk gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah *roll* (ζ_4), *pitch* (ζ_5) dan *yaw* (ζ_6).



Gambar 2.4 Sistem sumbu dan definisi gerakan bangunan laut terapung (Sumber: Djatmiko, 2012)

Moda gerak translasional :

- Surge* (ζ_1) : Gerak osilasi translasional pada sumbu-x
- Sway* (ζ_2) : Gerak osilasi translasional terhadap sumbu-y
- Heave* (ζ_3) : Gerak osilasi translasional terhadap sumbu-z

Moda gerak rotasional:

- Roll* (ζ_4) : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-x
- Pitch* (ζ_5) : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-y
- Yaw* (ζ_6) : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-z

Dengan asumsi bahwa 6 moda gerakan di atas adalah *linier* dan harmonik, maka 6 persamaan diferensial gerakan kopel dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\zeta}_k + B_{jk}\dot{\zeta}_k + K_{jk}\zeta_k] = F_j e^{i\omega t}; \quad j, k = 1 \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan,

- M_{jk} = matriks massa dan momen inersia massa bangunan laut
- A_{jk} = matriks koefisien-koefisien massa tambah hidrodinamik
- B_{jk} = matriks koefisien-koefisien redaman hidrodinamika
- K = matriks koefisien-koefisien kekakuan atau gaya dan momen hidrostatik
- F_j = matriks gaya eksitasi (F_1, F_2, F_3) dan momen eksitasi (F_4, F_5, F_6) dalam fungsi kompleks (dinyatakan oleh $e^{i\omega t}$)
- F_1 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *surge*
- F_2 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *sway*
- F_3 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *heave*
- F_4 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *roll*
- F_5 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *pitch*
- F_6 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *yaw*
- $\ddot{\zeta}_k$ = elevasi percepatan gerak pada mode ke k
- $\dot{\zeta}_k$ = elevasi kecepatan gerak pada mode ke k
- ζ_k = elevasi gerakan pada mode ke k

Persamaan di atas menunjukkan hubungan antara gaya aksi dan gaya reaksi. Gaya aksi dipresentasikan oleh suku pada ruas kanan, yang merupakan eksitasi gelombang terhadap bangunan apung. Gaya reaksi ditunjukkan oleh suku-suku di sebelah kiri persamaan, yang terdiri dari gaya inersia, gaya redaman, dan gaya pengembali, yang masing-masing berkorelasi dengan percepatan gerak, kecepatan gerak, dan simpangan atau displasemen gerakan.

2.2.6 Konsep Pembebanan Lingkungan

Dalam proses perancangan struktur apung lepas pantai (*floating offshore structure*), kemampuan kerja struktur ditentukan oleh beban yang bekerja pada struktur tersebut. Beban-beban yang harus dipertimbangkan dalam perancangan *floating offshore structure* adalah beban internal dan beban eksternal. Beban eksternal meliputi beban lingkungan dimana merupakan beban yang terjadi karena pengaruh lingkungan dimana suatu bangunan lepas pantai dioperasikan atau bekerja. Beban lingkungan yang

biasanya digunakan dalam perancangan adalah beban arus, beban angin, beban gelombang.

2.2.6.1 Beban Angin

Berdasarkan *OCIMF (1997) Mooring Equipment Guidelines*, perhitungan beban angin didefinisikan sebagai berikut :

d. *Longitudinal wind force*

$$F_{xw} = C_{xw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_T \dots\dots\dots (2.7)$$

e. *Lateral wind force*

$$F_{yw} = C_{yw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_L \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana,

- F_{xw} = gaya angin longitudinal (kN)
- F_{yw} = gaya angin lateral (kN)
- C_{xW} = koefisien gaya angin longitudinal non dimensional
- C_{yW} = koefisien gaya angin transversal non dimensional
- ρ_w = densitas udara = 1.223 Kg/m³ pada 200 C
- V_w = kecepatan angin pada ketinggian 10m (knot)
- A_T = luas penampang transversal diatas air (m²)
- A_L = luas penampang longitudinal diatas air (m²)

2.2.6.2 Beban Gelombang

Gaya gelombang *time series* dapat dibangkitkan dari spektrum gelombang sebagai *first order* dan *second order*. *First Order* adalah gelombang dengan periode kecil dimana daerah pembangkit gelombang ini terjadi di daerah tersebut dan berpengaruh dominan pada gerakan apung. Berikut adalah persamaan gaya gelombang *first order*, yaitu :

$$F_{WV}^{(1)}(t) = \sum_{i=1}^N F_{WV}^{(1)}(\omega_i) \cos[\omega_i t + \varepsilon_i] a_i \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan:

- $F_{WV}^{(1)}(t)$ = gaya gelombang *first order* tergantung waktu (N)
- $F_{WV}^{(1)}$ = gaya *exciting* gelombang *first order* per unit amplitudo gelombang (N)
- ε_i = sudut fase komponen gelombang *first order* (deg)
- a_i = amplitudo komponen gelombang *first order* (m)

$S(\omega)$ = fungsi spektra gelombang

Second order wave force adalah gelombang dengan periode tinggi yang daerah pembangkitannya tidak di daerah tersebut (jauh dari lokasi gelombang terjadi) dan berpengaruh dominan pada kekuatan sistem tambat. Untuk lebih mudah dalam memahami gaya gelombang *second order*, berikut ini ditunjukkan dua gelombang yang memiliki amplitudo A_1 dan A_2 serta frekuensi ω_1 dan ω_2 . Misalkan dua gaya gelombang tersebut dituliskan sebagai :

$$F_1 = A_1 \cos(\omega_1 t) + A_2 \cos(\omega_2 t) \dots\dots\dots (2.10)$$

Sehingga *quadratic transfer function* dapat ditulis dengan persamaan ;

$$F_1^2 = \frac{A_1^2}{2} + \frac{A_2^2}{2} + \frac{A_1^2}{2} \cos(2\omega_1 t) + \frac{A_2^2}{2} \cos(2\omega_2 t) + A_1 A_2 \cos\{(\omega_1 - \omega_2)t\} + A_1 A_2 \cos\{(\omega_1 + \omega_2)t\} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan,

komponen *mean wave* $= \frac{A_1^2}{2} + \frac{A_2^2}{2}$

komponen pengurangan frekuensi $= A_1 A_2 \cos\{(\omega_1 - \omega_2)t\}$

komponen penjumlahan frekuensi $= \frac{A_1^2}{2} \cos(2\omega_1 t) + \frac{A_2^2}{2} \cos(2\omega_2 t) + A_1 A_2 \cos\{(\omega_1 + \omega_2)t\}$

2.2.6.3 Beban Arus

Menurut Faltinsen (1990) bahwa arus permukaan di sekitar bangunan apung dapat dibangkitkan oleh beberapa parameter diantaranya angin lokal, pasang surut, *stokes drift*, massa jenis arus lokal, dan fenomena *set-up*. Berdasarkan OCIMF (1997) *Mooring Equipment Guidelines*, perhitungan beban arus didefinisikan sebagai berikut :

Longitudinal current force

$$F_{xc} = C_{xc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{BP} \dots\dots\dots (2.11)$$

Lateral current force

$$F_{yc} = C_{yc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{BP} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana,

F_{xc} = gaya arus longitudinal (kN)

F_{yc} = gaya arus lateral (kN)

- C_{xc} = koefisien gaya arus longitudinal non dimensional
 C_{yc} = koefisien gaya arus transfersal non dimensional
 ρ_c = densitas air laut = 1025 Kg/m³ pada 20o C
 V_c = kecepatan arus pada ketinggian 10 m (knot)
 T = sarat kapal (m)
 L_{BP} = *length between perpendicular* (m)

2.2.7 Keadaan Laut

Terdapat data yang digunakan sebagai acuan oleh *World Meteorological Organization* tentang keadaan laut berupa perkiraan tinggi gelombang signifikan yang berkorelasi dengan kecepatan angin yang terjadi walaupun menurut Llyod (1989) keadaan laut yang ditabulasikan tersebut belum secara akurat menyatakan bahwa tinggi gelombang berkorelasi dengan kecepatan angin. Berikut merupakan **Tabel 2-1** yang menjelaskan *sea state code* menurut *World Meteorological Organization*.

Tabel 2-1 *Sea State Code* yang didefinisikan oleh *World Meteorological Organization*

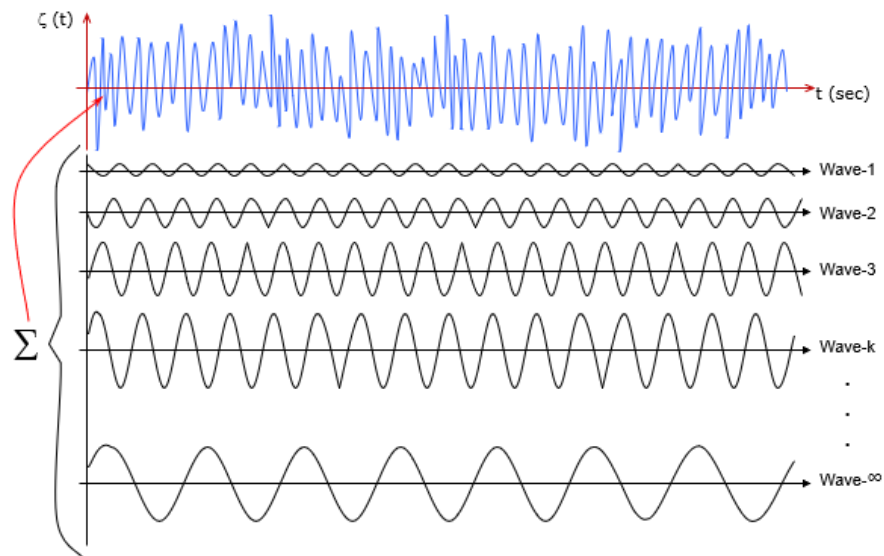
<i>Sea State</i>	<i>Description of Sea</i>	<i>Significant Wave Height Hs (m)</i>	<i>Average Wave Height Hav (m)</i>	<i>Wind Speed Vw (knots)</i>	<i>Beaufort Scale</i>
0	<i>Calm (glassy)</i>	0	0	0	0
1	<i>Calm (rippled)</i>	0.01 – 0.10	0.01 – 0.06	0.01 – 6.0	1 – 2
2	<i>Smooth (wavelets)</i>	0.11 – 0.50	0.07 – 0.31	7.0 – 10.0	3
3	<i>Slight</i>	0.51 – 1.25	0.32 – 0.78	11.0 – 16.0	4
4	<i>Moderate</i>	1.26 – 2.50	0.79 – 1.56	17.0 – 21.0	5
5	<i>Rough</i>	2.51 – 4.00	1.57 – 2.50	22.0 – 27.0	6
6	<i>Very Rough</i>	4.01 – 6.00	2.51 – 3.75	28.0 – 47.0	7 – 9
7	<i>High</i>	6.01 – 9.00	3.76 – 5.63	48.0 – 55.0	10
8	<i>Very High</i>	9.01 – 14.00	5.64 – 8.75	56.0 – 63.0	11
9	<i>Phenomenal</i>	> 14.00	> 8.75	> 63.0	12

Mengacu pada tabel di atas, keadaan laut diklasifikasikan dari laut tenang dimana H_s dan *wind speed* sama dengan 0 hingga keadaan laut fenomenal dimana H_s mempunyai nilai lebih dari 14 m dan *wind speed*

bernilai lebih dari 63 knots. Ukuran laut *Phenomenal* di atas merupakan kondisi buruk yang masih berpeluang dihadapi kapal-kapal yang berlayar atau bangunan laut yang berada di laut ganas. Atau jika dibalik maka keadaan-keadaan *sea state* di atas lah yang nantinya akan digunakan dalam pertimbangan desain bangunan laut

2.2.8 Short Term Wave Analysis

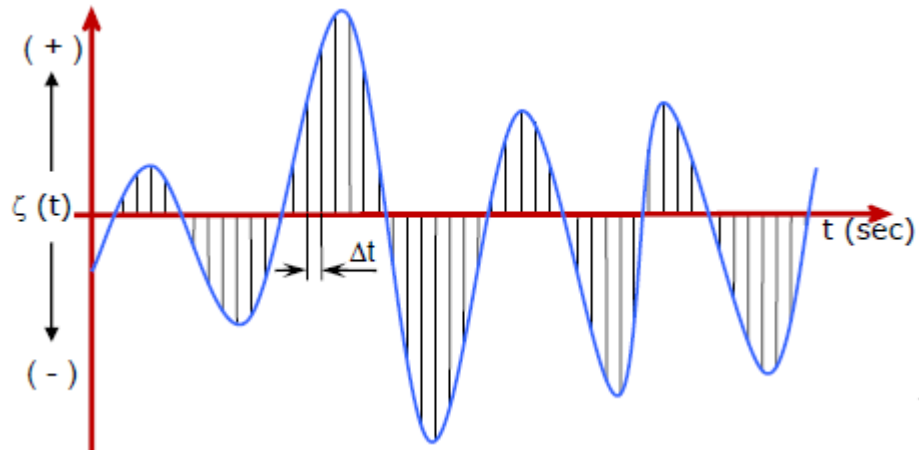
Secara riil gelombang di lautan merupakan gelombang acak yang mempunyai pola acak pada elevasi maupun propagasi gelombang tersebut yang kejadiannya tidak akan pernah berulang. Gelombang acak yang pada dasarnya tersusun dari superposisi gelombang-gelombang regular dalam jumlah yang sangat besar secara teoritis mencapai jumlah yang tak terhingga. Weinblum & St. Denis (1950) dan St Denis & Pierson (1950) memperkenalkan penerapan pernyataan gelombang acak seperti yang dijelaskan di atas dalam bidang rekayasa perkapalan dan kelautan yang ditunjukkan dengan ilustrasi seperti dalam **Gambar 2.5** sebagai berikut.



Gambar 2.5 Gelombang acak terbentuk dari kumpulan tak berhingga gelombang regular

Dari penjelasan di atas, metode statistik dirasa paling tepat dalam menjelaskan karakteristik gelombang acak. Analisis gelombang acak diawali dengan evaluasi rekaman gelombang yang menurut durasi waktu gelombang direkam, jenis rekaman gelombang acak ini dibedakan menjadi

2, yaitu analisis gelombang kurun waktu pendek (*short term wave analysis*) dan analisis gelombang kurun waktu Panjang (*long wave term analysis*). Menurut Llyod (1989), rekaman gelombang acak kurun waktu pendek diambil dalam kurun waktu 20-30 menit dan memuat sekurang-kurangnya 100 sampel gelombang. Dalam melakukan analisa pun terdapat beberapa parameter gelombang yang digunakan unuk analisis gelombang acak, salah satunya yaitu menganalisis elevasi gelombang dimana elevasi gelombang sendiri merupakan kenaikan atau penurunan permukaan gelombang yang diukur setiap saat terhadap datum. Langkah pertama pengukuran elevasi adalah membagi pias-pias untuk setiap interval waktu Δt seperti **Gambar 2.6** di bawah ini.



Gambar 2.6 Elevasi gelombang berbasis domain waktu

Yang kemudian dari data elevasi gelombang tersebut dapat dihitung elevasi rata-rata dengan rumus sebagai berikut :

$$\bar{\zeta} = \frac{\sum_{n=1}^N \zeta_n}{N} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana,

ζ_n = elevasi ke- n

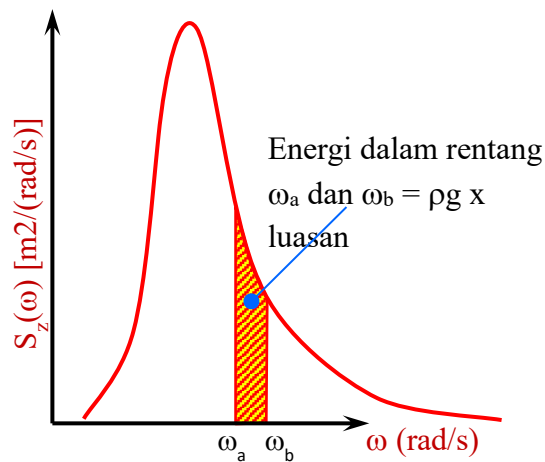
N = jumlah sampel

Dan dari nilai elevasi rata-rata di atas dapat dihitung depresi relatif terhadap rata-rata sebagai berikut :

$$m_0 = \frac{\sum_{n=1}^N (\zeta_n - \bar{\zeta})}{N} \dots\dots\dots (2.14)$$

2.2.9 Spektrum Energi Gelombang

Energi dalam sebuah gelombang acak merupakan penjumlahan energi yang berasal dari kontribusi semua komponen gelombang regulernya. Jika energi dari seluruh komponen gelombang regular dijumlahkan per satuan luas permukaan (1 m^2), maka hal ini merupakan ekspresi dari kepadatan spektrum energi gelombang yang mana secara visual dapat ditunjukkan seperti dalam **Gambar 2.7** di bawah ini. Dari gambar, diketahui bahwa ordinat pada frekuensi merupakan kontribusi energi tiap komponen gelombang regular terkait.



Gambar 2.7 Spektrum energi gelombang

Bila ω_n merupakan frekuensi gelombang regular ke- n maka frekuensi ω_a dan ω_b dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\omega_a = \omega_n - \delta\omega \text{ dan } \omega_b = \omega_a + \delta\omega \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan berkontribusi komponen gelombang regular ke- n dengan amplitudo ζ_{n0} , maka didapatkan persamaan besar ordinat untuk komponen spektrum terkait yaitu sebagai berikut :

$$S_\zeta(\omega) = \zeta_{n0}^2 / 2\delta\omega \dots\dots\dots (2.16)$$

Djarmiko (2012) dalam buku yang berjudul Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang acak menjelaskan bahwa terdapat kolerasi unik bahwa nilai dari varian eleasi gelombang adalah sama dengan luasan di bawah kurva spektrum (kepadatan energi) gelombang dengan persamaan yang diperoleh sebagai berikut :

$$m_0 = \sum_{n=1}^{\infty} S_{\zeta}(\omega) \delta\omega = \int_0^{\infty} S_{\zeta}(\omega) d\omega \dots\dots\dots (2.17)$$

Dari pernyataan di atas, momen spectra secara umum dapat dituliskan dalam bentuk :

$$m_n = \int_0^{\infty} \omega^n S_{\zeta}(\omega) d\omega \dots\dots\dots (2.18)$$

Berdasar analisis folmulasi di atas, frekuensi rata-rata gelombang acak diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$\bar{\omega} = m_1/m_0 \dots\dots\dots (2.19)$$

Inversi lain dari frekuensi rata-rata yaitu berupa periode gelombang rata-rata yang dirumuskan :

$$\bar{T} = 2\pi m_0/m_1 \dots\dots\dots (2.20)$$

Formulasi karakteristik periode gelombang lain dapat digunakan persamaan dari DNV OS E301 (2010) sebagai berikut :

$$\frac{\bar{T}}{T_p} = 0.7303 + 0.04936\gamma_p + 0.006556\gamma_p^2 + 0.0003610\gamma_p^3 \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\frac{T_z}{T_p} = 0.6673 + 0.05037\gamma_p + 0.006230\gamma_p^2 + 0.0003341\gamma_p^3 \dots\dots\dots (2.22)$$

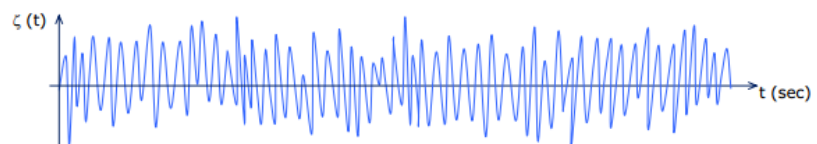
Dimana,

T_p = Periode puncak gelombang rata-rata (s)

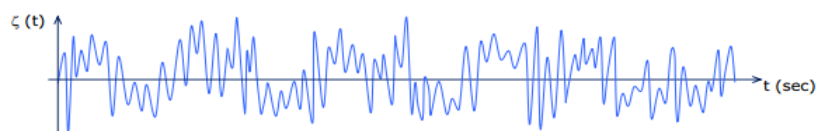
T_z = Periode simpangan nol rata-rata (s)

γ_p = parameter ketinggian, nilai antara 1-7

Gelombang acak yang sedemikian rupa ternyata mempunyai karakteristik gelombang, yaitu *wide band* dan *narrow band*. **Gambar 2.8** di bawah ini menjelaskan secara sekilas tentang karakteristik gelombang *wide band* dan *narrow band*.



(a)



(b)

Gambar 2.8 Karakteristik gelombang acak: (a) *narrow band* dan (b) *wide band*

Untuk mengetahui karakteristik gelombang acak yang sedang diamati lebih condong ke salah satu jenis, maka diperkenalkan suatu besaran yakni *bandwidth parameter* (ϵ) [Chakrabarti (1987)]. *Bandwidth parameter* mempunyai nilai di bawah ini :

$$\epsilon = \sqrt{1 - \frac{T_p^2}{T_z^2}} = \sqrt{1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4}} \dots \dots \dots (2.23)$$

Gelombang acak yang bersifat *narrow band* maka akan mempunyai nilai *bandwidth parameter* $\epsilon \approx 0.0$, sedangkan untuk *wide band* akan bernilai $\epsilon \approx 1.0$. Sebagaimana penelitian Cartright & Longuet-Higgins (1956) menunjukkan bahwa tinggi gelombang signifikan mempunyai hubungan dengan varian elevasi gelombang atau luasan di bawah permukaan spectra. Sehingga untuk gelombang bersifat *wide band* maka persamaan tinggi gelombang signifikan yakni :

$$H_s = 2.83\sqrt{m_0} \dots \dots \dots (2.24)$$

Dan jika gelombang bersifat *narrow band* maka persamaan tinggi gelombang signifikan yakni :

$$H_s = 4.00\sqrt{m_0} \dots \dots \dots (2.25)$$

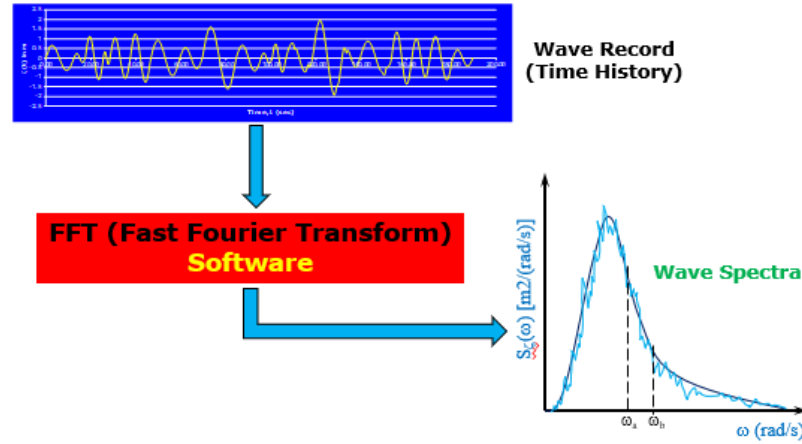
Dalam perancangan bangunan lepas pantai, informasi mengenai tentang gelombang ekstrem mungkin diperlukan untuk prediksi keselamatan bangunan laut. Bentuk persamaan tinggi gelombang ekstrem yang mungkin terjadi dengan menerapkan distribusi peluang kejadian gelombang kurun waktu pendek Ochi (1973, 1981) adalah :

$$\hat{H} = 2\sqrt{m_0}x \sqrt{\left\{2\ln\left(\frac{60^2 T}{2\pi} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}}\right)\right\}} \dots \dots \dots (2.26)$$

2.2.10 Formulasi Spektrum Gelombang

Metode untuk menganalisis rekaman gelombang dimana berdomain waktu menjadi kurva spektrum energi gelombang yang berdomain frekuensi telah diadopsi dari disiplin ilmu lain, yaitu elektronika dan mekanika getaran. Proses yang dilakukan adalah menggunakan algoritma matematika deret fourier yang dewasa ini telah dikembangkan sedemikian rupa sehingga dapat dilakukan dengan praktis dan cepat. Perangkat model matematis tersebut dikenal sebagai FFT (*Fast Fourier Transform*) yang

perangkat lunaknya dapat ditemukan dengan mudah. Secara grafis proses transformasi rekaman gelombang akan menjdaid kurva spektrum energi gelombang seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.9** di bawah ini.



Gambar 2.9 Skema proses pengubahan rekaman gelombang menjadi kurva spektra energi gelombang menggunakan FFT

2.2.11 RAO

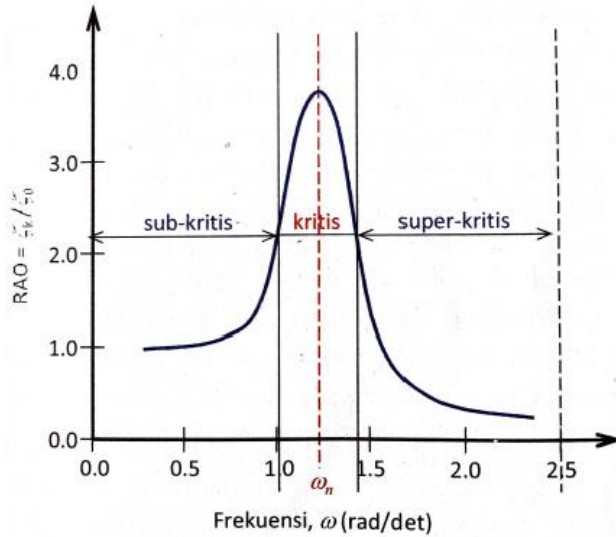
Response Amplitude Operator (RAO) merupakan alat untuk mentransfer beban luar dalam hal ini gelombang dalam rentang frekuensi menjadi bentuk respon yang diterima pada suatu struktur. Sehingga umumnya RAO juga dikenal sebagai *transfer function* (Chakrabarty, 1987). Selain itu RAO juga bisa diartikan sebagai hubungan antara amplitudo respon terhadap amplitudo gelombang (ζ respon/ ζ gelombang). Amplitudo respon bisa berupa gerakan, tegangan, maupun getaran. Respons gerakan RAO untuk gerakan translasi (*surge, sway, heave*) merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan struktur dibanding dengan amplitudo gelombang insiden (keduanya dalam satuan elevasi panjang) (Djtmiko, 2012). Persamaan RAO untuk gerakan translasi sebagai berikut:

$$RAO(\omega) = \left(\frac{\text{Amplitudo Respon Gerakan}}{\text{Amplitudo Gelombang}} \right) = \left(\frac{\zeta_{k0}}{\zeta_0} \right) (m/m) \dots \dots \dots (2.27)$$

Sedangkan untuk respons gerakan RAO untuk gerakan rotasi (*roll, pitch, dan yaw*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni yang merupakan perkalian antara gelombang ($k_w = \omega^2/g$) dengan amplitudo gelombang insiden (Djtmiko, 2012):

$$RAO(\omega) = \left(\frac{\zeta_{k0}}{K_w \zeta_0} \right) = \frac{\zeta_{k0}}{(\omega^2/g)\zeta_0} \quad (rad/rad) \dots \dots \dots (2.28)$$

Bentuk umum grafik response gerakan bangunan apung diberikan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.10 Grafik respon gerakan bangunan apung
(Sumber : Djatmiko, 2012)

Mengacu pada **Gambar 2.10**, menurut Djatmiko (2012) kurva respon gerakan bangunan apung pada dasarnya dibagi menjadi tiga bagian, antara lain :

- Daerah sub-kritis
Yaitu apabila bagian frekuensi rendah, atau gelombang (dengan periode) panjang. Pada daerah ini bangunan laut akan bergerak mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang sehingga amplitudo gerakan kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitudo gelombang, atau disebut sebagai *contouring*. Dalam korelasi persamaan hidrodinamis, di daerah frekuensi rendah, atau $\omega^2 < k/(m+a)$, gerakan akan didominasi oleh faktor kekakuan.
- Daerah kritis
Yaitu meliputi pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada pada frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respons gerakan

mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan beberapa kali lebih besar daripada amplitudo gelombang. Secara hidrodinamis di daerah frekuensi alami, yakni $k/(m+a) < \omega^2 < k/a$, gerakan akan didominasi oleh faktor redaman.

- Daerah super kritis

Yaitu daerah frekuensi tinggi, atau gelombang-gelombang (dengan periode) pendek. Pada daerah ini respons gerakan akan mengecil. Semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak-puncak gelombang yang berurutan, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak di atas air yang relatif datar. Oleh karena itu, gerakan bangunan laut diistilahkan sebagai *platforming*. Dalam hal korelasi hidrodinamis, gerakan di daerah frekuensi tinggi ini, dimana $\omega^2 < k/a$, gerakan akan didominasi oleh faktor massa.

2.2.12 Perilaku Bangunan Apung pada Gelombang Acak

2.2.12.1 Spektrum Gelombang

Spektrum gelombang adalah penjumlahan energi dari seluruh komponen gelombang reguler per satuan luas permukaan dapat diekspresikan sebagai kepadatan spektrum gelombang. Menurut Chakrabarti (1987) pada umumnya persamaan spektra akan didasarkan pada satu atau beberapa parameter, misalnya tinggi gelombang, periode gelombang, parameter bentuk, dan sebagainya yang perhitungannya dilakukan secara *incremental* sebagai fungsi perubahan frekuensi.

Bersamaan dengan semakin meningkatnya intensitas studi yang dilakukan mengenai respon gerak pada gelombang acak telah banyak dihasilkan spektrum gelombang yang beragam sesuai dengan kondisi lingkungan yang dianalisis. Spektrum gelombang yang digunakan dalam analisis ini mengacu pada spektrum gelombang JONSWAP karena karakteristik perairan Indonesia yang tertutup/kepulauan sehingga cocok dengan karakter spektrum JONSWAP (Djarmiko, 2012). Sehingga persamaan spektrum JONSWAP dapat dituliskan sebagai berikut :

$$S\zeta(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp(-1,25(\frac{\omega}{\omega_0})^{-4}) \gamma^{\exp(-(\omega - \omega_0)^2 / 2\tau\omega_0^2)} \dots\dots\dots(2.29)$$

Dengan,

$$\alpha = 0.076(X_0)^{-0.22}$$

$$X_0 = gX/UW^2$$

X = Panjang fetch

UW = Kecepatan angin

α = 0.0081 jika X tidak diketahui

γ = Parameter ketinggian

τ = Parameter bentuk

τ = 0.07 untuk $\omega \leq \omega_0$

τ = 0.09 untuk $\omega \geq \omega_0$

$$\omega_0 = 2\pi(g/UW)(X_0)^{-0.33}$$

2.2.12.2 Respon Struktur pada Gelombang Acak

Gelombang acak merupakan superposisi dari komponen-komponen pembentuknya yang berupa gelombang sinusoidal (reguler) dalam jumlah tidak terhingga. Tiap-tiap komponen gelombang mempunyai tingkat energi tertentu yang dikontribusikan yang kemudian secara keseluruhan diakumulasikan dalam bentuk spektrum energi gelombang (Djarmiko E. B., 2012).

RAO adalah respon struktur terhadap gelombang reguler. Untuk mengetahui respon terhadap gelombang irreguler, maka RAO harus dirubah menjadi spektrum respon untuk memprediksi respon struktur pada gelombang irreguler. Secara matematis, nilai pada RAO dikuadratkan lalu dikali dengan spektrum gelombangnya sebagaimana pada persamaan berikut ini :

$$S_{\eta}(\omega_e) = RAO^2 \times S_{\zeta}(\omega_e) \dots\dots\dots(2.30)$$

Keterangan,

$S_{\eta}(\omega_e)$: spektrum respons struktur untuk setiap derajat kebebasan η (m²-s)

$S_{\zeta}(\omega_e)$: spektrum energi gelombang (m²-s) atau $S_J(\omega_w)$ untuk JONSWAP

RAO^2 : *transfer function*

2.2.13 Analisis Perhitungan

Analisis perhitungan respon struktur bangunan apung tertambat terdiri dari 2 jenis analisis, yaitu analisis statis dan analisis dinamis. Analisis statis digunakan untuk mengetahui posisi sistem tertambat saat berada dalam kondisi equilibrium. Sedangkan analisis dinamis memperhitungkan respons dinamis dari tali tambat.

2.2.13.1 Analisis Dinamis

Analisa dinamis dari respon struktur apung tertambat memperhitungkan dampak dari variasi disebabkan massa tali tambat, redaman, dan percepatan relatif fluida. Melalui cara pendekatan dengan gerakan *fairlead* yang berdasarkan variasi waktu dari mode gerakan osilasi dalam 6-derajat kebebasan. Metode analisis simulasi domain pada bangunan apung terbagi menjadi dua, yaitu *Frequency Domain Analysis* dan *Time Domain Analysis* (DNV, 2004). Dalam analisis ini digunakan metode *Time Domain Analysis*. *Time domain analysis* adalah penuntasan gerakan dinamis yang disebabkan beban lingkungan yang *cyclic* berdasarkan fungsi rentang waktu yang telah ditentukan sebelumnya dan menghasilkan respons dengan riwayat waktunya berdasarkan fungsi waktu $[x(t)]$. Jika dibandingkan metode *frequency domain*, maka keuntungannya adalah semua tipe model non-linear (matriks sistem dan beban-beban eksternal) dapat dimodelkan dengan lebih tepat. Sedangkan kelemahannya adalah membutuhkan waktu perhitungan yang lebih. Berdasarkan aturan standar DNV OS E301 sendiri bahwa minimal simulasi *time domain* adalah selama 3 jam (10800 s).

2.2.14 Tegangan Tali Tambat

Tension pada tali tambat adalah tarikan atau tegangan yang dialami tali yang menambat pada bangunan apung atau kapal yang disebabkan beban lingkungan. Tegangan (*tension*) akibat tarikan pada *mooring line* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

- *Mean Tension*

Tension pada *mooring line* yang berkaitan dengan *mean offset* pada kapal.

- *Maximum Tension*

Mean tension yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low-frequency tension*.

Berdasarkan aturan standar dari API RP 2P edisi ketiga, tegangan maksimum dapat ditentukan dengan prosedur sebagai berikut:

- Jika $T_{lfmax} > T_{wfmax}$, maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{lfmax} + T_{wfsig} \dots\dots\dots(2.31)$$

- Jika $T_{wfmax} > T_{lfmax}$, maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{wfmax} + T_{lfsig} \dots\dots\dots(2.32)$$

Dengan,

T_{lfmax} = maximum low-frequency tension

T_{wfmax} = maximum wave frequency tension

T_{max} = maximum tension

T_{mean} = mean tension

T_{lfsig} = significant low-frequency tension

T_{wfsig} = significant wave frequency tension

Sebagai catatan penting bahwa batasan atau *limit* besaran tegangan pada tali tambat dan faktor keamanan yang direkomendasikan untuk kondisi *intact condition* (ULS) adalah 1,67 sedangkan untuk kondisi *damage* (ALS) adalah 1,25. Dengan persamaan *safety factornya* sebagai berikut:

$$Safety\ Factor = \frac{Min.Breaking\ Load}{Max.Tension} \dots\dots\dots(2.33)$$

2.2.15 Offset Vessel

Offset merupakan nilai dari perpindahan posisi struktur dengan jarak sejauh x meter selama proses analisis berlangsung. *Offset* terjadi setelah terkena gelombang dan merupakan salah satu bentuk respon dari struktur pada saat mendapat beban lingkungan. *Offset* dapat dibedakan menjadi beberapa kelompok, yaitu:

- a. *Mean Offset*

Displasemen dari vessel karena kombinasi dari pengaruh beban arus, *mean wave drift* dan angin.

b. *Maximum Offset*

Maximum offset yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low-frequency motion*. *Maximum offset* dapat ditentukan dengan prosedur di bawah ini:

1. $S_{lfmax} > S_{wfmax}$, maka :

$$S_{max} = S_{mean} + S_{lfmax} + S_{wfsig} \dots\dots\dots (3.34)$$

2. $S_{wfmax} > S_{lfmax}$, maka :

$$S_{max} = S_{mean} + S_{wfmax} + S_{lfsig} \dots\dots\dots (3.35)$$

dimana,

S_{mean} = *mean vessel offset*

S_{max} = *maximum vessel offset*

S_{wfmax} = *maximum wave frequency motion*

S_{wfsig} = *significant wave frequency motion*

S_{lfmax} = *maximum low-frequency motion*

S_{lfsig} = *significant low-frequency motion*

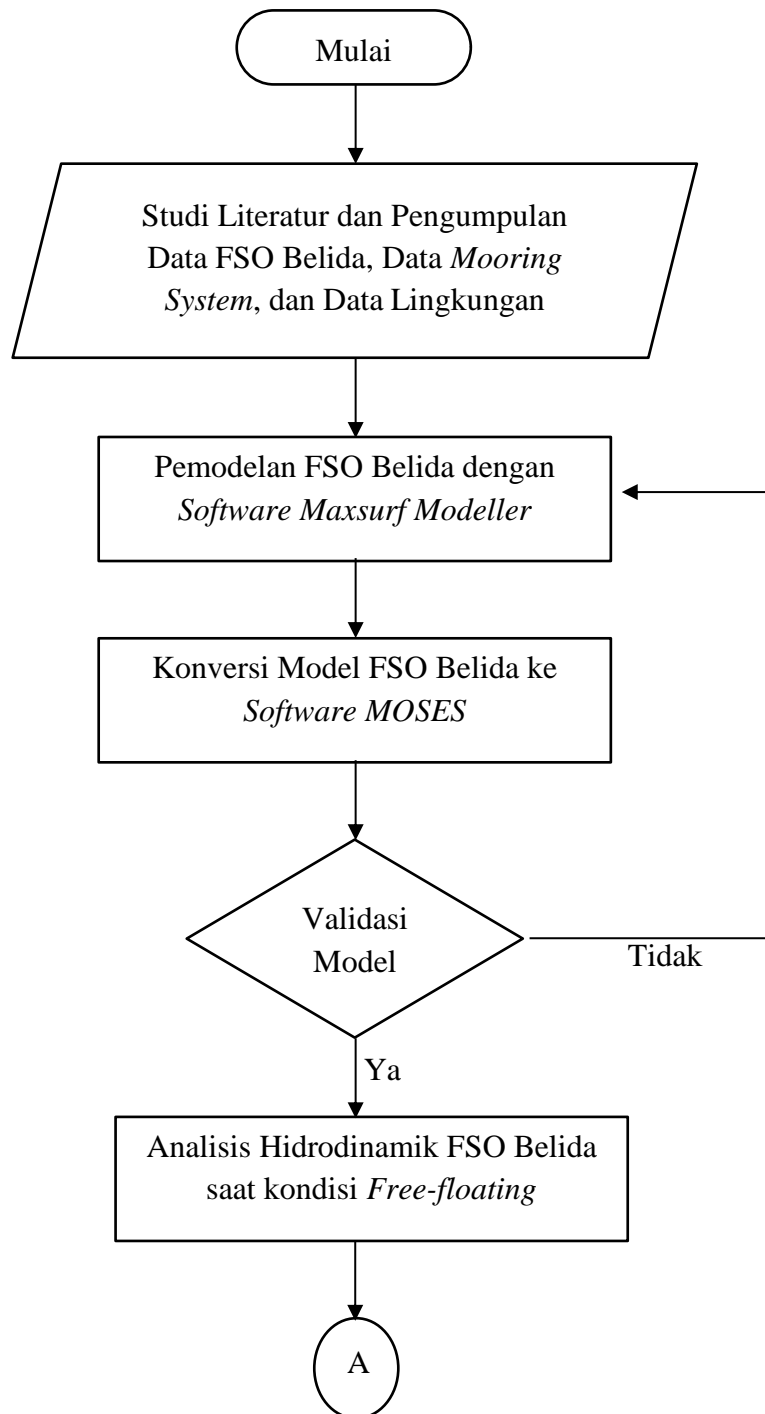
Alternatif lain yang dapat digunakan dengan menggunakan *time domain* atau *frequency domain* adalah menggunakan nilai dari API RP 2P dengan *mean offset* yang diijinkan adalah 2% sampai 4% dari kedalaman perairan sedangkan untuk *maximum offset* dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kedalaman perairan, lingkungan dan sistem riser pada umumnya yang diijinkan pada range 8% sampai 12% dari kedalaman perairan.

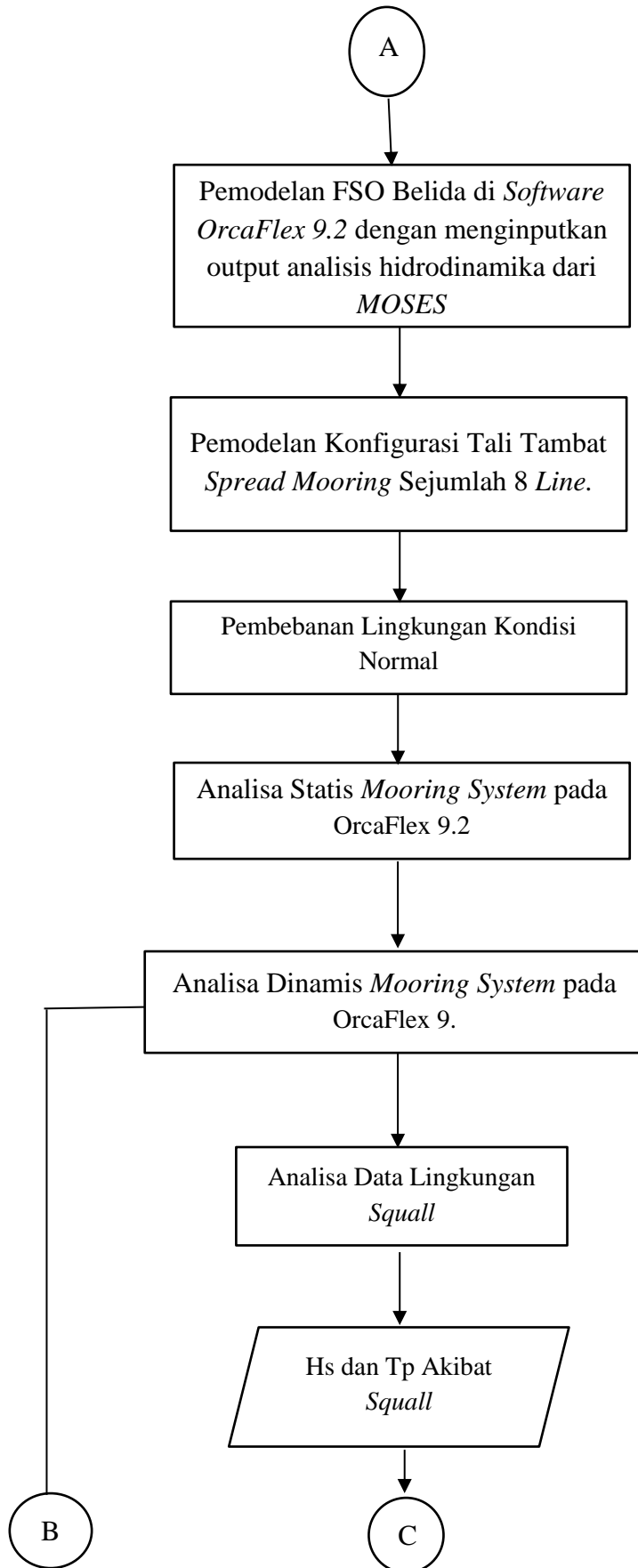
(halaman ini sengaja dikosongkan)

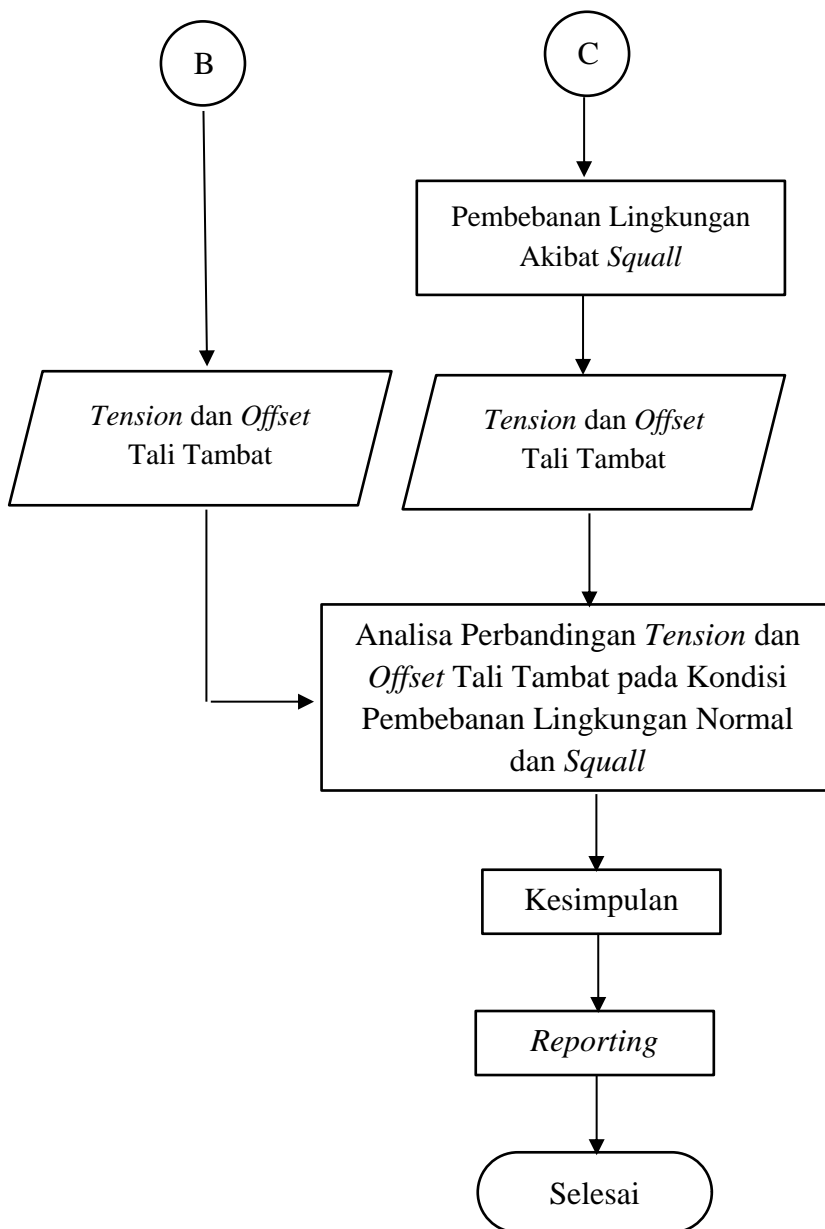
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Diagram alir (*flow chart*) membantu pemahaman mengenai langkah atau tahapan pengerjaan dalam penelitian tugas akhir ini. Berikut merupakan alur pengerjaan tugas akhir ini yaitu sebagai berikut :







Gambar 3.1 Diagram alir

3.2 Prosedur Penelitian

Berdasarkan **Gambar 3.1** di atas, maka penelitian ini dilakukan sesuai dengan langkah-langkah kerja sebagai berikut :

3.2.1 Studi Literatur dan Pengumpulan Data

a. Studi Literatur

Pada tugas akhir ini, hal pertama yang dilakukan yaitu melakukan studi literatur dengan membaca literasi terkait dengan analisis yang

dilakukan. Bahan studi literatur yang digunakan adalah buku, *codes* dan *standards*, jurnal, dan materi perkuliahan yang terkait penelitian.

b. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan sebagai bahan penelitian Tugas Akhir ini. Data yang dikumpulkan meliputi data hidrostatis FSO Belida data *mooring line property*, dan data lingkungan lokasi tinjauan termasuk di dalamnya data *squall*.

3.2.2 Pemodelan FSO Belida dengan *Software Maxsurf Modeller*

Selanjutnya dilakukan pemodelan FSO Belida dengan bantuan *Software Maxsurf Modeller*. Dalam pemodelan ini, tingkat *error* dibatasi agar model FSO Belida yang dimodelkan tetap valid dengan riilnya. Pemodelan akan dibandingkan dengan komponen hidrostatis dari data awal dengan batasan *error* menurut ABS, yaitu sebagai berikut :

Displacement (error < 2%).

3.2.3 Konversi Model FSO Belida ke *Software MOSES*

Konversi model FSO Belida ke dalam *Software MOSES* dilakukan dengan *export* model dari *Maxsurf Modeller*. Dalam pemodelan FSO di *MOSES* ini harus tetap memperhatikan kevalidan data dengan cara memberi batasan *error* komponen hidrostatisnya sesuai ABS yaitu *Displacement (error < 2%)*.

3.2.4 Analisis Respon Gerak FSO Belida saat Kondisi *Free-Floating*

Menganalisis respon gerakan pada FSO Belida dilakukan untuk mengetahui karakteristik gerakan pada struktur tersebut dalam kondisi terapan bebas. Analisis model ini dilakukan pada *Software MOSES*. Sehingga *output* yang didapat berupa *added mass*, *redaman*, *load RAO*, *motion RAO* dan *wave drift force QTF* yang akan berguna untuk pemodelan FSO Belida pada langkah selanjutnya yaitu di *Software OrcaFlex 9.2*.

3.2.5 Pemodelan FSO Belida pada *Software OrcaFlex 9.2*

Pada pemodelan FSO Belida pada *OrcaFlex 9.2* digunakan *input vessel* yang didapat dari analisis *MOSES* sebelumnya.

3.2.6 Pemodelan Konfigurasi Tali Tambat *Spread Mooring*

Pada tahap ini setelah model FSO Belida dimodelkan, maka selanjutnya akan dimodelkan sistem tambat yaitu berupa *spread mooring* dengan jumlah *line* tambat sebanyak 8 *line* yang bersifat *catenary*.

3.2.7 Pembebanan Lingkungan *Under Normal Condition*

Pada pembebanan dimasukkan beban lingkungan normal (*non-squall*), yaitu beban gelombang, angin, dan arus tanpa ada efek *squall*. Analisa yang dilakukan meliputi 2 kondisi pembebanan, yaitu kondisi operasi dan kondisi ekstrem.

3.2.8 Analisis Statis *Mooring System* pada OrcaFlex 9.2

Analisis statis dilakukan untuk menghitung kondisi *equilibrium* struktur apung tertambat, selain itu digunakan sebagai konfigurasi awal dalam perhitungan analisis dinamis. Analisis statis mempertimbangkan gaya arus, angin dan *mean drift* untuk mendapatkan *initial position* dari struktur apung tertambat.

3.2.9 Analisis Dinamis *Mooring System* pada OrcaFlex 9.2

Analisis dinamis (*time domain coupled analysis*) dilakukan dengan mensimulasikan model dalam periode waktu tertentu, umumnya periode waktu yang dihitung adalah 3 jam/10800 detik (API RP 2 SK, 2005) namun pada kasus ini akan dianalisa dengan waktu 600 detik karena dianggap sudah bisa merekam kejadian kritis analisa *mooring*. *Coupled analysis* diartikan bahwa analisis dinamis dilakukan dengan menghitung respon struktur dan tali tambat secara serempak.

3.2.10 Analisis Beban Lingkungan *Squall*

Dari pembebanan lingkungan normal yang dilakukan sebelumnya, maka didapatkan rekaman gelombang acak yang selanjutnya dikalikan dengan *Dynamic Amplification Factor* (DAF) untuk mensimulasikan *squall*. Hasil dari hal tersebut adalah elevasi baru setelah adanya beban *squall*. Rekaman gelombang acak yang digunakan yaitu selama 10 menit dengan simulasi *squall* divariasikan yaitu sepanjang 10 menit, 5 menit, dan 2.5 menit.

3.2.11 Hs dan Tp Akibat *Squall*

Dari elevasi baru yang didapat, selanjutnya ditransformasikan elevasi berdomain waktu tersebut menjadi spektrum energi gelombang dimana

berdomain frekuensi. Proses transformasi ini menggunakan analisis matematika fourier. Proses FFT dilakukan dengan bantuan *software Matlab*. Dari kurva spektrum energi gelombang tersebut dapat diketahui H_s dan T_p baru akibat beban *squall*.

3.2.12 Pembebanan Lingkungan Akibat *Squall*

Setelah didapatkan H_s dan T_p baru akibat *squall* maka selanjutnya dilakukan analisis sistem tambat dengan meng-*input*-kan beban lingkungan *squall* tersebut. Analisa yang dilakukan meliputi 2 kondisi pembebanan, yaitu kondisi operasi dan kondisi ekstrem.

3.2.13 Analisis *Tension Mooring* dan *Offset* FSO Belida

Menganalisis *tension* dan *offset* pada FSO Belida dilakukan untuk mengetahui respon pada struktur tersebut dalam kondisi tertambat sesuai dengan kondisi pembebanan lingkungan, yaitu *under normal condition* dan *squall*.

3.2.14 Analisis Perbandingan *Tension Mooring* dan *Offset* FSO Belida

Pada tahap ini akan dibandingkan *tension* dan *offset* tali tambat pada kondisi pembebanan lingkungan normal (*non-squall*) dan kondisi pembebanan lingkungan *squall*. Tegangan tali tambat dan *offset vessel* akan ditinjau sesuai 5 arah pembebanan lingkungan yang dikenakan untuk melihat seberapa besar pengaruh arah pembebanan lingkungan terhadap respon struktur tertambat.

3.2.15 Kesimpulan

Dilakukan penarikan kesimpulan dari penelitian tugas akhir yang dilakukan.

3.3 Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan untuk analisis meliputi data struktur dan data lingkungan. Data struktur terdiri dari *principle dimension* dan data hidrostatis FSO Belida dan tali tambat yang akan digunakan. Data lingkungan yang dibutuhkan meliputi data *metocean* saat kondisi operasi (periode ulang 10 tahun) dan kondisi ekstrem (periode ulang 100 tahun).

3.3.1 Data FSO Belida

FSO Belida merupakan tanker dengan kapasitas muat kapasitas muat sebesar 100.000 DWT. Data dimensi utama FSO Belida ditunjukkan pada **Tabel 3-1** di bawah ini.

Tabel 3-1 Data dimensi utama FSO Belida

Parameter	Unit	Nilai
LOA (Length of All)	m	244.6
Lpp (Lenght beetween Perpendicular)	m	233
Breadth	m	42.2
Height	m	22.2
Draught	m	14.9
KG (Keel to Gravity)	m	13.71
Displacement	Ton	128588.6
Kxx (Radius Gyration of Roll)	m	17.4
Kyy(Radius Gyration of Pitch)	m	69.73
Kzz (Radius Gyration of Yaw)	m	69.73

3.3.2 Data Tali Tambat

Data tali tambat yang digunakan sebagai acuan dalam analisis pemodelan yaitu ditunjukkan pada **Tabel 3-2** berikut ini.

Tabel 3-2 Data tali tambat

Parameter	Nilai
<i>Nominal Diameter (mm)</i>	87
<i>Type/Grade</i>	<i>Studless/R4</i>
<i>Number of mooring lines</i>	8
<i>Payout Length (m)</i>	914
<i>Approximate Horizontal Length (m)</i>	900
<i>Pretension (kN)</i>	768.2
MBL (mT)	783.35

3.3.3 Data Lingkungan

Data lingkungan terdiri dari data gelombang, data angin dan data arus yang diambil dari data metocean di lokasi ladang “*Belida*”, Laut Natuna Utara dimana memiliki karakteristik perairan sedalam 76.81 m dan kondisi lingkungan yang cukup ganas dengan kecepatan arus yang relatif kuat. Kondisi pembebanan yang dilakukan dalam analisis squall ini adalah

metocean saat kondisi operasi (periode ulang 10 tahun) dan saat kondisi ekstrem (periode ulang 100 tahun).

3.3.3.1 Data Gelombang

Berikut adalah informasi detail data gelombang yang digunakan untuk analisis yaitu dapat dilihat pada **Tabel 3-3** berikut.

Tabel 3-3 Data periode ulang tinggi dan periode gelombang

<i>Direction</i>	<i>Significant Wave (m)</i>		<i>Peak Period (s)</i>	
	<i>1-year</i>	<i>100-years</i>	<i>1-year</i>	<i>100-years</i>
0°	1.7	2.3	8.4	8.7
45°	1.7	2.3	8.4	8.7
90°	1.5	2.0	8.3	8.6
135°	1.7	2.3	8.4	8.7
180°	3.7	5.0	9.6	19.3

3.3.3.2 Data Angin

Informasi detail data angin dapat dilihat pada **Tabel 3-4** berikut. Data angin yang disajikan adalah berdasarkan pengukuran kecepatan angin 10 m di atas *mean sea level* dan menggunakan pengukuran data angin per jam.

Tabel 3-4 Data periode ulang kecepatan angin

<i>Return Period</i>	<i>Wind Speed (m/s)</i>				
	0°	45°	90°	135°	180°
<i>1-year</i>	11	11	8	9	15
<i>100-years</i>	14	14	11	12	20

3.3.3.3 Data Arus

Data arus yang digunakan mengacu berdasarkan data metocean seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3-5** di bawah ini.

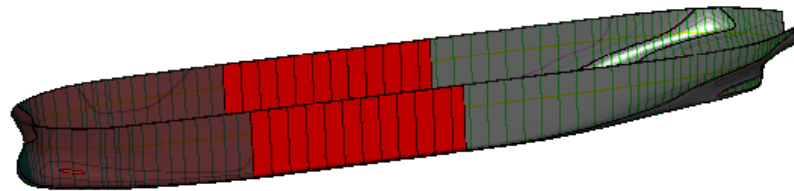
Tabel 3-5 Data periode ulang kecepatan arus

<i>Dir</i>	<i>Current Speed (m/s)</i>					
	<i>Surface</i>		<i>30 Meters Below Surface</i>		<i>3 Meters Above Bottom</i>	
	<i>1-year</i>	<i>100-years</i>	<i>1-year</i>	<i>100-years</i>	<i>1-year</i>	<i>100-years</i>
0°	0.62	0.89	0.50	0.67	0.38	0.46
45°	0.51	0.74	0.41	0.56	0.32	0.38
90°	0.51	0.74	0.41	0.56	0.32	0.38
135°	0.66	0.95	0.53	0.71	0.41	0.45
180°	0.74	1.05	0.59	0.78	0.45	0.55

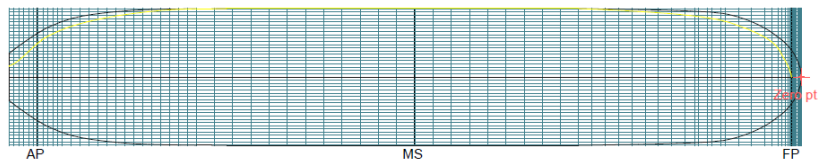
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan FSO Belida

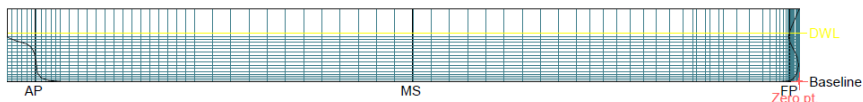
Struktur apung yang dianalisis dalam penelitian ini adalah FSO Belida yang dimodelkan sesuai dengan data-data dimensi umum yang diberikan pada **Tabel 3.1**. Pemodelan struktur apung dilakukan dengan bantuan *Software Maxsurf*. Model merupakan tanker dengan kapasitas muat 100.000 DWT dengan panjang, lebar dan tinggi kapal berturut-turut adalah 244.6, 42.2 dan 22.2 meter. Model FSO hanya dimodelkan dengan kondisi muatan *full-load*. Berikut adalah hasil pemodelan FSO Belida dengan *Software Maxsurf* yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1** di bawah ini :



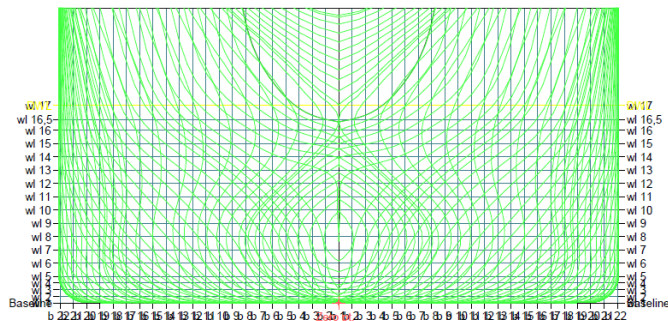
(a)



(b)



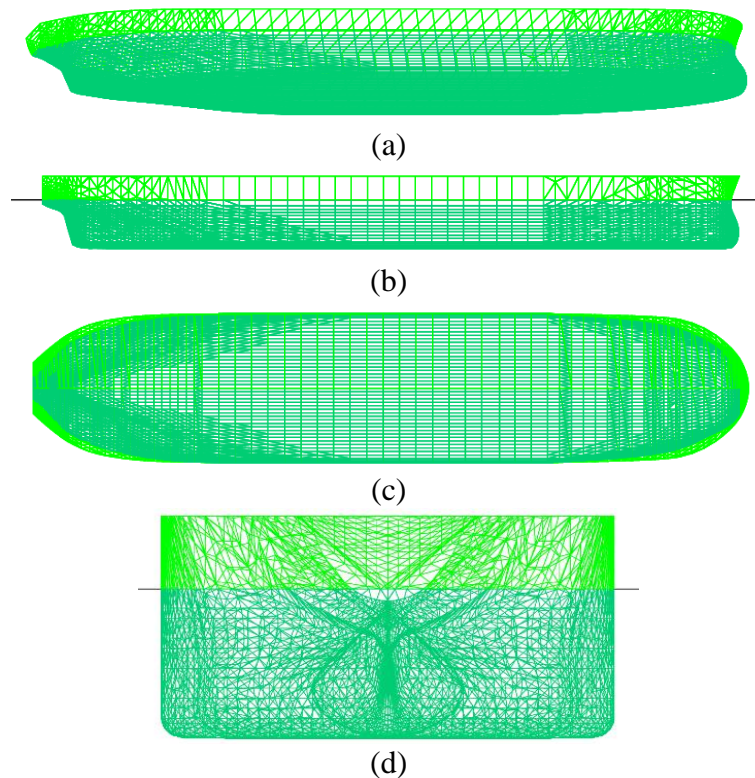
(c)



(d)

Gambar 4.1 Pemodelan FSO Belida pada *Software Maxsurf* : tampak isometri (a), tampak atas (b), tampak samping (c) dan tampak depan (d)

Untuk mendapatkan perilaku hidrodinamika, model *surface* dari hasil pemodelan *Software Maxsurf* tersebut lalu dipindahkan ke *Software MOSES* dengan meng-*generate* koordinat-koordinat (*markers*) pada permukaan badan struktur apung. Dalam *output* gaya hidrodinamis, RAO (*response amplitude operator*) dari FSO akan dihitung dalam enam derajat kebebasan. **Gambar 4.2** di bawah ini menunjukkan hasil pemodelan FSO Belida pada *Software MOSES*.



Gambar 4.2 Pemodelan FSO Belida pada *Software MOSES* : tampak isometri (a), tampak atas (b), tampak samping (c) dan tampak depan (d)

4.2 Hidrostatik

Model yang sudah terbentuk baik pada *Software Maxsurf* maupun *MOSES* selanjutnya dilakukan validasi terlebih dahulu terhadap data dimensi umum FSO Belida. Hal ini dimaksudkan untuk meninjau keakuratan model struktur apung sehingga dapat diketahui kelayakan modelnya untuk digunakan pada analisis-analisis selanjutnya. Berdasarkan *ABS* untuk suatu struktur terapung perbedaan *displacement* antara model dan bentuk sesungguhnya tidak boleh lebih dari 2% ($< 2\%$). Berikut

merupakan hasil validasi model untuk FSO Belida dapat dilihat pada **Tabel 4-1** di bawah ini.

Tabel 4-1 Validasi pemodelan FSO Belida

Parameter	Satuan	Data	<i>Maxsurf</i>		<i>MOSES</i>	
			Nilai	<i>Error</i>	Nilai	<i>Error</i>
<i>Displacement - Full Load</i> (ton)	m-tons	128589	128563	0.02%	128561	0.02%

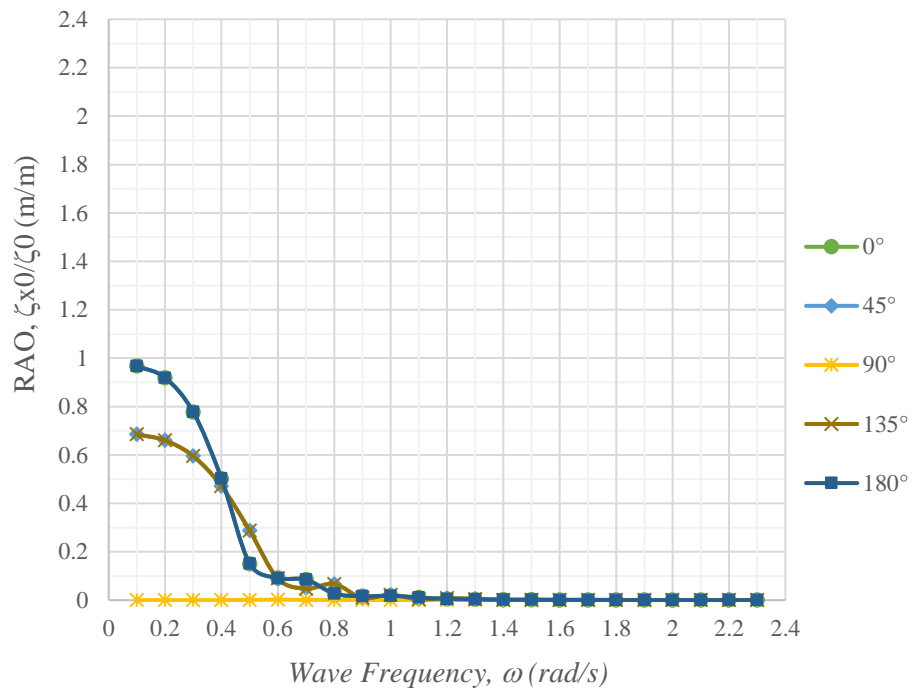
Berdasarkan *error* yang terdapat pada **Tabel 4-1** menunjukkan bahwa model mempunyai nilai *error* di bawah kriteria validasi yang disebutkan *ABS*, maka dapat diambil kesimpulan bahwa model *Maxsurf* maupun *MOSES* tersebut layak digunakan dalam analisis-*analisis* selanjutnya.

4.3 Analisis Gerakan Kapal

Sebelum memasuki tahap analisis karakteristik gerak struktur bangunan apung, terlebih dahulu dijelaskan skenario analisis yang terdiri dari skenario muatan pada FSO Belida yaitu kondisi muatan penuh, sedangkan pembebanan propagasi gelombang yang ditinjau yaitu dari arah buritan (*following seas*, 0°), arah seperempat buritan (*quartering following seas*, 45°), arah samping kapal (*beam seas*, 90°), arah seperempat haluan (*quartering head seas*, 135°) dan arah haluan (*head seas*, 180°). Analisis hidrodinamis dilakukan dengan melihat *Response Amplitude Operator* (RAO) gerak dari FSO Belida. Saat melakukan analisis hidrodinamis kondisi yang ditinjau pada FSO Belida adalah ketika kondisi terapung bebas (*free floating*). *Response Amplitude Operator* yang dianalisis dilakukan dalam 6 derajat kebebasan yaitu *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. Berikut di bawah ini merupakan hasil analisis perilaku gerak FSO Belida pada gelombang regular untuk kondisi terapung bebas (*free floating*) terhadap setiap arah pembebanan.

4.3.1 Surge

RAO *surge* FSO Belida pada arah datang gelombang 0°, 45°, 90°, 135° dan 180° dapat dilihat pada **Gambar 4.3** di bawah ini.

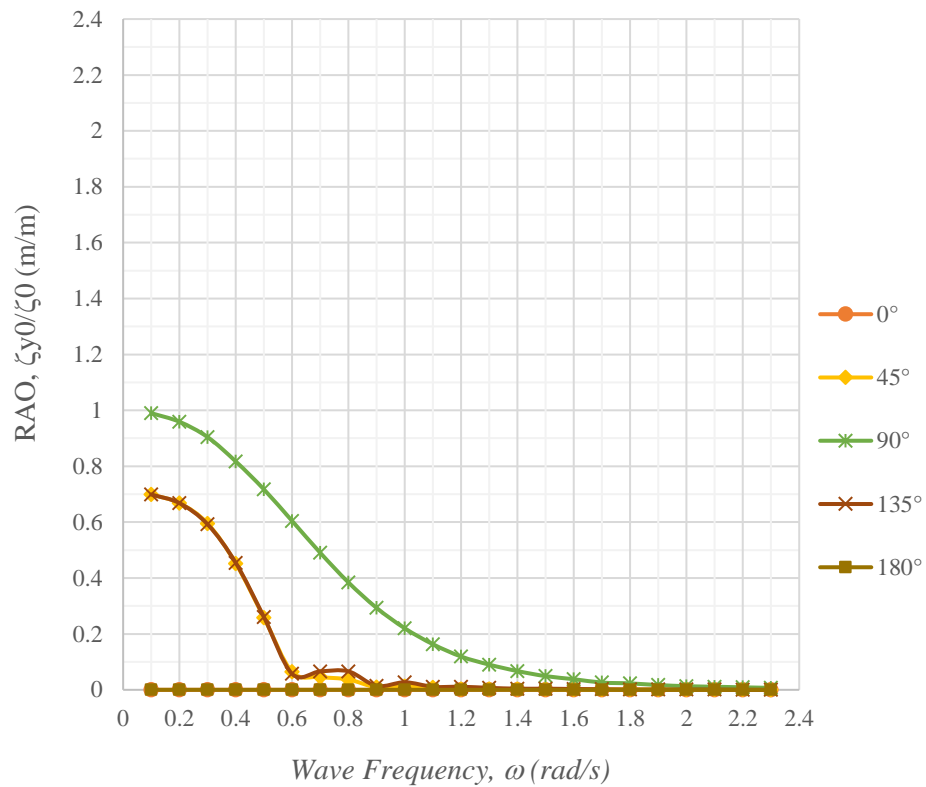


Gambar 4.3 Grafik RAO *surge* FSO Belida

Surge merupakan gerakan osilasi pada kapal dimana arah pergerakan dari gerakan translasional ini mengacu pada sumbu longitudinal (sumbu x) sehingga arah datang gelombang yang mengenai bagian haluan dan buritan pada kapal akan memberikan nilai besar pada gerakan *surge* ini. Hasil dari analisa *Response Amplitude Operator surge* FSO Belida pada **Gambar 4.3** di atas menunjukkan bahwa gerakan *surge* terbesar terjadi dari arah 0^0 dan 180^0 . Nilai RAO *surge* FSO Belida pada arah datang gelombang 0^0 dan 180^0 mempunyai nilai yang sama dimana nilai terbesar adalah 0.968 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s. Pada arah datang gelombang 45^0 dan 135^0 juga terjadi gerakan *surge* dengan nilai yang sama dimana yang terbesar adalah 0.685 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s. Pada arah datang gelombang 90^0 tidak terjadi gerakan *surge*, karena arahnya yang tegak lurus dengan gerakan *surge*.

4.3.2 Sway

RAO *sway* FSO Belida untuk kondisi *full load* pada arah datang gelombang 0^0 , 45^0 , 90^0 , 135^0 dan 180^0 dapat dilihat pada **Gambar 4.4** di bawah ini.

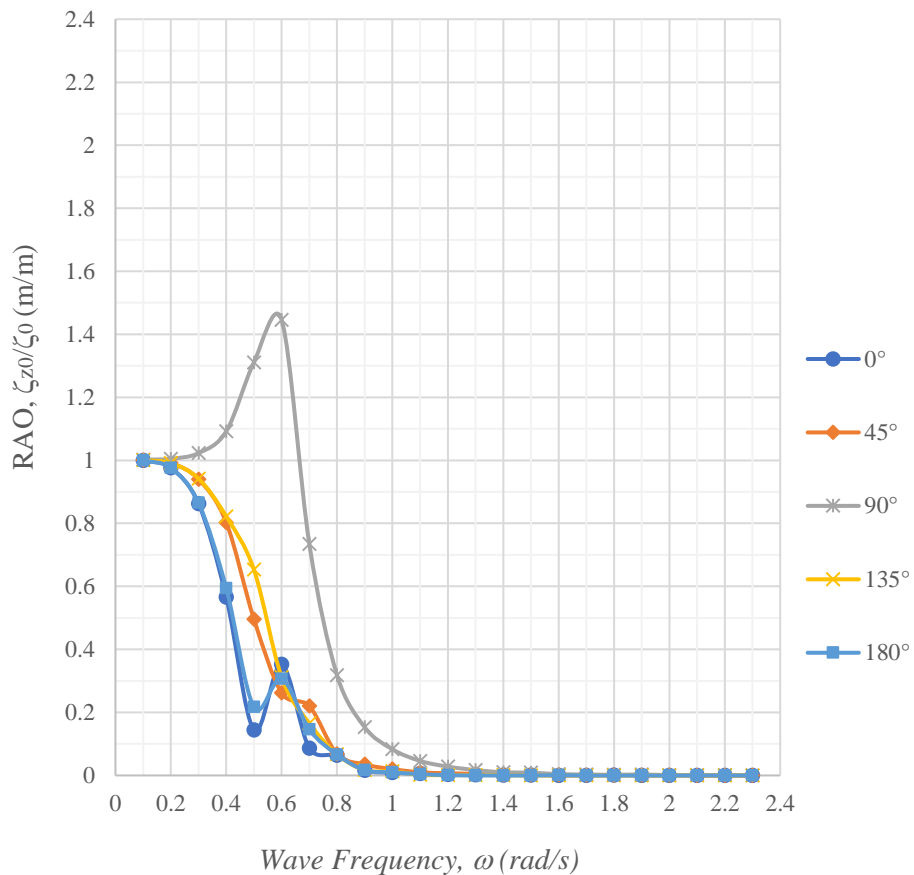


Gambar 4.4 Grafik RAO *sway* FSO Belida

Sway merupakan gerakan osilasi pada kapal dimana arah pergerakan dari gerakan translasional ini mengacu pada sumbu melintang (sumbu y) sehingga arah datang gelombang dari samping badan kapal akan memberikan nilai besar terhadap gerakan *sway* ini. Hal ini sesuai dengan hasil analisa *Response Amplitude Operator sway* pada **Gambar 4.4** di atas yang diketahui bahwa gerakan *sway* terbesar terjadi pada arah 90°. Nilai terbesar RAO *sway* FSO arah dari 90° adalah 0.990 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s. Pada arah datang gelombang 45° dan 135° juga terjadi gerakan *sway* dengan nilai terbesar 0.699 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s. Pada arah datang gelombang 0° dan 180° tidak terjadi gerakan *sway*, karena arahnya yang tegak lurus dengan gerakan *sway*.

4.3.3 Heave

RAO *heave* FSO Belida untuk kondisi *full load* pada arah datang gelombang 0°, 45°, 90°, 135° dan 180° dapat dilihat pada **Gambar 4.5** di bawah ini.

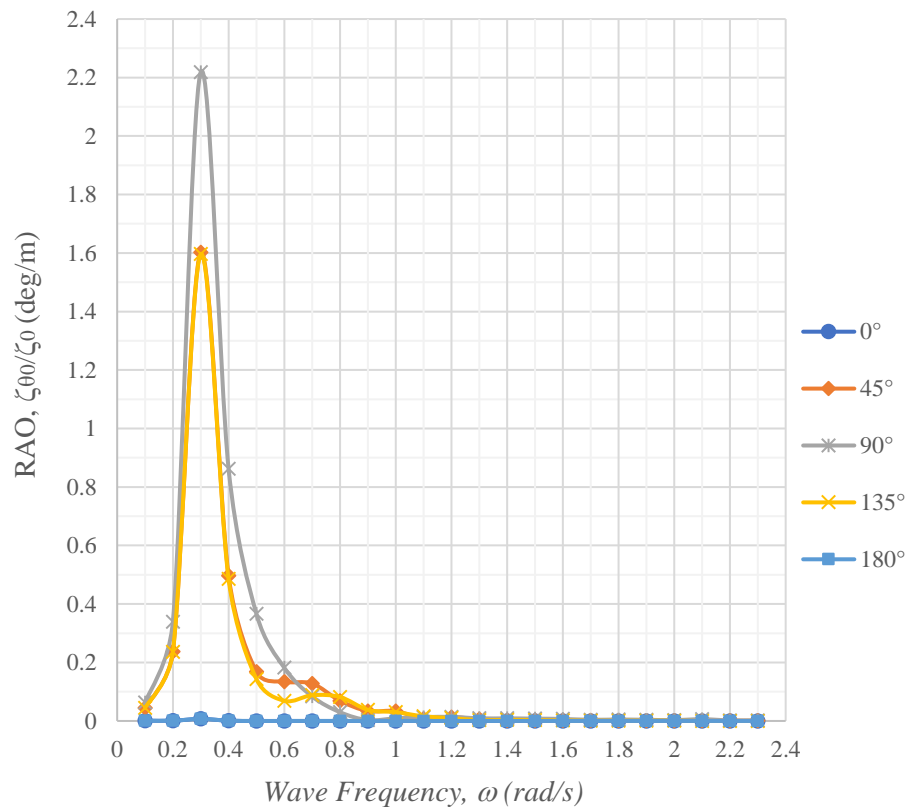


Gambar 4.5 Grafik RAO *heave* FSO Belida

Heave adalah gerakan osilasi translasi pada arah sumbu vertikal (sumbu z). Berdasarkan hasil analisa *Response Amplitude Operator heave* pada **Gambar 4.5** di atas diketahui bahwa gerakan *heave* dari semua arah datang gelombang memiliki nilai, namun arah datang gelombang 90⁰ merupakan arah yang memiliki nilai RAO paling besar karena permukaan kapal yang terkena gelombang pada area ini merupakan yang paling luas. Nilai RAO *heave* paling besar pada arah datang gelombang 90⁰ bernilai 1.446 m/m pada frekuensi 0.6 rad/s. Sedangkan untuk arah datang gelombang 0⁰, 45⁰, 135⁰ dan 180⁰ menyebabkan gerakan *roll* dengan nilai RAO terbesar 0.999 deg/m pada frekuensi 0.1 rad/s.

4.3.4 *Roll*

RAO *roll* FSO Belida untuk kondisi *full load* pada arah datang gelombang 0⁰, 45⁰, 90⁰, 135⁰ dan 180⁰ dapat dilihat pada **Gambar 4.6** di bawah ini.

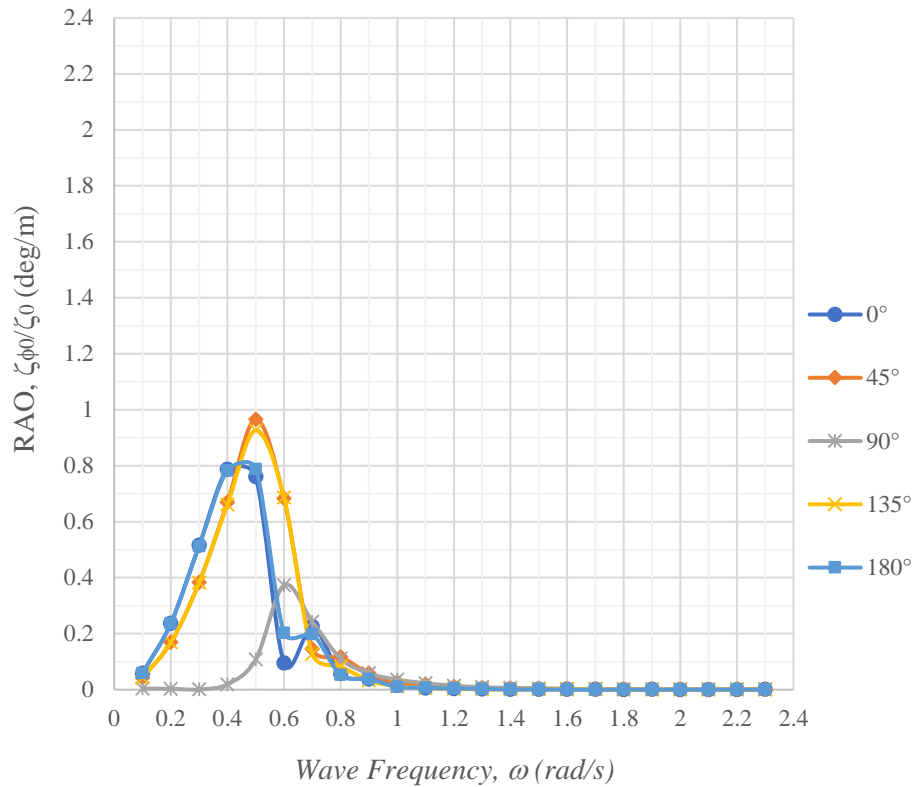


Gambar 4.6 Grafik RAO *roll* FSO Belida

Roll merupakan gerakan osilasi rotasional terhadap sumbu longitudinal (sumbu x). Hasil analisa *Response Amplitude Operator roll* dari **Gambar 4.6** di atas diketahui bahwa gerakan *roll* terbesar terjadi pada arah datang gelombang 90^0 yang mana tegak lurus terhadap sumbu x dengan nilai terbesar RAO *roll* FSO adalah 2.218 deg/m pada frekuensi 0.3 rad/s. Arah datang gelombang 45^0 dapat menyebabkan gerakan *roll* dengan nilai RAO terbesar 1.602 deg/m pada frekuensi 0.3 rad/s. Arah datang gelombang 135^0 dapat menyebabkan gerakan *roll* dengan nilai RAO 1.596 deg/m pada frekuensi 0.3 rad/s. Pada arah 0^0 dan 180^0 tidak terjadi gerakan *roll*, karena arah datang gelombangnya sejajar dengan sumbu rotasi gerakan *roll*.

4.3.5 Pitch

RAO *pitch* FSO Belida untuk kondisi *full load* pada arah datang gelombang $0^0, 45^0, 90^0, 135^0$ dan 180^0 dapat dilihat pada **Gambar 4.7** di bawah ini.

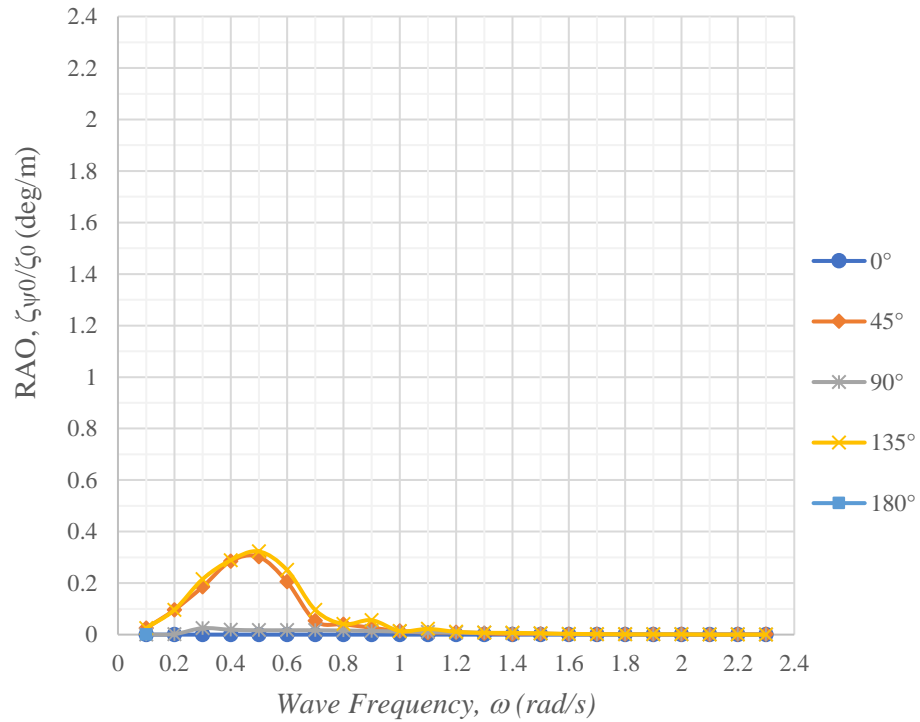


Gambar 4.7 Grafik RAO *pitch* FSO Belida

Pitch merupakan gerakan osilasi rotasional terhadap sumbu *y*. Hasil analisa *Response Amplitude Operator pitch* dari **Gambar 4.7** di atas diketahui bahwa gerakan *pitch* terbesar terjadi pada arah datang gelombang 45° yang dikarenakan arah datang gelombang perempat buritan kapal merupakan area terluas yang terkena gelombang sehingga menyebabkan gerakan *pitch* yang besar. Nilai terbesar RAO *pitch* arah datang gelombang 45° adalah 0.966 deg/m pada frekuensi 0.5 rad/s. Arah datang gelombang lainnya juga dapat menyebabkan gerakan *pitch* dengan nilai RAO *pitch* beragam. Arah datang gelombang 135° menyebabkan gerakan *pitch* dengan nilai RAO 0.927 deg/m pada frekuensi 0.5 rad/s. Arah datang gelombang 0° menyebabkan gerakan *pitch* dengan nilai RAO terbesar 0.787 deg/m pada frekuensi 0.4 rad/s untuk kondisi *full load*. Arah datang gelombang 180° menyebabkan gerakan *pitch* dengan nilai RAO terbesar 0.788 deg/m pada frekuensi 0.5 rad/s. Arah datang gelombang 90° menyebabkan gerakan *pitch* dengan nilai RAO terbesar 0.373 deg/m pada frekuensi 0.6 rad/s.

4.3.6 Yaw

RAO *yaw* FSO Belida untuk kondisi *full load* pada arah datang gelombang 0^0 , 45^0 , 90^0 , 135^0 dan 180^0 dapat dilihat pada **Gambar 4.8** di bawah ini.



Gambar 4.8 Grafik RAO *yaw* FSO Belida

Yaw merupakan gerakan rotasional pada kapal dimana arah pergerakan dari gerakan rotasional ini mengacu pada sumbu z. Dari **Gambar 4.8** di atas diketahui bahwa gerakan *yaw* terbesar terjadi terbesar terjadi pada arah datang gelombang 135^0 yang dikarenakan arah datang gelombang perempat haluan kapal merupakan area terluas yang terkena gelombang sehingga menyebabkan gerakan *yaw* yang besar. Nilai terbesar RAO *yaw* arah datang gelombang adalah 0.323 deg/m pada frekuensi 0.5 rad/s . Sedangkan arah datang gelombang 45^0 menyebabkan gerakan *yaw* dengan nilai RAO terbesar 0.302 deg/m pada frekuensi 0.5 rad/s . Arah datang gelombang 90^0 dapat menyebabkan gerakan *yaw* dengan nilai RAO terbesar 0.025 deg/m pada frekuensi 0.3 rad/s . Pada arah datang gelombang 0^0 dan 180^0 tidak terjadi gerakan *yaw*, karena arah datang gelombangnya sejajar dengan sumbu rotasi gerakan *yaw*.

4.4 Analisis Beban Lingkungan Squall

Data yang digunakan pada pembebanan lingkungan kondisi normal adalah data sebelumnya telah disebutkan pada Bab III Tabel 3-3, Tabel 3-4, dan Tabel 3-5 di atas. Sedangkan beban lingkungan akibat *squall* akan dianalisis di bawah ini.

4.4.1 Periode Ulang Angin Squall

Data *squall* yang didapat yaitu berupa rekaman kecepatan angin *squall* selama 3 tahun. Data tersebut kemudian diolah dengan menggunakan distribusi *Weibull* dengan nilai $k = 2$ untuk mengetahui periode ulang dari *squall*. Berikut adalah tabel periode ulang *squall* yang didapat, yaitu sebagai berikut :

Tabel 4-2 Periode ulang kecepatan *squall*

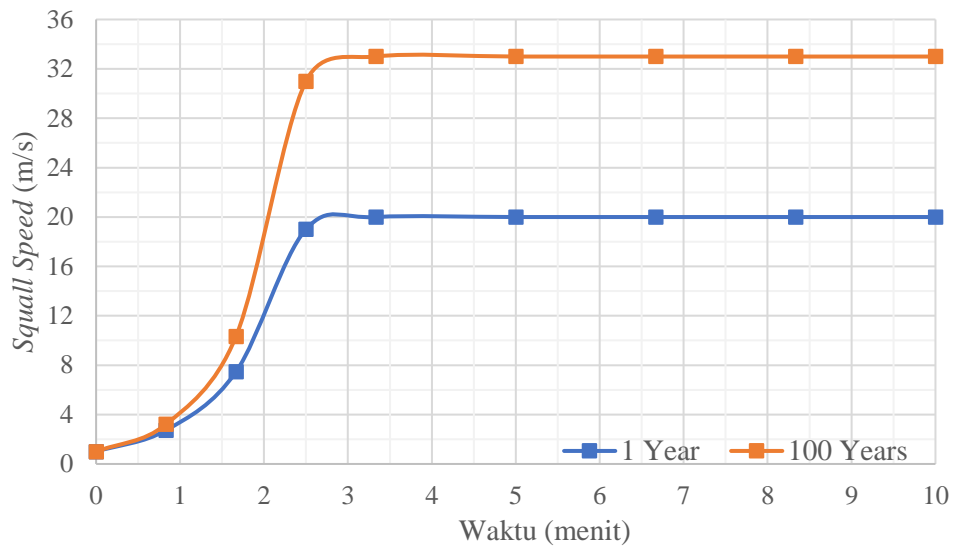
<i>Return Period (year)</i>	<i>Wind Speed Squall (m/s)</i>
1	20
100	33

Data kecepatan angin *squall* dipilih dari arah *omni directional* sehingga pada saat analisa sistem tambat akibat *squall* dari arah pembebanan mana saja, akan digunakan data *squall* dengan nilai yang sama. Untuk mengetahui perubahan kecepatan angin saat lingkungan kondisi normal dan saat lingkungan kondisi *squall*, maka pada Tabel 4-3 di bawah ini merupakan perbandingan kecepatan angin per arah pembebanan.

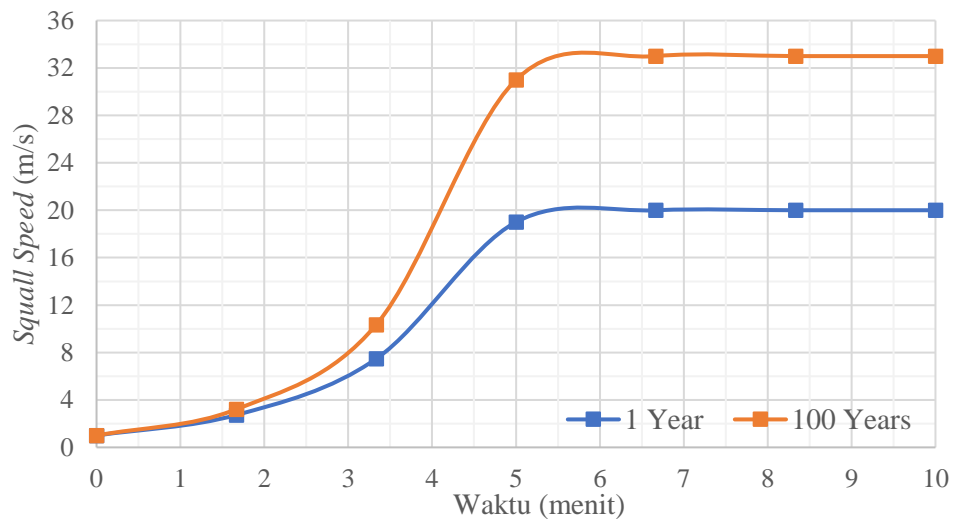
Tabel 4-3 Perbandingan kecepatan angin saat kondisi normal dan kondisi *squall*

<i>Direction</i>	<i>Return Period</i>	<i>Wind Speed (m/s)</i>	
		<i>Normal Condition</i>	<i>Due to Squall</i>
0°	1 year	11	20
	100 years	14	33
45°	1 year	11	20
	100 years	14	33
90°	1 year	8	20
	100 years	11	33
135°	1 year	9	20
	100 years	12	33
180°	1 year	15	20
	100 years	20	33

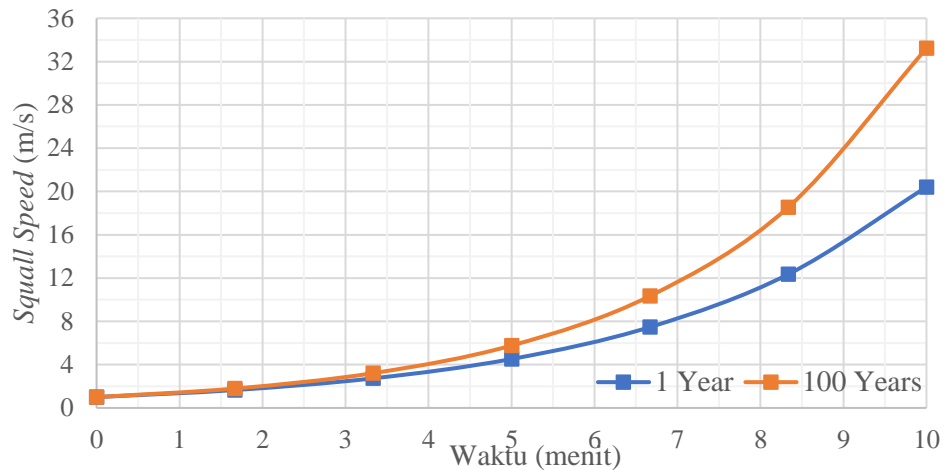
Untuk mengetahui *trendline squall*, maka grafik di bawah ini menggambarkan kenaikan kecepatan angin sepanjang waktu analisis. Kecepatan puncak dari grafik adalah nilai periode ulang angin *squall* seperti yang disebutkan pada **Tabel 4-2** di atas. Berikut merupakan grafik kenaikan kecepatan angin *squall* berbasis domain waktu untuk simulasi durasi *squall* 2.5 menit, 5 menit, dan 10 menit berturut-turut ditunjukkan pada **Gambar 4.9**, **Gambar 4.10**, dan **Gambar 4.11** di bawah ini.



Gambar 4.9 Grafik simulasi *squall* durasi 2.5 menit



Gambar 4.10 Grafik simulasi *squall* durasi 5 menit



Gambar 4.11 Grafik simulasi *squall* durasi 10 menit

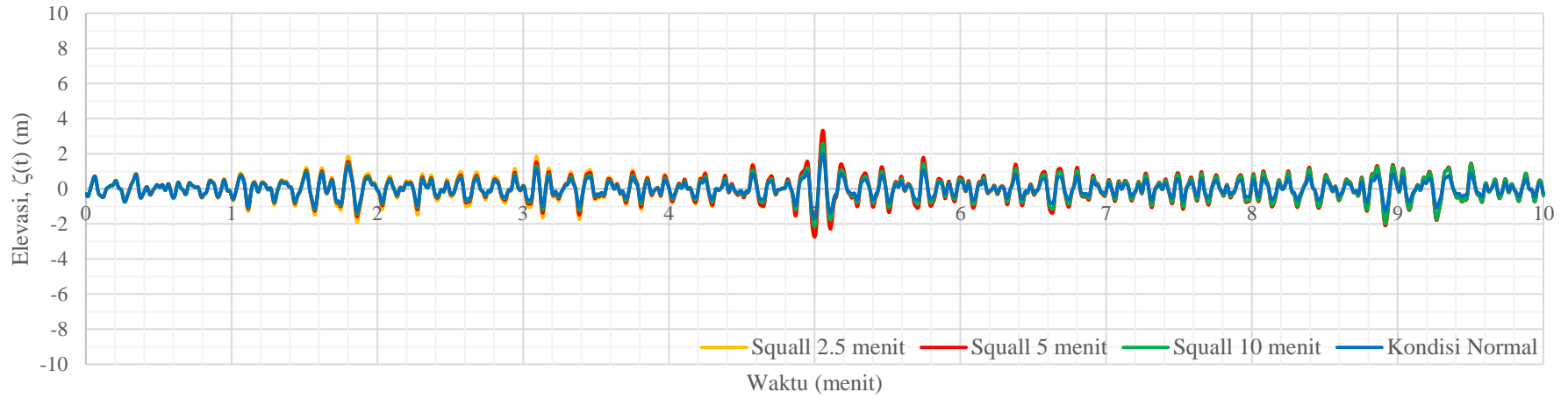
Kenaikan pada grafik di atas yang akan digunakan sebagai acuan faktor amplifikasi untuk mengolah beban lingkungan lain akibat *squall*. Maka nilai *Dynamic Amplification Factor* (DAF) diketahui sebagai berikut :

Tabel 4-4 *Dynamic amplification factor* untuk simulasi *squall*

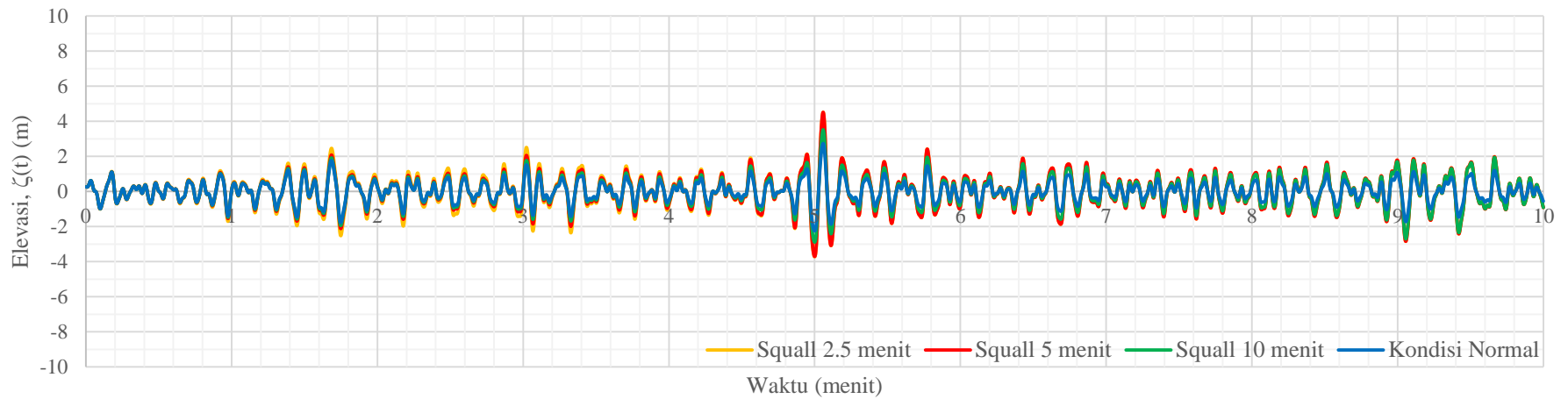
Kondisi		DAF
<i>Squall</i> 2.5 menit	1 tahun	$x = \exp(0.201 \times t)$
	100 tahun	$x = \exp(0.234 \times t)$
<i>Squall</i> 5 menit	1 tahun	$x = \exp(0.101 \times t)$
	100 tahun	$x = \exp(0.117 \times t)$
<i>Squall</i> 10 menit	1 tahun	$x = \exp(0.058 \times t)$
	100 tahun	$x = \exp(0.049 \times t)$

4.4.2 Beban Gelombang Akibat *Squall*

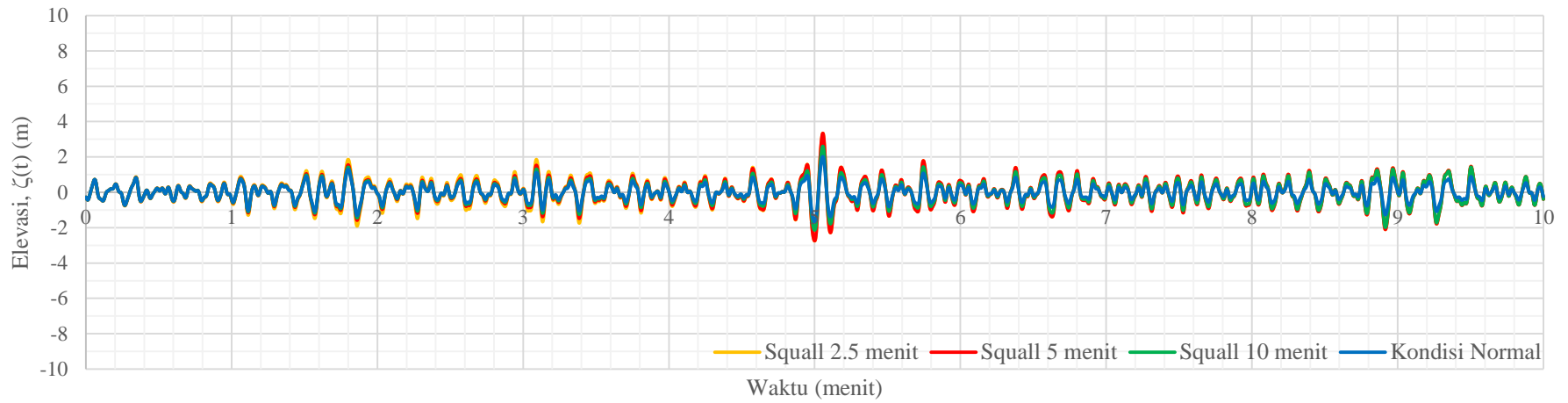
Untuk mensimulasikan efek *squall* terhadap beban gelombang maka rekaman gelombang saat beban lingkungan kondisi *non-squall* yang didapat dari analisis *Software Orcaflex* akan dikalikan DAF yang disebutkan pada **Tabel 4-4** di atas untuk mendapatkan rekaman gelombang baru akibat *squall*. Berikut merupakan rekaman gelombang acak untuk kondisi lingkungan *non-squall* dan *squall*. Gambar di bawah ini menunjukkan rekaman gelombang acak saat kondisi operasi dan kondisi ekstrem dima **Gambar 4.12** dan **4.13** menunjukkan arah pembebanan 0° , **Gambar 4.14** dan **4.15** menunjukkan arah pembebanan 45° , **Gambar 4.16** dan **4.17** menunjukkan arah pembebanan 90° , **Gambar 4.18** dan **4.19** menunjukkan arah pembebanan 135° , **Gambar 4.20** dan **4.21** menunjukkan arah pembebanan 180° .



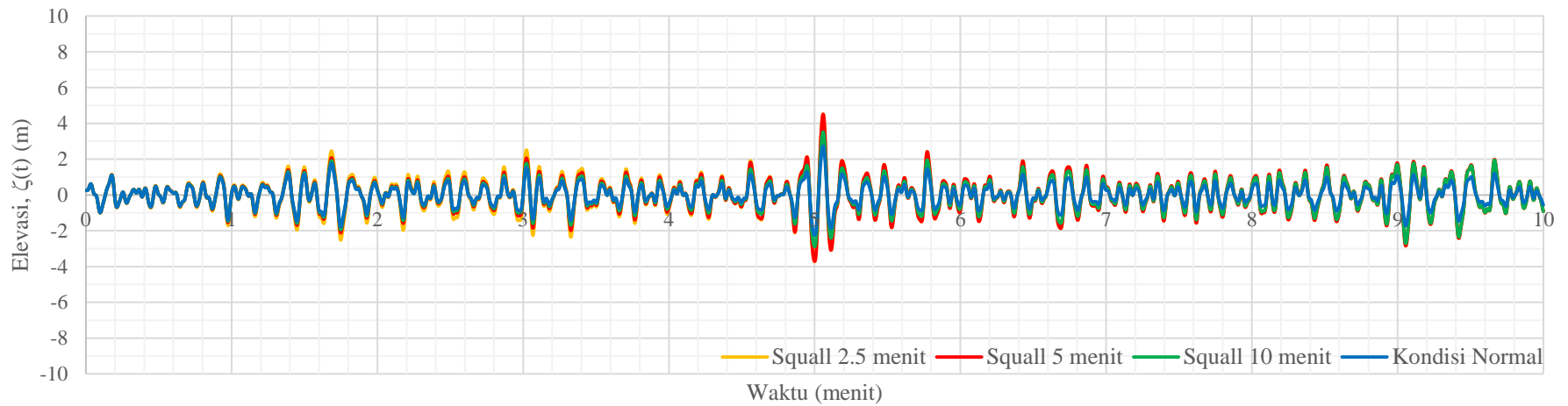
Gambar 4.12 Rekaman gelombang acak arah Pembebanan 0° (kondisi operasi)



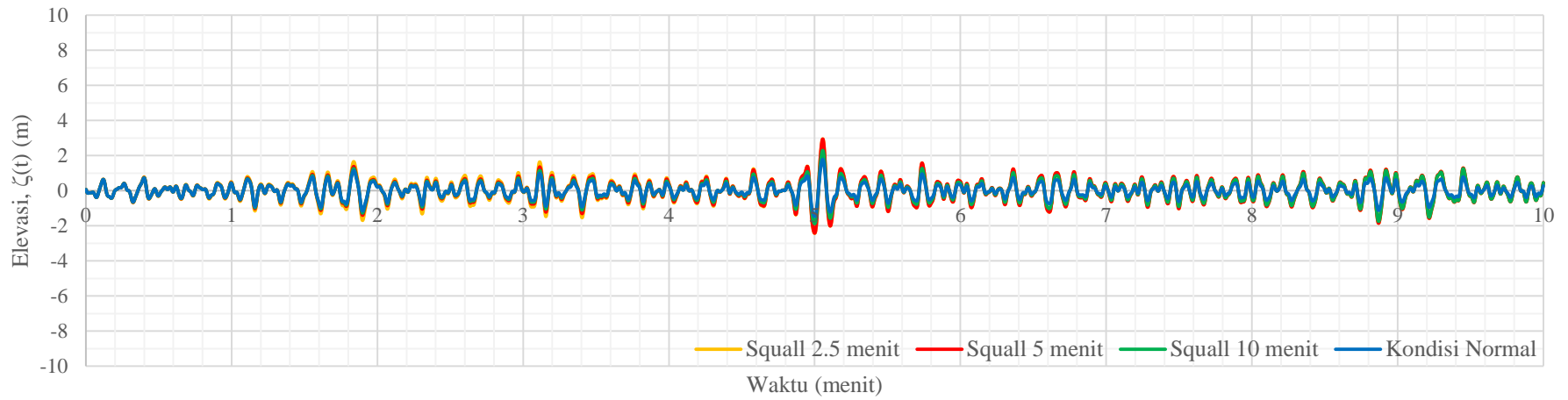
Gambar 4.13 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 0° (kondisi ekstrem)



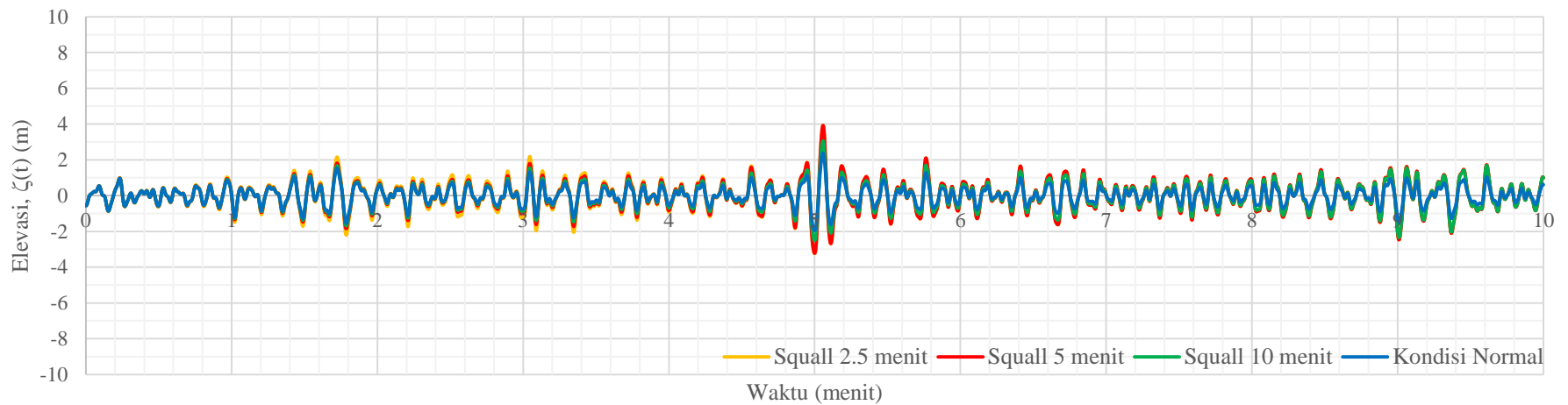
Gambar 4.14 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 45° (kondisi operasi)



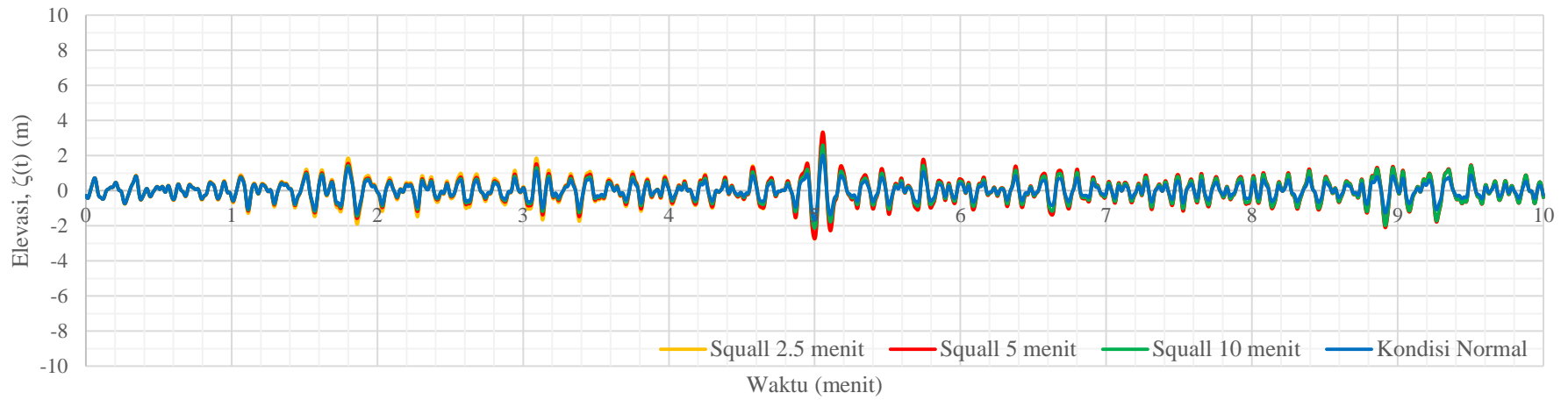
Gambar 4.15 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 45° (kondisi ekstrem)



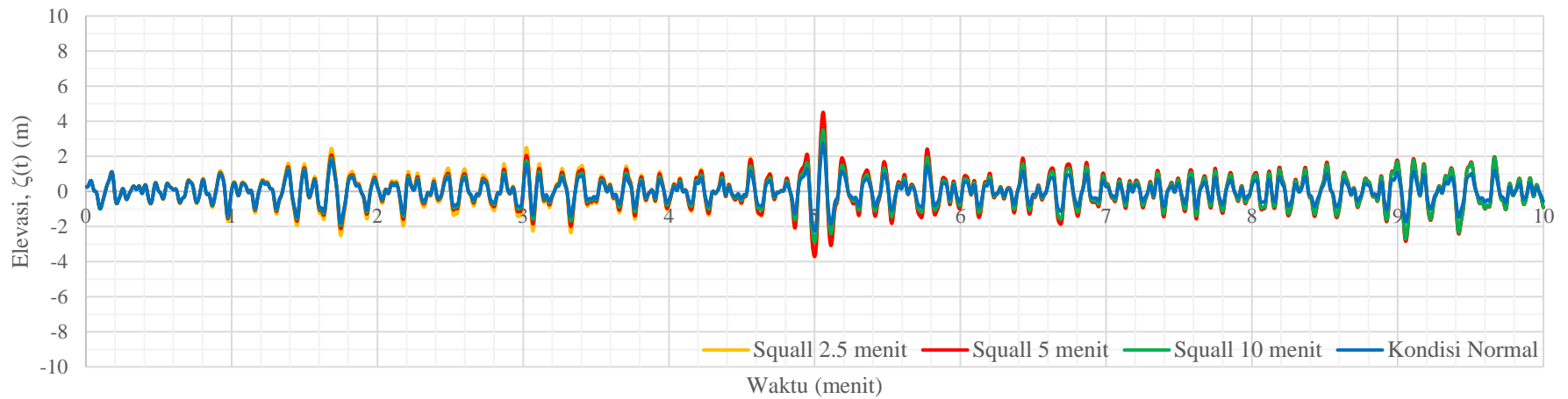
Gambar 4.16 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 90° (kondisi operasi))



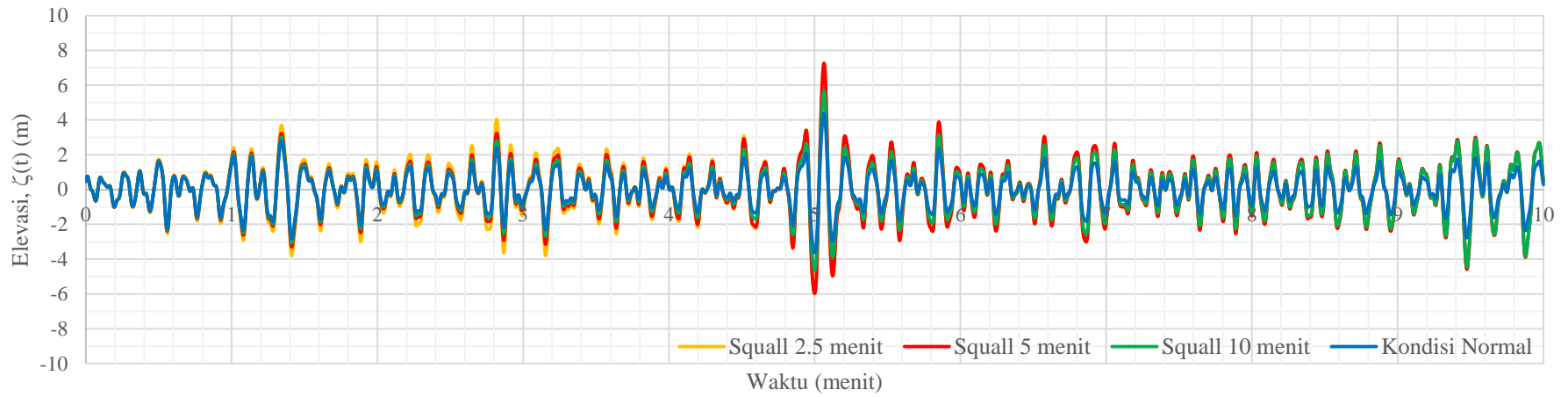
Gambar 4.17 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 90° (kondisi ekstrem)



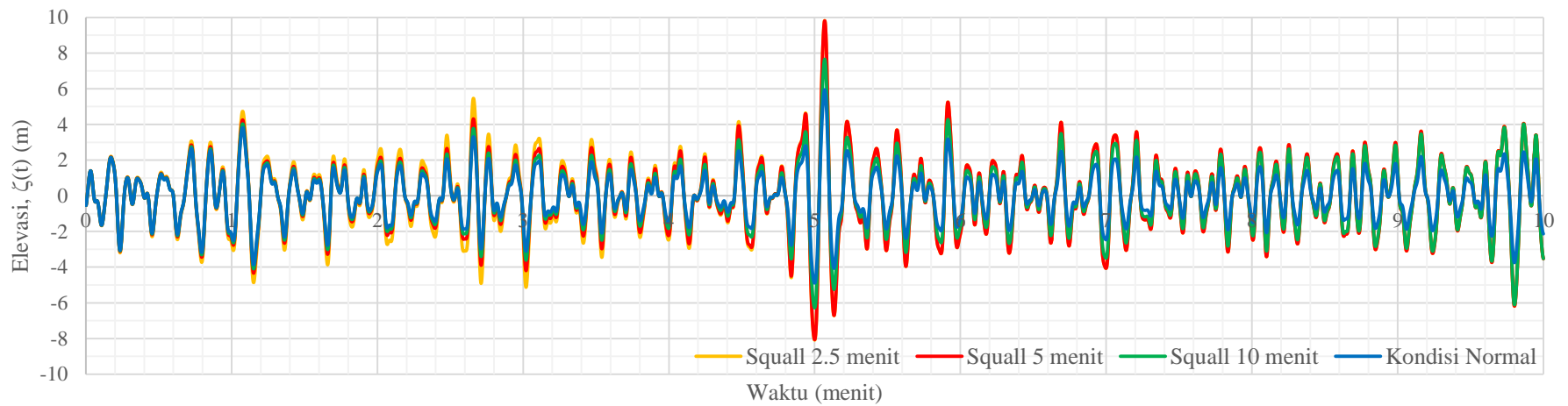
Gambar 4.18 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 135° (kondisi operasi)



Gambar 4.19 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 135° (kondisi ekstrem)



Gambar 4.20 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 180° (kondisi operasi)



Gambar 4.21 Rekaman gelombang acak arah pembebanan 180° (kondisi ekstrem)

Dari gambar-gambar di atas menunjukkan bahwa *squall* mengakibatkan perubahan berupa kenaikan pada rekaman gelombang acak. Setelah didapatkan rekaman gelombang acak baru akibat *squall*, maka langkah selanjutnya adalah mentransformasikan rekaman gelombang yang berdomain waktu tersebut menjadi kurva spektrum energi gelombang dimana berdomain frekuensi dengan menggunakan perangkat model *Fast Fourier Transform* (FFT) yang dibantu *Software Matlab*. Setelah didapatkan kurva spektrum energi gelombang, maka dapat dihitung beban gelombang akibat *squall* dengan menganalisa luasan di bawah kurva spektra yang berarti tinggi gelombang dan periode gelombang baru akibat *squall* dapat dihitung.

4.4.2.1 Tinggi Gelombang Signifikan

Dari analisa momen spektra pada kurva spektrum energi gelombang, maka tinggi signifikan gelombang akibat adanya beban lingkungan *squall* adalah sebagai berikut :

Tabel 4-5 Tinggi gelombang signifikan saat lingkungan normal (*non-squall*) dan lingkungan *squall*

Direction	Return Period	Hs (m)			
		Normal Condition	Squall 2.5 menit	Squall 5 menit	Squall 10 menit
0°	1 year	1.7	2.7	2.5	2.2
	100 years	2.3	3.7	3.5	3.2
45°	1 year	1.7	2.7	2.5	2.2
	100 years	2.3	3.7	3.5	3.2
90°	1 year	1.5	2.4	2.2	1.9
	100 years	2.0	3.2	3.0	2.7
135°	1 year	1.7	2.7	2.5	2.2
	100 years	2.3	3.7	3.5	3.2
180°	1 year	3.7	6.0	5.7	5.0
	100 years	5.0	8.1	7.7	7.0

Dari tabel di atas diketahui bahwa kenaikan tinggi gelombang signifikan rata-rata pada kondisi *squall* 2.5 menit adalah 60% untuk kondisi operasi dan 61% untuk kondisi ekstrem. Sedangkan untuk *squall* 5 menit kenaikan rata-rata mencapai 48% untuk kondisi operasi dan 52% untuk kondisi

ekstrem. Untuk *squall* 10 menit maka harga kenaikan untuk kondisi operasi senilai 30% dan untuk kondisi ekstrem senilai 39%. Dari ketiga skenario *squall* di atas, maka harga kenaikan tinggi gelombang signifikan paling besar terjadi pada simulasi *squall* 2.5 menit.

4.4.2.2 Periode Gelombang

Perhitungan periode gelombang dilakukan dengan cara yang sama yaitu berdasar analisis momen spektra yang didapat dari kurva spektra energi gelombang. Berikut **Tabel 4-6** merupakan nilai periode gelombang akibat beban lingkungan *squall*.

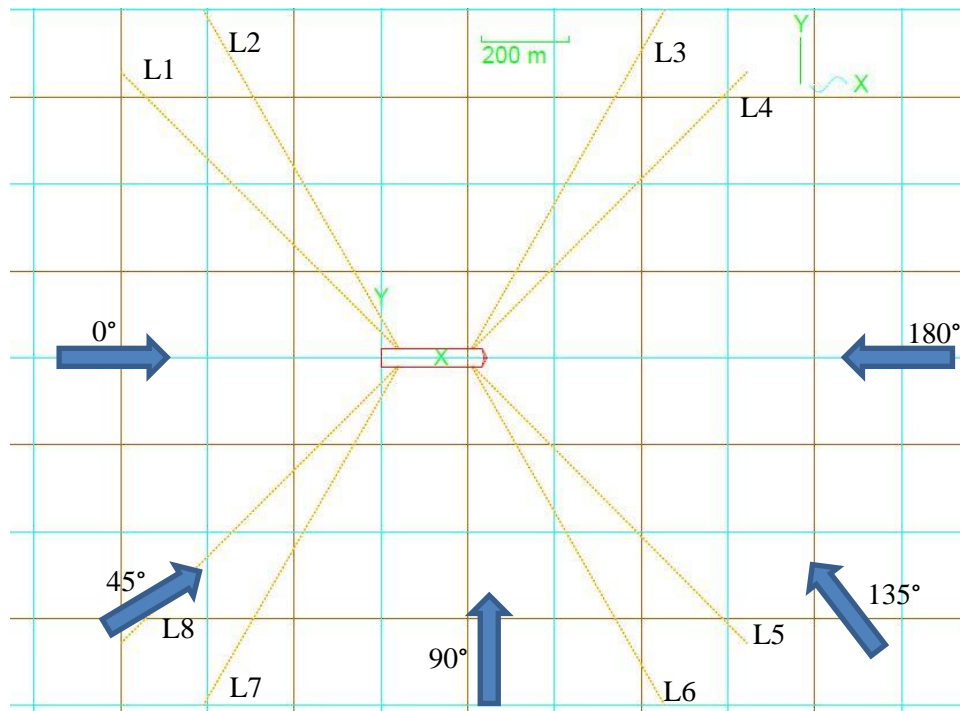
Tabel 4-6 Periode gelombang saat lingkungan normal (*non-squall*) dan lingkungan *squall*

Direction	Return Period	Tp (m)			
		Normal Condition	Squall 2.5 menit	Squall 5 menit	Squall 10 menit
0°	1 year	8.4	8.5	8.5	8.5
	100 years	8.7	8.8	8.8	8.8
45°	1 year	8.4	8.5	8.5	8.5
	100 years	8.7	8.8	8.8	8.8
90°	1 year	8.3	8.4	8.4	8.4
	100 years	8.6	8.6	8.6	8.6
135°	1 year	8.4	8.5	8.5	8.5
	100 years	8.7	8.8	8.8	8.8
180°	1 year	9.6	9.8	9.8	9.8
	100 years	10.3	10.4	10.4	10.3

Dari tabel di atas diketahui bahwa nilai periode gelombang saat beban lingkungan *non-squall* dibanding saat beban lingkungan kondisi *squall* hanya terjadi kenaikan sebesar 1 %. Bahkan pada arah 180° saat kondisi ekstrem tidak terjadi kenaikan nilai periode gelombang untuk simulasi *squall* 10 menit. Untuk itu agar lebih variatif, akan digunakan variasi nilai Tp yang didapat dari *DNV OS E301* berupa Tp karakteristik daerah *South China Sea* yaitu Tp = 11.1 s untuk kondisi *Non-Typhoon* dan Tp = 15.1 s untuk kondisi *Typhoon*. Karena interval Tp tersebut terlalu jauh, maka ditambah variasi nilai Tp yaitu 12.5 s dan 13.5 s. Variasi nilai Tp hanya dilakukan pada kondisi simulasi *squall* 10 menit.

4.5 Pemodelan Sistem Tambat

Analisis dinamis sistem tambat dilakukan berbasis *time domain* dengan skenario struktur apung ditambatkan pada 8 tali tambat ‘*catenary*’ sistem *spread mooring*. FSO Belida dianalisa dalam kondisi muatan penuh. Analisis arah pembebanan dilakukan dari arah 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° **Gambar 4.22** di bawah ini menunjukkan skenario sistem tambat dan arah pembebanan untuk proses analisis.



Gambar 4.22 Pemodelan sistem tambat *spread mooring* dan skenario arah pembebanan

4.6 Analisis *Tension Mooring* dan *Offset FSO*

Tension pada tali tambat dan *offset* yang terjadi pada FSO dianalisis untuk mengetahui dampak pembebanan lingkungan, yaitu lingkungan normal (*non-squall*) dan lingkungan *squall*. Analisis *tension* dan *offset* dilakukan sesuai variasi yang telah disebutkan sebelumnya.

4.6.1 Analisis *Tension* Maksimum Tali Tambat

Analisis *tension* pada *mooring line* dilakukan untuk mendapatkan tegangan terbesar pada setiap tali tambat dengan variasi yaitu saat beban lingkungan normal dan beban lingkungan *squall*. Analisis dilakukan pada 2 kondisi yaitu kondisi operasi dan kondisi ekstrem. Analisis *tension* sistem tambat dilakukan dengan waktu simulasi selama 10 menit dengan

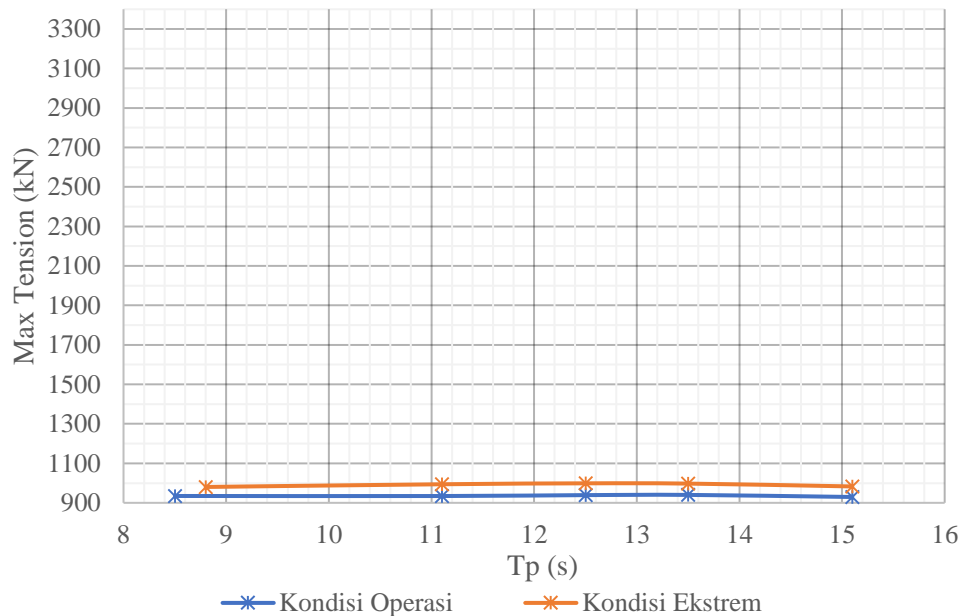
durasi waktu *squall* 2.5 menit, 5 menit dan 10 menit. Berikut merupakan hasil *tension* maksimal pada setiap arah pembebanan.

4.6.1.1. Arah Pembebanan 0°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 0° merupakan *following seas*, sehingga hasil *tension* maksimum untuk durasi *squall* 10 menit dengan variasi T_p dapat dilihat pada **Tabel 4-7**. Sedangkan visualisasi berupa grafik dari **Tabel 4-7** dapat dilihat pada **Gambar 4.23** di bawah ini.

Tabel 4-7 Hasil *tension* maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 0°

Kondisi Operasi			Kondisi Ekstrem		
Line 8		Max Tension (kN)	Line 8		Max Tension (kN)
Squall 10 menit (Hs = 2.2 m)	$T_p = 8.5$ s	934.73	Squall 10 menit (Hs = 3.2 m)	$T_p = 8.8$ s	980.46
	$T_p = 11.1$ s	934.53		$T_p = 11.1$ s	994.08
	$T_p = 12.5$ s	939.13		$T_p = 12.5$ s	998.81
	$T_p = 13.5$ s	940.11		$T_p = 13.5$ s	997.50
	$T_p = 15.1$ s	929.55		$T_p = 15.1$ s	982.99



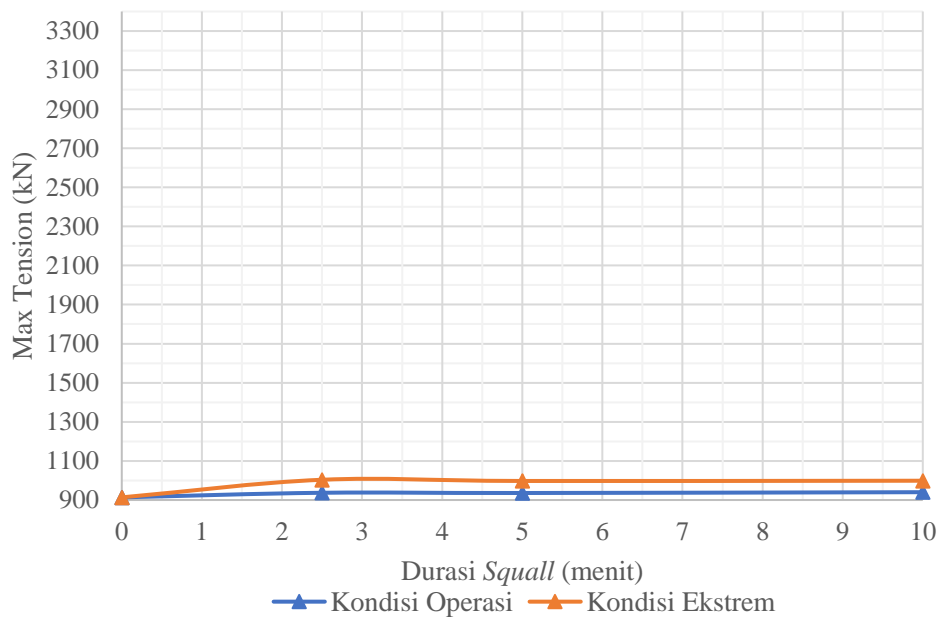
Gambar 4.23 Grafik *tension* maksimal durasi *squall* 10 menit pada arah pembebanan 0°

Dari tabel dan gambar di atas diketahui bahwa nilai *maximum tension* terbesar adalah pada kondisi *squall* 10 menit adalah saat variasi $T_p = 13.5$

s untuk kondisi operasi dan $T_p = 12.5$ s untuk kondisi ekstrem. Selanjutnya hasil *tension* maksimal pada durasi *squall* 10 menit di atas akan dibandingkan dengan simulasi *squall* lain yaitu *squall* durasi 2.5 menit dan *squall* durasi 5 menit serta kondisi *non-squall*. Berikut di bawah ini merupakan tabel dan gambar grafik *tension* maksimal untuk semua simulasi *squall*.

Tabel 4-8 Hasil *tension* maksimal untuk arah pembebanan 0°

Kondisi Operasi		Kondisi Ekstrem	
Line 8	Max Tension (kN)	Line 8	Max Tension (kN)
Normal Condition (Hs = 1.7 m; Tp = 8.4 s)	913.53	Normal Condition (Hs = 2.3 m; Tp = 8.7 s)	913.53
Squall 2.5 menit (Hs=2.7 m; Tp=8.5 s)	937.11	Squall 2.5 menit (Hs=3.7 m; Tp=8.8 s)	1003.67
Squall 5 menit (Hs=2.5 m; Tp=8.5 s)	935.96	Squall 5 menit (Hs=3.5 m; Tp=8.8 s)	997.55
Squall 10 menit (Hs=2.2 m; Tp=13.5 s)	940.11	Squall 10 menit (Hs=3.2 m; Tp=12.5 s)	998.81



Gambar 2.24 Grafik *tension* maksimal arah pembebanan 45°

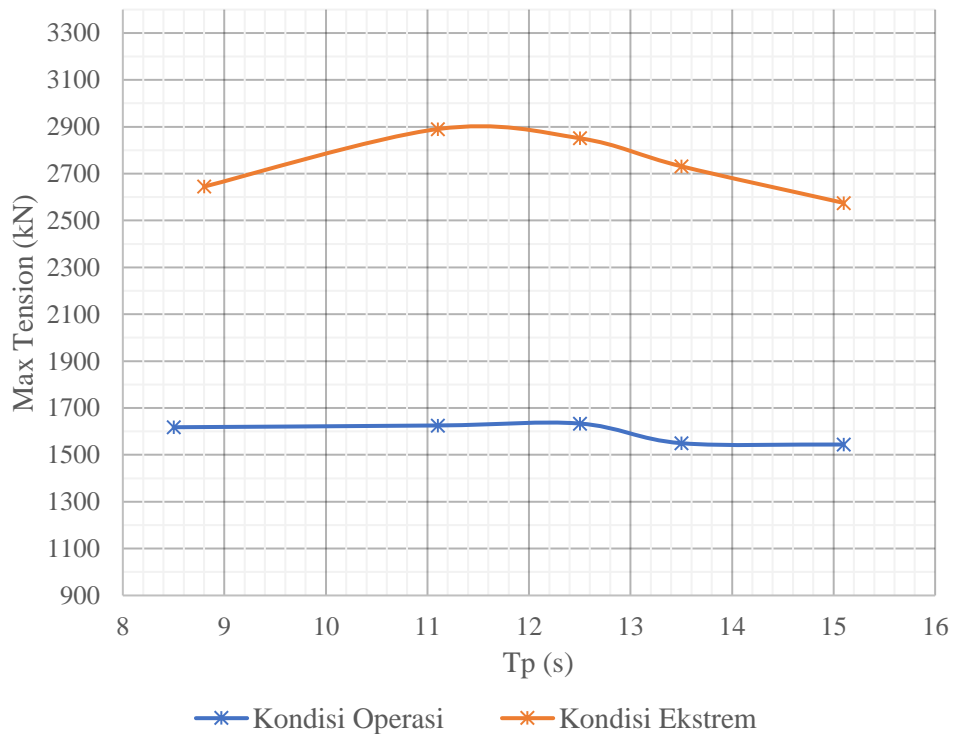
Dari tabel dan gambar di atas diketahui bahwa *tension* maksimal terbesar adalah saat simulasi *squall* 2.5 menit. Sedangkan *maximum tension* dengan nilai terendah baik kondisi operasi maupun kondisi ekstrem adalah saat beban lingkungan normal (*non-squall*).

4.6.1.2. Arah Pembebanan 45°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 45° merupakan *quartering following seas*, sehingga hasil *tension* maksimum untuk durasi *squall* 10 menit dengan variasi T_p dapat dilihat pada **Tabel 4-9**. Sedangkan visualisasi berupa grafik dari **Tabel 4-9** dapat dilihat pada **Gambar 4.25** di bawah ini.

Tabel 4-9 Hasil *tension* maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 45°

Kondisi Operasi			Kondisi Ekstrem		
Line 7		Max Tension (kN)	Line 7		Max Tension (kN)
Squall (Hs = 2.2 m)	$T_p = 8.5$ s	1617.88	Squall (Hs = 3.2 m)	$T_p = 8.8$ s	2644.66
	$T_p = 11.1$ s	1625.39		$T_p = 11.1$ s	2890.21
	$T_p = 12.5$ s	1633.55		$T_p = 12.5$ s	2850.99
	$T_p = 13.5$ s	1549.80		$T_p = 13.5$ s	2731.41
	$T_p = 15.1$ s	1544.06		$T_p = 15.1$ s	2574.99



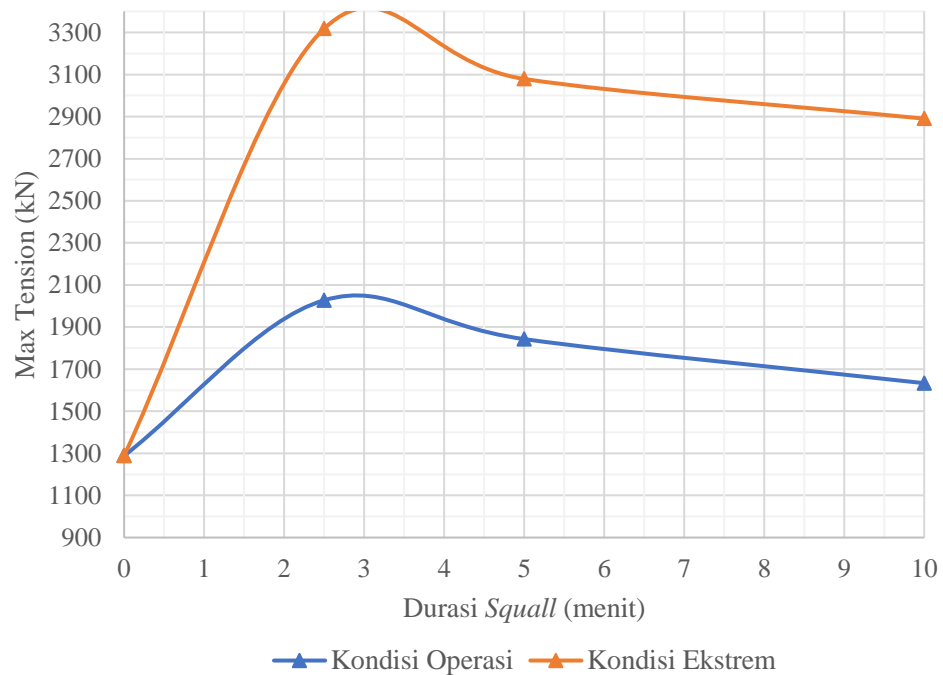
Gambar 4.25 Grafik *tension* maksimal durasi *squall* 10 menit pada arah pembebanan 45°

Dari tabel dan gambar di atas diketahui bahwa nilai *maximum tension* terbesar adalah pada kondisi *squall* $T_p = 12.5$ s untuk kondisi operasi dan

kondisi *squall* $T_p = 11.1$ s untuk kondisi ekstrem. Selanjutnya hasil *tension* maksimal pada durasi *squall* 10 menit di atas akan dibandingkan dengan simulasi *squall* lain yaitu *squall* durasi 2.5 menit dan *squall* durasi 5 menit serta kondisi *non-squall*. Berikut di bawah ini merupakan tabel dan gambar grafik *tension* maksimal untuk semua simulasi *squall*.

Tabel 4-10 Hasil *tension* maksimal untuk arah pembebanan 45°

Kondisi Operasi		Kondisi Ekstrem	
<i>Line 7</i>	<i>Max Tension</i> (kN)	<i>Line 7</i>	<i>Max Tension</i> (kN)
<i>Normal Condition</i> ($H_s = 1.7$ m; $T_p = 8.4$ s)	1288.58	<i>Normal Condition</i> ($H_s = 2.3$ m; $T_p = 8.7$ s)	1288.58
<i>Squall 2.5 menit</i> ($H_s=2.7$ m; $T_p=8.5$ s)	2027.44	<i>Squall 2.5 menit</i> ($H_s=3.7$ m; $T_p=8.8$ s)	3317.68
<i>Squall 5 menit</i> ($H_s=2.5$ m; $T_p=8.5$ s)	1842.89	<i>Squall 5 menit</i> ($H_s=3.5$ m; $T_p=8.8$ s)	3078.95
<i>Squall 10 menit</i> ($H_s=2.2$ m; $T_p=12.5$ s)	1633.55	<i>Squall 10 menit</i> ($H_s=3.2$ m; $T_p=11.1$ s)	2890.21



Gambar 2.26 Grafik *tension* maksimal arah pembebanan 45°

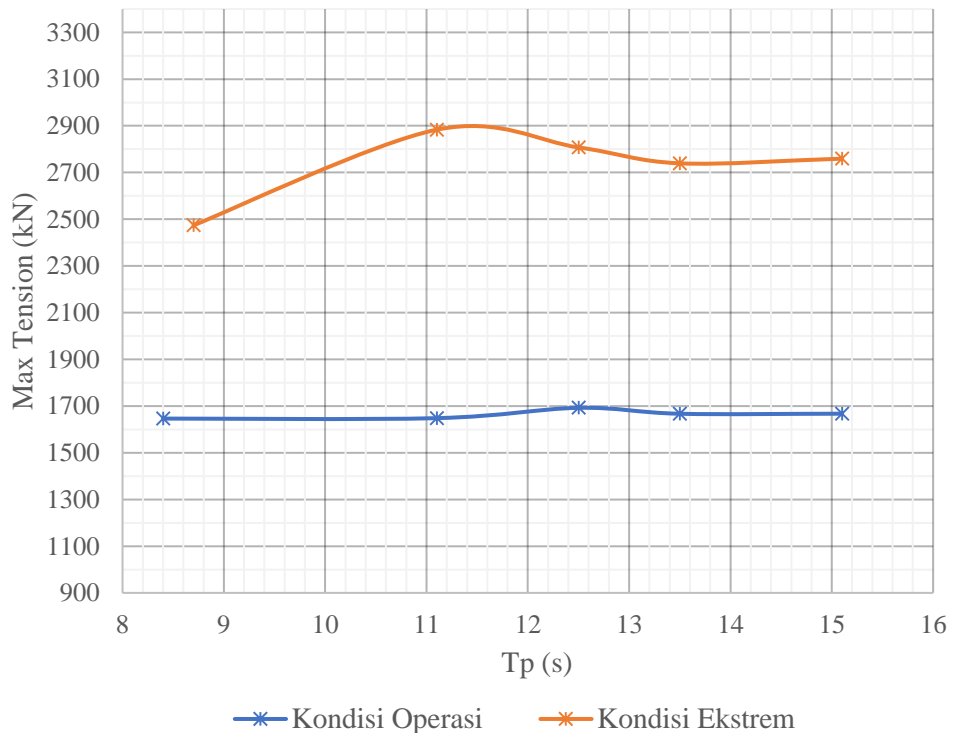
Dari tabel dan gambar di atas diketahui bahwa *tension* maksimal terbesar adalah saat simulasi *squall* 2.5 menit. Sedangkan *maximum tension* dengan nilai terendah baik kondisi operasi maupun kondisi ekstrem adalah saat beban lingkungan normal (*non-squall*).

4.6.1.3. Arah Pembebanan 90°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 90° merupakan *beam seas*, sehingga hasil *tension* maksimum untuk durasi *squall* 10 menit dengan variasi T_p dapat dilihat pada **Tabel 4-11**. Sedangkan visualisasi berupa grafik dari **Tabel 4-11** dapat dilihat pada **Gambar 4.27** di bawah ini.

Tabel 4-11 Hasil *tension* maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 90°

Kondisi Operasi			Kondisi Ekstrem		
Line 7		Max Tension (kN)	Line 7		Max Tension (kN)
Squall (Hs = 1.9 m)	Tp = 8.4 s	1646.37	Squall (Hs = 2.7 m)	Tp = 8.7 s	2473.87
	Tp = 11.1 s	1648.26		Tp = 11.1 s	2883.47
	Tp = 12.5 s	1692.39		Tp = 12.5 s	2807.61
	Tp = 13.5 s	1667.05		Tp = 13.5 s	2739.40
	Tp = 15.1 s	1667.28		Tp = 15.1 s	2759.35



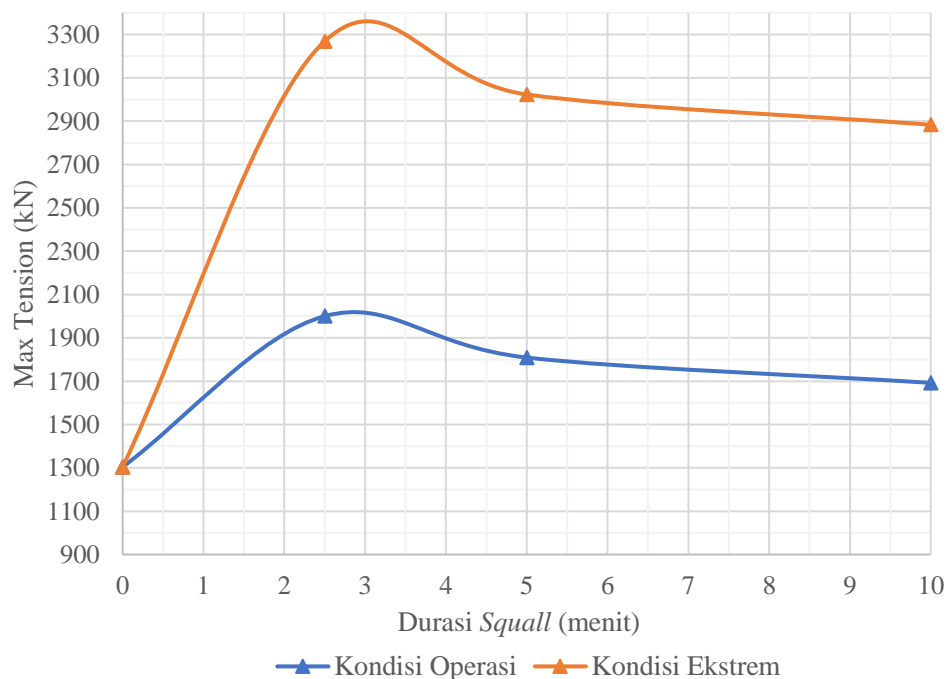
Gambar 4.27 Grafik *tension* maksimal durasi *squall* 10 menit pada arah pembebanan 90°

Dari tabel dan gambar di atas diketahui bahwa nilai *maximum tension* terbesar adalah pada kondisi *squall* $T_p = 12.5$ s untuk kondisi operasi dan

kondisi *squall* $T_p = 11.1$ s untuk kondisi ekstrem. Selanjutnya hasil *tension* maksimal pada durasi *squall* 10 menit di atas akan dibandingkan dengan simulasi *squall* lain yaitu *squall* durasi 2.5 menit dan *squall* durasi 5 menit serta kondisi *non-squall*. Berikut di bawah ini merupakan tabel dan gambar grafik *tension* maksimal untuk semua simulasi *squall*.

Tabel 4-12 Hasil *tension* maksimal untuk arah pembebanan 90°

Kondisi Operasi		Kondisi Ekstrem	
<i>Line 7</i>	<i>Max Tension</i> (kN)	<i>Line 7</i>	<i>Max Tension</i> (kN)
<i>Normal Condition</i> ($H_s = 1.7$ m; $T_p = 8.3$ s)	1303.99	<i>Normal Condition</i> ($H_s = 2.3$ m; $T_p = 8.6$ s)	1303.99
<i>Squall 2.5 menit</i> ($H_s=2.4$ m; $T_p=8.4$ s)	2000.21	<i>Squall 2.5 menit</i> ($H_s=3.2$ m; $T_p=8.7$ s)	3268.92
<i>Squall 5 menit</i> ($H_s=2.2$ m; $T_p=8.4$ s)	1809.18	<i>Squall 5 menit</i> ($H_s=3.0$ m; $T_p=8.7$ s)	3023.31
<i>Squall 10 menit</i> ($H_s=1.9$ m; $T_p=12.5$ s)	1692.39	<i>Squall 10 menit</i> ($H_s=2.7$ m; $T_p=11.1$ s)	2883.47



Gambar 2.28 Grafik *tension* maksimal arah pembebanan 90°

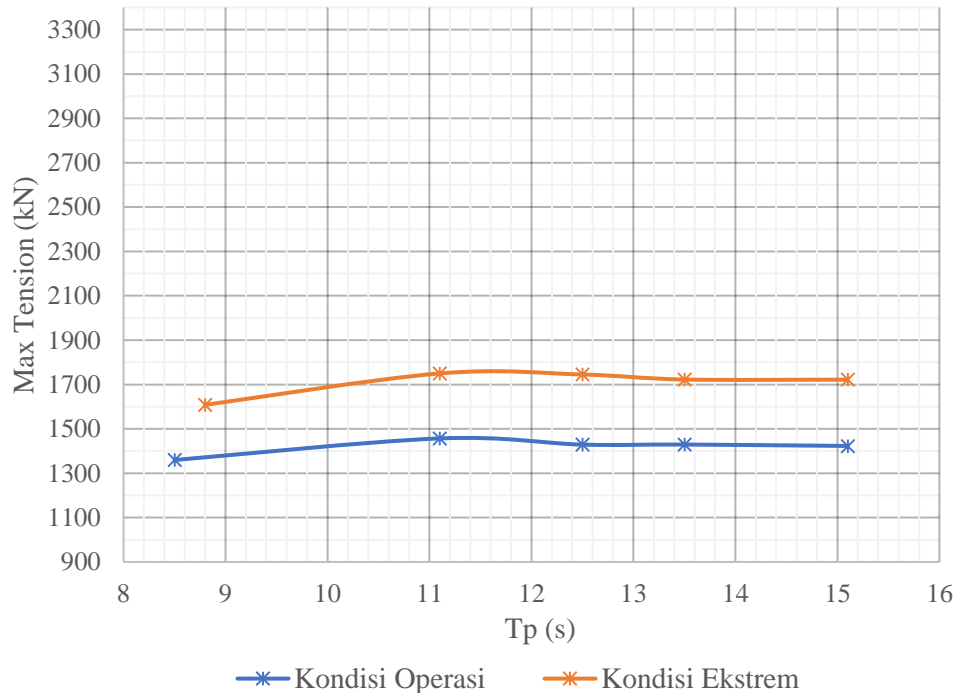
Dari tabel dan gambar di atas diketahui bahwa *tension* maksimal terbesar adalah saat simulasi *squall* 2.5 menit. Sedangkan *maximum tension* dengan nilai terendah baik kondisi operasi maupun kondisi ekstrem adalah saat beban lingkungan normal (*non-squall*).

4.6.1.4. Arah Pembebanan 135°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 135° merupakan *quartering head seas*, sehingga hasil *tension* maksimum untuk durasi *squall* 10 menit dengan variasi T_p dapat dilihat pada **Tabel 4-13**. Sedangkan visualisasi berupa grafik dari **Tabel 4-13** dapat dilihat pada **Gambar 4.29** di bawah ini.

Tabel 4-13 Hasil *tension* maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 135°

Kondisi Operasi			Kondisi Ekstrem		
Line 6		Max Tension (kN)	Line 6		Max Tension (kN)
Squall (Hs = 2.2 m)	$T_p = 8.5$ s	1359.47	Squall (Hs = 3.2 m)	$T_p = 8.8$ s	1608.19
	$T_p = 11.1$ s	1456.95		$T_p = 11.1$ s	1750.04
	$T_p = 12.5$ s	1428.90		$T_p = 12.5$ s	1745.02
	$T_p = 13.5$ s	1429.27		$T_p = 13.5$ s	1722.42
	$T_p = 15.1$ s	1422.90		$T_p = 15.1$ s	1721.78



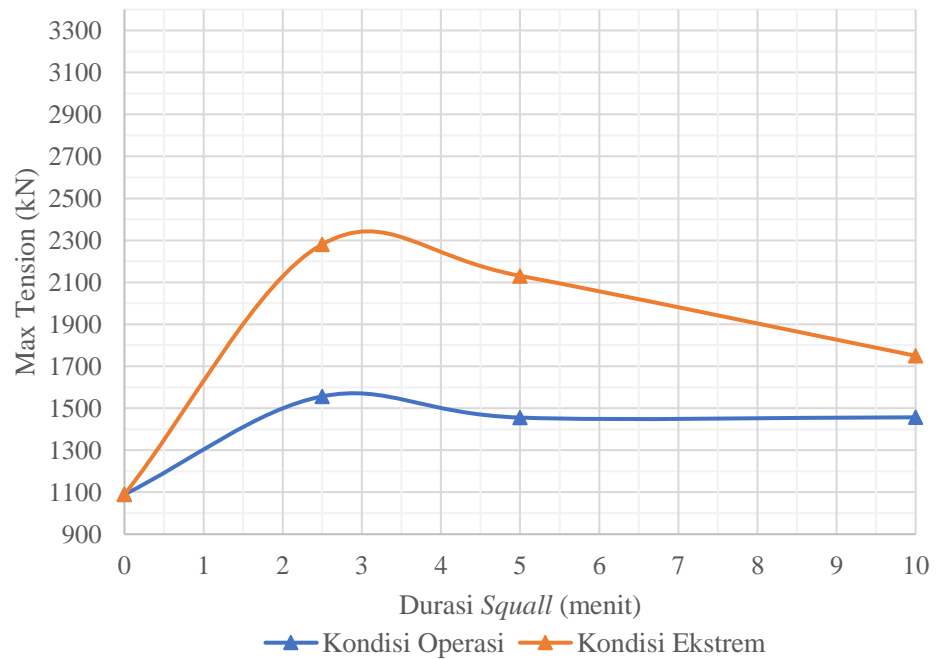
Gambar 4.29 Grafik *tension* maksimal durasi *squall* 10 menit pada arah pembebanan 135°

Dari tabel dan gambar di atas diketahui bahwa nilai *maximum tension* terbesar adalah pada kondisi *squall* $T_p = 11.1$ s untuk kondisi operasi dan

kondisi *squall* $T_p = 11.1$ s untuk kondisi ekstrem. Selanjutnya hasil *tension* maksimal pada durasi *squall* 10 menit di atas akan dibandingkan dengan simulasi *squall* lain yaitu *squall* durasi 2.5 menit dan *squall* durasi 5 menit serta kondisi *non-squall*. Berikut di bawah ini merupakan tabel dan gambar grafik *tension* maksimal untuk semua simulasi *squall*.

Tabel 4.14 Hasil *tension* maksimal untuk arah pembebanan 135°

Kondisi Operasi		Kondisi Ekstrem	
<i>Line 6</i>	<i>Max Tension</i> (kN)	<i>Line 6</i>	<i>Max Tension</i> (kN)
<i>Normal Condition</i> ($H_s = 1.7$ m; $T_p = 8.4$ s)	1089.56	<i>Normal Condition</i> ($H_s = 2.3$ m; $T_p = 8.7$ s)	1089.56
<i>Squall 2.5 menit</i> ($H_s=2.7$ m; $T_p=8.5$ s)	1556.67	<i>Squall 2.5 menit</i> ($H_s=3.7$ m; $T_p=8.8$ s)	2281.20
<i>Squall 5 menit</i> ($H_s=2.5$ m; $T_p=8.5$ s)	1455.62	<i>Squall 5 menit</i> ($H_s=3.5$ m; $T_p=8.8$ s)	2130.90
<i>Squall 10 menit</i> ($H_s=2.2$ m; $T_p=11.1$ s)	1456.95	<i>Squall 10 menit</i> ($H_s=3.2$ m; $T_p=11.1$ s)	1750.04



Gambar 4.30 Grafik *tension* maksimal arah pembebanan 135°

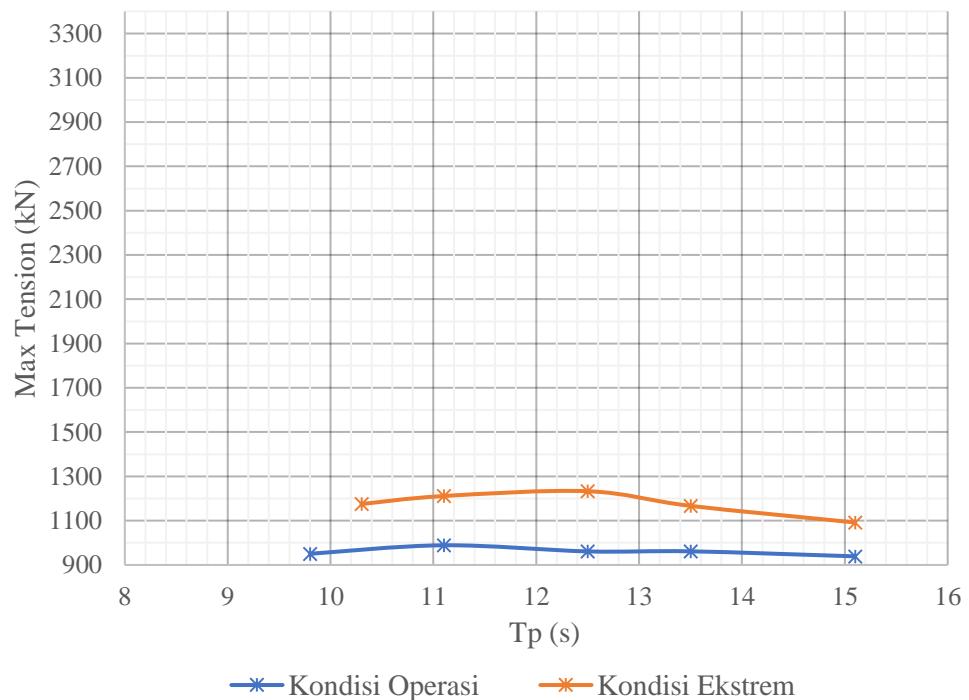
Dari tabel dan gambar di atas diketahui bahwa *tension* maksimal terbesar adalah saat simulasi *squall* 2.5 menit. Sedangkan *maximum tension* dengan nilai terendah baik kondisi operasi maupun kondisi ekstrem adalah saat beban lingkungan normal (*non-squall*).

4.6.1.5. Arah Pembebanan 180°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 180° merupakan *head seas*, sehingga hasil *tension* maksimum untuk durasi *squall* 10 menit dengan variasi T_p dapat dilihat pada **Tabel 4-15**. Sedangkan visualisasi berupa grafik dari **Tabel 4-15** dapat dilihat pada **Gambar 4.31** di bawah ini.

Tabel 4-15 Hasil *tension* maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 180°

Kondisi Operasi			Kondisi Ekstrem		
Line 4		Max Tension (kN)	Line 4		Max Tension (kN)
Squall (Hs = 5.0 m)	$T_p = 9.8$ s	950.37	Squall (Hs = 7.0 m)	$T_p = 10.3$ s	1175.02
	$T_p = 11.1$ s	988.90		$T_p = 11.1$ s	1211.40
	$T_p = 12.5$ s	961.27		$T_p = 12.5$ s	1233.02
	$T_p = 13.5$ s	961.62		$T_p = 13.5$ s	1166.89
	$T_p = 15.1$ s	938.90		$T_p = 15.1$ s	1091.84



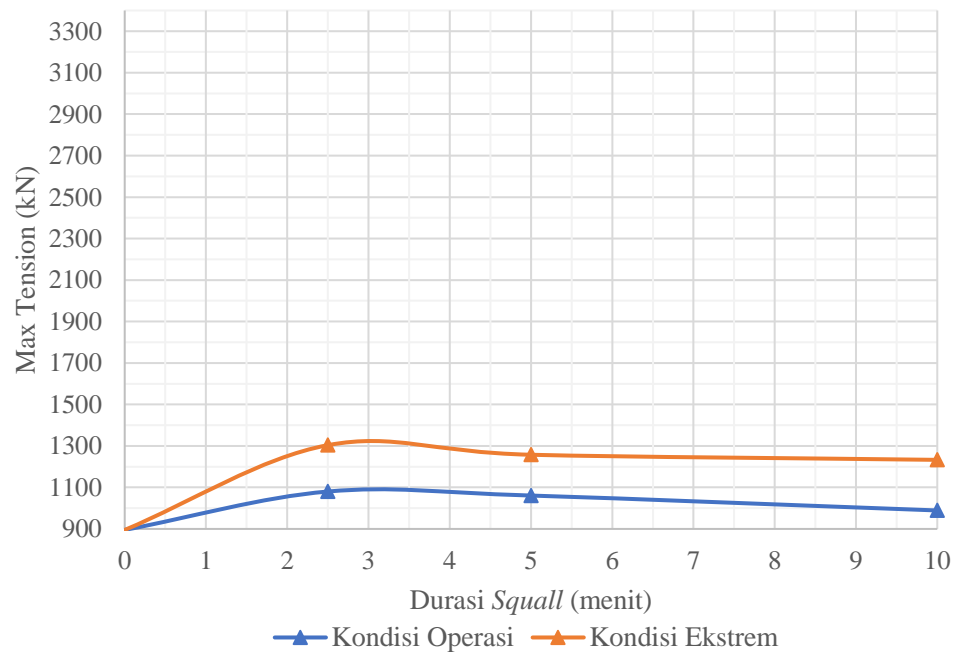
Gambar 4.31 Grafik *tension* maksimal durasi *squall* 10 menit pada arah pembebanan 180°

Dari tabel dan gambar di atas diketahui bahwa nilai *maximum tension* terbesar adalah pada kondisi *squall* $T_p = 11.1$ s untuk kondisi operasi dan

kondisi *squall* $T_p = 12.5$ s untuk kondisi ekstrem. Selanjutnya hasil *tension* maksimal pada durasi *squall* 10 menit di atas akan dibandingkan dengan simulasi *squall* lain yaitu *squall* durasi 2.5 menit dan *squall* durasi 5 menit serta kondisi *non-squall*. Berikut di bawah ini merupakan tabel dan gambar grafik *tension* maksimal untuk semua simulasi *squall*.

Tabel 4-16 Hasil *tension* maksimal untuk arah pembebanan 180°

Kondisi Operasi		Kondisi Ekstrem	
Line 6	Max Tension (kN)	Line 6	Max Tension (kN)
Normal Condition (Hs = 3.7 m; $T_p = 9.6$ s)	895.02	Normal Condition (Hs = 5.0 m; $T_p = 10.3$ s)	895.02
<i>Squall</i> 2.5 menit (Hs=6.0 m; $T_p=9.8$ s)	1080.33	<i>Squall</i> 2.5 menit (Hs=8.1 m; $T_p=10.4$ s)	1303.89
<i>Squall</i> 5 menit (Hs=5.7 m; $T_p=9.8$ s)	1060.87	<i>Squall</i> 5 menit (Hs=7.7 m; $T_p=10.4$ s)	1257.61
<i>Squall</i> 10 menit (Hs=5.0 m; $T_p=11.1$ s)	988.90	<i>Squall</i> 10 menit (Hs=7.0 m; $T_p=12.5$ s)	1233.02



Gambar 4.32 Grafik *tension* maksimal arah pembebanan 180°

Dari tabel dan gambar di atas diketahui bahwa *tension* maksimal terbesar adalah saat simulasi *squall* 2.5 menit. Sedangkan *maximum tension* dengan nilai terendah baik kondisi operasi maupun kondisi ekstrem adalah saat beban lingkungan normal (*non-squall*).

Dari seluruh arah pembebanan diketahui bahwa *tension maximum* terbesar adalah pada saat kondisi pembebanan lingkungan *squall*. **Tabel 4-17** di bawah ini merupakan hasil *maximum tension* terbesar di setiap arah pembebanan untuk durasi *squall* 10 menit.

Tabel 4-17 *Maximal tension* terbesar pada setiap arah pembebanan untuk durasi *squall* 10 menit

Arah	Kondisi Operasi	<i>Max Tension</i> (kN)	Kondisi Ekstrem	<i>Max Tension</i> (kN)
0°	<i>Squall</i> Tp = 13.5 s	940	<i>Squall</i> Tp = 12.5 s	999
45°	<i>Squall</i> Tp = 12.5 s	1634	<i>Squall</i> Tp = 11.1 s	2890
90°	<i>Squall</i> Tp = 12.5 s	1692	<i>Squall</i> Tp = 11.1 s	2883
135°	<i>Squall</i> Tp = 11.1 s	1457	<i>Squall</i> Tp = 11.1 s	1750
180°	<i>Squall</i> Tp = 11.1 s	989	<i>Squall</i> Tp = 12.5 s	1233

Kenaikan tertinggi nilai *maximum tension* dari pembebanan lingkungan normal (*non-squall*) ke pembebanan *squall* durasi 10 menit untuk arah pembebanan 0° adalah 3% untuk kondisi operasi dan 5% untuk kondisi ekstrem. Untuk arah 45° sebesar 27% pada kondisi operasi dan 70% pada kondisi ekstrem. Arah 90° bernilai sebesar 30% pada kondisi operasi dan 54% pada kondisi ekstrem. Dan arah 135°, 34% pada kondisi operasi dan 21% pada kondisi ekstrem. Serta arah 180° bernilai 10% pada kondisi operasi dan 24% pada kondisi ekstrem.

Sedangkan jika membandingkan hasil *tension* maksimal dengan variasi durasi *squall*, maka *tension* maksimum terbesar selalu terjadi saat pembebanan lingkungan dengan durasi *squall* 2.5 menit untuk semua arah pembebanan. Hal tersebut berlaku untuk kondisi operasi maupun kondisi ekstrem.

4.6.2 Analisis *Offset* Maksimum FSO Belida

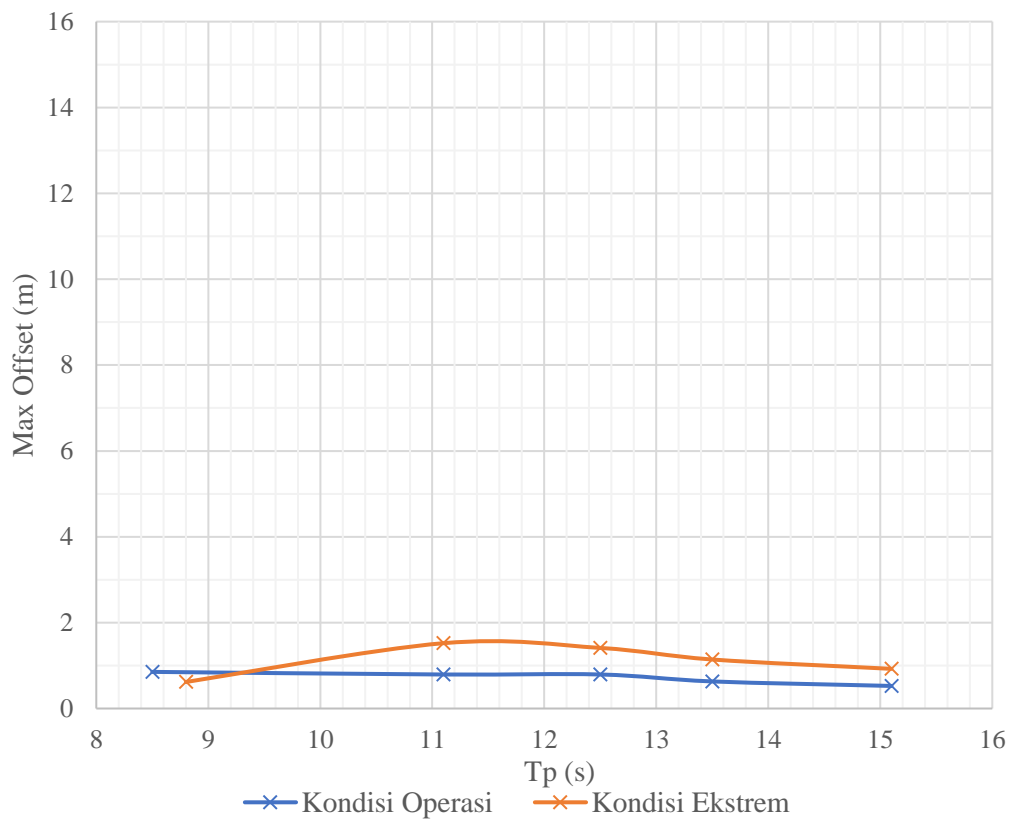
Analisis *offset* FSO Belida dilakukan untuk mengetahui respon gerakan kapal terhadap beban lingkungan. Berikut merupakan hasil *offset* maksimal FSO Belida. Di bawah ini merupakan hasil *offset* akibat durasi *squall* 10 menit pada tiap arah pembebanan, kemudian akan dibandingkan dengan *offset* maksimal akibat beban lingkungan dengan durasi *squall* 2.5 menit dan 5 menit. Analisis *offset* ditinjau pada sumbu X dan sumbu Y.

4.6.2.1. Arah pembebanan 0°

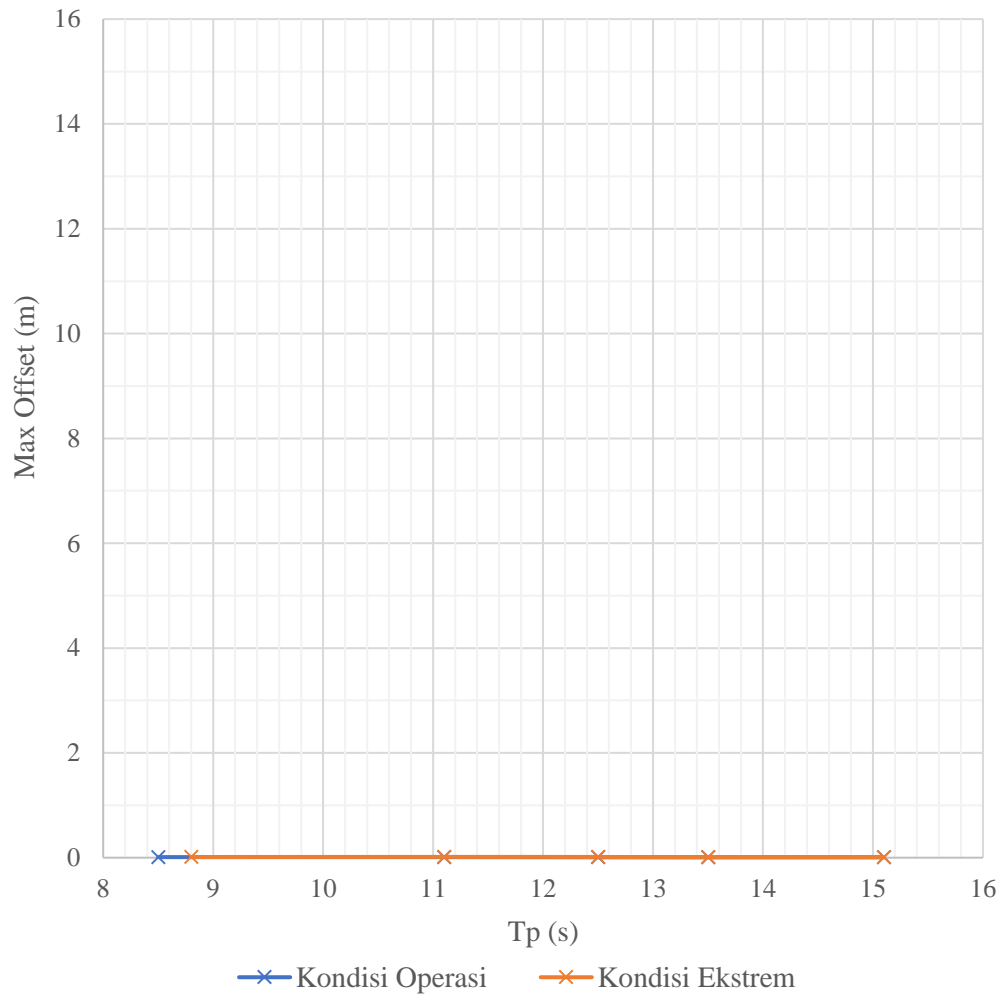
Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 0° merupakan *following seas*, sehingga hasil *offset* maksimum untuk durasi *squall* 10 menit dengan variasi T_p dapat dilihat pada **Tabel 4-18**. Sedangkan visualisasi berupa grafik dari **Tabel 4-18** dapat dilihat pada **Gambar 4.33** dan **4.34** di bawah ini.

Tabel 4-18 Hasil *Offset* Maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 0°

Kondisi Operasi				Kondisi Ekstrem			
<i>Offset</i>		X	Y	<i>Offset</i>		X	Y
<i>Squall</i> (Hs = 2.2 m)	$T_p = 8.5$ s	0.9	0.0	<i>Squall</i> (Hs = 3.2 m)	$T_p = 8.8$ s	0.6	0.0
	$T_p = 11.1$ s	0.8	0.0		$T_p = 11.1$ s	1.5	0.0
	$T_p = 12.5$ s	0.8	0.0		$T_p = 12.5$ s	1.4	0.0
	$T_p = 13.5$ s	0.6	0.0		$T_p = 13.5$ s	1.1	0.0
	$T_p = 15.1$ s	0.5	0.0		$T_p = 15.1$ s	0.9	0.0



Gambar 4.33 Grafik *Offset* X Maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 0°



Gambar 4.34 Grafik *Offset Y* Maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 0°

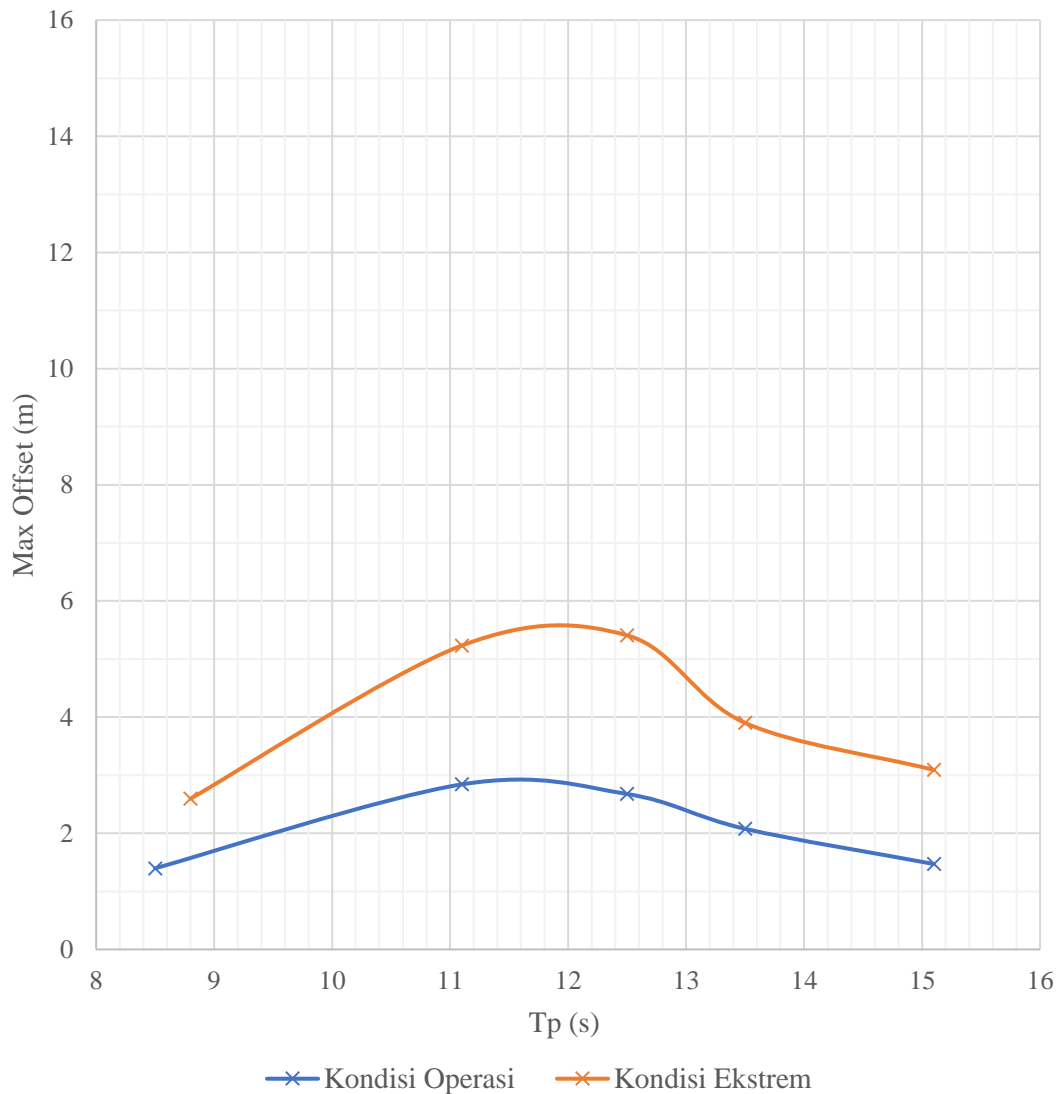
Dari tabel dan gambar di atas diketahui bahwa nilai *maximal offset X* terbesar adalah pada kondisi operasi adalah saat pembebanan *squall* $T_p = 8.4$ s dan saat kondisi ekstrem adalah saat pembebanan *squall* $T_p = 12.5$ s. Sedangkan pada sumbu Y tidak terjadi *offset*.

4.6.2.2. Arah pembebanan 45°

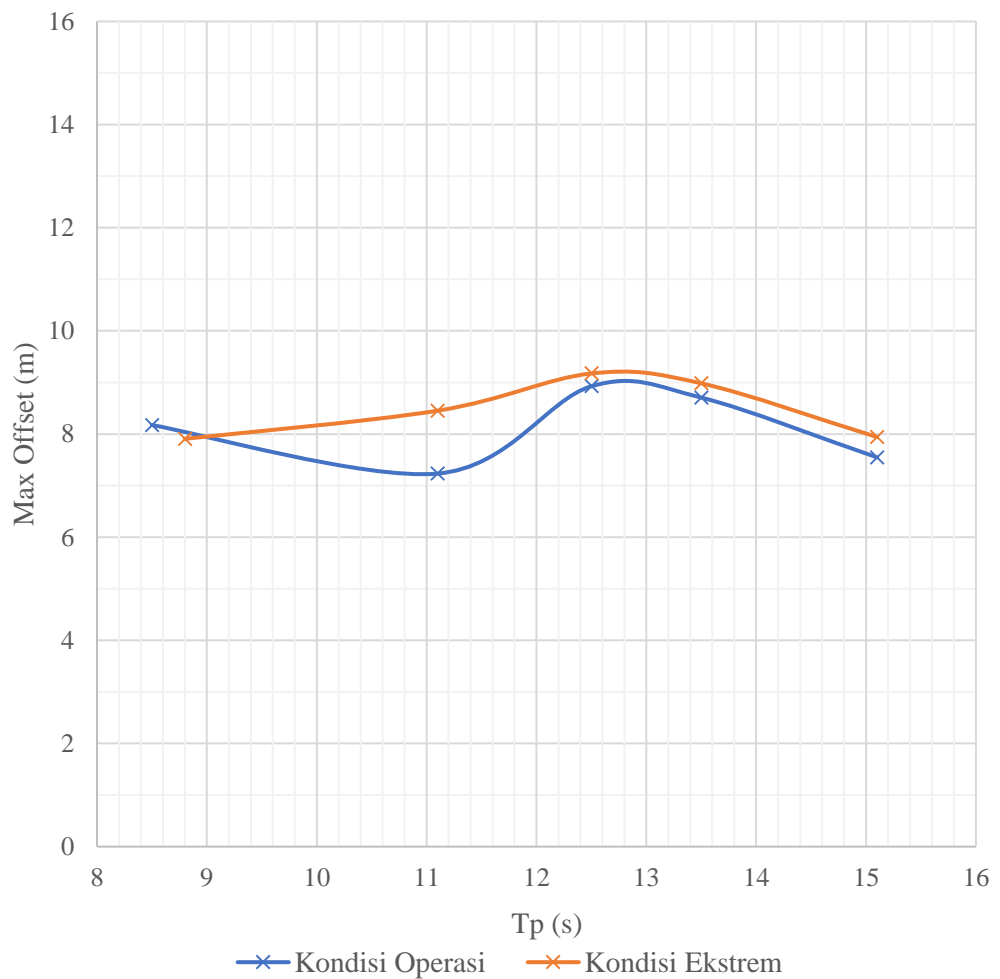
Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 45° merupakan *quartering following seas*, sehingga hasil *offset maksimum* maksimum untuk durasi *squall* 10 menit dengan variasi T_p dapat dilihat pada **Tabel 4-19**. Sedangkan visualisasi berupa grafik dari **Tabel 4-19** dapat dilihat pada **Gambar 4.35** dan **4.36** di bawah ini.

Tabel 4-19 Hasil *Offset* Maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 45°

Kondisi Operasi				Kondisi Ekstrem			
<i>Offset</i>		X	Y	<i>Offset</i>		X	Y
<i>Squall</i> (Hs = 2.2 m)	Tp = 8.5 s	1.4	8.2	<i>Squall</i> (Hs = 3.2 m)	Tp = 8.8 s	2.6	7.9
	Tp = 11.1 s	2.8	7.2		Tp = 11.1 s	5.2	8.5
	Tp = 12.5 s	2.7	8.9		Tp = 12.5 s	5.4	9.2
	Tp = 13.5 s	2.1	8.7		Tp = 13.5 s	3.9	9.0
	Tp = 15.1 s	1.5	7.5		Tp = 15.1 s	3.1	7.9



Gambar 4.35 Grafik *Offset* X Maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 45°



Gambar 4.36 Grafik *Offset Y* Maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 45°

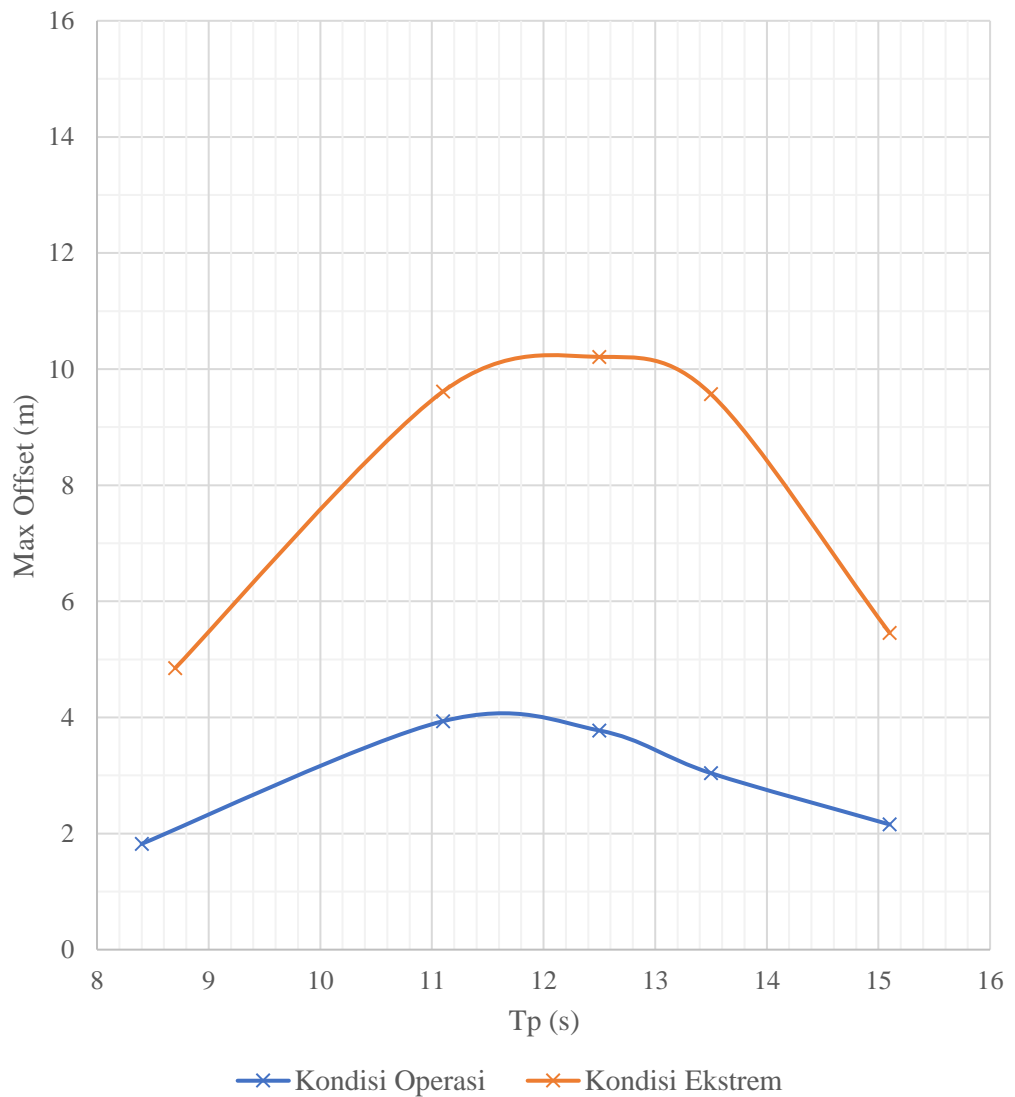
Dari tabel dan gambar di atas diketahui bahwa nilai *maximum offset X* terbesar adalah pada kondisi operasi dan ekstrem adalah saat pembebanan *squall* $T_p = 11.1$ s dan $T_p = 12.5$ s. Sedangkan pada *Offset Y* terbesar adalah pada kondisi operasi dan ekstrem adalah saat pembebanan *squall* $T_p = 12.5$ s.

4.6.2.3. Arah pembebanan 90°

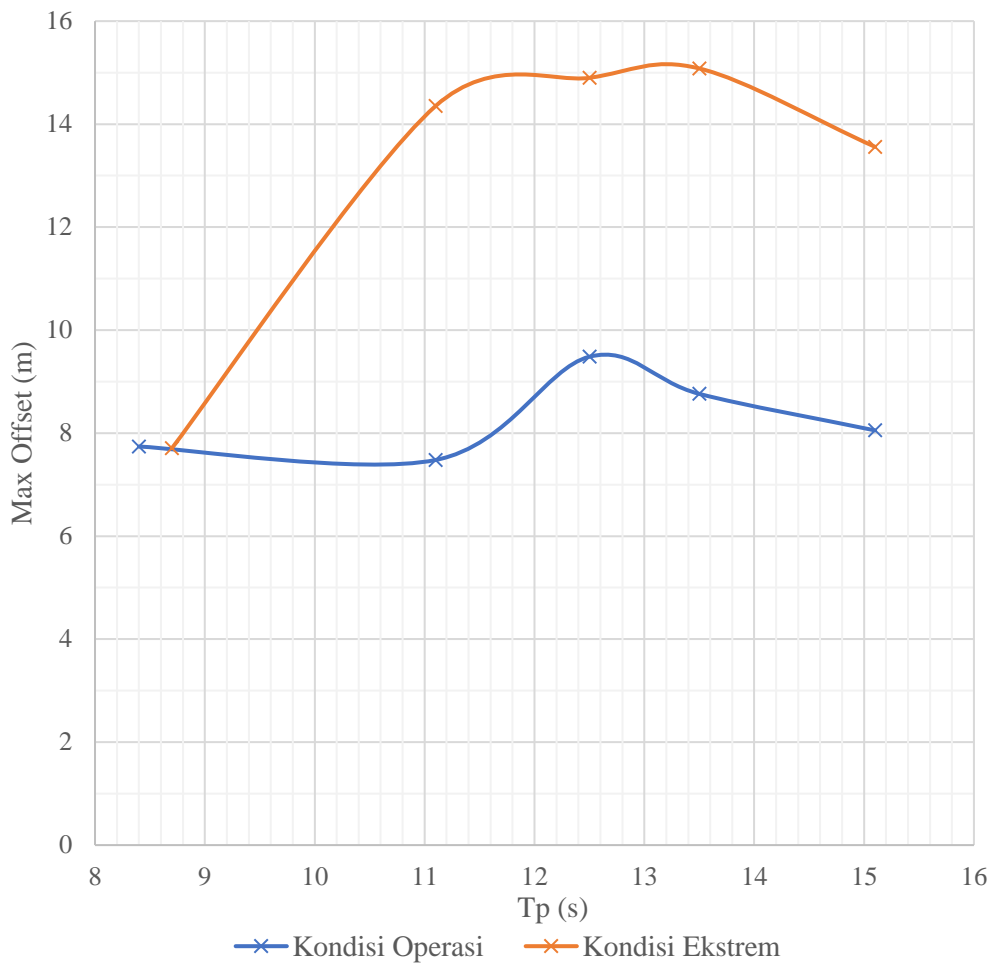
Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 90° merupakan *head seas*, sehingga hasil *offset maksimum* maksimum untuk durasi *squall* 10 menit dengan variasi T_p dapat dilihat pada **Tabel 4-20**. Sedangkan visualisasi berupa grafik dari **Tabel 4-20** dapat dilihat pada **Gambar 4.37** dan **4.38** di bawah ini.

Tabel 4-20 Hasil *Offset* Maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 90°

Kondisi Operasi				Kondisi Ekstrem			
<i>Offset</i>		X	Y	<i>Offset</i>		Y	
<i>Squall</i> (Hs = 2.0 m)	Tp = 8.4 s	1.8	7.7	<i>Squall</i> (Hs = 2.7 m)	Tp = 8.6 s	4.8	7.7
	Tp = 11.1 s	3.9	7.5		Tp = 11.1 s	9.6	14.4
	Tp = 12.5 s	3.8	9.5		Tp = 12.5 s	10.2	14.9
	Tp = 13.5 s	3.0	8.8		Tp = 13.5 s	9.6	15.1
	Tp = 15.1 s	2.2	8.1		Tp = 15.1 s	5.5	13.6



Gambar 4.37 Grafik *Offset* X Maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 90°



Gambar 4.38 Grafik *Offset Y* Maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 90°

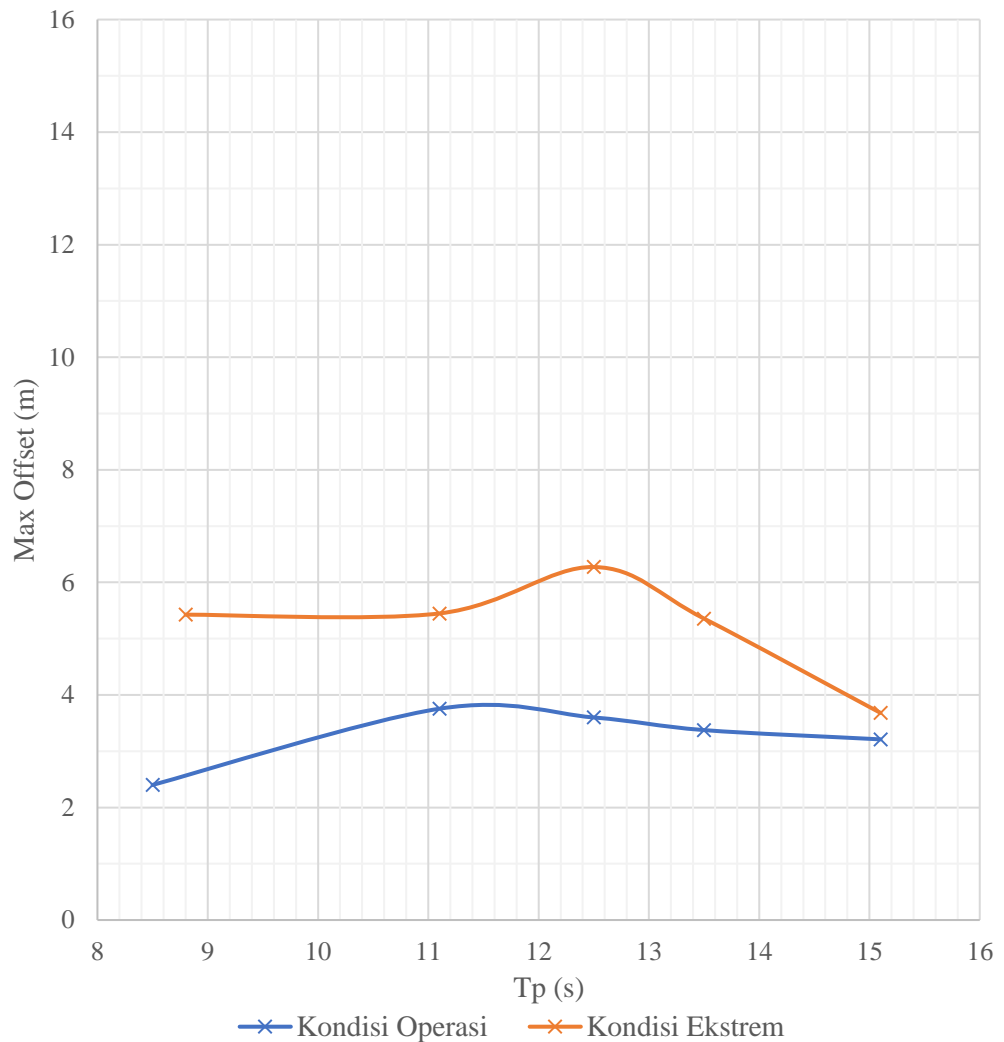
Dari tabel dan gambar di atas diketahui bahwa nilai *maximum offset* sumbu X terbesar adalah pada kondisi operasi dan ekstrem adalah saat pembebanan *squall* $T_p = 11.1$ s dan $T_p = 12.5$ s. Sedangkan pada sumbu Y terbesar adalah pada kondisi operasi dan ekstrem berturut-turut adalah saat pembebanan *squall* $T_p = 12.5$ dan $T_p = 13.5$ s.

4.6.2.4. Arah pembebanan 135°

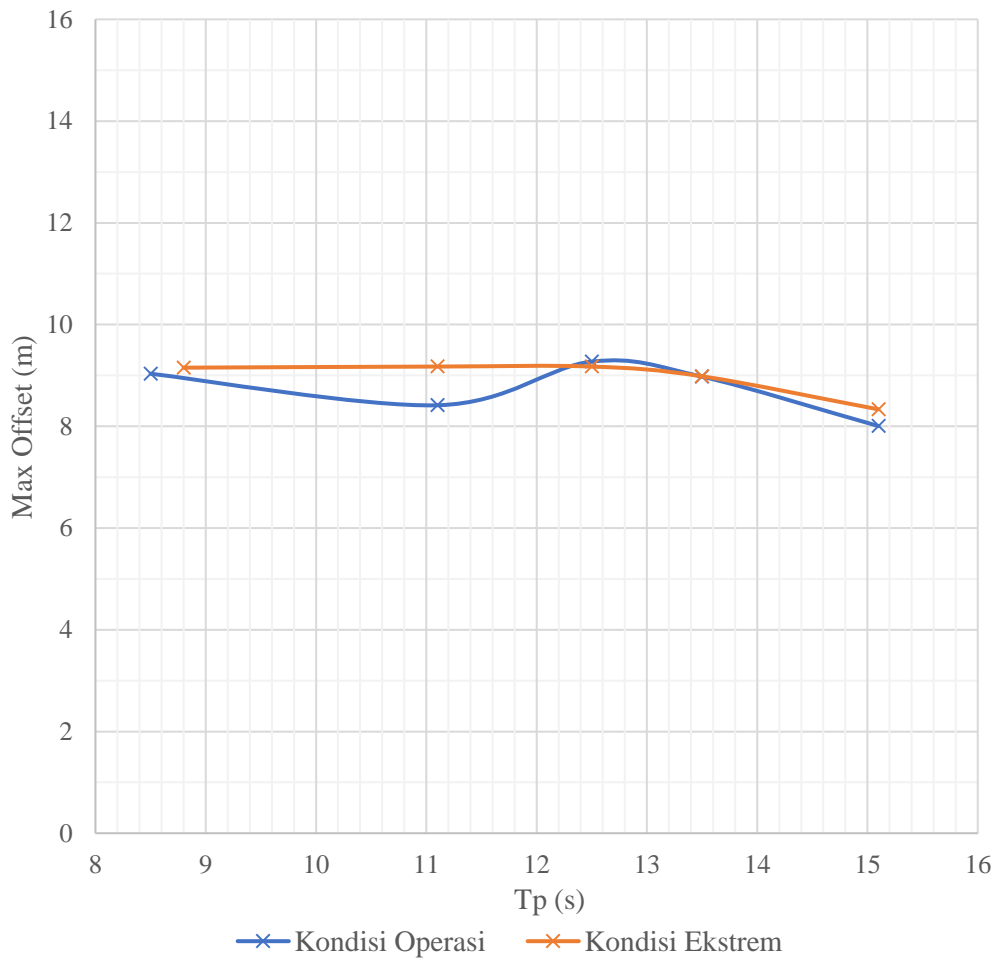
Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 135° merupakan *quartering head seas*, sehingga hasil *offset maksimum* maksimum untuk durasi *squall* 10 menit dengan variasi T_p dapat dilihat pada **Tabel 4-21**. Sedangkan visualisasi berupa grafik dari **Tabel 4-21** dapat dilihat pada **Gambar 4.39** dan **4.40** di bawah ini.

Tabel 4-21 Hasil *Offset* Maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 135°

Kondisi Operasi				Kondisi Ekstrem			
<i>Offset</i>		X	Y	<i>Offset</i>		X	Y
<i>Squall</i> (Hs = 2.2 m)	Tp = 8.5 s	2.4	9.0	<i>Squall</i> (Hs = 3.2 m)	Tp = 8.8 s	5.4	9.2
	Tp = 11.1 s	3.8	8.4		Tp = 11.1 s	5.4	9.2
	Tp = 12.5 s	3.6	9.3		Tp = 12.5 s	6.3	9.2
	Tp = 13.5 s	3.4	9.0		Tp = 13.5 s	5.4	9.0
	Tp = 15.1 s	3.2	8.0		Tp = 15.1 s	3.7	8.3



Gambar 4.39 Grafik *Offset* X Maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 135°



Gambar 4.40 Grafik *Offset X* Maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 135°

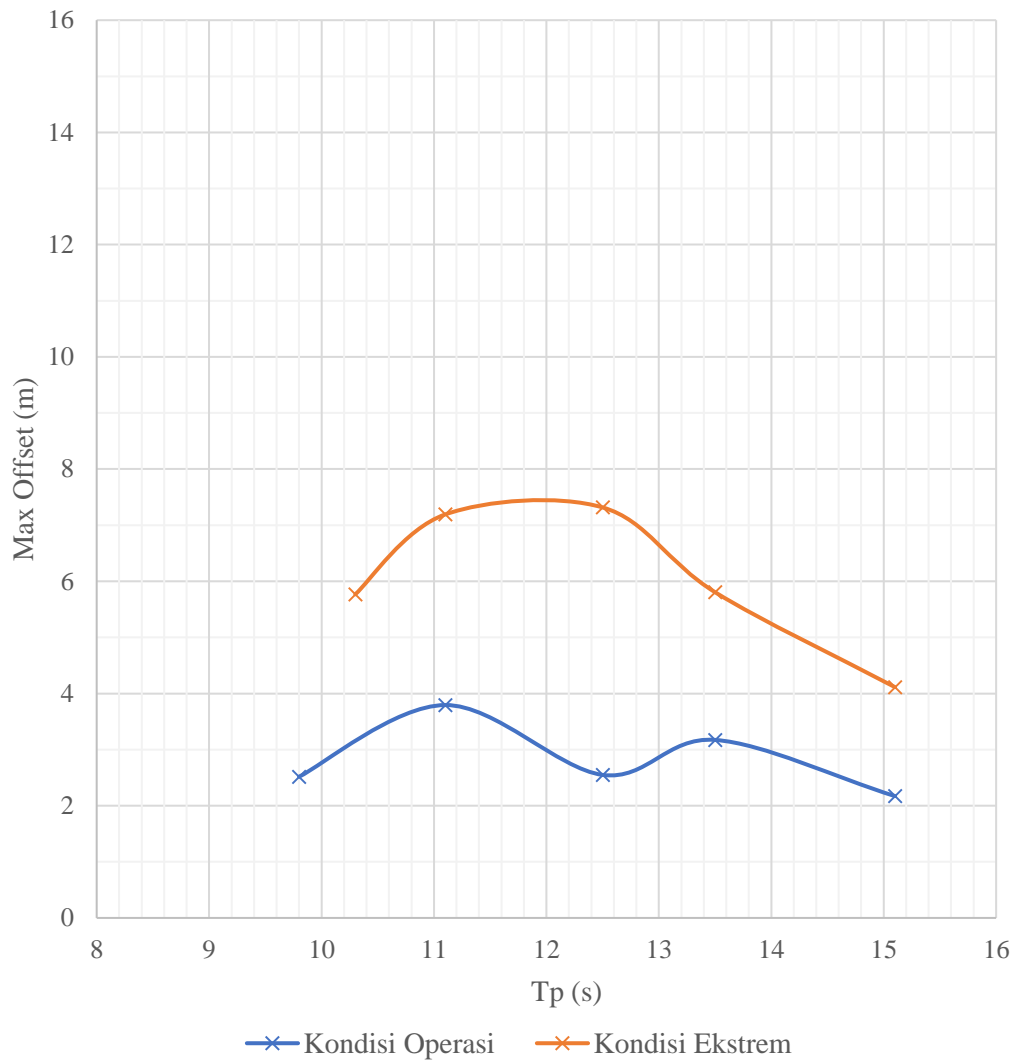
Dari tabel dan gambar di atas diketahui bahwa nilai *maximum offset X* terbesar adalah pada kondisi operasi dan ekstrem adalah saat pembebanan *squall* $T_p = 11.1$ s dan $T_p = 12.5$ s. Sedangkan pada *Offset Y* terbesar adalah pada kondisi operasi dan ekstrem adalah saat pembebanan *squall* $T_p = 12.5$ s.

4.6.2.5. Arah pembebanan 180°

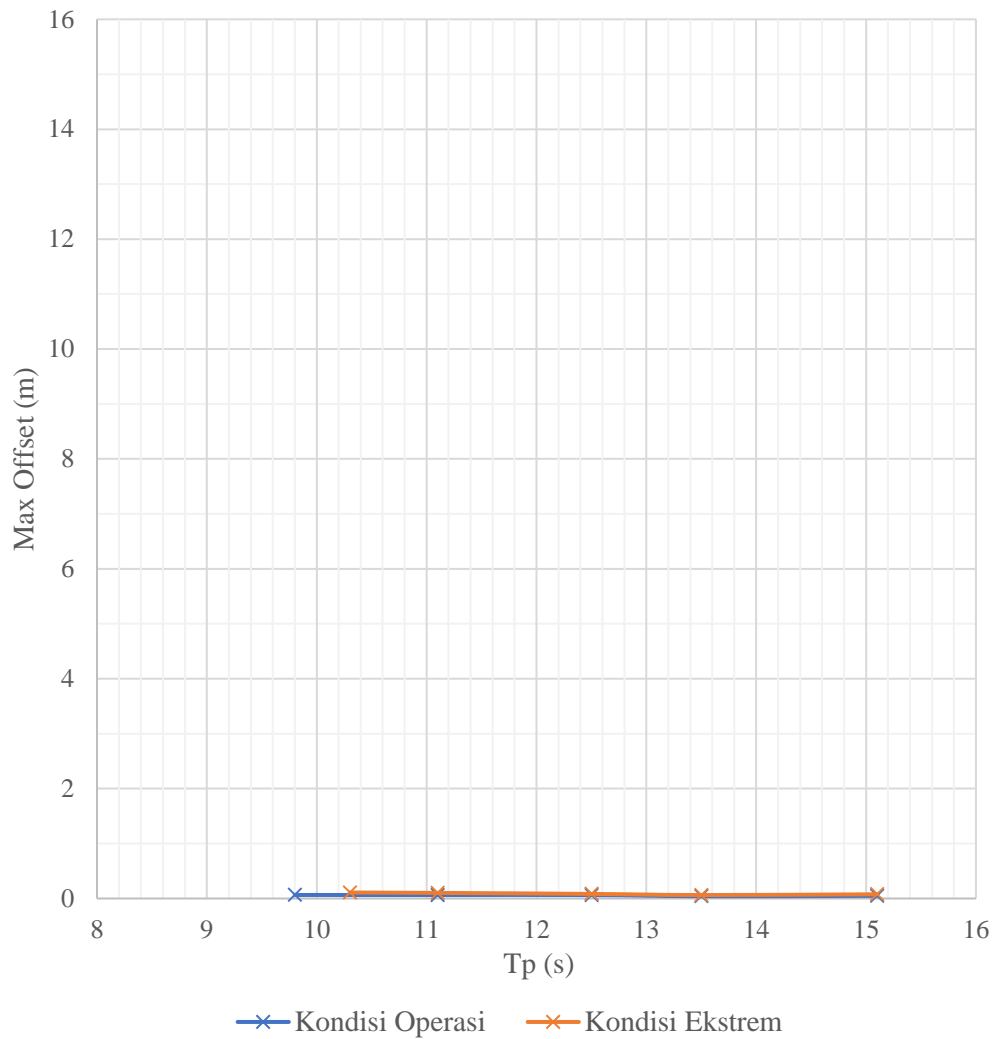
Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 135° merupakan *quartering head seas*, sehingga hasil *offset maksimum* maksimum untuk durasi *squall* 10 menit dengan variasi T_p dapat dilihat pada **Tabel 4-22**. Sedangkan visualisasi berupa grafik dari **Tabel 4-22** dapat dilihat pada **Gambar 4.41** dan **4.42** di bawah ini.

Tabel 4-22 Hasil *Offset* Maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 180°

Kondisi Operasi				Kondisi Ekstrem			
<i>Offset</i>		X	Y	<i>Offset</i>		X	Y
<i>Squall</i> (Hs = 5.0 m)	Tp = 9.8 s	2.5	0.1	<i>Squall</i> (Hs = 7.0 m)	Tp = 10.3 s	5.8	0.1
	Tp = 11.1 s	3.8	0.1		Tp = 11.1 s	7.2	0.1
	Tp = 12.5 s	2.5	0.1		Tp = 12.5 s	7.3	0.1
	Tp = 13.5 s	3.2	0.0		Tp = 13.5 s	5.8	0.1
	Tp = 15.1 s	2.2	0.0		Tp = 15.1 s	4.1	0.1



Gambar 4.41 Grafik *Offset* X Maksimal durasi *squall* 10 menit untuk arah pembebanan 180°



Gambar 4.42 Grafik *offset* Y maksimal untuk arah pembebanan 180°

Dari tabel dan gambar di atas diketahui bahwa nilai *maximum offset* X terbesar adalah pada kondisi operasi dan ekstrem adalah berturut-turut saat pembebanan *squall* $T_p = 11.1$ s dan $T_p = 12.5$ s. Sedangkan pada *Offset* Y hanya mengalami *offset* 0.1 m.

Kenaikan tertinggi nilai maximal *offset* untuk setiap arah pembebanan dari lingkungan normal ke pembebanan *squall* durasi 10 menit dijelaskan pada **Tabel 4-23** di bawah ini.

Tabel 4-23 *Maximum Offset* terbesar pada setiap arah pembebanan

Arah	Kondisi Operasi		Kondisi Ekstrem	
	Δ <i>Offset</i> Tertinggi		Δ <i>Offset</i> Tertinggi	
	X (%)	Y (%)	X (%)	Y (%)
0°	138	0	230	115

Arah	Kondisi Operasi		Kondisi Ekstrem	
	Δ Offset Tertinggi		Δ Offset Tertinggi	
	X (%)	Y (%)	X (%)	Y (%)
45°	352	56	246	30
90°	271	65	367	115
135°	261	60	159	5
180°	192	0	139	73

Kenaikan tertinggi nilai *offset* dari pembebanan lingkungan normal ke pembebanan *squall* durasi 10 menit untuk arah pembebanan 0° adalah 138% pada sumbu X dan 0% pada sumbu Y untuk kondisi operasi dan 230% pada sumbu X dan 115% pada sumbu Y untuk kondisi ekstrem. Untuk arah 45° sebesar 352% pada sumbu X dan 56% pada sumbu Y untuk kondisi operasi dan 246% pada sumbu X dan 30% pada sumbu Y untuk kondisi ekstrem. Arah 90° bernilai sebesar 271% pada sumbu X dan 65% pada sumbu Y untuk kondisi operasi dan 367% pada sumbu X dan 115% pada sumbu Y untuk kondisi ekstrem. Dan arah 135°, 261% pada sumbu X dan 60% pada sumbu Y untuk kondisi operasi dan 159% pada sumbu X dan 5% pada sumbu Y untuk kondisi ekstrem. Serta arah 180° bernilai 192% pada sumbu X untuk kondisi operasi dan 139% pada sumbu X dan 73% pada sumbu Y untuk kondisi ekstrem.

Berdasar **Tabel 4-23** di atas, untuk mengetahui pengaruh *offset* akibat durasi waktu *squall* maka hasil *offset* maksimum dari *squall* durasi 10 menit per tiap arah pembebanan di atas akan dibandingkan dengan hasil *offset* pembebanan lingkungan *squall* durasi 2.5 menit dan 5 menit, seperti tabel di bawah ini.

Tabel 4-24 *Maximum Offset X* terbesar dengan variasi durasi *squall* pada setiap arah pembebanan (kondisi operasi)

Offset X	0°	45°	90°	135°	180°
<i>Non-Squall</i>	0.36	0.63	1.06	1.00	1.30
<i>Squall</i> 2.5 menit	0.53	2.34	3.14	3.00	3.74
<i>Squall</i> 5 menit	0.48	1.91	2.53	2.52	3.41
<i>Squall</i> 10 menit	0.85	2.84	3.94	3.59	3.79

Dari tabel di atas diketahui bahwa saat kondisi operasi, *offset* maksimal terbesar pada sumbu X terjadi saat dikenai beban lingkungan *squall* durasi 10 menit untuk semua arah pembebanan. Berikut di bawah ini merupakan tabel *offset* maksimum pada sumbu Y untuk kondisi operasi, yaitu sebagai berikut.

Tabel 4-25 *Maximum offset* Y terbesar dengan variasi durasi *squall* pada setiap arah pembebanan (kondisi operasi)

Offset Y	0°	45°	90°	135°	180°
<i>Non-Squall</i>	0.01	5.71	5.75	5.78	0.04
<i>Squall</i> 2.5 menit	0.01	12.97	12.99	13.31	0.08
<i>Squall</i> 5 menit	0.01	11.21	11.13	11.58	0.08
<i>Squall</i> 10 menit	0.01	8.93	9.48	9.27	0.06

Dari tabel di atas diketahui bahwa saat kondisi operasi, *offset* maksimal terbesar pada sumbu Y terjadi saat dikenai beban lingkungan *squall* durasi 2.5 menit untuk semua arah pembebanan. Selanjutnya untuk mengetahui hasil *offset* maksimum pada kondisi ekstrem, maka ditunjukkan pada **Tabel 4-26** dan **Tabel 4-27** di bawah ini.

Tabel 4-26 *Maximum offset* X terbesar dengan variasi durasi *squall* pada setiap arah pembebanan (kondisi ekstrem)

Offset X	0°	45°	90°	135°	180°
<i>Non-Squall</i>	0.46	1.56	2.19	2.43	3.06
<i>Squall</i> 2.5 menit	0.96	5.44	6.65	6.78	8.11
<i>Squall</i> 5 menit	0.89	4.82	5.85	6.09	7.35
<i>Squall</i> 10 menit	1.52	5.41	10.21	5.41	7.32

Dari tabel di atas diketahui bahwa saat kondisi ekstrem, *offset* maksimal terbesar pada sumbu X terjadi akibat pembebanan *squall* durasi 2.5 menit untuk arah pembebanan 45°, 135°, dan 180°. Sedangkan untuk arah pembebanan 0° dan 90°, *offset* maksimal terjadi akibat pembebanan *squall* durasi 10 menit.

Tabel 4-27 *Maximum offset* Y terbesar dengan variasi durasi *squall* pada setiap arah pembebanan (kondisi ekstrem)

Offset Y	0°	45°	90°	135°	180°
<i>Non-Squall</i>	0.01	7.91	7.01	9.06	0.06

Offset Y	0°	45°	90°	135°	180°
<i>Squall</i> 2.5 menit	0.02	15.48	13.92	15.37	0.13
<i>Squall</i> 5 menit	0.02	14.07	12.60	14.77	0.12
<i>Squall</i> 10 menit	0.02	9.17	15.08	9.17	0.11

Berdasarkan tabel di atas diketahui bahwa saat kondisi ekstrem, *offset* maksimal terbesar pada sumbu Y terjadi saat dikenai beban lingkungan *squall* 2.5 menit untuk semua arah pembebanan. Nilai *offset* terbesar yaitu 15.48 saat arah pembebanan 45°.

Dari hasil *offset* di atas menunjukkan bahwa pada sumbu X, *offset* maksimal dengan variasi durasi *squall* bersifat fluktuatif dalam menentukan perpindahan *offset* dimana bergantung pada setiap arah pembebanan. Namun pada sumbu Y menunjukkan bahwa *offset* terbesar diakibatkan durasi *squall* 2.5 menit pada semua arah pembebanan baik dalam kondisi operasi maupun kondisi ekstrem.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil studi yang telah dilakukan mengenai pembahasan analisis kekuatan *mooring line* pada *spread mooring* akibat *squall* dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk durasi *squall* 10 menit, tegangan tali tambat terbesar pada kondisi operasi terjadi pada arah 90° sebesar 1692 kN dan pada saat kondisi ekstrem sebesar 2890 kN dari arah 45° . *Offset* terbesar sumbu X terjadi sebesar 3.9 m dan sumbu Y sebesar 9.4 m dari arah 90° untuk kondisi operasi dan pada kondisi eskترم, *offset* maksimal sebesar 10.2 m pada sumbu X dan 15.1 m pada sumbu Y dari arah 90° . Namun jika berdasar panjang durasi *squall*, maka durasi *squall* 2.5 menit menghasilkan *tension* paling besar untuk semua arah pembebanan.
2. Tegangan tali tambat dan *offset* FSO Belida megalami kenaikan jika dikenai beban lingkungan *squall*. Kenaikan terbesar tegangan tali tambat pada durasi *squall* 10 menit untuk kondisi operasi terjadi sebesar 34% pada arah 135° dan untuk kondisi ekstrem terjadi kenaikan sebesar 70% pada arah 45° . Sedangkan kenaikan terbesar *offset* pada sumbu X terjadi sebesar 352% pada arah 45° dan sumbu Y sebesar 65% pada arah 90° untuk kondisi operasi. Untuk kenaikan *offset* kondisi ekstrem terjadi saat arah 90° sebesar 367% pada sumbu x dan 115% pada sumbu Y. Sedangkan pengaruh durasi *squall* pada tegangan tali tambat dan *offset* memberikan dampak berupa nilai yang lebih besar untuk tegangan dan *offset* sumbu Y jika durasi *squall* semakin pendek.
3. Variasi periode saat beban lingkungan *squall* tidak memberikan dampak cukup signifikan pada perubahan *tension* dan *offset*. Kenaikan *tension* terbesar terjadi sebesar 7% untuk kondisi operasi dan 15% untuk kondisi ekstrem pada arah 135° . Perubahan *offset* tertinggi hanya sebesar 2 m pada sumbu X dan Y untuk kondisi operasi dan 5 m dan 7 m pada sumbu X dan Y untuk kondisi ekstrem dimana terjadi dari arah pembebanan 90° .

5.2. Saran

Penelitian ini masih belum bisa dikatakan sempurna karena masih menyederhakan beberapa masalah dalam analisis. Untuk itu dalam penelitian selanjutnya diharapkan mempertimbangkan hal-hal seperti berikut :

1. Mempertimbangkan variasi arah angin dalam analisa *squall*.
2. Dapat dilanjutkan untuk menganalisa pengaruh *squall* dengan variasi *mooring system*.
3. Dalam melakukan studi selanjutnya dapat menghitung keandalan risiko akibat *squall*.

DAFTAR PUSTAKA

- ABS. 2018. *Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units*. USA. American Bureau of Shipping.
- API RP 2SK. 2005. *Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures*. Washington, D.C. USA. American Petroleum Institute.
- Barltrop, N. D. P. 1998. *Floating Structures : a Guide for Design vol 1*. Houston : CMPT.
- Chakrabarti, S. K. 2005. *Handbook of Offshore Engineering*. Boston USA. Computational Mechanics Publications Documents.
- Djarmiko, E. B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut Di Atas Gelombang Acak*. Surabaya : ITS Press.
- DNV-RP-F205. 2010. *Global Performance Analysis of Deepwater Floating Structures*. Norway.
- DNV CN30-5. 2000. *Environmental conditions and environmental loads*. Oslo: Det Norske Veritas.
- Duggal, A., Heyl, C., Izadparast, A.H., Minnebo, J., 2011. Response of FPSO systems to squalls, in: *Proceedings of the ASME 2011 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. Rotterdam. The Netherlands.
- Faltinsen, O.M. 1990. *Sea loads on ships and offshore structures*. New York (NY): Cambridge University.
- Jeans, G., Cooper, G., Yetsko, C., Bryan, G. 2014. Squall characterization in the Gulf of Mexico. *Paper presented at: 2014 Offshore Technology Conference*; May 5–8; Houston, TX.
- Kim, M.H., Koo, B.J., Mercier, R.M., Ward, E.G. 2005. *Vessel/mooring/riser coupled dynamic analysis of a turret-moored FPSO compared with OTRC experiment*. *Ocean Eng.* 32:1780–1802.
- Lloyd, A.R.J.M. 18=989. *Seakeeping :Ship Behaviour in Rough Weather*. Ellis Horwood Ltd., Chichester, UK.
- Liu, L., Ran, L., Sun, X. 2015. Analysis of the structure and propagation of a simulated squall line on 14 June 2009. *AdvAtmos Sci.* 32(8):1049–1062.

- Minnebo, J., Duggal, A., Izadpaarast, A., Huijsmans, R. 2012. Response-Based Analysis of FPSO Systems for Squall Loadings. Paper presented at: 2012 Proceedings of 31st International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering; Jul 1–6. Rio de Janeiro, Brazil. p. 505–512.
- MIT. 2011. “Mooring Dynamics”. *Design of Ocean Systems*. Lecture 12
- Oberlies, R., Guha, A., Slocum, S. 2015. Mooring Analysis of a Turret Moored FPSO in a Squall Environment. *OMAE2015-41390*. St. John’s.
- OCIMF. 1997. Mooring Equipment Guidelines 2nd Edition. United Kingdom: Witherby Seamanship International.
- Prasiwi, R. A. 2014. “Analisis Perilaku FPSO (*Floating Production Storage And Offloading*) Terhadap *Internal Turret Mooring System* Berbasis Simulasi *Time Domain*”. *Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Yu X, Huang L. 2015. An internal turret mooring system design under squalls in West of Africa. *Paper presented at: 2015 Proceedings of World Maritime Technology Conference*; Nov 3–7. Rhode Island, USA.
- Zhong, Z.B., Luo, Y., Curic, D. 2005. F(P)SO global responses in the West of Africa squall environment. *Paper presented at: 2005 Proceedings of 24th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*; Jun 12–17. Halkidiki, Greece. p. 165–174.

LAMPIRAN A

Hasil RAO FSO Belida Kondisi *Full-load*

```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     ----- April 10, 2019                       *
*                                     BASIC MODELLING FSO BELIDA                     *
* Draft      = 14.9 Meters   Trim Angle   = 0.00 Deg.   GMT      = 4.9 Meters*
*Roll Gy. Radius = 16.5 Meters Pitch Gy. Radius= 69.7 Meters Yaw Gy.Radius = 69.7 Meters*
* Heading = 0.00 Deg. Forward Speed = 0.00 Knots Linearization Based on 1/ 20 *
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

=====

Results are in Body System

Of Point On Body FSOBELID At X = 116.3 Y = -0.0 Z = 12.4

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

ENCOUNTER	Surge /	Sway /	Heave /	Roll /	Pitch /	Yaw /							
-----	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.							
Frequency	Period /	/	/	/	/	/							
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1	62.83	0.968	97 0	0	1 7	0	0	0.059	-85	0	0		
0.2	31.42	0.919	117 0	0	0.976 27	0.001	53	0.237	-62	0	0		
0.3	20.94	0.777	152 0	0	0.862 58	0.001	110	0.515	-27	0	0		
0.4	15.71	0.503	-159 0	0	0.566 98	0.009	0	0.785	18	0	0		
0.5	12.57	0.151	-98 0	0	0.143 76	0.001	68	0.757	70	0	0		
0.6	10.47	0.092	158 0	0	0.35 24	0	0	0.098	-142	0	0		
0.7	8.98	0.085	-114 0	0	0.086 172	0	0	0.228	-18	0	0		
0.8	7.85	0.028	176 0	0	0.064 -25	0	0	0.058	169	0	0		
0.9	6.98	0.016	-89 0	0	0.016 137	0	0	0.038	27	0	0		
1	6.28	0.018	-121 0	0	0.009 94	0	0	0.015	-44	0	0		
1.1	5.71	0.011	-139 0	0	0.006 55	0	0	0.006	-116	0	0		
1.2	5.24	0.005	-147 0	0	0.003 35	0	0	0.004	-154	0	0		
1.3001	4.83	0.003	-151 0	0	0.002 37	0	0	0.002	-151	0	0		
1.4	4.49	0.002	-145 0	0	0.001 58	0	0	0.001	-125	0	0		
1.4999	4.19	0.002	-129 0	0	0.001 106	0	0	0.001	-41	0	0		
1.6	3.93	0.001	-107 0	0	0 0	0	0	0.001	47	0	0		
1.7	3.7	0.001	-86 0	0	0 0	0	0	0.001	121	0	0		
1.7998	3.49	0	0 0	0	0.001 93	0	0	0	0	0	0		
1.9	3.31	0	0 0	0	0 0	0	0	0.001	93	0	0		
1.9997	3.14	0	0 0	0	0 0	0	0	0	0	0	0		
2.1	2.99	0	0 0	0	0 0	0	0	0	0	0	0		
2.2	2.86	0	0 0	0	0 0	0	0	0	0	0	0		
2.2998	2.73	0	0 0	0	0 0	0	0	0.001	-97	0	0		

* *** MOSES *** *

* ----- April 10, 2019 *

* BASIC MODELLING FSO BELIDA *

* Draft = 14.9 Meters Trim Angle = 0.00 Deg. GMT = 4.9 Meters*

Roll Gy. Radius = 16.5 Meters Pitch Gy. Radius= 69.7 Meters Yaw Gy. Radius = 69.7 Meters

* Heading = 45.00 Deg. Forward Speed = 0.00 Knots Linearization Based on 1/ 20 *

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

=====

Results are in Body System

Of Point On Body FSOBELID At X = 116.3 Y = -0.0 Z = 12.4

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

ENCOUNTER Surge / Sway / Heave / Roll / Pitch / Yaw /

----- Wave Ampl. Wave Ampl. Wave Ampl. Wave Ampl. Wave Ampl. Wave Ampl.

Frequency Period /-----/ /-----/ /-----/ /-----/ /-----/ /-----/

	-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1	62.83	0.685	95	0.7	95	1.001	5	0.043	95	0.042	-89	0.025	-174	
0.2	31.42	0.66	109	0.671	109	0.991	19	0.199	112	0.169	-70	0.096	-160	
0.3	20.94	0.595	134	0.603	133	0.94	42	0.667	138	0.382	-45	0.197	-138	
0.4	15.71	0.472	168	0.437	162	0.803	71	2.192	70	0.667	-12	0.261	-102	
0.5	12.57	0.287	-148	0.254	-151	0.497	93	0.347	80	0.962	22	0.301	-61	
0.6	10.47	0.088	-94	0.065	-110	0.262	-30	0.159	-136	0.686	42	0.204	-11	
0.7	8.98	0.049	149	0.044	165	0.219	-19	0.177	-29	0.148	151	0.053	45	
0.8	7.85	0.067	-139	0.036	-128	0.068	94	0.094	79	0.118	-58	0.04	-36	
0.9	6.98	0.008	-74	0.009	155	0.035	-85	0.041	-88	0.058	83	0.027	52	
1	6.28	0.022	-144	0.013	-103	0.02	81	0.044	70	0.026	-71	0.014	-38	
1.1	5.71	0.003	-136	0.008	158	0.01	-46	0.009	-66	0.019	124	0.008	107	
1.2	5.24	0.008	-112	0.003	-6	0.007	174	0.015	146	0.011	19	0.009	12	
1.3001	4.83	0.005	-146	0.003	-117	0.005	82	0.007	72	0.006	-94	0.005	-71	
1.4	4.49	0.001	-132	0.003	-178	0.003	1	0.003	-30	0.005	176	0.002	-172	
1.4999	4.19	0.001	-80	0.003	151	0.002	-56	0.003	-110	0.004	117	0.003	90	
1.6	3.93	0.001	-98	0.001	99	0.002	-99	0.003	-148	0.003	81	0.002	61	
1.7	3.7	0.001	-109	0.001	62	0.001	-118	0.002	-169	0.002	65	0.002	43	
1.7998	3.49	0.001	-110	0.001	47	0.001	-124	0.002	-165	0.002	62	0.002	44	
1.9	3.31	0	0	0.001	67	0.001	-106	0.001	-144	0.001	79	0.001	62	
1.9997	3.14	0	0	0.001	107	0.001	-74	0.001	-102	0.001	122	0.001	97	
2.1	2.99	0	0	0.001	-172	0	0	0.001	-35	0.001	171	0	0	
2.2	2.86	0	0	0.001	-139	0	0	0.001	51	0.001	-118	0.001	-100	
2.2998	2.73	0	0	0	0	0	0	0.001	138	0.001	-11	0.001	-31	

* *** MOSES *** *

* ----- April 10, 2019 *

* BASIC MODELLING FSO BELIDA *

* Draft = 14.9 Meters Trim Angle = 0.00 Deg. GMT = 4.9 Meters*

Roll Gy. Radius = 16.5 Meters Pitch Gy. Radius= 69.7 Meters Yaw Gy. Radius = 69.7 Meters

* Heading = 90.00 Deg. Forward Speed = 0.00 Knots Linearization Based on 1/ 20 *

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

=====

Results are in Body System

Of Point On Body FSOBELID At X = 116.3 Y = -0.0 Z = 12.4

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

ENCOUNTER	Surge /	Sway /	Heave /	Roll /	Pitch /	Yaw /							
-----	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.							
Frequency	Period	-----/	-----/	-----/	-----/	-----/	-----/	-----/	-----/	-----/	-----/	-----/	-----/
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1	62.83	0	0	0.991	90	1.002	0	0.061	89	0.004	178	0	0
0.2	31.42	0	0	0.962	90	1.005	0	0.285	89	0.003	171	0.001	87
0.3	20.94	0	0	0.918	90	1.023	0	1.013	86	0.001	62	0.008	81
0.4	15.71	0	0	0.784	88	1.092	0	3.145	-19	0.019	-9	0.043	-35
0.5	12.57	0.001	-41	0.703	94	1.311	-8	1.026	-82	0.108	-41	0.025	-100
0.6	10.47	0.002	-129	0.598	97	1.448	-44	0.494	-80	0.374	-129	0.021	-113
0.7	8.98	0.001	145	0.488	103	0.733	-78	0.275	-73	0.244	145	0.02	-124
0.8	7.85	0.001	116	0.383	112	0.318	-83	0.156	-64	0.111	116	0.017	-133
0.9	6.98	0	0	0.293	124	0.153	-73	0.089	-53	0.058	113	0.015	-136
1	6.28	0	0	0.22	139	0.083	-58	0.051	-39	0.036	119	0.012	-135
1.1	5.71	0	0	0.163	159	0.046	-38	0.031	-26	0.023	132	0.01	-129
1.2	5.24	0	0	0.119	-179	0.028	-15	0.017	-14	0.014	148	0.008	-118
1.3001	4.83	0	0	0.09	-151	0.017	7	0.017	5	0.009	171	0.007	-106
1.4	4.49	0	0	0.067	-121	0.01	30	0.013	24	0.006	-163	0.005	-88
1.4999	4.19	0	0	0.049	-88	0.009	76	0.011	46	0.004	-137	0.004	-73
1.6	3.93	0	0	0.038	-53	0.004	91	0.009	77	0.003	-106	0.002	-36
1.7	3.7	0	0	0.026	-26	0.003	128	0.006	114	0.002	-78	0.001	19
1.7998	3.49	0	0	0.023	28	0.002	157	0.006	156	0.001	-44	0.001	64
1.9	3.31	0	0	0.017	71	0.003	91	0.005	-158	0.001	-20	0.002	91
1.9997	3.14	0	0	0.013	117	0.001	-127	0.004	-109	0.001	77	0.001	124
2.1	2.99	0	0	0.011	-151	0.001	-77	0.005	-84	0.001	112	0.001	-140
2.2	2.86	0	0	0.009	-136	0.001	-46	0.003	-14	0.001	148	0.001	-136
2.2998	2.73	0	0	0.007	-86	0	0	0.002	38	0.001	171	0	0


```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     ----- April 10, 2019                       *
*                                     BASIC MODELLING FSO BELIDA                       *
* Draft      = 14.9 Meters   Trim Angle   = 0.00 Deg.   GMT      = 4.9 Meters*
*Roll Gy. Radius = 16.5 Meters Pitch Gy. Radius= 69.7 Meters Yaw Gy. Radius = 69.7 Meters*
* Heading = 270.00 Deg. Forward Speed = 0.00 Knots Linearization Based on 1/ 20 *
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

=====

Results are in Body System

Of Point On Body FSOBELID At X = 116.3 Y = -0.0 Z = 12.4

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

ENCOUNTER		Surge /	Sway /	Heave /	Roll /	Pitch /	Yaw /						
-----		Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.						
Frequency	Period	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/						
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1	62.83	0	0	0.991	-89	1.002	0	0.061	-89	0.004	178	0	0
0.2	31.42	0	0	0.962	-89	1.005	0	0.285	-90	0.003	170	0.001	-91
0.3	20.94	0	0	0.919	-89	1.023	0	1.013	-93	0.001	63	0.008	-98
0.4	15.71	0	0	0.785	-91	1.092	0	3.145	160	0.019	-9	0.043	144
0.5	12.57	0.001	-41	0.703	-85	1.311	-8	1.026	97	0.108	-41	0.025	79
0.6	10.47	0.002	-129	0.599	-82	1.448	-45	0.496	100	0.374	-129	0.021	66
0.7	8.98	0.001	145	0.488	-76	0.733	-78	0.276	106	0.244	145	0.019	54
0.8	7.85	0.001	116	0.383	-67	0.318	-83	0.156	115	0.111	116	0.017	46
0.9	6.98	0	0	0.293	-55	0.153	-73	0.089	126	0.058	113	0.015	43
1	6.28	0	0	0.22	-40	0.083	-58	0.051	140	0.036	119	0.013	44
1.1	5.71	0	0	0.163	-20	0.046	-38	0.031	153	0.023	132	0.01	49
1.2	5.24	0	0	0.119	0	0.027	-15	0.017	165	0.014	148	0.008	61
1.3001	4.83	0	0	0.09	28	0.017	7	0.017	-174	0.009	170	0.007	73
1.4	4.49	0	0	0.066	58	0.01	30	0.013	-156	0.006	-163	0.005	92
1.4999	4.19	0	0	0.049	91	0.009	76	0.011	-131	0.004	-138	0.004	105
1.6	3.93	0	0	0.038	126	0.004	91	0.009	-102	0.003	-107	0.002	142
1.7	3.7	0	0	0.026	153	0.003	123	0.006	-65	0.002	-81	0.001	-160
1.7998	3.49	0	0	0.023	-151	0.002	158	0.006	-23	0.001	-41	0.001	-115
1.9	3.31	0	0	0.017	-108	0.003	91	0.005	18	0.001	-18	0.001	-86
1.9997	3.14	0	0	0.013	-62	0.001	-128	0.004	72	0.001	78	0.001	-55
2.1	2.99	0	0	0.011	27	0.001	-62	0.005	95	0.001	124	0.001	38
2.2	2.86	0	0	0.009	43	0.001	-45	0.003	164	0	0	0.001	42
2.2998	2.73	0	0	0.007	93	0	0	0.002	-138	0.001	173	0	0

```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     ----- April 10, 2019                       *
*                                     BASIC MODELLING FSO BELIDA                       *
* Draft      = 14.9 Meters   Trim Angle   = 0.00 Deg.   GMT      = 4.9 Meters*
*Roll Gy. Radius = 16.5 Meters Pitch Gy. Radius= 69.7 Meters Yaw Gy. Radius = 69.7 Meters*
* Heading = 315.00 Deg. Forward Speed = 0.00 Knots Linearization Based on 1/ 20 *
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

=====

Results are in Body System

Of Point On Body FSOBELID At X = 116.3 Y = -0.0 Z = 12.4

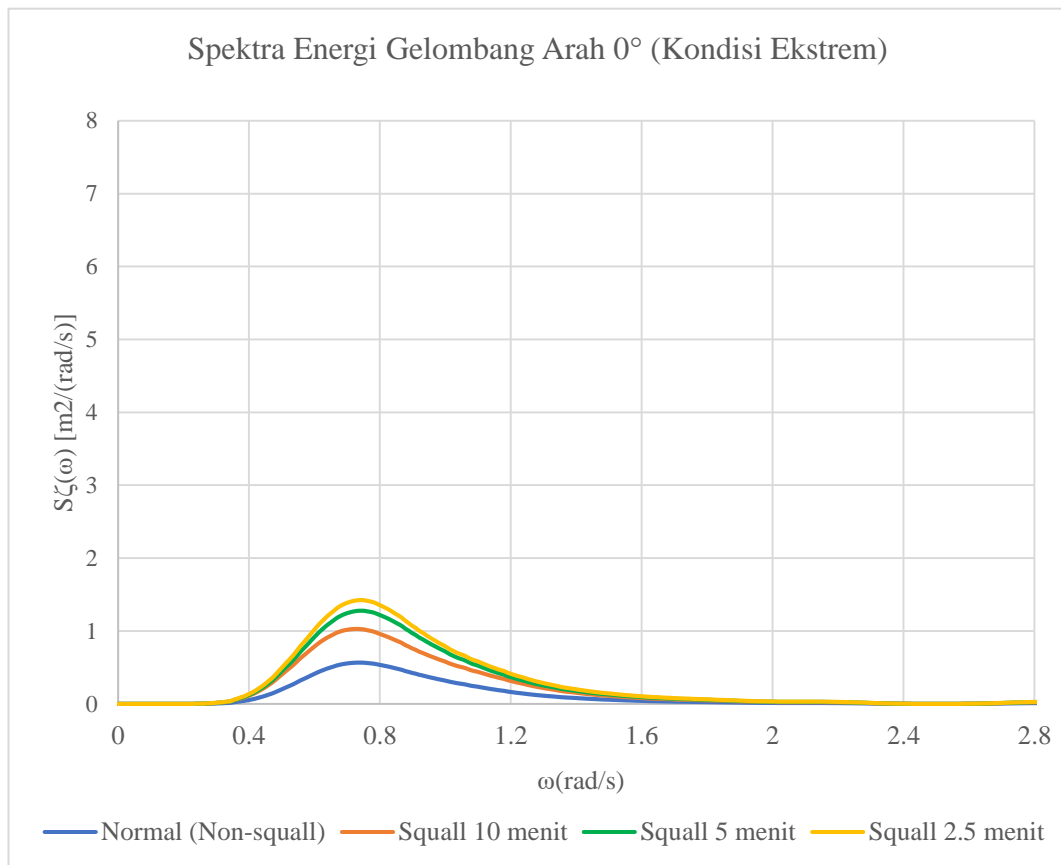
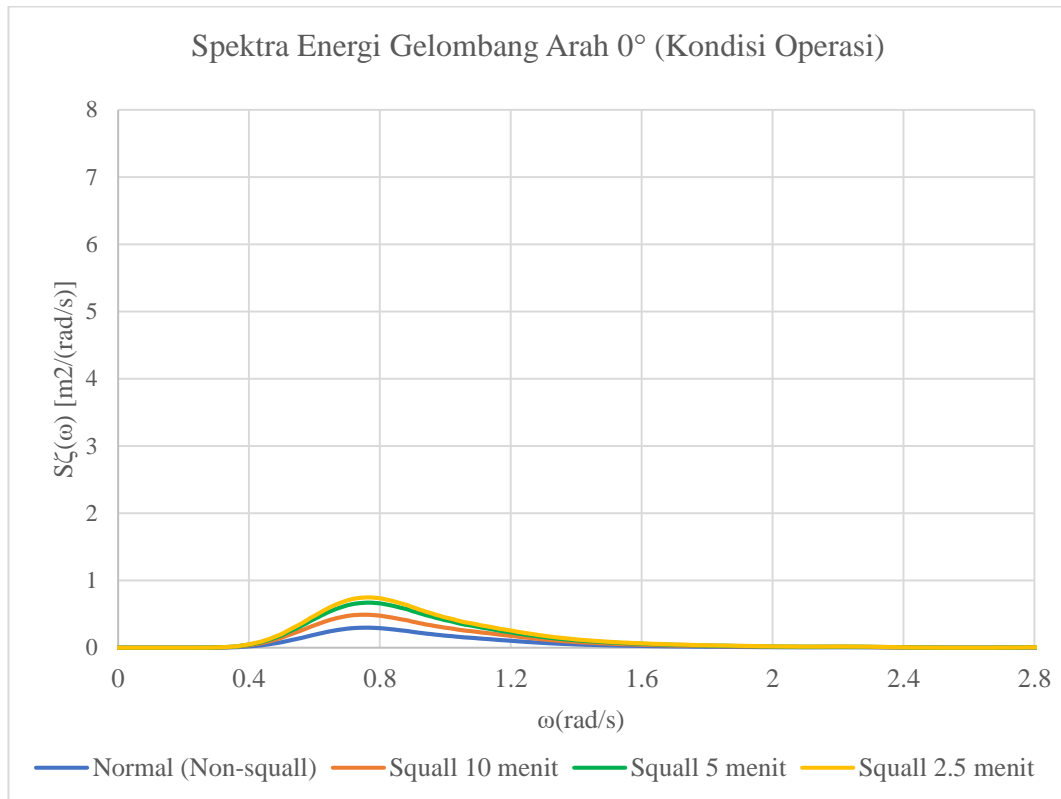
Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

ENCOUNTER		Surge /	Sway /	Heave /	Roll /	Pitch /	Yaw /						
-----		Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.						
Frequency	Period	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/						
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1	62.83	0.685	95	0.7	-84	1.001	5	0.043	-83	0.042	-89	0.025	5
0.2	31.42	0.66	109	0.671	-70	0.991	19	0.199	-67	0.169	-70	0.096	19
0.3	20.94	0.595	134	0.603	-46	0.94	42	0.665	-41	0.382	-45	0.197	41
0.4	15.71	0.472	168	0.437	-17	0.803	71	2.189	-109	0.668	-12	0.262	77
0.5	12.57	0.287	-148	0.254	28	0.497	93	0.347	-98	0.963	22	0.302	118
0.6	10.47	0.088	-94	0.065	69	0.262	-30	0.16	43	0.686	42	0.205	168
0.7	8.98	0.049	149	0.044	-14	0.219	-19	0.178	150	0.148	151	0.053	-134
0.8	7.85	0.067	-139	0.036	51	0.068	94	0.094	-100	0.118	-58	0.04	143
0.9	6.98	0.008	-74	0.009	-25	0.035	-85	0.041	91	0.058	83	0.027	-127
1	6.28	0.022	-144	0.013	75	0.02	81	0.044	-109	0.026	-71	0.014	142
1.1	5.71	0.003	-136	0.008	-22	0.01	-47	0.009	113	0.019	124	0.008	-72
1.2	5.24	0.008	-112	0.003	173	0.007	174	0.015	-33	0.011	19	0.009	-167
1.3001	4.83	0.005	-146	0.003	62	0.005	82	0.007	-107	0.006	-93	0.005	108
1.4	4.49	0.001	-132	0.003	0	0.003	1	0.003	150	0.005	176	0.002	5
1.4999	4.19	0.001	-80	0.003	-29	0.002	-57	0.003	70	0.004	117	0.003	-89
1.6	3.93	0.001	-98	0.001	-80	0.002	-99	0.003	31	0.003	81	0.002	-119
1.7	3.7	0.001	-109	0.001	-119	0.001	-118	0.002	10	0.002	65	0.002	-137
1.7998	3.49	0.001	-110	0.001	-132	0.001	-125	0.002	14	0.002	61	0.002	-136
1.9	3.31	0	0	0.001	-111	0.001	-106	0.001	34	0.001	79	0.001	-117
1.9997	3.14	0	0	0.001	-77	0.001	-75	0.001	77	0.001	121	0.001	-76
2.1	2.99	0	0	0.001	5	0.001	-20	0.001	145	0.001	170	0	0
2.2	2.86	0	0	0	0	0	0	0.001	-128	0.001	-117	0.001	78
2.2998	2.73	0	0	0	0	0	0	0.001	-41	0.001	-10	0.001	149

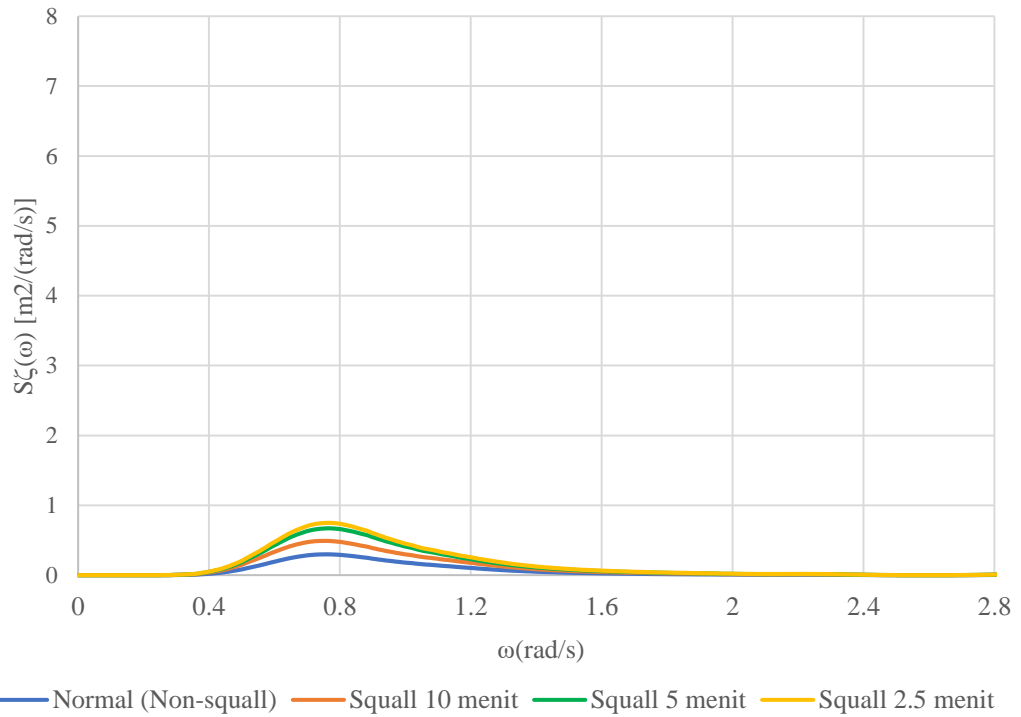
LAMPIRAN B

Grafik Spektrum Energi Gelombang

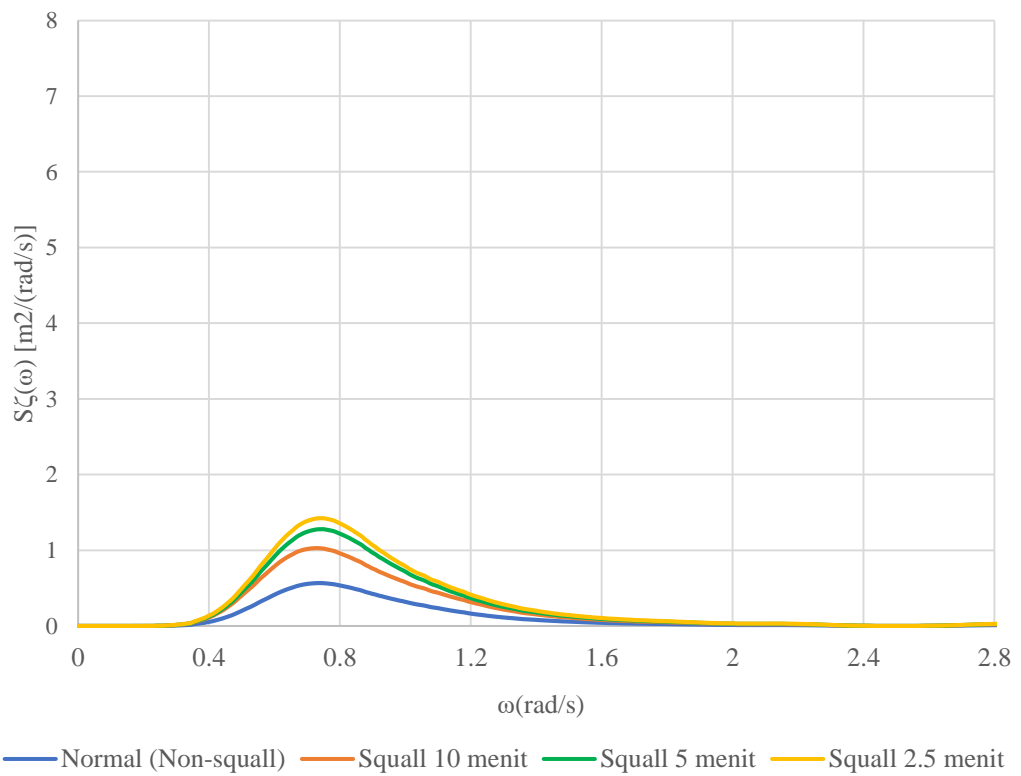
SPEKTRA ENERGI GELOMBANG PADA TIAP ARAH PEMBEBANAN



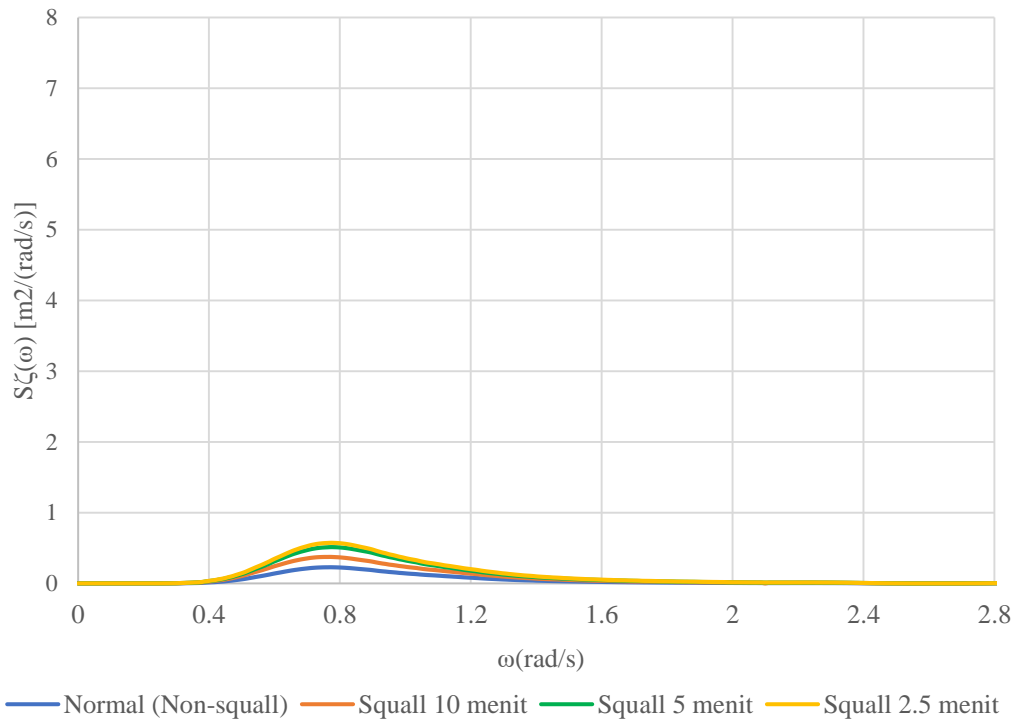
Spektra Energi Gelombang Arah 45° (Kondisi Operasi)



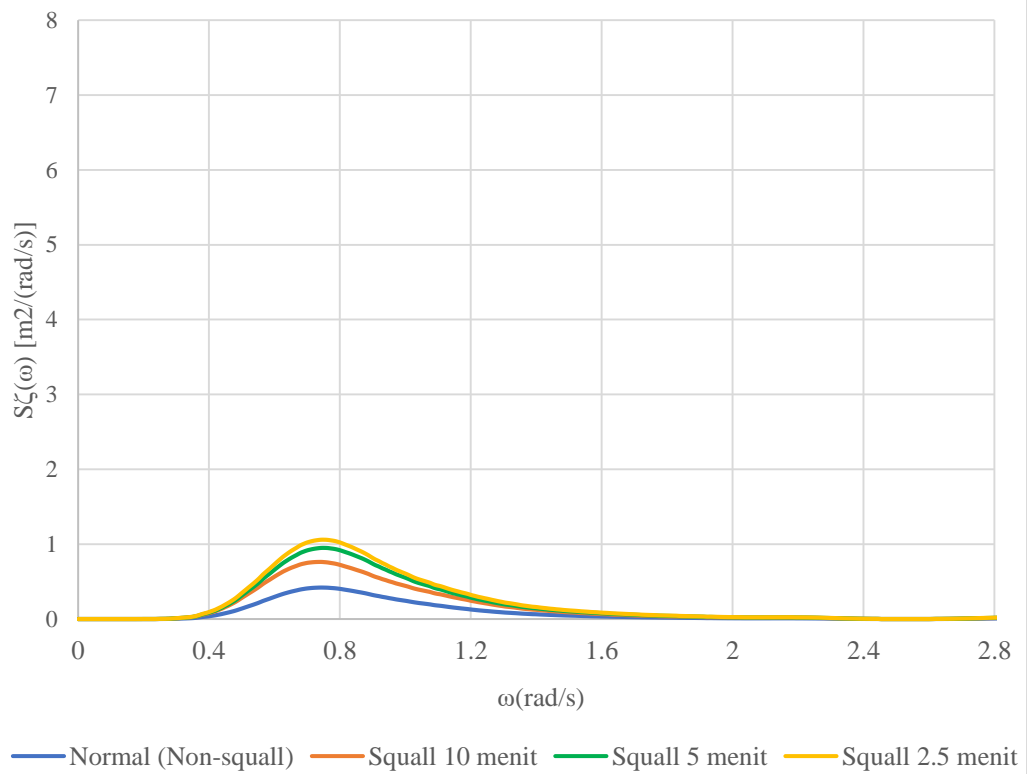
Spektra Energi Gelombang Arah 45° (Kondisi Ekstrem)



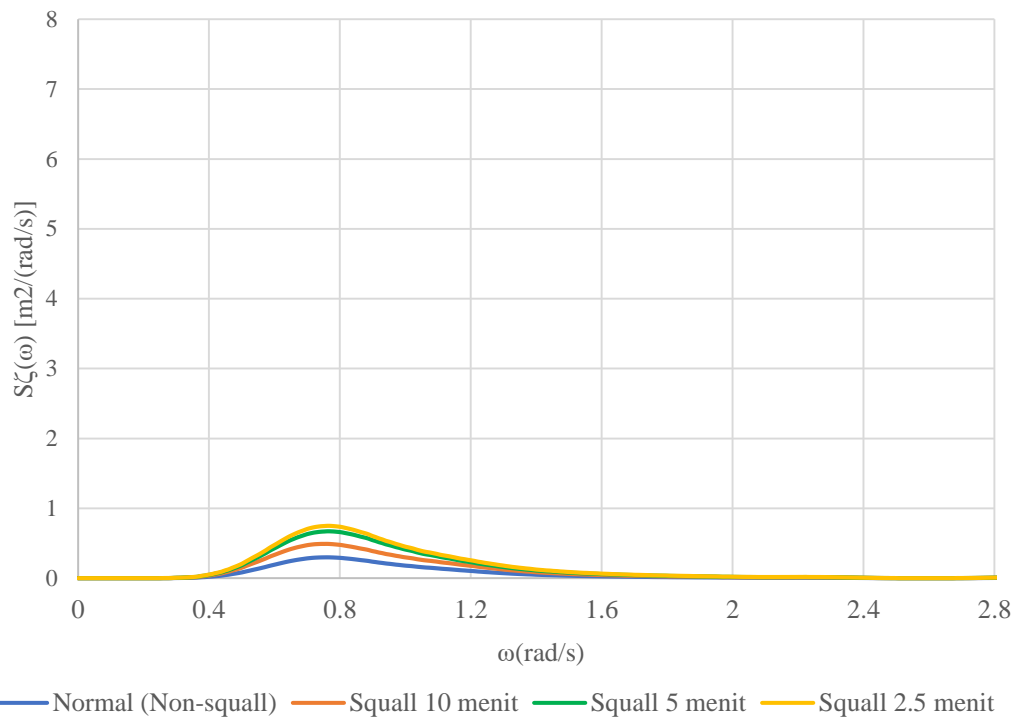
Spektra Energi Gelombang Arah 90° (Kondisi Operasi)



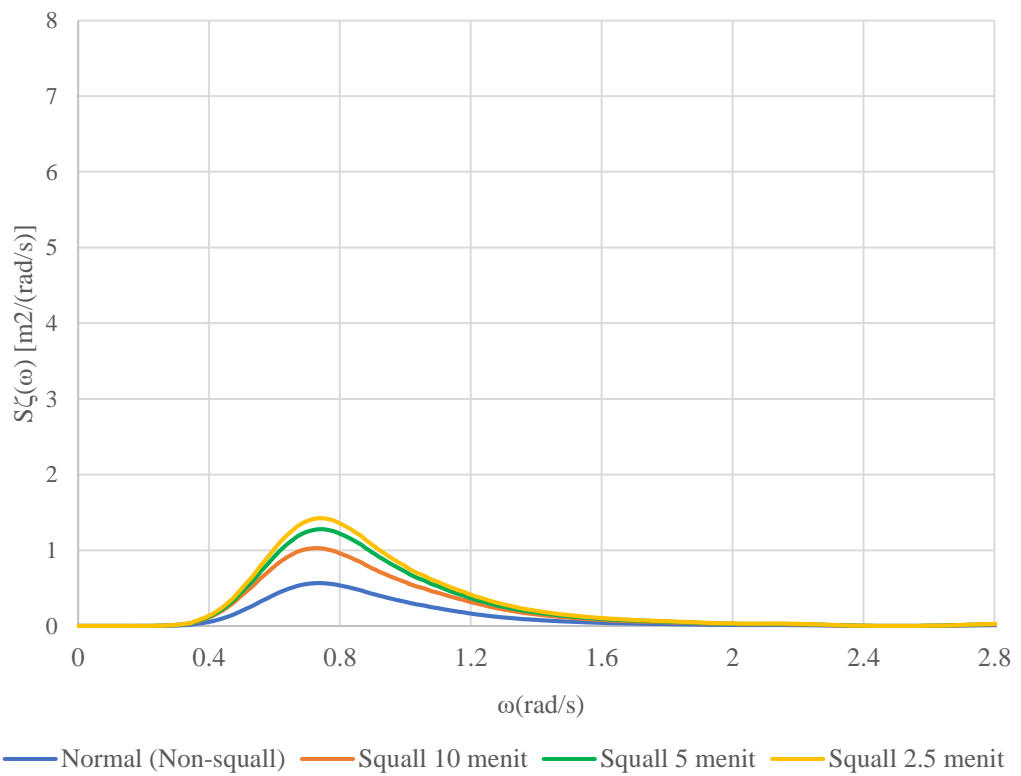
Spektra Energi Gelombang Arah 90° (Kondisi Ekstrem)



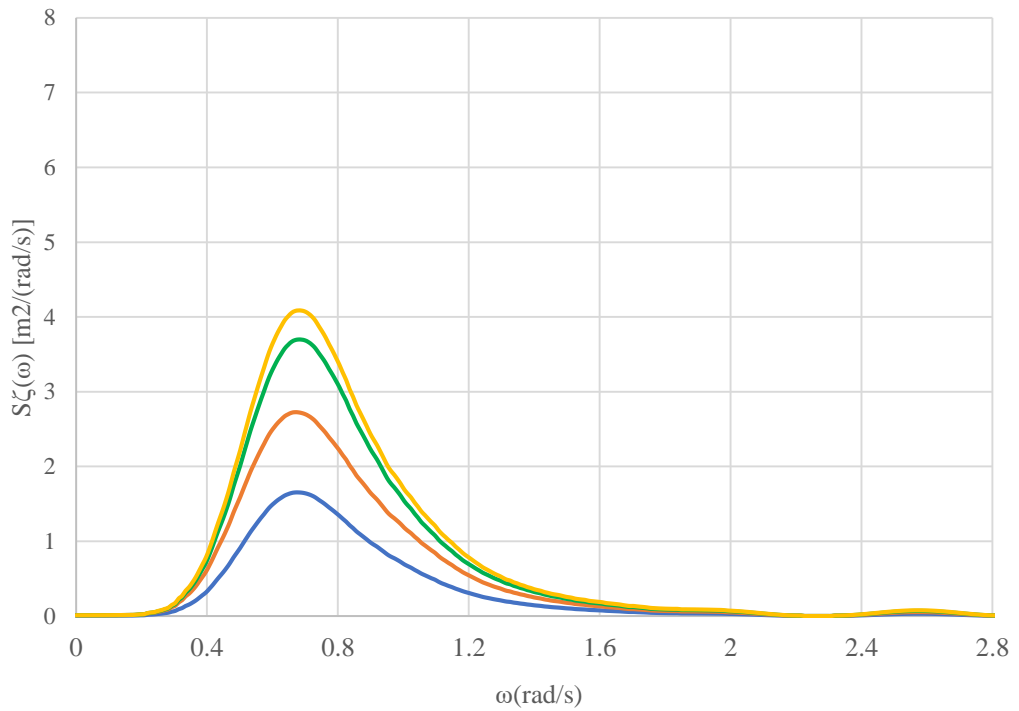
Spektra Energi Gelombang Arah 135° (Kondisi Operasi)



Spektra Energi Gelombang Arah 135° (Kondisi Ekstrem)

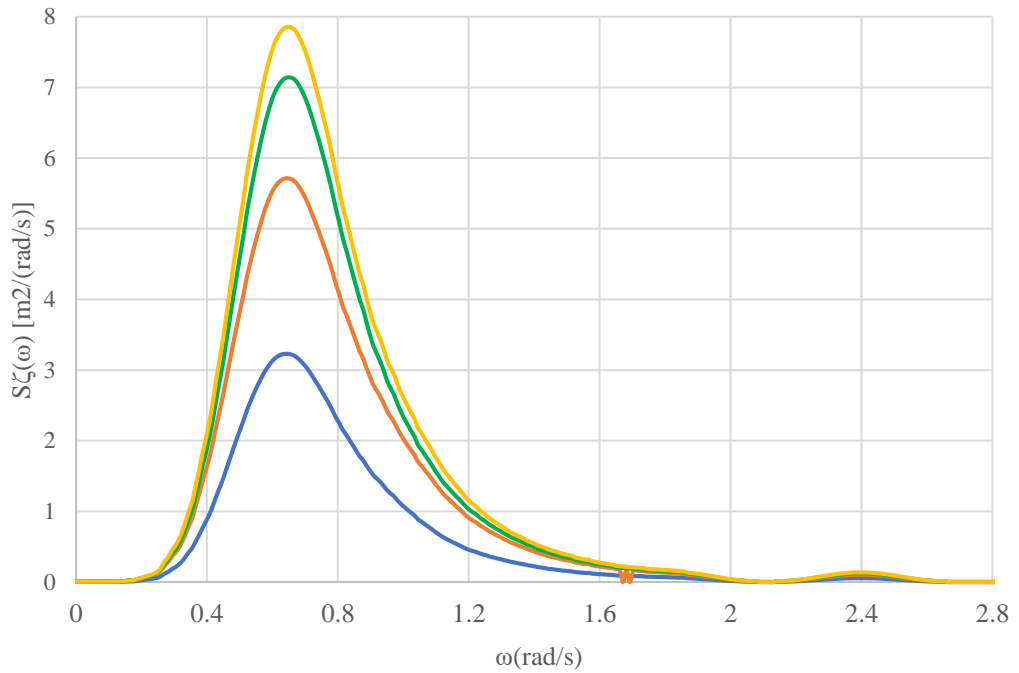


Spektra Energi Gelombang Arah 180° (Kondisi Operasi)



— Normal (Non-squall) — Squall 10 menit — Squall 5 menit — Squall 2.5 menit

Spektra Energi Gelombang Arah 180° (Kondisi Ekstrem)



— Normal (Non-squall) — Squall 10 menit — Squall 5 menit — Squall 2.5 menit

LAMPIRAN C
Hasil Tegangan Tali Tambat

TEGANGAN TALI TAMBAT PADA SETIAP ARAH PEMBEBANAN

Arah Pembebanan 0°

1 year

Line	Non-Squall (Hs = 1.7 m; Tp = 8.4 s)	Squall 2.5 menit (Hs=2.7 m; Tp=8.5 s)	Squall 5 menit (Hs=2.5 m; Tp=8.5 s)	Squall 10 menit (Hs = 2.2 m)				
				Tp = 8.5 s	Tp = 11.1 s	Tp = 12.5 s	Tp = 13.5 s	Tp = 15.1 s
Line 1	907.76	931.18	930.15	928.95	928.58	932.92	934.16	923.40
Line 2	892.11	917.25	916.16	914.81	907.62	914.98	914.44	906.48
Line 3	824.72	818.74	819.09	821.28	825.49	826.38	821.63	820.85
Line 4	820.28	812.53	811.55	813.86	819.83	819.25	814.78	814.89
Line 5	819.86	811.86	811.11	813.39	819.32	818.87	814.05	814.42
Line 6	823.58	817.64	818.00	820.20	824.58	825.50	820.23	819.78
Line 7	904.60	928.61	927.36	925.87	920.68	926.97	927.06	917.63
Line 8	913.53	937.11	935.96	934.73	934.53	939.13	940.11	929.55

Arah Pembebanan 0°

100 years

Line	Non-Squall (Hs = 1.7 m; Tp = 8.4 s)	Squall 2.5 menit (Hs=2.7 m; Tp=8.5 s)	Squall 5 menit (Hs=2.5 m; Tp=8.5 s)	Squall 10 menit (Hs = 3.2 m)				
				Tp = 8.8 s	Tp = 11.1 s	Tp = 12.5 s	Tp = 13.5 s	Tp = 15.1 s
Line 1	907.76	997.81	991.54	975.11	987.21	992.28	990.91	976.48
Line 2	892.11	959.92	955.40	944.89	948.79	959.66	955.14	944.71
Line 3	824.72	809.31	808.69	799.69	806.69	800.00	801.71	797.42

Line	Non-Squall (Hs = 1.7 m; Tp = 8.4 s)	Squall 2.5 menit (Hs=2.7 m; Tp=8.5 s)	Squall 5 menit (Hs=2.5 m; Tp=8.5 s)	Squall 10 menit (Hs = 3.2 m)				
				Tp = 8.8 s	Tp = 11.1 s	Tp = 12.5 s	Tp = 13.5 s	Tp = 15.1 s
Line 4	820.28	791.26	791.05	782.47	793.31	785.21	786.31	780.12
Line 5	819.86	790.81	790.59	782.11	792.93	784.78	785.51	779.77
Line 6	823.58	808.47	807.82	798.72	805.86	798.95	800.15	796.61
Line 7	904.60	972.76	968.06	956.58	962.20	972.20	968.06	956.60
Line 8	913.53	1003.67	997.55	980.46	994.08	998.81	997.50	982.99

Arah Pembebanan 45°

1 year

Line	Non-Squall (Hs = 1.7 m; Tp = 8.4 s)	Squall 2.5 menit (Hs=2.7 m; Tp=8.5 s)	Squall 5 menit (Hs=2.5 m; Tp=8.5 s)	Squall 10 menit (Hs = 2.2 m)				
				Tp = 8.5 s	Tp = 11.1 s	Tp = 12.5 s	Tp = 13.5 s	Tp = 15.1 s
Line 1	798.93	809.53	800.18	736.62	765.78	768.91	760.68	760.17
Line 2	792.61	832.51	814.41	727.87	726.63	739.39	740.36	743.93
Line 3	894.10	1027.11	986.39	903.61	860.04	892.24	868.48	864.65
Line 4	870.03	968.10	937.56	880.86	870.13	882.95	868.88	855.54
Line 5	937.43	1124.07	1083.95	1028.93	1026.00	1037.83	994.55	1015.77
Line 6	958.77	1195.85	1149.60	1062.20	1027.79	1064.88	1009.77	1042.86
Line 7	1288.58	2027.44	1842.89	1617.88	1625.39	1633.55	1549.80	1544.06
Line 8	1166.68	1664.47	1546.72	1382.31	1320.45	1346.35	1292.31	1315.11

Arah Pembebanan 45°

100
years

Line	<i>Non-Squall</i> (Hs = 1.7 m; Tp = 8.4 s)	<i>Squall</i> 2.5 menit (Hs=2.7 m; Tp=8.5 s)	<i>Squall</i> 5 menit (Hs=2.5 m; Tp=8.5 s)	<i>Squall</i> 10 menit (Hs = 3.2 m)				
				Tp = 8.8 s	Tp = 11.1 s	Tp = 12.5 s	Tp = 13.5 s	Tp = 15.1 s
Line 1	798.93	666.51	658.35	641.84	813.31	854.81	798.07	716.55
Line 2	792.61	628.32	622.27	610.70	710.68	742.26	737.15	676.15
Line 3	894.10	995.53	961.39	918.44	981.09	998.23	999.27	952.68
Line 4	870.03	979.22	948.06	906.51	1043.80	1063.58	1028.20	939.34
Line 5	937.43	1367.24	1317.69	1249.44	1514.98	1560.33	1389.18	1261.54
Line 6	958.77	1379.62	1337.52	1266.68	1439.78	1495.45	1354.19	1301.67
Line 7	1288.58	3317.68	3078.95	2644.66	2890.21	2850.99	2731.41	2574.99
Line 8	1166.68	2480.22	2322.35	2025.70	2189.05	2041.16	1921.79	1936.71

Arah Pembebanan 90°

1 year

Line	<i>Non-Squall</i> (Hs = 1.5 m; Tp = 8.3 s)	<i>Squall</i> 2.5 menit (Hs=2.4 m; Tp=8.4 s)	<i>Squall</i> 5 menit (Hs=2.2 m; Tp=8.4 s)	<i>Squall</i> 10 menit (Hs = 1.9 m)				
				Tp = 8.4 s	Tp = 11.1 s	Tp = 12.5 s	Tp = 13.5 s	Tp = 15.1 s
Line 1	887.09	871.45	854.80	774.09	774.24	816.11	788.84	772.34
Line 2	873.08	898.09	870.97	738.93	739.24	755.98	781.22	760.45
Line 3	898.44	944.65	910.73	837.43	837.66	888.90	818.62	838.08
Line 4	900.96	924.98	896.67	857.69	857.98	910.30	836.03	841.00

Line	<i>Non-Squall</i> (Hs = 1.5 m; Tp = 8.3 s)	<i>Squall</i> 2.5 menit (Hs=2.4 m; Tp=8.4 s)	<i>Squall</i> 5 menit (Hs=2.2 m; Tp=8.4 s)	<i>Squall</i> 10 menit (Hs = 1.9 m)				
				Tp = 8.4 s	Tp = 11.1 s	Tp = 12.5 s	Tp = 13.5 s	Tp = 15.1 s
Line 5	1068.33	1263.76	1204.91	1132.27	1132.45	1211.96	1146.98	1135.13
Line 6	1085.14	1305.26	1249.05	1132.80	1132.87	1234.52	1174.29	1162.78
Line 7	1303.99	2000.21	1809.18	1646.37	1648.26	1692.39	1667.05	1667.28
Line 8	1192.64	1608.86	1492.97	1368.96	1367.75	1349.51	1355.08	1406.76

Arah Pembebanan 90°

100

years

Line	<i>Non-Squall</i> (Hs = 1.5 m; Tp = 8.3 s)	<i>Squall</i> 2.5 menit (Hs=2.4 m; Tp=8.4 s)	<i>Squall</i> 5 menit (Hs=2.2 m; Tp=8.4 s)	<i>Squall</i> 10 menit (Hs = 2.7 m)				
				Tp = 8.6 s	Tp = 11.1 s	Tp = 12.5 s	Tp = 13.5 s	Tp = 15.1 s
Line 1	887.09	875.95	847.04	698.17	839.07	895.60	827.97	714.34
Line 2	873.08	746.92	727.56	634.63	737.33	776.76	736.40	657.15
Line 3	898.44	1124.84	1066.94	940.36	978.22	1097.63	997.06	871.37
Line 4	900.96	1202.47	1138.59	1003.80	1083.48	1221.28	1079.38	917.09
Line 5	1068.33	2108.80	1988.76	1696.33	1739.55	1851.45	1722.19	1528.47
Line 6	1085.14	2048.56	1951.88	1671.23	1594.36	1776.53	1673.27	1539.58
Line 7	1303.99	3268.92	3023.31	2473.87	2883.47	2807.61	2739.40	2759.35
Line 8	1192.64	2375.70	2224.54	1839.31	2160.45	1910.86	1862.58	2105.30

Arah Pembebanan 135°

1 year

Line	Non-Squall (Hs = 1.7 m; Tp = 8.4 s)	Squall 2.5 menit (Hs=2.7 m; Tp=8.5 s)	Squall 5 menit (Hs=2.5 m; Tp=8.5 s)	Squall (Hs = 2.2 m)				
				Tp = 8.5 s	Tp = 11.1 s	Tp = 12.5 s	Tp = 13.5 s	Tp = 15.1 s
Line 1	830.19	879.53	859.15	857.40	849.38	855.51	841.68	854.06
Line 2	822.69	871.52	862.22	836.86	801.93	831.45	818.36	847.92
Line 3	780.31	902.33	874.94	858.95	860.39	902.69	855.90	946.08
Line 4	767.30	859.93	846.35	835.81	862.45	887.96	855.20	955.08
Line 5	1005.07	1068.85	1065.28	1002.60	1090.79	1070.11	1039.95	1155.45
Line 6	1089.56	1556.67	1455.62	1359.47	1456.95	1428.90	1429.27	1422.90
Line 7	1081.40	1541.68	1447.48	1329.97	1258.02	1299.45	1282.81	1383.14
Line 8	1076.47	1463.46	1387.24	1274.93	1182.36	1279.35	1242.35	1375.16

Arah Pembebanan 135°

100 years

Line	Non-Squall (Hs = 1.7 m; Tp = 8.4 s)	Squall 2.5 menit (Hs=2.7 m; Tp=8.5 s)	Squall 5 menit (Hs=2.5 m; Tp=8.5 s)	Squall (Hs = 3.2 m)				
				Tp = 8.8 s	Tp = 11.1 s	Tp = 12.5 s	Tp = 13.5 s	Tp = 15.1 s
Line 1	830.19	774.75	695.76	694.83	768.69	775.74	756.10	702.10
Line 2	822.69	689.34	638.87	650.40	696.35	695.57	688.08	671.52
Line 3	780.31	958.78	919.92	720.48	804.02	823.06	774.17	771.88
Line 4	767.30	927.53	897.12	745.45	846.82	859.90	802.07	805.86

Line	<i>Non-Squall</i> (Hs = 1.7 m; Tp = 8.4 s)	<i>Squall</i> 2.5 menit (Hs=2.7 m; Tp=8.5 s)	<i>Squall</i> 5 menit (Hs=2.5 m; Tp=8.5 s)	<i>Squall</i> (Hs = 3.2 m)				
				Tp = 8.8 s	Tp = 11.1 s	Tp = 12.5 s	Tp = 13.5 s	Tp = 15.1 s
Line 5	1005.07	1209.38	1102.66	1166.85	1264.14	1314.33	1277.78	1250.01
Line 6	1089.56	2281.20	2130.90	1608.19	1750.04	1745.02	1722.42	1721.78
Line 7	1081.40	2257.13	2098.77	1533.59	1573.80	1557.13	1572.29	1559.57
Line 8	1076.47	2278.99	1874.24	1401.94	1388.71	1446.91	1388.65	1348.69

Arah Pembebanan 180°

1 year

Line	<i>Non-Squall</i> (Hs = 3.7 m; Tp = 9.6 s)	<i>Squall</i> 2.5 menit (Hs=6.0 m; Tp=9.8 s)	<i>Squall</i> 5 menit (Hs=5.7 m; Tp=9.8 s)	<i>Squall</i> (Hs =5.0 m)				
				Tp = 9.8 s	Tp = 11.1 s	Tp = 12.5 s	Tp = 13.5 s	Tp = 15.1 s
Line 1	863.44	897.61	893.29	878.68	913.04	880.80	876.34	875.67
Line 2	869.31	892.53	887.95	864.66	891.23	866.02	870.46	880.27
Line 3	876.45	1022.49	1009.84	917.23	932.06	912.51	932.53	917.97
Line 4	895.02	1080.33	1060.87	950.37	988.90	961.27	961.62	938.90
Line 5	879.18	1079.14	1059.42	949.42	989.29	950.14	955.06	938.30
Line 6	888.54	1021.62	1009.05	915.61	932.10	917.64	937.47	916.71
Line 7	878.09	906.20	902.01	878.78	902.03	881.20	883.15	892.22
Line 8	870.49	908.32	903.83	885.34	922.36	888.36	884.45	883.33

Arah Pembebanan 180°

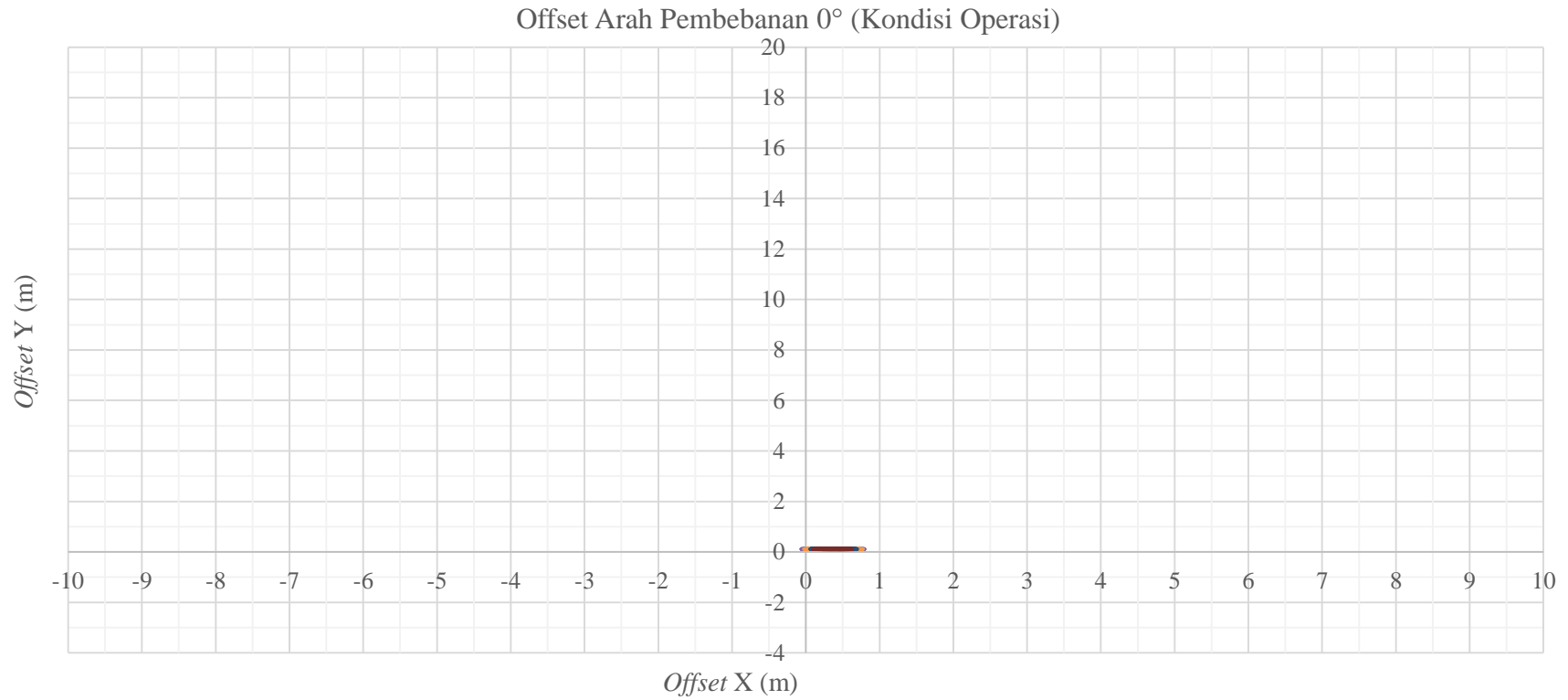
100

years

Line	<i>Non-Squall</i> (Hs = 3.7 m; Tp = 9.6 s)	<i>Squall</i> 2.5 menit (Hs=6.0 m; Tp=9.8 s)	<i>Squall</i> 5 menit (Hs=5.7 m; Tp=9.8 s)	Squall (Hs = 7.0 m)				
				Tp = 10.24 s	Tp = 11.1 s	Tp = 12.5 s	Tp = 13.5 s	Tp = 15.1 s
Line 1	863.44	962.06	942.27	911.02	975.31	952.33	893.38	856.66
Line 2	869.31	920.74	905.60	886.50	933.11	912.02	873.54	861.66
Line 3	876.45	1128.88	1103.40	1056.92	1071.09	1089.59	1049.06	1005.86
Line 4	895.02	1303.89	1257.61	1175.02	1211.40	1233.02	1166.89	1091.84
Line 5	879.18	1301.73	1257.34	1174.21	1212.37	1235.61	1168.68	1091.29
Line 6	888.54	1129.51	1102.40	1055.48	1071.63	1091.88	1050.83	1004.89
Line 7	878.09	930.60	914.23	894.10	942.71	923.50	881.97	874.80
Line 8	870.49	968.23	949.34	917.66	982.12	961.93	900.75	866.12

LAMPIRAN D
Hasil *Offset Vessel*

OFFSET VESSEL PADA TIAP ARAH PEMBEBANAN



— Normal Condition (Hs = 1.7 m; Tp = 8.4 m)

— Squall 2.5 menit (Hs=2.7 m; Tp=8.5 s)

— Squall 5 menit (Hs=2.5 m; Tp=8.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 2.2 m) Tp = 8.5 s)

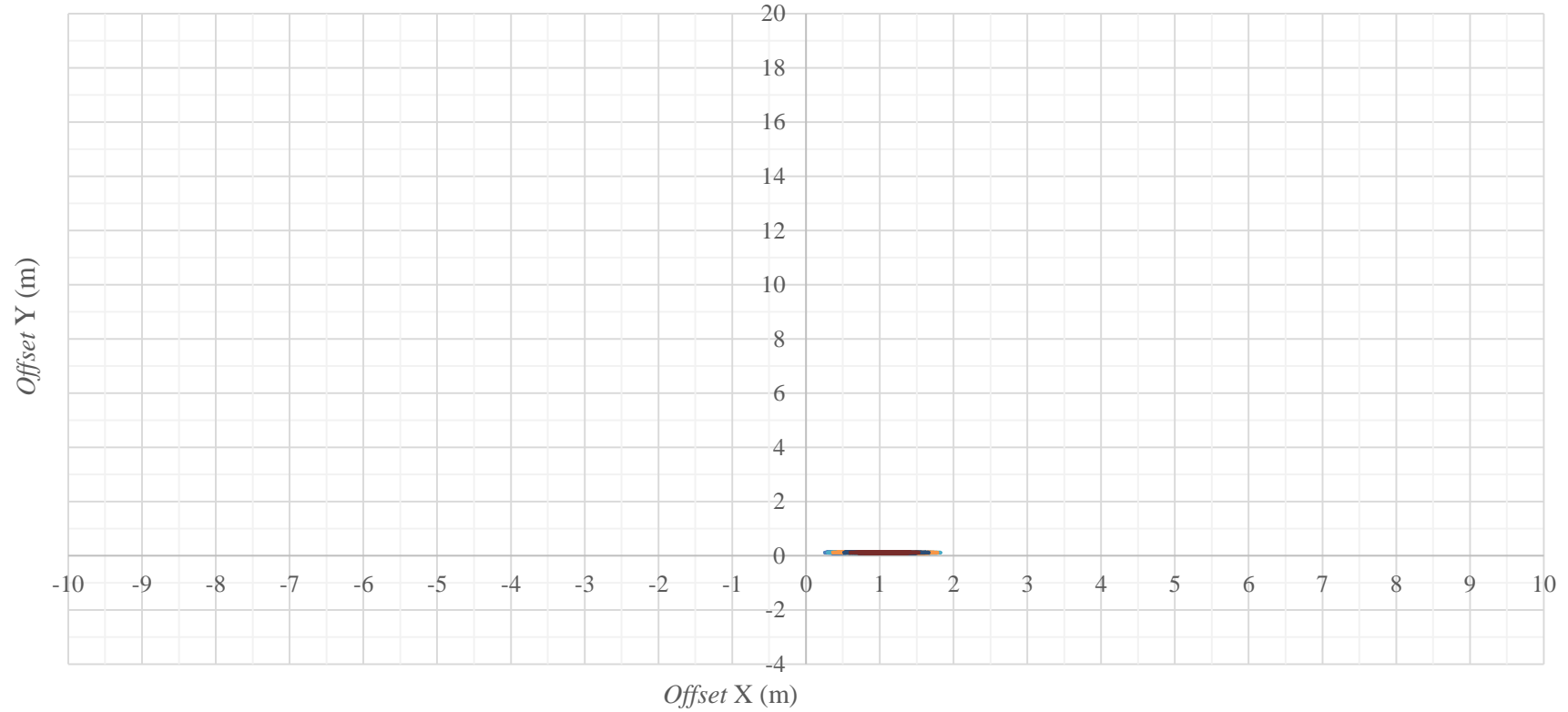
— Squall 10 menit (Hs = 2.2 m) Tp = 11.1 s)

— Squall 10 menit (Hs = 2.2 m) Tp = 12.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 2.2 m) Tp = 13.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 2.2 m) Tp = 15.1 s)

Offset Arah Pembebanan 0° (Kondisi Ekstrem)



— Normal Condition (Hs = 2.3 m; Tp = 8.7 m)

— Squall 2.5 menit (Hs=3.7 m; Tp=8.8 s)

— Squall 5 menit (Hs=3.5 m; Tp=8.8 s)

— Squall 10 menit (Hs = 3.2 m) Tp = 8.8 s)

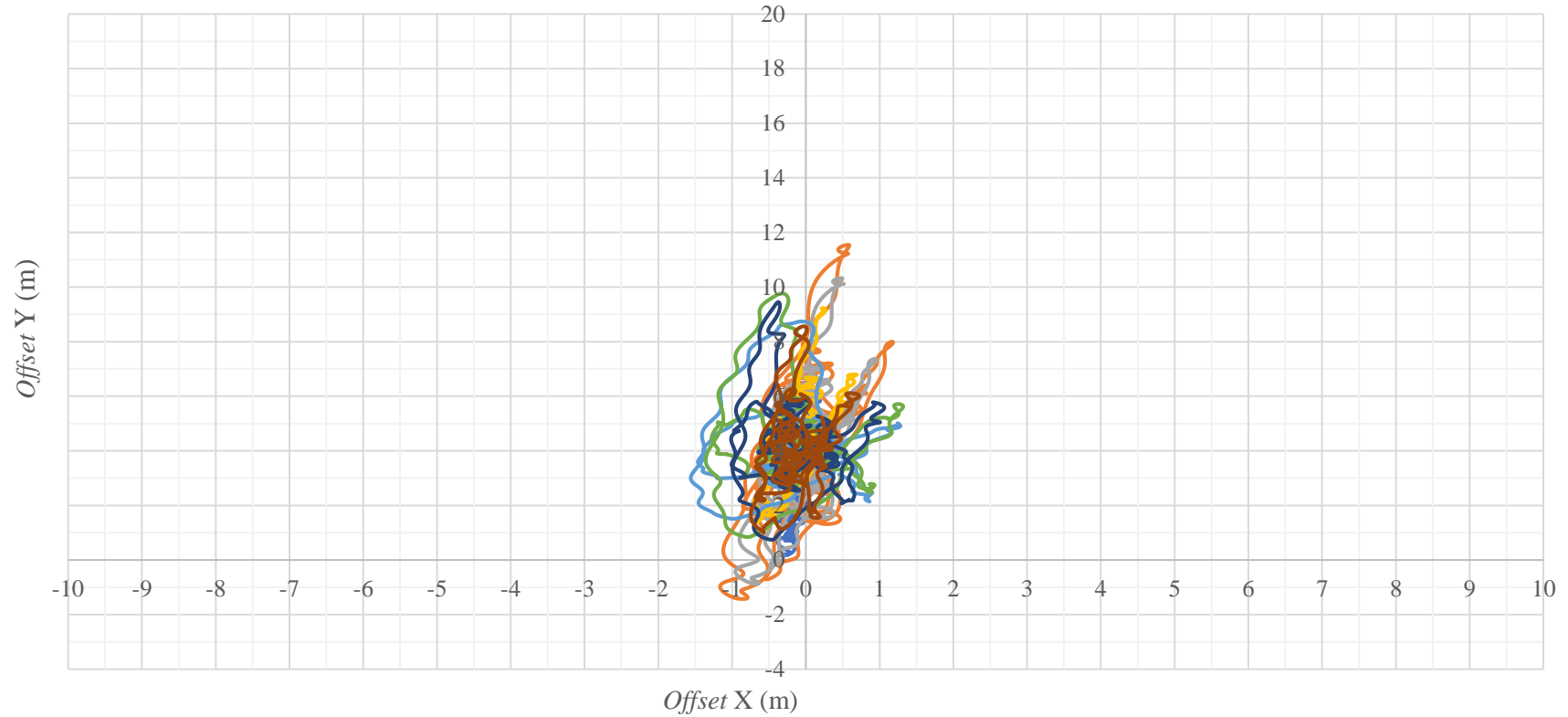
— Squall 10 menit (Hs = 3.2 m) Tp = 11.1 s)

— Squall 10 menit (Hs = 3.2 m) Tp = 12.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 3.2 m) Tp = 13.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 3.2 m) Tp = 15.1 s)

Offset Arah Pembebanan 45° (Kondisi Operasi)



— Normal Condition (Hs = 1.7 m; Tp = 8.4 m)

— Squall 2.5 menit (Hs=2.7 m; Tp=8.5 s)

— Squall 5 menit (Hs=2.5 m; Tp=8.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 2.2 m) Tp = 8.5 s)

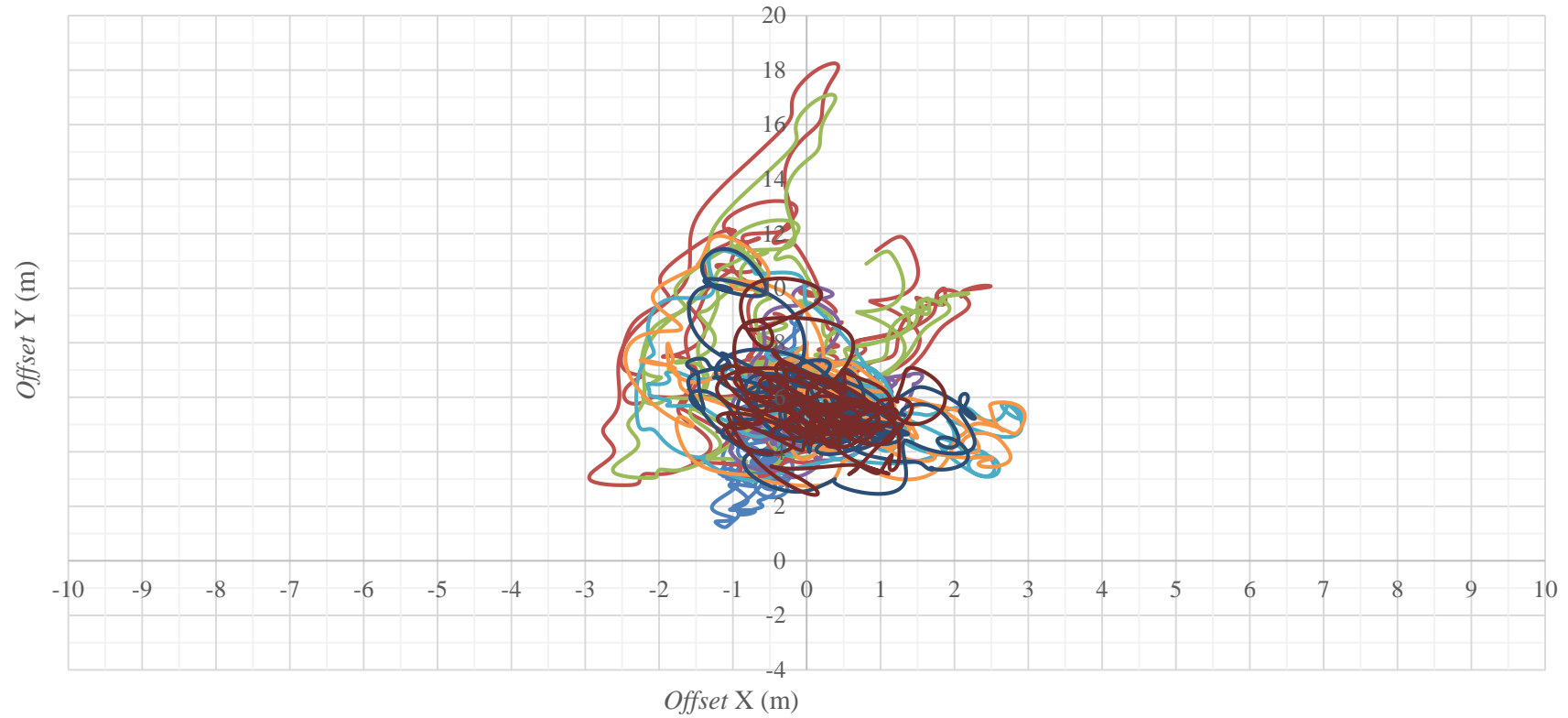
— Squall 10 menit (Hs = 2.2 m) Tp = 11.1 s)

— Squall 10 menit (Hs = 2.2 m) Tp = 12.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 2.2 m) Tp = 13.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 2.2 m) Tp = 15.1 s)

Offset Arah Pembebanan 45° (Kondisi Ekstrem)



— Normal Condition (Hs = 2.3 m; Tp = 8.7 m)

— Squall 2.5 menit (Hs=3.7 m; Tp=8.8 s)

— Squall 5 menit (Hs=3.5 m; Tp=8.8 s)

— Squall 10 menit (Hs = 3.2 m) Tp = 8.8 s)

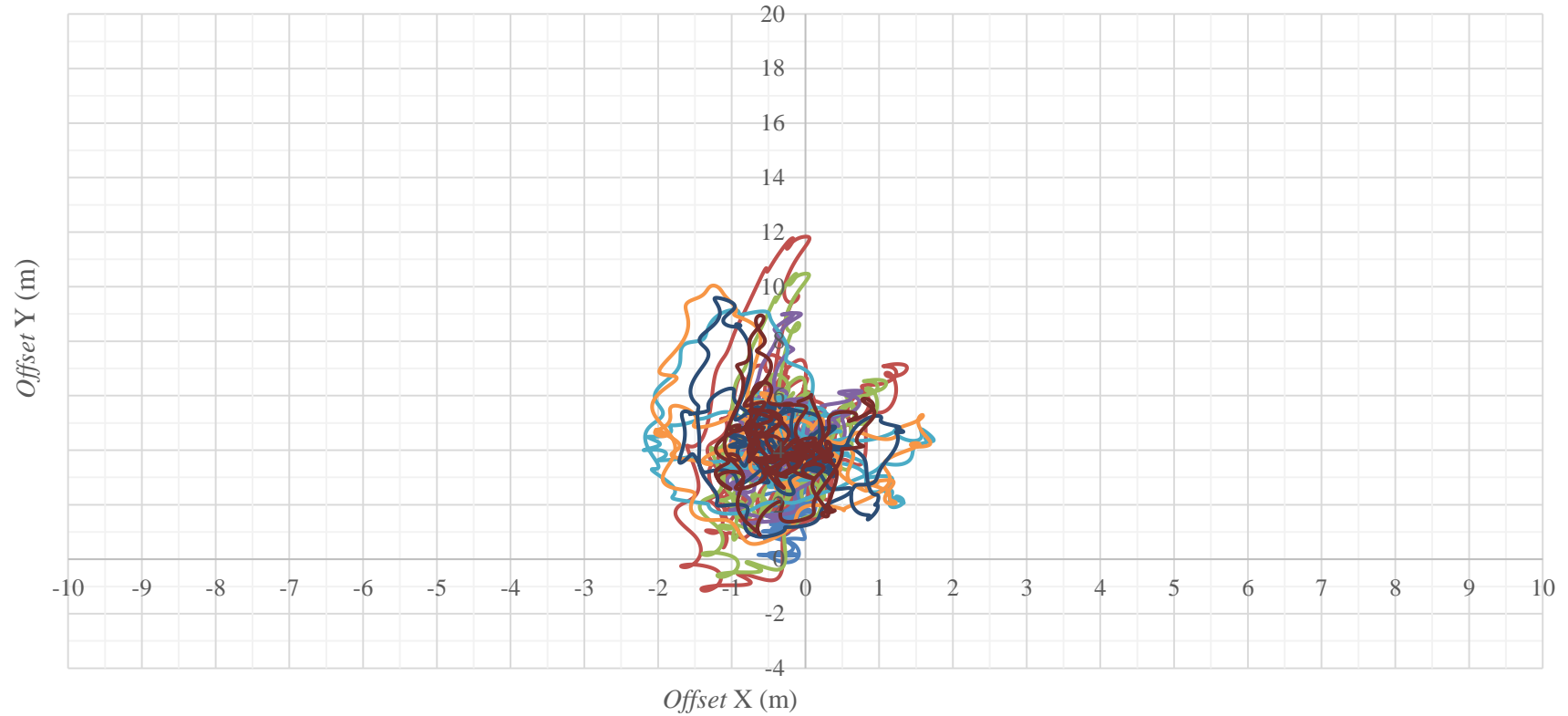
— Squall 10 menit (Hs = 3.2 m) Tp = 11.1 s)

— Squall 10 menit (Hs = 3.2 m) Tp = 12.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 3.2 m) Tp = 13.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 3.2 m) Tp = 15.1 s)

Offset Arah Pembebanan 90° (Kondisi Operasi)



— Normal Condition (Hs = 1.5 m; Tp = 8.3 m)

— Squall 2.5 menit (Hs=2.4 m; Tp=8.4 s)

— Squall 5 menit (Hs=2.2 m; Tp=8.4 s)

— Squall 10 menit (Hs = 1.9 m) Tp = 8.4 s)

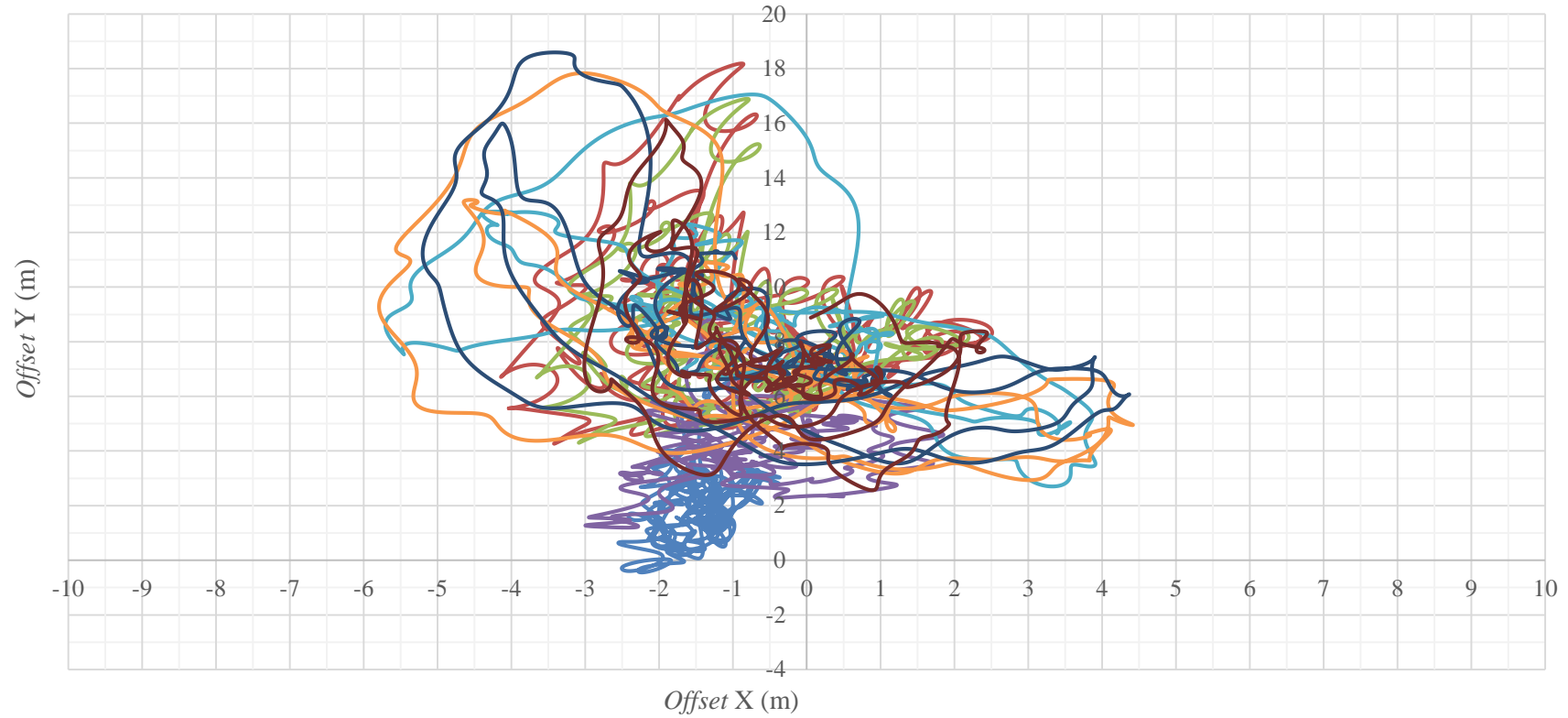
— Squall 10 menit (Hs = 1.9 m) Tp = 11.1 s)

— Squall 10 menit (Hs = 1.9 m) Tp = 12.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 1.9 m) Tp = 13.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 1.9 m) Tp = 15.1 s)

Offset Arah Pembebanan 90° (Kondisi Ekstrem)



— Normal Condition (Hs = 2.0 m; Tp = 8.6 m)

— Squall 2.5 menit (Hs=3.2 m; Tp=8.7 s)

— Squall 5 menit (Hs=3.0 m; Tp=8.7 s)

— Squall 10 menit (Hs = 2.7 m) Tp = 8.7 s)

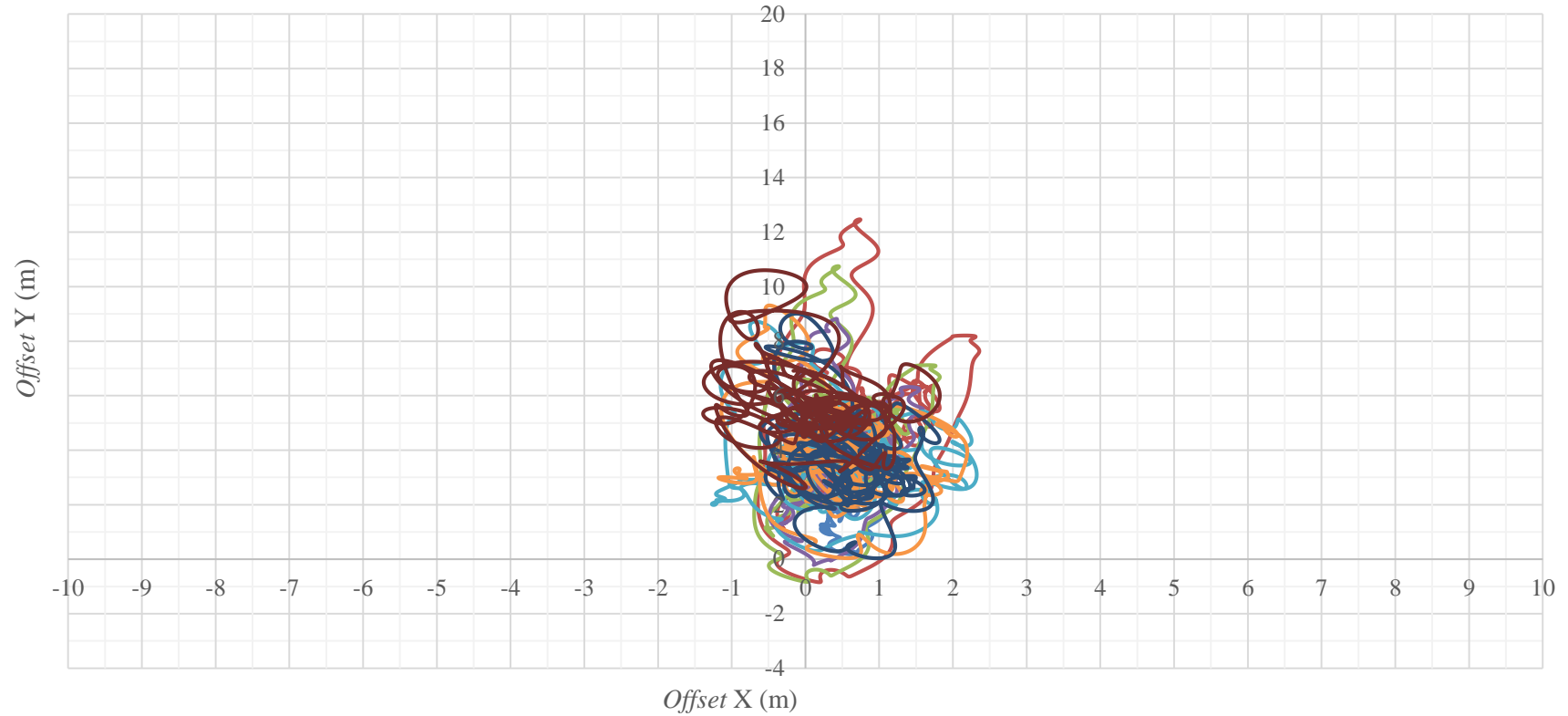
— Squall 10 menit (Hs = 2.7 m) Tp = 11.1 s)

— Squall 10 menit (Hs = 2.7 m) Tp = 12.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 2.7 m) Tp = 13.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 2.7 m) Tp = 15.1 s)

Offset Arah Pembebanan 135° (Kondisi Operasi)



— Normal Condition (Hs = 1.7 m; Tp = 8.4 m)

— Squall 2.5 menit (Hs=2.7 m; Tp=8.5 s)

— Squall 5 menit (Hs=2.5 m; Tp=8.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 2.2 m) Tp = 8.5 s)

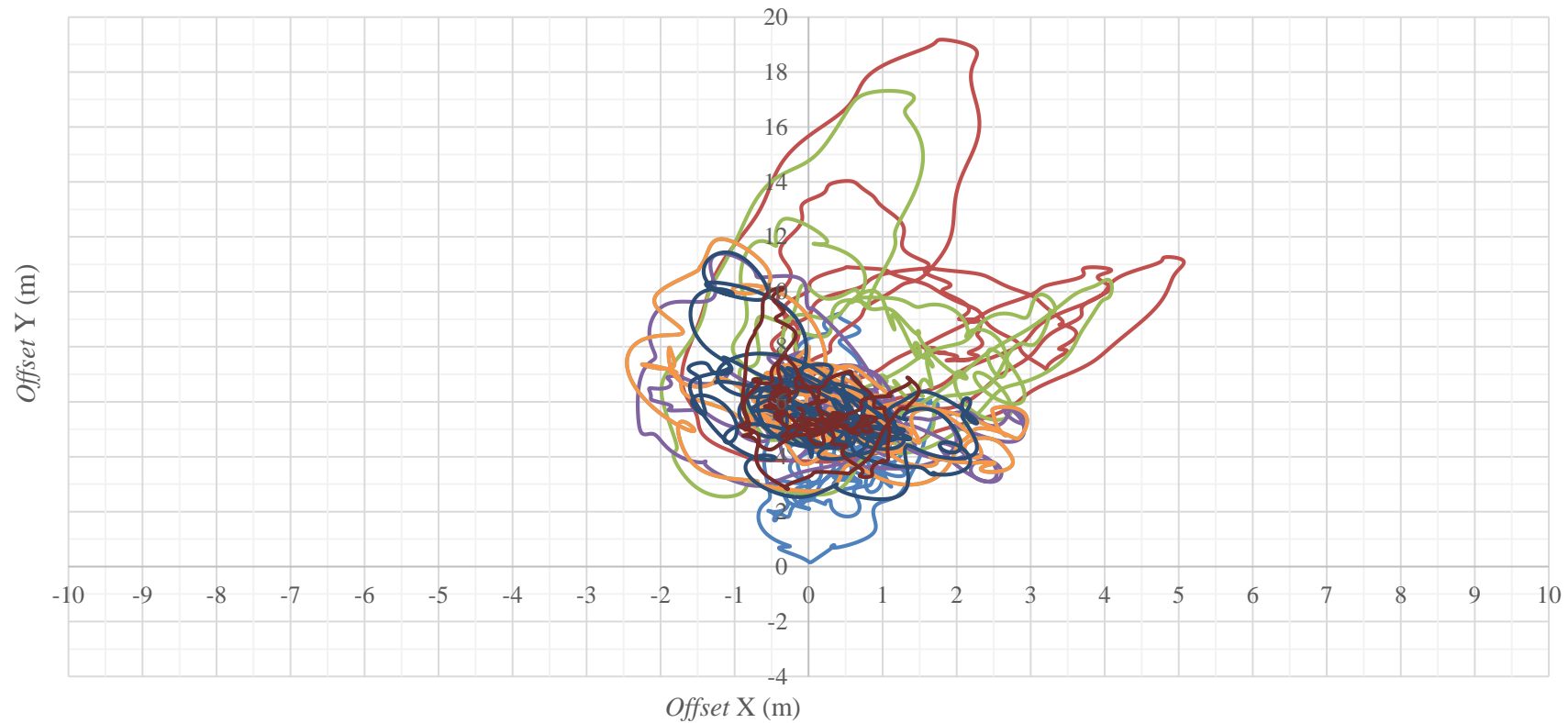
— Squall 10 menit (Hs = 2.2 m) Tp = 11.1 s)

— Squall 10 menit (Hs = 2.2 m) Tp = 12.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 2.2 m) Tp = 13.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 2.2 m) Tp = 15.1 s)

Offset Arah Pembebanan 135° (Kondisi Ekstrem)



— Normal Condition (Hs = 2.3 m; Tp = 8.7 m)

— Squall 2.5 menit (Hs=3.7 m; Tp=8.8 s)

— Squall 5 menit (Hs=3.5 m; Tp=8.8 s)

— Squall 10 menit (Hs = 3.2 m) Tp = 8.8 s)

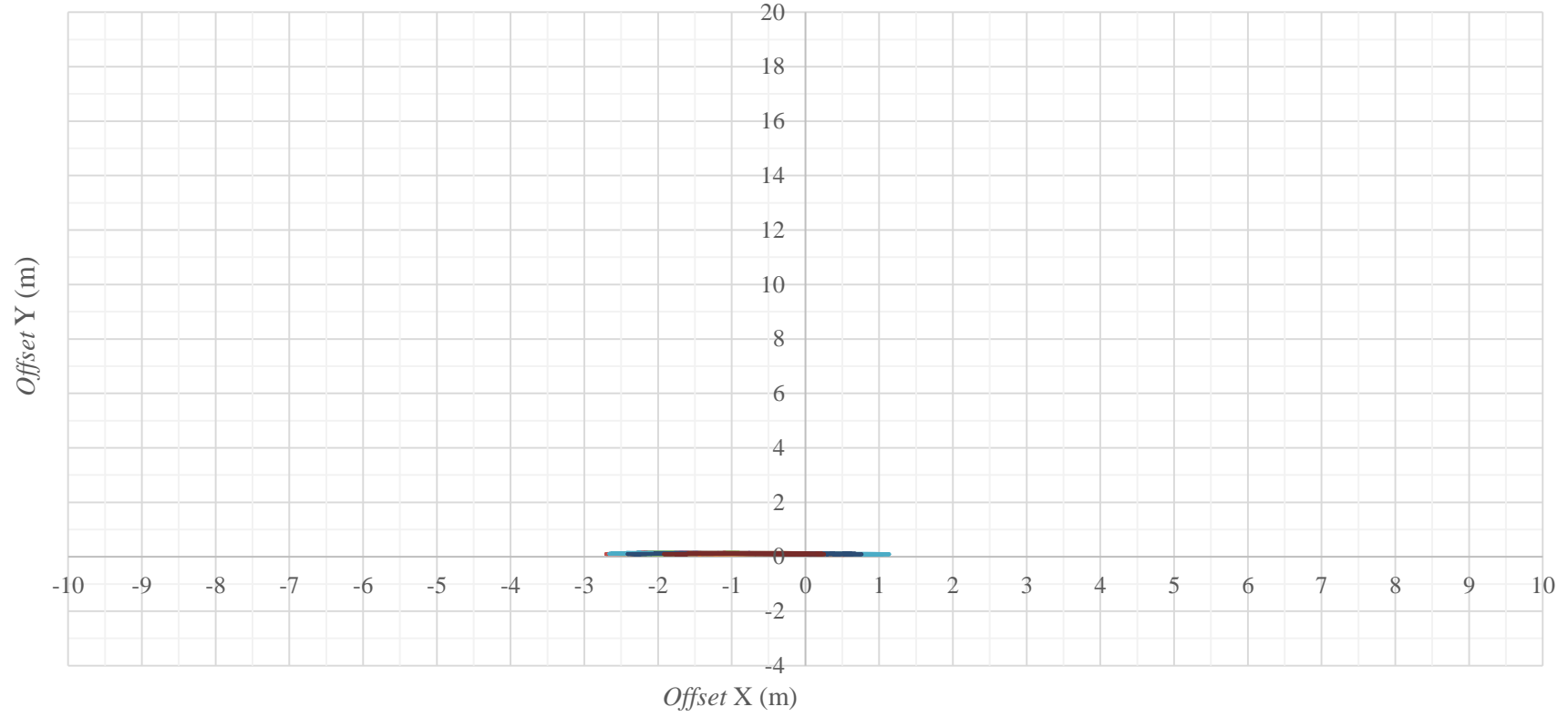
— Squall 10 menit (Hs = 3.2 m) Tp = 11.1 s)

— Squall 10 menit (Hs = 3.2 m) Tp = 12.5 s)

— Squall 10 menit (Hs = 3.2 m) Tp = 13.5 s)

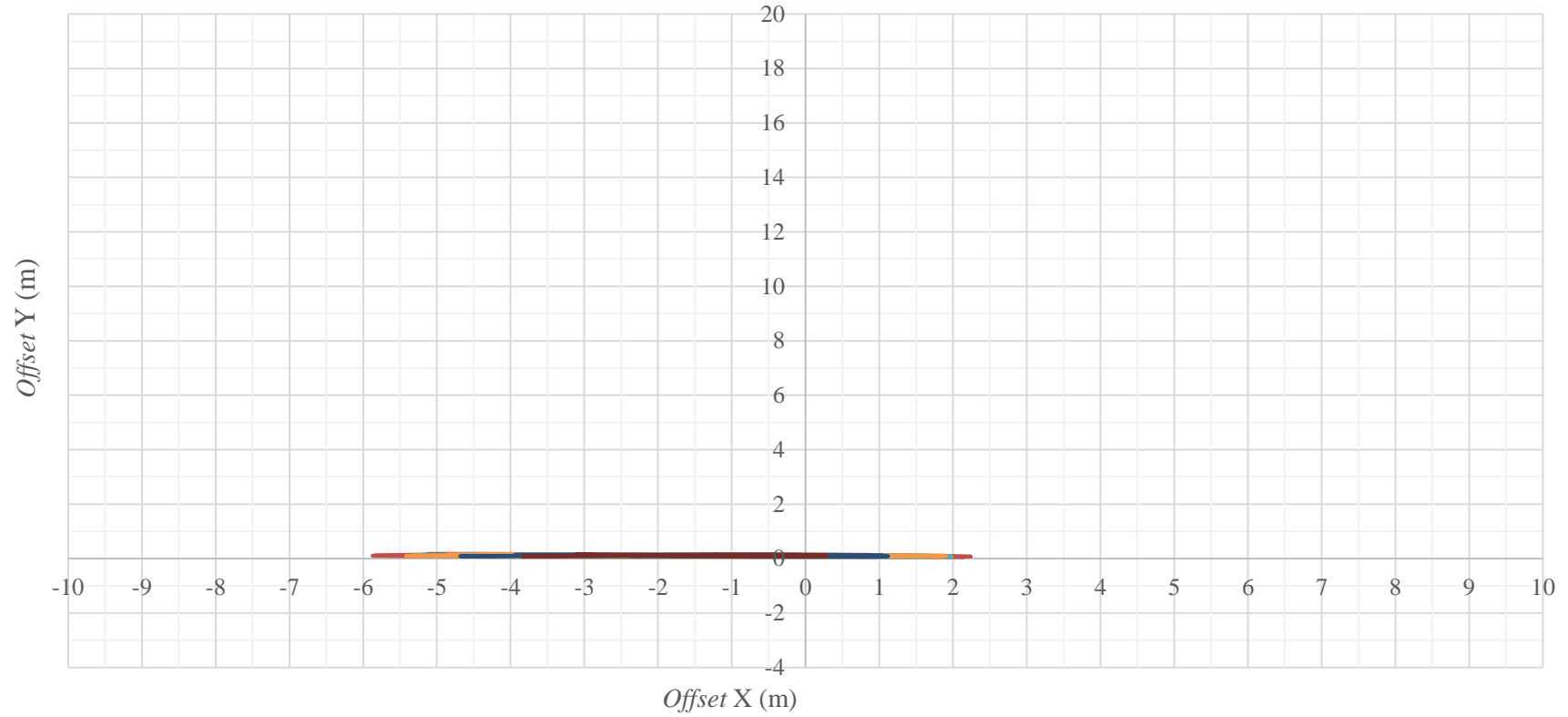
— Squall 10 menit (Hs = 3.2 m) Tp = 15.1 s)

Offset Arah Pembebanan 180° (Kondisi Operasi)



- Normal Condition (Hs = 3.7 m; Tp = 9.6 m)
- Squall 2.5 menit (Hs=6.0 m; Tp=9.8 s)
- Squall 5 menit (Hs=5.7 m; Tp=9.8 s)
- Squall 10 menit (Hs = 5.0 m) Tp = 9.8 s
- Squall 10 menit (Hs = 5.0 m) Tp = 11.1 s
- Squall 10 menit (Hs = 5.0 m) Tp = 12.5 s
- Squall 10 menit (Hs = 5.0 m) Tp = 13.5 s
- Squall 10 menit (Hs = 5.0 m) Tp = 15.1 s

Offset Arah Pembebanan 180° (Kondisi Ekstrem)



Normal Condition (Hs = 5.0 m; Tp = 10.3 m)

Squall 2.5 menit (Hs=8.1 m; Tp=10.4 s)

Squall 5 menit (Hs=7.7 m; Tp=10.4 s)

Squall 10 menit (Hs = 7.0 m) Tp = 10.3 s)

Squall 10 menit (Hs = 7.0 m) Tp = 11.1 s)

Squall 10 menit (Hs = 7.0 m) Tp = 12.5 s)

Squall 10 menit (Hs = 7.0 m) Tp = 13.5 s)

Squall 10 menit (Hs = 7.0 m) Tp = 15.1 s)

BIODATA PENULIS



Inneke Yulistanty Pravitasari lahir di Kota Mojokerto, Jawa Timur pada 22 Juni 1997. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan pendidikan di SDN Klurahan IV, SMPN 1 Kertosono, dan SMAN 1 Kertosono di Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi

Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2015. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif di berbagai organisasi dan kegiatan kemahasiswaan. Semasa perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi mahasiswa tingkat jurusan, fakultas dan institut. Penulis tercatat pernah aktif di HIMATEKLA ITS sebagai Kepala Divisi Eksternal Departemen Kajian Strategis pada tahun tahun kedua perkuliahan. Pada tahun yang sama penulis turut berperan aktif di BEM FTK sebagai Kelapa Divisi Kajian Departemen Kajian Strategis. Pada tahun ketiga perkuliahan penulis aktif dalam BEM ITS di Kementrian Aksi dan Propaganda dengan membawahi Kedirijenan Komunikasi Strategis. Selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan kepanitiaan tingkat jurusan hingga institut di ITS. Penulis juga pernah mengikuti Pekan Kreatifitas Mahasiswa sampai tahapan proposal didanai. Pada tahun 2018 penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di perusahaan PT. ZEE Indonesia dengan bergabung di Divisi *marine engineering*. Selama masa studi strata 1 yang ditempuh selama 4 tahun, penulis tertarik dalam bidang hidrodinamika dan perancangan struktur bangunan laut sehingga dalam tugas akhir ini mengambil topik analisis *mooring system*.

Kontak Penulis

Email : innekeyulistanty@gmail.com

Telepon : +62 858 5189 5290